Материалы

XI-й Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2022»
(МНТК-ИМТОМ – 2022»)

Часть 1

8 декабря 2022 года

г. Казань

Министерство промышленности и торговли Республики Татарстан
Акционерное общество «Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий»
Казанский (Приволжский) Федеральный университет
Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ - КАИ)
Казанский национальный исследовательский технологический университет
Казанский государственный энергетический университет

Материалы

XI-й Международной научно-технической конференции

«ИННОВАЦИОННЫЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ – 2022»

(МНТК «ИМТОМ – 2022»)

Часть 1

8 декабря 2022 года

Казань
2022

УДК 67
ББК К34
М34

Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов.

М34 Материалы XI-й Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2022» (МНТК «ИМТОМ–2022»). Ч. 1. – Казань, 2022. – 358 с., ил.

Материалы состоят из 4 разделов в соответствии с секциями Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2022» (МНТК «ИМТОМ-2022»): «Высокоэффективные материалы, технологии и оборудование в машиностроении», «Инновационные разработки и экономика в машиностроении», «Химическое машиностроение», «Энергетическое машиностроение. Электротехническое и теплоэнергетическое оборудование».

Будет полезно научным работникам, технологам и инженерам соответствующих специальностей.

ISBN 978-5-6047701-1-5 *(т. 1)*
ISBN 978-5-6047701-0-8

© АО «КНИАТ», 2022
© ООО «Фолиант», оформление, 2022

Все права защищены. Материалы Сборника трудов не могут быть воспроизведены в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, магнитную запись или иные средства копирования или сохранения информации без письменного разрешения АО «Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий».

СЕКЦИЯ № 1

«Высокоэффективные материалы, технологии и оборудование в машиностроении»

Модераторы:

Галимов Энгель Рафикович – зав. кафедрой материаловедения, сварки и производственной безопасности, д.т.н., проф. (КНИТУ-КАИ)

Беляев Алексей Витальевич - доцент кафедры материаловедения, сварки и производственной безопасности, к.т.н., доцент (КНИТУ-КАИ)

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ

Аникеева К.Г., Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, doomksen@mail.ru

Шайхетдинова Р.С., Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, rami21@yandex.ru

Бронская В.В., Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, dweronika@mail.ru

Игнашина Т.В., Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, ighnashina00@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена тем, что резервы повышения конструкционной прочности композиционных материалов еще далеко не исчерпаны, как следствие это дает понимание о необходимости создания новых материалов, способных выдерживать деформации в широком интервале температур. Данная статья направлена на исследование механизмов деформации композиционных материалов в широком интервале температур, температурно-временных условий старения. В ходе исследования был применен современный метод нейросетевого моделирования, в ходе которого была получена зависимость прочностных характеристик материала от длительности старения. Представленные в статье материалы позволяют сформулировать теоретические основы технологии получения композиционных материалов с контролируемым комплексом свойств.

Annotation. The relevance of the study is due to the fact that the reserves for increasing the structural strength of composite materials are far from being exhausted, as a result, this gives an understanding of the need to create new materials capable of withstanding deformation in a wide temperature range. This article is aimed at studying the mechanisms of deformation of composite materials in a wide range of temperatures, temperature and time conditions of aging. In the course of the study, a modern method of neural network modeling was applied, during which the dependence of the strength characteristics of the material on the duration of aging was obtained. The materials presented in the article allow us to formulate the theoretical foundations of the technology for obtaining composite materials with a controlled set of properties.

Ключевые слова: нейросетевое моделирование, термоциклирование, полимерные композиционные материалы, контролируемый комплекс свойств.

Композиционными являются многокомпонентные материалы, которые состоят из нерастворимых друг в друге армирующих элементов и матрицы, скрепляющей их и обладающие свойствами, отличающимися от суммарных

свойств компонентов. Механические свойства композитов меняются и зависят от условий окружающей среды при эксплуатации конструкций, элементов машин и механизмов. Это говорит о необходимости дифференцированного подхода к установлению коэффициентов запаса, которые должны учитывать специфику работы материала в реальных изделиях, находящихся в условиях повышенных и пониженных температур, при действии радиоактивных, нейтронных, проникающих излучений, электромагнитных полей.

Методы прессования применяются с целью изготовления изделий различных форм и размеров, в процессе прямого прессования загрузка и формование изделия происходят в полости пресс-формы, при литьевом прессовании загрузка и плавление материала происходят в загрузочной камере пресс-формы, а затем расплав инжектируется через литниковую систему под действием пуансона.

При экструзии сырьевую смесь предварительно пластифицируют и сжимают в цилиндре, далее материал формуют путем продавливания шнеком через экструзионную головку. Отвод и протяжку проводят через охлаждающие или нагревающие приборы для термопластичных и термореактивных связующих соответственно. Также для профильно-погонажных изделий применяется штанг-прессование, оно отличается от тем, что материал перемещается и уплотняется при помощи плунжера.

Получение изделий из полимерных композиционных материалов можно реализовать методами вакуумной инфузии и автоклавного формования. В процессе вакуумной инфузии в герметичную форму помещается тканый или нетканый наполнитель и технологический слой, подводятся линии подачи связующего и вакуумные линии, укладывается вакуумная пленка. Отличием метода автоклавного формования является то, что он происходит в автоклаве, внутри создаются повышенные температура и давление, благодаря этому материал лучше прижимается к форме и вакуумной пленке, процесс отверждения ускоряется. Наравне с этими методами применяется инжекция, при которой наполнитель размещается в матрице пресс-формы.

Согласно статистике и дальнейшему анализу отказов машин резервы повышения конструкционной прочности материалов еще не исчерпаны, для того, чтобы реализовать этот потенциал необходимо технологическое обеспечение заданных показателей качества и строгое соблюдение условий эксплуатации.

Методом нейросетевого моделирования было осуществлено прогнозирование свойств материала [1-3] и выявлено, что долговечность элементов конструкций из полимерных композиционных материалов при воздействии климата и механических нагрузок зависит от уровня нагружения.

На рисунке 1 представлена динамика процесса обучения нейронной сети с десятью нейронами на скрытом слое. За одну итерацию было использовано семь обучающих примеров. В процессе обучения нейронной сети погрешность результатов постепенно уменьшалась.

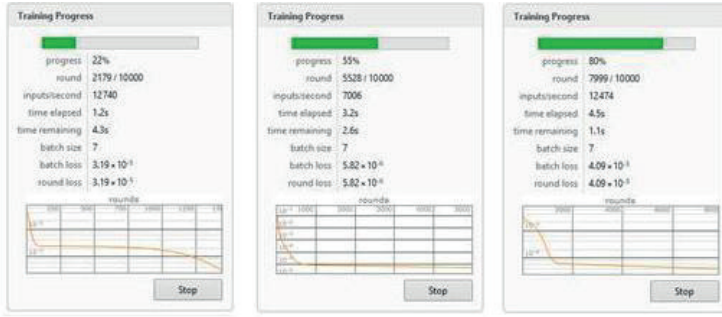


Рисунок 1. Динамика обучения нейронной сети.

На рисунке 2 показано, что в процессе старения значение предела прочности снижается.

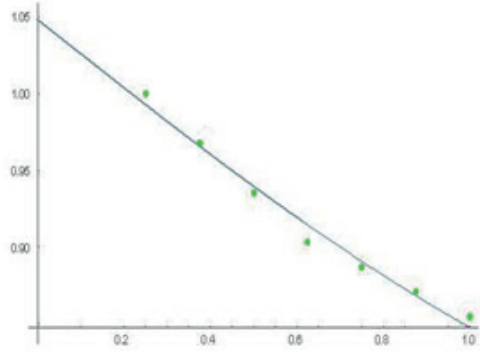


Рисунок 2. Зависимость предела прочности при растяжении от длительности старения на открытом воздухе.

В условиях, когда нагрузка составляет более 80% от предельной долговечность материала определяется только величиной этой нагрузки. Нагрузки, значение которых составляет меньше 60% от предельной долговечность зависит от процесса накопления повреждений и воздействия агрессивных климатических факторов.

В результате проведенного исследования было спрогнозировано влияние различных факторов на долговечность и длительность эксплуатации изделий на основе полимерных композиционных материалов. В числе наиболее важных факторов воздействия были выделены влагонасыщение материала, повышенные температуры, механические нагрузки и термоциклирование. С увеличением данных экспериментальных результатов прогнозируемые характеристики будут уточняться, а их достоверность возрастать.

Литература

1. Цапаев А.А., Бронская В.В., Игнашина Т.В., Суханов П.П. Нейросетевая модель процесса абсорбции углекислого газа водой / Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 2. С. 7-11.

2. Цапаев А.А., Харитонова О.С., Бронская В.В., Володченко Т.В., Мусина Ф.А., Бальзамов Д.С., Игнашина Т.В. Нейросетевая модель процесса утилизации промышленных водных стоков / В сборнике: Приоритетные направления развития науки и технологий. доклады XXVI международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.М. Панарина. 2019. С. 150-152.

3. Ахметова И.Г., Бальзамова Е.Ю., Бронская В.В., Бальзамов Д.С., Лапин К.В., Харитонова О.С. Выбор оптимального типа теплоизоляционной конструкции на основе нейросетевого моделирования / В сборнике: Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. 92- е заседание семинара учрежденного при ИСЭМ СО РАН. В 3-х книгах. Иркутск, 2020. С. 186-190.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Астащенко Владимир Иванович[1], Мухаметзянова Гульнара Фагимовна[1], Орлянский Владимир Евгеньевич[2], Харисов Ильсур Жавдатович[2], Саляхов Ильназ Фаритович[2], Махонин Василий Вячеславович[2]

[1]Казанский (Приволжский) федеральный университет, 423812, г. Набережные Челны, пр. Сююмбике, 10А,
[2]ПАО КАМАЗ, г. Набережные Челны, проспект Автозаводский, 2

Аннотация: Показано негативное влияние поверхностных дефектов и обезуглероженного слоя на циклическую стойкость стальных изделий. Представлены сведения о местах разрушения деталей в эксплуатации и при стендовых испытаниях. Обосновано применение дробенаклёпа стальных длинномерных изделий сложной конфигурации по отношению к упрочнению поверхностного слоя деталей методами химико-термической обработки и закалки с нагрева токами высокой частоты. Разработана технология наклёпа поверхностного слоя балки передней оси грузового автомобиля.

Ключевые слова: дробенаклеп, пластинка Альмена, сталь, балка автомобиля, циклическая стойкость.

Abstract: The negative effect of surface defects and a decarburized layer on the cyclic resistance of steel products is shown. Information about the places of destruction of parts in operation and during bench tests are presented. The use of shot peening of long-length steel products of complex configuration in relation to the hardening of the surface layer of parts by methods of thermochemical treatment

and high-frequency hardening is justified. The technology of work hardening of the surface layer of the truck front axle beam has been developed.

Keywords: shot peening, Almen plates, steel, truck beam, cyclic resistance.

Основной задачей в машиностроении была и остается задача повышения качества, увеличение грузоподъемности и создание автомобилей, отвечающих требованиям мирового уровня. Надежность и конкурентоспособность всех видов машин и оборудования в первую очередь зависят от индивидуального качества отдельно взятой детали, а также от качества сборки и условий эксплуатации [1, 2]. Для повышения сопротивляемости поверхности циклическим и статическим нагрузкам, износу и коррозионной стойкости на практике используются многочисленные методы поверхностного упрочнения: химико-термическая обработка, поверхностная закалка с нагрева токами высокой частоты, обкатка роликами, дробеструйный наклеп и т.д. [3, 4, 5].

Цель работы – поверхностное упрочнение стальных длинномерных изделий на примере балок передней оси грузового автомобиля.

Объектом исследования являлась балка передней оси (БПО) автомобиля «КАМАЗ», изготовленная из стали 45Х, которая имела селектированое содержание углерода в пределах 0,44 – 0,48%. Химический состав стали, используемой для изготовления деталей и применяемой дроби для дробеобработки, определяли в соответствии с ГОСТ 54153 – 2010, ГОСТ 12344 – 2003 и ГОСТ 12345 – 2001 с использованием приборов “Spectrolab”, МФС-51 и анализатора углерода и серы “ELTRA – CS 800”. Металлографические исследования выполняли на микроскопах «Неофот - 21» и «IM - 7200» с программным обеспечением для анализа изображений “Thixomet Pro”. Для измерения твердости использовали твердомеры ТК – 2М, ТШ– 2М и ТР-5006. Микротвердость определяли на приборе “Durimet” при нагрузке 0,98 Н (100 гс). Контроль степени наклёпа поверхности детали проводился по величине прогиба пластинок Альмена размером 76,2х19х1,3 мм, расположенных в различных местах детали (рис. 1). Для изготовления пластинок использовали сталь 70ГС с твердостью 44-50 HRC. Величина прогиба пластинок Альмена определялась с помощью штангенрейсмаса типа ШРЦ 250 - 0,01 с электронным цифровым отсчетным устройством. Для дробеобработки использовали дробь стальную колотую литую и литую в термобработанном состоянии марки ДСК 2.2 и ДСЛУ – 2,2 по ГОСТ 11964 – 81. Зерновой состав дроби оценивали на приборе мод. 20/50 ООО «Вибротехник (Россия)». Испытания на циклическую стойкость проводили на гидравлическом стенде. Нагружение осуществляли знакопостоянной гармонической нагрузкой от минимального значения F_{min} = 29,43 кН (3т·с) до максимального F_{max} = 220,5 кН (22,5т·с), равного 2,5 – кратной номинальной нагрузке. Частота нагружения составляла 5Гц.

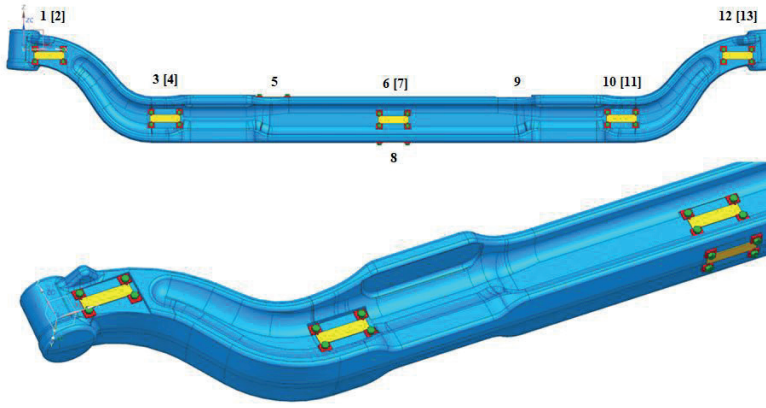


Рис. 1 – Месторасположение 13 пластинок Альмена на поверхности детали: [ ] – пластинки установлены с обратной стороны детали.

Для изготовления балки автомобиля «КАМАЗ» используют поковку. Нагретые до температуры 1240 – 1280^{0}С в индукторе заготовки проходят вальцовку на вальцах RWW – 3 усилием 400 т·с и объемную штамповку при температуре 1200 ± 20^{0}С на прессе KSP – 1200 усилием 12000 т·с. После обрезки облоя на прессе ADWP – 125 и калибровки на прессе KVAP – 160 поковки в вертикальном положении в количестве 4 шт. навешивают на подвеску подвесного толкающего конвейера и направляют на термическую обработку. Термическая обработка включает закалку с температуры 860±10^{0}С в 7-10%-ном растворе Na_2CO_3 и последующий отпуск при температуре 550 ± 20^{0}С, которая обеспечивает получение твердости в пределах 285-321НВ.

После высоких температур нагрева металла на стадиях горячей пластической деформации и термической обработки на поверхности поковки образуется обезуглероженный слой, глубина которого по конфигурации детали колеблется от 0,12 до 0,30мм. Микротвердость поверхности поковки составляет 183- 196HV.

При последующей обработке дробью ДСК 2.2 поковок выполняется удаление окалины с поверхности и подготовка её к визуальному и измерительному контролю и правке. Впоследствии поковка подвергается механической обработки только на отдельных участках – фрезерованию на подрессорных площадках и сверлению отверстий под шкворень в головках. Характерной особенностью балки передней оси является наличие на ней как необработанных, так и обработанных резанием поверхностей. Поэтому дефекты металлургического и технологического характера зачастую наблюдаются на поверхности готовых деталей, которые являются концентраторами напряжений, и снижают её циклическую стойкость. Таковыми дефектами являются зажимы, заштампованная окалина, обезуглероженный слой, риски и т.д.

Согласно ОСТ 37.001.671 – 2002 передняя ось должна выдерживать 1млн. циклов нагружений без трещин и разрушений. Изготовленные детали по такой технологии показали циклическую стойкость в пределах 345 900 – 843 200 циклов. Выявлено, что выход из строя балок происходит в результате разрушения по различным сечениям.

Этот факт свидетельствует о необходимости упрочнения детали по всей поверхности. Для решения такой задачи в работе изучалась возможность повышения циклической стойкости детали путём наклёпа дробью поверхностного слоя. Как показал практический опыт из многочисленных видов дроби, рекомендованных ГОСТ 11964 -81, предпочтение имеет дробь марки ДСЛУ - 2.2. Для реализации технологии дробенаклепа в производстве использован дробеагрегат “Berger”, оснащенный 4-мя турбинами, которые придают высокую скорость полета дроби и её доставку к поверхности, в том числе и к наиболее проблемным местам. В камере агрегата совместно с упрочняемыми деталями наклепу подвергались и пластинки Альмена, установленные в углублениях на устройстве (рис. 1). Месторасположение пластинок учитывает зоны максимального нагружения балок в эксплуатации и места разрушения детали при стендовых испытаниях.

Время дробеобработки поковок в камере составляло 20 минут. Следует заметить, что подвеска с поковками имела вращение со скоростью 8 об/мин., что способствовало равномерной обработке поверхности поковок по всей конфигурации. Твердость используемой дроби составляла 447 – 466HV.

Оценка эффективности дробенаклепа в камере агрегата “Berger” поверхности балок передней оси проводилась двумя методами, а именно по величине прогиба пластинок Альмена, установленных в различных местах устройства (рис. 1) и металлографическим способом по изменению структуры и микротвердости поверхностного слоя по отношению к сердцевине детали. Для металлографических исследований использовалась балка передней оси, которая прошла совместную дробеобработку с устройством, где располагались пластинки Альмена. Отбор проб для приготовления микрошлифов проводился из мест поковки, аналогичным местам расположения пластинок в приспособлении. После освобождения пластинок от мест крепления величина прогиба, как установлено при измерительном контроле, находилась в пределах от 3,7 до 6,6мм.

Результаты исследования показали, что при дробеобработке в течении 20 минут максимальная микротвёрдость поверхностного слоя достигает 362HV при твердости металла основы 285HV. Повышение твердости поверхности по конфигурации детали составляет до 77HV по отношению к твердости сердцевины и до 179 HV по отношению к твердости обезуглероженного поверхностного слоя. В местах, имитирующих расположение пластин с номерами 1, 3, 9,10 и 12 в устройстве, упрочнение наблюдается на глубину более 0,3мм от поверхности, а повышение твердости по отношению к сердцевине, на этой глубине составило до 53HV.

Таким образом, дробеобработка поковок позволила не только нейтрализовать негативное влияние обезуглероженного слоя, имеющего

пониженную твердость, но и придать поверхностному слою более высокую прочность. Стендовые испытания деталей после дробенаклепа в камере дробеагрегата “Berger” показали увеличение их стойкости до уровня 1 446 800 – 1 521 400 циклов.

Литература.

1. Фундаментальные основы технологического обеспечения и повышения надежности изделий машиностроения / А. Г. Суслов, В. П. Фёдоров, О. А. Горленко [и др.]; под редакцией А. Г. Суслова. - Москва: Инновационное машиностроение, 2022. - 552 с.

2. Колобов А. Б. Прочностная надежность и долговечность деталей машин и конструкций / А. Б. Колобов. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. - 192 с.

3. Vildanov A.G., Mukhametzyanov I.R., Astaschenko V.I., Mukhametzyanova G.F. The investigation of properties of the ball pins of the steering rod of the car // Ad alta-journal of interdisciplinary research. – 2019. – Vol 9, Is 2, P. 138–141.

4. Матлин М.М. Дробеударное упрочнение деталей машин / М.М. Матлин, С.Л. Лебский и др. М.: Машиностроение, 2008. – 230с.

5. Астащенко В.И., Махонин В.В., Мухаметзянова Г.Ф., Пуртова Е.В. Свойства и опыт применения стали 18ХГР для зубчатых деталей автомобиля // Черные металлы. – 2022. – № 2. – С. 36-41.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Астащенко Владимир Иванович[1], Мухаметзянова Гульнара Фагимовна[1], Мухаметзянов Ильнар Ринатович[1], Швеёва Татьяна Владимировна[2], Захарова Ильмира Ханифовна[1,2]

[1]Казанский (Приволжский) федеральный университет, 423812, г. Набережные Челны, пр. Сююмбике, 10А,
[2]ПАО КАМАЗ, г. Набережные Челны, проспект Автозаводский, 2

Аннотация: Предложены усовершенствованные технологии химико-термической обработки для деталей из легированных сталей. Разработана и обоснована технология упрочнения, заключающаяся в химико-термической обработке с пониженной температурой диффузионного насыщения и завершающей обработкой в виде дробенаклёпа поверхностного слоя деталей.

Ключевые слова: сталь, зерно, химико-термическая обработка, дробенаклёп.

Abstract:

Improved technologies of thermochemical treatment for parts made of alloyed steels are proposed. A hardening technology has been developed and substantiated, which consists in thermochemical treatment with a low diffusion saturation

temperature and final treatment in the form of shot peening of the surface layer of parts.

Keywords: steel, crystallite, thermochemical treatment, shot peening.

Ключевой задачей технологии упрочнения является обеспечение высокой эксплуатационной стойкости деталей различного функционального назначения. Повышение циклической статической контактной прочности, износостойкости, сопротивляемости хрупкому разрушению в широком диапазоне температур и другие характеристики свойств направлены на создание конкурентоспособной и высококачественной продукции машиностроения [1, 2]. Не вызывает сомнений, что структура сплава определяет его свойства. К числу приоритетных структурных показателей для стали относится её зёренное строение. Чем мельче зерно, тем выше основные характеристики, определяющие эксплуатационною надежность изделий [3, 4].

Температурная зависимость роста зерна в сталях показывает о различном влиянии химических элементов, входящих в её состав (рис. 1) [5]. Присутствие алюминия, ванадия и ниобия, которые образуют нитриды, карбонитриды и другие соединения способствуют получению мелкозернистого строения в стали при нагреве только до определенной температуры. Следовательно, при выборе температурных видов обработки стальных изделий необходимо учитывать влияние химических элементов на рост зерна.

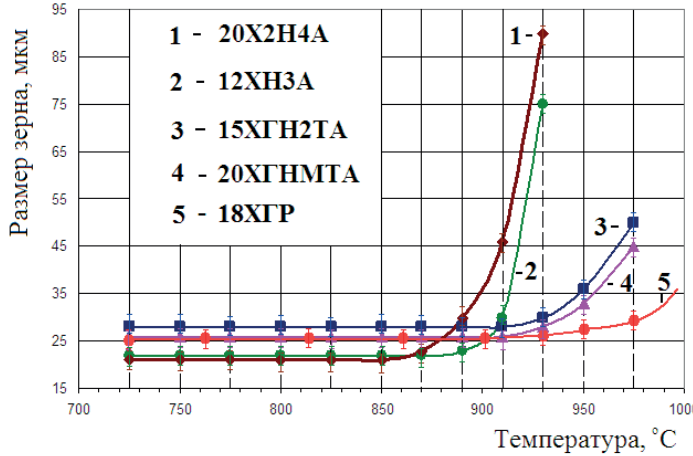


Рис. 1 – Температурная зависимость роста зерна в стали.

Например, для деталей из хромоникелевых сталей типа 12ХН3А, 20Х2Н4А и т.д. цементация при 930^0С неизбежно вызывает рост зерна и требует в дальнейшем обязательной её перекристаллизации. Существующая технология упрочнения деталей из таких сталей достаточно трудоемкая и требует специализированного оборудования.

В данной работе предложена и обоснована новая технологическая схема химико-термической обработки деталей из данных марок сталей (рис. 2).

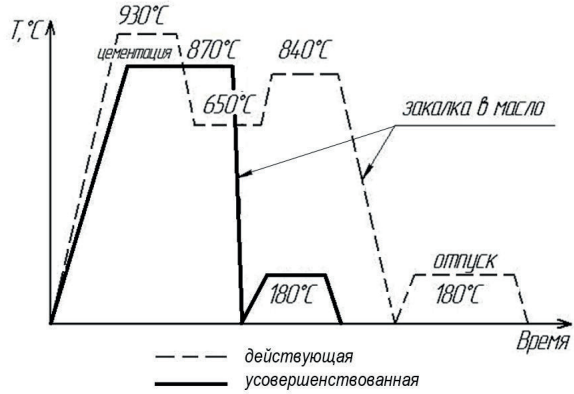


Рис. 2 – Технологические схемы химико-термической обработки хромоникелевых сталей (для стали 12ХН3А).

Диффузионное насыщение поверхности стальных изделий рекомендовано осуществлять при температуре 870 ± 10^0С, что исключает рост зерна в стали. За счет добавок аммиака в эндоатмосферу печи повышается на 10 - 31% скорость насыщения углеродом. Такая технология реализуется на серийном оборудовании термических производств, легко осуществима и не требует дополнительных затрат.

Для низкоуглеродистых легированных сталей 18ХГР, 15ХФ, 20ХГНТМА, 15ХГН2ТМА и других разработана и обоснована технология упрочнения, заключающаяся в химико-термической обработке с пониженной температурой диффузионного насыщения и завершающей обработкой в виде дробенаклёпа поверхностного слоя деталей.

В качестве упрочняющей обработки для стали 18ХГР в работе использованы технологии цементации и нитроцементации с последующей закалкой деталей в масло МЗМ – 26 и низким отпуском при температуре 180±20°С (табл. 1).

Таблица 1 – Технологические схемы упрочняющей обработки

№ п/п	Технологическая схема упрочняющей обработки
1	Отпуск 350°С, Цементация 930°С, закалка с 880°С в масло, отпуск 180°С
2	Цементация 900°С, закалка с 880°С в масло, отпуск 180°С
3	Цементация 920°С, закалка с 880 °С в масло, отпуск 180°С
4	Нитроцементация 870°С, закалка в масло, отпуск 180°С

После обработки деталей по различным технологическим схемам их качество соответствовало требованию чертежно-технической документации по твердости, структуре и глубине упрочненного слоя. При этом твердость поверхности находилась в пределах 59 - 60HRC, глубина упрочненного слоя 0,98 - 1,25мм, твердость сердцевины 34,5 - 39,0HRC и микроструктура упрочнённого слоя – мартенсит среднеигольчатый ($М_{сц}$), 3 - 5 балла + остаточный аустенит ($А_{ост}$), 1,5 - 3,0 балла. Микроструктура упрочнённого слоя после упрочняющей обработки по схеме № 2 представлена на рис. 3.

Цементованные и нитроцементованные детали дополнительно упрочнены дробеструйной обработкой в агрегате «Понгборн» и далее подверглись контролю по геометрическим параметрам до и после окончательной механической обработки (шлифование + хонингование), а также после выдержки в течение 21 дня нахождения в цеховых условиях (после естественного старения).

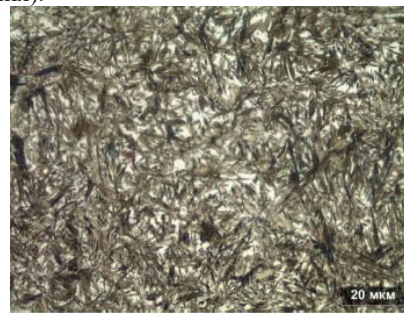


Рис. 3 – Микроструктура упрочнённого слоя: $М_{сц}+А_{ост}$ (2балл), х1000.

При такой технологической схеме упрочняющей обработки достигнута стабилизация и минимизация деформации и коробления зубчатых деталей автомобиля в сочетании с повышением их циклической стойкости и надежности в эксплуатации.

Литература.

1. Фундаментальные основы технологического обеспечения и повышения надежности изделий машиностроения / А. Г. Суслов, В. П. Фёдоров, О. А. Горленко [и др.]; под редакцией А. Г. Суслова. - Москва: Инновационное машиностроение, 2022. – 552 с.

2. Астащенко В.И., Махонин В.В., Мухаметзянова Г.Ф., Пуртова Е.В. Свойства и опыт применения стали 18ХГР для зубчатых деталей автомобиля // Черные металлы. – 2022. – № 2. – С. 36-41.

3. Чукин М.В., Копцева Н.В., Никитенко О.А., Ефимова Ю.Ю. Механические свойства углеродистой конструкционной стали с ультромелкозернистой структурой // Черные металлы. – 2011. – №6. С. 54-59.

4. Нагель М., Дриссен Й., Ковач С., Пудриц О., Томиц А., Рацков Х., Денеке-Арнольд Х. Новые разработки в области высокопрочных микролегированных автомобильных сталей // Черные металлы. – 2019. – № 3. – С. 43-48.

5. Mukhametzyanova, G.F., Shveyova, T.V., Astaschenko, V.I. Microalloyed Steels for Car Parts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 969, Is.1. – Art. № 012014.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Вагизов Тагир Наилевич
Казанский государственный аграрный университет
Республика Татарстан, Россия, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 65
E-mail: tagirvagizov@yandex.ru

Галимов Энгель Рафикович, Галимова Назиря Яхиевна,
Шарафутдинова Эльмира Энгелевна, Юсупов Ильнар Ирекович
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)
Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. К.Маркса, 10
E-mail: 89871726737@mail.ru

Галиев Ильгиз Гакифович
Казанский государственный аграрный университет
Республика Татарстан, Россия, 420011, г. Казань, ул. Рауиса Гареева 62

Аннотация. Приведены результаты экспериментально-теоретических исследований, направленных на разработку составов и технологий получения световозвращающих покрытий с заданными оптическими и базовыми эксплуатационными свойствами. Установлены и научно обоснованы закономерности влияния природы, состава, соотношения, дисперсности исходных компонентов и их оптических характеристик, а также режимных параметров формирования на изменение световозвращающих свойств СВМ в виде покрытий на основе эпоксидных, полиэфирных и эпоксиполиэфирных порошковых композиций, наполненных стеклянными микросферами.

Abstract. The results of experimental and theoretical studies aimed at developing compositions and technologies for obtaining retroreflective coatings with specified optical and basic operational properties are presented. The regularities of the influence of the nature, composition, ratio, dispersion of the initial components and their optical characteristics, as well as the regime parameters of formation on the change in the retroreflective properties of retroreflective materials in the form of coatings based on epoxy, polyester and epoxypolyester powder compositions filled with glass microspheres have been established and scientifically substantiated.

Ключевые слова: Полимерные порошковые композиции, стеклянные микросферы, структура, свойства, технологии получения.

В современной технике широкое применение находят световозвращающие материалы (СВМ) в виде пленок и покрытий, обладающие способностью обратно возвращать падающий на них поток света. Такие материалы широко используются для контурной маркировки транспортных средств, специальной техники, изготовления информационных знаков, разделительных полос автомагистралей и т. п. [1-3].

Основной задачей при разработке СВМ является создание определенного микрорельефа поверхности, который обеспечивает необходимые световозвращающие свойства. Оптические свойства поверхности СВМ зависят от природы, количества, расположения и геометрии наполнителей, определяющих рельеф поверхности, а также от многих других факторов. Изменение рельефа поверхности СВМ возможно обеспечить путем использования различных типов световозвращателей, варьирования геометрических размеров и равномерности их упаковки, а также степенью наполнения композиции [4-6].

В технологии производства СВМ в качестве световозвращающих элементов применяют микросферические и уголковые (призматические) отражатели, нанесенные на различные металлические и неметаллические подложки [3-5]. Основными производителями СВМ являются зарубежные фирмы: «3М» (США), «AVERY DENNISON» (Германия), «ТМ» (Китай), «ORALITE» (Германия). Однако следует отметит, что СВМ указанных фирм несмотря на их высокие оптические и другие эксплуатационные свойства, характеризуются высокой стоимостью. Поэтому возникает потребность разработки СВМ с заданными показателями на основе компонентов отечественного производства, что позволит значительно снизить себестоимость технологического процесса получения СВМ, в определенной степени решить вопрос импортозамещения.

Целью данной работы является разработка составов и технологий получения дисперсно-наполненных СВМ различной структуры в виде пленок и покрытий, обладающих повышенными эксплуатационно-технологическими свойствами.

В результате проведенных экспериментально-теоретических исследований получены следующие основные результаты.

1. Проведен научно обоснованный выбор исходных компонентов для формирования пленок и покрытий различной структуры; определены их оптимальные сочетания и соотношения, а также оптические и физико-химические характеристики, необходимые для разработки СВМ с требуемыми технологическими и эксплуатационными свойствами.

2. Усовершенствована экспериментальная установка, позволяющая повысить точность измерения индикатрисы отражения СВМ в широком интервале углов падения луча лазера от 0 до ± 25°.

3. Установлены и научно обоснованы закономерности влияния природы, состава, соотношения, сочетания, дисперсности, оптических и физико-химических характеристик исходных компонентов, а также режимных параметров формирования на изменение световозвращающих свойств гибких многослойных СВМ. Показано, что величина индикатрисы отражения разработанных и эталонных образцов СВМ снижается по мере увеличения угла падения луча; причем при малых углах (до ±5°) световозвращающие свойства образцов «3М», как с микросферическими, так и уголковыми отражателями несколько выше (на 4-6 %), а при углах падения от ± 5 до ± 25 значительно ниже, чем у материалов на основе микросферических световозвращателей.

4. Определено, что максимальный эффект световозвращения наблюдается для СВМ, состоящих из отражающего слоя в виде алюминиевой фольги; промежуточного слоя из смеси алюминиевой пудры марок ПАП-1и прозрачного лака ХВ-734 (или смеси порошковой композиции «Металлик серебристый 9007» и алюминиевой пудры); связующего слоя на основе самоклеящейся прозрачной полиэфирной ленты; разделяющего слоя в виде сит с нанесенными микросферами дисперсностью 48-56 мкм, покрытых защитной пленкой толщиной 90 мкм, нанесение которой проводится под избыточным давлением при температуре 115-120°С; величины показателей преломления функциональных слоев меняются в диапазоне n = 1,47-1,52 и близки к показателю преломления стеклянных микросфер n = 1,54.

5. Разработана технология получения гибкого многослойного тонкопленочного материала и установка для его реализации (**патент РФ на изобретение №2660048**), обеспечивающий высокие световозвращающие свойства. Выявлено, что для обеспечения высоких оптических свойств материалов, пленка и связующий слой должны иметь показатели преломления, близкие к показателю преломления стеклянных микросфер и различаться не более чем на 0,5-0,8 %. Соединение защитного, герметизирующего и связующего слоев проводится путем термического или ультразвукового склеивания, а после отверждения связующего, формирование фокусирующего слоя на задней полусфере микросфер осуществляется выкладкой нагретой пленки. В качестве несущей ленты используется ткань с антиадгезионным слоем, на которую электростатическим способом наносятся микросферы.

6. Установлены и научно обоснованы закономерности влияния природы, состава, соотношения, дисперсности и оптических характеристик, а также режимных параметров формирования на изменение индикатрисы отражения СВМ в виде покрытий на основе эпоксидных, полиэфирных и эпоксиполиэфирных композиций, наполненных стеклянными микросферами. Показано, что предварительная термообработка порошковых композиций для формирования опорного слоя СВМ проводится в интервале температур 110-120 °С в течение 10-15 мин; последующее напыление микросфер дисперсностью 80-100 мкм осуществляется электростатическим распылителем со скоростью 3,5-4,0 м/с при давлении воздуха 0,02 кгс/см² на расстоянии 150-250 мм от сопла распылителя до подложки, напряжении на коронирующем электроде распылителя 60 кВ и токе короткого замыкания 50 мкА; содержание микросфер

изменяется в пределах 15-25 г/м^2; удаление избытка микросфер осуществляется эжекторной насадкой при давлении сжатого воздуха 0,025 кгс/см^2; окончательное пленкообразование покрытий проводится при температуре 170-185 °С в течение 10-15 мин с последующим нанесением защитной полимерной пленки. Определена структура и выявлены условия проявления максимума интерференции в многослойных световозвращающих покрытиях на основе полимерных порошковых композиций при изменении толщины промежуточного слоя и дисперсности микросферических отражателей. Максимальные световозвращающие свойства проявляются для СВП с опорными слоями на основе эпоксидных и эпоксиполиэфирных композиций, промежуточными слоями на основе лаков толщиной по 20 мкм и дисперсностью микросфер 43-48 мкм.

Таким образом, можно сделать заключение, что достигнутый уровень световозвращающих, других базовых эксплуатационных свойств дисперсно-наполненных покрытий, полученных с использованием порошковой технологии, обеспечивает высокую эффективность применения СВМ за счет использования компонентов отечественного производства, простоты реализации технологии с применением доступного в эксплуатации оборудования.

Список литературы

1. Галимов Э.Р. Тукбаев Э.Е., Федяев В.Л., Пряхин Ю.А., Галимова Н.Я., Шарафутдинов Р.Ф., Гимранов И.Р., Тахавиев М.С., Фазлыев Л.Р. Высокоэффективные технологии и оборудование для нанесения полимерных порошковых покрытий: монография. – Казань: Изд-во АНРТ. 2016. – 250 с.

2. GalimovE.R., Vagizov T.N., Belyaev A.V. Method for Synthesis of Retro-Reflective Coatings with Specified Optical Properties // Solid State Phenomena. Trans Tech Publications. Switzerland. Vol.284, 2018. - pp. 1205-1209.

3. Путилин Е.С. Оптические покрытия. // Научно-техническая информация. – СПб.: 2010. – 230 с.

4. Галимов Э.Р., Тукбаев Э.Е., Пряхин Ю.А., Галимова Н.Я. Разработка технологии нанесения световозвращающих покрытий с заданными свойствами // Материалы международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование, материалы-2015». - Казань: Фолиант, Ч.1, 2015. - С. 61-65.

5. Галимов Э.Р., Тукбаев Э.Е., Пряхин Ю.А., Галимова Н.Я. Разработка технологии нанесения световозвращающих покрытий с заданными свойствами // Материалы международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование, материалы-2015». - Казань: Фолиант, Ч.1, 2015. - С. 61-65.

6.Вагизов Т.Н., Галимова Н.Я., Адыева Н.А. и др. Исследование свойств световозвращающих материалов на основе зеркально-линзовых световозвращателей// Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2019. Материалы X Международной научно-технической конференции. – Казань: 2019. - С. 15-19.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРНЫХ МЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПОРШНЕЙ МАШИН ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Владимирова Юлия Олеговна, Шалунов Евгений Петрович

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Россия, 428015, г. Чебоксары, Московский пр., дом 15

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования влияния содержания углерода на наноструктурные медные материалы. Выяснено, что с повышением процентного содержания углерода повышается твердость и прочность исследуемых материалов, но при этом понижаются пластические свойства, в частности, относительное удлинение. Подобран наиболее оптимальный вариант для использования в поршнях машин литья под давлением.

Abstract. The paper presents the results of a study of the effect of carbon content on nanocomposite copper materials. It was found that with an increase in the percentage of carbon, the hardness and strength of the studied materials increase, but at the same time, plastic properties, in particular, elongation, decrease. The most optimal option for use in pistons of injection molding machines has been selected.

Ключевые слова: наноструктурный материал, узлы трения, пластичность, прочность, интенсивность изнашивания.

Keywords: nanostructured material, friction nodes, plasticity, strength, wear intensity.

Известно [1] значительное количество узлов трения, в которых сопрягаемые детали совершают возвратно-поступательное движение относительно друг друга при высоких температурах и значительных нагрузках. К таким узлам трения относятся, например, поршень машины для литья под давлением и его камера прессования. Такие детали в местах их скользящего сопряжения могут испытывать контактные давления, превышающие 100 МПа, а температура их эксплуатации достигает 800ºС и более [2-5].

В работе [4-7] проведен анализ имеющихся на данный момент материалов, используемых для изготовления указанных деталей. Авторами работы показано, что наиболее подходящим материалом для поршней машин литья под давлением является наноструктурный материал на основе порошковой меди системы Cu-Al-C-O, полученный методом реакционного механического легирования (РМЛ) в аттриторе и горячей экструзией предварительно спрессованных приготовленных в аттриторе гранул в готовые полуфабрикаты [8-11]. При этом, рекомендуемой композицией для использования в тяжелонагруженных узлах трения является состав, в котором процентное содержание алюминия в исходной порошковой смеси равно 3% масс., а содержание углерода равно 0,9 % масс., медь – остальное [5-7]. Необходимо отметить, что этот материал обладает высокими прочностными

характеристиками, однако, он имеет существенный недостаток – низкую пластичность.

Присутствующий в материале алюминий позволяет увеличить количество упрочняющих наночастиц γ-Al_2O_3 и, соответственно, обеспечить повышение механических свойств материала при повышенных температурах. А углерод восстанавливает оксиды меди и играет роль сухой смазки. Однако избыток этого компонента может приводить к снижению пластичности, в связи с чем в работе было проведено исследование влияния именно этого компонента на свойства материала. Процентное содержание углерода в исходной порошковой смеси варьировалось в пределах от 0 до 0,9% масс.

Исследуемые составы материалов, а также их основные физико-механические свойства приведены в таблице 1. Эти материалы были получены с использованием метода реакционного механического легирования в аттриторе. Технология получения полуфабрикатов из материалов данного класса подробно рассмотрена в работах [8-12].

Полученные в аттриторе гранулы были разделены на машине ситового анализа по трем фракциям и подвергнуты исследованиям по определению их микротвердости по Виккерсу (ISO 6507-1:2005) на полуавтоматическом микротвердомере HMV-G21ST (таблица 1).

Таблица 1 – Микротвердость образцов материалов, имеющих различные химические составы с разной дисперсностью

Исходное содержание в порошковой смеси, масс. %		Микротвердость гранул с размерностью ≥ 0,63 мм	Микротвердость гранул с размерностью ≥ 0,2 мм и ≤0,315 мм	Микротвердость гранул с размерностью ≤ 0,05 мм
Al	C			
3,0	0	177,98	253,55	178,69
3,0	0,15	183,65	257,89	185,56
3,0	0,30	184,56	259,33	186,12
3,0	0,45	176,28	259,64	185,91
3,0	0,60	185,64	262,13	178,75
3,0	0,90	187,54	263,4	181,56

Из анализа данных таблицы 2 можно сделать вывод, что с повышением содержания в композициях углерода возрастает микротвердость гранул всех трех исследованных фракций. Гранулы самой массовой фракции, имеющие размерность, находящуюся в интервале от 0,200 мм до 0,315 мм, имеют наибольшую твердость. Это может быть объяснено тем, что структура материала гранул именно этой фракции оказалась наиболее проработанной в аттриторе (гомогенной) по сравнению со структурами гранул других фракций, отличающихся неоднородностью, в связи с чем микротвердость гранул, имеющих размеры более 0,63 мм и менее 0,05 мм, значительно ниже.

Из гранул методом холодного прессования были получены брикеты, которые затем нагревались при 850 °С и в горячую экструдировались в прутки, из которых изготавливались стандартные образцы для определения прочностных и пластических свойств исследуемых материалов. Некоторые из этих свойств приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные физико-механические свойства исследуемых материалов с различными химическими составами

Исходное содержание в порошковой смеси, масс. %		Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Предел прочности при сжатии МПа	Температура рекристаллизации °С	Твердость HV, МПа
Al	C					
3,0	0	585	11,8	1460	900	1882
3,0	0,15	594	11,0	1530	900	1989
3,0	0,30	605	10,3	1580	1000	2019
3,0	0,45	650	6,5	1585	1000	1990
3,0	0,60	761	3,1	1573	1000	2284
3,0	0,90	765	1,6	1565	1000	2332
Примечание: * Содержание кислорода во всех составах материалов было практически постоянным и не превышало 0,02% масс.						

Из анализа данных таблицы 2 следует, что температура рекристаллизации у всех представленных материалов выше 900ºС. Материал с содержанием 3,0 % масс. Al и 0,9 % масс. C обладает наибольшим пределом прочности при растяжении и твердостью. Однако, как уже было отмечено ранее, у этого материала крайне низкая пластичность (относительное удлинение), и изготовление из такого материала конечного изделия проблематично.

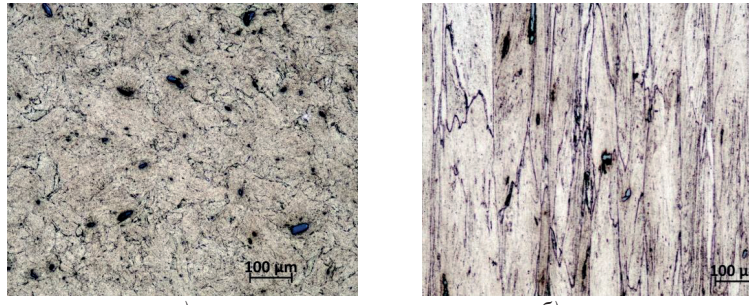
По полученным результатам, представленным в таблицах 1 и 2, можно сделать вывод, что на твердость образцов, в том числе и микротвердость оказывает влияние содержание в материале углерода, т. е. чем больше в исходном составе углерода, тем выше твердость и микротвердость образцов, но при этом ниже пластичность материала.

Объясняется это тем, что одна часть введенного в исходную порошковую композицию углерода (графита) во время реакционного механического легирования в аттриторе и последующего нагрева гранульных брикетов перед их горячей экструзией в прутки расходуется на восстановление меди из ее окислов, образовавшихся при реакционном механическом легировании, другая часть углерода взаимодействует с кислородом, в результате чего образуется углекислый газ, который формирует защитную среду при нагреве гранульных брикетов перед их горячей экструзией в прутки, предотвращая окисление материала. А третья часть углерода остается в конечном материале, но не в кристаллическом состоянии, характерном для графита, а в виде отдельных частиц нанодисперсного уровня, и при интенсивной обработке исходной

порошковой композиции в аттриторе при указанном выше уровне подведенной к обрабатываемой композиции энергии происходит разрушение послойного кристаллического строения графита и перевод его в аморфное состояние. Эти частицы являются наряду с образовавшимися при РМЛ окислами алюминия γ-Al_2O_3 достаточно эффективным упрочнителем. Оксиды меди, которые не полностью удалось восстановить углеродом в медь, тоже являются упрочнителем матричного материала, хотя, не таким эффективным, как γ-Al_2O_3 и остаточный углерод.

Указанные выше первая и вторая часть углерода расходуется при постоянном значении концентрации алюминия (3% масс.) во всех исследуемых порошковых композициях примерно одинаково, то прирост количества третий части углерода приводит к приросту прочностных характеристик исследуемых материалов. Но при этом снижаются их пластические свойства, так как эта часть углерода, являясь упрочнителем, представляет собой так же своего рода сухую смазку, которая препятствует не только свариванию частиц материала в гранулы между собой в процессе реакционного механического легирования, но и консолидации полученных гранул в компактное однородное тело. Поскольку не достигаются прочные связи между гранулами в таком теле, то при его нагружении (растяжении, сжатии) разрушение материалов происходит, преимущественно, именно по этим не прочным межгранульным связям при небольших деформациях.

Если выбирать наиболее оптимальный материал, с точки зрения пластичности и прочностных свойств, то наиболее предпочтительным представляется материал, в исходном составе которого содержится 0,45% масс. углерода и 3% масс. алюминия. Микроструктура этого материала приведена на рисунке, из которого видно, что материал состоит из консолидированных при горячей экструзии гранул, вытянутых в ее направлении в виде дискретных волокон (рисунок, *б*).



а) *б)*

Рисунок – Микроструктура объемного наноструктурного материала с исходным составом 0,45% масс. углерода и 3% масс. алюминия, полученная на поперечном (*а*) и продольном (*б*) шлифах (х 10)

Эти волокна в большинстве случаев четко отделены друг от друга границами, содержащими цепочки черных мелких включений, которыми являются кристаллы оксида меди (II) (окиси меди) CuO. которые образовались на поверхности медных гранул при окислении на воздухе и не полностью были восстановлены содержащимся в материале углеродом. На шлифах материала так же наблюдаются голубые включения - кристаллы гидроксида меди $Cu(OH)_2$.

Для обнаружения частиц γ-Al_2O_3 и остаточного углерода необходимо исследование тонкой структуры материала, которое на настоящий момент проводится авторами, и результаты будут ими представлены в последующих работах

ЛИТЕРАТУРА

1. Крагельский И.В. Трение и износ; изд. 2-е перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.

2. Чеберяк О.И., Чувагин Н.Ф. Особенности прессовой пары на машинах литья под давлением с горизонтальной камерой прессования // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы III Междунар. науч.- практ. конф. - Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 2017. – С. 98 - 105.

3. Vladimirova Y.O., Shalunov E.P. Development of copper dispersion-strengthened composite material with increased indexes of high-temperature strength and wear resistance for thermally loaded friction pairs // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – No. 1431. – Pp. 1-8. DOI:10.1088/1742-6596/1431/1/012012.

4. Vladimirova Y.O., Shalunov E.P. Development of heat-and wear-resistant nanocomposite copper powder based material and technique of its obtaining used for plungers of die-casting machines // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - V. 525. – Pp. 012010. DOI:10.1088/1757-899X/525/1/012010.

5. Разработка жаро- и износостойких порошковых нанокомпозиционных материалов для поршней машин литья под давлением / Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов, Н.В. Мулюхин, И.Е. Илларионов // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы I Междунар. научн.-практ. конф. - Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 2015. - С. 153-160.

6. Dovydenkov V.A., Shalunov E.P. Experience of production and use of precipitation strengthened copper based materials made by mechanical alloying // Powder Metallurgy. - 1998. - Т. 1. - С. 372.

7. Шалунов Е.П., Данилов Н.В., Липатов Я.М. Разработка научных основ, технологии и оборудования для получения и обработки полуфабрикатов из дисперсно-упрочненных композиционных материалов // Охрана труда и прогрессивные технологические процессы в литейном производстве, порошковой металлургии и машиностроении: тез. межреспубл. научн.-практ. конф. - Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 1990. - С. 287-289.

8. Объемные наноструктурные материалы для контактов: разработка, производство, применение, реализация / Е.П. Шалунов, И.Е. Илларионов, А.Л. Матросов [и др.] // Современные технологии в машиностроении и литейном

производстве: материалы I Междунар. научн.-практ. конф. - Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 2015. - С. 351-365.

9. Расчет заготовки поршня из объемного наноструктурного материала на основе меди для машин литья под давлением / Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П., Илларионов И.Е. // Теория и технология металлургического производства. - 2019. - № 2 (29). - С. 29-36.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА РАСКРОЯ НА КАЧЕСТВО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Габдрахманов Азат Талгатович (к.т.н., директор)[1],
Галиакбаров Азат Талгатович (доцент)[2],
Шафигуллин Ленар Нургалеевич (доцент)[2],
Габдрахманова Тансылу Фагимовна (аспирант)[2]

[1]ООО «АЛИПЛАЗ», 423832, г. Набережные Челны, ул. Ш. Усманова, д.37, veyron000@mail.ru
[2]ФГАОУ ВО «Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) Федерального Университета» 423810, г. Набережные Челны, пр-т Мира 68/19, misharin_82@mail.ru

Аннотация: На примере стали 3СП показаны особенности MIG/MAG сварки. Рассмотрено влияние вида раскроя образцов (лазерная резка и механическая вырубка) на параметры качества сварных швов.

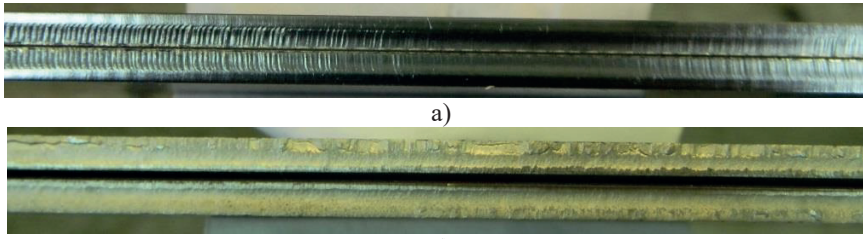
Annotation: The features of MIG/MAG welding are shown on the example of 1.0038 steel. The influence of the type of cutting of samples (laser cutting and mechanical cutting) on the quality parameters of welds is considered.

Ключевые слова: сварка**,** лазерная резка, вырубка, сталь.

Сварка — это технологический процесс, в результате которого образуются неразъемные соединения материалов [1-5]. Главное преимущество полуавтоматической сварки является высокая производительность. Протяженный безостановочный сварной шов становится возможен благодаря постоянно подающейся проволоке. Не требуется останавливать процесс, чтобы заменить электрод. Также преимуществом MIG/MAG сварки является очень аккуратный и гладкий сварочный шов. Получить такой шов при ручной дуговой сварке невозможно, как и эффективно варить очень тонкий металл.

В данной работе рассмотрено влияние вида раскроя образцов (лазерная резка и механическая вырубка) на параметры качества сварных швов

Объектом исследования являлась сталь 3СП толщиной 4 мм размером 100×150 мм (рисунок 1):

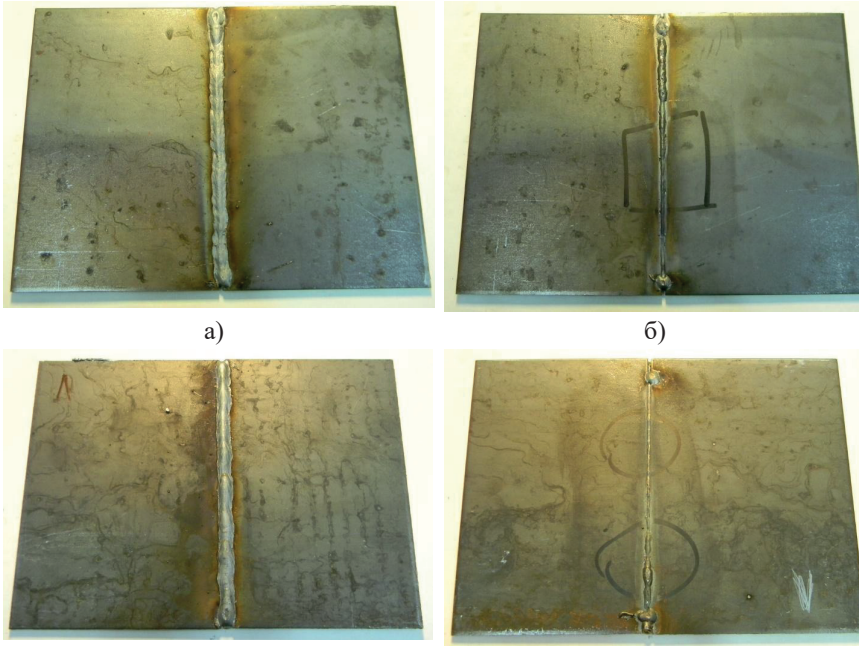


а)

б)

Рис. 1. Образцы для сварки с торца; а) лазерная резка; б) вырубка;

Сварка образцов производилась на сварочном полуавтомате KEMPPI FastMig M 420 с механизмом подачи проволоки MXF 65. KEMPPI FastMig M 420. В качестве газа использовалась смесь сварочных газов аргон+углекислый газ. Образцы после сварки представлены на рисунке 2.



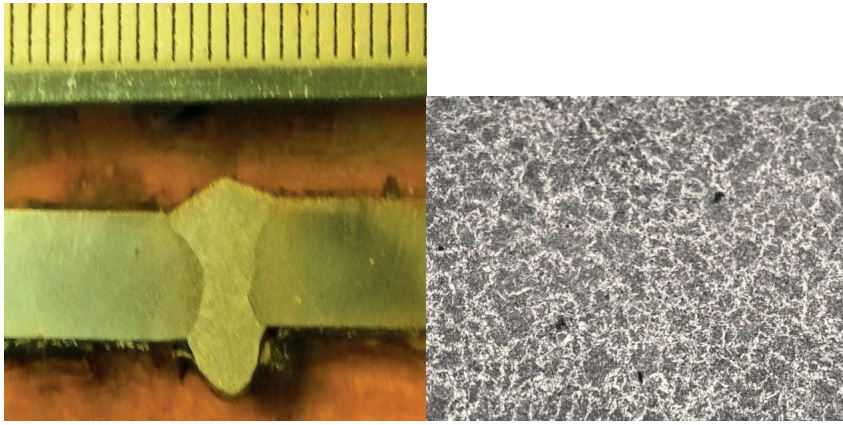
а) б)

в) г)

Рис. 2. Образцы после лазерной резки; а) вырубка вид сверху; б) вырубка вид снизу; в) лазерная резка вид сверху; г) лазерная резка вид снизу

Исследования микроструктуры образцов проводились в сечении на моторизованном металлографическом комплексе Thixomet с программным обеспечением. Результаты исследований приведены на рисунках 3-4.

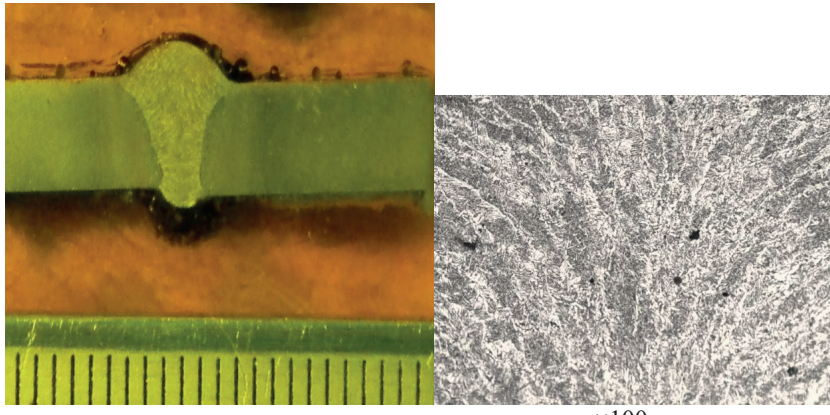
Микротвердость основного металла и сварного шва измерялась по ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 на микротвердомере «Дуримет».



×100

Рис. 3. Образец после сварки подготовленный вырубкой

Микротвердость образца после сварки, подготовленного вырубкой была замерена в трех точках и составляла: 216, 197 и 193HV. Микроструктура - феррит+перлит сорбитообразный.



×100

Рис. 4. Образец сварочного шва, подготовленный лазерной резкой

Микротвердость образца после сварки, подготовленного лазерной резкой была замерена в двух точках и составляла: 205 и 189 HV. Микроструктура – феррит игольчатого строения + перлит сорбитообразный.

На основе визуального двухстороннего контроля сварного изделия, металлографических исследований и результатов замера микротвердости основного металла и сварного шва установлено:

1. На изделии наблюдается стыковое сварное соединение. Визуальный контроль показал, что поверхностные дефекты на сварном шве и в зоне перехода к основному металлу отсутствуют.

2. Металлографическими исследованиями основного металла и металла сварного шва выявлена идентичная феррито-перлитная структура. Незначительная игольчатость феррита наблюдается на изделии лазерной резки. Внутренние дефекты в сварном шве и в зоне сплавления с основным металлом отсутствуют.

3. Микротвердость металла сварного шва находится в пределах 189-216 HV. Разница по твердости не превышает 5 %.

Литература

1. Az.T. Gabdrakhmanov, I.H. Israphilov, L.N.Shafigullin, T.F. Gabdrakhmanova. Study of laser cutting of low-alloy steel with using various gases // Journal of Physics: Conference Series. Volume 1328, Issue 1, 29 October 2019, Article number 012015.

2. Az.T. Gabdrakhmanov, T.F. Gabdrakhmanova. Investigation of the effect of waterjet cleaning on the quality of welding // Materials Today: Proceeding, 2021, 38, pp. 1968–1970.

3. Az.T. Gabdrakhmanov, I.H. Israphilov, L.N.Shafigullin, T.F. Gabdrakhmanova. Study of the influence of hydroabrasive surface cleaning on a laser cutting // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 915, Issue 1, 2019, Article number 012011.DOI: 10.1088/1757-899X/915/1/0120110.

4. Az.T. Gabdrakhmanov, A.T. Galiakbarov, L.N.Shafigullin, T.F. Gabdrakhmanova. Research of a laser welding of thin-shit construction steels by continuous laser radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 570, Issue 1, 2019, Article number 012019.

5. Az.T. Gabdrakhmanov, A.T. Galiakbarov, L.N. Shafigullin. Research of laser welding of thin-sheet structural steels by pulsed laser radiation // Materials Science Forum. International Russian Conference on Materials Science and Metallurgical Technology; Vladivostok; Russian Federation; 1 October - 4 October 2018. Volume 946 MSF, 2019, Pages 901-905.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ АНОД НА ОСНОВЕ НАНОПОРИСТОГО ГЕРМАНИЯ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Гаврилова Татьяна Павловна, Хантимеров Сергей Мансурович, Нуждин Владимир Иванович, Валеев Валерий Фердинандович, Степанов Андрей Львович

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского - обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», 420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7

Аннотация. Методом ионной имплантации были получены образцы пористого германия и исследованы их морфология и удельные энергетические характеристики. Обсуждается возможность использования таких материалов в качестве анодов литий-ионных аккумуляторов.

Abstract. Porous germanium was developed using ion implantation method and the morphology and specific energy characteristics of the samples were investigated. The possibility of using of such materials as anodes for lithium-ion batteries is discussed.

Ключевые слова: пористый германий, анод, литий-ионный аккумулятор, ионная имплантация

В настоящее время в мире ведутся интенсивные исследования и разработки электрохимических накопителей энергии, в частности литий-ионных аккумуляторов (ЛИА). Это связано с тем, что ЛИА (по сравнению со свинцово-кислотными аккумуляторными батареями и др.) обладают более высокой удельной плотностью энергии, рабочим напряжением и относительно малым весом, что позволило им получить широкое распространение в качестве источника энергии в современных электронных устройствах. Кроме того, ЛИА рассматриваются как перспективные автономные источники энергии для электромобилей, энергоснабжения спутников и т.п. [1]. Несмотря на высокие характеристики ЛИА, стремительное развитие технологий предъявляет более высокие требования к разработке эффективной конструкции электродных систем и методов быстрой перезарядки таких источников энергии с целью повышения их удельных энергетических характеристик, времени жизни, цикличности заряда/разряда и снижению разрушению электродных материалов.

В качестве коммерческого анодного материала в ЛИА используется графит, который имеет теоретическую емкость (372 мА·ч/г) и удельную площадь поверхности (90 $м^2$/г), что недостаточно для получения аккумуляторов с высокими емкостными характеристиками . В последнее время в мире в качестве потенциальной замены графита исследуются элементы группы IV, такие как Si, Ge из-за их более высоких емкостных характеристик. Однако, при использовании элементов IV группы в качестве анодов ЛИА возникают

проблемы, связанные с механическим разрушением и деградацией электрода при циклической интеркаляции/деинтеркаляции ионов Li^+ в электрод. Одним из способов решения данной проблемы является использование нанопористых материалов, которые позволяют ослабить механические напряжения.

Данная работа посвящена разработке анодного материала на основе пористого германия с высокими удельными энергетическими характеристиками. Образцы на основе пористого германия были получены с использованием методики, приведенной в нашей предыдущей работе [2], на ускорителе ионов ИЛУ-3. Морфология поверхности образцов пористого Ge была исследована использована методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе Merlin (Carl Zeiss). Было установлено, что поверхность представляет из себя слой губчатой структуры, состоящей из переплетающихся нанонитей Ge со средним диаметром около 15 нм. Электрохимические исследования образца проводились гальваностатическим методом в электрохимической ячейке при комнатной температуре. Величина разрядной емкости после первого цикла более 97%, и наблюдалось сохранение 80% емкости после 1000 циклов, что говорит в пользу эффективности разработанного электрода.

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ №19-79-10216.

Литература

1. Da Deng. Li-ion batteries: basics, progress, and challenges. Energy Science & Engineering, 2015, 3, 385-418.

2. Stepanov, A.L.; Khantimerov, S.M.; Nuzhdin, V.I.; Valeev, V.F.; Rogov, A.M. Formation of nanoporous Ge layers by ion implantation at different temperatures of c-Ge substrate. Vacuum, 2021, 194. DOI: /10.1016/j.vacuum.2021.110552.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Галимов Энгель Рафикович, Юрасов Юрий Сергеевич
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса,10
E-mail: ERGalimov@kai.ru

Аннотация. Показано влияние дисперсных наполнителей на реологические свойства поливинилхлорида. Применение композиционных материалов на основе ПВХ промышленных отходов оказывает существенное влияние на изменение реологических свойств композиций. Установлено, что это позволяет выбрать оптимальные составы композиций и режимные параметры их переработки в готовые изделия.

Annotation. The effect of dispersed fillers on the rheological properties of polyvinyl chloride is shown. The use of composite materials based on industrial waste PVC has a significant impact on the change in the rheological properties of the compositions. It has been established that this makes it possible to choose the optimal compositions of the compositions and the regime parameters for their processing into finished products.

Ключевые слова: поливинилхлорид, реологические свойства, дисперсные наполнители, промышленное производство.

Дальнейшее совершенствование свойств композиционных материалов на основе ПВХ следует связывать, в первую очередь, с возможностью применения новых видов эффективных модифицирующих компонентов. Поэтому исследования, направленные на изучение эффективности модификации ПВХ различными функциональными добавками для получения композиционных материалов с регулируемым диапазоном свойств являются актуальными.

При современных масштабах материального потребления фактор степени вовлечения в промышленное производство вторичных материальных ресурсов, в том числе неиспользуемых производственных отходов, имеет первостепенное значение. Решение указанной проблемы связано с разработкой и освоением безотходных, экологически чистых и ресурсосберегающих технологий, внедрение которых позволит получить значительный технико-экономический эффект во многих отраслях промышленности.

Известно, что наполнители, введенные в полимерные композиционные материалы, в том числе и на основе поливинилхлорида (ПВХ), оказывают влияние на структуру, физико-механические, теплофизические и другие свойства [1-4]. Однако, без адекватного представления о воздействии наполнителя на полимерную фазу и без умения управлять этим воздействием, сложно рассчитывать на получение композиций с заданным комплексом технологических и эксплуатационных свойств.

Реологические свойства расплавов полимеров, в том числе и ПВХ, складываются из широкого круга проявлений вязкоупругих, высокоэластических и вязких свойств, оценка которых имеет большое практическое значение, особенно в технологии переработки материалов в готовые изделия. Устанавливая связи между условиями переработки, морфологией и свойствами можно выбрать оптимальные технологические режимы формования полимерных систем.

Реологические свойства ПВХ, в отличие от других термопластов, характеризуются рядом специфических особенностей, обусловленных структурно-морфологической организацией полимера. Анализ структуры переработанного ПВХ показал [1, 2], что в процессе перевода полимера в состояние расплава ее исходная глобулярная структура не разрушается, и в материале сохраняются надмолекулярные образования в виде глобул и их фрагментов. Гетерогенность структуры ПВХ и сохранение надмолекулярных образований при переработке полимера оказывает влияние на специфичность реологических свойств расплавов. Кроме того, на изменение реологических

характеристик оказывают влияние и различные по функциональному назначению модифицирующие добавки, входящие обычно в состав композиционных материалов на основе ПВХ.

Одним из основных технологических параметров, определяющих поведение композиционных материалов в процессе переработки, является эффективная вязкость расплавов, которая определяется по данным вискозиметрических испытаний. Изучение вязкостных свойств расплавов проводилось в условиях установившегося ламинарного течения в широком диапазоне температур и режимов деформирования. На основе полученных экспериментальных данных построены истинные коррелированные кривые течения расплавов ПВХ композиций. По кривым течения были определены значения эффективной вязкости и построены концентрационные зависимости при различных температурах и режимах деформирования.

Для исследования был выбран суспензионный поливинилхлорид марки С-7058М. В качестве стабилизатора ПВХ композиций использовали смесь стеарата кальция и силиката свинца (по 3 масс. ч. на 100 масс. ч. полимера). Пластифицирующей добавкой служил диоктилфталат (ДОФ), содержание которого меняли от 10 до 50 масс. ч. на 100 масс. ч. ПВХ. В качестве дисперсных наполнителей для получения ПВХ композиций были использованы неиспользуемые отходы лесопромышленного комплекса в виде технических лигнинов, отличающиеся способами получения, функциональным и элементным составом.

Экспериментальные данные, полученные при исследовании зависимости эффективной вязкости расплавов жесткого и пластифицированного 10, 30 и 50 масс. ч. ДОФ поливинилхлорида от содержания технических лигнинов при различных температурах и напряжениях сдвига, позволили установить характер и особенности изменения вязкостных свойств. Показано, что кривые концентрационной зависимости вязкости носят экстремальный характер. Введение небольших количеств ТЛ, примерно до 10 масс. ч. на 100 масс. ч. ПВХ, приводит к аномальному понижению вязкости расплавов, а при дальнейшем увеличении содержания наполнителя наблюдается плавное повышение вязкости во всем охваченном экспериментом диапазоне температур и режимов деформирования. При этом с повышением температуры от 160 до 200°С эффект снижения вязкости постепенно уменьшается. Следует отметить, что для жестких композиций по мере увеличения напряжения сдвига при температуре 160°С наблюдается увеличение эффекта резкого снижения вязкости, а при повышенных температурах наблюдается противоположная картина, т. е. увеличение сдвигового деформирования приводит к меньшему снижению вязкости в области небольших содержаний наполнителя.

Для пластифицированных композиций во всем интервале содержания ДОФ наблюдается снижение эффекта падения вязкости по мере увеличения, как температуры, так и напряжения сдвига. С увеличением содержания наполнителя при постоянном напряжении сдвига характер повышения вязкости расплавов подобных композиций одинаков, а именно, наблюдается менее интенсивное возрастание вязкости по мере увеличения температуры и

содержания ДОФ. Показано также, что при повышении величины сдвигового деформирования в области содержания ТЛ выше 10 масс. ч. наблюдается меньшее повышение вязкости во всем охваченном диапазоне изменения величины напряжения сдвига.

Таким образом, использование в составе композиционных материалов на основе ПВХ промышленных отходов в виде технических лигнинов оказывает существенное влияние на изменение реологических свойств композиций, что позволяет выбрать оптимальные составы композиций и режимные параметры их переработки в готовые изделия.

Список литературы

1. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ / Под ред. Ф. Гроссмана. 2-е издание. Пер. с англ. под ред. В.В. Гузеева. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 608 с.

2. Штаркман Б.П. Основы разработки термопластичных полимерных материалов. – Н. Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, 2004. – 328 с.

3. Симонов-Емельянов И.Д., Кулезнев В.Н. Наполнение как метод модификации полимеров и особенности технологии их переработки // Сб. Основные достижения научных школ МИТХТ им. М.В. Ломоносова. – М.: МИТХТ, 2000. – С. 255-263.

4. Уилки Ч., Саммерс Дж., Даниелс Ч. Поливинилхлорид. / Пер с англ. под ред. Г.Е. Заикова. – СПб.: Профессия, 2007. – 720 с.

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЛУТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОДУКТАМИ ПЕРЕРАБОТКИ РИСА, ВЫРАЩЕННОГО В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Готлиб Е.М.[1], Нцуму Р.Ш.[1], Валеева А.Р.[2], Галимов Э.Р.[2]

[1] Казанский национальный исследовательский технологический университет 420015, Казань, ул. Карла Маркса, 72

[2] Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10

Аннотация. В данной работе рассматриваются физико-химические и эксплуатационные свойства эпоксидных композиций, наполненных золой рисовой шелухи из Краснодарского края (Россия), и республики Конго, полученной при температуре сжигания 800 °С Наполнение эпоксидных материалов ЗРШ на основе риса, как из России, так и Конго увеличивает твердость, уменьшает износ и коэффициент трения эпоксидных композиций, по сравнению с базовым составом.

Анализ физико-химических свойств рисовой шелухи, выращенной в разных странах показал, их существенное отличие. Так, шелуха риса из Краснодара обладает значительной большей пористостью, маслоемкостью и

более высоким значением pH водных дисперсий, что влияет на механические свойства наполненных ей материалов.

Ключевые слова: рисовая шелуха, зола рисовой шелухи, коэффициент трения, износостойкость, твердость. (до 5 слов)

INFLUENCE OF RICE GROWING CLIMATE ON COMPOSITION AND PROPERTIES OF RICE PRODUCTS AND THEIR MODIFYING EFFECT IN EPOXY COMPOSITIONS

Gotlib E.M.[1], Ntsumu R.Sh.[1], Valeeva A.R.[2], Galimov E.R.[2]

[1] Kazan National Research Technological University 420015, Kazan, 72 Karla Marksa St,

[2] Kazan National Research Technological University named after A.N. Tupolev-KAI, 420111, Kazan, 10 Karla Marksa St.

Abstract. Physico-chemical and performance properties of epoxy compositions filled with rice husk ash from Krasnodar region (Russia), and Republic of Congo obtained by combustion temperature 800 °C are considered in the paper. Filling epoxy materials with rice-based ash from both Russia and Congo increases hardness, reduces wear and friction coefficient of epoxy compositions compared to the base composition.

The analysis of physico-chemical properties of rice husks grown in different countries has shown their essential difference. Thus, rice husks from Krasnodar have significantly higher porosity, oil capacity and higher pH value of aqueous dispersions, which affects the mechanical properties of the materials filled with them.

Введение. Рис относится к одной из трех основных сельскохозяйственных культур в мире. В ходе традиционного процесса его получения с сырого зерна удаляют шелуху, которая составляет около 20% от массы риса[1]

На свойства зерна риса, а, следовательно, и его шелухи влияют агроклиматические условия в период выращивания, уборки, хранения и переработки. Определенную роль играет сорт риса, сумма среднесуточных температур в районе его произрастания, влажность, сезон сбора урожая, тип почвы [2].

Поэтому, представляет интерес изучение влияния свойств шелухи, полученной при переработке риса, выращенного в разных климатических зонах, на состав полученного из нее диоксида кремния, и его модифицирующий эффект в полимерных композициях.

Экспериментальная часть.

Изучались композиции на основе эпоксидной диановой смолы ЭД-20 (ГОСТ 10587-84),отвержденной аминоалкилфенолом АФ-2, (ТУ 2494-052-00205423-2004)при комнатной температуре в течение 7 суток.

В качестве наполнителей применялись: зола, полученная при сжигании при 800 °С рисовой шелухи из Краснодарского края, Россия (ЗРШР), и

республике Конго (ЗРШК). Рентгенографический количественный анализ (РКФА) проводился на многофункциональном дифрактометре Rigaku SmartLab. Определение удельной площади поверхности пор, распределение их по размерам и определение общего объема пор наполнителей проводилось по адсорбции газа с применением BET – метода (ISO 9277:2010) и ртутной порометрии и газопоглощения на приборе Quantachrome Nova 1200e. Определение маслоемкости наполнителей проводили в соответствии с ГОСТ 21119.8-75, а pH их водных суспензий - с помощью комбинированного измерителя SevenMulti по ОСТ 21119.3-91. Износостойкость эпоксидных материалов определялась на вертикальном оптиметре ИЗВ-1, твердость - по методу Шора, по шкале D (ГОСТ 24621-91, ISO 7619), коэффициент трения, -на автоматизированной машине трения «Tribometer (ISO 20808).

Обсуждение результатов.

Анализ свойств рисовой шелухи, полученной на основе переработки в крупу риса, выращенного в РФ и Конго показал (табл.1), что они существенно отличаются. РШК имеет значительно большую пористость, маслоемкость, и более высокие значения pH водных дисперсий.

Таблица 1 - Кислотно-основные характеристики поверхности, пористость и маслоемкость рисовой шелухи и ее золы, полученной при 800 °С

	Наполнитель	pH	Маслоемкость, г\г	Общий объем пор по BJH, $см^3/г$	Средний диаметр пор по BJH, нм
1	РШК	9,64	341	0,004	3,4
2	РШР	6,99	297	0,002	3,0
3	ЗРШК	8,92	110	0,08	4,1
4	ЗРШР	9,02	37	0,02	3,9

На основе анализа фазового состава полученных наполнителей методом РКФА установлено (табл. 2), что наблюдается существенный рост содержания в ЗРШК по сравнению с ЗРШР, кварца, который представляет собой полиморфную кристаллическую модификацию диоксида кремния и имеет тригональную сингонию.

Таблица 2 – Фазовый состав золы рисовой шелухи из РФ и Конго, полученной при 800 °С

Зола	Фазовый состав	Содержание, % масс
ЗРШР	Рентгеноаморфная фаза	75
	Кристобалит	23
	Кварц	1
	Тридимит	1
ЗРШК	Мусковит	52
	Кварц	48

В составе ЗРШК обнаружен также мусковит- $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$, который имеет таблитчатые кристаллы моноклинной системы.

В золе из шелухи Российского риса, в основном, содержится диоксид кремния в аморфной фазе, а также он присутствует в кристаллической форме – кварц, тридимит и кристоболит. Таким образом, ЗРШ из Конго является полностью кристаллической, в отличие от ЗРШР, содержащей 75 % ренгеноаморфной фазы (табл.2).

Пористость наполнителей вносит существенный вклад в степень взаимодействия их с полимерной матрицей [3].

Таблица 3 - Характеристики пористости золы, полученной при сжигании при 800С РШ из России и Конго

№ п/п	Образец	Объем пор по t-методу, $см^3/г$	Площадь микропор по t-методу, $м^2/г$	Удельная поверхность пор по БЭТ, $м^2/г$	Общий объем пор по ВЈН, $см^3/г$	Средний диаметр пор по ВЈН, нм
1	ЗРШР	0,001	0,1	10,3	0,02	3,94
2	ЗРШК	0,002	3,7	22,9	0,04	3,29

Общий объем пор золы на основе РШ из Конго существенно выше, по сравнению с Российской. Более высокие значения имеет и удельная поверхность пор ЗРШК. В тоже время, средний размер пор золы РШ незначительно зависит от страны произрастания и сорта риса.

Распределение пор по размерам у золы, полученной из шелухи риса, выращенного в Конго, (рис.1 и 2) коренным образом отличается от ЗРШР. У ЗРШК оно унимодальное, узкое с максимальным количеством микропор с диаметром порядка 4 нм.

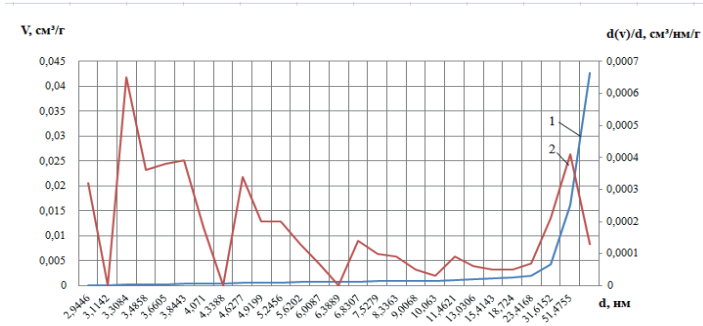


Рисунок 1– Распределение пор по размерам у ЗРШР по методу ВЈН

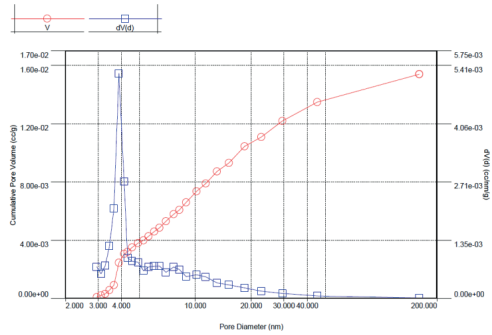


Рисунок 2 – Распределение пор по размерам ЗРШК по методу BJH

У ЗРШР фиксируются поры с размерами более 40 нм (мезопоры) и распределение пор по размерам имеет полимодальный характер. Таким образом, ЗРШР имеет неравномерную структуру пор, с большим количеством, как микропор, так и мезопор, диаметр которых отличается примерно на порядок. Зола шелухи риса выращенного в Конго имеет значительно меньшую маслоемкость, по сравнению с шелухой риса из Краснодара, несмотря на ее большую пористость (табл. 3 и 4). Это связано с преимущественным содержанием у ЗРШК микропор и практическим отсутствием мезопор (рис.2).

Таблица 4 – Маслоемкость и pH водной вытяжки золы РШ

№ п/п	Наполнитель	pH	Маслоемкость, г/г
1	ЗРШР	8,92	110
2	ЗРШК	9,02	37

pH водной вытяжки образцов золы рисовой шелухи как из РФ, так и Конго, свидетельствует о щелочном характере их поверхности, причем pH ЗРШР ниже, чем у ЗРШК. Возможно, это связано с большей влажностью климата в Конго.

Наполнение эпоксидных материалов ЗРШ на основе риса, как из России, так и Конго, обуславливает (табл.5) заметное снижение их износа и коэффициента статического трения, практически не зависящее от страны выращивания этой зерновой культуры.

Таблица 5 - Эксплуатационные характеристики эпоксидных композиций, наполненных ЗРШК и ЗРШР

№ п/п	Тип наполнителя	Износ, $x10^{-6}$ м	Твердость, HSD	Коэффициент трения
1	Не наполненный	19	46,1	0,39
2	ЗРШР	11,2	49,8	0,19
3	ЗРШК	11,5	42,9	0,18

Большее влияние вида риса проявляется в случае твердости композиций, которая заметно выше при применении в качестве наполнителя ЗРШР. Это связано с различным фазовым составом золы. Вероятно, более перспективным

является силикатный наполнитель, содержащий диоксид кремния, как в аморфной, так и кристаллической фазе

Заключение. Таким образом, агроклиматические условия выращивания риса значительным образом влияют на фазовый состав и свойства продуктов переработки его отходов и в относительно небольшой степени изменяют величину их модифицирующего эффекта в эпоксидных композициях.

Литература

1. Madrid, R. Production and characterisation of amorphous silica from rice husk waste / R. Madrid, C. A. Nogueira, and F. Margarido // Proceedings of the 4th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation. -2012 - P. 1817 – 1822.

2.Della, V. P. Rice husk ash as an alternate source for active silica production / V. P.Della, I. Kühn, and D. Hotza // Mater. Lett. – 2002. – Vol. 57. – No. 4. –P. 818–821.

3. The effects of chemical treatment on the structural and thermal, physical, and mechanical and morphological properties of Rice Hull Ash reinforced PVC composites / R. Nadlene [et al.] // Polym. Compos. - 2018. - V. 1. - № 39. - 274-287.

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННЫХ МЫШЦ

Давыдов Эльдар Александрович, студент-магистрант.
permskychel@yandex.ru
Хабибуллин Фаниль Фаргатович, доцент, к.т.н.
fanil_arsk@mail.ru
Малкова Виктория Владимировна, студент-бакалавр.
vikulka_18_01@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, ул. Большая Красная 55, Казань, 420015, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассмотрим основные схемы работы искусственных мышц, которые потенциально имеют большие перспективы глобального использования в бионике и робототехнике в будущем. Были проанализированы виды искусственных мышц, которые работают посредством изменения электромагнитного поля, температуры, Ph-среды, благодаря сверхсперилизации и электрическим импульсам. Каждый вид разработок, выполняющий функцию мышц, был рассмотрен отдельно.

Цель настоящего обзора заключалась в том, чтобы проанализировать основные принципы и схемы работы механизмов, выполняющих функцию мышц.

Abstract. In this article, we will consider the main schemes for the operation of artificial muscles, which potentially have great prospects for global use in bionics

and robotics in the future. The types of artificial muscles that work by changing the electromagnetic field, temperature, Ph-environment, thanks to supersperilization and electrical impulses were analyzed. Each type of development that performs the function of muscles was considered separately.

The purpose of this review was to analyze the basic principles and schemes of the mechanisms that perform the function of muscles.

Ключевые слова: Искусственные мышцы, бионика, принцип работы.

Ведение. В современном мире огромную популярность начинают получать бионические роботы. Все бионические роботы проектируются по подобию живых существ, которые обитают на планете земля. Для бионических роботов необходимо компактное устройство, которое не будет потреблять большое количество энергии, будет легким и функциональным. Будут рассмотрены лишь некоторые варианты, которые, на мой взгляд, являются более новыми и перспективными в роботостроении, которые смогут в полной мере заменить гидроприводы, пневмоприводы и электродвигатели.

Схемы работы искусственных мышц.

У вех устройств разный принцип работы, которые работают на принципе движения от электромагнитных волн, некоторые на принципе нагрева работающего тела или от изменения Ph-среды.

В качестве мышц первого типа используются разработанный модуль, в основе которого находится материал, который изменяет свои размеры в заданном направлении. (см. рис. 1)

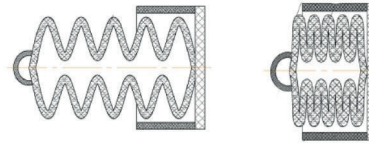


Рисунок 1 – Схема катушки индуктивности.

Модуль состоит из гофрированной трубки из эластичного материала двухкомпонентного силикона с примесью ферромагнитных частиц карбонильного железа, которые являются магнитовосприимчивым материалом. Источником электромагнитного поля выступает катушка индуктивности.

В затвердевшем силиконе мелкодисперсные частицы располагаются в ориентированном вдоль оси трубки виде. Ориентацию этих частиц проводят на этапе изготовления гофрированной трубки. На частицы воздействуют магнитным полем до того времени, пока силикон полностью не высохнет, из-за этого частицы ориентируются в необходимом направлении вдоль силовых линий магнитного поля.

Во время работы, когда на частицы действует электромагнитное поле они намагничиваются. Частицы, расположенные рядом, притягиваются друг к другу в осевом направлении, усиливая, по принципу суперпозиции, магнитные свойства каждого витка гофрированной трубки. Гофра, под действием

электромагнитного поля, сжимается, притягивая к катушке подвешенный груз. При отключении электричества от катушки индуктивности гофра распрямляется и груз возвращается в исходное положение [1].

Ко второму типу относятся мышцы из тонких полимерных (нейлоновых) трубок. (см. рис. 2) Они также подразделяются на две подгруппы.

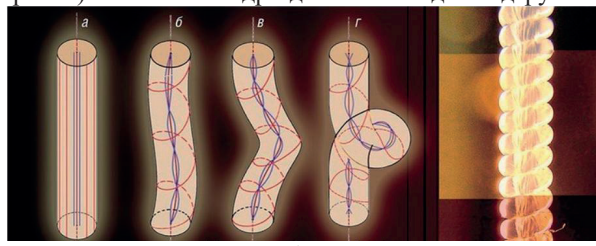


Рисунок 2 – Схема образования вторичной закрутки.

Первая подгруппа – это мышцы, сокращающиеся при повышении температуры. Мышцы питаются за счет энергии тепла из-за перепада температур. Скручивание полимерного волокна превращает его в устройство, выполняющее роль мышцы, которая способна вращать ротор со скоростью около 10 тысяч оборотов в минуту.

Если продолжать скручивать нейлоновую леску, то это скручивание конвертирует ее в спиралевидную мышцу. Она сжимается вдоль своей длины по мере нагревания, но при охлаждении возвращается в исходное состояние.

Мышцы такого типа могут сокращаться на 50% от первоначальной длинны, в отличие от природных мышц, которые сокращаются лишь на 20%. Такие мышцы значительно выносливее природных мышц и не теряют производительность по мере их использования. Также они гораздо сильнее естественных человеческих мышц – способны поднять вес и генерировать механическую энергию в 100 раз больше.

Вторая подгруппа – это мышцы, которые скручиваются за счет электрических импульсов. (см. рис. 3) Они состоят из материала. Который представляет собой сложный композит полимеров. В материале скомбинированы два вида полимеров: полимеры, которые могут растягиваться примерно в 10 раз, и полимеры, которые могут выдержать вес, превосходящий их собственный примерно в 500 раз.

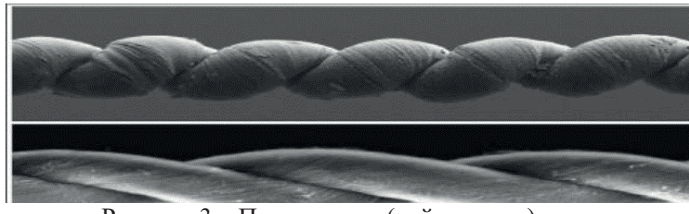


Рисунок 3 – Полимерные (нейлоновые) мышцы.

Этот тип мускулов может растягиваться в 5 раз от первоначальной длины и поднимать вес, который превосходит их собственный в 80 раз [4, 5].

Также к мышцам, работающим от энергии тепла можно отнести и актуатор из эластомера с жидким этанолом. Схема его работы представлен на рисунке 4. В данном типе в эластомер необходимой формы добавлен этанол в форме маленьких пузырьков. Через центр рабочего тела проходит электрический провод. При прохождении через провод электричества сам провод, и, соответственно, эластомер нагреваются. При нагревании этанол испаряется и расширяется в объеме, увеличивая объем искусственной мышцы. Когда ток прекращает течь по проводу – провод и эластомер охлаждаются, этанол конденсируется, а рабочее тело уменьшается в объеме [2].

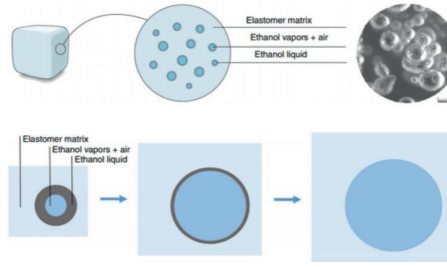


Рисунок 4 – Принцип расширения актуатора.

Третьим вариантом исполнения искусственных мышц являются электроактивные полимерные гидрогели. (см. рис. 5) Активировать их можно различными способами: начиная от использования электрического тока и изменения Ph-среды, заканчивая световым и тепловым воздействием, а также их совместном взаимодействием.

Основными проблемами данной технологии является то, что гидрогели имеют крайне низкие физико-механические свойства и сложность подачи электрического тока через электроды к ним.

Также гидрогели используют для пропитки волокон, которые в последствии выполняют функции мышц. При изменении Ph-среды, в котором располагается пропитанное волокно оно скручивается подобно ДНК-структуре (сверхсперализация). Утверждается, что искусственные мышечные волокна способны сокращаться на 90 процентов от исходной длины и превосходят мышцы млекопитающих более чем в 30 раз по величине производимой работы на единицу массы.

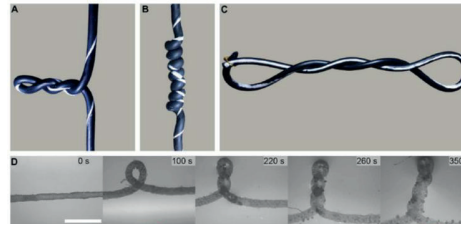


Рисунок 5 – Образование супервитков.

Основным недостатком данного вида мышц является скорость их работы. Скорость их действия низкая, что значительно ограничивает область их применения [3].

Заключение. Таким образом, можно сказать, что существует множество новых инновационных технологий, которые могут беспрепятственно выполнять функции биологических мышц. Все устройства, рассмотренные в статье выше компактны и энергоэффективны. В бионике и робототехнике все представленные разработки в будущем могут заместить гидроприводы, пневмоприводы, а также электродвигатели в полной мере.

Библиографический список:

1. Буравцов А.С., Григорьев Б.В. Разработка технологии создания магнитоуправляемого упругого материала // Sciences of Europe. 2019. №43-1 (43). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-sozdaniya-magnitoupravlyaemogo-uprugogo-materiala (дата обращения: 6.10.2022).

2. Мягкие искусственные мышцы привели в действие электричеством // NPLUS1.RU: ежедн. интернет-изд. 2017. 19 сен. URL: https://nplus1.ru/news/2017/09/19/soft-robotic-actuator (дата обращения: 6.10.2022).

3. Пропитанные гидрогелем спирали превратили в искусственные мышцы // NPLUS1.RU: ежедн. интернет-изд. 2021. 12 май. URL: https://nplus1.ru/news/2021/05/12/artificial-muscles-inspired-by-dna (дата обращения: 6.10.2022).

4. Искусственные мышцы из нейлоновой лески // SCFH.RU: ежедн. интернет-изд. 2021. 12 май. URL: https://scfh.ru/papers/iskusstvennye-myshtsy-iz-neylonovoy-leski/ (дата обращения: 6.10.2022).

5. Матюнин В.И. Искусственные мышцы из нейлоновой лески [Электронный ресурс] / 7. Матюнин В.И., Щетников А.И // Наука из первых рук. - 2015. - том 64, №4. - С. 122-127.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВОЛЛАСТОНИТА И ДИОПСИДА

А.В.Долгова, А.Р. Валеева
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ), г. Казань
E-mail: alinkadolgova@icloud.com

Аннотация: Большой интерес для композиционных полимерных материалов представляет использование в качестве минеральных наполнителей метасиликата кальция (волластонита) и кальций-магниевого силиката (диопсида), поскольку введение природных силикатных наполнителей изменяет процесс формирования материалов, содержащих ненасыщенные полиэфирные смолы. Минеральные наполнители – волластонит и диопсид ускоряют процесс отверждение полиэфирных смол за счет высокой или низкой адсорбционной способности. С увеличением количества вводимых наполнителей от 30 до 60 мас. % наблюдается усиление отмеченного эффекта. Введение волластонита и диопсида упрочняет структуру получаемых композиционных материалов, замедляет процесс их термической деструкции, таким образом, экзотермические эффекты смещаются в сторону более высоких температур.

Ключевые слова: волластонит, диопсид, полиэфирная смола, дифференциально-термический анализ.

Abstract: The use of calcium metasilicate (wollastonite) and calcium-magnesium silicate (diopside) as mineral fillers is of great interest for composite polymer materials, since the introduction of natural silicate fillers changes the formation process of materials containing unsaturated polyester resins. Mineral fillers – wollastonite and diopside accelerate the curing process of polyester resins due to high or low adsorption capacity. With an increase in the number of fillers introduced from 30 to 60 wt. % there is an increase in the noted effect. The introduction of wollastonite and diopside strengthens the structure of the resulting composite materials, slows down the process of their thermal destruction, thus exothermic effects are shifted towards higher temperatures.

Keywords: wollastonite, diopside, unfilled resin, differential thermal analysis.

Большой интерес для композиционных полимерных и строительных материалов представляет использование в качестве минеральных наполнителей [1-3] метасиликата кальция (волластонита) и кальций-магниевого силиката (диопсида). Они применяются для производства красок, грунтовок, шпатлевок, сухих смесей и керамики [2], а также в резинах и композициях на основе линейных и сетчатых полимеров.

Актуальность создания полимерных композиционных материалов на основе природных силикатов: диопсида, волластонита, заключается в том, что эти минералы достаточно дешевы и содержатся в большом количестве.

По данным термического анализа установлено, что термодеструкция образцов композиционных материалов протекает в две стадии. На кривой ДТА ненаполненного образца (рисунок 1а, кривая 1) наблюдается 2 экзотермических эффекта: при температурах 390 ºС и 589 ºС. На первой стадии происходит разложение материала, что подтверждается потерями до 83 % массы на кривой ТГ (рисунок 1б, кривая 1), второй экзотермический пик возникает при сгорании продуктов деструкции – потеря массы на этом этапе составляет 14 %. Температура начала разложения ($T_{н.р.}$) отвержденной смолы соответствует 125 ºС.

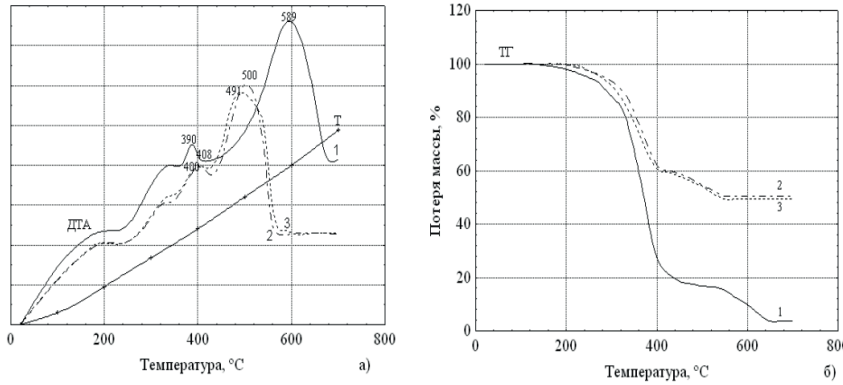


Рисунок 1 - Кривые ДТА (а) и ТГ (б): 1 – ненаполненная смола, 2 – 50 мас. % волластонита, 3 – 50 мас. % диопсида.

Данные результатов термического анализа приведены в таблице 1, из которой видно, что введение наполнителей замедляет процесс деструкции, сдвигая начальную температуру разложения и первый тепловой эффект в сторону более высоких температур. С ростом количества наполнителя эффект стабилизации усиливается, что подтверждается увеличением значений эффективной энергии активации на первой стадии. Так, начало разложения композита, содержащего 50 мас. % волластонита, соответствует 175 ºС, 50 мас. % диопсида – 188 ºС.

Изменение предельной температуры эксплуатации КМ обусловлено снижением кинетической подвижности макромолекул, вызванным их адсорбционным взаимодействием и образованием химических связей с поверхностью наполнителя. Определенную роль играют также процессы замедления диффузии кислорода к макромолекулам полимера из-за образования в нем более плотноупакованной структуры межфазного слоя.

Смещение в область более низких температур второго экзотермического эффекта в наполненных композитах связано с каталитическим воздействием поверхности твердого тела. Электронное возбуждение его поверхностных атомов передается молекулам, ударяющимся о поверхность, что и обусловливает снижение температуры горения при возрастании величины удельной поверхности наполнителя.

Таблица 1 - Температура и энергия активации процессов деструкции композиционных материалов по данным термического анализа.

Содержание наполнителя в композиции, масс. %	$T_{н.р.}$, **ºС**	**Стадии процесса**					
		1			**2**		
		Температурный интервал, ºС	T_{max}, **ºС**	E_a, **кДж/моль**	**Температурный интервал, ºС**	T_{max}, **ºС**	E_a, **кДж/моль**
Ненаполненная смола	125	190-460	355	80,0	460-650	589	42,1
30 % волластонита	145	200-440	360	90,8	440-573	519	35,4
50 % волластонита	175	240-433	369	93,4	433-543	500	32,2
60 % волластонита	180	245-430	3733	94,2	430-540	496	31,3
30 % диопсида	166	230-440	365	92,2	440-600	530	37,8
50 % диопсида	188	250-423	362	95,7	423-550	491	29,5
60 % диопсида	195	256-420	365	96,5	420-540	485	28,3

Таким образом, введение диопсида и волластонита приводит к упрочнению структуры полиэфирной смолы, что проявляется в существенном повышении предельных температур эксплуатации композиционных материалов от 125 ºС для ненаполненной смолы до 195 ºС при введении 60 мас % диопсида. Эффективность наполнения волластонитом, и, особенно диопсидом подтверждается увеличением значений эффективной энергии активации на первой стадии процесса термоокислительной деструкции.

Литература:

1. Горчаков Г.И. Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. - М.: Стройиздат, 1986. - 688с.

2. Бердов Г.И. Нанопроцессы в технологии строительных материалов / Г.И. Бердов, .Н. Зырянова, А.Н. Машкин, В.Ф. Хританков // Строительные материалы, 2008, №7. - с. 78-80.

3. Заболотская А.В. Разработка технологий получения и изучения физико-химических свойств композиционных материалов на основе природных силикатов / Заболотская А.В., Мухин А.С., Бородина И.А. // Тезисы V Всероссийской конф. «Керамика и композиционные материалы». - Сыктывкар: КомиНЦ УрО РАН, 2004 - С. 172

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗОНЫ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ СРЕДСТВАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Звездин Валерий Васильевич,
Саубанов Рузиль Рашитович,
Рахимов Радик Рафисович,
Хисамутдинов Равиль Миргалимович
Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны, Россия
e-mail: rafisih88@mail.ru, saubanov@mail.ru

Сыркин Сергей Сергеевич
Лениногорский филиал Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ), г. Лениногорск, Россия
e-mail: s.s.sirkin@mail.ru

Аннотация. Изложены особенности прецизионного наведения фокуса лазерного излучения на стык при сварке. Показано, что качество технологического процесса сварки зависит не только от энергетических характеристик лазерного технологического комплекса, температуры зоны воздействия, но и от точности наведения фокуса лазерного излучения на стык. Результаты исследований показывают, что отклонение фокуса лазерного излучения от стыка деталей не должно превышать 8-10 мкм. Предложена система технического зрения для прецизионного наведения фокуса лазерного излучения на стык свариваемых деталей.

Abstract. The features of precision focusing of laser radiation on the joint during welding are described. It is shown that the quality of the welding technological process depends not only on the energy characteristics of the laser technological complex, the temperature of the affected zone, but also on the accuracy of focusing the laser radiation on the joint. Research results show that the deviation of the focus of laser radiation from the joint of parts should not exceed 8-10 microns. A vision system is proposed for precision focusing of laser radiation on the joint of the parts to be welded.

Ключевые слова: лазерная сварка, следящий привод; точность позиционирования; структурная схема следящего привода, балки, прецизионное, техническое зрение.

Введение. На современных машиностроительных предприятиях в условиях новых экономических требований успешно развиваются технологии, связанные с использованием роботизированных лазерных технологических комплексов (РЛТК). Вывод на рынок новых изделий на российских машиностроительных предприятиях требует разработки лазерных прецизионных технологий. В настоящее время для решения актуальных задач лазерного воздействия в технологии концентрированных потоков энергии

активно разрабатываются и исследуются лазерные технологические комплексы (ЛТК) высокой плотности мощности излучения. [1-3].

В статье представлены результаты исследований по лазерной сварке балки заднего моста грузового автомобиля с прецизионным наведением фокуса излучения на стык на роботизированном лазерном технологическом комплексе. Лазерная сварка балки моста проводилась без механической обработки стыковых поверхностей балок после лазерной резки, без присадочного материала и дополнительных энергий, таких как ультразвуковая, тепловая и т.п.

Качество свариваемых балок заднего моста достигается за счет введения в систему автоматического управления (САУ) технологического комплекса систему технического зрения (СТЗ), обеспечивающее прецизионное наведение фокуса лазерного излучения на стык. [3].

Теоретические и экспериментальные исследования.

Прецизионное наведение фокуса лазерного излучения (ЛИ) на стык осуществлялась системой технического зрения (СТЗ) в системе автоматического управления (САУ) роботизированным лазерным технологическим комплексом (РЛТК) с пьезоприводом лазерной головки. Угловое смещение лазерной головки на один градус при длиннофокусной линзе позволяет перемещать фокус ЛИ относительно стыка на требуемое расстояние с целью компенсации возмущающих воздействий [4].

Лазерная головка, размещенная на руке РЛТК, который по программе осуществляет перемещение фокуса ЛИ по стыку свариваемых балок. Данная технологическая операция ЛС осуществляется во время контроля положения центра четырёх площадочного ФП относительно стыка [4-5]. Информация о смещении передаются на ЭВМ с МФП. Во время лазерной сварки ЭВМ выдает управляющие сигналы, посредством УИП на РЛТК, тем самым осуществляется прецизионное позиционирование фокуса ЛИ относительно стыка. Сигнал рассогласования возникает при неравенстве освещенных частей верхней и нижней областей чувствительных площадок ФП, которые представляют собой фоторезистивными слоями [4-5].

Управление пъезоприводом осуществляется УИП через интерфейс с ЭВМ. Пъезопривод перемещает оптическую головку лазера на угол не более чем на 1 градус, а это обеспечивает перемещения фокуса ЛИ по оси X около 1 мм при длиннофокусной линзе.

Излучатель представляет собой лазерный светодиод с коллиматором, который минимизирует расходимость лазерного пучка и обеспечивает проекцию параллельного пучка в виде пятна излучателя на стыке свариваемых элементов конструкции. Блок делителя ЛИ излучателя представляет собой полупрозрачное зеркало, расположенное под углом 45 градусов и осуществляет деление падающего пучка от излучателя и отраженного от стыка на площадки МФП.

Анализ взаимосвязи параметров РЛТК, характеристик ТП сварки различных металлов выявил, что наибольшее влияние на них оказывает температура.

Отсюда следует, что главным критерием оценки качества параметров ТП сварки выступает температура зоны взаимодействия ЛИ с металлом. Оптимальным путем построения САУ, приводящим к стабилизации показателей качества сварки, является стабилизация заданного значения температуры в зоне взаимодействия ЛИ с металлами и прецизионное позиционирование фокуса ЛИ на их стыке [4-6].

На рисунке 1 представлена структурная схема РЛТК сварки элементов конструкции с системой технического зрения (СТЗ).

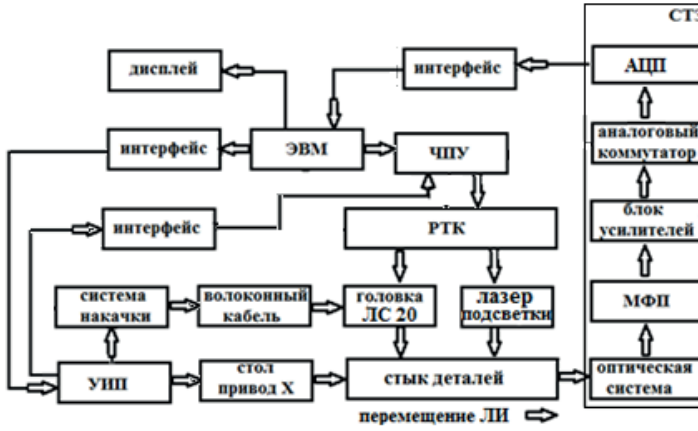


Рисунок 1. Структурная схема РЛТК сварки элементов балки заднего моста с системой технического зрения

где: АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ЭВМ – электронно-вычислительная машина; ЧПУ – числовое программное управление; РТК – робототехнический комплекс; МФП – матричный фотоприемник; УИП – управляемый источник питания.

Чувствительным элементом СТЗ является МФП. Размер чувствительных площадок МФП составляет 25 х 25 мкм. Прецизионное наведение и контроль тактического уровня положения фокуса ЛИ на стыке свариваемых элементов конструкции осуществляется приводом с управлением СТЗ. СТЗ обеспечивает слежение за положением фокуса ЛИ.

На рисунке 2 показана функциональная схема прецизионного наведения фокуса ЛИ на стык свариваемых элементов балки заднего моста.

При отклонении поворотного зеркала на угол 45^0 по команде с ЭВМ, ЛИ от излучателя, подается через полупрозрачное зеркало блока делителя ЛИ и оптическую линзу лазерной головки направляется на стык свариваемых балок заднего моста.

Канал грубой регулировки положения фокуса ЛИ технологического лазера управляется посредством стратегического уровня робототехнического комплекса. Точность позиционирования робота-манипулятора составляет ± 50 мкм, что недостаточно для наведения пятна фокуса диаметром 400 мкм на стык

шириной 100 мкм. Канал точной регулировки положения фокуса ЛИ технологического лазера относительно стыка посредством привода, позволяет повысить точность позиционирования до ± 5 мкм относительно стыка свариваемых балок моста по оси X [3-4].

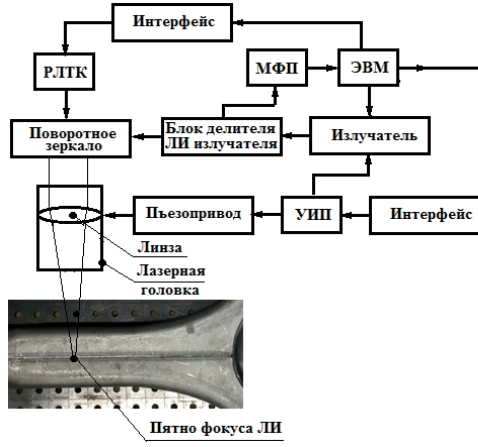


Рисунок 2. Функциональная схема прецизионного наведения фокуса ЛИ на стык свариваемых элементов балки заднего моста.

Лазерная головка установлена на РЛТК, который по программе осуществляет перемещение фокуса ЛИ по стыку свариваемых элементов балки заднего моста.

Вывод. Для автоматизации и повышения производительности процесса ЛС балки заднего моста грузового автомобиля разработана система технического зрения для слежения стыка и наведения на него пятна фокуса ЛИ с высокой точностью 0,01 мм. Прецизионное позиционирование фокуса луча на стык обеспечивается поворотом оптической головки на определенный угол пьезоприводом. Приведенные результаты исследований сварного шва стали, используемой при изготовлении балки заднего моста, позволяют судить о возможности внедрения данной технологии в производство.

Литература

1. Григорьянц, А. Г., Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров; под ред. А. Г. Григорьянца; — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. — 664 с.

2. Лазерная технология обработки инструментальных сталей / Звездин В.В., Хисамутдинов Р.М., Гречишников В.А., Саубанов Р.Р., Исрафилов И.Х., Портнов С.М., Юрасов С.Ю. // СТИН. 2018. № 6. С. 29-32.

3. Automatic control system of high-precision welding of preparations by the laser radiation at influence of the plasma torch / Zvezdin V.V., Israfilov D.I., Portnov S.M., Saubanov R.R., Rakhimov R.R., Zvezdina N.M. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 9-3. С. 51-54.

4. Прецизионное наведение фокуса лазерного излучения на стык при сварке длинномерных конструкций / Рахимов Р.Р., Звездин В.В. // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2021. № 1 (87). С. 74-82.

5. A system for automatic control of precision laser welding in engineering / Grigoryants A.G., Perestoronin A.V., Portnov S.M., Zvezdin V.V., Israfilov I. Welding International. 2015. Т. 29. № 10. С. 801-804.

6. Управление процессом лазерной сварки на основе анализа информативных сигналов / Звездин В.В., Саубанов Р.Р., Рахимов Р.Р., Спирин А.А. // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2016 (МНТК "ИМТОМ-2016"). Материалы Международной научно-технической конференции. 2016. С. 68-72.

ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ ИНОМЕРЫ КАК СЕЛЕКТИВНЫЙ СЛОЙ ПЕРВАПОРАЦИОННЫХ МЕМБРАН

Клинов А.В., Латыпов Д.Р., Фазлыев А.Р., Топунов И.В.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Российская Федерация, Республика Татарстан, Казань, ул.К.Маркса, 68, 420015

Изготовлены и исследованы первапорационные мембраны на основе фосфорорганических полиуретановых иномеров в качестве материала селективного слоядля разделения смеси изопропанол-вода.

Ключевые слова: первапорация, азеотропная ректификация, экстрактивная ректификация, изопропанол-вода, аминоэфиры ортофосфорной кислоты.

Pervaporation membranes based on organophosphorus polyurethane inomers as a selective layer material for separating an isopropanol-water mixture have been fabricated and studied.

Keywords: pervaporation, azeotropic rectification, extractive rectification, isopropanol-water, aminoesters of orthophosphoric acid

Первапорация — это процесс мембранного разделения жидких смесей, движущей силой в котором является разность парциальных давлений. Согласно модели, растворение-диффузия процесс первапорационного разделения проходит в 3 этапа:

- преимущественная сорбция одного из компонентов жидкой смеси на селективном слое мембраны;
- диффузия компонента через селективный слой;
- последующее удаление компонента на обратной стороне селективного слоя мембраны при помощи вакуума или газа-носителя.

Изопропиловый спирт получил широкое распространение во многих областях промышленности: химической, полупроводниковой и микроэлектронной, пищевой (в виде очистителя), а также вмедицине (аэрозольный растворитель, дезинфектор) и других. С каждым годом спрос на абсолютированный изопропиловый спирт растёт. Актуальным становиться вопрос его регенерации, использование традиционных методов разделения, таких как азеотропная и экстрактивная ректификация становиться экономически нецелесообразным. В данных процессах необходимо использование разделяющих агентов, появляется потребность в их последующей регенерации, что заметно усложняет процесс и увеличивает экономические затраты на производство, помимо прочего зачастую разделяющие агенты являются токсичными. В связи с этим перпапорационное разделение с использованием полимерных мембран является достойной альтернативой, хотя и обладает недостатками, одними из которых является низкая устойчивость полимера к загрязнению.

По отношению к традиционным методам разделения первапорация имеет следующие преимущества:

- высокая селективность процесса;
- разделение происходит при достаточно низких температурах, что допускает использование низкопотенциальных теплоносителей;
- отсутствует потребность в использовании ирегенерации больших объемов рабочих агентов как в случае адсорбции, экстракции, экстрактивной ректификации;
- простота масштабирования.

Полиуретаны являются перспективными материалами для использования в качестве селективного слоя при изготовлении полимерных первапорационных мембран. На селективность и производительность полиуретановых мембран влияет химическая и физическая структура используемых материалов. Полимерные цепи в полиуретане имеют в своей структуре гибкие и жесткие сегменты, за них отвечают полиэфирдиол и диизоцианат. Гибкая структура полиэфирдиола влияет на сопротивление диффузии органического компонента, выбор диольного соединения влияет на сродство органического компонента. Жесткая структура придает механическую прочность из-за водородных связей уретановых групп. Уникальность полиуретанов заключается в том, что, комбинируя диольные и диизоцианатные соединения можно управлять структурой и свойством полимера.

Несмотря на перспективность использования полиуретанов в процессе первапорационного разделения, в настоящее время проведено мало исследований, посвященных проблеме разделения смесей, изопропанол-вода и этанол-вода. Таким образом, нашей целью стала разработка эффективной мембраны для первапорационного разделения смесей изопропанол-вода и этанол-вода. Основными недостатками существующих полиуретановых мембран является то, что трудно поддерживать баланс между производительностью и селективностью, такжесвой вклад вносит низкая

химическая и механическая стабильность. Полиуретановые иономеры могут решить данную задачу, благодаря их использованию можно получить эффективные и высокоселективные первапорационные мембраны.

Были изготовлены и исследованы первапорационные мембраны на основе фосфорорганических полиуретановых иономеров (АЭФК-ПУ) для разделения смеси изопропанол-вода. АЭФК-ПУ были синтезированы на основе простых аминоэфиров ортофосфорной кислоты (АЭФК). В ходе исследований выявлены следующие закономерности: увеличение содержания растворенных веществ в составе уретанообразующей системы и содержания ионогенных групп в АЭФК приводит к заметному увеличению паропроницаемости получаемых пленочных материалов, а увеличение значений паропроницаемости сопровождается значительным увеличением характеристик первапорации АЭФК-ПУ, благодаря гидрофильности полиоксиэтиленгликоля для АЭФК-ПУ, синтезированного с использованием полиэтиленгликоля (ПЭГ), достигаются наивысшие значения паропроницаемости и характеристик первапорации, а при повышении температуры процесса разделения заметно возрастает производительность, но падает селективность. Данные по используемым материалам и результатам исследований представлены в табл.1.

Таблица 1.Материалы, используемые для проведения процесса первапорационного разделения иполученные данные.

Полиуретан	Производительность, г/м^2 ·ч	Селективность
Температура проведения процесса: 40 ^{0}C		
АЭФК-3-ППГ-1000-ПУ	880	51
АЭФК-4-ППГ-1000-ПУ	1021	49
АЭФК-5-ППГ-1000-ПУ	1145	52
АЭФК-6-ППГ-1000-ПУ	1250	45
АЭФК-3-ПЭГ-1000-ПУ	653	151
АЭФК-4-ПЭГ-1000-ПУ	805	148
АЭФК-5-ПЭГ-1000-ПУ	2039	56
АЭФК-6-ПЭГ-1000-ПУ	1580	65
Температура проведения процесса: 60 ^{0}C		
АЭФК-3-ППГ-1000-ПУ	1800	28
АЭФК-4-ППГ-1000-ПУ	2551	26
АЭФК-5-ППГ-1000-ПУ	2655	214
АЭФК-6-ППГ-1000-ПУ	2853	21
АЭФК-3-ПЭГ-1000-ПУ	1859	72
АЭФК-4-ПЭГ-1000-ПУ	2298	71
АЭФК-5-ПЭГ-1000-ПУ	3734	54
АЭФК-6-ПЭГ-1000-ПУ	2624	62

В настоящей работе были исследованы полимерные полиуретановые первапорационные мембраны изготовленные на основе АЭФК, синтезированные с использованием ПЭГ и полипропиленгликоля (ППГ) в качестве боковых гибких цепных ответвлений. Из результатов, полученных в этой работе, можно сделать вывод, что проницаемость для водяного пара и коэффициент разделения при первапорации для смесейизопропанол-вода значительно увеличиваются при увеличении содержания ортофосфорной кислоты в составе селективного слоя мембраны. Также с повышением температуры проведения процесса возрастает поток, но снижается селективность. Полиуретановые мембраны на основе АЭФК являются перспективными мембранными материалами для первапорационного разделения смесей изопропанола и воды, за счет отличных разделительных характеристик, а также высокой прочности и термостойкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант РНФ №19-19-00136.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т, ПОЛУЧЕННОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ

Колесников Дмитрий Николаевич
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

Махмутянов Артур Наилевич
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ, ООО «Динамика»

Аннотация. Исследования влияния термической обработки на структуру сварного шва из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, полученного при помощи расфокусированного лазерного луча. Изучена структура полученная после сварки, также после различных видов термической обработки.

Abstract. Studies of the effect of heat treatment on the structure of a 12X18H10T stainless steel weld obtained using a defocused laser beam. The structure obtained after welding, as well as after various types of heat treatment, has been studied.

Ключевые слова: Сварка, нержавеющие стали, термическая обработка.

Keywords: Welding, stainless steel, heat treatment.

Лазерная варка как способ соединения металлов находит всё более широкое распространение в промышленности, так как обладает рядом преимуществ, в отличии от дуговых методов, сварка при помощи лазерного луча за счёт большей плотности энергии позволяет снизить воздействие на свариваемый металл, несмотря на это необходимо учитывать такие факторы как

изменение размера зерна и перераспределение легирующих и вредных элементов в сварном шве при кристаллизации.

В стабильно-аустенитных сталях с соотношением $Cr_э/Ni_э<1,12$ кристаллизация протекает путём выделения из жидкости γ-твёрдого раствора до полного исчезновения жидкой фазы. При большем соотношении $Cr_э/Ni_э$ в интервале температур между ликвидусом и солидусом происходит последовательное выделение из жидкости двух твёрдых фаз: Аустенита и междендритного эвтектического феррита, который образуется из последних порций жидкой фазы, обогащённой хромом и никелем по ликвационному механизму. В условиях ускоренного охлаждения при сварке швы состоят из крупнокристаллической матрицы с остаточным ферритом в виде прерывестиых выделений по границам дендритных ячеек. Несмотря на наличие этого ферритной составляющей, данные стали указанных составов по существу имеют однофазную кристаллизацию что приводит к укрупнению кристаллов со слабо развитыми осями второго порядка и со значительной развитой ликвацией. Наиболее крупное кристаллическое строением имеет центр шва.

Принципиальные изменения в формировании шва получают стали, у которых соотношение $Cr_э/Ni_э>1,3$. В этих сталях ведущей фазой кристаллизации является феррит. Из него формируется осевая часть дендритных ячеек, где в результате ликвации меньше Ni. Этот феррит называется вермикулярным т.е. преобладающим. Остальная часть жидкой фазы образует твёрдый γ-раствор. В результате совместной кристаллизации феррита и аустенита образуются ячейки с весьма развитой дендритной формой и высокой дисперсности. Кроме того, В междендритных пространствах, обогащённых Cr, образуется эвтектический феррит. После замедленного охлаждения в швах этого состава сохраняется около 5 % остаточного феррита. Остальной феррит преобразуется в асутенит в твердофазном состоянии. Такой шов приобретает однофазную аустенитную структуру после аустенизации. Наряду со структурным составом важным параметром строения шва является схема его кристаллизации. Сварка с большими скоростями приводит к образованию неблагоприятного высокого угла встречи между двумя растущими кристаллитами, а сварка с малыми скоростями, к возникновению осевого кристалла, стекающегося с двух сторон с двумя фронтами кристаллов под большим углом. Значительная разориентировка между осевыми и боковыми кристаллитами увеличивает ликвацию по границам и плотность ростовых дислокаций. Наиболее благоприятная схема кристаллизации с изгибом кристаллитов, при котором угол срастания кристаллитов в центре шва приближается к нулю. В зоне термического влияния стабильно-аустенитных сталей происходят следующие необратимые изменения такие, как расплавление сергегатов и неметаллических включений вдоль строчечных выделений с последующим образованием легкоплавкой сетчатой структуры карбидов и надрывов по периферии шва, происходит образование δ-феррита, коагуляция и растворение избыточных упрочняющих фаз, так же происходит рост зерна в зоне нагреве выше 1000°С что приводит к разбросу размеров зёрен и к разупрочнению металла , в случае сварки лазерным лучом зона термического

влияния оказывает очень малой и практический отсутствует, но в свою очередь создаётся очень больной градиент температуры. Особенно неравномерно зерно расчёт в гомогенных сталях, которые перед сваркой имели наклёп порядка 5-15%. [1]

При продолжительном нагреве до 700-950°С металл шва содержащий ферритную фазу, окручивается вследствие из твёрдой фазы выделения карбидов, обеднения углеродом и образования интерметаллида FeCr-σ-фазы по смеха δ-Fe→$Me_{23}C_6$+σ. Этот процесс создаёт опасность хрупкого разрушения при ударных нагрузках. Гомогенизация швов после сварки, для сталей содержащих δ-феррит по режиму аустенизации снижает скорость охрупчивания и восстанавливает пластичность шва имеющего σ-фазу. Швы с аустенитно структурой имеют большую стабильность свойство в процессе длительной эксплуатации при высокой температуре (до 1000 ч. при 500°С). В зоне термического влияния аустенитных сталей имеется склонность к хрупким разрушениям при высокотемпературной эксплуатации. Аналогично трещинам, образующимся после сварки и термообработки. [1]

При работе в условиях ползучести выше 500°С стабилизирующий отжиг недостаточен (рисунок 2), так как не устраняет в зоне термического влияния опасности локальных разрушений и коррозионного растрескивания в некоторых средах. В этих случаях проводят аустенизацию (закалку) при Т=1100-1150°С с последующим охлаждением в воде считается основной термической обработкой для данной стали, при которой растворяются все упрочняющие фазы в матрице, и достигается получение однородного твёрдого раствора что показано на рисунке 3. [1]

В ходе исследования было выполнено несколько сварных стыковых соединений выполненных расфокусированным лазерным лучом, проведена термическая обработка образцов и исследованы зависимости структуры от температуры термической обработки, рассмотрено два образца с режимами термообработки которые указаны в таблице 1, и один образец которые не подвергался термической обработке после сварки. На рисунке 1 изображено сварное соединений из стали 12Х18Н10Т без последующей термической обработки, на котором видно ярко выраженную текстуру проката и сварное соединение, металл шва имеет выраженную дендритную структуру, из-за это вызвано высокими скоростями охлаждения.

Таблица 1. Режимы термической обработки

Образец (режим ТО)	Режим 1	Режим 2
Температура, ^{0}С	880	1080
Время выдержки, мин	120	120
Среда охлаждения	с печью до 500 ^{0}С, потом в воде	вода

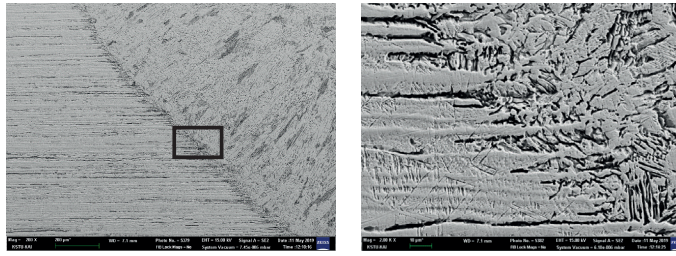


Рисунок 1. Структура сварного соединения из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, полученного при помощи расфокусированного лазерного луча.

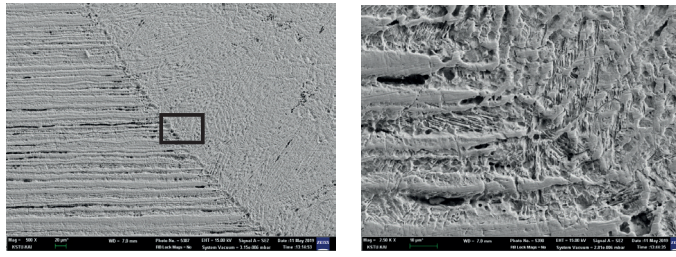


Рисунок 2. Структура сварного соединения из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, полученного при помощи расфокусированного лазерного луча, после термической обработки, после термической обработки по режиму 1.

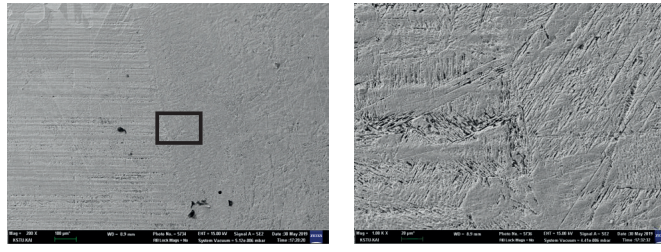


Рисунок 3. Структура зоны сплавления шва из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, полученного при помощи расфокусированного лазерного луча, после термической обработки по режиму 2

Заключение. Сварные соединения выполненные из аустенитной стали 12Х18Н10Т, которые эксплуатируются до температур до 350°С без воздействия агрессивных сред могут не подвергаться термической обработке. При работе в коррозионной среде проводят стабилизирующий отжиг по режиму 1. Это связано с тем что, основной причиной коррозионного растрескивания являются остаточные напряжения, которые полностью устраняются после отжига. Структура сварного соединения полученного при помощи лазерного луча, после отжига показана на рисунке 2. Необходимо учитывать, что,

продолжительный нагрев до 700-950°С может негативно влиять на металл шва содержащий ферритную фазу, который окручивается вследствие выделения из твёрдой фазы карбидов хрома, обеднения углеродом и образования интерметаллида FeCr-σ-фазы по смеха $\delta\text{-Fe} \rightarrow Cr_{23}C_6+\sigma$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т Т 1 Свариваемость материалов. Справ изд. /Под ред. Э Л Макарова *-М.: Металлургия, 1991, с 528.

2. S. V. Kuryntsev, A. E. Morushkin, and A. I. Shigapov Investigation of the structure and properties of steel 30khgsa after volume laser-beam treatment Metal Science and Heat Treatment, Vol. 60, Nos. 11 – 12, 802 – 807

ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛИТЫХ ЛОПАТОК ГТД

Круглов Евгений Петрович, Галимов Энгель Рафикович,
Беляев Алексей Витальевич, Исхаков Булат Ринатович
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева
Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса,10
E-mail: alexey-beljaev@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена технология изготовления охлаждаемых литых лопаток с применением диффузионной сварки. Данный метод успешно апробирован на предприятии по изготовлению газотурбинных двигателей. Экспериментально установлено, что предложенное решение обеспечивает заданные проходные сечения, высокий коэффициент полезного действия и повышает технологичность производства.

Abstract. The technology of manufacturing cooled cast blades using diffusion welding is considered. This method has been successfully tested at an enterprise for the manufacture of gas turbine engines. It has been experimentally established that the proposed solution provides specified flow sections, high efficiency and increases the manufacturability of production.

Ключевые слова: литье, сварка, лопатки, технология, качество.

Одной из проблем изготовления литых охлаждаемых лопаток турбин газотурбинных двигателей (ГТД) является снижение общей трудоемкости их изготовления, а также последующего удаления керамического стержня, образующего внутреннюю полость лопатки. В связи с этим актуальна разработка конструкции и технологического процесса изготовления литой охлаждаемой лопатки турбин ГТД без литейного стержня. Типовая конструкция литой охлаждаемой лопатки двигателя представлена на рис. 1.

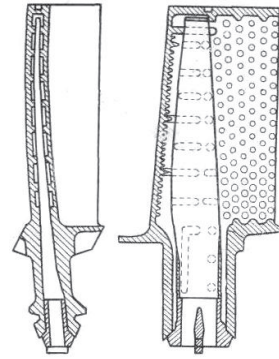


Рисунок 1 – Конструкция литой лопатки ГТД

Одним из перспективных методов изготовления охлаждаемых литых лопаток турбин ГТД [1, 2] без керамических стержней является их изготовление из двух половин, который должен удовлетворять следующим требованиям:

- прочностные характеристики соединения конструкции должны быть не ниже, чем у основного металла лопатки, с сохранением структуры;
- форма и геометрические размеры лопатки при соединении конструкции должны быть сохранены.

Попытки соединения литых охлаждаемых лопаток из двух половин предпринимались в России и за рубежом. Соединения лопаток выполнялись сваркой или пайкой. В таких лопатках практически отсутствуют какие-либо ограничения в придании формы, расположении дефлектора и его гарантированной фиксации.

Охлаждаемая лопатка составной конструкции дает возможность изготавливать ее стенки с высокой точностью и надежно контролировать их размеры; создавать охлаждаемые лопатки с достаточно высоким газодинамическим качеством, главным образом, благодаря малым толщинам профиля и выходной кромки; улучшить интенсивность теплообмена благодаря обеспечению стабильности формы и размеров внутренних каналов, организации струйного охлаждения входной кромки при оптимальном расстоянии между ней и щелью в оболочке [3] и др. Составные лопатки открывают широкие возможности для использования направленной кристаллизации при их отливке и применения нелитейных материалов. Части лопаток можно получить штамповкой с последующими процессами механической, электроискровой, электрохимической обработки или литьем. Опыт изготовления показал, что лопатки, изготовленные из двух частей и соединенные пайкой, имеют по сравнению с цельнолитыми меньшую массу, лучшие аэродинамические характеристики. Однако прочность соединения у них меньше прочности основного металла [4, 5].

Применение диффузионной сварки обеспечивает прочностные характеристики соединения не ниже, чем у основного металла лопатки, с соответствующим сохранением структуры. Для подтверждения данного вывода проведены эксперименты на образцах из литых жаропрочных сплавов и соединенных такой сваркой. В них исключается расплавление соединяемых материалов, отсутствует необходимость в обязательном применении драгоценных металлов в виде припоев, прочность соединений изменяется в широком диапазоне в зависимости от требований к сварному узлу с превышением при этом прочности клеевых и паяных соединений.

Важным свойством диффузионной сварки, как и других способов соединения в твердой фазе, является отсутствие плавления соединяемых материалов. Это исключает проблемы, связанные с ликвацией, растрескиванием и остаточными напряжениями. Материалы, упрочненные дисперсными частицами или волокнами, можно подвергать сварке, не нарушая структуры упрочняющей фазы и не снижая эффективности упрочнения при сохранении структуры зерен. Кроме того, данный способ позволяет получить соединения с большой площадью контактной поверхности. С помощью диффузионной сварки при температуре Т = 0,75Тпл получают сварные конструкции законченных форм и размеров.

Для получения прочного соединения поверхности образцов лопатки тщательно полировались, обезжиривались. Затем соединялись специальными струбцинами и помещались в вакуумную печь. Последующими металлографическими исследованиями была подтверждена возможность применения диффузионной сварки в соединении образцов из жаропрочных сплавов. На приведенных микроструктурах лопатки, полученной диффузионной сваркой (рис. 2) из жаропрочного сплава ЖС30-ВИ для литья рабочих лопаток турбины с температурой Т = 1100 °С, показано отсутствие различаемой границы раздела между соединяемыми деталями.

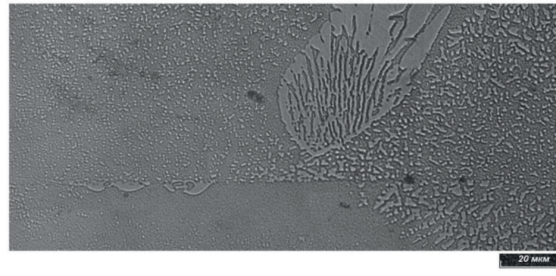


Рисунок 2 – Микроструктура лопатки, полученной с применением диффузионной сварки

Проведенные эксперименты подтвердили возможность сохранения прочностных характеристик соединений двух половинок лопаток на уровне исходного металла и возможность изготовления литых лопаток турбин ГТД без применения керамических стержней.

В настоящее время сопловые лопатки предусмотрено изготавливать секциями, что позволяет снизить зазоры газовоздушного тракта и, соответственно, повысить КПД двигателя. При изготовлении конструкции секционного изготовления наблюдается низкий выход годного литья, так как при браке одной лопатки бракуется вся секция, затруднено нанесение защитных покрытий. Одним из вариантов устранения данных недостатков является изготовление поштучных отливок с последующим их соединением диффузионной сваркой. По выделенным при осмотре участкам была произведена порезка образцов для исследований. Подготовка поверхности образцов, доведение плоской поверхности шлифованием и полированием проводилась с помощью абразивных инструментов. При этом металл снимался послойно с шагом в 2 мм. Микроисследованиями на оптическом и электронном микроскопах установлено, что микроструктура типична для материала сопловых лопаток, отливаемых из сплава ЖС6У-ВИ. Микроструктура имеет дендритное строение. Карбиды представлены равномерно распределенными по площади шлифа мелкими частицами глобулярной и вытянутой формы, сгруппированными по типу «китайского шрифта». Частицы эвтектической фазы слабо ферментированы и распределены равномерно. Частицы упрочняющей фазы кубической формы, имеют четко очерченные границы. Отмечено, что микроструктура однородна, и наблюдается полное диффузионное проникновение металла двух свариваемых образцов. Появление не соединенных диффузионной сваркой участков возможно при неудовлетворительной подготовке поверхности. Для повышения качества диффузионной сварки проведен второй вариант эксперимента: между двумя соединяемыми образцами проложена фольга, близкая по химическому составу никелевого сплава. Предложенное решение позволяет повысить технологичность диффузионной сварки за счет устранения зазоров между двумя соединяемыми деталями. На рис. 3 показан общий вид сварного соединения, полученного с помощью диффузионной вакуумной сварки.

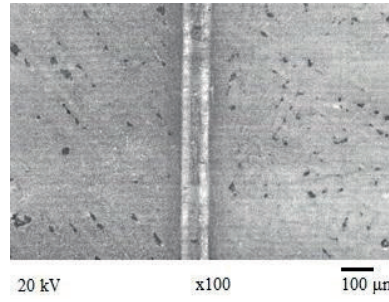


Рисунок 3 – Микроструктура сварного соединения
(толщина фольги – 84 мкм)

Выводы. Изготовление, исследование и испытания образцов лопаток проведены на предприятии АО «КМПО». В результате проведенных исследований показана возможность применения диффузионной сварки для изготовления штучных сопловых лопаток, что является новым техническим решением. Это является актуальным для производства, так как позволяет повысить выход годного литья.

Список литературы

1. Каблов Е.Н. Жаропрочные конструкционные материалы. Литейное производство. 2005. № 7. С. 2–7.

2. Казаков Н.Ф. Диффузионная сварка в вакууме. М.: Машиностроение, 1968. 331 с.

3. Копелев С.З. Охлаждаемые лопатки газовых турбин (тепловой расчет и профилирование). М.: Наука, 1983. 144 с.

4. Фаворский О.Н., Копелев С.З. Охлаждаемые воздухом лопатки газовых турбин. Теплоэнергетика. 1981. № 8. С. 7–11.

5. Круглов Е.П. и др. Бестигельное литье лопаток турбины на установках полунепрерывного подогрева формы // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2019. № 4. С. 65–67.

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТЬЯ ЛОПАТОК ГТД ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Куртаева Ф.Н.
Ахметзянова Л.Х.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева
АО «КМПО»
kurtaeva@yandex.ru
landysh-1998@mail.ru

Аннотация: в данной работе были изучены рабочие лопатки из жаропрочных никелевых сплавов, полученные тигельной и «бестигельной» технологией. На основании результатов контроля качества этих лопаток, выявлена одна из основных причин брака лопаток ГТД в виде засора. Предложены пути изменения типового технологического процесса литья по выплавляемым моделям лопаток с равноосной структурой, с помощью применения «бестигельной» технологии литья на установке УППФ-3М. И в дополнение к этому варианту предлагается использовать пенокерамический фильтр, устанавливаемый в воронке литниково-питающей системы.

Abstract: in this paper, working blades made of heat-resistant nickel alloys obtained by crucible and "non-crucible" technology were studied. Based on the results of quality control of these blades, one of the main reasons for the defect of the blades of the gas turbine engine in the form of blockage was identified. The ways of

changing the typical technological process of casting according to the smelted models of blades with an equiaxed structure, using the use of "bestigel" casting technology at the UPF-ZM installation, are proposed. And in addition to this option, it is proposed to use a foam ceramic filter installed in the funnel of the gate-feeding system.

Ключевые слова: никелевые жаропрочные сплавы, тигельное и «бестигельное» литье, засор, пенокерамический фильтр

Снижение уровня брака является важным условием для реализации потенциала ресурсоэффективности литейного производства. В работе предложены пути изменения типового технологического процесса литья по выплавляемым моделям лопаток с равноосной структурой, с целью повышения качества изготавливаемой продукции. В настоящей работе поставлена задача повышение качества отливок лопаток ГТД из жаропрочных никелевых сплавов ЖС6У-ВИ и ВЖЛ12Э-ВИ.

Рабочие лопатки ГТД имеют сложную конструкцию и работают в сложных напряженно-деформационном состоянии при высоких температурах. К ним предъявляются повышенные требования по качеству.

Заготовки лопаток изготавливаются методом точного литья – литье по выплавляемым моделям. Для обеспечения эксплуатационной надежности при литье необходимо создать определенную структуру сплава. В лопатках свободной турбины формируется равноосная структура, а в лопатках второй ступени – направленно-кристаллизованная структура. Конструкции этих лопаток близки (рисунок 1), изготавливаются без использования стержневой системы. Технологические процессы литья по выплавляемым моделям лопаток отличаются видом оборудования и способом заливки металла в форму. Применяются для равноосного литья никелевый сплав ЖС6У-ВИ, который содержит легирующие элементы, упрочняющие объем зерна и особенности их границ. Также сплав ВЖЛ12Э-ВИ, имеющий в своем составе химические элементы, благоприятствующие направленной кристаллизации сплава.

Рисунок 1 – Рабочая лопатка ГТД из жаропрочного никелевого сплава

Лопатки из жаропрочных никелевых сплавов ВЖЛ12Э-ВИ и ЖС6У-ВИ отливаются на следующих вакуумно-плавильных установках: лопатка из сплава

ВЖЛ12Э-ВИ с направленной структурой отливается на проходных методических печах марки ПМП-2, лопатки из ЖС6У-ВИ с равноосной структурой – на установке полунепрерывного подогрева форм марки УППФ-3М. Конструктивная особенность этих промышленных установок заключается в том, что в первой установке рост направленной структуры в изделиях ГТД производился в процессе горизонтального перемещения керамической формы с расплавом металла в графитовой опоке в убывающем по высоте тепловом поле. Отличительной особенностью второй печи является то, что она в своей конструкции имеет плавильный тигель, который является одним из источников неметаллических загрязнений

Для того, чтобы установить источники и причины дефектов и впоследствии предложить способ повышения качества литых лопаток, нами проанализированы данные по количеству и виду брака в рабочих лопатках из этих сплавов, выплавляемых с 2013 по 2020 годы. Источником данных являлись акты операционного контроля литейного производства.

Результаты были представлены в виде графиков, из которых видно, что у рабочей лопатки с равноосной структурой из сплава ЖС6У-ВИ частым видом брака является загрязнение изделия неметаллическими включениями (в среднем 25% от всего брака). Остальные виды брака (геометрия, корольки, брак модель, откол, оксидные плены, пробой формы, трещины, рыхлота) составляют лишь около 1% (рисунок 2).

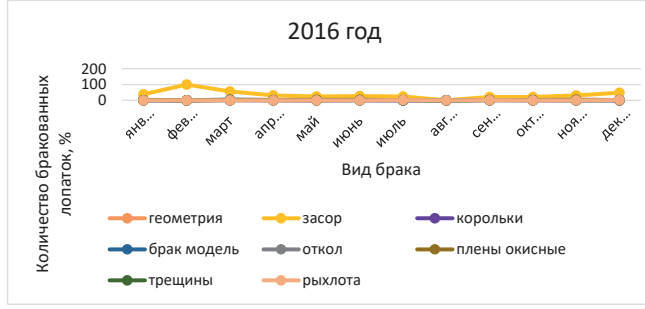


Рисунок 2 – Данные по браку за 2016 год

Такие же графики были построены и для лопаток из сплава ВЖЛ12Э-ВИ, имеющей направленную кристаллизацию. У этих лопаток также преобладает такой вид брака, как засор, он в среднем составляет 19% от числа всего брака. Остальные виды брака составляют лишь около 1-2%.

Далее был проведен сравнительный анализ лопаток, полученных тигельным (лопатка из ЖС6У-ВИ) и «бестигельным» (лопатка из ВЖЛ12Э-ВИ) способами. Согласно представленным графикам (рисунок 3), видно, что «бестигельное» литье позволяет получать лопатки, имеющие меньший процент брака по засору, нежели лопатки, полученные тигельным способом.

Проанализировав научные статьи и монографии [1-6], предлагается для повышения качества поверхности изделия применять «бестигельную» технологию литья [1]. Для того, чтобы реализовать данное предложение в

случае изготовления лопаток с равноосной структурой необходимо внести конструктивные изменения в узел компоновки печи УППФ-3М [3].

Поскольку при литье на установке ПМП-2 лопатки получаются с меньшим количеством засора, но их наличие не исключено, поэтому следует применить внутриформенную фильтрацию расплава, а именно установить пенокерамический фильтр в литниковую чашу литниково-питающей системы.

Рисунок 2 – Керамическая форма с установленным пенокерамическим фильтром

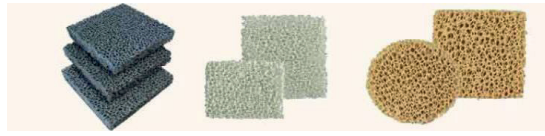


Рисунок 3 – Пенокерамические фильтры (ПКФ)

Среди всех видов фильтров, применяемых в процессе очитки расплава от неметаллических загрязнений наибольшую эффективность нашли пенокерамические фильтры. Состав пенокерамического фильтра, применяемого для литья жаропрочных никелевых сплавов состоит из глинозема и двуокиси циркония $ZrO_2 + Al_2O_3$.

Список литературы:

1) Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия). – М.: МИСиС, 2001. 632 с.

2) Елисеев Ю. С., Бойцов А. Г., Крымов В. В., Хворостухин Л. А. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей / Ю. С. Елисеев и др. – М.: Машиностроение, 2003. 512 с., ил.

3) Круглов Е.П., Галимов Э.Р., Беляев А.В., Круглов К.Е., Сироткина Л.В. Бестигельное литьё лопаток турбины на установках полунепрерывного подогрева формы // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – Казань, 2019. – Т. 75, № 4. – С. 65-67.

4) Снадина А.А. Безтигельное литье металла в печах «УППФ» // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых) : тексты докладов участников

Международной молодёжной научной конференции, в 6 т. – Казань : КНИТУ-КАИ им. Туполева, 2019. – С. 333-337.

5) Дубровин В.К. Повышение качества отливок из жаропрочных сплавов путем фильтрационной очистки // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2008. № 4 (124). С. 55-59.

6) Тэн Э. Б. Рафинирование металлических расплавов фильтрованием / Э. Б. Тэн // Черная металлургия. – 1991. – № 3. – С. 63-65.

МОЛНИЕЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Куртаева Ф.Н.
Ахметзянова Л.Х.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева
АО «КМПО»
kurtaeva@yandex.ru
landysh-1998@mail.ru

Аннотация: обозначена проблема необходимости нанесения молниезащитных покрытий на поверхность планера из углепластика. Приведен метод защиты планера от воздействия разрядов молнии. Сделан вывод о преимуществах молниезащитных покрытий на основе углеродных наночастиц.

Abstract: the problem of the need to apply sunscreens to the surface of a carbon fiber airframe is outlined. The method of protecting the airframe from the effects of lightning discharges is given. The conclusion is made about the advantages of sunscreens based on carbon nanoparticles.

Ключевые слова: молния, молниезащита, углепластик, наночастицы астралены, молниестойкость

Эксплуатационные характеристики многих летательных аппаратов такие, как износостойкость, коррозионная стойкость, молниестойкость и другие определяются свойствами поверхности. Для защиты основного материала от внешних воздействий, необходимо повысить характеристики конструкционной прочности поверхностных слоев изделия, к тому же это помогает повысить срок службы деталей и сократить расходы на ремонт изношенного оборудования [1].

Помимо таких защитных покрытий как коррозионностойкие, теплозащитные, износостойкие особую роль имеют и молниезащитные или молниестойкие покрытия.

Молния – это электрический искровой разряд в атмосфере. Удар молнии в самолет — это чрезвычайное происшествие и при ряде обстоятельств оно может иметь определенные последствия. Так как в настоящее время обшивки самолетов делаются из композиционных материалов, которые имеют низкую теплопроводность защищенность от молнии является одним из важнейших

проблем обеспечения надежности эксплуатации самолетов. Удар молнии в материал, не проводящего ток может привезти к повреждению материала, его растрескиванию и выгоранию не только поверхностных, но и последующих внутренних слоев.

Для современных летательных аппаратов, изготовленных из углепластиков, необходимым является наличие молниезащиты, которое обеспечивает величины тепло- и электропроводности, близких к металлическим материалам. Процесс нанесения молниезащитных покрытий заключается в нанесении на поверхность углепластиковых конструкций сплошных или дискретных металлических молниезащитных покрытий (приклеивание фольги или напыление металлов (алюминий, медь, никель) и др.).

Главным недостатком этих молниезащитных покрытий является увеличение массы конструкции и его низкая коррозионная стойкость. В настоящее время в качестве молниезащитных покрытий углепластиковых авиационных конструкций используют молниестойкие покрытия на основе латунных сеток, которые накладываются на поверхность детали при совместном формовании.

Ученые из ФГУП «ВИАМ» разработали новый вид молниезащитного покрытия, который отвечает многим требованиям надежности. Вместо традиционных бронзовых сеток ФГУП «ВИАМ» предлагает использовать углеродные наночастицы на основе углеродных наполнителей и полимерных связующих [2], модифицированных наночастицами астралены (многослойные углеродные наночастицы фуллероидного типа). Их главным преимуществом является обеспечение надежной защиты элементов конструкций из углепластиков, которые выходят на внешний контур планера самолета, от прогаров, сквозных пробоев, возникающих в результате удара молнии.

Применение молниезащитных покрытий с внедрением в полимерную матрицу углеродных наночастиц астралены увеличивает трансверсальные тепло- и электропроводящие характеристики композиции более чем в 2,5 раза; сокращает диэлектрические показатели матрицы; создает многовекторность рассеяния тока молнии, что обеспечивает сокращение внутренних локальных повреждений конструктивно-силовой части изделия, входит в расчетную схему несущей конструкции, следовательно, снижает вес изделия.

Эксперимент на молниестойкость проводились на двух тканях:
отечественная ткань УТ – 900 – 3к и зарубежная ткань Porcher Ind. Арт. 3692.

Воздействие зарядов молний с параметрами I=200 кА и Q=20 Кл. [2]

Образец № 1. Углекомпозит без МЗП.

1 – сквозной пробой образца 16 $см^2$;

2 – разрушение поверхностного и последующих слоев конструкции площадью 75 $см^2$.

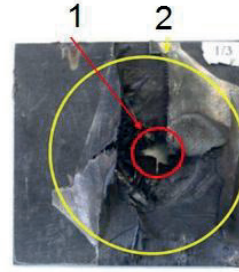


Рис.2 Разрушение образца без МЗП

Образец № 2. Углекомпозит с традиционным МЗП (бронзовая сетка).
1 – отслоение бронзовой сетки на площади 65 см^2;
2 – выгорание бронзовой сетки и разрушение углеродного материала на площади 12 см^2;
3 – растрескивание и разрывы бронзовой сетки.

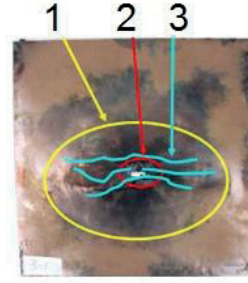


Рис. 3 Разрушение образца с традиционным МЗП (бронзовая сетка)

Образец № 3. Углекомпозит с МЗП (содержащий наночастицы).
1 – эрозия связующего верхнего слоя МЗП на площади 16 см^2.

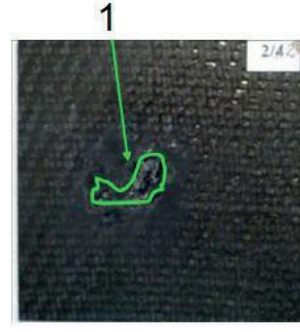


Рис. 4 Разрушение образца с МЗП (содержащий наночастицы)

Таким образом, наличие у представленных образцов наночастиц в составе молниезащитного покрытия улучшают характеристики прочности, уменьшают величину водопоглощения. Значения молниестойкости в обоих случаях возросли больше, чем в 2 раза, что является отличным показателем стойкости молниезащитного покрытия.

Преимуществом молниезащитных покрытий с углеродными наночастицами является повышение теплопроводности углекомпозита, уменьшение массы изделий, уменьшение площади пораженного участка, отсутствие коррозионных процессов (при использовании бронзовых сеток идет коррозия на границе раздела бронзовая сетка-углепластик), а также возможность осуществления ремонта при поражении молнией.

Список литературы:

1. Гуняев Г.М. Молниезащитные покрытия для конструкционных углепластиков, содержащие наночастицы / Л.В. Чурсова, А.Е Раскутин., Г.В. Начинкина, А.Г. Гуняева, В.М. Куприенко Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2012. – №3. – С. 24–35.

2. Гуняев Г.М. Молниестойкость современных полимерных композитов / Л.В. Чурсова, А.Е Раскутин., А.Г. Гуняева. [Текст] //Авиационные материалы и технологии. – 2012. – №2. – С.36–43.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПОСТПРОЦЕССОРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛИ «СТАКАН» В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIEMENS NX

Курылев Д.В., Тынчеров М.Р.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, ул. К. Маркса 10, Казань, 420111

Аннотация: статье рассматриваются особенности создания постпроцессора для обработки деталей типа вращения на примере детали «Стакан» для трехкоординатного станка с числовым программным управлением на основе программного комплекса Siemens NX, используя встроенный Генератор постпроцессоров.

Annotation: the article discusses the features of creating a postprocessor for processing parts of the rotation type using the example of the part "Glass" for a three-coordinate machine with numerical control based on the Siemens NX software package, using the built-in Postprocessor Generator.

Ключевые слова: постпроцессор для обработки, Siemens NX, Генератор постпроцессоров

Постпроцессор – это программа, которая преобразует траекторию движения инструмента и геометрию обработки, полученные в CAM системе, в

машинный код (G-код), который процессор станка способен воспринимать и воспроизводить полученную информацию в виде перемещений режущего инструмента, его смены, перемещения стола, переключения режимов станка.

Постпроцессоры написаны на языке Tcl. В теории, можно вносить изменения в любой постпроцессор при помощи программирования, однако на практике в основном применяется внесение изменений в существующий постпроцессор, так как основные настройки станка и режимs обработки могут изменяться без программных изменений исходном коде постпроцессора. Для данной задачи мы выберем именно путь редактирования существующего постпроцессора.

Программный комплекс Siemens NX располагает мощным инструментом для работы с постпроцессорами. Встроенный в пакет модуль Postbuilder (Генератор постпроцессоров) подстраивать любой постпроцессор под свои нужды.

Прежде чем применять постпроцессор, необходимо подготовить модель заготовки, конечной детали, провести моделирование обработки, выбрать режущий инструмент, геометрию обработки и сгенерировать траекторию движения инструмента, чтобы подготовить исходные данные для постпроцессирования. В нашем случае это деталь «Стакан» (рис. 1).

Из заготовки деталь получаем с помощью операций точения, сверления, фрезерования.

С помощью CAM-модуля системы Siemens NX получаем траекторию движения инструмента, предварительно выбрав режущий инструмент, геометрию обработки и режимы резания. Генерирование траектории происходит автоматически на основе информации, заданной пользователем, а также заложенных внутри CAM-модуля алгоритмов, оптимизирующих движение инструмента без участия пользователя.

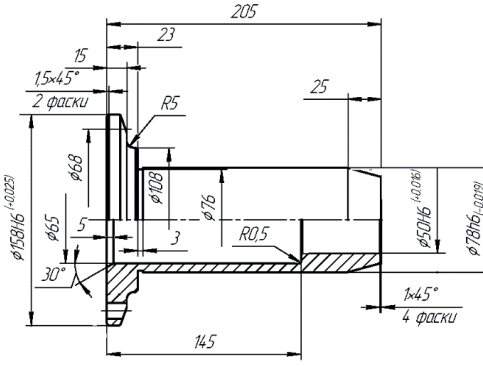


Рисунок 1 – Чертеж детали

Для обработки детали необходимо и достаточно использовать линейные и круговые перемещения инструмента, при этом необходимо использовать

разные типы инструментов, что связано с тем, что для обработки разных типов поверхностей целесообразно использовать разные виды специальных инструментов, кроме того, одну и ту же поверхность необходимо обрабатывать несколько раз в зависимости от точности, которую необходимо получить, что накладывает требования на свойства инструмента. Так, к примеру, резец для чернового точения нецелесообразно использовать для чистовой обработки либо обработки фасонного профиля, т.к. он либо не способен выполнить обработку в данных условиях, либо не способен обеспечить требуемую точность. Возникает необходимость иметь определенное количество инструментов в револьверной головке станка. Исходя из этого, постпроцессор должен: выдать информацию, в какой инструментальной ячейке находится каждый инструмент, какой инструмент используется в данный момент, траекторию его движения.

Далее осталось провести постпроцессирование обработки. На данном этапе перейдем в Postbuilder. Необходимо создать новый постпроцессор по шаблону. Среди основных настроек (рис.2) в графе «Единицы вывода постпроцессора» выбираем миллиметры, станок «3-осевой токарно-фрезерный (XZC)»

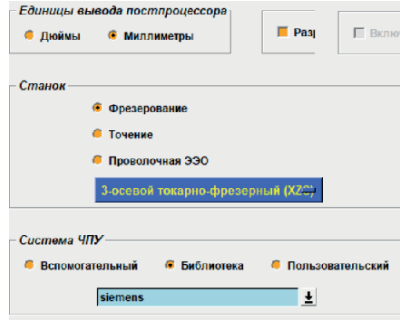


Рисунок 2 - Окно первичной настройки постпроцессора, выбор оборудования

(Пояснение: нам необходимо производить как токарные, так и сверлильные и фрезерные операции. Минимальное количество осей для такого типа станков - 3-осевой. XZC означает то, что станок работает в осях X и Z декартовой системы координат, а обозначение «C» означает, что имеется возможность регулирования углового расположения детали в пространстве). Систему ЧПУ выберем «siemens», так как она поддерживает постпроцессоры для этого типа станков.

Далее во вкладке «Станок» основного модуля настройки постпроцессора в блоке «Режим станка» в ветке «Общие параметры» поменяем выбор с «Фрезерный XZC» на «Простой токарно-фрезерный» в соответствии с задачами обработки. Режим вывода координат по умолчанию оставим как «Декартовы» (имеется в виду, что перемещения инструмента рассчитываются в декартовых координатах), а Режим круговой интерполяции меняем с «Декартовы» на «Полярные» (применение полярных координат позволяет в случае

интерполяции круговых перемещений задавать координаты перемещений уменьшить объем управляющей программы, поскольку, в отличие от задания перемещений в декартовых координатах, круговой профиль перемещений не воспринимается постпроцессором как правильный многоугольник с большим количеством вершин). Ветку «Оси вращения» не редактируем.

Во вкладке «Программа и траектория инструмента» отображаются последовательность операций, совершаемых постпроцессором по ходу постпроцессирования, настройка основных команд языка программирования постпроцессора G-кодов, отвечающих за перемещение рабочих органов, выполнение типовых последовательностей (например, нарезание резьбы) и вспомогательных М-кодов, отвечающих за технологические команды (например, смена инструмента, включение/выключение шпинделя. Кроме того, имеются вкладки с параметрами, отвечающими за последовательность слов, пользовательские команды, связанные постпроцессоры и макросы

Во вкладке «Последовательность в начале программы» (рис. 3) приведены команды, отрабатываемые в начале постпроцессирования. На данном этапе выключается радиусная коррекция инструмента, выбирается рабочая плоскость XY декартовой системы координат, задание единиц измерения значения подачи в мм/мин, задание абсолютных координат опорных точек траектории и выбирается по умолчанию цикл многопроходного продольного чернового точения.

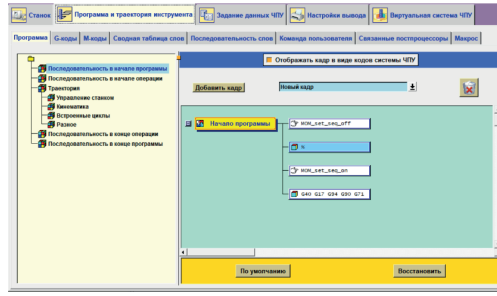


Рисунок 3 - Окно первичной настройки постпроцессора, выбор оборудования

Во вкладке «Последовательность в начале операции» (рис. 4) приведен алгоритм отработки постпроцессора при начале операции. Задается номер инструмента в револьверной головке, предусмотрена вспомогательная команда смены инструмента в случае такой необходимости. Кроме того, задаются параметры начального перемещения.

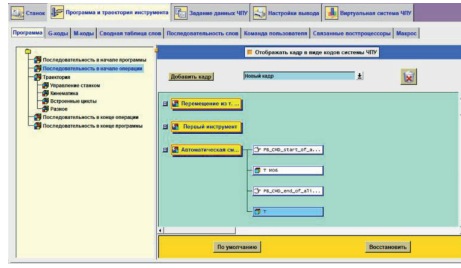


Рисунок 4 - Окно первичной настройки постпроцессора, выбор оборудования

В ветке «Траектория» задаются параметры включения/выключения подачи СОЖ, включение/выключение шпинделя, включение/выключение коррекции по радиусу и длине, параметров линейных и круговых перемещений, холостых ходов, циклов обработки (циклы - заранее записанные паттерны движения частей станка, выполняющие типовые операции, такие как точение, сверление, нарезание резьбы и т.д.).

В ветках «Последовательность в конце операции» и «Последовательность в конце программы» описывается алгоритм действий при завершении отработки операции и программы, а также запуска подпрограммы.

СПОСОБЫ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ СПЛАВОВ ВСТЫК

Курынцев Сергей Вячеславович Kuryntsev16@mail.ru,
Сафиуллин Эльдар Ильфатович eldar.safiullin@bk.ru,
Исхаков Булат Ринатович IskhakovBR@yandex.ru

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ

Аннотация. В работе рассмотрены способы лазерной сварки разнородных сплавов, меди М1 и стали 12Х18Н10Т. Установлено, что смещение лазерного луча на сталь является эффективным способом повышения свариваемости разнородных сплавов лазерным лучом. Менее эффективными способами являются наклон лазерного луча и использование специализированной разделки кромок.

Absract. The paper considers methods of laser welding of dissimilar alloys, copper T1 and steel 12Kh18N10T. It has been established that offset of the laser beam on steel is an effective way to increase the weldability of dissimilar alloys with a laser beam. Less efficient methods are inclination the laser beam and using specialized edge cutting.

Ключевые слова: лазерная сварка, разнородные сплавы, повышение свариваемости.

Сварные соединения из разнородных материалов широко используются в автомобильной, нефтяной, аэрокосмической, вагоностроительной и атомной промышленностях. Сварка аустенитной стали и технически чистой меди является важной задачей для систем охлаждения и теплообменников, позволяющей улучшить теплопередачу через медь, что, в свою очередь, позволит снизить вес конструкции и увеличить теплосъем. Эта проблема может быть решена с помощью лазерной сварки, поскольку этот способ сварки обеспечивает достаточно высокую плотность энергии и прецизионность воздействия, что позволяет уменьшить размеры сварочной ванны, минимизировать переходный слой от меди к стали. Следует также отметить, что использование данного способа сварки осложняется высоким коэффициентом отражения лазерного излучения чистой медью. Для решения данного недостатка лазерной сварки может быть применен такой способ сварки, при котором лазерный луч смещается на металл, лучше поглощающий энергию лазерного луча [1]. На рисунке 1 представлены принципиальные схемы способов повышения свариваемости разнородных сплавов.

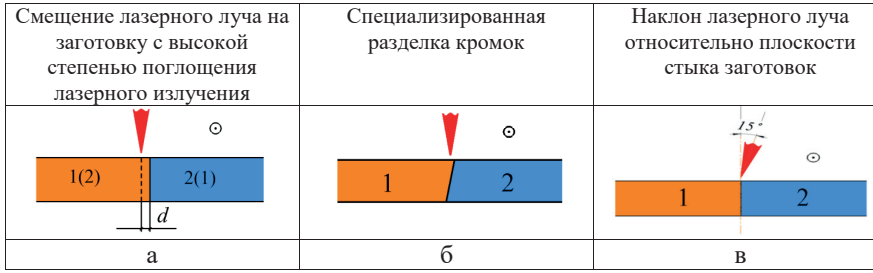


Рисунок 1. Способы повышения свариваемости разнородных сплавов

За последние годы на данную тему опубликовано несколько статей. В работе [2] авторы предлагают способ сварки, суть которого заключается в смещении лазерного луча в сторону нержавеющей стали (0-0,4 мм), а также придании ему наклона в сторону меди (0,2,4,6,8°), также изменялась скорость сварки (0,5-2,5 м/мин). В результате было установлено, что увеличение скорости сварки более 1,5 м/мин отрицательно сказывается на качестве формируемого соединения, из-за уменьшения подводимого тепла, что влечет за собой уменьшение количества меди в металле шва, а также искажение его формы. При мощности лазера 1500 Вт (угол наклона лазера 0°) соединение не было образовано из-за отсутствия полного проплавления. При увеличении мощности до 2000 Вт сварка переходит в режим полного проплавления, в металле шва наблюдается медь, что указывает на то, что этой мощности достаточно для ее расплавления. При дальнейшем увеличении мощности наблюдается появление включений чистой меди в металле шва. Влияние угла наклона лазерного луча на качество сварного соединения было рассмотрено при мощности 3000 Вт и скорости сварки 1,5 м/мин.

С повышением угла наклона количество меди в металле шва увеличивается из-за роста количества тепла, передаваемого меди, что отрицательно влияет на прочность соединения. Смещение лазерного луча в сторону нержавеющей стали также оказывает значительное влияние на образование соединения. При нулевом смещении, мощности 3000 Вт, скорости сварки 1,5 м/мин, при угле луча 4° в металле шва наблюдаются темные включения. Дальнейшее смещение лазерного луча при сохранении остальных параметров дает удовлетворительные результаты с точностью до 0,4 мм. При таком смещении образуется частичное несплавление металла шва с медью. Таким образом, оптимальное смещение лазерного луча составляет 0,1-0,3 мм. Авторы работы [3] для повышения свариваемости разнородных сплавов предлагают применить специализированную разделку кромок свариваемых заготовок, чтобы кромки заготовок не были параллельны направлению лазерного луча. Результаты исследования микроструктуры и механических свойств, полученных соединений, показывают, что образование соединения медь-сталь без дефектов возможно только при низкой и строго контролируемой концентрации меди в металле шва. Также стоит отметить, что в образцах полученных соединений, приведенных в статье, имеются дефекты в виде трещин и пор. Это может указывать на то, что данный метод не является оптимальным для решения проблемы. Ещё в одной работе [4] рассматривается несколько методов и техник сварки. Первый предполагает увеличение фокусного расстояния лазерного луча над поверхностью заготовок (+9,+12) при смещении луча в сторону нержавеющей стали. Второй предполагает сварку нержавеющей стали и меди без изменения фокусного расстояния, но со смещением лазерного луча на нержавеющую сталь. Особенностью этого метода является ввод лазерного луча в начальный момент времени не в стык, а с использованием заходной пластины с последующим переносом сварочный ванны на свариваемые заготовки. Наилучшие результаты получены во втором случае (рисунок 2). При использовании первого метода полученное сварное соединение имеет дефекты виде пор и трещин, тогда как в случае применения первого метода глубина проплавления оказывается недостаточной.

Рисунок 2. Макрструктура свароного соединения меди и нержавеющей стали

Выводы:

1. Все из рассмотренных способов повышеня свариваемости разнородных сплавов позволяют получить удовлетворительное соединения.

2. Наиболее оптимальным, с точки зрения микроструктуры, является способ смещения лазерного луча на сплав, обладающий большей поглощающей способностью лазерного излучения.

Список использованной литературы:

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. М.: издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, - 664 с.

2. Shuhai Chena,b, Jihua Huanga, Jun Xiaa, Xingke Zhaoa, Sanbao Lin. Influence of processing parameters on the characteristics of stainless steel/copper laser welding. Journal of Materials Processing Technology 222 (2015) 43–51p.

3. Chengwu Yao, Binshi Xu, Xiancheng Zhang, Jian Huang, Jun Fu, Yixiong Wu. Interface microstructure and mechanical properties of laser welding copper steel dissimilar joint. Optics and Lasers in Engineering 47 (2009) 807–814p.

4. Курынцев С. В., Шиганов И. Н. Сварка аустенитной стали с медью расфокусированным излучением волоконного лазера. Сварочное производство. 2017. № 4. С. 7 – 11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ШТАМПОВОЙ СТАЛИ 4Х5МФС

Курынцев Сергей Вячеславович,
Солопова Елена Алексеевна solopovae@yandex.ru,
Путинцева Анисия Андреевна,
Мабуйе Шелзи.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ

Аннотация. Представлены результаты теоретических исследований влияния режимов термической обработки на структуру и свойства штамповой стали 4Х5МФС. Установлено, что режимы термической обработки для стали 4Х5МФС существенно отличаются от режимов термической обработки стали 40, несмотря на одинаковой содержание углерода.

Инструментальные стали являются большой группой сталей, которые в результате термической обработки получают высокую твердость, прочность, износостойкость, необходимые для обработки материалов резанием или давлением. Многие инструментальные стали, кроме того, обладают теплостойкостью – способностью сохранять эти свойства при нагреве, часто возникающем в рабочей кромке инструментов. Данные стали, вследствие их высокой износостойкости и прочности, широко используют и для других изделий: подшипников качения, измерительных инструментов, пружин многих типов, деталей топливной аппаратуры, а также ряда деталей станков и машин.

Штамповыми сталями являются те, которые предназначены для штампов, горячего деформирования и форм литья под давлением, т. е. для работы при повышенных температурах, попеременном и многократном нагреве и охлаждении рабочего слоя, динамических нагрузках, а в ряде случаев и при значительном коррозионном воздействии обрабатываемого металла. Поэтому данные стали должны обладать высокой теплостойкостью, вязкостью, устойчивостью против разгара, стойкостью против коррозии (прежде всего окалиностойкостью).

Упрочняющими фазами штамповых сталей являются сложные карбиды типа M6C и M23C6. Основное различие штамповых сталей состоит в том, что для получения повышенной вязкости и разгаростойкости количество карбидов, в том числе избыточных, должно быть меньше. Легирование обусловлено содержанием углерода. Теплостойкие штамповые стали – заэвткетоидные, многие близки к эвтектоидным, содержание углерода ограничивается: в пределах 0,4-,5%, в некоторых до 0,3%. Поэтому при меньшем содержании углерода в сталях – больше легирующих элементов (кроме ванадия). При этом не требуется образование большого количества нерастворимых карбидов.

Теплостойкости способствует сложное легирование такими элементами, как вольфрам, молибден, хром и ванадий, для некоторых сталей – кобальт. Повышение прокаливаемости достигается легированием хромом в количестве примерно 6-12%. При отжиге хром образует карбиды типа Cr23C6 и некоторое количество Cr7C3 в зависимости от его содержания. Эти карбиды растворяются во время аустенитизации при температурах, превышающих ~ 900 °C, а полностью растворяются при ~1100 °C. Положительным влиянием на теплостойкость в свою очередь является содержание ванадия от 0,6 до 0,9%. Ванадий также образует очень твердые и термически стабильные карбиды типа MC, обычно в виде изолированных частиц. Эти карбиды повышают стойкость к абразивному износу и обеспечивают отличные режущие характеристики. Также данные карбиды являются очень ограниченно растворимыми в матрице, поэтому добавление ванадия не замедляет скорость диффузионного разложения аустенита, улучшается прокаливаемость и приводит к измельчению зерна. Вольфрам может быть заменен молибденом, причем полностью или частично. Данным элементам свойственно снижение температуры солидуса, а также сужение области стабильности аустенита. Молибдену более свойственны данные эффекты. Однако он затрудняет выделение карбидов при отпуске по границам зерен, тем самым ухудшая вязкость и предупреждая или уменьшая влияние ряда дефектов.

Химический состав стали 4Х5МФС, %: 0,37C; 5 Cr; 1,3 Mo; 0,4 V; 1 Si [1]. Данная сталь относится к классу штамповых сталей повышенной теплостойкости с карбидным упрочнением. Повышение теплостойкости достигается увеличением количества карбидной фазы и повышением доли сложного карбида M6C. Данный способ считается рабочим, если при нагреве для закалки растворяется большая часть вторичных карбидов с сохранением мелкого зерна (балла 10-9). Данная сталь является одной из основных для проектирования различных штампов деформирования стали и цветных

металлов, а также форм литья под давлением алюминиевых и магниевых сплавов диаметром до 70-80 мм. Сталь 4Х5МФС имеет более высокое содержание ванадия, что позволяет предупредить крупнозернистость в более крупных поковках.

В изначально отожженном состоянии содержится оптимальное количество карбидов. Термическая обработка штамповочных сталей заключается в необходимости растворить вторичные карбиды в пределах, обеспечивающих высокую легированность аустенита и теплостойкость. При нагреве вторичные карбиды разлагаются, сохраняя размер зерна, с дальнейшим высвобождением легирующих элементов, растворяемых в матрице. При дальнейшем повышении температуры под закалку дополнительно увеличивается теплостойкость, однако происходит рост зерна и ухудшение вязкости на 30-40%. Также добавление всех легирующих элементов, за исключением алюминия и кобальта, снижает температуру начала образования (и завершения) мартенсита. Следовательно, в зависимости от размеров аустенитизированной заготовки может потребоваться закалка с последующим охлаждением в воде или масле для достижения полного превращения аустенита в мартенсит даже в высоколегированных сталях. Но данная закалка нежелательна, поскольку она повышает уровень внутренних напряжений, что может повлечь за собой изменение размеров и повышение риска к дальнейшему разрушению. Изменение твердости – снижение после отпуска при 300-350 °С обуславливается уменьшением концентрации углерода в мартенсите и выделением цементитного карбида, а её повышение после отпуска при 540-560°С – выделением карбидов легирующих элементов.

Режимы ТО стали 4Х5МФС отжиг при 850°С с охлаждением в печи; закалка при 1020°С с последующим охлаждением в масле; закалка при 1020°С с охлаждением в масле с высоким отпуском при 550°С с последующим охлаждением на воздухе (рисунок 1). Отпуск проводится с целью снятия внутренних напряжений, возникающих при черновой обработке резаньем. Закалка из межкритической области с дальнейшим охлаждением в масле и высоким отпуском проводится для уменьшения деформации при окончательной закалке. Охлаждение в масле обусловлено размерами образца, а также необходимостью достижения полного превращения аустенита в мартенсит отпуска. Отпуск же в свою очередь необходим для предотвращения появления трещин.

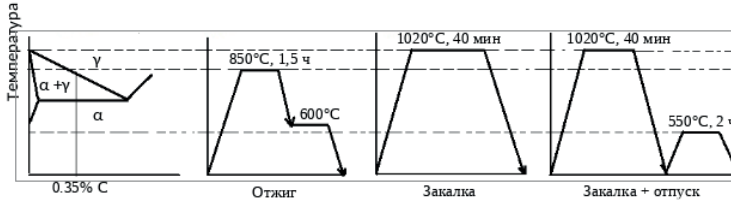


Рис. 1 Схематическая иллюстрация режимов термической обработки

Список использованной литературы:

1. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов: Учебник для вузов / И.И. Новиков. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Металлургия, 1986. – 480 с.

РАЗРАБОТКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЫХ ВИДОВ ПОРОФОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОАЛЮМИНИЯ

Лапин Илья Владимирович–старший преподаватель
Жиляков Виктор Владимирович – к.т.н.; доцент
Гильмутдинов Ильфар Маликович д.т.н., профессор, и.о. зав. кафедрой

Сотрудники кафедры ТКМ КНИТУ (КХТИ)
Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

Аннотация. В статье рассмотрен процесс получения пористого алюминия, со специальным порообразователем CaCO3 в модельном кварцевом реакторе в защитной среде аргона посредством индукционного нагрева образцов. Исследованы различные усилия прессования прекурсора и выбор оптимального значения. При полученной максимальной температуре разложения порофоров путем анализа ТГА выбран оптимальный температурный режим разложения порофора, спекания и выдержки образцов в кварцевом реакторе.

Произведено сравнение характеристик CaCO3 с другими карбонатными и гидридными пенообразователями для применения их в виде подходящего порообразователя.

Ключевые слова: порофор, пенометаллы, спекание, карбонат магния, гидрид титана, карбонат кальция, термогравиметрический анализ.

Annotation. The article considers the process of obtaining porous aluminum, with a special porogen CaCO3 in a model quartz reactor in a protective argon environment by means of induction heating of samples. Various precursor pressing forces and the choice of the optimal value have been studied. At the obtained maximum decomposition temperature of the porophores by analyzing TGA the optimal temperature regime for the decomposition of the porophore, sintering and holding the samples in a quartz reactor was chosen.

The performance of CaCO3 was compared with other carbonate and hydride blowing agents for use as a suitable blowing agent.

Key words: porophore, foam metals, sintering, magnesium carbonate, titanium hydride, calcium carbonate, thermogravimetric analysis.

Введение. В качестве пенообразователей для получения пенометаллов могут использоваться TiH2, гидроксид магния (MgOH2), гидроксид карбоната

магния (4MgCO3 Mg(OH)2 5H2O), карбонат магния (MgCO3), доломит (CaMg(CO3)2) и карбонат кальция (CaCO3) [1].

Гидрид титана (TiH2) часто используют в качестве порофора из-за относительно низкой температуры его разложения, которая близка к температуре плавления алюминиевых сплавов. Однако TiH2 дорогой компонент пенообразователя и опасен в обращении с ним. Следовательно, требуется более дешевый и безопасный пенообразователь. Карбонат кальция (CaCO3), который является дешевой и очень стабильной альтернативой TiH2 был применен нами в качестве пенообразователя.

В данной работе представлен технологический способ, так называемый метод Фраунгофера, где компактированная смесь порошка матрицы металла с порофором спекается, а после охлаждения образует изделие с пористой структурой. По сравнению с методом Альпораса, который заключается во вводе пенообразователя в расплав металла метод Фраунгофера обеспечивает лучший контроль над структурой ячеек и формированием почти чистой сетки [2].

Экспериментальная часть. Для исследования газообразующих свойств и термической стабильности специального CaCO3 и других порофоров, на синхронном термоанализаторе STA 6000 (PerkinElmer) был проведен сравнительный анализ состава, определение остаточных веществ и термической стабильности. Нагрев образцов производился в корундовом тигле в интервале температур 30…1000 °C со скоростью 10 °C/мин в окислительной и инертной среде. Анализ показал температуру максимального разложения порофора: CaCO3 – 784 °C. Общая потеря массы для гидрида титана TiH2 в окислительной среде составила 58,93 % (пиковая температура разложения 756°C), в инертной среде – 9,32 %; (пиковая температура разложения 628 °C), для непрокаленного карбоната кальция CaCO3 – 47,97 % (пиковая температура разложения 784 °C), для прокаленного карбоната кальция CaCO3 при температуре 300 °C – 45,62 % [4].

Таблица 1. Протокол испытаний порообразователей №99-Т-19

№ п/п	Наименование пробы заказчика	***Интервал температур (максимум эффекта), °C*** изменение массы, % масс.					Общее изменение массы в интервале 30-1000°C, %масс.
1	$CaCO_3$	30-200 (-) -0,81	200-430 (305) -4,43	430-600 (529) -2,14	600-820 (784) -40,51	820-1000 (-) -0,08	47,97
2	$CaCO_3$ прок.	30-410 (-) -0,44		410-600 (537) -2,24	600-860 (815) -42,83	860-1000 (-) -0,11	45,62
3	TiH_2 (в окислительной среде)	30-600 (-) +3,44		600-1000 (756) +55,49			58,93
4	TiH_2 (в инертной среде)	30-1000 (628) +9,32					9,32

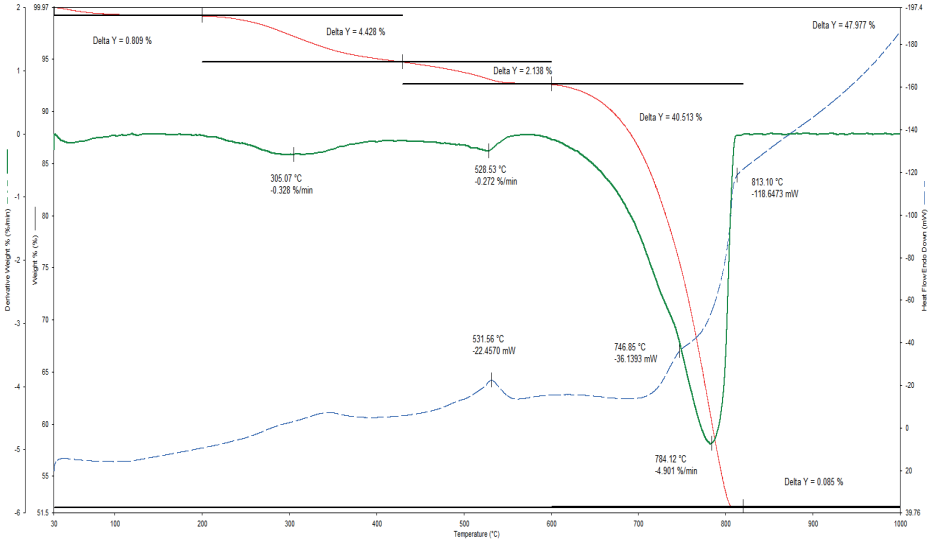


Рис. 1 – Термоаналитические кривые ТГ-ДТГ, ДСК образца CaCO3

MgCO3 же разлагается в интервале температур от 520 °C до 720 °C, что близко к диапазону температур плавления AlSiCu. Следовательно, MgCO3 является подходящим пенообразователем AlSiCu. Однако CaCO3 разлагается при температуре свыше 720 °C, что указывает на то, что он не является подходящим пенообразователем сплава AlSiCu. Разложение как TiH2, так и 4MgCO3 Mg(OH)2 5H2O начиналось при низкой температуре. Выделенный газ нарушает границы фаз компактированного Al порошка, потому что твердая фаза имеет высокую прочность, а разрушенные ячейки растут. При высокой температуре пенометалл с TiH2 образует грубую и округлую структуру ячеек, потому что ячеистые структуры, расширенные H2, легко объединяются и деформируются, чтобы уменьшить поверхностную энергию клеточной стенки[5].

Для эксперимента использовали Al марки А99 фракции 50 мкм в смеси с порофором дисперсностью 56 – 71 мкм. Компактирование смеси проводилось односторонним прессованием при комнатной температуре, с использованием пресс – формы диаметром 10 мм. Далее спекание образцов [3] в кварцевом реакторе в защитной среде аргона посредством индукционного нагрева и охлаждение их на воздухе.

Процесс смешения порошков алюминия и введенного порофора ввиде порошка CaCO3 был проведен в модульной малогабаритной смесительной установке барабанного типа с лопастями.

Процесс спекания проводился на изготовленной модульной экспериментальной установке, снабженной высокочастотным генератором для

создания электромагнитной индукции, средством преобразования электрического тока, датчиками контроля напряжения и силы тока, средствами водяного и воздушного охлаждения соленоида и генератора соответственно.

Спекаемый образец помещался в графитовый тигель и вводился внутрь кварцевого реактора. Далее закрывался притертой крышкой с входящим отверстием для подачи защитного газа (аргона). Внизу реактора через входные отверстия с герметизацией помещены две термопары для контроля температуры и выходное отверстие для прокачки защитного газа. Процесс спекания осуществлялся индукционным нагревом спрессованного металлического образца и охлаждением на воздухе.

Повышая давление прессования, выделившийся газ CO2 на стадии вспенивания все больше усиливается в прекурсоре увеличивая объемное расширение. Другими словами, более высокая плотность прекурсора при давлении уплотнения привела к более легкому вспениванию из-за меньшего количества оставшихся взаимосвязанных пор в прекурсорах (рис 2).

а) б) в)

Рис.2 Образцы диаметром 10 мм спекаемого алюминия с CaCO3: а) с давлением прессования 200МПа, б) 300МПа, в) 400МПа

Вывод. По результатам исследования видно что выделения образующихся газов CO2 при разложении специального порофора CaCO3 достаточно для получения в металлической матрице пенообразующей структуры и имеет в пределах 600 до 820°C максимальную температуру разложения 784°C. В процессе проделанной работы изыскан вид порофора, который является менее затратным по стоимости и производству получения в сравнении с TiH2.

Карбонатный пенообразователь, который начинает разлагаться после того, как температура матричной основы выше солидуса. Он необходим для образования металлических пен с тонкой и однородной структурой ячеек пеноалюминия. Пена TiH2, образованная в аналогичных условиях, показала заметно отличающиеся характеристики и имела грубую и округлую структуру ячеек.

MgCO был выбран в качестве подходящего пенообразователя сплава AlSiCu. Пена CaMg(CO) имела удельный вес 1,19 и однородную, тонкую и сферическую клеточную структуру[5].

Список использованных источников

1. Лапин И.В., Кузнецов В.Г., Аминова Г.А. Новые модификации металлов в современном производстве //Строительные материалы и изделия Известия КГАСУ-Казань.2017. №3(41). С.188-195.

2 J. Banhart, Manufacturing routes for metal foams, Journal of Metals, 2000. № 52 P. 22-27.

3. Лапин И.В., Жиляков В. В Механизмы стабилизации металлических пен и формирование пористой металлической структуры // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева - Казань 2020. № 3 С.80 – 84.

4. Лапин И.В., Жиляков В. В., Аминова Г.А.., Вишнякова И.В. Повышение эффективности в использовании малозатратных порофоров для получения новейших материалов //Вестник КГТУ им.А.Н.Туполева - Казань 2020. №1 С.56 – 62.

5. T. Nakamura, S. V. Gnyloskurenko, K. Sakamoto, A. V. Byakova and R. Ishikawa: Mater. Trans. 2002. №43 P. 1191–1196.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ НА ГЕОМЕТРИЮ СВАРНОГО ШВА

Махмутянов Артур Наилевич
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ, ООО «Динамика»

Колесников Дмитрий Николаевич
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

Аннотация. Работа заключается в построении модели сварного шва по результатам нескольких опытов. В частности, сварка титановых листов толщиной 60мм, при следующих параметрах: 1) скорость сварки 2) сила тока фокусирующей системы 3) сила тока луча. Изменение параметров сварки, повлияет на геометрию сварного шва в сечении, а именно - глубину и ширину шва.

Absract. The work consists in constructing a model of the weld based on the results of several experiments. In particular, welding of titanium sheets with a thickness of 60 mm, with the following parameters: 1) welding speed 2) focusing system current 3)beam current. Changing the welding parameters will affect the geometry of the weld in the cross section, namely, the depth and width of the seam.[1-3]

Сварка производилась на ЭЛУ-24-16М. Заготовка из материала ВТ6, толщиной 60мм. Режим сварки первого шва был выбран исходя из опыта сварки аналогичных по толщине образцов. Режимы сварки последующих швов были изменены с шагом 5 мА и 4 м/ч для тока фокусировки, тока луча и скорости сварки соответственно.

После обработки результатов эксперимента были построены уравнения множественной регрессии [1] и графики зависимости.

Построение графиков зависимости

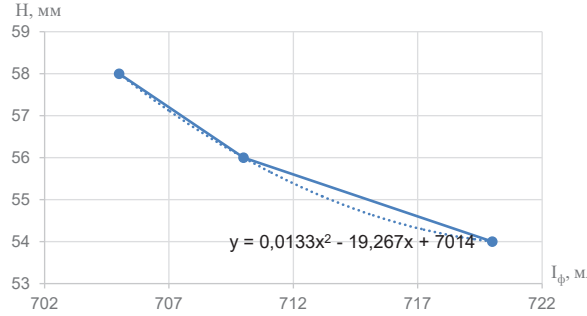


Рис. 2. График зависимости глубины проплава от тока фокусировки.

Из графика зависимости глубины шва от тока фокусировки было установлено, что с увеличением тока фокусировки глубина шва уменьшается.

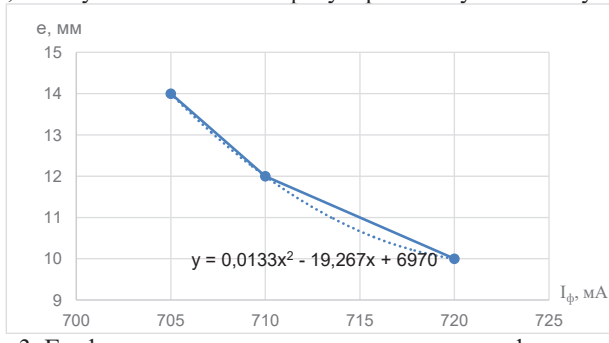


Рис. 3. График зависимости ширины шва от тока фокусировки.

Из графика ширины шва от тока фокусировки можно заметить, что ширина шва уменьшается при увеличении тока фокусировки.

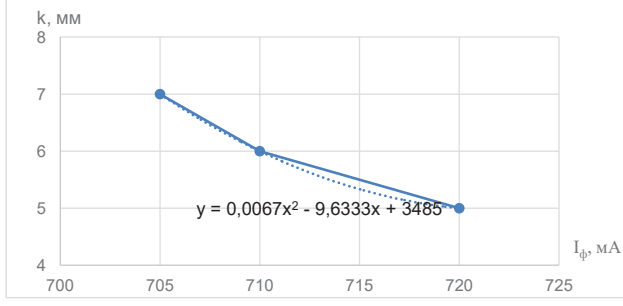


Рис. 4. График зависимости ширины шва на глубине ½ от тока фокусировки.

Из графика ширины шва на глубине ½ отчетливо видно, что с увеличением тока фокусировки ширина шва на глубине ½ уменьшается.

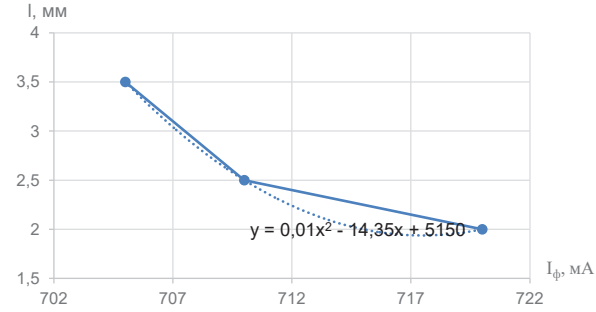


Рис. 5. График зависимости ширины шва в корне от тока фокусировки.

Из графика зависимости ширины шва в корне от тока фокусировки установлено, что график имеет не линейный характер, а увеличение тока фокусировки приводит к уменьшению ширины шва в его корне.

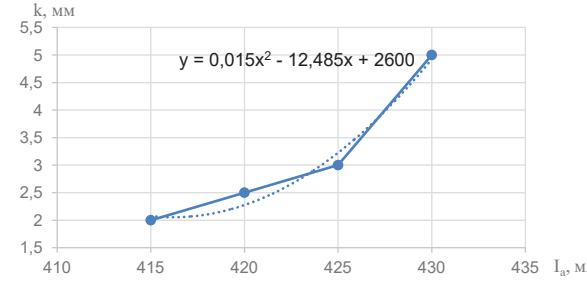


Рис. 6. График зависимости ширины шва на глубине ½ от тока луча.

Из представленного графика зависимости ширины шва на глубине ½ от тока луча видно, что увеличение тока луча влечет за собой увеличение ширины шва на глубине ½.

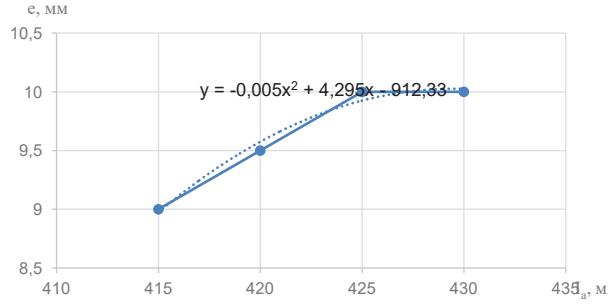


Рис. 7. График зависимости ширины шва от тока луча

Из представленного графика зависимости ширины шва от тока луча можно увидеть, что ширина шва увеличивается с увеличением тока луча.

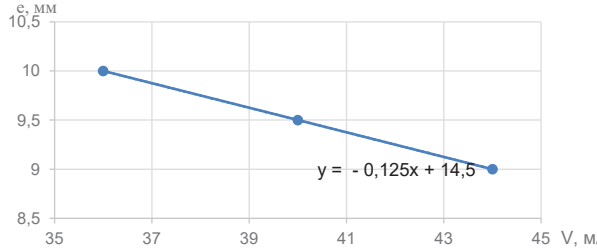


Рис. 8. График зависимости ширины шва от скорости сварки.

Из представленного графика зависимости ширины шва от скорости сварки можно обнаружить, что зависимость имеет линейный характер, а так же, что увеличение скорости сварки уменьшает ширину шва. Уравнение данной зависимости представлено на графике.

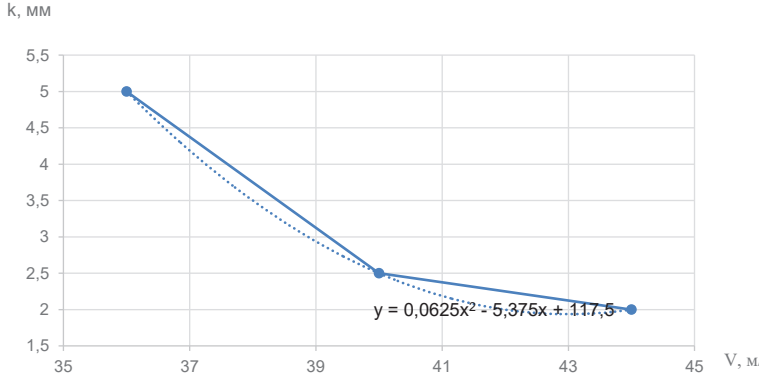


Рис. 9. График зависимости ширины шва на глубине ½ от тока скорости сварки.

Из представленного графика зависимости ширины шва от скорости сварки можно установить, что ширина шва уменьшается с увеличением скорости сварки. Уравнение данной зависимости представлено на графике.

Список использованной литературы

1. Махмутянов А.Н. Моделирование процесса электронно-лучевой сварки титана. НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ //Сборник научных трудов в 9 ч. / под ред. Гадюкиной А.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. - С. 228-231.

2. Младенов Г., Колева Е., Расчет и оптимизация геометрических характеристик шва при электронно-лучевой сварке // Технологии и оборудование ЭЛС – 2011: сб. докладов междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 23–26 мая 2011 г. – СПб., 2011. – С. 116–130.

3. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н. Н. Рыкалин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 496с., ил.

4. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А. В. Коновалов, А. С. Куркин, Э. Л. Макаров, В. М. Неровный, Б. Ф. Якушин; Под ред. В. М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. –752с.: ил.

5. Рыкалин, Н.Н., Зуев, И.В., Углов, А.А. Основы электронно-лучевой обработкиматериалов. М. Из-во «Машиностроение».- 1978.- 239 с.

6. Рыкалин Н.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: справочник / Н.Н.Рыкалин, А.А.Углов, И.В.Зуев, А.Н.Кокора. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

7. Теория сварочных процессов. Под редакцией В.М.Неровного. – Москва.- Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2007.- 752 с.

8. https://math.semestr.ru/

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ВСПЛЫТИЯ ПУЗЫРЬКОВ ПРИ АЭРАЦИИ

Моренко Ирина Вениаминовна

Институт механики и машиностроения ФИЦ Казанский научный центр РАН, 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31

Аннотация. Выполнено численное исследование всплытия пузырьков газа в жидкости в поле силы тяжести. Математическое моделирование нестационарного движения двухфазной среды основано на методе объема жидкости. Результаты моделирования тестовой задачи подтверждены данными других авторов. Показаны траектории и деформации формы пузырьков разных размеров при всплытии.

Absract. A numerical study of the rising of gas bubbles in a liquid in a gravity field has been carried out. Mathematical modeling of unsteady motion of a two-phase medium is based on the volume of fluid method. The results of the simulation of the test problem are confirmed by the data of other authors. The trajectory and deformation of the shape of different sizes bubbles during ascent is shown.

Ключевые слова: аэрация, математическое моделирование, всплытие газовых пузырьков.

На одном из этапов водоочистки может применяться аэрация воды. При этом происходит подача пузырьков воздуха в воду с последующим контактным взаимодействием сред в аэрационной колонне или трубе. Известно, что кислород является эффективным окислителем содержащегося в воде двухвалентного железа и марганца. При контактном взаимодействии требующей очистки воды и кислорода растворенное двухвалентное железо окисляется до нерастворимой трехвалентной формы в виде взвешенной примеси, которая подлежит дальнейшему механическому фильтрованию.

Способы генерирования тонкодисперсных газовых пузырьков рассматриваются в [1]. Показано, что при повышении газосодержания до некоторого значения, происходит нежелательное увеличение размера пузырьков за счет коалесценции. Данное обстоятельство может иметь негативные последствия на технологический процесс. В промышленных установках пузырьки образуются с помощью отверстий в стенках или при диспергировании газа через пористые мембраны. Кроме того, для аэрации в зависимости от конкретных условий технологического процесса могут использоваться вихревые, ротационные воздуходувки, пластинчато-роторные сухие компрессоры. Для эффективной аэрации важно достичь требуемых границ насыщения воды кислородом при равномерном его распределении по рабочему объему.

Хотя экспериментальные данные являются надежным источником информации, при исследовании всплытия пузырьков на их поверхности, как правило, присутствуют поверхностно-активные вещества, технически сложно создать газовое включение сферической формы не имеющее начальных деформаций. В связи с этим, проведение численного моделирование является альтернативным инструментом для получения новых данных, поскольку позволяет моделировать не только реальные процессы, но и гипотетические, при которых варьирование любого одного параметра при неизменных других позволяет провести параметрические исследования.

В работе рассматривается резервуар прямоугольной формы, который до уровня h_1 заполнен жидкостью. По центру на высоте h_0 от его дна размещается газовая полость Ω_g. Вектор силы тяжести $\mathbf{g}$ направлен вертикально вниз.

По своей структуре аэрированный поток не является однородным. При его исследовании используются модели механики многофазных систем. В данной работе применяется подход, основанный на эйлеровом континуальном представлении. Для этого через γ обозначается объемная доля жидкой фазы. В каждой ячейке расчетной области параметр γ определяется следующим образом: $\gamma = 1$, если в ячейке находится жидкость; $\gamma = 0$, если в ней газ; в случае, когда через ячейку проходит граница раздела фаз $0 < \gamma < 1$. Плотность среды рассчитывается по соответствующим значениям параметров жидкости (l) и газа (g): $\rho = \rho_l \gamma + \rho_g (1-\gamma)$. Применяя метод объема жидкости, записывается система уравнений в векторном виде, состоящая из уравнения неразрывности, Навье–Стокса и уравнения для определения положения подвижной границы раздела жидкость-газ:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0, \tag{1}$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu \Delta \mathbf{u} + \mathbf{g} + \frac{1}{\rho}\sigma \kappa \nabla \gamma, \tag{2}$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial t} + \nabla \cdot (\gamma \mathbf{u}) + \nabla \cdot \left[(1-\gamma)\gamma \mathbf{u}_r\right] = 0, \tag{3}$$

здесь $\mathbf{u}$ – вектор скорости среды, t – время, p – давление, $\kappa = -\nabla \cdot \mathbf{n}$ – кривизна свободной поверхности, $\mathbf{n} = \nabla\gamma / |\nabla\gamma|$ – единичная нормаль к поверхности раздела фаз, σ – коэффициент поверхностного натяжения, $\mathbf{u}_r = \mathbf{u}_l - \mathbf{u}_g$ – искусственный член сжатия, $\mathbf{g}$ – ускорение свободного падения.

В начальный момент времени $t = 0$ среда покоится $\mathbf{u} = 0$. В области газовой полости Ω_g и выше уровня жидкости h_1 значение маркер-функции равно $\gamma = 0$, в остальной части расчетной области $\gamma = 1$. На поверхностях резервуара задается условие проскальзывания. Задача (1)-(3) с начальными и граничными условиями решается методом конечных объемов.

Предварительно перед проведением основных численных экспериментов проводится верификация алгоритма и численного решения. Типичный тест для двумерной задачи о всплытии одиночного пузырька диаметром d приводится в работе [2]. Задача решается в безразмерном виде, при этом характерный масштаб длины составляет d, скорости всплытия $u_g = \sqrt{gd}$, времени $t = d/u_g$. Рассматривается расчетная область размером [1×2]. Область Ω_l заполнена жидкостью. По центру на высоте 0.5 от дна размещается газовая полость Ω_g. Вектор силы тяжести $\mathbf{g}$ направлен вертикально вниз противоположно оси $0x_2$. Параметры жидкости согласно [2] задаются следующим образом: плотность $\rho_l = 10^3$, коэффициент динамической вязкости $\mu_l = 10$, газовой фазы: $\rho_g = 100$, $\mu_g = 1$. Коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 24.5$. Соответственно, числа Рейнольдса и Бонда равны $\mathrm{Re} = \rho_l u_g d / \mu_l = 35$, $\mathrm{Bo} = \rho_l u_g^2 d / \sigma = 10$. Сравнивается форма газовой полости и высота подъема в момент времени t=3. На рис. 1 показано хорошее согласие численных расчетов с данными работы [2].

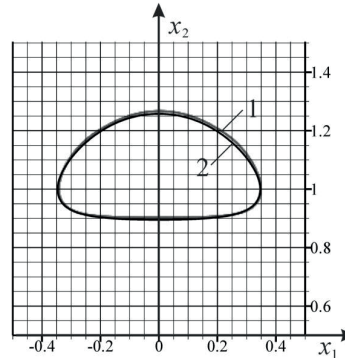


Рис. 1. Форма газового включения в момент времени t=3:
1 – данные [2], 2 – расчет.

Далее, при проведении численных экспериментов выбран прямоугольный резервуар шириной $B = 0.024$ м, высотой $H = 0.06$ м, который заполнен жидкостью до уровня $h_1 = 0.055$ м. В нижней части резервуара на его оси на

уровне $h_0 = 0.005$ м расположен круглый газовый пузырек диаметром d. Параметры жидкости заданы следующим образом. В качестве рабочей жидкости выбрана вода с плотностью $\rho_l = 10^3$ кг/м³, коэффициентом кинематической вязкости $\nu_l = 10^{-6}$ м²/с. Коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 0.07$. Газовая фаза представлена воздухом с параметрами $\rho_g = 1$ кг/м³, $\nu_g = 1.48 \cdot 10^{-5}$ м²/с. Диаметр пузырьков варьируется в диапазоне от 0.001 до 0.01 м.

В [3] отмечается, что в зависимости от объема газовые пузыри в жидкости могут иметь различные формы: сферу, сплюснутого сфероида, сферического сегмента, а при определенных условиях пузырьки претерпевают пульсационные изменения формы в процессе всплытия. Результаты численного эксперимента показали, что сложное взаимодействие между силами инерции, вязкостью и поверхностным натяжением приводит к деформации границы раздела фаз и, как следствие, разнообразным формам пузырьков в процессе подъема (рис. 2).

Так, на начальном этапе всплытия сохраняется круглая форма пузырька. По мере того, как пузырек всплывает, в жидкости за кормовой частью формируется вихревой след. На ранних этапах всплытия, когда пузырек имеет симметричную форму относительно вертикальной оси, вихревые структуры отрываются от его поверхности синхронно справа и слева. Затем поверхность пузырька начинает деформироваться вследствие неравномерности давления вдоль межфазной границы раздела. Потеря устойчивости приводит к изменению траектории всплытия от вертикальной к зигзагообразной. Пузырек сплющивается в направлении движения. При этом большая ось пузырька, как правило, направлена перпендикулярно траектории. Смена направления движения всегда сопровождается изменением формы включения. Причем чем больше размер пузырька, тем его форма становится менее устойчивой. В следе за пузырьком формируются асимметричные вихревые структуры.

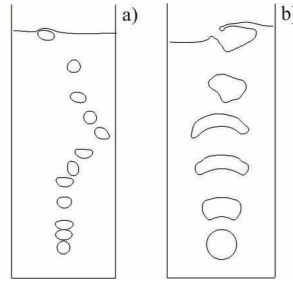


Рис. 2. Эволюция всплытия в воде одиночного пузырька воздуха диаметром $d = 3 \cdot 10^{-3}$ м (a), $d = 7 \cdot 10^{-3}$ м (b).

Динамика одиночного пузырька при всплытии в вязкой жидкости характеризуется взаимодействием сил поверхностного натяжения, вязкости,

инерции и силы Архимеда. Следует заметить, что межфазные границы между жидкостями и пузырьками с высокими отношениями плотностей и низкими числами Рейнольдса обычно нестабильны.

Литература

1. Антонова Е.С. Исследование процесса диспергирования водовоздушной смеси, генерируемой эжекционной системой аэрации // Инженерный вестник, 2015. № 6. С. 62–69.

2. Klostermann J., Schaake K., Schwarze R. Numerical simulation of a single rising bubble by VOF with surface compression // Int. J. Numer. Meth. Fluids, 2013. V. 71. P. 960–982.

3. Лабунцов Д.А., Ягов В.В. Механика двухфазных систем. М.: Изд-во МЭИ, 2000. 374 с.

МЕХАНИЗМЫ КОРРОЗИИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ

Муратаев Фарид Исхакович
Евлампьев Андрей Владиленович
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Аннотация: Исследование структуры металла образцов сварных соединений аустенитных сталей для выявления причин инцидента – коррозионного разрушения при эксплуатации в типовых условиях и определения степени соответствия металла нормативным документам. Выявлены следы нескольких видов электрохимической коррозии и дефекты металлургического и производственного происхождения в металле и сварных соединений. Установлены механизмы деградации металла соединений аустенитных сталей, имеющие металлургическую, технологическую и эксплуатационную наследственность.

Abstract: Study of the metal structure of samples of welded joints of austenitic steels to identify the causes of the incident - corrosion destruction during operation under standard conditions and to determine the degree of metal compliance with regulatory documents. Traces of several types of electrochemical corrosion and defects of metallurgical and industrial origin in metal and welded joints were revealed. The mechanisms of metal degradation of austenitic steel joints, which have metallurgical, technological and operational heredity, have been established.

Ключевые слова: сварные соединения аустенитных сталей, коррозия.

Макроскопическим анализом образцов сварных соединений (СС) аустенитных сталей (АС), выполненных ручной аргонодуговой сваркой выявлены: непровары шва СС № 1 - элемента трубопровода установки. Они имеют развитую зону (визуально) - язвенного коррозионного повреждения, а элемент «заглушки» и основной металл в нем незначительно подвергнут

равномерной электрохимической коррозии (ЭХК). Образец №3 - элемент перегородки бака-хранилища имеет развитое коррозионное повреждение (визуально): язвенно–избирательно-ножевого характера, которое развивается со стороны корня сварного шва (СШ). Выявлены варианты избирательной - точечной и подповерхностной неравномерной электрохимической коррозии. Металл по загрязненности и по качеству СС имеет недопустимые дефекты. Непровары в поверхности сплавления (ПС) трубы и крышки, провоцирующие развитие ножевой коррозии (рис.1) в образце СС № 1. Нераскатные сульфиды (С) и оксисиликаты (СН) >4 балла шкалы СН ГОСТ 1778.

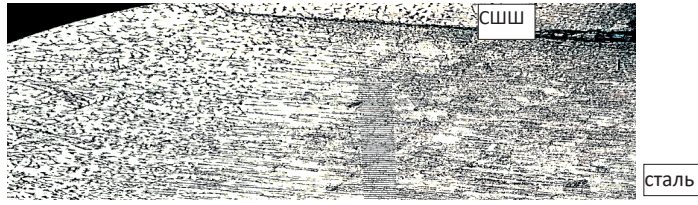
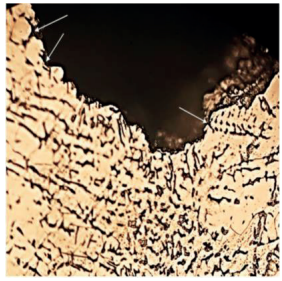
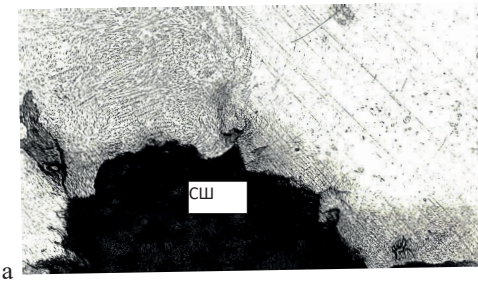


Рис.1 Непровар в ПС трубы и крышки, провоцирующие развитие ножевой коррозии

Согласно данным сертификата по химическому составу сталь должна соответствовать требованиям (EN, A276, UNS) к марке 304, однако в связи с заниженным содержанием хрома по химическому составу она ближе к маркам: 1.4301 (EN) и стали S32100 (UNS) (ближайший аналог РФ сталь 12Х18Н9).

Коррозионные повреждения выявлены в зонах СС: СШ (рис.2, а), чаще в ПС (рис.2, б), где (как правило) реализуется максимальный градиент содержания легирующих элементов и особенно вредных примесей [1-7] - это снижает стойкость металла зоны ПС против коррозии. В поверхности сплавления обеспечивается максимальная разница электрохимических потенциалов на участках металла СС с частичным оплавлением с одной стороны и сварочной ванны – с другой [1-4], что дополнительно понижает коррозионную стойкость. Кроме того, в этой зоне СС велика вероятность выделения σ-фазы, а при перегреве металла, образования в структуре δ-феррита [3, 4].

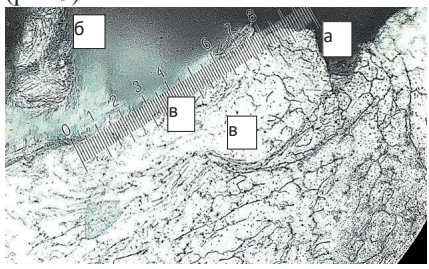

а



б

Рис.2 Микроструктура сварного шва (а) и сварного соединения с развитием коррозии на участках поверхностей сплавления (б)

Процесс коррозии СШ развивается путем растравливания δ-ферритных границ аустенитных зерен (рис.2, а –отмечено стрелками). Деградация металла на участках ПС возникает по схеме ножевой коррозии переходя в варианты язвенной и подповерхностной коррозии. Процесс деградации металла может развиваться эквидистантно поверхности фронта коррозии или по нормали (рис.3).



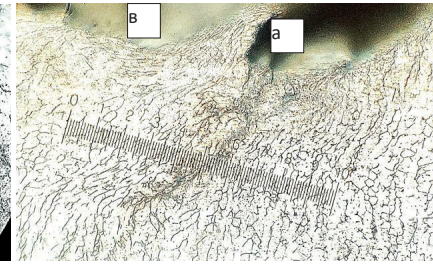


Рис.3 Изменение направления ферритных границ зерен аустенита в линию (а), вычленение - оторочка аустенита границами «на кольцо» (б), направление границ зерен эквидистантно поверхности фронта коррозии (в) ЦД шк. 0,01мм

Коррозия в СШ развивается в 3-4 стадии по следующим схемам и механизму протекания (рис.4). Разворот и повреждение единичных ферритных границ дендритов 1-го и 2-го порядка и их пучков под действием градиентов значений отрицательных электрохимических потенциалов с последующим растворением (рис.3 и рис.4, а). Так создаются условия для проникновения электролита в глубину металла и развития подповерхностной коррозии рис.2, б и рис.5 - при этом границы феррита служат проводником ЭХК.

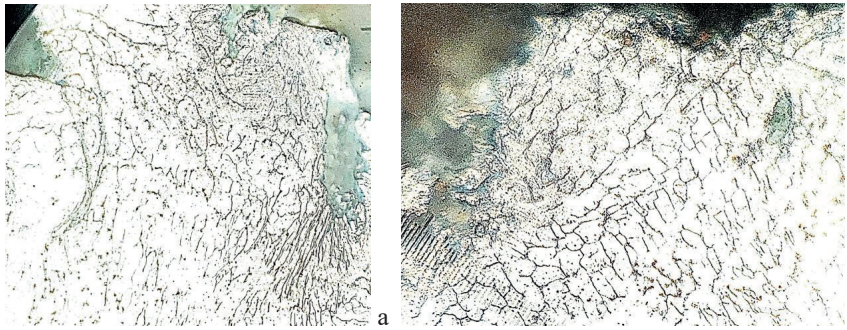


Рис.4 Направления и комбинация ферритных границ зерен аустенита в линию или пучок (а); оторочка единичных дендритов аустенита растворением ферритных границ 2-го порядка (б) (ЦД шкалы 0,02мм)

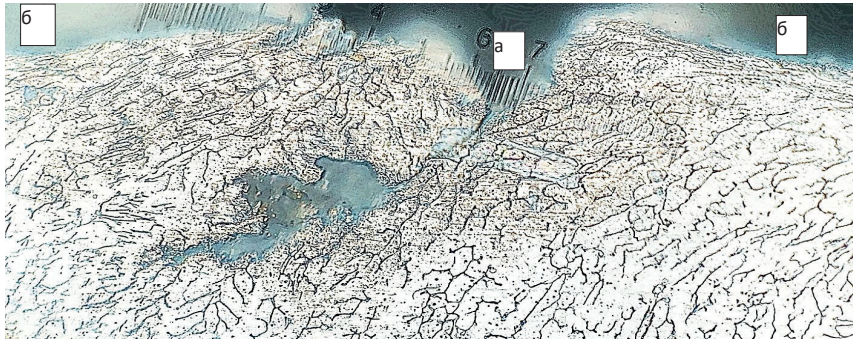


Рис.5 Развитие подповерхностной ЭХК по исходной стадии ножевой коррозии; участки локальной проникающей (а) и равномерной поверхностной коррозии (б)

Вычленение веток аустенитных дендритов СШ осуществляется путем растравления ферритных границ 1-го порядка (рис.3, б и рис.4, б), посредством оторочки аустенитных зерен растравливанием границ дендритов 2-го порядка. Отторжение их от массива металла СШ со структурой аустенита и вторичных фаз развивает деградацию (коррозию) СШ аустенитной стали по фронту. Результаты развития процесса подповерхностной и поверхностной ЭХК (в варианте оторочки и отторжения дендритов аустенита) в виде остатков частиц деградированного аустенита (γд) в продуктах коррозии приведены на (рис.3, б и рис.4, а, б).

Кроме упомянутых факторов и особенностей протекания ЭХК существенное влияние на характер и степень ее развития в СС аустенитной стали оказывает наличие в металле большого количества силикатов недеформирующихся и нитридов титана. Упомянутые металлургические дефекты и вторичные фазы локализуют на себе виды, проникающей в металл коррозии дополнительно провоцируя деградацию металла сварных соединений.

Выводы

1. Подавляющее большинство деградированного металла выявлено собственно в сварном шве и поверхности сплавления сталей 1.4301, S32100.

2. Деградация металла сварного шва происходит часто по вариантам: язвенной, избирательной, пятнами, точечной и подповерхностной коррозии.

3. Деградация металла поверхности сплавления происходит преимущественно по вариантам: язвенной, ножевой и подповерхностной коррозии в ряде случаев в метах непровара металла.

4. Варианты избирательной, пятнами, точечной коррозии реализованы в скоплениях силикатов недеформирующихся и нитридов титана.

5. Наиболее интенсивно коррозия сварного шва протекает при образовании линий, жгутов и пучков ферритных границ в аустените нормально к фронту поверхностной коррозии, трансформируясь в последствие в подповерхностную.

6. Важным подспорьем в развитии ЭХК является исходное расположение ферритных границ дендритов аустенита 1-го и 2-го порядка у поверхности фронта коррозии. При их растворении происходит (в з этапа) либо проникновение электролита в глубь металла, либо отторжение дендритов и блоков дендритов аустенита в зону продуктов деградации.

Использованные литературные источники

1. Ф.И. Муратаев, А.В. Евлампьев, Т.А. Муратаев Анализ причин стресс-коррозии аустенитных сталей и сварных соединений // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2021. №1. С. 76–81.

2. Муратаев Ф.И., Мухамадеев И.М. Металлография коррозионного растрескивания сталей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2020. Т. 76. №3. С. 49-55.

3. Муратаев Ф.И., Загидуллин А.Д. Обеспечение стойкости сварных соединений аустенитных сталей к межкристаллитной коррозии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2019. №2. С. 45-50.

4. Ф.И. Муратаев Типовые и деградационные признаки микроструктуры сварных соединений конструкционных и специальных сталей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2013. № 2. Выпуск. 3. С. 84-89.

5. Шабалин Е.А., Муратаев Т.А., Муратаев Ф.И. Влияние количества интерметаллида CuAl2 на микротвердость сварного соединения // Materials. Technologies. Design. № 2(4). С. 37–42.

6. Муратаев Ф.И., Фролова А.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ КОНТАКТНОГО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ В РАСТРУБ МЕДНЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ ТРУБОК // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2021. №3. С.62-66.

7. Муратаев Ф.И., Махмутянов А.Н., Муратаев Т.А. Превращения титановых сплавов в лазерном пятне при ударном упрочнении // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2020. № 2. С. 57–62.

8. Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф. Адаптация состава, структуры, свойств металла и сварных соединений теплообменников к сопротивлению

высокотемпературной газовой коррозии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2015. № 3. С. 119–125.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ В ВАРИАНТАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Муратаев Фарид Исхакович
Хуснетдинов Карим Рамилевич

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Аннотация: Ранжируются показатели структуры титановых сплавов и свойств конструкционной прочности по характеристикам (усталости металла, пластичности, ударной вязкости, прочности и статической трещиностойкости). Определены закономерности характеристик, микроструктуры и свойств конструкционной прочности штамповок сплавов мартенситного и переходного классов.

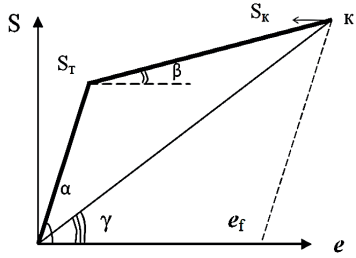
Abstract: The indexes of the structure of titanium alloys and the properties of structural strength are ranked according to their characteristics (metal fatigue, plasticity, impact strength, strength and static crack resistance). The regularities of characteristics, microstructure and properties of structural strength of forgings of martensitic and transitional alloys are determined.

Ключевые слова: титановые сплавы, микроструктура, конструкционная прочность.

Для решения задач обеспечения эффективной, безопасной и надежной эксплуатации высоконагруженных элементов установок представляется целесообразным обосновать основные критерии предельного состояния материалов, с позиций состояния структуры и служебных свойств [1, 2]. Для удобства, в инженерной практике они должны быть представлены характеристиками конструкционной прочности (КП), которые являются структурно-чувствительными и отражают технологическую и эксплуатационную наследственность [1-3]. Благодаря адекватно выбранным свойствам КП можно рассчитывать на широкое использование их в задачах согласования с характеристиками чувствительности материалов к условиям усталостного нагружения по количественным силовым и температурным показателям [4-6].

Исследования проводятся на образцах вариантов эксплуатационной и стендовой наработки, в т. ч. в вариантах технологических и структурных состояний титановых сплавов ВТ22, ВТ8 и ВТ8М, ВТ6, [1, 4, 6]. Металлографические исследования выполнены на сканирующем электронном микроскопе Auriga Cross Beam с программным обеспечением Smart Sem. Микрозондовый рентгеноспектральный анализ шлифов выполнен на базе энергодисперсионного спектрометра INCA X-Max (чувствительностью в 127

эВ) [3, 4]. Для решения задач были реализованы варианты структур титановых сплавов, отличающихся резкой неоднородностью размеров, геометрии и количества низкотемпературной α и превращенной $\alpha_п$ - фазы, размером и морфологией бывшей высокотемпературной β - фазы [1, 6]. Например, изменения механических свойств по вариантам заготовок на примере сплава ВТ22 приведены в табл.1. Лучшими свойствами обладает вариант штамповки в 8 переходов с минимальным соотношением параметра структуры ($\alpha/\alpha_П$). Наиболее значительно, более чем в 5 раз, изменяются модуль Ильюшина ($E_К$) и относительное сужение (ψ), практически в 10 раз равномерная пластичность ($e_в$). Относительное удлинение (δ) меняется более чем в 3,6 раза, коэффициент деформационного упрочнения ($m^{(0)}$) ~ в 2 раза и истинная прочность ($S_к$) - на 35%. Они определяются из истинной диаграммы деформирования при растяжении (см. рис.1)



$E = tg\alpha$;
$S_к = P_к / F_к$;
$e_f = ln\,[1/(1-\psi)]$;
$m^{(0)} = tg\beta$;
$E_к = tg\gamma$;

Рис. 1 Характеристики истинной диаграммы деформирования при растяжении

В сплаве переходного класса ВТ22 структура определяется режимами мягкой закалки, двойного или изотермического отжига состоит из низкотемпературной с разной степенью рекристаллизации, формы и размеров α - фазы + высокодисперсной (превращенной) $\alpha_п$- фазы + превращенного α′ - мартенсита + α″ - мартенсита и + превращенной β′ - фазы разной дисперсности.

В сплаве ВТ6 исходная структура представлена состояниями (рис.2)

Характеристики структуры и свойств сплавов ВТ6 и ВТ22 по технологическим вариантам заготовок и термической обработки

Таблица 1

Характеристики структуры и свойств	Штамповки в 8 переходов		Штамповки в 5 переходов			Диск поковка	Штамповки в 3 перехода	
$\alpha/\alpha_П$	**2**	2,5	4,7	5,7	6	8	10	11
ψ, %	**43**	41	19,6	17	14	10	9.4	7.9
K_{IC}, МПа·м^{0,5}	**78**	70	50	48	46.5	-	45.4	39.4
$S_К$, МПа	**1590**	1550	1435	1410	1390	-	1364	1329
$E_К$, МПа	**2700**	3000	6147	7220	8800	10170	12300	14100
$m^{(0)}$	**9,5**	7,12	8,96	-	6,0	4,08	4,9	5,47

Соотношение компонентов структуры α/αп в каждом случае технологического состояния различается, в том числе, их размеры, геометрия и взаимное расположение. Это существенно зависит от технологических режимов формоизменения, так и от уровня температуры и других параметров термической обработки, например, скорости охлаждения сплава ВТ22 [1, 6]. Поэтому каждому варианту структурного состояния (оно выражено средним значением, или интервалом значений соотношений параметров структуры - α/αп) соответствует определенный комплекс характеристик КП. В качестве примера на рис.3, а приведено согласование показателя структуры и деформационного упрочнения сплавов. При отсутствии информации используются зависимости связи характеристик КП ЕК= f (ψ).

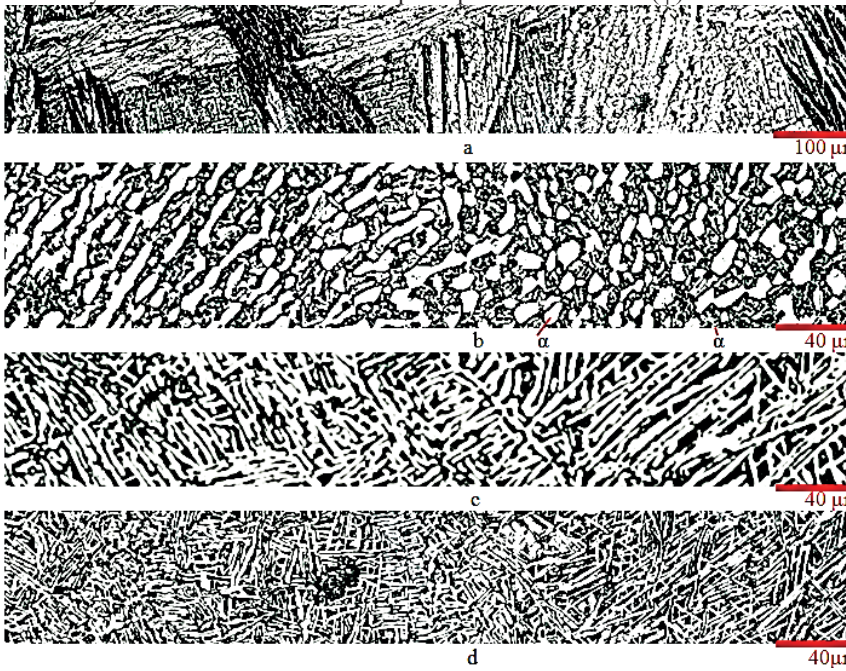


Рис.2 Примеры микроструктуры сплава ВТ6 (α+ $\alpha_п$ + α′ + α″) в вариантах состояний: (a) – лазерное ударное упрочнение [6], закалка (из β - области) и старение без ВТМО, (b) – мягкая закалка (из α+β - области) и старение с ВТМО, (c) - жесткая закалка (из α+β - области) и старение, (d) - жесткая закалка (из α+β -области) и двойное старение. (a - ^{x}500 b - d, - ^{x}1300)

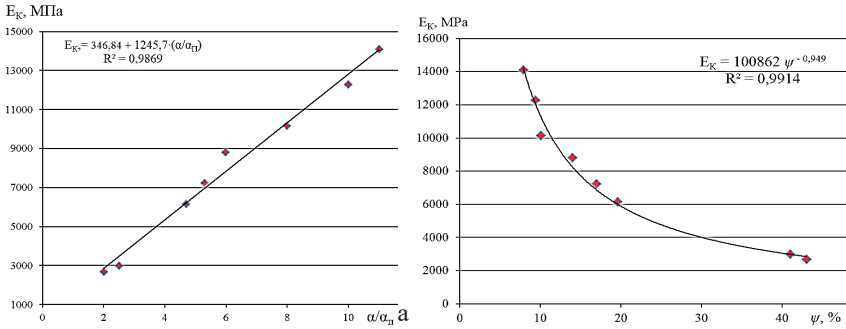


Рис.3 Примеры согласования характеристик: структуры и предельного значения секущего модуля (Ильюшина - а) и свойств КП (истинной прочности и пластичности – б)

Обоснованы и другие зависимости, подтвержденные коэффициентами регрессии:

$\psi = 0{,}893(\alpha/\alpha_{п})^2 - 13{,}91(\alpha/\alpha_{п}) + 65{,}18$; (1), $E_K = 1170(\alpha/\alpha_{п}) + 656{,}1$, (2),

$m^{(0)}10^2 = 10{,}43 - 0{,}713(\alpha/\alpha_{п})$, (3), $S_к = 1700 - 41(\alpha/\alpha_{п})$. (4),

где: $E_к = E\left[1+(E/S_к)\ln 1/(1-\psi)\right]^{-1{,}0}$ и $m^{(0)} = 0{,}75In(S_к/\sigma_{0,2})\left\{\ln\left[(\sigma_{0,2}/E)^{-1{,}0}(S_к/E + Inl/1-\psi)\right]\right\}^{-1{,}0}$,

$N_2/N = 1 - (\sigma a_2/\sigma_{-1})^{\gamma/n(t)}$, (5)

Выводы

1. Установлена иерархия свойств прочности, пластичности, ударной вязкости, трещиностойкости, деформационного упрочнения титановых сплавов мартенситного и переходного классов для обоснования технологий.

2. Полученные зависимости позволяют улучшить служебные свойства титановых сплавов, обосновать эффективную технологию, способствуют сокращению времени подтверждения технологических решений, сроков доводки элементов техники.

3. В качестве критериев конструкционной прочности используются характеристики истинной диаграммы деформирования сплавов.

4. В широком диапазоне технологических и структурных состояний титановых сплавов установлены тесные зависимости значений важнейших характеристик конструкционной прочности от соотношения размеров исходной и превращенной $\alpha_{п}$-фазы.

Использованные литературные источники

1. Муратаев Ф.И., Мухамадеев И.М. Закономерности структурных состояний и характеристик конструкционной прочности штамповок титанового сплава // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. 2020. Т. 76, № 2. С. 46–52.

2. Муратаев Ф.И., Шабалин Е.А. СОГЛАСОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ И СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ

ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2021. № 4. С.171-179.

3. Murataev F.I., Galimov E.R. Development of a technology for hardening the working surfaces of microsurgical tools from titanium alloy // IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. 2020. V. 915. Article number 012042. DOI: 10.1088/1757-899X/915/1/012042.

4. Шабалин Е.А., Муратаев Т.А., Муратаев Ф.И. Ранжирование характеристик конструкционной прочности в задачах обеспечения долговечности и надежности сплавов.Materials. Technologies. Design. [S. l.], v.3, n. 2(4), p. 51-61, 2021. ISSN 2658-7572.

5. Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф. Исследование повреждаемости металла дисков компрессора ГТУ // ISSN 2078-6255. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2016 №4. С. 31-35.

6. Муратаев Т.А., Фролова А.Б., Муратаев Ф.И. Согласование характеристик структуры и конструкционной прочности титановых сплавов мартенситного и переходного классов Materials. Technologies. Design. [S. l.], v. 3, n. 2(4), p. 25-3

ВЛИЯНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫДЕРЖКИ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ЗАКАЛЕННОГО НА НИЖНИЙ БЕЙНИТ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ И ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Панов Алексей Геннадьевич, Шаехова Ирина Фаридовна,
Гимазетдинова Чулпан Альбертовна, Соченко Татьяна Владимировна
Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, кафедра материалов, технологий и качества, пр. Мира 13
e-mail: gimazetdinova.chulpan@mail.ru, irrra1603@yandex.ru, panov.ag@mail.ru, stv09@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлены результаты анализа литературы и проведения сравнительного анализа микроструктуры и значений микротвердости изотермически закаленных на нижний бейнит чугунов. Приведены различия в структурообразовании и механических свойствах (значения микротвердости) для чугунов с вермикулярным и шаровидным графитом в зависимости от времени изотермической выдержки.

Abstract. This article presents the results of a literature analysis and a comparative analysis of the microstructure and microhardness values of austempered cast irons for low bainite. Differences in structure formation and mechanical properties (microhardness values) for cast irons with compacted and spheroidal graphite depending on austempering time are presented.

Ключевые слова: чугун, графит, микроструктура, микротвердость.

Введение. В современном машиностроении находят широкое применение высокопрочные чугуны с вермикулярным и шаровидным графитом, поскольку детали, изготовленные из данных сплавов, отличаются от классических сталей и серых чугунов простотой технологического процесса и повышенными физико-механическими свойствами. Вместе с тем последние десятилетия среди промышленных предприятий наблюдается повышенный интерес к изотермически закаленным высокопрочным чугунам. В этой связи термическая обработка чугунов, как способ получения новых структур и свойств является одним из перспективных направлений промышленности.

Чугун с вермикулярным графитом отличается сочетанием уникальных физических и эксплуатационных характеристик. Это обуславливается промежуточной морфологией графита между пластинчатым и шаровидным. Изготовление деталей из изотермически закаленного ЧВГ не только повышает механические и эксплуатационные характеристики, но снижает их удельный вес [1].

Изотермическая закалка ЧШГ оказывает существенное влияние на его прочностные характеристики, сохраняя при этом достаточную ударную вязкость [2,3].

Традиционно считалось, что при проведении изотермической закалки целесообразно применение одних и тех же режимов. Однако научные исследования [3, 4] показывают отличия в структурообразовании ЧВГ и ЧШГ, что влияет на их эксплуатационные характеристики.

Целью данной работы стало исследование влияния времени изотермической выдержки на структуру и механические свойства (микротвердость) чугунов с вермикулярным и шаровидным графитом.

Методы исследования. Для проведения исследования компанией SinterCast (Швеция) и Литейным заводом ПАО «КАМАЗ» (г. Набережные Челны) были предоставлены литые заготовки ЧВГ и ЧШГ размером 250×250×50 мм, из которых вырезались лабораторные образцы размером 20×20×40 мм. На рисунке 1 представлены микроструктуры экспериментальных образцов до термической обработки, из которых видно, что ЧВГ согласно ГОСТ 3443-87 состоит из 94% перлита (остальное феррит), а ЧШГ напротив из 94% феррита (остальное феррит).

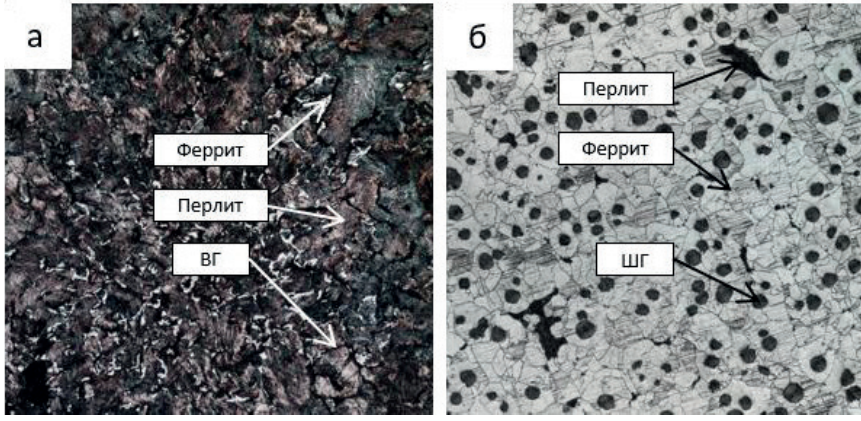


Рисунок 1. Исходные микроструктуры опытных образцов, ×100:
а) ЧВГ; б) ЧШГ

Термическая обработка проводилась в муфельной печи с электрическим нагревом SNOL 8,2/1100. Аустенитизация проводилась при температуре 900°С в течение 30 минут. Последующая изотермическая закалка проводилась в соляной ванне (50% KNO3 и 50% NaNO3) при температуре 290°С, время выдержки варьировалось и составило: 10, 20, 30, 60, 80, 90, 120, 180, 240 минут для ЧВГ; 10, 20, 40, 100, 120, 180, 240, 300 минут для ЧШГ.

Для проведения микроструктурного анализа использовали металлографический комплекс, включающий в себя световой микроскоп NEOPHOT-32 (Германия) и программное обеспечение SIAMS 800 (Екатеринбург).

Микротвердость измеряли методом Виккерса на микротвердомере «Durimet» (Германия) при нагрузке 50 г. Замеры проводились по всему сечению образца с целью получения наиболее полного представления о распределении значений микротвердости.

Результаты и обсуждения. В результате проведения термической обработки (аустенитизация + изотермическая закалка), согласно описанным выше режимам, были получены образцы с различной комбинацией структурных элементов на основе игольчатых структур и остаточного аустенита.

На рисунке 2 представлен график зависимости средних значений микротвердости от времени изотермической выдержки для опытных образцов ЧВГ и ЧШГ.

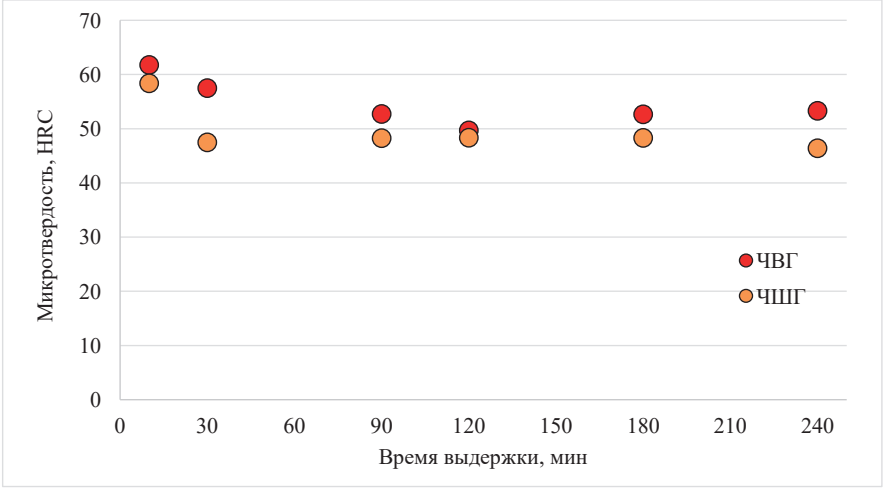


Рисунок 2. Зависимость средних значений микротвердости от времени изотермической выдержки для ВЧ с шаровидным и вермикулярным графитом

Выводы. Анализ данных рисунка 2 показал:

1. Средний уровень микротвердости для ЧВГ значительно колеблется и находится в диапазоне 61,8…49,7 HRC. Для ЧШГ в диапазоне 58,4…46,4 HRC.
2. Наибольшие значения микротвердости наблюдаются при изотермической выдержке в течение 10 мин, что связано с образованием мартенситной составляющей на ряду с сохранением достаточно большого количества остаточного аустенита (Аост). Здесь же наблюдается и наибольший разброс данных.
3. Наименьший разброс данных по микротвердости для ЧШГ выявлен при ИВ = 30...240 мин, что определяет диапазон “технологического окна”. Для ЧВГ этот диапазон составляет 30...120 мин.
4. При ИВ = 120 мин значения микротвердости для ЧВГ и ЧШГ практически совпадают.
5. Значения микротвердости ЧВГ с среднем на 8% выше, чем у ЧШГ. При этом данные ЧВГ ближе к мартенситным значениям.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что различия в формообразовании нелегированных ЧВГ и ЧШГ имеются и при разработке технологии изготовления данных материалов следует их учитывать.

Список источников

1. Gregorutti R.W. Mechanical properties of compacted graphite cast iron with different microstructures / R.W. Gregorutti, J.E. Grau // International Journal of Cast Metals Research, 2014. – 27. p. 275 – 281.

2. Dorazill E. High-strength bainitic cast iron with spheroidal graphite / E. Dorazill, B. Barta, J. Crhak and E. Munsterova // Metal Science and Heat Treatment 20, 532 – 535 (1978).

3. Панов А.Г. Об уникальности теплофизических свойств и перспективах чугуна с вермикулярным графитом для двигателей внутреннего сгорания / А.Г, Панов, И.Ф. Шаехова, Д.А. Гуртовой // М: Черные металлы, 2021 №4. с. 51 – 56.

4. Панов А.Г. Влияние изотермической выдержки на структуру и микротвердость закаленного на верхний бейнит чугуна с вермикулярным графитом/ А.Г, Панов, И.Ф. Шаехова, Д.А. Гуртовой // М: Литейное производство, 2021 №10. с. 2 – 8.

5. Ramadan M. Comparison of austempering transformation in spheroidal graphite and compacted graphite cast irons / M. Ramadan, A. Nofal, I. Elmahalawi, R. Abdel-Karim // International Journal of Cast Metals Research, 2006 Vol. 19, No. 2.

ВЛИЯНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫДЕРЖКИ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ЗАКАЛЕННОГО НА ВЕРХНИЙ БЕЙНИТ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ И ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Панов Алексей Геннадьевич, Шаехова Ирина Фаридовна, Гимазетдинова Чулпан Альбертовна, Соченко Татьяна Владимировна

Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, кафедра материалов, технологий и качества, пр. Мира 13
e-mail: gimazetdinova.chulpan@mail.ru, irrra1603@yandex.ru, panov.ag@mail.ru, stv09@mail.ru.

Аннотация. В данной статье представлены результаты анализа литературы и проведения сравнительного анализа микроструктуры и значений микротвердости изотермически закаленных на верхний бейнит чугунов. Приведены различия в структурообразовании и механических свойствах (значения микротвердости) для чугунов с вермикулярным и шаровидным графитом в зависимости от времени изотермической выдержки (ИВ).

Abstract. This article presents the results of a literature review and a comparative analysis of the microstructure and microhardness values of austempered cast irons to the upper bainite. Differences in structure formation and mechanical properties (microhardness values) for cast irons with compacted and spheroidal graphite depending on austempering time are presented.

Ключевые слова: микроструктура, микротвердость, графит, чугун.

Введение. Высокопрочные чугуны с шаровидным (ШГ) и вермикулярным (ВГ) графитом находят широкое применение в современном машиностроении, сочетая в себе простоту технологического процесса изготовления и повышенные физико-механические свойства. Одним из

перспективных направлений получения новых структур и улучшения характеристик чугунов является их термическая обработка, в том числе изотермическая закалка.

Изотермическая закалка ЧШГ на бейнитную матрицу оказывает существенное влияние на его прочностные характеристики [1]. Изотермически закаленный ЧШГ обладает высокой пластичностью при повышенной прочности, повышенной усталостной прочности и износостойкости; данное сочетание свойств обеспечивает широкое применение данного сплава в мире [2].

Чугун с вермикулярным графитом получил популярность среди промышленных предприятий сочетанием в себе уникальных физических и эксплуатационных характеристик, что обусловлено промежуточной морфологией графита между чугунами с пластинчатым и шаровидным графитом. Вместе с тем наблюдается повышенный интерес к изотермически закаленному ЧВГ, поскольку изготовление деталей из данного вида сплава позволяет не только повысить характеристики, но и снизить их удельный вес [3].

В связи со схожестью свойств ЧШГ и ЧВГ традиционно считается, что при проведении изотермической закалки целесообразно применять одинаковые режимы. Однако проведенные научные исследования [3-5] показали отличия в образовании структур, которые оказывают влияние на эксплуатационные характеристики.

Целью данной работы стал сравнительный анализ структур и механических свойств, а именно значений микротвердости, в зависимости от времени изотермической выдержки для ЧШГ и ЧВГ.

Методы исследования. Экспериментальные образцы ЧВГ были вырезаны из литых заготовок размером 250×250×50 мм, предоставленных компанией SinterCast (Швеция). Образцы ЧШГ были вырезаны из клиньев, изготовленных на Литейном заводе ПАО «КАМАЗ» (Россия). Химический состав материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический и исходный фазовый состав опытных образцов

Материал	Химические элементы, %										
	C	S	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	P	Mg	Mo
ВЧ КАМАЗ стандартный (ВЧ40)	3,73	0,007	2,31	0,33	0,05	0,01	0,10	0,019	0,033	0,061	-
	3,71	0,007	2,28	0,33	0,05	0,02	0,10	0,019	0,035	0,063	-
	Микроструктура										
	ШГф4,5; ШГр1,2; ШГд25,45; ШГ12; П6										
ЧВГ SinterCast стандартный	3,56	0,01	2,1	0,2	0,035	0,04	0,84	-	-	0,011	0,01
	Микроструктура										
	П95, ВГ>95%										

Для проведения термической обработки из полученных заготовок вырезались экспериментальные образцы размером 20×20×40 мм. Аустенитизация проводилась при температуре 900°С в течение 30 минут (без учета времени на нагрев) в муфельной печи с электрическим нагревом SNOL 8,2/1100. Последующая изотермическая закалка проводилась в той же печи в соляной ванне (50% KNO3 и 50% NaNO3) при температуре 390°С, время выдержки варьировалось и составило: 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 480 минут для ЧВГ и 20, 40, 60, 90, 120, 180, 240, 300 минут для ЧШГ соответственно. Образцы охлаждались на воздухе до комнатной температуры.

Микроструктурный анализ проводили с применением светового микроскопа NEOPHOT-32 (Германия). Цифровые изображения закалочных структур получали с помощью программного обеспечения SIAMS 800 (Екатеринбург) при увеличении в 1000 крат.

Измерение микротвердости проводили методом Виккерса на микротвердомере «Durimet» (Германия) с нагрузкой 50 г. Количество замеров определяли таким образом, чтобы получить наиболее полное представление о распределении значений микротвердости по всему сечению образца.

Результаты и обсуждения. Анализ микроструктуры после термической обработки по заданным режимам показал, что, несмотря на одинаковые температурно-временные параметры изотермической выдержки, наблюдаются значительные отличия в микроструктуре между ЧВГ и ЧШГ, такие как дисперсность и распределение фазовых составляющих в материале.

На рисунке 1 представлен график зависимости средних значений микротвердости от времени изотермической выдержки ЧВГ и ЧШГ.

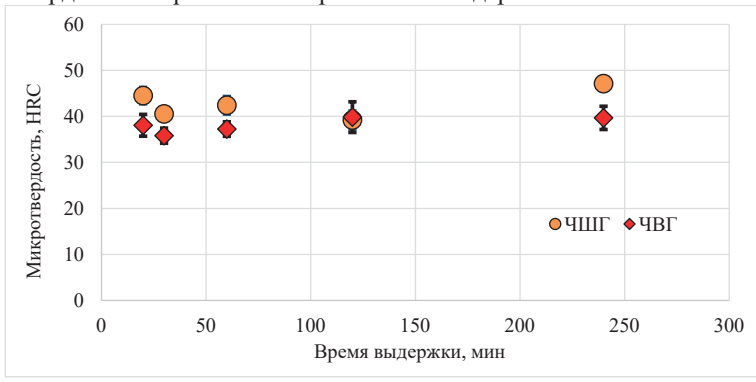


Рисунок 1. Влияние времени ИВ на микротвердость ЧВГ и ЧШГ

Выводы

1. Изотермически закаленный ЧШГ на верхний бейнит демонстрирует более высокие значения микротвердости по сравнению с ЧВГ. Кроме того, на всем временном интервале исследований отмечается максимальная однородность значений с минимальной погрешностью измерений.

2. Для ЧВГ максимальная однородность значений наблюдается в диапазоне ИВ = 30…60 мин, что можно указать как граничные условия при формировании «технологического окна» производственного процесса получения аустенитно-бейнитного ЧВГ.

3. При ИВ = 120 мин значения микротвердости ЧШГ и ЧВГ совпадают, что вызвано образованием схожей однородной бейнитной структуры.

Список источников

1. Dorazill E. High-strength bainitic cast iron with spheroidal graphite / E. Dorazill, B. Barta, J. Crhak and E. Munsterova // Metal Science and Heat Treatment 20, 532 – 535 (1978).

2. Панов А.Г. Влияние времени изотермической выдержки на структуру и микротвердость закаленного на верхний бейнит чугуна с вермикулярным графитом / А.Г. Панов, И.Ф. Шаехова, Д.А. Гуртовой // М: Литейное производство, 2021 №10. с. 2 – 8

3. Gregorutti R.W. Mechanical properties of compacted graphite cast iron with different microstructures / R.W. Gregorutti, J.E. Grau // International Journal of Cast Metals Research, 2014. – 27. p. 275 – 281.

4. Панов А.Г. Об уникальности теплофизических свойств и перспективах чугуна с вермикулярным графитом для двигателей внутреннего сгорания / А.Г, Панов, И.Ф. Шаехова, Д.А. Гуртовой // М: Черные металлы, 2021 №4. с. 51 – 56.

Ramadan M. Comparison of austempering transformation in spheroidal graphite and compacted graphite cast irons / M. Ramadan, A. Nofal, I. Elmahalawi, R. Abdel-Karim // International Journal of Cast Metals Research, 2006 Vol. 19, No. 2.

ОБЗОР СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

А.А. Прокопьев, Р.Р. Сафин
prokopev.anatolij@nail.ru , cfaby@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технологический университет
Российская Федерация, 420015, Казань, ул. Карла Маркса, 68
E-mail: office@kstu.ru

Аннотация. Вопрос экологии является ключевым на сегодняшний день. Связано это прежде всего с растущим количеством твердых бытовых отходов, которые зачастую не подлежат естественному разложению долгое время (полимерные композиты, пластики и т.д.). Поэтому стоит уделить внимание биоразлагаемым материалам, которые являются не только экологически безопасными, но и в то же время имеют высокие эксплуатационные свойства.

Ключевые слова: биоразлагаемый полимер, древесный наполнитель, композит.

OVERVIEW OF THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON BIODEGRADABLE POLYMERS AND ORGANIC FILLERS

A.A. Prokopiev, R.R. Safin
prokopev.anatolij@nail.ru , cfaby@mail.ru

Kazan National Research Technological University
68, Karl Marx str., Kazan, 420015, Russian Federation
E-mail: office@kstu.ru

Annotation. The issue of ecology is the key one today. This is primarily due to the growing amount of solid household waste, which is often not subject to natural decomposition for a long time (polymer composites, plastics, etc.). Therefore, it is worth paying attention to biodegradable materials that are not only environmentally friendly, but at the same time have high performance properties.

Keywords: biodegradable polymer, wood filler, composite.

Введение. Популярность композиционных материалов растет с каждым годом. В связи с этим необходимо уделить особое внимание качеству наполнителей и полимеров, применяемых в производстве органически наполненных композиционных материалов. С целью продления срока службы и улучшения физико-механических свойств композитов применяют различные способы предобработки наполнителей (ацетилирование, термическая обработка и т.д.). В то же время необходимо сделать акцент на биоразлагаемых полимерах – это позволит уменьшить экологический ущерб ввиду возможности биологического разложения материалов [1,2].

В последние годы стало популярным использование композитов, армированных натуральными волокнами, в различных условиях окружающей среды. Существует множество различных волокон, которые широко производятся и используются каждый день, такие как хлопок, джут, лен или конопля. Использование натуральных волокон в органической матрице очень выгодно, поскольку прочность и ударная вязкость получаемых композитов выше, чем у неармированных материалов. Эти композиты обладают многими преимуществами по сравнению с традиционными стекловолокнами или материалами, наполненными неорганическими минералами, включая более низкую стоимость, меньший вес, экологичность и возможность вторичной переработки [3].

Основная часть. Полимерные композиты, армированные натуральными волокнами, привлекают внимание исследователей как экологически чистые и устойчивые материалы из-за их низкой нагрузки на окружающую среду при производстве и утилизации. Композиты, армированные натуральными волокнами, имеют сопоставимые или несколько худшие механические характеристики по сравнению со стеклопластиками, но обладают некоторыми уникальными характеристиками, которые включают низкую теплопроводность, биоразлагаемость в естественных условиях и эффективное подавление вибрации. В этой статье представлен обзор типичных функциональных

возможностей композитов, армированных натуральными волокнами, включая теплоизоляционные свойства, биоразлагаемые свойства и свойства гашения вибрации [3].

Flynn и др. [4] использовали испытание на вибрацию одного кантилевера для сравнения характеристик демпфирования вибрации композитов, армированных углеродным и льняным волокном. Они обнаружили, что льняные волокна обладают большими демпфирующими свойствами, чем углеродные волокна (рис. 1). Более того, они объяснили, что эти превосходные демпфирующие характеристики в композитах из льняного волокна обусловлены более высокой амортизирующей способностью льняных волокон. Аналогичный результат был получен для эпоксидных композитных систем, армированных волокном luffa cylindrica и льняным волокном. Коэффициенты демпфирования композитов, армированных натуральным волокном, были выше, чем у композитов, армированных стекловолокном.

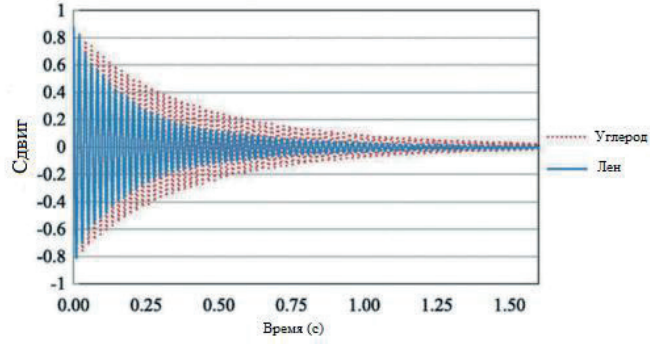


Рис.1. Виброгасящие свойства композитов, армированных углеродным волокном и льняным волокном

По мнению авторов [5], поскольку натуральные волокна содержат несколько ОН-групп в составе соединений целлюлозы и лигнина, они очень гибки к модификациям. Химические модификации активируют эти группы или вводят новые функциональные группы, которые заставляют волокна эффективно взаимодействовать с матрицей и улучшают совместимость между волокнами и биополимерами . Вступая в реакцию с ОН-группами, химическая обработка снижает гидрофильность, улучшает влагостойкость и улучшает механические свойства волокон . В целом, модификация натуральных волокон приводит к изменению физических, химических, термических и механических свойств натуральных волокон, и это зависит от различных факторов, таких как способ модификации, продолжительность, температура и химическая концентрация.

В то же время физическая обработка в основном проводится для разделения пучков волокон на отдельные волокна и модификации волокон для

применения в композитных материалах. Физический процесс, при котором пучки натуральных волокон разделяются на отдельные нити, является одним из старейших методов модификации волокон. Натуральные волокна физически модифицируются путем растяжения, каландрирования, термообработки или электропроводности. С помощью этих обработок изменяются структурные и поверхностные свойства натуральных волокон, чтобы усилить их механическое сцепление с полимерами. Такие методы обработки, как плазменная и коронная, способствуют очистке поверхности волокон путем удаления нежелательных материалов и их функционализации [6,7].

Заключение. Использование современных способов модификации органических наполнителей в купе с биоразлагаемыми полимерами позволяет получить уникальный по своим свойствам композиционный материал, пригодный для использования в различных сферах (строительство, машиностроение и т.д.).

Библиографический список

1. Прокопьев А.А., Салимгараева, Р.В., Сафин Р.Р. Обзор современных исследований в области ацетилирования древесины // А.А. Прокопьев, Р.В. Салимгараева, Р.Р. Сафин / Деревообрабатывающая промышленность. 2022. №2. С.106-114.

2. Прокопьев, А.А., Сафин, Р.Р. Композиты из древесины и биоразлагаемые материалы/ А.А. Прокопьев, Р.Р. Сафин //Инженерные кадры – будущее экономики России / Материалы VII Всероссийской студенческой конференции / Ч.2 Идеи и решения для инновационного развития лесных и лесоперерабатывающих технологий // г.Йошкар-Ола, 9-12 ноября. 2021. С. 78-80.

3. Hitoshi Takagi (2019): Review of Functional Properties of Natural FiberReinforced Polymer Composites: Thermal Insulation, Biodegradation and Vibration Damping Properties, Advanced Composite Materials, DOI: 10.1080/09243046.2019.1617093.

4. Flynn J, Amiri A, Ulven C. Hybridized carbon and flax fiber composites for tailored performance. Mater Des. 2016;102:21–29.

5. Basheer Aaliya, Kappat Valiyapeediyekkal Sunooj & Maximilian Lackner (2021) Biopolymer composites: a review, International Journal of Biobased Plastics, 3:1, 40-84, DOI: 10.1080/24759651.2021.1881214

6. Siakeng R, Jawaid M, Ariffin H, et al. Natural fiber reinforced polylactic acid composites: a review. Polym Compos. 2019;40(2):446–463.

7. Christian SJ. Natural fibre-reinforced noncementitious composites (biocomposites). In: Nonconventional and vernacular construction materials. Woodhead Publishing; 2016. p. 111–126.

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.А. Рыжков, А.В Черноглазова, П.А. Черноглазов

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева,
Казань, 420111, Карла Маркса 10

Аннотация. Предметом наших исследований является возможность применения порошковых и гранулированных полимерных материалов для элементов конструкций аэрокосмической техники при получении изделий с малыми удельным весом при невысоких энергозатратах.

Abstract. The subject of our research is the application of the powder and granular polymer materials for the production of the aerospace construction elements with a low specific weight and power consumption.

Ключевые слова: полимерные материалы, порошок, пористость, температура спекания, плотность.

Предметом исследований является возможность применения порошковых и гранулированных полимерных материалов для получения изделий с малыми удельным весом и энергозатратами. Предлагаемый способ изготовления изделий из порошковых полимерных материалов заключается в холодном прессовании заготовок в закрытой форме, последующем их спекании и охлаждении. Причем спекание заготовок проводят при температуре ниже температуры плавления полимера.

Предлагаемый способ позволяет изготавливать изделия из порошковых полимеров даже в тех случаях, когда температура плавления полимера близка к температуре деструкции.

В качестве полимерного порошка использовали пентапласт. Пентапласт [—CH2C(CH2C1)2CH2O—]n. – бесцветный термопласт, со степенью кристалличности 20 – 30%, плотностью 1,4 г/см^3, температурой плавления 180ºС, твердостью по Бринеллю 80 – 110 МПа [3].

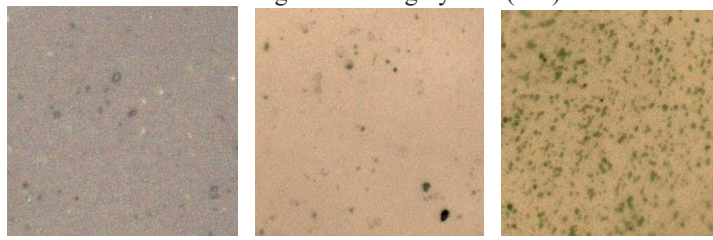
Рассмотрены два способа получения пористой структуры композиционного материала.

Первый способ заключается в изготовлении изделий из порошковых полимерных материалов используя холодное прессование заготовок в закрытой форме и последующее их спекании и охлаждении. Спекание заготовок проводят при температуре ниже температуры плавления полимера (tпл). Предлагаемый способ позволяет изготавливать изделия из порошковых полимеров даже в тех случаях, когда температура плавления полимера близка к температуре деструкции. [3].

Для исследования влияния tсп на механические свойства изделий из пентапласта, полученных по данной технологии, и их материалоемкость были

изготовлены образцы, температура спекания которых составляла 0,8·tпл, 0,66·tпл,, 0,4·tпл., где tпл -температура плавления полимера.

Для определения пористости структура образцов была исследована с использованием оптического микроскопа Axiovert 200. На рисунке 1 представлены полученные фотомикрографы, снятые при 50 х увеличении. Количественный анализ изображений был проведен с использованием программного обеспечения Image Processing System (IPS).



а *б* *в*

Рис. 1. Фотомикрографы образцов (50μm x 50μm): а - образец с температурой спекания 0,8 tпл; б - образец с температурой спекания 0,66 tпл; в - образец с температурой спекания 0,4 tпл.

Фотомикрограф образца с tсп=0,4·tпл (рис. 1, в) при обработке программой IPS представлен на рисунке 2.

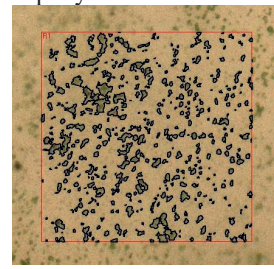


Рис. 2. Фотомикрограф образца, изображенного на рис. 1, в при обработке программой IPS.

Результаты количественного анализа структуры поверхности образцов представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что с увеличением температуры спекания пористость снижается, уменьшается количество пор на единицу площади, при этом средний эквивалентный радиус остается постоянным в переделах стандартного отклонения.

Таблица 1. Количественный анализ структуры поверхности образцов.

Температура спекания $t_{сп}$ [ºС]	Количество пор на единицу площади [шт/мм^2]	Средний эквивалентный радиус поры, *Rcp* [мкм]	Пористость, ε [%]
72 (0,40 $t_{пл}$)	143,8·10³	0,41	14,15
119 (0,66 $t_{пл}$)	33,4·10³	0,44	2,98
144 (0,80 $t_{пл}$)	7,8·10³	0,47	0,70

Снижение температуры спекания приводит к увеличению пористости материала, что снижает материалоемкость, но в тоже время приводит к снижению твердости изделий. Исследования показали, что использование температуры спекания 0,66·tпл для изготовления изделий из пентапласта, позволяет снизить материалоемкость минимально ухудшая механические свойства изделия.На способ получен патент РФ №2404055.

В качестве гранул применяли полиэтилен низкого давления (ТУ/TU 2211-145-05766801). Полиэтилен - бесцветный термопласт, плотность 0,95¸0,97 Мг/м^3, температура плавления 129 – 135°С. Показатель текучести расплава (при 190°С/2,16 кг) зависит от назначения полиэтилена и находится в широких приделах от 0,85 до 65 (г/10 мин).

Прессование осуществляется с помощью пресс-формы представленной на рис 3 при давлении величиной 3 МПа. Температура спекания равна 110 – 140°С. После спекания пресс-форма охлаждается до температуры стеклования полимера 30°С, пресс-форма раскрывается, изделие вынимается.

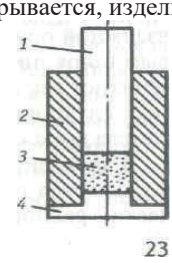
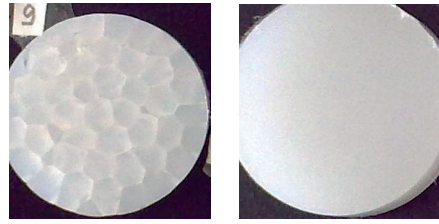


Рис.3. Пресс-форма для изготовления изделий из полимерных гранул: 1 — пуансон верхний; 2— матрица; 3 — гранулы; 4 — пуансон нижний.

На рисунке 4 представлен внешний вид образцов полученных по данной технологии.

Изделие, полученное при температуре спекания tсп ниже температуры текучести tт полимера (tсп=0,58 tт), имеет плотность образца ρсп=0,95·ρо, где: ρсп – плотность образца, полученного при температуре спекания tсп ниже температуры текучести полимера, ρо – плотность образца, полученного при температуре спекания tсп равной температуре текучести tт полимера.



а *б*

Рис. 4. Фотографии образцов: а - пористый образец, tсп=0,58tт,(110°С); ρсп=0,95 ρо.; б - образец без пор, tсп=1,00· tпл,(190°С); ρ0=1,00 г/см^3.

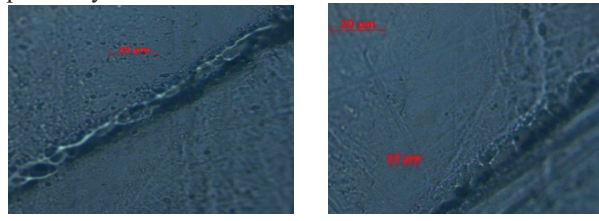
Изделие, полученное при температуре спекания, равной температуре текучести полимера (tсп=1,00·tт), имеет ρо =1,00 г/см^3.

На рисунке 5 представлены образцы, полученные при прессовании гранул, уложенных в форму в один слой (давление - 3МПа, 5 минут выдержки).

а *б*

Рис. 5. Фотографии образцов: а - tсп=0,77tт,(133°С); б - tсп=0,8· tт, (140°С)

Структура образцов была исследована с помощью оптического микроскопа Axiovert 200. На рисунке 6 представлены фотомикрографы, полученные при 50 х увеличении.



а *б*

Рис. 6. Фотомикрографы образцов: а - образец с температурой спекания 0,8 tт; б - образец с температурой спекания 0,7 tт.

На рисунке 8, а наблюдается наличие сварного шва, что и придает изделию повышенную прочность.

На способ получен патент РФ №2527049.

Предложен способ изготовления композиционного материала полученного из полимерных порошков или гранул, позволяющий снизить удельный вес конструкции. Исследовано влияние температуры спекания изделий на пористость и механические свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по пластическим массам, под ред. В.М. Катаева, 2 изд., т. 1, М., 1975;

2. Ю.А. Мулин Защитные покрытия и футеровки на основе термопластов, Л., 1984.

3. Ю.А. Мулин, И.К. Ярцев, Пентапласт, Л., 1975.

4. Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия, 1974.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ AUTODESK INVENTOR КАК ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОЕКТНОГО АНАЛИЗА КОНИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА И ЕГО ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Сабирова Милена Марселевна – студент ФГБОУ ВО «КНИТУ»
Нуриахметов Булат Дильшатович – студент ФГБОУ ВО «КНИТУ»
Каратаев Оскар Робиндарович - к.т.н., доцент кафедры основы конструирования и прикладная механика ФГБОУ ВО «КНИТУ»

Аннотация. Данная работа является продолжением цикла исследований по разработке машин и механизмов с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР). В работе показаны возможности проектирования и инженерного анализа механизмов в пакете прикладных программ Autodesk Inventor. Изменяя параметры элементов модели в данной системе можно создавать различные конструкции. Дополнительно к программе автоматизированного проектирования Autodesk Inventor в качестве средства инженерных расчетов была использована система APM WinMachine. Для схемы привода, состоящего из ременной передачи и конического одноступенчатого редуктора, произведен расчет, в результате которого получены необходимые кинематические параметры. Проектировочный расчет зубчатой передачи, в результате которого определены основные размеры зубчатых колес, силовые и прочностные параметры конического зацепления, выполнен в модуле APM TRANS системы APM WinMachine. Для расчета дополнительно были выбраны материалы зубчатых колес, вид термообработки; заданы твердости зубчатых колес, режим работы передачи и тип опор. Анализ результатов показал, что спроектированная коническая передача, валы и подшипники удовлетворяют условиям проверочного расчета на прочность. С помощью CAD-средств

программы Autodesk Inventor сформирована трехмерная модель одноступенчатого конического редуктора, которая была использована при выполнении прочностных расчетов и решении задачи оптимизации. При создании расчетной схемы концы валов были заданы условия нагружения, с учетом которых построена конечно-элементная сетка (КЭ-сетка) зубчатого зацепления. Вывод результатов прочностного расчета в системе Autodesk Inventor возможен в анимационный ролик, что позволяет осуществить предварительный просмотр динамики изменения напряжений и сохранить результаты в формате видео. Внесение изменений в геометрию модели детали позволяет добиваться улучшения картины напряжений, т.е. оптимизировать конструкцию.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, система Autodesk Inventor, коническая зубчатых передач, инженерный анализ, карта напряжений и перемещений.

USING AUTODESK INVENTOR AS A TOOL FOR DESIGN ANALYSIS OF A CONICAL GEARBOX AND ITS THREE-DIMENSIONAL DESIGN

Sabirova Milena Marselevna - student of FGBOU VO "KNITU"
Nuriakhmetov Bulat Dilshatovich - student of FGBOU VO "KNITU
O. R. Karataev - candidate of technical sciences, associate professor of the Department of fundamentals of design and applied mechanics, FGBOU VO "KNITU"

Annotation. This work is a continuation of a series of studies on the development of machines and mechanisms using computer- aided design (CAD) systems. The paper shows the capabilities of designing and engineering analysis of mechanisms in the Autodesk Inventor application package. By changing the parameters of the model elements in this system, you can create various designs. In addition to the Autodesk Inventor CAD program, the APM WinMachine system was used as an engineering calculation tool. For the drive circuit, consisting of a belt drive and a bevel one-stage gearbox, a calculation is made, as a result of which the necessary kinematic parameters are obtained. The design calculation of the gear transmission, as a result of which the main dimensions of the gears, the power and strength parameters of the bevel gearing are determined, was performed in the APM TRANS module of the APM WinMachine system. For the calculation, gear materials and type of heat treatment were additionally selected; hardnesses of gears, transmission operation mode, and type of supports are set. An analysis of the results showed that the designed bevel gear, shafts, and bearings satisfy the conditions of a strength test. Using CAD-tools of Autodesk Inventor program, a three-dimensional model of a single-stage bevel gear was formed, which was used to perform strength calculations and solve the optimization problem. When creating the design scheme, the ends of the shafts were set to the loading conditions, taking into account which the finite element mesh (FE mesh) of the gearing was guarded. The output of the results of strength analysis in the Autodesk Inventor system is possible in an

animated movie, which allows you to preview the dynamics of voltage changes and save the results in a video format. Making changes to the geometry of the part model allows us to achieve an improvement in the stress picture, i.e. optimize the design.

Keywords: three-dimensional modeling, Autodesk Inventor system, bevel gears, engineering analysis, stress and displacement map.

Общие сведения. Данная работа является продолжением цикла исследований по разработке машин и механизмов с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР). В работах [1-7] рассмотрены возможности и представлены результаты проектирования и инженерного анализа механизмов, как в отдельных программах АРМ WinMachine, Компас-3D, ADAMS, Hyper Works, так и интегрированных CAD/CAE системах.

В программе Autodesk Inventor можно создавать различные конструкции, используя средства трехмерного моделирования, измененяя параметр различных элементов. Все элементы конструкции взаимосвязаны, а модель динамична, и любое изменение приводит к изменению и сопряженных с этим элементом деталей.

Система позволяет производить прочностной теоретический анализ деталей.

Последовательность расчета в среде прочностного анализа сводится к выполнению следующих операций:

- создание модели детали и выбор материала;
- задание схемы нагружения (условий закрепления, моментов, сил, гравитации);
- определение параметров расчетной сетки для модели детали;
- выполнение прочностного расчета с последующим анализом и, если необходимо, корректировкой схемы нагружения и геометрических параметров детали.

Система позволяет проектировать и исследовать на прочность сложные изделия. В конкретные моменты времени нагрузки на детали передаются в Autodesk Inventor Stress Analysis - модуль анализа прочности, что позволяет оптимизировать параметры изделия.

Методика расчета. В качестве объекта исследования был выбран одноступенчатый редуктор. Для инженерного анализа в Autodesk Inventor предусмотрены функции по исследованию деталей на прочность под действием нагрузок.

Для схемы привода, состоящего из ременной передачи и конического редуктора, произведен расчет, в результате которого получены параметры, необходимые для расчета передачи: T_2 - расчетный момент на зубчатом колесе, T_2 = 200 Н·м; n_2 - частота вращения ведомого вала, n_2 = 38 мин$^{-}$1; u - передаточное число передачи, u = 2,5 ч; Lh - ресурс передачи, Lh = 1000 ч.

Расчетные формулы конических прямозубых передач на прочность получены путем замены их эквивалентными прямозубыми передачами.

Для ортогональной конической зубчатой передачи (угол между осями равен 90˚) определение геометрических параметров передачи производится по формулам для проектного расчета [8]:

- средний делительный диаметр

$$dm1 = \sqrt[3]{966\ \ Тн1\ Кнβ /(Kbeu[σн]2)},$$

- внешний делительный диаметр

$$de1 = dm1/(1- 0,5Kbe),$$

где Kbe — коэффициент ширины зубчатого венца

$$Kbe = b/Re.$$

Коэффициент Kbe рассчитывается в зависимости от схемы передачи и твердости рабочих поверхностей зубьев [8].

Внешнее конусное расстояние

$$Re = 0,5mezc.$$

Число зубьев зависит от диаметра внешней делительной окружности шестерни, модуля передачи и передаточного числа:

число зубьев конической шестерни

$$z1 = de1/me$$

число зубьев конического колеса

$$z2 = z1u.$$

Основные размеры зубчатых колес, параметры конического зацепления рассчитаны в АРМ TRANS. Результаты проектировочного расчета зубчатой передачи использованы при создании 3D-модели. Для расчета дополнительно были выбраны материалы зубчатых колес (сталь 40Х), вид термообработки (улучшение); заданы твердости зубчатых колес (конической шестерни – Н1 = 30 HRC, колеса – Н2 = 25 HRC), режим работы передачи (средненормальный) и тип опор (роликовые радиальноупорные подшипники).

Анализ таблицы показывает, что коническая передача удовлетворяет условиям проверочного расчета на прочность:

$$σH<[σH],$$

$$σF<[σF].$$

Расчет корпусных элементов редуктора (корпуса и крышки) необходим для разработки 3D-модели, определения длин участков валов и мест расположения опор.

Для конического редуктора толщины стенки корпуса и крышки рассчитываются по формулам

$$δ = 0,05\ Re + 1,$$

толщина крышки

$$δ1 = 0,04\ Re + 1.$$

Диаметры участков валов под подшипники рассчитывают по зависимостям [9]. Для двух валов одноступенчатого конического редуктора формула имеет вид

$$dn = d + tцил,$$

где диаметры консольных участков:
для быстроходного вала

$$d = (5 \dots 6)\sqrt[3]{T_1},$$

для тихоходного вала

$$d = (7 \dots 8)\sqrt[3]{T_2}.$$

По последним формулам рассчитаны диаметры отдельных участков расположения опор валов. Так, для быстроходного вала диаметр консольного конца составил d = 26 мм, а диаметр участков вала под подшипники – dп = 35 мм; для тихоходного вала диаметры соответствующих участков имеют следующие размеры: d = 46 мм, dп = 55 мм. С учетом размеров посадочных участков валов, для конической зубчатой передачи подобраны радиальноупорные роликовые подшипники с маркировкой 7207 и 7211.

Моделирование в Autodesk Inventor. Результаты проектных расчетов были положены в основу создания 3D-модели конического одноступенчатого редуктора.

При расчете на прочность создана схема, в которой концы валов жестко закреплены для исключения осевых перемещений, приложены силы, возникающие в зацеплении конической шестерни и конического зубчатого колеса, обозначены реакции опор в подшипниковых узлах и построена конечно-элементная сетка. Для этого в программе выбирались соответствующие вкладки: «Анализ напряжений», «Опоры», нагрузки» и «Генерация КЭ сетки». После подготовительных операций запускалась программа «Моделировать», а результаты расчетов выдавались в цветовой форме, каждому из цветов которой соответствовало определенное числовое значение напряжения.

На рис.2, 3 представлены результаты прочностного анализа конического зубчатого колеса и роликового радиально-упорного подшипника.

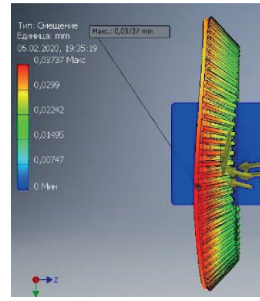


Рис. 2 - Деформация конического колеса

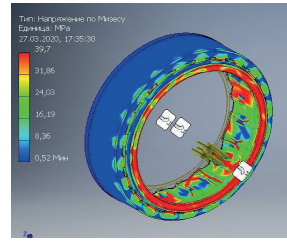


Рис. 3 - Напряжения в коническом подшипнике

Вывод результатов прочностного расчета возможен в анимационный ролик, что позволяет осуществить предварительный просмотр динамики изменения напряжений и записать результаты в видеофайл. Анимация содержит описание модели, нагрузок, расчетной сетки, результатов по вариантам с таблицами и цветовыми схемами. Динамическая модель позволяет при неизменной заданной схеме нагружения добиваться улучшения картины напряжений, внося изменения в геометрию модели детали т.е. оптимизировать конструкцию.

Напряжения с течением времени появляются в различных. Кроме этого наблюдается смещение конца вала в сторону закручивания от первоначального состояния. Желтыми стрелками условно изображается крутящий момент и вектора сил.

Литература

1. С.Г. Кондрашева, Д.А. Хамидуллина, В.А. Лашков, Вестн. Казан. технол. ун-та, 19, 193-198 (2011).

2. В.А. Лашков, Д.А. Хамидуллина, О.Р. Каратаев, Вестн. технол. ун-та, 18, 22, 154-157 (2015).

3. В.А. Лашков, С.Г. Кондрашева, Е.А. Ганин, Вестн. технол. ун-та, 19, 7, 94-96 (2016).

4. О.Р. Каратаев, В.Е. Завьялова, В.А. Лашков, Вестн. Казан. технол. ун-та, 19, 12, 140-142 (2016).

5. В.А. Лашков, С.Г. Кондрашева, Р.Р. Халимбаев Вестн. технол. ун- та, 19, 20, 141-142 (2016).

6. В.А. Лашков, С.Г. Кондрашева, Е.А. Ганин, С.А. Сорокин, А.И. Нурмухаметов, Вестн.. технол. ун-та, 20, 11, 98-100 (2017).

7. В.А. Лашков, С.А. Сорокин, С.Г. Кондрашева, Е.А. Ганин, Вестн. технол. ун-та, 21, 3, 139-142(2018).

8. А.В. Тюняев, В.П. Звездаков, В.А. Вагнер, Детали машин. Лань, Санкт-Петербург, 2013. 736 с.

9. П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов, Конструирование узлов и деталей машин. Академия, Москва, 2004. 496 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ЛОПАТОК СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ ГТД С ПОВЫШЕННОЙ НАРАБОТКОЙ

Самойлова А.С.
anyasamoylova2000@mail.ru
Научный руководитель: Ф.Н.Куртаева, к.т.н.,доцент кафедры МСиПБ
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

Аннотация: Были систематизированы виды повреждений рабочих лопаток свободной турбины ГТД в зависимости от срока службы.

Свободная турбина ГТД предназначена для преобразования энергии газового потока в механическую энергию вращения роторов турбин. Рабочие лопатки агрегата свободной турбины являются важными деталями ГТД. Они обеспечивают преобразование части энергии газа в энергию вращения компрессора. Каждые 10тыс. часов лопатки подвергаются межресурсному ремонту. Для выявления дефектов и повреждений проводят визуальный осмотр, испытания механических свойств и длительной прочности и микроструктурный анализ.

Объектом исследования были лопатки ГТД со сроком наработки 95473 часа, снятого с эксплуатации в 2020 году. В двигателе обнаружена лопатка с усталостью, которая послужила причиной поломки всего колеса рабочих лопаток свободной турбины. Подобные явления нетипичны для лопаток свободной турбины. Вследствие чего, согласно техническому заданию было проведено металлургическое исследование всего комплекта лопаток, в котором было выполнено: визуальный осмотр и под бинокуляром фотографирование, анализ изломов, микроисследование, испытание механических свойств, спектральный анализ.

В изломе (рисунок 1) лопатки отмечается две зоны развития, отличающихся строением и цветами окисления.

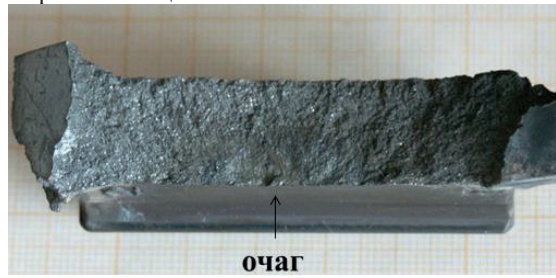


Рисунок 1 – Излом рабочей лопатки свободной турбины в двигателе АСТ-282008

1-я зона - усталостного разрушения, окислена до золотисто-коричневого цвета.

2-я зона - зона долома. Излом статический, зеренного строения. Имеется окисление до темно-серого цвета.

Вследствие обнаружения проявления усталости металла, был поставлен вопрос об уменьшения срока эксплуатации рабочих лопаток свободной турбины ГТД. Однако, осмотром сохранившихся изломов остальных лопаток комплекта установлено, что разрушения имеют статический характер, зернистое строение. Поверхности изломов большинства лопаток частично забиты и покрыты отложениями в виде окислов. Металлургических дефектов на сохранившихся участках изломов нет.

Для сбора статистических данных в целях подтверждения пригодности к эксплуатации рабочих лопаток свободной турбины с повышенной наработкой, было принято решение испытывать рабочие лопатки свободной турбины с повышенным сроком наработки 70000-90000 часов, снятые с 17-20 двигателей. Поставлена задача проанализировать наличие или отсутствие изменений микроструктуры, длительной прочности и механических свойств от эксплуатационных воздействий в зависимости от наработки.

Механические испытания проводились на образцах диаметром 5мм, изготовленных из замка лопатки. По результатам испытаний установлено, что между механическими свойствами и наработкой определенная закономерность не прослеживается.

Был проведен микроструктурный анализ на растровом микроскопе. Образцы были изготовлены их замковой части и пера лопатки. Микроструктура всех лопаток аналогична и представлена g-твердым раствором, частицами эвтектической g/gć-фазы кубической формы, карбидными частицами по границам зерен (рисунок 2).

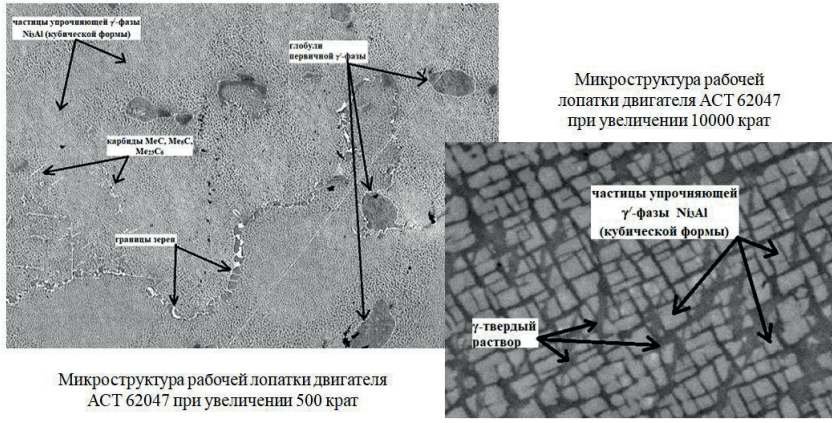


Рисунок 2 – Микроструктура рабочей лопатки

Признаков воздействия высоких температур и деградации материала не наблюдается, что подтверждает удовлетворительное качество материала.

По результатам макро- и микроструктурных исследований и механических испытаний рабочих лопаток свободной турбины, было установлено, что усталостные изменения структуры и свойств металла отсутствуют. Установлено, что основные виды дефектов рабочих лопаток свободной турбины, как при малом времени наработки, так и при большом времени наработки, являются различные забоины при попадании посторонних предметов. А разрушение от усталости лопатки инд. № М9660-1 двигателя АСТ-63059 рассмотренное выше является нетипичным случаем. Так как данные лопатки не несут высоких эксплуатационных нагрузок и работают при относительно невысокой температуре.

Таким образом, можно утверждать, что качество материала лопаток с наработкой свыше 70000 часов обеспечивает дальнейшую пригодность в эксплуатации с необходимостью последующего переконтроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Фридман Я.Б., Гордеева Т.А., Зайцев А.М. Строение и анализ изломов металла. – М. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1960. – С.98.

2. Гордеева Т.А., Жегина И.П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. – М. Машиностроение,1978. – С.72.

3. Герасимова, Л. П. Изломы конструкционных сталей – М.: Металлургия, 1987. – С.272.

4. Сметанин, В. И. Диагностика дефектов, разрушений и брака на машиностроительном предприятии: монография – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – С.192.

5. Дмитриева Х.П., Черепова Т.С., Духота О.И., Нычипоренко В.И. Исследование свойств спеченных сплавов на основе ЖС32-ВИ с карбидом титана в порошковой металлургии и металлокерамике. 2018. - С.664-669. - URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s11106-018-9941-9

INVESTIGATION OF THE ROTOR BLADES OF A FREE TURBINE OF A GAS-TURBINE ENGINE WITH INCREASED OPERATING TIME

Samoilova A.S.
anyasamoylova2000@mail.ru
Scientific adviser: F.N. Kurtaeva, Ph.D., Associate Professor of the Department of MSiPB Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI

The types of damage to the rotor blades of a free turbine of a gas-turbine engine were systematized, depending on the service life.

The free turbine of the GTE is designed to convert the energy of the gas flow into mechanical energy of rotation of the turbine rotors. The rotor blades of a free

turbine unit are important parts of a gas turbine engine. They provide the conversion of part of the gas energy into the rotational energy of the compressor. Every 10 thousand. hours, the blades are subject to inter-resource repair. To identify defects and damage, visual inspection, tests of mechanical properties and long-term strength, and microstructural analysis are carried out.

The object of the study was GTE blades with an operating time of 95473 hours, taken out of service in 2020. A fatigued blade was found in the engine, which caused a breakdown of the entire rotor blade wheel of a free turbine. Such phenomena are not typical for free turbine blades. As a result, according to the terms of reference, a metallurgical study of the entire set of blades was carried out, in which: visual inspection and photography under a binocular, analysis of fractures, micro-examination, testing of mechanical properties, spectral analysis.

In the fracture (Figure 1) of the blade, two zones of development are noted, differing in the structure and colors of oxidation.

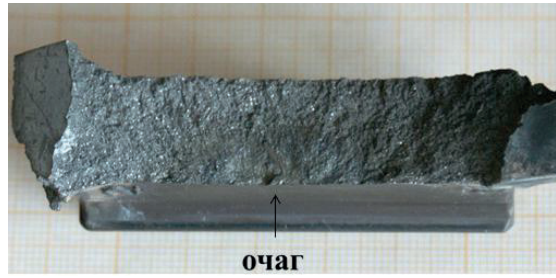


Figure 1 - Fracture of the rotor blade of a free turbine in the AST-282008 engine

1st zone - fatigue failure, oxidized to golden brown color.

2nd zone - dolom zone. Fracture static, grain structure. There is oxidation to a dark gray color.

Due to the detection of the manifestation of metal fatigue, the question was raised of reducing the service life of the rotor blades of a free turbine of a gas-turbine engine. However, by examining the remaining fractures of the remaining blades of the set, it was found that the fractures are of a static nature, with a granular structure. The fracture surfaces of most blades are partially clogged and covered with oxide deposits. There are no metallurgical defects in the preserved fracture sections.

To collect statistical data in order to confirm the serviceability of free turbine rotor blades with increased operating time, it was decided to test free turbine rotor blades with increased operating time of 70,000-90000 hours, removed from 17-20 engines. The task was set to analyze the presence or absence of changes in the microstructure, long-term strength and mechanical properties from operational influences, depending on the operating time.

Mechanical tests were carried out on samples with a diameter of 5 mm, made from the blade lock. According to the test results, it was found that there is no definite regularity between the mechanical properties and the operating time.

Microstructural analysis was carried out using a scanning microscope. Samples were made from the locking part and the blade blade. The microstructure of all blades is similar and is represented by the g-solid solution, particles of the eutectic g/gɕ-phase of a cubic shape, carbide particles along the grain boundaries (Figure 2).

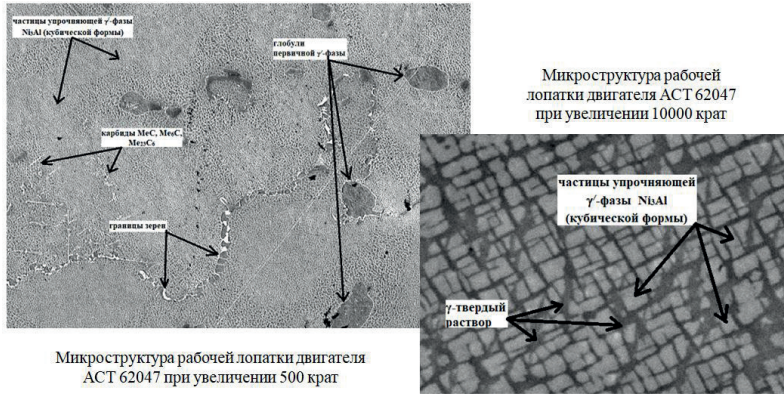


Figure 2 - Microstructure of the rotor blade

There are no signs of exposure to high temperatures and material degradation, which confirms the satisfactory quality of the material.

According to the results of macro- and microstructural studies and mechanical tests of the rotor blades of a free turbine, it was found that there are no fatigue changes in the structure and properties of the metal. It has been established that the main types of defects in the rotor blades of a free turbine, both with a short operating time and a long operating time, are various nicks when foreign objects enter. And the destruction from fatigue of the scapula ind. No. M9660-1 engine AST-63059 discussed above is an atypical case. Since these blades do not carry high operating loads and operate at a relatively low temperature.

BIBLIOGRAPHY:

1. Fridman Ya.B., Gordeeva T.A., Zaitsev A.M. Structure and analysis of metal fractures. - M. State Scientific and Technical Publishing House of Engineering Literature, 1960. - P.98.

2. Gordeeva T.A., Zhegina I.P. Analysis of fractures in assessing the reliability of materials. - M. Mechanical Engineering, 1978. - P.72.

3. Gerasimova, LP Fractures of structural steels - M .: Metallurgy, 1987. - P.272.

4. Smetanin, VI Diagnostics of defects, destruction and marriage at a machine-building enterprise: monograph - Stary Oskol: TNT, 2012. - P.192.

5. Dmytrieva H.P., Cherepova T.S., Dukhota O.I., Nychyporenko V.I. Investigation of properties of sintered alloys based on ZhS32-VI with titanium carbide, Powder Metallurgy and metal ceramics. 2018. - P.664-669. - URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s11106-018-9941-9

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ЧАСТИЦ В СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ВОДНОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ И ОКСИДА КОБАЛЬТА

Сандугей Никита Сергеевич, Гильмутдинов Ильнур Ильсурович,
Кузнецова Ирина Валерьевна, Гильмутдинов Ильфар Маликович,
Сабирзянов Айдар Назимович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»
r45829@gmail.com

Аннотация. В данном исследовании была проведена серия экспериментов по получению композитных на основе оксида алюминия и оксида хрома методом сверхкритического водного окисления металлического алюминия при различных температурах. Результаты показали зависимость фазового состава и текстурных характеристик образца от параметров проведения процессов. С ростом температуры наблюдается снижение содержания фазы γ-Al_2O_3 и, как следствие уменьшение удельной поверхности и объёма пор образцов.

Annotation. In this study, a series of experiments was carried out to obtain composite materials based on aluminum oxide and chromium oxide by the method of supercritical water oxidation of metallic aluminum at various temperatures. The results showed the dependence of the phase composition and texture characteristics of the sample on the parameters of the processes. With an increase in temperature, a decrease in the content of the γ-Al_2O_3 phase is observed and, as a result, a decrease in the specific surface area and pore volume of the samples.

Ключевые слова: сверхкритическая вода, оксид алюминия, оксид кобальта, композитные частицы.

В настоящее время переход к более энергоэффективным и экологичным технологиям становится всё более актуальным. Традиционные технологии по получению композитных частиц обладают рядом недостатков таких как: зависимость конечных свойств частиц от выбранного метода, низкая степень чистоты конечного продукта, много стадийность процесса. Метод сверхкритического водного окисления (СКВО) лишен вышеуказанных недостатков благодаря уникальным свойствам сверхкритической воды (1, 2) и позволяет получать наноструктурированные композитные частицы с заданными свойствами путем изменения термодинамических параметров проведения процесса.

Эксперименты проводились на экспериментальной установке периодического действия. В качестве исходного вещества использовался металлический алюминий. Методика проведения эксперимента по получению частиц оксида и гидроксида алюминия, а также принципиальная схема экспериментальной установки описаны в работе (3). В данном исследовании

были проведены серии экспериментов по получению композитных частиц на основе оксида кобальта, нанесенного на фазы оксидов и гидроксидов алюминия, путем их пропитки в среде сверхкритической воды. Раствор пропитки был приготовлен путем растворения кристаллогидрата нитрата кобальта $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ в деионизированной воде. Полученный водный раствор нитрата кобальта при закачивании в реактор, по окончанию времени проведения реакции, подвергался температурному воздействию, в результате чего происходило разложение нитрата кобальта по уравнению 1.

$$4Co(NO_3)_2 \rightarrow 2Co_2O_3 + 8NO_2 + O_2 \qquad 1$$

Параметры проведения эксперимента сверхкритического водного окисления металлического алюминия представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры проведения экспериментов

№	m, г	P, МПа	T, C°	pH	τ, мин
1	5	17,8	350	7	240
2	5	19	360		
3	5	22,4	375		
4	5	26,8	390		
5	5	28,6	410		

После проведения реакции образцы подвергались промывке и сушке, после чего проводилась их термическая активация в муфельной печи при атмосферном давлении, температуре 550ºС в течении 2 часов.

Для определения качественного и количественного фазового состава применялся рентгенографический анализ с помощью многофункционального рентгеновского дифрактометра Rigaku SmartLab. Исследование текстурных характеристик образцов таких как площадь удельной поверхности, объем пор и среднего диаметра пор проводилось на анализаторе Nova 1200e. Зависимость фазового состава и текстурных характеристик образцов от температуры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики полученных образцов

№	T, C°	γ-Al_2O_3	α-Al_2O_3	χ- Al_2O_3	$Al_3O_4(OH)$	Co_2O_3	Удельная поверхность по БЭТ, $м^2/г$	Sμ (микропоры), $м^2/г$	Общий объем пор по BJH, $см^3/г$
1	350	97	1	0	0	2	80,9	49,5	0,0202
2	360	90	2	0	0	8	62,5	38	0,0155
3	375	49	32	13	4	2	41,2	9,9	0,0041
4	390	42	35	13	8	2	33,1	5,4	0,0021
5	410	38	41	12	8	1	27,2	6,7	0,0027

Из представленных результатов видно, что с ростом температуры уменьшается процентное содержание γ-Al_2O_3, что ведёт к уменьшению удельной поверхности получаемых образцов. Графическая зависимость удельной поверхности образцов от изменения температуры представлены на рисунке 1.

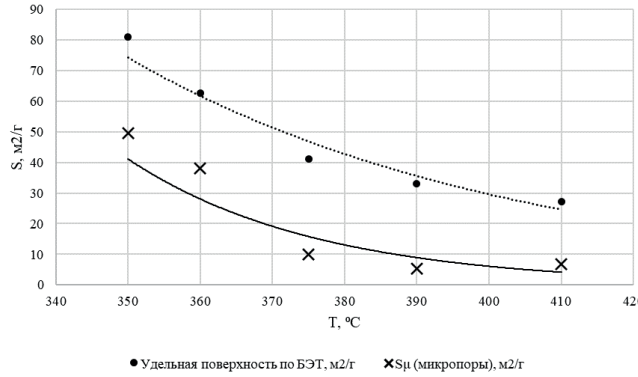


Рис. 1 Зависимость удельной поверхности образцов и удельной поверхности микропор от температуры, pH=7, τ=240 мин

Изображение образца, полученного при 350°C, представлено на рисунке 2.

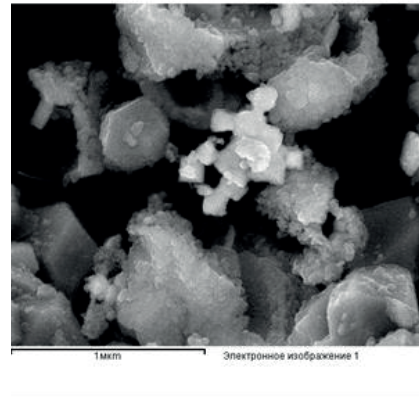


Рис. 2 СЭМ снимок образца композитных частиц на основе оксида кобальта и оксида алюминия

Представленные результаты подтверждают возможность получения композитных частиц методом СКВО, а также зависимость конечных свойств продукта от термодинамических параметров проведения процесса. В

дальнейшем авторами работы планируется разработка адекватной математической модели рассматриваемого процесса.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Катализ в нефтепереработке и нефтегазохимии», соглашение № 075-00315-20- 01 от 04.06.2020 г. с использованием аналитического оборудования центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологи» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Список литературы:

1. Вода в суб- и сверхкритическом состояниях — универсальная среда для осуществления химических реакции / Галкин А. А., Лунин В. В. // Успехи химии. - 2005 г. - Т. 74. - №1;

2. Физическое состояние и возможности практического использования водных флюидов в различных областях параметров состояния / Синев М. Ю., Шаповалова О.В. // Сверхкритические флюиды: Теория и Практика. - 2020 г. - Т. 15 - №3;

3. Экспериментальное исследование фазовых превращений окислов алюминия в процессах суб- и сверхкритического водного окисления металлического алюминия / Гильмутдинов И.И., Сандугей Н.С., Гильмутдинов И.М., Кузнецова И.В., Харлампиди Х.Э., Сабирзянов А.Н. // Теплофизика высоких температур. – 2022 г. – Т.60 - №2.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ПРЕЦИЗИОННОЙ СВАРКИ

Саубанов Рузиль Рашитович,
Звездин Валерий Васильевич,
Хисамутдинов Равиль Миргалимович,
Рахимов Радик Рафисович
Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны, Россия
e-mail: rafisih88@mail.ru, saubanov@mail.ru

Песошин Валерий Андреевич
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Россия
e-mail: pesoshin-kai@mail.ru

Аннотация. Оценкой качества технологического процесса сварки выступает точность прецизионного позиционирования фокуса лазерного излучения. Качество свариваемых балок заднего моста грузового автомобиля достигается за счет введения в систему автоматического управления

технологического комплекса систему технического зрения, обеспечивающего прецизионное наведение фокуса относительно стыка. Определено расположение пятна отраженного светового потока лазерного излучателя на фоточувствительных площадках матричного фотоприемника. Проведен расчет активного сопротивления в зависимости от площади освещенности фоточувствительного слоя фотоприемника.

Abstract. The quality of the welding process is assessed by the precision of precision positioning of the focus of laser radiation. The quality of the beams to be welded on the rear axle of a truck is achieved by introducing a vision system into the automatic control system of the technological complex, which provides precise focusing relative to the joint. The location of the spot of the reflected light flux of the laser emitter on the photosensitive areas of the matrix photodetector is determined. The calculation of the active resistance is carried out depending on the area of illumination of the photosensitive layer of the photodetector.

Ключевые слова: лазерная сварка, точность позиционирования, прецизионное, техническое зрение, активное сопротивление

Введение. Вывод на рынок новых изделий на российских машиностроительных предприятиях требует разработки лазерных прецизионных технологий. В настоящее время для решения актуальных задач лазерного воздействия в технологии концентрированных потоков энергии активно разрабатываются и исследуются лазерные технологические комплексы (ЛТК) высокой плотности мощности излучения. [1].

При лазерной сварке (ЛС) оценкой качества технологического процесса (ТП) являются качество лазерного излучения (ЛИ), энергетические характеристики роботизированного лазерного технологического комплекса (РЛТК), температура плавления, время выдержки для фазовых преобразований микроструктуры, скорость охлаждения и точность прецизионного наведения фокуса относительно стыка свариваемых деталей конструкции [1,2,3].

Для слежения за траекторией движения фокуса ЛИ используются неконтактные методы, основанные на измерении светового потока, как собственного теплового излучения металла, так и отраженного от свариваемых поверхностей. Проведен анализ влияния мешающих факторов и помех, к которым относятся механическое воздействие от работающего оборудования на производстве, колебания питающего напряжения, электромагнитные наводки, особенно на входные цепи измерительного канала, излучение факела и сторонних источников, воздействующих на чувствительные площадки матричного фотоприемника (МФП) [2-4].

Теоретические исследования.

Современные методы металлообработки по производству прецизионных изделий сложной конфигурации, сварочные и сборочные процессы выдвигают постоянно возрастающие требования к следящим системам по точности воспроизведения заданных параметров механических движений сложной траектории на плоскости.

Решение задачи контроля положения фокуса ЛИ возможно с помощью 4-х квадрантного МФП. На рисунке 1 показано расположение пятна отраженного от поверхности стыка ЛИ излучателя на фоточувствительных площадках МФП.

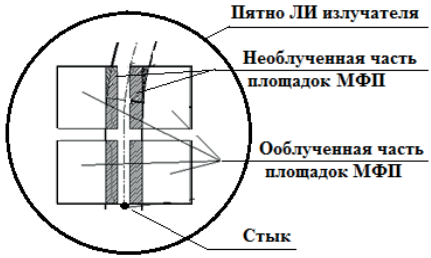


Рисунок 1. Расположение светового пятна ЛИ излучателя на площадках 4-х квадрантного МФП.

Чувствительный слой МФП состоит из отдельных элементов, заключенных в одном корпусе. Размер фоточувствительных площадок МФП составляет 100×100 мкм.

Применение МФП упрощает построение некоторых типов оптико-электронных преобразователей (ОЭП), так как исключает механическое сканирование. Просмотр же углового поля зрения в ОЭП с МКФ осуществляют с помощью быстродействующих коммутаторов, подключающих отдельные элементы МФП к входу электронного тракта обработки сигнала.

Для использования в СТЗ при решении задачи контроля положения фокуса ЛИ на стыке балок, в условиях высокого уровня оптических помех, требуется многоканальные МФП, имеющим высокое быстродействие с малым полем обзора [3, 5].

Изменение кривизны стыка и воздействие мешающих факторов, приводит к изменению соотношения между освещенной и неосвещенной площадями поверхностей площадок МФП. Это приводит к изменению соотношения между сопротивлениями площадок ФП. Поворот ФП на угол Δφ позволяет уравновесить эти соотношения, а также по разработанному алгоритму рассчитать управляющий сигнал на привод оптической системы (ОС).

Перемещение МФП на Δx позволяет уравновесить эти соотношения, и по разработанному алгоритму, рассчитать управляющий сигнал на привод робота-манипулятора с лазерной головкой и на пъезопривод фокусирующей линзы лазерной головки.

Расчет активного сопротивления фоточувствительного слоя ФП показывает его зависимость от площади освещенности:

$$R_{\Phi} = \frac{\rho_н \rho_o l^2}{dl\left[(x-\Delta x)\rho_н + \Delta x \rho_o\right]} = \frac{\rho_н \rho_o l^2}{d\left[(S_п - S_н)\rho_н + S_н \rho_o\right]}, \qquad (1)$$

где R_{Φ} – сопротивление фоточувствительного слоя, ρ_H, ρ_O – удельное сопротивление соответственно неосвещенного и освещенного участков площадок МФП, l – длина фоточувствительной площадки, $S_П$, S_H – площадь фоточувствительного слоя соответственно полной и неосвещенной поверхностей МФП, Δx- перемещение МФП.

В условиях современного производства и с учетом мешающих факторов и помех, воздействующих на ход ТП, рассматриваются различные подходы к разработке функциональной схемы прецизионного наведения фокуса ЛИ на стык свариваемых элементов балки заднего моста. Один из подходов —

временное разделение работы измерительного и технологического каналов [2-5].

На рисунке 2 изображена функциональная схема прецизионного наведения фокуса ЛИ на стык свариваемой балки с пространственным разделением работы измерительного и технологического каналов.

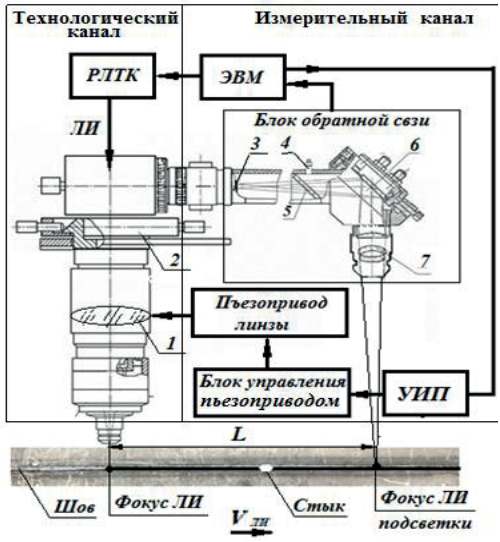


Рисунок 2. Функциональная схема прецизионного наведения фокуса ЛИ на стык свариваемых элементов балки заднего моста с пространственным разделением работы измерительного и технологического каналов.

РЛТК – робототехнический лазерный технологический комплекс; ЭВМ – электронно-вычислительная машина; УИП – управляемый источник питания. 1- линза оптической системы; 2 - элемент коррекции оптической системы; 3 -МФП; 4 - лазер подсветки; 5 - полупрозрачное зеркало; 6 - поворотное зеркало; 7 - оптическая система фокусировки лазера подсветки. Конструкция следящего привода крепится на корпусе оптической головки технологического лазера.

Фокусы технологического ЛИ и лазера подсветки разнесены по линии стыка на расстояние L. Фокус луча перемещается по стыку со скоростью $v_{ЛИ}$. Время задержки управляющих сигналов с ЭВМ на РЛТК и на блок управления пьезоприводом составляет:

$$t = L/ v_{ЛИ}. \qquad (2),$$

где L- расстояние между фокусами ЛИ и лазера подсветки, $\upsilon_{ЛИ}$ – скорость перемещения фокуса луча.

Отраженное излучение лазера подсветки от поверхности свариваемых деталей через фокусирующую ОС подается на МФП. Оптическая головка, размещенная на руке робота, совмещена с поворотным зеркалом, которое направляет ЛИ излучателя на стык свариваемых деталей. Информация о смещении передаются на ЭВМ с МФП. Во время лазерной сварки ЭВМ выдает управляющие сигналы, посредством управляемого источника питания на РЛТК, тем самым осуществляется прецизионное позиционирование фокуса ЛИ относительно стыка. Сигнал рассогласования возникает при неравенстве освещенных частей верхней и нижней областей чувствительных площадок МФП, которые представляют собой фоторезистивными слоями.

Вывод. На основе проведённого анализа исследования и разработанной схемы прецизионного наведения фокуса ЛИ на стык свариваемых элементов, структуры моделирования технологических режимов с элементами идентификации основных динамических и информационных процессов лазерной сварки позволяют осуществлять мониторинг состояния показателей качества сварного шва стали, используемой при изготовлении балки заднего моста.

Литература

1. Звездин, В.В., Григорьянц, А.Г., Исрафилов, И.Х. Метод управления лазерным технологическим комплексом сварки металлов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. 2012. № 6. С. 190.

2. Система технического зрения роботизированного лазерного технологического комплекса закалки инструмента / Звездин В.В., Хисамутдинов Р.М., Сыркин С.С., Симонова Л.А., Саубанов Р.Р., Шангараев И.Р. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 3. С. 407-414.

3. Automatic control system of high-precision welding of preparations by the laser radiation at influence of the plasma torch / Zvezdin V.V., Israfilov D.I., Portnov S.M., Saubanov R.R., Rakhimov R.R., Zvezdina N.M. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 9-3. С. 51-54.

4. Прецизионное наведение фокуса лазерного излучения на стык при сварке длинномерных конструкций / Рахимов Р.Р., Звездин В.В. // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2021. № 1 (87). С. 74-82.

5. A system for automatic control of precision laser welding in engineering / Grigoryants A.G., Perestoronin A.V., Portnov S.M., Zvezdin V.V., Israfilov I. Welding International. 2015. Т. 29. № 10. С. 801-804.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сиверин Владимир Сергеевич
E-mail: perpetualsv@mail.ru
Научный руководитель: Е.С. Мухаметшина, к.т.н., доцент

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

Аннотация: приведены различные методы нанесения полимерных порошковых материалов на поверхность деталей: вихревым и вибровихревым в псевдоожиженном слое, пневматическим в электростатическом поле высокого напряжения, газопламенным напылением, пневмоэлектростатическим с трибоэлектрической зарядкой частиц.

Abstract: various methods of application of polymer powder materials on the surface of parts are presented: vortex and vibratory in the fluidized bed, pneumatic in the electrostatic field of high voltage, gas-flame spraying, pneumatic-trostatic with triboelectric charging of particles.

Ключевые слова: электростатическое поле, триборапыление, пневмоэлектростатическое распыление.

Среди большого разнообразия методов нанесения покрытий особое место по перспективности занимают технологии нанесения на основе полимерных порошковых композиций, которые представляют технико-экономическую альтернативу покрытиям на основе жидких лакокрасочных материалов.

Сущность процесса получения полимерных порошковых покрытий заключается в нанесении на окрашиваемую поверхность полимерного порошка в виде частиц размером 0,05-0,15 мм и последующем их оплавлении нагревом. В состав покрытий на основе полимерных и олигомерных порошковых композиций наряду с полимером входит отвердитель, обладающий реакционной способностью только при повышенной температуре, а также модификаторы, наполнители, пигменты.

Перед покрытием детали предварительно очищают от загрязнений, обезжиривают и сушат. Для увеличения адгезии необходимо, чтобы покрываемая поверхность была шероховатой, но без трещин и заусенцев, которые вызывают растрескивание покрытий.

В данной работе приведены результаты исследований различных методов нанесения полимерных порошковых материалов на поверхность деталей: пневматическим в электростатическом поле высокого напряжения, газопламенным напылением, пневмоэлектростатическим с трибоэлектрической зарядкой частиц.

Электростатической способ нанесения в псевдоожиженном слое представлен на рисунке 1. При данном методе детали погружаются в псевдоожиженный слой в холодном состоянии. Для обеспечения зарядки частиц порошка используются ванны ионизированного кипящего слоя в ионизованном псевдоожиженном слое, в которых коронирующий отрицательно заряженный электрод 6 выполняется из проволоки диаметром 0,2 мм, уложенной концентрическими кругами в виде спирали в пазы корпуса 1 и залитой клеем. Псевдоожиженный слой создается благодаря прохождению сжатого воздуха через пористую прокладку 3, выполненную из поропласта, зажатую между

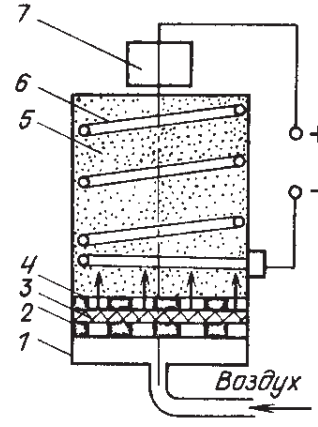


Рисунок 1 – Схема электростатического нанесения в псевдоожиженном слое.

перфорированными дисками 2 и 4. Холодная деталь 7, соединенная с положительным выводом генератора высокого напряжения, опускается в псевдоожиженный слой, а коронирующий электрод 6 создает объемный электростатический заряд на частицах порошка 5. Под действием электростатических сил частицы порошка прилипают к детали. После осаждения частиц полимера деталь переносят в печь, где налипший полимер оплавляется и образует покрытие.

Нанесение полимера в электростатическом поле высокого напряжения. Этот высокопроизводительный метод основан на оседании заряженных частиц полимера на поверхности детали, имеющей противоположный заряд. Электростатический заряд частиц возникает при воздействии на них тока высокого напряжения в коронирующем разряде. При этом на поверхности частиц образуются ионы, имеющие одинаковый заряд с коронирующим электродом и отталкивающиеся от него. Под действием электрического поля, образующегося между электродами - деталью и распылителем, заряженные частицы полимера движутся к электроду с противоположным зарядом (детали) и оседают на его поверхности. После оседания заряженных частиц на поверхности холодной детали они в течение значительного времени могут удерживаться на ней. Это объясняется свойством диэлектриков сохранять поляризацию даже после удаления электрического поля. Для надежной поляризации полимерных частиц используется напряжение 20-150 кВ, создаваемое генераторами высокого напряжения. Коронирующий электрод обычно присоединяют к отрицательному полюсу, а деталь - к положительному. После напыления порошка детали поступают в индукционную или терморадиационную печь оплавления.

Схема пневматического распылителя, из которого порошок полимера подается в электрическое поле под воздействием сжатого воздуха, приведена на рисунке 2. Полимерный порошок засыпается в ванну 5, герметично закрываемую крышкой 4. При подаче сжатого воздуха через штуцер на рукоятке пистолета 10 он через пористую перегородку 8 и перфорированные диски 7 псевдоожижает находящийся в ванне 5 порошок. Часть воздуха подается в эжектор 3 пистолета, на конце которого закреплен коронирующий электрод 1, и увлекает за собой из ванны порошок, засыпаемый через заборник. Избыточное давление в системе составляет $(8\text{-}10)\cdot10^4$ Па. Регулирование расхода воздуха через эжектор осуществляется запорным краном 9, а расход порошка - регулятором 6. После заполнения ванны полимерным порошком на коронирующий электрод 1 посредством привода 2

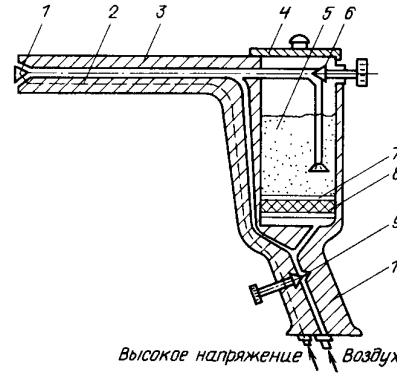


Рисунок 2 – Схема пневматического распылителя.

подается высокое напряжение 20-30 кВ. При нажатии кнопки запорного крана 9 порошковый полимер псевдоожижается и засасывается эжектором. Проходя зону ионизации коронирующего электрода, частицы порошка заряжаются отрицательно и по силовым линиям электростатического поля устремляются к детали, имеющей положительный заряд. Максимальная толщина покрытия, получаемого при пневматическом распылении полимера, в зависимости от свойств порошка составляет 0,12-0,25 мм.

Схема нанесения порошковых покрытий с помощью электростатического распылителя приведена на рисунке 3. Бункер 4 распылителя 6 заполняется порошковым полимером и закрывается крышкой 3. Поскольку подача сжатого воздуха в электростатические распылители отсутствует, то для создания взвешенного состояния порошка используется электромагнитный вибратор 5. При включении вибратора 5 и подаче на коронирующий электрод 1 высокого напряжения 25-30 кВ, порошок "стекает" по лотку 2 и, получив заряд статического электричества, под действием силовых линий электрического поля устремляется к детали, оседая на ней. Включение вибратора осуществляется кнопкой 7. Коронирующий электрод выполняется из медной проволоки диаметром 0,2 мм.

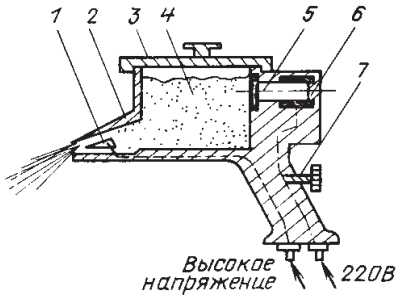


Рисунок 3 – Схема электростатического

Преимуществами электростатических распылителей являются: простота их конструкции; отсутствие потерь порошкового материала, так как кинетическую энергию приобретают только те частицы, которые получили электростатический заряд; быстросменность порошкового материала, что дает возможность даже на одной детали получать разноцветные покрытия. Помимо рассмотренной имеются и другие конструкции электростатических распылителей.

Пневмоэлектростатический способ с трибоэлектрической зарядкой частиц. Этот способ основан на электризации частиц полимера при их трении по металлу или по полимеру другого химического строения. Процесс заряда частицы при ее трении обусловливается нагревом микроскопических неровностей на поверхности тел, при этом резко возрастает подвижность ионов, которые переходят на менее нагретую часть поверхности, заряжая частицу отрицательно. Преимуществом пневмостатического способа нанесения порошковых полимеров с трибоэлектрической зарядкой частиц является его простота, отсутствие дорогостоящего электрооборудования. Использование трибоэффекта обеспечивает большую равномерность зарядки потока частиц и большое значение заряда, что позволяет получать беспористые покрытия высокого качества уже при толщине 40-50 мкм.

Возможность работы без источника высокого напряжения упрощает условия эксплуатации оборудования, повышает уровень пожаро- и взрывобезопасности. Схема трибоэлектрического распылителя приведена на рисунке 4. Воздушно-порошковая взвесь подается из отдельно стоящей емкости через запорный кран 5 и регулятор расхода 4 в корпус 2 распылителя. При прохождении взвеси через шнек 3 частицы полимера из-за трения приобретают трибозаряд. Напряжение электрического поля, создаваемого трибозарядом, достигает 50 кВ и достаточно для хорошего прилипания частиц порошка к детали и удержания его на время, необходимое для переноса детали в печь оплавления. Заряженные частицы под действием сжатого воздуха вылетают из корпуса через распылительной конус 1 и по силовым линиям электрического поля устремляются к детали. В целях обеспечения безопасности работы металлический корпус распылителя 2 заземляют. Триборапыление обеспечивает легкое проникновение заряженных частиц порошка в различные углубления деталей. Размер факела распыления регулируется специальной заслонкой на выходе конуса 1, а значение заряда регулируется изменением скорости потока воздушно-порошковой взвеси вдоль шнека регулятором расхода 4.

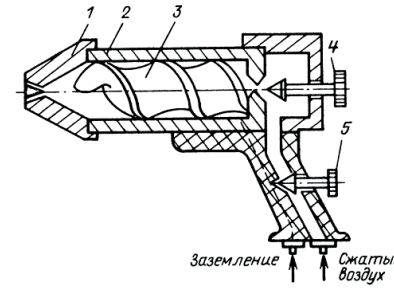


Рисунок 4 – Схема пневмоэлектростатического

Среди представленных методов нанесения покрытий особое место занимает технология нанесения в электростатическом поле высокого напряжения, а также комбинированный электростатико-термогазодинамический способ нанесения полимерных порошковых покрытий.

Среди представленных методов нанесения покрытий особое место занимает технология нанесения в электростатическом поле высокого напряжения, а также комбинированный электростатико-термогазодинамический способ нанесения полимерных порошковых покрытий.

Список литературы

1. Порошковые краски. Технология покрытий, под ред. ЗАО "Промкомплект", Санкт-Петербург, 2001. - 256 с.

2. Яковлев, А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. - Л.: Химия, 1989. - 384 с.

3. Бодо Мюллер, Ульрих Пот. Лакокрасочные материалы и покрытия. - М.: Пэйнт-Медиа, 2007. - 237 с.

СОВРЕМЕННЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Сироткина Лилия Витальевна
КГЭУ
Республика Татарстан, Россия, 420066, г. Казань,
ул. Красносельская,51
E-mail: liliya_belyaeva@mail.ru

Энергетика обеспечивает тепловой и электрической энергией потребности населения, народного хозяйства и осуществляет экспорт электроэнергии в другие страны, поэтому значимость энергетики в современном мире трудно переоценить [1].

Особенностями российского энергетического сектора являются: преобладание крупных электростанций, а в структуре используемого топлива доминирует газ, а доля угля, в свою очередь, значительно снижена.

В последнее десятилетие все большую популярность в России набирает альтернативная энергетика.

Водородная энергетика рассматривается как один из наиболее важных секторов в контексте инициатив по декарбонизации и углеродной нейтральности. На данный момент десять правительств по всему миру приняли стратегии производства и использования водорода [2].

Главными проблемами энергетики являются:

– исчерпаемость ресурсов;

– неравномерное распределение ресурсов;

– ухудшение экологической обстановки.

Перспективы развития современной энергетики связывают с применением нанотехнологий и наноматериалов.

В данной работе приведен обзор по использованию наноматериалов в энергетике. Наноматериалы используются для:

– совершенствования технологии создания топливных и конструкционных элементов;

повышения эффективности существующего оборудования и развития альтернативной энергетики (адсорбция и хранение водорода на основе углеродных наноструктур, увеличение в несколько раз эффективности солнечных батарей на основе процессов накопления и энергопереноса в неорганических и органических материалах с нанослоевой и кластерно-фрактальной структурой, разработка электродов с развитой поверхностью для водородной энергетики на основе трековых мембран).

– в тепловыделяющих и нейтронопоглощающих элементах ядерных реакторов; с помощью нанодатчиков обеспечивается охрана окружающей среды при хранении и переработке отработавшего ядерного топлива и мониторинга всех технологических процедур для управления качеством сборки и эксплуатации ядерных систем; нанофильтры используются для разделения сред в производстве и переработке ядерного топлива [3]

Топливные элементы (ТЭ) представляют собой преобразователи химической энергии в электрическую, в которых (в отличие от аккумуляторов) осуществляются непрерывные подвод реагентов и отвод продуктов суммарной электрохимической реакции [4].

КПД топливных элементов – наибольший среди различных устройств, производящих электроэнергию, для лучших образцов он может достигать 90 %.

Углеродные нанотрубки могут быть использованы при изготовлении батареек. Литий, являющийся носителем заряда в некоторых батарейках, можно помещать внутри нанотрубок. Также нанотрубки используются для хранение в них водорода, что может быть использовано при конструировании топливных элементов как источников электрической энергии в автомоблях [5].

Наноструктурированные материалы используют и для производства электродов. Так, углеродные нанотрубки могут выполнять роль электродов в миниатюрных источниках тока. Создавая трубки специальной формы, можно резко увеличить не только проницаемость электродов для газов, но и активность нанесенного на трубки катализатора. Управление структурой и свойствами системы «электрод–катализатор» на нанометровом уровне – это основа будущих технологий водородной энергетики [6].

В энергоресурсосбережении наноматериалы, применяются для производства более легких и износостойких роторных лопастей ветровых установок, а также в виде защитного слоя, увеличивающего долговечность и устойчивость к коррозии деталей, испытывающих большую механическую нагрузку (втулки, зубчатые редукторы и т.д.) [7].

Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), или солнечные элементы, являются наиболее перспективным, экологически чистым решением вопроса создания альтернативных источников энергии, так как они непосредственно преобразуют солнечное излучение в электрическую энергию в отличие от других существующих источников энергии [8].

Низкий КПД солнечных батарей и их высокая стоимость, а также ограниченная надежность платиновых мембран и катализаторов, используемых в топливных элементах солнечных батарей затрудняют их массовое распространение [9].

Огромное значение наноматериалы играют в разработке альтернативных видов фотоэлементов (тонкослойные: кремниевые, медные, селеновые и полимерные фотоэлементы), которые имеют высокий потенциал, особенно в сфере электропитания портативных электронных устройств, благодаря оптимальной цене материалов и производственных методов, а также гибкой архитектуре [7]

Одними из наиболее эффективных на сегодняшний день являются трехпереходные ФЭП на основе GaInP/GaInAs/Ge, так как на сегодняшний день они имеют наибольшее кпд преобразования солнечной энергии в электрическую [8].

Развитие водородной энергетики потребует локализации производства и применения совершенно новых композитных и электрохимических материалов, оборудования силовой электроники, систем управления, разделительных

мембран, специальных абсорбентов для улавливания CO2, углеродных нанотрубок и нановолокон для использования в катализаторах и системах хранения водорода и т.д. [10]

Одной из особо значимых технологических проблем водородной энергетики является разработка наиболее эффективных и наиболее экономичных способов хранения водорода.

На сегодняшний день наиболее перспективными методами хранения водорода считаются:

– метод хранения с использованием углеродных нанотрубок;

– метод хранения водорода в абсорбированном состоянии.

Распространенными физическими методами хранения водорода для сжатого газообразного водорода являются газовые баллоны, стационарные массивные системы хранения (подземные резервуары), хранение в трубопроводах, стеклянные микросферы; для жидкого водорода – стационарные и транспортные криогенные контейнеры.

К химическим методам хранения водорода относятся: адсорбционный (цеолиты, активированный уголь, углеводородные наноматериалы; абсорбция в объеме материала (металлогидриды)); методы на основе химического взаимодействия с алонатами, фуллеренами и органическими гидридами, аммиаком, губчатым железом, водореагирующими сплавами на основе алюминия и кремния [11,12].

Многие проблемы, связанные с хранением водорода, может решить использование углеродных нанотрубок. Такие углеродные материалы, как нановолокна и нанотрубки достаточно легкие, имеют полую структуру и благодаря этому могут использоваться в качестве контейнера для хранения водорода, сохраняя его плотность в газообразном состоянии. Водород способен при нагревании медленно высвобождаться из наноматериалов. Длина нанотрубок может достигать нескольких сантиметров, а диаметр составляет всего от одного до нескольких десятков нанометров [11].

Водород эффективно сорбируется в поверхностном и приповерхностном слоях материалов, то в качестве эффективных сорбентов обычно используются материалы с развитой поверхностью, например, наночастицы, весь объем которых представляют собой поверхность. Одним из самых перспективных современных методов хранения H_2 является его с [13].

В работе [14] показано, что формирование мелкокристаллической структуры металла и сплава с оптимальной степенью дефектности, которые являются местами закрепления водорода, может быть осуществлено электрохимическим методом с использованием в качестве нанообразующих добавок - бора. При введении бора в никель происходит переход от кристаллической структуры (бора до 5 ат. %) к неявно выраженной кристаллической структуре (бора 6-9 ат. %) с переходом к аморфной структуре. С одной стороны, повышение концентрации бора в системе Ni-B вызывает увеличение содержания водорода, по сравнению с никелем. Бор, как примесная ловушка для атомов водорода, обуславливает структурные изменения в никеле

и создает условия для формирования структурных ловушек для атомов водорода. В результате структурные и примесные ловушки уменьшают водородную проницаемость металла. Формируемые электрохимические системы на основе никеля, имеющие различные комбинации элементов по химическому составу, значительно расширят спектр используемых материалов для хранения водорода..

Ядерная энергетика представлена атомными электростанциями (АЭС). Зачастую ядерную энергетику воспринимают как подвид тепловой электроэнергетики, так как принцип выработки на атомной электростанции фактически такой же, как и на тепловой [15].

В ядерной энергетике и ядерной промышленности очень важна проблема модернизации топливных и конструкционных материалов для активной зоны ядерных реакторов [16].

Перспективы развития ядерной энергетики связаны с созданием наноструктурных материалов и покрытий конструкционных элементов АЭС и будущих термоядерных реакторов (ТЯР) целью повышения твердости, коррозионной и радиационной стойкости, разработкой методов модифицирования ядерного топлива (карбонитрид UZrCN легированный наноалмазом), создание наноструктурных композитов системы SiC / SiC для ТЯР, созданием фильтров и мембран, наноструктурных суперпроводников и сверхпроводников, разработкой новых систем доступа и контроля безопасности АЭС.

Увеличение эффективности работы и срока службы перспективных реакторов на быстрых нейтронах требует неразрывно связано с разработкой радиационно-стойких конструкционных материалов таких как новыйкласс ферритно-мартенситных сталей, упрочненных частицами оксидов нанометрового размера (ДУО-стали) и обладающими при этом высокими прочностными и механическими свойствами [16].

В перспективе наноматериалы позволят добиться значительного повышения емкости аккумуляторных батарей, роста КПД и удешевления производства солнечных панелей, продления срока полезной эксплуатации фотоэлектрических элементов и аккумуляторных батарей для крупных систем хранения энергии. Так, использование наноматериалов при производстве литий-ионных аккумуляторов позволит значительно увеличить их удельную энергоемкость.

Обладая развитой поверхностью, наноматериалы очень активны и охотно взаимодействуют с окружающей средой. Однако это создает серьезные проблемы при их хранении и транспортировке, особенно когда речь идет о металлических нанодисперсных материалах.

Важными ограничениями для использования наноструктурных материалов является их склонность к коррозии из-за очень большой объемной доли границ зерен [5], а также нестабильность структуры наноматериалов и нестабильность их свойств.

Список литературы

1. *Азизов А.А., Душевина Е.М.* Основные проблемы развития энергетического сектора России и их влияние на экономический рост. Вопросы российской юстиции. 2021. №11. С. 9–16.

2. *Юдин Д.А.* Анализ развития водородной энергетики в мире. Инновации и инвестиции. 2022. №6. С. 34–38.

3. *Рамбиди Н.Г., Березкин А.В.* Физические и химические основы нанотехнологий, 2009. – М.: Физматлит– 454 с.

4. *Чичиров А.А.* Топливные элементы. Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике; Т. II. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. С. 130-162.

5. *Попович А.А.* Современные проблемы нанотехнологи. М.: Проспект, 2021. – 408 с.

6. *Еремин В.В.* Нанохимия и нанотехнологии. Профильное обучение. 10-11 классы – Москва : Дрофа, 2009. – 110 с.

7. *Романова Г.В., Островская Э.Н.* Использование наноматериалов в энергоресурсосберегающих технологиях. Вестник Казанского технологического университета. 2011. №15. С. 21–25.

8. *Сысоев И.А., Гусев Д.А., Дембицкий А.Е., Смолин А.Ю., Катаев В.Ф.* Элементы для солнечных батарей на основе наноструктур *GaInAs*, полученне методом ионно-лучевого осаждения. Глобальная ядерная безопасность, 2019 № 1(30), с. 67–73.

9. *Сычёв В. В.* Нанотехнологии для энергосбережения: прогноз наиболее значимых областей исследования. Российский химический журнал. 2008. №6. С. 118-128.

10. *Малых Е.Б., Плотников В.А.* Водородная энергетика: оценка перспектив развития // ЕГИ. 2022. №41. С.216–220.

11. *Лупачев Д.А. Смирнов М.И.* Хранение водорода (получение и хранение) // Наука, техника и образование. 2018. №5. С. 73–77.

12. *Хохонов А.А., Шайхатдинов Ф.А., Бобровский В.А., Агарков Д.А., Бредихин С.И., Чичиров А.А., Рыбина Е.О.* Технологии хранения водорода. водородные накопители энергии. Успехи в химии и химической технологии. 2020. №12 (235). С. 47–52.

13. *Доленко Г. Н.* Перспективы водородной энергетики // Проблемы Науки. 2020. №4-1 (149). С. 21–23.

14. *Звягинцева А.В.* Наноструктурированные материалы: перспективы применения в водородной энергетике. Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2016. №1 (7). С. 243–245.

15. *Хондошко Ю.В., Музыченко В.Е., Золотов Н.В.* Современные способы получения электрической энергии. Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2022. №97. С. 74–78.

16. Азаренков *Н.А., Воеводин В.Н., Кириченко В.Г., Ковтун Г.П.* Наноструктурные материалы в ядерной энергетике. Вестник Харьковского университета, № 887, 2010. С. 4-24.

НОВЫЕ СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТ ПРИМЕСЕЙ ФЕНОЛОВ

© Снигирева Юлия Вячеславовна, Танеева Алина Вячеславовна,
Новиков Вячеслав Фёдорович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51

Аннотация. В работе рассмотрены новые сорбционные материалы для очистки сточных вод промышленных предприятий от примесей фенолов. Приведены физико-химические свойства органических растворителей, используемых в качестве экстрагентов для извлечения фенолов из водных растворов. Определены времена удерживания экстрагентов и обсуждается природа их сорбции цеолитсодержащими породами.

Ключевые слова: сорбционные материалы, примеси, фенолы, экстрагенты, растворители.

NEW SORPTION MATERIALS FOR PURIFICATION OF WASTEWATER OF INDUSTRIAL ENTERPRISES FROM PHENOLS

© Snigireva Yulia Vyacheslavovna, Taneeva Alina Vyacheslavovna,
Novikov Vyacheslav Fedorovich.
FGBOU VO "Kazan State Power Engineering University"
420066, Kazan, st. Krasnoselskaya, 51

Annotation. The paper considers new sorption materials for the purification of wastewater from industrial enterprises from phenol impurities. The physicochemical properties of organic solvents used as extractants for the extraction of phenols from aqueous solutions are given. The retention times of extractants are determined and the nature of their sorption by zeolite-containing rocks is discussed.

Key words: sorption materials, impurities, phenols, extractants, solvents.

Фенолы и их производные достаточно широко распространены и как правило загрязняют сточные воды промышленных предприятий так как относятся к токсичным соединениям. Они входят в приоритетный список загрязняющих веществ многих стран и оказывают негативное влияние на организм человека. Механизм этого влияния основан на блокировании сульфгидрильных группировок жизненно важных ферментов организма человека, следствием которых является нарушение окислительно-восстановительных процессов в клетках. Они вызывают гистопаталогические изменения и мутации в организме человека, и многие из них обладают канцерогенными свойствами [1-3]. В окружающей природной среде фенолы находятся в низких концентрациях, что исключает их прямой хроматографический анализ в вводных средах. В этой связи для повышения их

концентрации необходима процедура пробоподготовки, которая заключается в концентрировании примесей фенолов жидкофазной [4] или твёрдофазной [5] экстракцией органическими растворителями.

К одной из важных проблем при извлечении фенолов из водных систем относится задача поиска достаточно селективных органических растворителей, чему и посвящена настоящая работа. Экспериментальную часть исследований проводили методом восходящего варианта жидкостной колоночной хроматографии. С этой целью готовили стеклянные хроматографические колонки длиной до 150 мм, внутренним диаметром 3 мм. Эти колонки заполняли различными сорбентами, подключали к виале с органическими растворителем, который за счёт капиллярных сил поднимался по длине сорбционного слоя. Фиксировали время подъёма органического растворителя по длине сорбционного слоя через каждые 10 мм и строили кинетические кривые, связывающие времена удерживания органических растворителей с длиной сорбционного слоя пористых материалов, в качестве которых использовали цеолитсодержащие породы Татарско-Шатрашановского месторождения [6-8].

В таблице приведены физико-химические и сорбционные свойства органических растворителей, используемых для экстракции фенолов из водных растворов.

Таблица 1.

Физико-химические и сорбционные свойства органических растворителей. (Сорбент, цеолитсодержащие породы Татарско-Шатрашановского месторождения).

№ п/п	Растворитель	$T_{кип}$, °C	ν, cSt	μ	$Ɛ_{20}$	σ, н/м	t_{10}, сек	A, %
1	Ацетон	56	0,32	2,70	21,4	25,0	20	46
2	Хлороформ	61	0,57	1,15	4,81	27,1	79	124
3	н-Гексан	68	0,32	0,06	1,90	18,4	29	47
4	Этилацетат	77	0,45	2,48	6,0	23,7	121	49
5	Этанол	78	1,20	1,68	25,8	22,0	197	59
6	Бензол	80	0,65	0	2,23	29,0	85	59
7	Толуол	111	0,58	0,06	2,30	28,5	96	71
8	пара-Ксилол	138	0,64	0,60	2,37	28,3	38	-
9	мета-Ксилол	139	0,61	0,37	2,47	28,6	44	77
10	орто-Ксилол	179	0,81	0,52	2,60	30,0	76	-

где Ткип - температура кипения, °C; ν – вязкость, cSt; **μ** – дипольный момент; $Ɛ_{20}$ – диэлектрическая проницаемость; σ– поверхностное натяжение, н/м; t_{10} – время удерживания, сек; А – сорбционная ёмкость, %.

Как видно из таблицы все исследуемые растворители характеризуются различными величинами физико-химических характеристик. При этом сорбционная емкость цеолитсодержащей породы повышается с ростом температуры кипения анализируемых органических растворителей.

Исключение составляет хлороформ, сорбционная емкость которого составляет 124%, что очевидно связано не только с физической адсорбцией, но и с хемосорбцией, когда происходит процесс вытеснения связанной влаги хлороформом и заполнение мезопор адсорбента молекулами хлороформа.

При этом, времена удерживания исследуемых органических растворителей не зависит от их температур кипения. Так, например, пара Ксилол, имеющий температуру кипения 138°С, выходит из хроматографической колонки быстрее хлороформа, этилацетата, этанола, бензола и толуола, имеющих более высокие температуры кипения. Это свидетельствует о том, что кроме дисперсного взаимодействия в данной системе сорбат-сорбент происходят различные типы полярных донорно-акцепторных взаимодействий, в результате чего происходит их специфическая сорбция поверхностью цеолитсодержащих пород Татарско-Шатрашановского месторождения. Аналогичная закономерность является характерной и для других исследованных органических растворителей.

Выводы: Определены сорбционные свойства цеолитсодержащих пород Татарско-Шатрашановского месторождения по отношению к органическим растворителям, используемым в качестве экстрагентов для извлечения фенолов из водных систем. Найдена кинетическая зависимость, связывающая времена удерживания экстрагентов с длиной сорбционного слоя исследуемых сорбционных материалов, которая является нелинейной и определялась природой используемого растворителя.

Литература

1. Fattaxi N., Samadi S., Assadi Y. Hosseini M.R.M. Solid-phase extraction combined with dispersive licuid-licuid microextraction – ultra preconcen tration of chlorophenols in agueous samples.// J. Chroma togr. A. 2007, - v.1169, p. 63-69

2. Xoe X., Ma X., Guo L., Fan Y., Zeng G., Zhang M., Li J. Novel magnetie multitemplates molecularly imprinted polymer for selective and rupid removal and detection of alkyiphenols in water// Chem. Eng. J. 2019, v. 357, - p. 56-65

3. Jgbinosa E.O., Odjadjare E.E., Chigor V.N., Jgbinosa J.H., Emoghene A.O., Ekhaise E.O., Jgiehon N.O., Jdemudia O.G. Toxocological profile of chlorophenols and their derovatives in the environment: the publie health perspective//Sci.Worla J.-2013, - p. 1-11

4. Mahugo Santana C., Sosa Ferrera Z., Esther Terres Padron M., Juan Santana J. Rodriguez. Methodologies for the extraction of Phenolic compounds from environmental somples new approaches//Molecules.2009, v. 14, -p. 298-320.

5. Prieto A., Araujo L.,Navalov A., Vilchez A. Comparison of solid-fhase extraction and solid-fhase microextraction using octadecylsilane phase for the determination of pestieides in water samples// Curr. Anal. Chem. 2010, v. 5, - p.219-224

6. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение. Под ред. Л.В. Якимова и А.И. Бурова. Казань: изд. «ФЭН» АН РТ, 2001, 176 с.

7. Каратаев О.Р., Новиков В.Ф., Каралин Э.А. Влияние кислотной обработки на текстурные характеристики цеолитсодержащих пород // Вестник Казанского технологического университета. 2013, Т. 16, № 6, с. 55 - 56.

8. Новиков В.Ф., Снигирева Ю.В., Осипов А.Л., Танеева А.В. Специфика сорбции органических растворителей природными материалами на основе цеолитсодержащих пород Татарско-Шатрашановского месторождения. // Вестник Казанского технологического университета. 2017, Т. 20, № 23, с. 32 - 35.

УДК 621.799

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИИ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ.

Солопова Елена Алексеевна[1], Ларионова Анастасия Сергеевна[1]
[1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ. (КНИТУ-КАИ),420110,Казань, ул.К.Маркса д.10.

Яппаров Евгений Михайлович[2]
[2]ЗАО НИЦ «Инкомсистем», 420095, Казань, ул. Восстания, д.100

Аннотация: в работе произведен выбор варианта технологии сварки толстостенного трубопровода из стали 13ХФА $D_н$=114х22. На основе анализа структуры и свойств сварных соединений.

Abstract: in the work, a choice of welding technology for a thick-walled pipeline made of 13XFA steel Dn = 114x22 was made. Based on the analysis of the structure and properties of welded joints.

Ключевые слова: технологический трубопровод, высокопрочные легированные стали, комбинированная сварка, термическая обработка.

ЯМАЛ СПГ – интегрированный проект по добыче, сжижению и поставкам природного газа. Проект предусматривает строительство завода по производству сжиженного природного газа (СПГ) мощностью около 16,5 млн тонн в год на ресурсной базе Южно-Тамбейского месторождения. Доказанные и вероятные запасы газа месторождения по стандартам PRMS составляют 926 млрд куб. м. В рамках реализации проекта построено 12 кустов газовых скважин, для их обвязки требуются арматурные блоки. Арматурный блок скважин устанавливается в обвязке газоконденсатных скважин и предназначен для измерения расхода рабочей среды от скважины, регулирования подачи и измерения расхода метанола в выкидной трубопровод (с помощью системы подачи ингибитора) и защиты технологических трубопроводов и оборудования от превышения давления. Количество арматурных блоков в кусте – 4. Рабочая среда: пластовый газ с содержанием углеводородного конденсата, воды, метанола и ингибитора парафинообразования. Класс взрывоопасности смеси –

IIA. Номинальный диаметр выкидных линий DN100. Абсолютная минимальная температура окружающей среды -50^0 С. Давление пластового газа рсчетное избыточное 55МПа (до клапана отсекателя), 22,3МПа(после клапана отсекателя). Режим работы – непрерывный, без присутствия персонала. Срок службы блока не менее 20 лет.

Данная работа посвящена разработке технологии сварки кольцевых стыков технологических толстостенных трубопроводов входящих в состав арматурных блоков обвязки скважин при обустройстве и расширение куста газовых скважин Юрских залежей Южно-Тамбейского ГКМ. Расчетное давление трубопровода 55 МПа, расчетная температура газа от -50^0 С до +85^{0}С,

Трубопровод представляет собой сварную конструкцию, состоящую из горячедеформированных труб после закалки и отпуска марки 13ХФА 114х12 класса К52, вваренных в них бобышек и патрубков и соединенных между собой сварными швами и фланцевыми соединениями. Сложность изготовления данной конструкции состоит в том, что она должна надежно работать в условиях Крайнего Севера при минусовых температурах. К основным материалам и сварным швам этих систем предъявляются повышенные требования по прочности, пластичности, ударной вязкости и хладостойкости. Трубы из 13ХФА отличаются от нефтегазопроводных труб обычного исполнения повышенной хладостойкостью и стойкостью к общей и язвенной коррозии, стойкостью к сульфидному коррозионному растрескиванию и образованию водородных трещин.

Химический состав и механические свойства трубы по сертификату представлены в таблице №1 и №2.

Таблица 1.

Химический состав основного материала,%.

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	N
0,135	0,515	0,299	0,0025	0,0054	0,532	0,144	0,193	0,34	0,0019	0,0068
V	Nb		Ca/S	Cэ						
0,041 1	0,005		1,0	3,7						

Таблица 2.

Механические свойства основного материала

Временное сопротивление разрыву σв , МПа	Предел текучести σт, МПа	Относительное удлинение δ5, %	Ударная вязкость KCV -600C Дж/см2	Ударная вязкость KCU -600C Дж/см2
548-579	435-459	25,0-29,5	343,63-451,77	165.13-342,53

Механически свойства основного металла соответствуют требованиям ГОСТ 32528-2013.

Объектом исследования являются сварные швы, выполненные комбинированной сваркой. Первый проход-ручной дуговой сваркой вольфрамовым электродом в аргоне (РАД) с присадочной с проволокой Св-

08Г2С диаметром 2,0 мм, заполняющие и облицовочный слои производились механизированной сваркой (МП) в импульсном режиме $I_{св}$ =140-150А, $U_{д}$ =23-24В в смеси аргона и углекислого газа сварочной проволокой ОК AristoRod 12.50 диаметром 1,2мм. Химический состав сварочных проволок представлен в таблице№3, механические свойства в таблице №4.

Таблица №3

Химический состав сварочных проволок

Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S
Св-08Г2С	0,060	0,750	1,830	0,050	0,100	0,080	0,005
OKAristoRod 12.50	0,080	0,870	1,590	0,020	0,030	0,010	0,017
	P	N	Al	As	Mo	V	Ti+Zr
Св-08Г2С	0,010	0,008	0,001	0,004	-	-	-
OKAristoRod 12.50	0,014	-	0,001	-	0,020	0,010	0,010

Таблица №4.

Механические свойства сварочных проволок

Марка проволоки	Временное сопротивление σв, МПа	Место разрушений	Среднее значение σв, МПа	Нормативное значение σв, МПа
Св-08Г2С	629,0 ; 635,0; 620,0	Основной металл	628,0	не менее 510
OKAristoRod 12.50	599,0; 600,0; 601,2	Основной металл	600,0	не менее 510

Подготовка кромок и параметры швов соответствуют ГОСТу 55599-2013, (Рис. 1), швы стыковые, односторонние, с симметричным ломаным скосом обеих кромок.

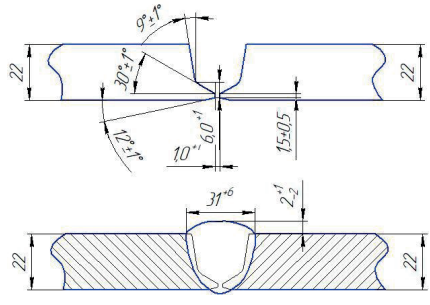


Рис.1 Подготовка кромок и сварной шов.

В качестве защитного газа для первого слоя применялся аргон высокой чистоты ARCAL Prim -100%Ar, для последующих слоев газовая смесь ARCAL Force - Ar82%+18%CO_2. Сварка велась в шесть проходов с послойной зачисткой поверхности каждого валика, сварка производилась с предварительным подогревом кромок до 100^{+30} ºС. Затем одна партия образцов подверглась термической обработке. Термообработка проводилась на индукционной установке УИНТ-50-2,4 по режиму высокого отпуска Т= +580°С,

время выдержки 1 час. Минимальная ширина зоны равномерного нагрева не менее двойной толщины стенки в каждую сторону от границы шва. Скорость нагрева при Т> 300°С не более 150°С /час. Скорость охлаждения до Т=300°С не более 150°С /час, далее под слоем теплоизоляции. Сварка и термообработка образцов проводились на производственной базе ЗАО НИЦ «Инкомсистем». Химический состав и механические свойства проволок оценивались по результат протоколов аттестации сварочных материалов завода производителя ООО «ЭСАБ Тюмень», механические испытания сварных швов проводились на база испытательной лаборатории «Спектр» согласно ГОСТ 6996, металлографические исследования – на кафедре «МС и ПБ» КНИТУ-КАИ.

Все сварные швы подвергались визуально-измерительному контролю в объеме 100%, ультразвуковому контролю дефектоскопом А1550 IntroVisor - 100%, рентгенографическому контролю с помощью рентгеновского аппарата Март-200 и механическим испытаниям: на статическое растяжение, статический изгиб, ударный изгиб (KCU $^{-60}$, KCV^{-60}), твердость HV10 определялась на макрошлифе в испытательной лаборатории «Спектр» металлографическое исследование на базе кафедры МС и ПБ КНИТУ-КАИ. Результаты механических испытаний образцов без термообработки и с термообработкой представлены в таблицах№5, №6, №7.

Таблица №5.

Статическое растяжение (тип XII) и статический изгиб (типа XXVII)

№ обр.	Временное сопротивление разрыву, σв, Мпа без ТО / с ТО	Место разрушения	№ Обр.	Зона растяжения	Угол изгиба, Град. Без ТО// ТО	Результат испытаний
1	524/526	осн. металл	3	Корень внутрь	120/120	Удов.
2	528/523	осн.металл	4	Корень наружу	120/120	Удов.

Таблица 6.

Твердость HV10

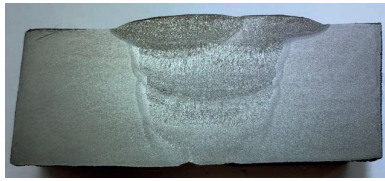
Линия замера твердости	Основной металл	ЗТВ	Металл шва	ЗТВ	Основной металл
Облицовка шва	237;242;238	206;220;227	222;215;216	235:225:207	252;245;249
Корень шва	212;209;205	203;202;206	192;197;190	186;189;191	207;209:206

Таблица 7.

Ударный изгиб (образцы типа IX ГОСТ 6996-66)

№ обр.	Ударная вязкость, KCU +20,Дж/см2 без ТО/ с ТО	Ударная вязкость, KCU -60Дж/см2 без ТО/с ТО-	Ударная вязкость, KCV - 60Дж/см2 без ТО/с ТО	Место концентратора
1	176/172	111/92	51/62	Металл шва
2	166/167	94/111	25/24	
	179/176	105/78	58/65	
3		223/233	201/201	Зона термического влияния
4		220/237	196/206	
5		241/225	192/218	

Структура феррито-перлитная, дефектов не выявлено, но и улучшения свойств не наблюдается.



а

в

Рис.2 Сварной шов: а – без термообработки, в – с термообработкой.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что сварочные материалы и параметры режима сварки были выбраны правильно.

Список литературы:

1.ГОСТ 32569-2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах.

2.СТП 26.260.486-2005. Каталог аналогов импортных и отечественных основных и сварочных материалов, применяемых при изготовлении сосудов, аппаратов и трубопроводов, подведомственных Ростехнадзору.

3. ТУ 3300-Е-000-МС-SPE-63002-00D Сварка и неразрушающий контроль оборудования и трубопроводов.

4.Солопова Е.А. Исследование строения и свойств сварных соединений технологических трубопроводов для Северной климатической зоны. Наука в движении: от отражения к созданию реальности: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции-М.: Издательство «Перо»; 2016. С 95-100.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ПЕН В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Фарахутдинов Р.А., Галимов Э.Р.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, ул. К. Маркса 10, Казань, 420111

Аннотация: в данной статье рассматриваются области применения углеродных пен, анализируются их свойства.

Annotation: this article discusses carbon foams obtained from mesophase pitch. Their properties and structures are studied.

Ключевые слова: углеродная пена, экранирование.

В настоящий момент идёт бурное развитие материаловедение. Ученные со всего мира создают и уникальные материалы, аналогом которых в природе не существуют. Одним из таких уникальных материалов, безусловно, являются углеродные пены. Они представляют собой ячеистый высокопористый пеноматериал, состоящий из твердой (жидкой) и газообразной фаз. В зависимости от исходного прекурсора, условий обработки углеродные пены могут обладать самыми разными свойствами: теплопроводными, теплоизоляционными, сорбционными, экранирующими. В данной работе рассмотрим области применения углеродных пен и подтвердим уникальность данного класса материала.

Большой интерес к применению углеродных пен возникает и при разработке различных теплообменных устройств нового типа, например, тепловых сифонов и охладителей, а также установок для хранения и накопления энергии. Например, в работе [1] представлены данные по разработке конструкции теплового сифона с применением теплопроводящей углеродной пены в качестве конденсатора водяного пара. Показано, что при диаметре сифона 270 мм данное устройство позволяет обеспечить теплоотвод порядка 50 Вт/см^2.

В работе [2] была получена углеродная пена из остатка сжижения угля посредством процедуры, включающей темплатный синтез углеродной пены и обработку каталитическим химическим осаждением из паровой фазы. Благодаря высокой пористости (до 95%) пена обладает хорошими сорбционными свойствами. Исследователи объясняют это тем, что открытые поры в углероде пена не только обеспечивает достаточное пространство для хранения органических загрязнителей, но и действует как небольшие капилляры. Отметим, что композит обладает сорбционной емкостью до 28 раз больше своего веса по отношению к промывочным маслам, до 25 раз к моторным маслам, до 22 раз к дизелю и 15 раз к бензину.

В статье [3] удалось использовать углеродную пену в качестве анода литий-ионных батареи. Для получения анода карбонизировали губчатую меламиновую пену до образования углеродной пены. Затем на пену,

используемую в качестве подложки, нанесли Ti2Nb10O29. Такое сочетание имеет ряд преимуществ:

- наличие мезопористых пор обеспечивает точки крепления для ионов лития, что увеличивает способность хранения ионов;

- большие однородные поры в углероде являются резервуаром для хранения электролита, что облегчает перенос и диффузию ионов и улучшает электрохимические характеристики Ti2Nb10O29.

Разработанный анод демонстрирует замечательную высокоскоростную емкость (327 мАч при 1 °C и 205 мАч при 40 °C) и превосходную циклическую стабильность. с высоким показателем сохранения емкости 81,4% (1000 циклов). Более того, данный композит продемонстрировал обратимую емкость 315 мА·ч при 1°C и сохранение емкости 72,3% в течение 1000 циклов при 10°C после 100 циклов сжатия-отбоя.

Компании Touchstone, Ltd. (США) запатентовали конструкцию экрана и различных корпусов для экранирования ЭМИ на основе электропроводной углеродной пены с эффективностью экранирования ЭМИ не менее 40 дБ в диапазоне частот от 400 МГц до 18 ГГц [4].

Благодаря теплоизоляционным свойствам углеродные пены нашли свое применение при строительстве солнечного зонда типа Parker Solar Probe. Он представляет собой многослойную структуру, состоящую из слоя высокопористого ячеистого материала на основе стеклоуглерода толщиной около 11 см, расположенного между слоями углерод-углеродного материала толщиной 0,076 см [5].

В статье [6] поднимается вопрос о возможности применения углеродной пены для удаления радионуклидов из загрязненной почвы и воды. В качесвте исходного сырья ученные выбрали мезофазный пек, который карбонизировали при 900 °C и напыляли наночастицами K[Fe(CN)6]. Адсорбционные эксперименты проводились при 20 °C и pH 7 в течении 48 ч. Эксперемент показал, что УП с наночастицами K[Fe(CN)6] обладал высокой адсорбционной способностью для 133Cs с максимальной адсорбционной способностью 197,7 мг•г -1 и эффективностью удаления 98,8% при 100 ppm 133Cs, что возможно благодаря пористой структуре пены, а также эффективным ионообменным свойствам наночастиц берлинской лазури.

В работе [7] рассматривалась возможность применения УП в теплообменниках, причём как в радиаторах, так и в трубках. Несмотря на это ряд физико-механических и теплофизических характеристик УП требует улучшения. Так, например, материалы, используемые в системе хранения тепловой энергии должны иметь высокую теплопроводность наряду с высокой удельной теплоемкостью. Для повышения теплоемкости УП пропитывают материалами с обратимыми фазовыми переходами.

Благодаря биосовместисоти с живыми тканями углеродная пена находит свое применение и в медицине. Существует патент US №9119728B2 «Армированное углеродное волокно/углеродная пена межпозвоночное сращивающее устройство позвоночника». В патенте описан способ изготовления межпозвоночного имплантата, содержащего каркас и пористую

сердцевину, придание пористой сердцевине формы с образованием полости, заполнение указанной полости материалом для костной пластики и имплантацию имплантата в межтеловое пространство субъекта между первым и вторым телами позвонков.

Таким образом, углеродная пена – это уникальный материал, способный найти свое применение в самых разных областях: от создания теплообменников и анодов для батареи до сорбентов нефти и имплантов медицине.

Список литературы

1. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.ornl.gov, свободный.

2. Xiao, N., Zhou, Y., Ling, Z., & Qiu, J. (2013). Synthesis of a carbon nanofiber/carbon foam composite from coal liquefaction residue for the separation of oil and water. Carbon, 59, 530–536. doi:10.1016/j.carbon.2013.03.051

3. Shi, S., Wang, G., Wan, G., Tang, Y., Zhao, G., Deng, Z. (2020). Titanium niobate (Ti2Nb10O29) anchored on nitrogen-doped carbon foams as flexible and self-supported anode for high-performance lithium-ion batteries. Journal of Colloid and Interface Science.

4. POCO website [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.poco.com, свободный

8. McComas D., Acton L., Balat-Pichelin M., Bothmer V., Dirling R. NASA/TM—2008–214161 (2008).

5. Dong Seok Kim. Functionalization of petroleum pitch-based porous carbon foams and their application in radionuclides adsorption/decontamination // Carbon Trends, Volume 5, October 2021, 100108

6. Zhang S. Synthesis ofcarbon foams with a high compressive strength fromarylacetylene / S. Zhang, M.L. Liu, Wu. F. Gan, Z. Xu, Z. Hao, et al. // New Carbon Mater. – 2010. – 25. – pp. 9-14.

7. Wang J. Reticulated vitreous carbon – a new versatile electrode material / J. Wang // ElectrochimActa. – 1981. – 26. – pp. 1721-1726

О ВЛИЯНИИ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА

Федяев Владимир Леонидович
Институт механики и машиностроения
ФИЦ КазНЦ РАН
420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31
E-mail: vlfed2020@gmail.com

Галимов Энгель Рафикович, Беляев Алексей Витальевич
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10
E-mail: AVBelyaev@kai.ru

Аннотация. Пористые технические материалы широко применяются при изготовлении фильтров, теплоизоляции, интенсификации тепломассообменных процессов в энергетике, химии, нефтехимии, других отраслях производства. В работе в качестве основных эксплуатационных свойств этих материалов выделяются прочностные. Для анализа влияния на них общей пористости используются методы математического моделирования. При этом обращается внимание на то, что данные свойства зависят как от внутренних, так и внешних факторов, среди которых в качестве базовых выступают атмосферные факторы, а дополнительными являются эксплуатационные. Кроме того, учитывается то обстоятельство, что при эксплуатации рассматриваемых материалов могут изменяться и физико-химические свойства материала каркаса (матрицы), и структура, в том числе, пористость. Соответственно, в общем виде представляются соотношения для определения прочностных показателей, приводится ряд аппроксимационных зависимостей.

Annotation. Porous technical materials are widely used in the manufacture of filters, thermal insulation, intensification of heat and mass transfer processes in the energy sector, chemistry, petrochemistry, and other industries. In the work, strength properties are distinguished as the main operational properties of these materials. To analyze the effect of total porosity on them, mathematical modeling methods are used. At the same time, attention is drawn to the fact that these properties depend on both internal and external factors, among which atmospheric factors act as basic ones, and operational factors are additional ones. In addition, the circumstance is taken into account that during the operation of the materials under consideration, both the physicochemical properties of the frame (matrix) material and the structure, including porosity, can change. Correspondingly, relations for determining the strength indicators are presented in a general form, and a number of approximation dependencies are given.

Ключевые слова: пористые технические материалы; внутренние и внешние факторы; прочностные свойства; зависимость свойств от нагрузок.

Объектом настоящего исследования являются искусственно созданные пористые материалы – пористые технические материалы (ПТМ), состоящие из двух основных компонент: твердый каркас (матрица), который иногда называют скелетом, и полостей (пор), где могут быть вакуум, а также газы, парогазовые смеси, газовзвеси (гетерогенные среды) и т.д. Материал каркаса – это металлы, сплавы, стекло, керамика, твердый углерод, полимеры и др. [1-4].

Большое разнообразие пористых технических материалов обеспечивает широкий спектр физико-химических свойств их и, как следствие, успешное применение.

Для формализации влияния общей пористости m на механические, прочностные свойств этих материалов Y_m предположим, что

$$Y_m = Y_m\left(X_i, S_i, F_j\right). \tag{1}$$

Здесь параметры X_j характеризуют химический состав компонент ПТМ; S_j – структуру, строение каркаса, включая пористость m; F_j – нагрузки, обусловленные воздействием на ПТМ внешней среды,

$$F_j = F_j\left(g_a, g_e\right), \tag{2}$$

где g_a, g_e – атмосферные, дополнительные (эксплуатационные) факторы соответственно.

Очевидно, что со временем эксплуатации ПТМ пористость их меняется, следовательно,

$$m = m\left(g_a, g_e\right). \tag{3}$$

Исходя из практики применения пористых технических материалов примем в качестве основных атмосферных факторов: r_a – интенсивность солнечного излучения (световое, инфракрасное, ультразвуковое); t_a – температура, φ_a – влажность воздуха; κ_a – параметры, характеризующие химическую агрессивность атмосферы. Соответственно,

$$g_a = g_a\left(r_a, t_a, \varphi_a, \kappa_a\right). \tag{4}$$

Что же касается дополнительных (эксплуатационных) факторов g_e запишем, акцентируя внимание на температурных, химических и механических нагрузках,

$$g_e = g_e\left(t_e, \kappa_e, p_{ne}, p_{\tau e}\right), \tag{5}$$

где t_e – температура, κ_e – показатели химической активности рабочей среды; p_{ne} , $p_{\tau e}$ – нормальные и тангенциальные механические нагрузки.

Далее целесообразно перейти в соотношениях (2) – (5) к безразмерным переменным, принимая в качестве характерных величин r_0, t_0, φ_0, κ_0, p_0, соответственно, для интенсивности солнечного излучения, температуры, влажности, химической агрессивности, механических нагрузок. В результате, согласно принципа аддитивности (суперпозиции), получим:

$$f_j = f_a\left(\gamma_a, \Theta_a, \psi_a, \chi_a\right) + f_e\left(\Theta_e, \psi_e, \sigma_e, \tau_e\right);\ m = m_0 + m_j \tag{6}$$

$$m_j = a_a\left(\gamma_a, \Theta_a, \psi_a, \chi_a\right) + m_e\left(\Theta_e, \psi_e, \sigma_e, \tau_e\right),\ y_m = H_m\left(x_i, m_0, s_{io}\right) + G_m\left(m_j, f_j\right). \tag{7}$$

Здесь $\gamma_a = r_a / r_0$, $\Theta_a = t_a / t_0$, $\psi_a = \varphi_a / \varphi_0$, $\chi_a = \kappa_a / \kappa_0$; $\Theta_e = t_e / t_0$, $\kappa_e = \kappa_e / \kappa_0$, $\sigma_e = p_{ne} / p_0$, $\tau_e = p_{\tau e} / p_0$; $y_m = Y_m / Y_{m0}$, $x_i = X_i / X_{i0}$, $s_{i0} = S_i / S_{i0}$; Y_{m0}, X_{i0}, S_{i0}, m_0 – величины, характеризующие показатели Y_m; химический состав компонент ПТМ, особенности структуры, пористости его m в отсутствие внешних факторов.

Выражения для H_m, G_m можно представить в виде:

$$H_m = A_x \cdot x_i + A_m m_0 + A_s \cdot s_{i0},\ G_m = B_m \cdot m_j + B_f \cdot f_j,$$

где в функциях m_j, f_j слагаемые

$$m_a = \alpha_\gamma \cdot \gamma_a + \alpha_\Theta \cdot \Theta_a + \alpha_\psi \cdot \psi_a + \alpha_\chi \cdot \chi_a,\ m_e = \beta_\Theta \cdot \Theta_e + \beta_\chi \cdot \chi_e + \beta_\sigma \cdot \sigma_e + \beta_\tau \cdot \sigma_\tau;$$

$$f_a = \zeta_\gamma \cdot \gamma_a + \zeta_\Theta \cdot \Theta_a + \zeta_\psi \cdot \psi_a + \zeta_\chi \cdot \chi_a,\ f_e = \eta_\Theta \cdot \Theta_e + \eta_\chi \cdot \chi_e + \eta_\sigma \cdot \sigma_e + \eta_\tau \cdot \sigma_\tau.$$

В конечном счете показатели прочности ПТМ y_m зависят от пористости, внутренних и внешних факторов линейно, что облегчает анализ рассматриваемых зависимостей. При этом коэффициенты A, B, α, β, ζ, η с соответствующими индексами определяются по результатам экспериментальных, теоретических исследований. Безусловно, данные оценки обладают малой точностью. С целью уточнения их можно воспользоваться степенными, экспоненциальными аппроксимирующими функциями [5-7].

Список литературы

1. Николаевский В.Н., Басниев К.С., Горбунов А.Т. и др. Механика насыщенных пористых сред. – М.: Недра, 1970. – 336 с.

2. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.

3. Пористые проницаемые материалы: Спр. Изд. / Под ред. С.В. Белова. – М.: Металлургия, 1987. – 335 с.

4. Сталтон Р. Влияние окружающей среды на свойства композиционных материалов. Справочник по композиционным материалам в 2 кн. Кн. 2 / Под ред. Дж. Любина. – М.: Машиностроение, 1988. – 584 с.

5. Гойхман Б.Д., Смехунова Т.П. Прогнозирование изменений свойств полимерных материалов при длительном хранении и эксплуатации // Успехи химии, 1980. Т. XLIX. Вып. 8. – С. 1554-1573.

6. Протасов В.Н. Полимерные покрытия в нефтяной промышленности. – М.: Недра, 1985. – 192 с.

7. Гулгезли Алескер, Хейрабади Газаля. Влияние пористости на свойства материалов. – М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 140 с.

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ АДДИТИВНОЙ УСТАНОВКИ

Хазиев Эмиль Люцерович, emilius@yandex.ru
Хусаенова Айгуль Асгатовна, aigulkhusaen@yandex.ru
Шарипова Чулпан Рависовна chulpan-0@mail.ru

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», кафедра информационных систем

Аннотация. Представлены результаты исследований технического (машинного) зрения для аддитивных установок печатающих металлами. Система технического зрения (СТЗ) необходима для определения дефектов наплавления, и она рассматривается как составная часть системы автоматизированного управления процессом лазерного наплавления, обеспечивающей управление перемещением лазерного луча по порошку свариваемых слоев и регулировку мощности излучения, в зависимости от температуры расплавленного слоя порошка. Технологический процесс аддитивной установки может проводиться по одной из трех технологий: спекание, наплавление, прямое выращивание. СТЗ состоит из аппаратной и программной частей. Технологический процесс аддитивного производства достаточно сложен, зависит от большого количества настроек и условий, и поэтому, для его эффективной реализации необходимо учитывать множество параметров, как аддитивной установки, так и порошковой смеси. Даже обладая всеми знаниями об объектах и средствах производства, технологический процесс аддитивного производства все же остаётся нелинейным процессом и нельзя с достоверной точностью определить, как он измениться в следующий момент времени и, тем самым, повлияет на качество создаваемого изделия. Поэтому технология визуального слежения с элементами интеллектуального логического вывода для контроля качества аддитивно создаваемых изделий машиностроения является актуальной областью получения научно-практических знаний.

Ключевые слова: система технического зрения, аддитивная установка, печать металлами, машиностроение.

ADDITIVE INSTALLATION TECHNICAL VISION SYSTEM

Annotation. The results of studies of technical (machine) vision for additive installations printing metals are presented. The technical vision system (STZ) is necessary to determine the deposition defects, and it is considered as an integral part of the automated control system of the laser deposition process, which provides control of the movement of the laser beam through the powder of the layers being welded and the adjustment of the radiation power, depending on the temperature of the molten powder layer. The technological process of additive installation can be carried out using one of three technologies: sintering, surfacing, direct cultivation. STZ consists of hardware and software parts. The technological process of additive manufacturing is quite complex, it depends on a large number of settings and

conditions, and therefore, for its effective implementation, it is necessary to take into account many parameters, both additive installation and powder mixture. Even with all the knowledge about the objects and means of production, the technological process of additive manufacturing still remains a nonlinear process and it is impossible to determine with reliable accuracy how it will change at the next moment in time and, thereby, affect the quality of the product being created. Therefore, the technology of visual tracking with elements of intelligent logical inference for quality control of additively created mechanical engineering products is an urgent area of obtaining scientific and practical knowledge.

Keywords: vision system, additive installation, metal printing, mechanical engineering.

Введение. Аддитивное производство активно внедряется на машиностроительных предприятиях. Оно позволяет создавать изделия очень сложной конструкции, экономя при этом дорогостоящие материалы при сохранении показателей качества конечного продукта. В настоящий момент в машиностроении применяются три технологических способа промышленного наращивания: селективное лазерное спекание (SLS), селективное лазерное плавление (SLM) и прямое лазерное выращивание/наплавление (LENS). У каждой из этих технологий есть свои достоинства, ограничения, недостатки и свои специфические нишевые области применения при создании (восстановлении) изделий из металлов и сплавов. Какая бы аддитивная технология не была использована при создании изделий из металлов, существует необходимость контроля качества наплавляемого материала с целью исключения вскипячения и разбрызгивания материала. Также необходимо машинное слежение (распознавание) за слоями аддитивно наносимого материала для определения структурности каждого слоя с последующим расчетом вероятности появления микротрещин, вследствие, плохого молекулярного взаимодействия между сплавами или другими соединениями. Кроме того, необходимо активное слежение за мощностью лазерного излучения, с конечной задачей снижения дефектов (например, таких как поры) внутри готового изделия.

Постановка и решение задачи. Исследуемая СТЗ аддитивной установки, является составной частью экспертной системы контроля и прогнозирования качества создаваемого изделия (ЭСКПК) с возможностью оперативного регулирования параметрами аддитивной лазерной установки.

СТЗ аддитивной установки - это программно-аппаратная система, предназначена для визуального определения качества процесса наплавления. Это такие задачи как:

– определение формы пятна расплава наносимого материала;

– определение температуры в пятне расплава и интенсивности разбрызгивания наносимого материала;

– обнаружение дефектов и шероховатости боковых поверхностей;

– определение плотности (пористости) слоев, фиксации в широком диапазоне инфракрасного излучения от температурного воздействия лазерного излучения;

– фиксация спектра материала слоев наплавляемого изделия для определения состава, процентного содержания и критически недопустимых химических элементов).

В ее состав входит программные модули, реализующие фиксацию, сохранение и нормализацию снимаемых данных техническими средствами. В качестве объекта СТЗ выступают слои наплавляемого материала формируемого изделия. Обобщенная структура обеспечения технологического процесса наплавления, и роль в ней СТЗ и ЭСКПК, показана на рисунке 1.

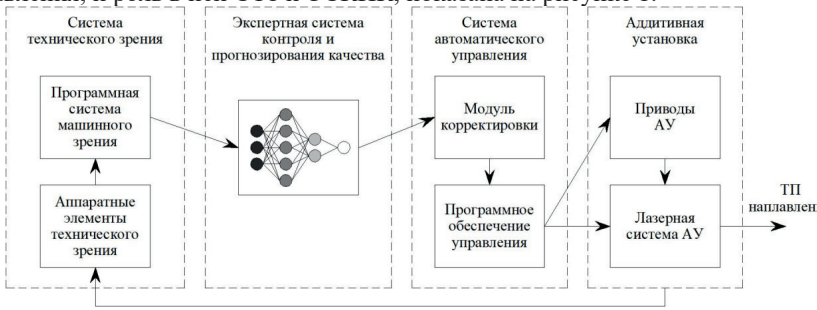


Рис. 1 – Положение СТЗ и ЭСКПК в структуре обеспечения технологического процесса наплавления лазерной установки

Система технического зрения особенно необходима для аддитивных установок с изменяемой мощностью лазерного излучения, в которых создаются изделия из широкого разнообразия металлов и сплавов. СТЗ позволяет обеспечить входными данными экспертную систему, которая, в свою очередь, призвана улучшать показатели качества аддитивно создаваемых изделий из металлов.

Основные показатели качества аддитивно наплавляемого изделия это: глубина проплавления, химический состав, микроструктура, отсутствие пор, отсутствие разбрызгивания наносимого материала, шероховатость внешних слоев наплавляемого изделия. Данные показатели качества зависят от температуры генерируемой мощностью лазерной установкой, скорости и направления прогона лазера по слою, толщины слоя порошка, эффективного попадания песчинок материала порошка в фокус лазера, времени выдержки лазера, скорости охлаждения, наличия изолирующего облака инертного газа, размера изделия.

Взаимосвязь между параметрами аддитивной установки и показателями качества наплавления показана на рисунке 2.

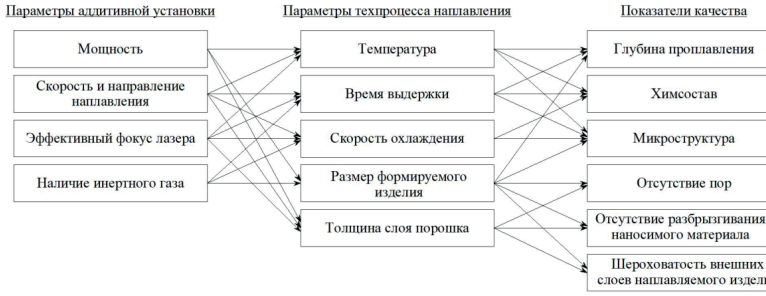


Рис. 2 – Взаимосвязь между параметрами аддитивной установки и показателями качества наплавления

Качество аддитивного наплавления обеспечивается за счет изменяемых показателей нагрева песчинок в порошке наносимого материала в зависимости от того, песчинки какого сплава или металла попали в зону плавления (в процентах). Какие именно песчинки металла попали в зону расплава, определяет экспертная система посредством СТЗ. Это очень актуальная задача для многокомпонентных сплавов, в которых могут часто возникают микротрещины при кристаллизационных процессах, например в таких сплавах как, AA7020, 1545K, AMr6, 1151 и др. [1,2,3]. Кроме того, качество аддитивного наплавления во многом зависит от температуры в зоне термического влияния; временем выдержки при температуре плавления, которая необходима для завершения фазового преобразования микроструктуры создаваемого слоя и скоростью охлаждения.

Таким образом, можно сформулировать две задачи с применением системы технического зрения в аддитивной установке. Первая – необходимость определения в точке проплавления данных о количестве и виде металла и образовавшихся соединений. Так порошки, применяемые при наплавлении, могут быть некондиционными, вследствие, неправильного хранения, транспортировки, не соблюдения процентного состава материалов в порошке: в них может образоваться ржавчина, окиси, компоненты могу входить во взаимодействие до начала технологического процесса наплавления и прочее. Данные негативные факторы приводят к ухудшению качества порошковой смеси и, как следствие, качества конечного изделия. Вторая задача – контроль за температурными характеристиками технологического процесса наплавления каждого слоя создаваемого изделия в аддитивной установке. Так из-за перегрева в точке наплавления может происходить разбрызгивание материала и как следствие снижение какого-то металла (соединения) в этой точке. Кроме того, перегрев влияет на нижние уже наплавленные слои, что также может приводить к ухудшению эксплуатационных качеств конечного изделия.

Решение этих задач заключается в создании аппаратно-программного комплекса технического зрения, работающего в режиме реального времени. В систему технического зрения входят следующие компоненты:

– аппаратная часть: оптическая система, фотоприемник, блок усиления, аналоговый коммутатор, АЦП, интерфейс, микропроцессор [4];

– программная часть: модули измерения и записи спектра электромагнитного излучения материала, измерения и записи инфракрасного излучения нагретой поверхности наплавляемого изделия и измерения и записи геометрии фиксируемых поверхностей.

На рисунке 3 показана схема системы технического зрения аддитивной установки.

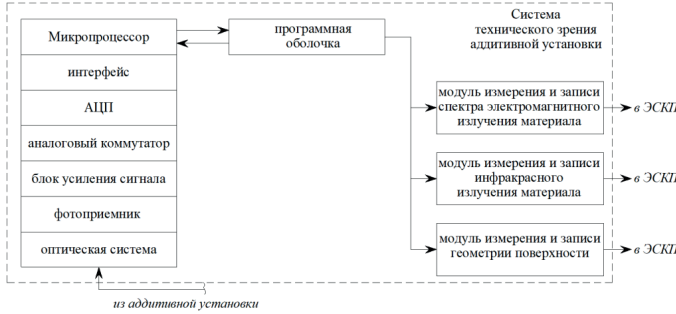


Рис. 3 –Схема системы технического зрения аддитивной установки

Система технического зрения, независимо, от задачи определения-распознавания, функционирует следующим образом: отраженное излучение лазера подсветки от поверхности наплавленного слоя изделия через оптическую систему фокусируется на площадках фотоприемника. В фотоприемнике происходит его преобразование в электрический аналоговый сигнал. Далее, происходит усиление в блоке усилителей и посредством аналогового коммутатора преобразуется из параллельного кода в последовательный. В АЦП происходит преобразование аналогового сигнала в цифровой вид. Далее через интерфейс поступает на микропроцессор, который по заданному алгоритму соответствующего программного модуля ЭСКПК производит обработку. Полученные данные сохраняются в ЭСКПК.

Выводы. Система технического зрения аддитивной установки необходима для автоматизации процесса слежения за технологическими процессами наплавления/спекания/прямого выращивания изделий с целью контроля качества нанесения и спекания порошкового материала.

Список использованных источников.

[1] Попкова, И.С. Производство изделий из алюминия и его сплавов методом селективного лазерного плавления / И.С. Попкова, В.С. Золоторевский, А.Н. Солонин. // Технология легких сплавов. – 2015. – №4. – С. 14-24;

[2] Логинова, И.С. Исследование влияния параметров процесса лазерной наплавки порошка стали 316L на структуру и механические свойства образцов / И.С. Логинова, Д.П. Быковский, S.B. Adisa, А.Н. Солонин, В.Д. Миронов, В.Н.

Петровский, В.В. Чеверикин // Технология легких сплавов. – 2016. – №4. – С. 5-11;

[3] Loginova, I.S. The structure and mechanical properties of parts elaborated by direct laser deposition 316L stainless steel powder obtained in various ways / I.S. Loginova, A.N. Solonin, A.S. Prosviryakov, S.B. Adisa, A.M. Khalil, D.P. Bykovskiy, V.N. Petrovskiy. // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol.941. – Iss. 1. N.012040;

[4]. Управление лазерным технологическим комплексом сварки металлов / Звездин В.В., Исрафилов И.Х., Саубанов Р.Р., Спирин А.А., Харитонова А.Г. // Международная конференция электронно-лучевая сварка и смежные технологии. Сборник материалов и докладов. 2015. С. 399-406.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА В ЭКСПЕРТНОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Хазиев Марат Люцерович, marathaziev@yandex.ru

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», кафедра высокоэнергетических процессов и агрегатов

Аннотация. Диагностика гидравлического привода и распознавание возникающих при его работе неисправностей, целесообразно возложить на экспертную диагностирующую систему - программный агент, осуществляющий: сбор данных объективного состояния элементов и узлов гидропривода, систематизация и кластеризация базы значений, вычисление остаточного ресурса, подбор корректирующих воздействий на привод, выдача рекомендаций и прогнозов касающихся надёжности работы гидравлического привода.

Исследование описывает: способ определения технического состояния гидравлической системы и метод определения остаточного ресурса элементов гидравлической системы, реализованный в экспертной диагностической системе автоматизированного гидравлического привода. В работе реализован метод функционального диагностирования [1], описанный с помощью структурно-функциональной модели, где воздействия, поступающие на вход гидропривода, заданы алгоритмом функционирования самого привода, а техническое состояние определяется функциональными параметрами такими как давление, подача, температура жидкости и др.

Ключевые слова: гидравлический привод, прогнозирование надёжности, диагностика, остаточный ресурс, программный агент.

METHOD FOR DETERMINING THE RESIDUAL LIFE OF HYDRAULIC DRIVE ELEMENTS IN AN EXPERTDIAGNOSTIC SYSTEM

Abstract. Diagnostics of the hydraulic drive and the recognition of malfunctions arising during its operation, it is advisable to assign to an expert diagnostic system - a software agent that collects data on the objective state of elements and components of the hydraulic drive, systematization and clustering of the database of values, calculation of the residual resource, selection of corrective actions on the drive, issuing recommendations and forecasts concerning the reliability of the hydraulic drive.

The study describes: a method for determining the technical condition of the hydraulic system and a method for determining the residual life of the elements of the hydraulic system, implemented in an expert diagnostic system of an automated hydraulic drive. The paper implements a method of functional diagnostics [1], described using a structural and functional model, where the effects coming to the input of the hydraulic drive are set by the algorithm of the drive itself, and the technical condition is determined by functional parameters such as pressure, supply, fluid temperature, etc.

Keywords: hydraulic drive, reliability prediction, diagnostics, residual resource, software agent.

1. **Способ определения технического состояния гидравлической системы**

Метод функционального диагностирования описывается при помощи структурно-функциональной модели. Суть применяемой модели в следующем, принципиальную схему привода представляют в виде структурной схемы, в которой каждый элемент (насос, распределитель, гидроцилиндр и т.д.) представлен в виде отдельного блока S_i (см. Рис.1).

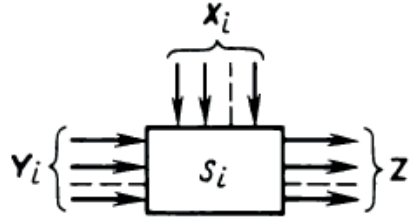


Рис. 1. Функциональный элемент привода.

На выходе каждого блока присутствует вектор $Z_i(z_{ij})$, параметры которого характеризуют состояние гидроэлемента, т.е. z_{ij} представляют собой функциональные параметры (давление, подача, температура жидкости и пр.).

На входе блоков S_i присутствуют векторы управляющих воздействий - $X_i(x_{ij})$ и вектор состояния потока жидкости на входе - $Y_i(y_{ij})$.

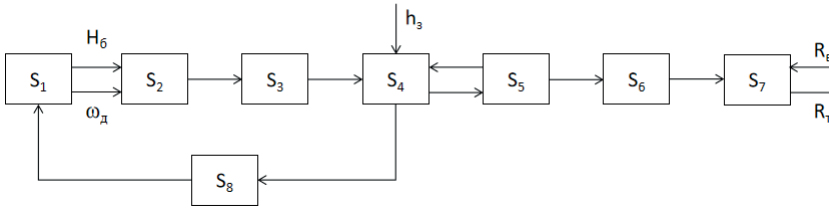


Рис. 2. Структурная схема гидропривода.

При изменении состояния гидравлического привода, внутренние связи между блоками в структурной схеме (см. Рис.2) могут перестраиваться.

Для определения технического состояния привода рассматриваются различные неисправности, и устанавливаются их влияния на выходные параметры системы по структурной схеме.

В результате проделанной работы все виды технического состояния системы, в зависимости от функциональных параметров (давления, расхода, температуры жидкости и т.д.), вносятся в базу данных программного агента.

В этой базе данных, значение «1» говорит о соответствие состоянию неисправности блока (агрегата) и должно рассматриваться как возможная причина для перехода системы из исправного состояния в неисправное состояние, а «0» означает, что состояние системы, по соответствующему агрегату, не связано с видом технического состояния системы и не является критичным для работы системы в целом.

В общем случае, совокупность параметров привода можно представить как компонент случайного вектора V(t) в n - мерном пространстве (где n - число параметров) [1].

На все функциональные параметры выставляются допустимые пределы изменения, для каждого параметра y_i (давление, расход, температура и т.п.) определены возможные диапазоны значений [a, b], (при этом параметры y_i также лежат во временном интервале [c, d]) в пределах которых обеспечивается нормальное функционирование.

В результате обработки эксплуатационных данных (функциональных параметров) элементов привода - строятся кластеры параметров, например параметра - давление (см. Рис.3). Далее находятся центры кластеров $y_j(t)$, характеризующие его работоспособность по времени (где j - номер центра кластера).

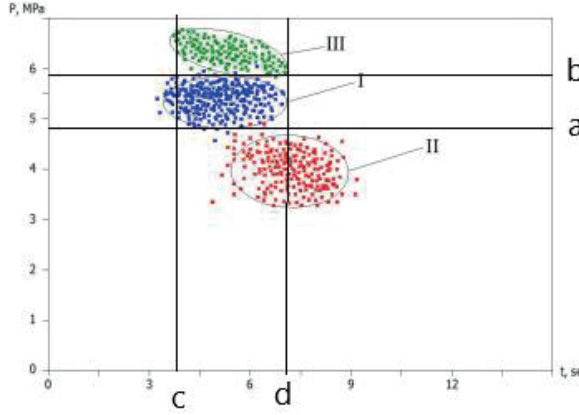


Рис. 3. Кластеры параметра (давления).

Найдя центр текущего кластера $y_j(t)$, и его время t_j в теле программного агента происходит сравнение этих значений с предельными значениями. В случае если $y_j(t)$ окажется в пределах [a, b], и t_j в пределах [c, d], то у нас наблюдается нормальное функционирование привода. В противном же случае, экспертная диагностическая система сигнализирует о том, что возможно наступление того или иного вида технического состояния по вине того или иного агрегата гидравлической системы.

2. **Определение остаточного ресурса элементов гидравлической системы**

Определение остаточного ресурса элементов гидравлического привода осуществляется применением метода расчёта надёжности при последовательном соединении [1], где отказ одного из элемента системы ведёт к отказу всей системы.

Суммарная вероятность безотказной работы системы $P_{\Sigma}(t)$ определяется как произведение вероятностей безотказной работы всех элементов $P_i(t)$ входящих в гидропривод

$$P_{\Sigma}(t) = \prod_{i=1}^{k} P_i(t). \quad (1)$$

Вероятности безотказной работы каждого элемента описываются экспоненциальным законом

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i \cdot t}, \quad (2)$$

где t - общее (расчётное) время работы системы;

λ_i - интенсивность отказа агрегата (берётся из сертификата качества изделия, либо предоставляется производителем или определяется опытным путём по статистическим данным испытаний агрегата).

Вероятность безотказной работы всей системы всегда будет меньше чем минимальная вероятность безотказной работы одного из агрегатов, исходя из чего определяем наработку на отказ всей системы

$$T = -\frac{t}{ln(P_\Sigma(t))} \quad (3)$$

Остаточный суммарный ресурс гидропривода

$$t_\Sigma^{ост} = T - n \cdot t_j \quad (4)$$

где n - текущий счётчик пройденных циклов работы (общее количество точек в кластерах);

t_j - время центра текущего кластера $y_j(t)$.

В формуле (4) произведение $n \cdot t_j$ представляет собой среднее время наработки гидропривода.

Если, например, $t_\Sigma^{ост} = T - n \cdot t_j \leq 0{,}05 \cdot T$ (5% от времени наработки на отказ), то система близка к отказу по вине «слабого» звена (элемента с наименьшим ВБР).

После замены (ремонта) элемента схемы, следует заново пересчитать вероятности безотказной работы агрегатов по формуле (2) из-за накопления износа у прочих элементов системы и возможной смены «слабого» звена, а также по причине изменения общего времени работы системы t на величину среднего времени наработки гидропривода $n \cdot t_j$.

Для определения остаточного ресурса конкретного агрегата привода следует определять время наработки на отказ i - элемента T_i по формуле (3), подставляя вместо $P_\Sigma(t)$ значение $P_i(t)$, а вместо t следует подставлять разницу $t - n \cdot t_j$.

$$T_i = -\frac{t - n \cdot t_j}{ln(P_i(t))} \quad (5)$$

Остаточный ресурс агрегата (элемента) гидропривода

$$t_i^{ост} = T_i - n \cdot t_j \quad (6)$$

где T_i - наработка на отказ i - элемента.

Если $t_i^{ост} \leq 0{,}05 \cdot T_i$, то агрегат системы близка к отказу.

Список использованных источников.

[1] Сырицын Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / Т.А. Сырицын // М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.: ил.

ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ЦИАНАКРИЛАТНЫХ АДГЕЗИВОВ

Храмов Никита Александрович
ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет» г. Казань, ул. Карла Маркса, 68. belomorion@gmail.com

Ключников Олег Романович
ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет» г. Казань, ул. Карла Маркса, 68. olegknitu@yandex.ru
ООО «Олепластика», г. Казань, ул. Маршалла Чуйкова 18, оф. 44.

Аннотация: в работе исследован ряд цианакрилатных клеев. Определена прочность и термостойкость клеевых соединений при склеивании разных типов подложек, долговечность этилцианакрилатного клеевого соединения. Выбраны оптимальные типы цианакрилатных клеев для различных типов применений.

Abstract: Cyanoacrylate adhesives have been studied in this work. The strength and heat resistance of adhesive joints gluing different types of substrates, the durability of ethyl cyanoacrylate adhesive joints are determined. Selected optimal types of cyanoacrylate adhesives for various types of applications.

Ключевые слова: цианакрилат, клей, адгезив, термостойкость.

Цианакрилатные адгезивы нашли применение как клея с быстрым схватыванием и высокой адгезионной прочностью [1]. Однако, эти клеевые составы обладают рядом недостатков, такими как низкая термостойкость, при температуре эксплуатации не более +80 ÷ +100 °С, и долговечность клеевого соединения – ограниченный срок эксплуатации [2, 3].

В работе использовались в основном клея на основе этилцианакрилата (ЭЦА) следующих промышленных марок: ТК-200, ЭЦА-РТ производства НИИ «Полимеры» г. Дзержинск, Alteco 110, Cosmofen CA-12, Сила-505, Loctite 401. А также цианакрилатные клея на основе метилцианакрилата (МСА), аллилцианакрилата (АСА) и метоксиэтилцианакрилата (МЕСА) производства Afinitica. А в качестве склеиваемых подложек использовались: алюминий марки АД31, сталь Ст.3, резины 7-В-14 и 7-ИРП-1346.

Наиболее широкодоступный клей на основе ЭЦА был исследован на адгезионную прочность при склеивании стальных, алюминиевых и резиновых поверхностей. Образцы были испытаны по стандартным методикам [4-6] при комнатных условиях после выдержки при +23 °С в течение 24 ч., +100 °С и +130 °С в течение 3 часов. Наблюдается снижение прочности клеевого соединения на 50÷60 % после выдержки при +100 °С, и на 70÷90 % после выдержки при +130 °С. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Адгезионная прочность при отрыве склеенных ЭЦА образцов

Образцы	Адгезионная прочность при отрыве σ, МПа		
	+23 °С, 24 ч.	+100 °С, 3 ч.	+130 °С, 3 ч.
Сталь-сталь	21,2	7,8	6,1
Алюминий-алюминий	18,0	6,8	5,2
Резина 7-В-14 – сталь	5,4	3,0	0,6
Резина 7-В-14 – алюминий	4,3	2,6	0,5
Резина 7-ИРП-1346 – сталь	4,7	1,2	0
7-ИРП-1346 – алюминий	4,1	1,1	0

Характер снижения прочности на отрыв клеевого соединения ЭЦА адгезива СИЛА-505 при склеивании алюминиевых грибков от времени выдержки при +130 °С представлен на графике на рис. 1. Снижение происходит резко в течение первых двух часов, с 18,0 МПа до 5,5 МПа, после чего снижается плавно и выходит на плато, около 4,0 МПа.

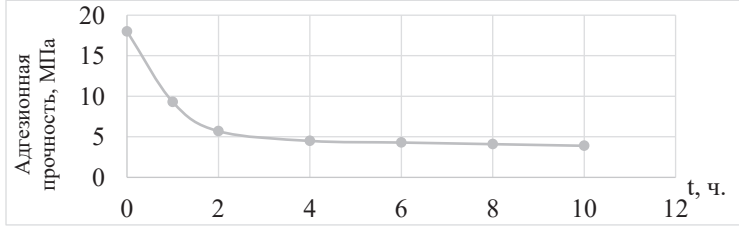


Рисунок 1. Влияние времени выдержки при 130 оС на прочность клеевого соединения ЭЦА

Характер снижения прочности на сдвиг клеевого соединения ЭЦА адгезива СИЛА-505 при склеивании алюминиевых пластин от времени выдержки при комнатной температуре представлен на графике на рис. 2. Снижение происходит резко в течение первых четырёх месяцев, с 11,8 МПа до 5,7 МПа, после чего снижается плавно и выходит на плато, около 5,5 МПа.

Рисунок 2. Влияние времени выдержки при +23 оС на прочность клеевого соединения ЭЦА

Сравнение клеев на основе различных цианакрилатов представлено в табл 2. Наилучший результат после ускоренного термостарения при +130 °С в течение 3 часов показывает МЕСА, не смотря на начальные характеристики, которые уступают остальным клеям. Клей на основе МСА показывает наивысшую начальную прочность склеивания, однако, сильно теряет после термирования, показывая наихудший результат. Клей на основе АСА имеет высокую начальную адгезионную прочность, а также на сдвиг после термирования.

Таблица 2 – Адгезионная прочность при отрыве и сдвиге цианакрилатных адгезивов при склеивании алюминия

Адгезив	Адгезионная прочность $\sigma_{адг}$, МПа			
	+23°С		+130 °С, 3 ч.	
	отрыв	сдвиг	отрыв	сдвиг
МСА	27,0	12,0	5,2	2,6
ЕСА	17,7	12,5	5,7	3,7
МЕСА	9	8,7	14,5	9,4
АСА	24,3	11,4	10	5,2

На диаграмме на рис. 3 представлено полное сравнение начальной прочности и прочности после термирования на отрыв ряда различных марок ЭЦА адгезивов и других цианакрилатных клеев при склеивании алюминиевых грибков.

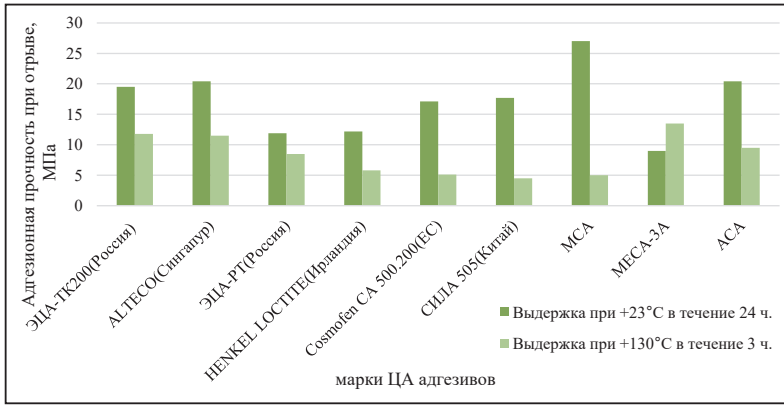


Рисунок 3. Сравнение различных марок цианакрилатных адгезивов

Из полученных в ходе работы результатов можно сделать следующие выводы:

- Наиболее универсальными являются клея ТК-200(ЭЦА), Alteco(ЭЦА), АСА. Эти клея могут найти применение в условиях, требующих высокую начальную прочность и стойкость к повышенным температурам;

- наиболее термостойкий клей МЕСА может применятся в условиях, не требующих высокой начальной прочности клеевого соединения, но требующих высокой стойкости к повышенным температурам;
- Наиболее прочный клей на основе МСА может применяться там, где температура эксплуатации не достигает высоких значений.

Список источников

1. Ключников О. Р. Исследование адгезивов для ремонта шипов шин/ О. Р. Ключников, Н. А. Храмов, Х. Й. Истамов // Актуальные проблемы науки о полимерах – 2018. Сборник трудов Всероссийской научной конференции, посвящённой 60-летнему юбилею кафедры Технологии пластических масс. Ответственный редактор О.Ю. Емелина. 2018. С. 50.

2. Аронович Д. А. Исследование свойств цианакрилатного клея при склеивании алюминия и других субстратов/ Д. А. Аронович, О. Н. Кленович, З. С. Хамидулова, С. В. Балашов, Г. Р. Гараева, А. И. Вялов // Клеи. Герметики. Технологии. 2019. №4. С. 2-8.

3. Drain K. F. The Effect of Moisture on the Strength of Steel-Steel Cyanoacrylate Adhesive Bonds / K. F. Drain, J. Guthrie, C. L. Leung, F. R. Martin & M. S. Otterburn // The Journal of Adhesion. 1984 17:1, p. 71-81.

4. ГОСТ 14760-69. Клеевые соединения металлов. Метод определения прочности при отрыве.

5. ГОСТ 209-75. Резина и клей. Методы определения прочности связи резины с металлом при отрыве.

6. ГОСТ 14759-69. Клеевые соединения металлов. Метод определения прочности при сдвиге.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ (ОБЗОР)

Хузаханов Рафаиль Мухаметсултанович
Казанский национальный исследовательский технологический университет
Республика Татарстан, Россия, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Галимов Энгель Рафикович
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева
Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса,10
E-mail: ERGalimov@kai.ru

Аннотация. Проведен обзор современного состояния и перспектив развития технологии нанесения полимерных порошковых покрытий. Рассмотрены особенности порошковой технологии и применяемых материалов.

Annotation. A review of the current state and prospects for the development of technology for applying polymer powder coatings has been carried out. The features of powder technology and materials used are considered.

Ключевые слова: технология, полимерные порошковые покрытия, защита изделий.

В настоящее время для защиты изделий, конструкций от коррозионных и других видов повреждений используются преимущественно покрытия на основе жидких лакокрасочных материалов, которые наносятся, как правило, в несколько слоев для предохранения поверхностного слоя материала от проникновения влаги, газов и многих других агрессивных сред в процессе хранения и эксплуатации изделий [1-3].

Следует подчеркнуть, что в последние десятилетия на мировом рынке наблюдается тенденция перехода к использованию, так называемых «сухих красок», которые представляют собой мелкодисперсные системы в виде полимерных порошковых композиций (ППК), обладающие однородностью, физической и химической стабильностью в процессе хранения и эксплуатации. В состав ППК входят различные функциональные компоненты в определенных сочетаниях и соотношениях, обеспечивающие необходимые технологические и эксплуатационные свойства полимерных покрытий как в процессе их нанесения, так и при эксплуатации [4-6].

Порошковые композиции получают смешением исходных компонентов в расплаве с последующим измельчением до заданной степени дисперсности. Они различаются составом, свойствами, цветом, степенью блеска, типом образуемых поверхностей, режимами нанесения, функциональным назначением [1-4]. В зависимости от природы пленкообразующего компонента ППК подразделяют на термореактивные и термопластичные. Существует несколько стандартов кодировки цветов и оттенков порошковых композиций, среди которых наиболее распространенным является стандарт RAL, разработанный в Германии. В соответствии с указанным стандартом каждый оттенок любого цвета имеет свой цифровой индекс (рисунок).

Классификация порошковых композиций проводится по многим признакам. По типу образуемых поверхностей покрытия подразделяют на гладкие, шагрень, муар и др. По режимам пленкообразования различают композиции, отверждаемые нагреванием (обычные, ускоренные), а также отверждаемые при воздействии излучений (ультрафиолетовое, инфракрасное). По степени блеска (в %) подразделяют на глянцевые (до 70), полуглянцевые (50-70), полуматовые (25-50), матовые (до 25). По назначению различают композиции для наружных и внутренних работ, защиты трубопроводов, получения химически стойких, электроизоляционных, световозвращающих и многих других видов покрытий.

В зависимости от типа пленкообразующего компонента порошковые композиции подразделяют на эпоксидные, полиэфирные, эпоксиполиэфирные (гибридные), полиуретановые, полиакриловые, поливинилхлоридные, полиэтиленовые, полиамидные и др. Выпускается чрезвычайно широкий ассортимент ППК, каждый из которых имеет свои преимущества, недостатки и специфические области преимущественного применения практически во всех отраслях промышленности. В настоящее время на долю технологий получения

порошковых покрытий различного функционального назначения приходится до 20-25 % от всего объема окрашиваемых изделий. Основными потребителями порошковых покрытий являются машиностроение, энергетика, химическая и нефтегазовая промышленность, а также многие другие отрасли производства.

Особенностями порошковой технологии являются: высокий коэффициент использования ППК (до 98 %), резкое сокращение технологического цикла нанесения и формирования покрытий, что позволяет повысить производительность труда в десятки раз; получение однослойных покрытий различной цветовой гаммы с повышенными физико-механическими, защитно-декоративными, адгезионными и другими специальными свойствами; широкий диапазон толщины покрытий (от 40 до 500 мкм); резкое сокращение материальных и энергетических затрат (на 20-40 %), а также производственных площадей (в 2-3 раза); отсутствие в составе порошковых композиций растворителей, приводящее к улучшению экологической ситуации и снижению пожаро- и взрывоопасности окрасочных производств; длительное хранение, удобная транспортировка.

Композиции на основе термореактивных полимерных связующих (пленкообразователей) образуют необратимые покрытия в результате протекания реакции отверждения. По объему производства и применения термореактивные композиции значительно превосходят термопластичные, на их долю приходится до 80 % общего объема производства порошковых композиций. Наиболее широкое применение в машиностроении и других отраслях промышленности получили эпоксидные, полиэфирные, полиакрилатные, а также гибридные эпоксиполиэфирные, полиэфируретановые, полиакрилатуретановые, полиакрилатэпоксидные композиции и др.

Для улучшения технологических, эксплуатационных и специальных свойств покрытий в их состав на стадии производства вводятся различные модифицирующие целевые добавки в виде наполнителей, стабилизаторов, пластификаторов, отвердителей и др. В качестве наполнителей в производстве порошковых композиций применяются неорганические и органические соединения, а также смеси полимеров.

Свойства наполненных порошковых композиций определяются способом смешивания модифицирующих компонентов, их природой, степенью дисперсности, количественным соотношением и многими другими факторами. В промышленных масштабах применяются обычно два способа: сухое смешивание компонентов и смешивание компонентов в расплаве с последующим измельчением до получения частиц размерами 100-150 мкм.

Среди полимерных порошковых покрытий, применяемых в машиностроении, в том числе в автомобилестроении, заметное место занимают так называемые «металлики», получаемые путем введения в состав композиций специальных пигментов. В качестве декоративных пигментов применяются два типа добавок: листующиеся (всплывающие), и нелистующиеся (невсплывающие). При использовании в составе ППК первого типа пигментов обеспечивается высокое поверхностное натяжение полимерной пленки и

вследствие этого пигмент располагается преимущественно на поверхности покрытия (плоские частицы ориентированы параллельно окрашиваемой подложке). Данное обстоятельство позволяет обеспечить равномерный серебристый блеск и эффект хромирования изделия. В качестве невсплывающих пигментов применяются алюминиевые пигменты, пластиковые блестящие пластинки, пигменты на основе слюды, голографические пигменты и пигменты с «флип-флоп» эффектом. При использовании невсплывающих пигментов поверхностное натяжение покрытия незначительно и пигмент в процессе формирования покрытия равномерно распределяется в нем.

В России основными производителями порошковых композиций (красок) являются: Гатчинский завод порошковых красок (ГЗПК, Ленинградская область), ООО Ярославский завод порошковых красок, ОАО АкзоНобель Лакокраска, ЗМ Россия (Московская область), ООО Текнос-Охтэк, Эколон (Санкт-Петербург), ООО Уралинтех (Уфа). Среди зарубежных производителей наиболее известными являются фирмы Tiger, Teknos, Jotun, Akzo Nobile, Pulver, Inver и др.

Технологический процесс нанесения порошковых покрытий включает несколько основных операций: подготовка поверхности, грунтовка, напыление порошковой композиции, формирование (пленкообразование), контроль качества. Выбор технологии нанесения покрытий определяется с учетом многих факторов: типа порошковой композиции, функционального назначения и условий эксплуатации изделий, производственной программы.

Существуют следующие способы нанесения порошковых композиций: напыление насыпанием, напыление в псевдоожиженном слое порошка, струйные методы напыления порошка, напыление в электростатическом поле. Среди перечисленных способов наиболее широкое применение нашли способы нанесения покрытий в электростатическом поле, которые характеризуются высоким коэффициентом использования материала, возможностью получения покрытий на изделиях сложной конфигурации, отсутствием предварительного подогрева изделия. Основным требованием, предъявляемым к технологическому процессу, является равномерность осаждения порошковых частиц на окрашиваемой поверхности для получения высококачественных покрытий.

При нанесении композиций зарядкой коронным разрядом к зарядным электродам распылительного устройства подается высокое напряжение, между распылителем и заземленной поверхностью создается сильное электрическое поле. Как правило, в системах зарядки коронным разрядом используется отрицательная полярность зарядного электрода. Напряженность электрического поля достигает максимального значения у конца зарядного электрода и, при достижении некоторого уровня, на нем происходит коронный разряд. В результате этого между распылителем и изделием создается облако заряженных частиц порошка и свободных ионов. Однако зарядка коронным разрядом имеет недостатки, которые обусловлены сильным электрическим полем между

распылителем и деталью, что может затруднить нанесение покрытия на острые кромки и глубокие выемки.

Соответственно, перед нанесением покрытия, исходя из конструкционных и материаловедческих особенностей изделия, условий его эксплуатации, требований, предъявляемым к покрытию, а также имеющихся технических возможностей необходим выбор типа порошковой композиции, способа подготовки обрабатываемой поверхности, метода нанесения порошка, формирования покрытия [5-10].

Выбор способа и режимов поверхностной обработки изделий является одним из определяющих факторов для получения качественных покрытий с высокими эксплуатационными свойствами. Порошковые покрытия наносятся в один слой после завершения всех механических, термических операций по обработке изделий. При проектировании изделий необходимо по возможности предусмотреть отсутствие острых граней и кромок.

Для очистки поверхности от ржавчины, окалины, старых покрытий и других видов загрязнений используют механические, химические и комбинированные способы. Из механических способов наиболее распространение получили струйная абразивная обработка с применением дробеметных, дробеструйных и пескоструйных аппаратов. После механической очистки, удаления ржавчины и окалины поверхность изделия обезжиривают и подвергают специальным видам обработки: фосфатированию (черные металлы) и оксидированию (цветные, в том числе, алюминиевые сплавы). Обезжиривание поверхности изделий осуществляется органическими растворителями, щелочными растворами, моющими составами, а также их смесями. При нанесении покрытий эффективно предварительное грунтование поверхности, которое позволяет значительно уменьшить внутренние напряжения в покрытиях и повысить стойкость к действию нагрузок.

Существуют различные способы получения покрытий на основе ППК. Однако наиболее распространенными являются способы, основанные на использовании заряженной порошковой композиции, распыляемой специальными пистолетами-распылителями и удерживаемой на поверхности изделия силой электростатического притяжения. Процесс осуществляется в камерах напыления, которые оснащены системами вентиляции воздуха для предотвращения попадания ППК в помещения и совмещенными с ними системами рекуперации ППК для ее повторного использования.

Пистолеты-распылители с питателями составляют агрегат нанесения ППК, обеспечивающий получение воздушно-порошковой смеси, образование факела и приобретение частицами электрического заряда. Вылетающие из пистолета заряженные частицы образует факел определенной формы в зависимости от применяемого сопла (насадки) пистолета, направляются под воздействием струи воздуха в факеле и силы электрического притяжения к заземленной окрашиваемой детали, оседают на ее поверхности. Подача порошка к устройству распыления равномерным и однородным потоком осуществляется с помощью эжектора. Регулируемыми параметрами распыления являются: форма и размер факела, скорость перемещения

пистолета-распылителя, распределение частиц порошка.

Конструкции камер напыления и систем рекуперации многообразны. В последнее время появилась тенденция изготавливать стены камер из специальных токопроводящих диэлектрических материалов, которые позволяют обеспечить одинаковый заряд в камере с зарядом порошковой композиции.

Для окончательного формирования покрытий используются камеры полимеризации различного типа: тупиковые и проходные; с электрообогревом, обогревом топочными газами; горизонтальные, вертикальные; одно- и многоходовые. Камеры полимеризации отличаются габаритными размерами, производительностью, потребляемой мощностью.

Конструкции транспортных систем весьма разнообразны и зависят от габаритных размеров, производственной программы (единичное, массовое, серийное производство), режима нанесения (ручное, полуавтоматическое, автоматическое) и др. факторов. В общем случае они содержат несущие системы с направляющими, по которым перемещаются подвески, с подвешенными на них изделиями.

Список литературы

1. Яковлев А.Д., Машляковский Л.Н. Порошковые краски и покрытия. – СПб.: Химиздат, 2000. – 63 с.

2. Порошковые краски. Технология покрытий. Пер. с англ. под ред. А.Д. Яковлева. – СПб.: Химиздат, 2001. – 253 с.

3. Гоц В.Л., Ларин А.В. Современное окрасочное оборудование. Методы распыления: 2-е изд., дораб. и доп. – М.: Пэйнт-Медиа, 2005. – 175 с.

4. Евтюков Н.З., Яковлев А.Д., Ваганов Г.В. Оборудование производств лакокрасочных материалов и покрытий. – СПб.: СПбГТУ, 2010. – 83 с.

5. Галимов Э.Р. Высокоэффективные технологии и оборудование для получения полимерных порошковых покрытий. / Э.Р. Галимов, Э.Е. Тукбаев, В.Л. Федяев, Ю.А. Пряхин, Н.Я. Галимова, Р.Ф. Шарафутдинов, И.Р. Гимранов, М.С. Тахавиев, Л.Р. Фазлыев, – Казань: 2016. – 252 с.

6. Галимов Э.Р. Полимерные порошковые покрытия специального назначения. / Э.Р. Галимов, Э.В. Зверев, Э.Е. Тукбаев, Н.Я. Галимова, С.В. Курынцев. – Казань; Офсет Сервис, 2012. – 164 с.

7. Галимова Н.Я. Разработка технологии и оборудования для нанесения полимерных порошковых покрытий специального назначения. / Н.Я. Галимова, Э.Е. Тукбаев. – Научные ведомости СПбГПУ, №4-2(89), 2009. – С. 38-44.

8. Галимова Н.Я. Технология и оборудование для получения комбинированных покрытий на изделиях сложной конфигурации. / Н.Я. Галимова, Р.Ф. Шарафутдинов, Э.Е. Тукбаев и др. // Материалы международной конференции «International Scientific and Methodological Conference». – Mariupol; 2016. – С. 74-77.

9. Галимова Н.Я. Разработка комбинированной технологии и оборудования для нанесения полимерных порошковых покрытий. / Н.Я. Галимова, В.Л. Федяев, Э.Е. Тукбаев и др. // Материалы международной

конференции «International Scientific and Methodological Conference». – Mariupol: 2016. – С. 71-73.

10. Галимова Н.Я. Технология и оборудование для получения комбинированных покрытий на изделиях сложной конфигурации. / Н.Я. Галимова, Р.Ф. Шарафутдинов, Э.Е. Тукбаев, М.С. Тахавиев, Э.Р. Галимов и др. // Материалы международной конференции «International Scientific and Methodological Conference». – Mariupol: 2016. – С. 74-77.

ПРИМЕНЕНИЕ В АВИАСТРОЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МАТРИЦЕЙ ХОЛОДНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ

П.А. Черноглазов, А.В Черноглазова
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева,
Казань, 420111, Карла Маркса 10

Аннотация. В работе изучены особенности связующих холодного и горячего отверждения, рассмотрены технологии изготовления композиционных материалов с различной матрицей и перспективы применения в авиастроении композитов с матрицей холодного отверждения.

Abstract. In this work, the features of cold and hot curing binders are studied, technologies for the manufacture of composite materials with different matrices and the prospects for using composites with a cold curing matrix in aircraft construction are considered.

Ключевые слова: композиционные материалы, связующие, холодное отверждение, горячее отверждение, формование

Композиционные материалы широко применяются в различных областях промышленности. В автомобилестроении и в судостроении широкое применение получили композиционные материалы на основе связующих холодного отверждения. В авиационной и космической технике наиболее широко применяются связующие горячего отверждения, т.к. они имеют более высокие физико-механические характеристики [1]. Целью работы является, исследование физико-механических характеристик углепластиков, изготовленных трансферным методом формования с использованием связующих горячего и холодного отверждения, а также определение рациональной области их применения.

Стоит обратить внимание на то, что связующие горячего отверждения при таких преимуществах, как высокая рабочая температура, высокая прочность и жесткость, возможность изготовления препрега, имеют ряд недостатков: высокие энергозатраты на производство, усадочные напряжения приводящие к короблению, высокая стоимость связующего, сложность прогнозирования работы при низких температурах, а также высокие требования

к формообразующей оснастке, ее теплостойкости, равномерности нагрева и учету коэффициента теплового расширения в процессе ее проектирования.

Связующие холодного отверждения имеют значительные преимущества в технологии изготовления- дешевизна, низкую энергоемкость, в изделиях отсутствуют технологические напряжения в виде коробления, микрорастрескивания. Формование изделий из них не требует дорогой и сложной, с конструкторской точки зрения, теплостойкой оснастки, а также сложного и дорогого технологического оборудования. К недостаткам относятся невысокие механические свойства, низкая температура эксплуатации, невозможность создания препрегов.

Для проведения испытаний наряду со связующими марок Т26 и SR8100, для сравнительного анализа был выбран препрег марки В180. В качестве армирующего наполнителя использовалась ткань с волокном UMT42S. В качестве ее аналога для формования методом вакуумной инфузии была выбрана ткань со схожими характеристиками на основе волокна UMT40[2].

В качестве метода формования использовались инфузионный и препреговый методы формования, как наиболее часто используемые в авиастроении.

Для проведения испытаний были изготовлены образцы из препрега В180, Т26, SR8100 с отвердителем SD8824 и ЭД20 с отвердителем ПЭПА. Испытания для определения прочности при сжатии проводились по ГОСТ 56812-2015/ ASTMD6641 на установке Instron 5882 с использованием экстензометра для измерения модуля упругости. Испытания на межслоевую прочность методом короткой балки проводились на установке Instron 5882 по ГОСТ Р 57745-2017/ASTMD2344.

Результаты средних значений механических характеристик образцов представлены в табл.1.

Таблица 1

Результаты определения физико-механических характеристик образцов

п/п	Марки связующего	Предел прочности при сжатии $\sigma_в^-$, МПа	Модуль упругости при сжатии E^-, МПа	Межслоевая прочность τ_{23}, МПА
1.	В180	647,436МПа	67986,966МПа	56,660МПа
2.	Т-26	597,927 МПа	57623,695МПа	58,852МПа
3.	ЭД-20	367,117 МПа	40176,527 МПа	31,117МПа
4.	Sicomin	437,770 МПа	62893,438 МПа	43,434МПа

Из таблицы видно, что углепластик, полученный инфузионным методом со смолой Т26 имеет прочность при сжатии на 8% меньшую, чем углепластик изготовленный из препрега В180. Его модуль упругости на 15% ниже, однако

межслоевая прочность выше на 5%. А характеристики связующего Т26 на 26-27% выше, чем у связующего SR8100.

Испытания на теплостойкость осуществлялись методом динамического механического анализа по ГОСТ Р 57739-2017 «Определение температуры стеклования методом динамического механического анализа». Результаты испытаний показали (рис. 1), что использование связующего SR8100 обосновано, для изделий температура эксплуатации которых не превышает 70ºС, поэтому для сравнения экономической составляющей технологии изготовления типовой детали был выбран обтекатель редуктора рулевого винта вертолета Ансат, температура эксплуатации которого составляет -50/+50ºС.

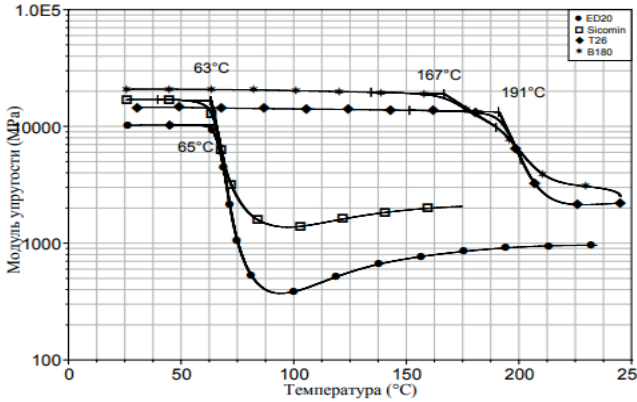


Рис. 1. Определение температуры стеклования для связующих горячего и холодного отверждения

Возможность снижения себестоимости изделий с применением связующих «холодного» отверждения в сравнении со связующими «горячего» отверждения рассматривалась за счет снижения стоимости формообразующей оснастки до 50%, так как не требуются теплостойкие материалы для ее изготовления; энергоемкости процесса формования до 80%, из-за отсутствия необходимости в печном формовании заготовки; стоимости на 60%, так как связующие холодного отверждения значительно дешевле; затрат на амортизацию оборудования до 60%, из-за отсутствия дорогостоящего оборудования; экономия до 50% на расходные материалы, в связи с отсутствием теплостойких материалов.

Проведенное сравнение показало, что использование связующих холодного отверждения обосновано без снижения весовой эффективности, если рабочая температура эксплуатации не превышает 65°С, а деталь является неответственной и слабонагруженной. Также при использовании связующих холодного отверждения в процессе изготовления обтекателя редуктора рулевого винта вертолета «Ансат» может быть достигнута экономия до 60%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г.В., Асташкин В.П., Самохвалов В.В. Технология изготовления авиационных конструкций из композиционных полимерных материалов.: Учебн. пособие. – Воронеж: ВПП, 1983. 87 с.

2. Композиционные материалы.: справочник / Васильев В.В. и др.; Под общ. Ред. Васильева В.В., Тарнопольского Ю.М.. – М.: Машиностроение, 1990. 512 с.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СПЛАВА В-1469 НА МИКРОТВЕРДОСТЬ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ЛАЗЕРНОЙ СВАРКОЙ

Шабалин Е.А.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

Shabalin E.A.
Kazan National Research Technical University named after A N Tupolev-KAI

Аннотация: Рассмотрено влияние различных режимов термической обработки сварных элементов, полученных лазерной сваркой, из алюминий-литиевого сплава В-1469 на значения микротвердости в различных зонах сварного соединения. Показана эффективность использования дополнительной технологической операции отжига на значения микротвердости в зонах сварного соединения.

Abstract: The influence of different modes of heat treatment of welded elements made of aluminum-lithium alloy B-1469 by laser welding on the microhardness values in different zones of the welded joint has been considered. The efficiency of using an additional technological operation of annealing on the values of microhardness in the zones of the welded joint is shown.

Ключевые слова: алюминий-литиевые сплавы, лазерная сварка, термическая обработка, микротвердость.

Key words: lithium-aluminum alloys, laser welding, heat treatment, microhardness.

На данный момент времени по праву можно считать установившемся обстоятельством, что для повышения прочности сварных соединений современных алюминиево-литиевых сплавов требуется проведение соответствующей дополнительной механической и термической обработки сварного шва [1]. В работе [2] было исследовано влияние термической обработки на механические свойства и коррозионную стойкость неподвижных соединений сплава В-1469, полученных методом СТП. Было показано, что максимальный уровень прочностных характеристик сварного соединения

достигается после полной термической обработки (закалка + искусственное старение) после сварки. Аналогичный вывод был сделан в работе [3], посвященной исследованию высокопрочных алюминиево-литиевых сплавов В-1461 и В-1469. Химический состав сплава В-1469 приведен в таблице 1.

Табл. 1 - Химический состав сплава В-1469

Стандарт	Mn	Si	Fe	Cu	Al	Zr	Mg	Ag	Sc	Li
ОСТ 1 90048-90	0.003-0.5	≤0.1	≤0.12	3.2-4.5	Остаток	0.04-0.2	0.1-0.5	0.15-0.6	0.04-0.15	1-1.5

Подробный разбор результатов лазерной сварки сплавов системы Al-Cu-Li продемонстрировал, что прочность сварных соединений составляет 0,6-0,9 от прочности основного сплава в зависимости от состава присадочного материала, варианта последующей термической обработки и технологии подготовки поверхности [4].

Однако наблюдается противоречивая ситуация. С одной стороны, лазерный сварной шов имеет низкую прочность и нуждается в термической обработке для повышения механических характеристик. С обратной стороны, термообработка сварного шва приводит к снижению прочности сплава вне зоны сварки. Термообработка сварного шва невозможна без воздействия на окружающий сплав за его пределами, поскольку всегда будет существовать зона термического влияния. Для нахождения путей решения этого вопроса мы исследовали возможность повышения прочностных характеристик основного сплава после термической обработки путем введения дополнительной операции - предварительного смягчающего отжига.

Для проведения исследования были проведены работы по сварке образца сварного соединения листа толщиной 1 мм из материала В-1469 встык. Для сварки был использован роботизированный сварочный комплекс KUKA KR 120 R 2700 extra HA, оснащенный волоконным лазером LS-20 of "IPG – Photonics", со сварочной головкой LK-690, KUGLER GmbH. Длина волны волоконного лазера составляет 1070 нм, фокусное расстояние сварочной головки 450 мм. Мощность лазерного излучения 3 кВт, скорость сварки 4 м/мин, заглубление фокуса 3 мм. Для защиты сварочной ванны использовался инертный газ аргон чистотой 99.99%, расход газа 40 л/мин.

Для исследования влияния термической обработки на изменение микротвердости в различных зонах сварного соединения, термообработка проводилась по 3 режимам (табл. 2).

Табл. 2 - Режимы термической обработки образцов сплава В-1469

№	Обр.1	Обр.2	Обр.3	Обр.4
Отжиг	-	при температуре 360°С в течение трех часов с охлаждением в печи	-	при температуре 360°С в течение трех часов с охлаждением в печи
Закалка	-	при температуре 530°С в течение тридцати минут с охлаждением в воде		
Старение	-	при температуре 170°С в течение двенадцати часов с охлаждением на воздухе		при температуре 170°С в течение восьми часов с охлаждением на воздухе

Для образцов №2 и №4 применялась дополнительная процедура смягчающего отжига. Так же образец №4 был состарен на протяжении 8 часов. Образец №1 подвергся исследованиям без проведения ТО.

Измерение значений микротвердости проводили для всех 4 образцов. Значения снимались во всех областях сварного соединения, а именно: в основном металле, зоне термического влияния, по линии сплавления и металле шва. Измерение проводилось при нагрузке в 200 грамм. Значения микротвердости всех образцов приведены на рис.1.

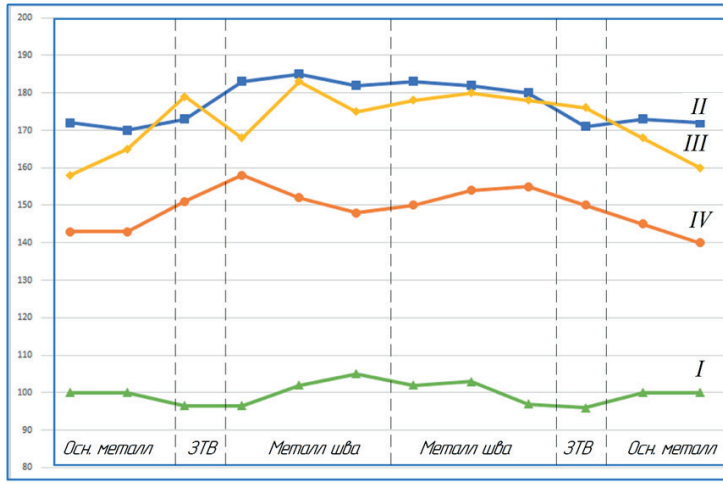


Рис. 1 - Сводный график микротвердости.

Наименьшими значениями микротвердости во всех зонах сварного соединения обладает образец без проведения термической обработки (96-103).

Образец, обработанный по режиму 3 имеет значения от 158 до 183. Наличие дополнительной термической обработки в виде отжига незначительно, но повышает значения микротвердости (170-185). Данное явление может быть связано с устранением ликвации легирующих элементов, выравнивании концентрации внутри зерен твёрдого раствора и растворение неравновесных избыточных фаз кристаллизационного происхождения [5].

Образец, состаренный на 8 часов, значительно уступает по твердости обоим образцам, состаренным на 12 часов (140-154), но тверже образца без термической обработки. Это связано с неполным распадом твердого раствора с выделением фазы (отличной от матрицы химическим составом и структурой).

Таким образом, применение дополнительной ТО в виде смягчающего отжига приводит к незначительному, но повышению значений микротвердости зон сварного соединения. Однако, при взятии в расчет того, что под действием различных режимов термической обработки произошли изменения физико-механических свойств сплава, можно сделать вывод, что термическая обработка повлияла на фазовый состав сплава и, в зависимости от разных её режимов, привела к образованию и перераспределению различных интерметаллидных фаз сплава. Именно различиями в механических свойствах этих фаз и определяется изменение характеристик сплава.

Библиография

1. Каблов Е.Н., Лукин В.И., Жегина И.П., Иода Е.Н., Лоскутов В.М. Особенности и перспективы сварки алюминийлитиевых сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2002. №4. С. 3-12.

2. Лукин В.И., Иода Е.Н., Пантелеев М.Д., Скупов А.А. Влияние термической обработки на характеристики сварных соедине-ний высокопрочных алюминийлитиевых сплавов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. №4. Ст. 06. URL: http://viam-works.ru. DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-4-6-6.

3. Шиганов И.Н., Холопов А.А., Трушников А.В., Иода Е.Н., Пантелеев М.Д., Скупов А.А. Лазерная сварка высокопрочных алюминий-литиевых сплавов с присадочной проволокой // Сварочное производство. 2016. №6. С. 44–50.

4. Клочкова Ю.Ю., Клочков Г.Г., Романенко В.А., Попов В.И. Структура и свойства листов из высокопрочного алюминий-литиевого сплава В-1469 // Авиационные материалы и технологии. 2015. №4 (37). С. 3–8. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-4-3-8.

5. V.S. Zolotorevsky, N.A. Belov, M. V. Glazoff, Casting Aluminum Alloys, 2015

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ПЕН НА ОСНОВЕ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ И МИКРОСФЕР

Шарафутдинова Эльмира Энгелевна, Галимова Назиря Яхиевна,
Галимов Энгель Рафикович, Шарафутдинов Руслан Фаритович,
Юрасов Юрий Сергеевич

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева
Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса,10
E-mail: ERGalimov@kai.ru

Аннотация. Разработана технология получения синтактических углеродных пен на основе фенолоформальдегидных связующих и микросфер. Исследовано влияние состава и режимных технологических параметров на изменение физико-механических свойств пен.

Annotation. A technology has been developed for obtaining syntactic carbon foams based on phenol-formaldehyde binders and microspheres. The influence of the composition and the regime of technological changes on the change in the physico-mechanical properties of foams has been studied.

Ключевые слова: углеродные пены, фенолоформальдегидная смола, микросферы, технология получения, свойства

Среди большого разнообразия углеродных материалов различной структуры особое место по эффективности применения во многих отраслях промышленности занимают углеродные пены. Подобные материалы пенистой структуры получаются, как правило, с использованием полимерных связующих и разнообразных наполнителей при определенных их сочетаниях и соотношениях путем ступенчатой термической обработки. В последние десятилетия большинство научных исследований направлено на разработку технологий получения, так называемых, синтактических углеродных пен (СУП), которые представляют собой пенистые материалы упорядоченной структуры. Особенностью СУП является возможность придания им ряда специальных свойств: высокие удельные физико-механические характеристики, регулируемый коэффициент теплопроводности и электропроводности, высокая тепло- и термостойкость, устойчивость к действию агрессивных сред и др. [1-4].

Технология получения СУП включала следующие основные операции: смешение исходных компонентов, прессование смеси, термическую обработку полученных заготовок, последующее пироуплотнение и завершающую механическую обработку образцов. Исследования физико-механических свойств СУП проводились на призматических образцах с размерами 10×10×20 мм.

В качестве связующего использовалась ФФС новолачного типа марки СФ-012А. Наполнителем служили полые микросферы на основе ФФС с толщиной стенки 1-2 мкм. Средний наружный диаметр микросфер по данным лазерной дифракции (Fritsch Analysette 22 Compact) составлял 34 мкм.

Содержание наполнителя варьировалось в пределах 33-85 масс. %. Смешивание компонентов проводилось жидкофазным способом в трехгорлом стеклянном реакторе с обратным холодильником. Наполнитель и связующее вещество помещались в реактор, добавлялся растворитель в виде ацетона из расчета 10 мл на 1 г смолы. Полученная смесь нагревалась при постоянном перемешивании до кипения, затем кипятилась с обратным холодильником в течение 90 мин. Из этого состава удалялся растворитель путем отгонки под вакуумом. Реакционную смесь порциями по 200-400 мл переносился в круглодонную колбу объемом 500-1000 мл и упаривалась на ротационном испарителе ИР-2М. Отгонка проводилась при остаточном давлении 36-39 кПа при температуре 40-45 °С. Полученный сыпучий продукт высушивался под вакуумом на ротационном испарителе при остаточном давлении 1,3 кПа и температуре 110-120 °С до получения гранулированного пресс-порошка с размером частиц примерно 10 мм. Затем пресс-порошок измельчался до размера менее 500 мкм и прессовался через 2-5 суток на гидравлическом прессе при комнатной температуре.

На рисунке 1 показана изменение плотности прессованных заготовок пен от давления прессования.

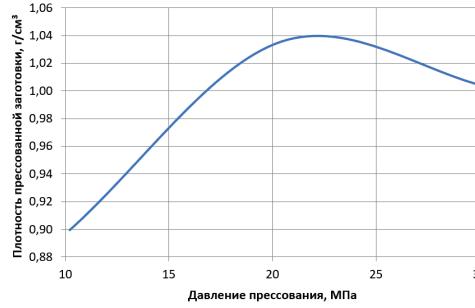


Рисунок 1 – Изменение плотности образцов от давления прессования (смесь 50 масс. % ФФС)

Видно, что максимум плотности заготовок проявляется при давлении прессования около 21 МПа. Дальнейшее повышение давления прессования приводит к растрескиванию образцов. С учетом сказанного, прессование образцов проводилось при давлении 20,5-21,0 МПа, скорости набора и сброса давления около 10 МПа/мин и выдержке при конечном давлении 3 мин. Далее проводилось отверждение при температуре 150 °С в течение 180 мин в вакуум-сушильном шкафу. Последующая карбонизация проводилась в лабораторной муфельной печи, при этом заготовки пен заворачивались в бумагу и помещались в стальной контейнер с графитовой засыпкой. Скорость подъема температуры составляла 2,5 градуса в минуту, выдержка при конечной температуре 900 °С - 180 мин. Карбонизованные заготовки пен подвергались пироуплотнению при температуре 1050 °С и давлении метана 1,1-1,4 кПа в печи пироуплотнения в несколько стадий.

Диаграмма изменения плотности образцов СУП в процессе переработки приведена на рисунке 2. Эти данные типичны для высокопористых образцов углеродных материалов: заготовка обладает высокой (около 1 г/см^3) кажущейся плотностью после прессования, в процессе отверждения происходит расширение заготовки и частичная потеря массы связующего, что сопровождается падением кажущейся плотности. При карбонизации потеря массы за счет выделения низкомолекулярных летучих продуктов при термодеструкции связующего доминирует над усадочными явлениями. Далее, в процессе пироуплотнения, происходит медленный прирост массы за счет осаждающегося пироуглерода.

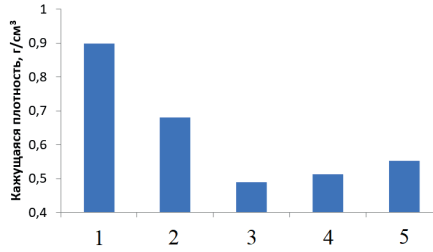


Рисунок 2 - Изменение кажущейся плотности исходных образцов в процессе переработки: 1 – прессование, 2 – термообработка при 150 °С, 3 – карбонизация при 900 °С, 4 – пироуплотнение при 1050 °С в течение 20 час, 5 – пироуплотнение при 1050 °С в течение 44 час

На рисунке 3 показана зависимость кажущейся плотности образцов после обжига и пироуплотнения от содержания ФФС в исходном пресс-порошке. Видно, что повышение содержания ФФС приводит к возрастанию плотности карбонизованного материала, причем данная зависимость носит линейный характер при больших изменениях концентрации ФСС. Отсюда следует, что плотность СУП можно регулировать в широких интервалах.

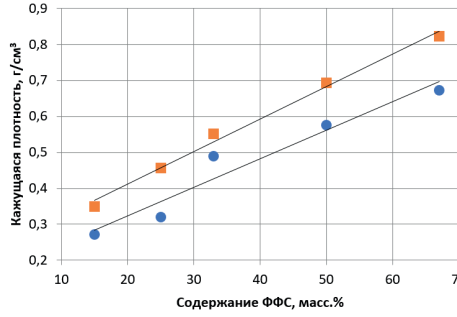
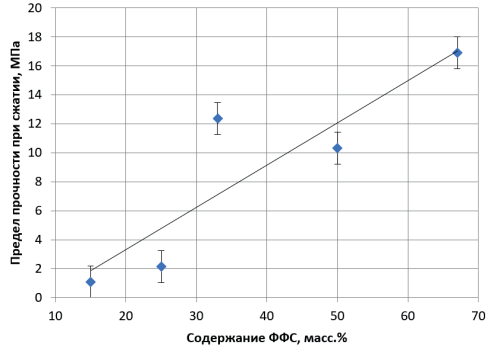
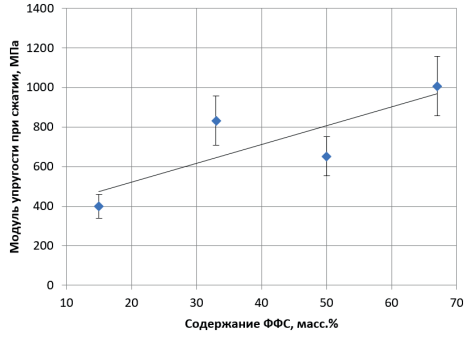


Рисунок 3 – Изменение кажущейся плотности образцов от содержания ФФС для карбонизованных (●) и пироуплотненных (■) материалов

На рис. 4 представлены зависимости изменения физико-механических свойств СУП от содержания ФФС в исходной смеси.



а)



б)

Рисунок 4 - Изменение предела прочности (а) и модуля упругости (б) при сжатии образцов от содержания ФФС

Видно, что пределы прочности при сжатии для СУП, содержащих более 33 масс. % ФФС стабильно находятся на уровне выше 10 МПа, модули упругости – свыше 500 МПа, приближенно линейно возрастая с ростом содержания ФФС в образце. Достигнутый уровень упруго-прочностных свойств позволяет сделать заключение о возможности применения полученных СУП в качестве конструкционных материалов.

Список литературы

1. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения / В.К. Тихомиров // – М.: Химия, – 1975. – С. 11-15.

2. Shutov F.A. Syntactic polymer foams / F.A. Shutov // Advances in Polymer Science. – 1986. – 73-74. – pp. 63–123.

3. Inagaki M. Review Carbon foam: Preparation and application / M. Inagaki, J. Qiu, Q. Guo. Carbon. – 2015. – Vol.87. – pp.128-152.

4. Anghelescu M.S. Integrated Engineering Thermal and Mechanical Analysis of Carbon Foam / M.S. Anghelescu // Ph.D. – 2009. – 122 pp.

ПРИНЦИПЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ПЕН С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Шарафутдинова Эльмира Энгелевна, Галимова Назиря Яхиевна,
Шарафутдинов Руслан Фаритович, Юсупов Ильнар Ирекович

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева
Республика Татарстан, Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса,10
E-mail: 89196919598@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены принципы реализации методов получения углеродных пен с регулируемыми теплофизическими свойствами. Показано, что для обеспечения технологичности получения пен, целесообразна разработка интегрированной технологии получения материалов и изделий в рамках единого набора технологических приемов при варьировании набора сырьевых материалов и их соотношений.

Annotation. The principles of implementation of methods for obtaining carbon foams with controlled thermophysical properties are considered. It is shown that in order to ensure the manufacturability of foam production, it is advisable to develop an integrated technology for the production of materials and products within a single set of technological methods by varying the set of raw materials and their ratios.

Ключевые слова: углеродные пены, теплофизические свойства, методы получения, технология.

Известно [1-4], что углеродные материалы обладают уникальными свойствами, вследствие чего широко применяются во многих отраслях современной техники. В настоящее время больший интерес представляют высокопористые углеродные пены. Когда материал матрицы пены состоит из углерода и распределенных в нем полых микросфер, имеют место синтактические углеродные пены (СУП). По сути, СУП являются гетерогенными системами, состоящими из углерода, материала оболочки микросфер, газовой среды, находящейся в полости микросфер, и газообразной или парообразной среды, либо жидкости, пропитывающей СУП. Отличительная особенность этих материалов состоит в том, что свойства СУП можно варьировать в весьма широком диапазоне за счет изменения пористости, обусловленной матрицей как таковой, соотношением между связующим углеродным материалом и микросферами, их размеров, материала оболочки (углерод, керамика, металл и т. д.), состава газовой среды. Углеродные материалы отличаются зависимостью теплофизических и других физико-

химических свойств от параметров структуры, что делает возможным при варьировании сырьевой базы и технологических приемов их переработки получать теплоизолирующие или теплопроводные материалы с широким диапазоном коэффициента теплопроводности - от менее 0,1 Вт/м·К (для теплоизолирующих) до 180 Вт/м·К (для теплопроводных). В соответствии со сказанным, установление закономерностей поведения теплофизических свойств СУП представляет большой интерес.

Учитывая разнообразие пригодных для использования исходных сырьевых материалов, на основании только литературных данных, невозможно однозначно определить технологический маршрут (выбрать технологическую схему), потенциально пригодную для создания конкурентоспособного производства изделий из углеродных пен с заданными свойствами. Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы позволяет сделать вывод, что, несмотря на то, что в основном уровень свойств СУП определяется набором и соотношением исходных компонентов, использование тех или иных технологических приемов (варьирование температур и скоростей термообработки, условий смешения и формования, поверхностной и объемной модификации) позволяет в широких интервалах варьировать различные, в том числе теплофизические свойства СУП.

Следует также отметить, что единой теоретической модели прогнозирования свойств углеродных пен на данном этапе развития соответствующей области материаловедения не существует. Таким образом, для выбранного набора потенциально пригодных технологических схем и сырьевых материалов необходимы обстоятельные экспериментальные исследования процессов получения соответствующих СУП и их свойств, после чего возможно будет полноценное моделирование связи технология – структура - свойства для исследуемых материалов.

Для ряда применений важным являются такие специфические параметры как распределение пор по размерам, количество пор на единицу длины образца, преобладающие размеры пор и т. д. Помимо исследования теплофизических и других свойств, что принципиально важно для применения изделий в экстремальных условиях эксплуатации, наиболее сложным является оценка перспективности применения углеродных, в том числе СУП, в медицине, что невозможно без дополнительных медико-биологических испытаний.

В связи с этим, целесообразным является проведение экспериментальных работ, направленных на получение экспериментальных образцов углеродных пен с использованием доступных видов сырьевых материалов и исследование их структурных особенностей (параметров кристаллической решетки, размеров кристаллитов, распределения пор по размерам) и эксплуатационных свойств (плотность, модели упругости, пределы прочности, коэффициент теплопроводности, коэффициент термического расширения, удельная электропроводность).

После аналитической оценки перспективности тех или иных технологических схем получения УП и СУП, основанной, в первую очередь, на литературных данных, необходимо перейти к экспериментальной реализации

результатов работы. В связи с этим следует сосредоточиться на выполнении экспериментальных работ, направленных на технологическое опробование способов получения теплоизолирующих и теплопроводящих УП, а также их систематизацию и обобщение.

С точки зрения технологичности получения СУП, целесообразна разработка интегрированной технологии получения материалов и изделий на их основе с соответствующими регулируемыми теплофизическими свойствами (широким интервалом значений коэффициента теплопроводности) в рамках единого набора технологических приемов при варьировании набора сырьевых материалов и их соотношений. Кроме того, желательным является использование стандартного технологического оборудования, например, универсального оборудования для реализации технологии «наполнитель - связующее» (смешение – формование – карбонизация - высокотемпературная термообработка - поверхностная модификация), что значительно упрощает и удешевляет реализацию технологии в рамках изготовления пилотных и промышленных установок.

В рамках предварительной сравнительной оценки различных вариантов технологических схем (технологических маршрутов) для получения изделий с высокой теплопроводностью (коэффициентом теплопроводности более 50 Вт/м·К) в качестве сырьевого материала используются каменноугольные или нефтяные пеки, а для теплоизолирующих – фенолоформальдегидные смолы. Количество фенольных и мезофазных микросфер может варьироваться в широких пределах при проведении экспериментальных исследований.

Для получения теплоизолирующих пен предполагается осуществлять отработку технологии в варианте:

- смешение компонентов (фенолоформальдегидных смол и фенольных микросфер) (предпочтительны в качестве наполнителя в силу снижения усадочных напряжений при карбонизации) в жидкой фазе (ацетоновом растворе) с параллельной отработкой смешения порошкообразных компонентов в стандартных Y-образных смесителях и вибросмесителях;

- формование «зеленых» пен путем горячего прессования в глухую матрицу при температуре 150-250 °С;

- низкотемпературная карбонизация материала до конечной температуры 800-1000 °С в муфельных печах (в инертной атмосфере);

- при необходимости дополнительного регулирования свойств, термообработка до температуры свыше 2000 °С (в инертной атмосфере) в печах графитации и поверхностная модификация в варианте пироуплотнения на стандартном для данного типа процессов оборудовании (например, в трубчатых печах в токе метана при температуре 800 или более 2000 °С).

Список литературы

1. Авдеев В.В. Переход к новым материалам и способам конструирования – приоритет стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. / В.В. Авдеев // Материалы международного форума

«Университетское образование сегодня и завтра». – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 19 декабря 2020.

2. Авдеев В.В. Новые углеродные материалы и их применение в промышленности. / В.В. Авдеев // Материалы всероссийской конференции «Старт в науку». – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 9 февраля 2021.

3. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. / В.К. Тихомиров. – М.: Химия, 1975. – С. 11-15.

4. Колокольцев С.Н. Углеродные материалы. Свойства, технологии, применения. / С.Н. Колокольцев. – Долгопрудный: ИД Интеллект, 2012. – 296 с.

5. Shutov F.A. Syntactic polymer foams. / F.A. Shutov // Advances in Polymer Science. – 1986. – 73-74. – P. 63–123.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОРАСШИРЯЮЩЕГОСЯ ГРАФИТА НА СВОЙСТВА ПЕНОПОЛИУРЕТАНА

Шафигуллин Ленар Нургалеевич (доцент)[1],
Романова Наталья Владимировна (доцент)[1],
Габдрахманов Азат Талгатович (к.т.н., директор)[2],
Шафигуллина Гульназ Робертовна (аспирант)[1],
Агашкин Денис Александрович (студент)[1]

[1]ФГАОУ ВО «Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) Федерального Университета» 423810, г. Набережные Челны, пр-т Мира 68/19, misharin_82@mail.ru
[2]ООО «АЛИПЛАЗ», 423832, г. Набережные Челны, ул. Ш. Усманова, д.37, veyron000@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе показана возможность применения терморасширяющегося окисленного графита в эластичной системе ППУ, в качестве вещества, снижающего горючесть (антипирена) и улучшающего его потребительские свойства. В результате проведенных физико-механических и термических свойств ППУ с повышением содержания графитовой добавки выявлено: увеличение нормального коэффициента звукопоглощения; малое влияние на коэффициент теплопроводности и температуры начала разложения; затруднение воспламенения.

Annotation. The paper shows the applicability of oxidized expandable graphite in an elastic PU foam system as a substance that reduces the flammability (flame retardant) and improves the usability. The studies of the physical mechanical and thermal properties of PU foam with a higher graphite content revealed a higher normal sound absorption coefficient; insignificant influence on the thermal conductivity and decomposition onset temperature; more difficult ignition.

Ключевые слова: терморасширяющийся графит, свойства, пенополиуретан.

В настоящее время требования к теплошумоизоляционным материалам, применяемым в конструкциях транспортных средств, а также в промышленном и гражданском строительстве существенно ужесточаются. В частности, эти требования для моторных отсеков и салонов автобусов отражены в правилах европейской экономической комиссии ООН № 118 [1 - 4].

Современная промышленность выдвигает повышенные требования к созданию новых материалов с огнезащитными свойствами. К новому классу материалов, обладающему уникальными теплофизическими, антикоррозионными и огнезащитными свойствами относятся окисленные терморасширяющиеся графиты [1, 11]. При этом в литературе практически не представлены исследования влияния графита на физико-механические и термические свойства материалов.

В связи с вышеизложенным целью настоящей работы является исследования влияния терморасширяющегося окисленного графита на физико-механические и термические свойства пенополиуретана (ППУ), применяемых в автомобилестроении.

Исследования проводили на 3 образцах эластичной системы ППУ, применяемых для изготовления термошумоизоляционных экранов автомобилей, отечественного производителя [12]: Образец № 1 - образец ППУ, полученный в соотношении на 100 масс.ч. полиола 55 масс.ч. изоцианата; Образец № 2 - образец ППУ, полученный в соотношении на 100 масс.ч. полиола 55 масс.ч. изоцианата и 19 масс.ч графитовой добавки; Образец № 3 - образец ППУ, полученный в соотношении на 100 масс.ч. полиола 55 масс.ч. изоцианата и 14,5 масс.ч графитовой добавки.

В качестве основных компонентов уретанообразующей смеси применялись: полиольный компонент «А» марки Specflex NS 759 [12], изоцианатный компонент «Б» марки Specflex NE 138 [12], терморасширяющийся окисленный графит марки МЕТОРАС EG 350-50 (80), производства «ГК Химические Системы» [11]. Смешивание компонентов проводили вручную в следующей последовательности: добавляли терморасширяющийся окисленный графит в полиольный компонент «А» и тщательно перемешивали в течении 5 минут; вводили в полученную смесь изоцианатный компонент «Б» и смешивали до начала реакции взаимодействия; заливали полученную композицию в предварительно разогретую оснастку, смыкали формообразующие элементы и выдерживали в течении 6 минут. Кондиционирование образцов происходило при комнатной температуре в течении 24 часов.

Проводили оценку испытуемых образцов ППУ по следующим показателям: определение нормального коэффициента звукопоглощения по ГОСТ 16297 - 80; определение коэффициента теплопроводности по ГОСТ 7076-99; оценка термических показателей по ГОСТ 29127; определение огнеопасности (скорость горения) по ГОСТ 25076-81.

Нормальный коэффициент звукопоглощения определяли по методике ГОСТ 16297-80 в двух частотных диапазонах от 16 до 1600 Гц и от 500 до 6300 Гц. Сложение частот в диапазоне от 500 до 1600 Гц проводили по

экспериментальной методике, разработанной ПАО ГАЗ, и успешно апробированной на ПАО КАМАЗ и производителях шумопоглощающих материалов РФ. В качестве испытательного оборудования использовали акустическую трубу фирмы «Брюль и Къер» типа 4206. Определение коэффициента теплопроводности (λ) проводили по методике ГОСТ 7076-99. В качестве испытательного оборудования использовали электронный измеритель теплопроводности ИТП-МГ4. Термический анализ фиксировали с помощью термоанализатора синхронного TG 209 F1. Термическое разложение проводили при нагревании от 30 °С до 550 °С со скоростью 10 °С/мин в среде аргона по ГОСТ 29127.

Сравнительный анализ экспериментальных данных выявил увеличение нормального коэффициента звукопоглощения в среднем на 16 % (образец 2) и на 12 % (образец 3) по сравнению с исходным (образец 1) в частотном диапазоне от 100 до 6300 Гц. Низкая теплопроводность образца 1 ППУ (λ =0,061 Вт/(м*К)) является причиной того, что при возгорании его поверхность быстро нагревается до высокой температуры. Это приводит к быстрому распространению пламени по поверхности, кроме того значительная площадь поверхности вспененной структуры способствует увеличению скорости горения. В настоящей работе для замедления поверхностного горения в рецептуру введен графит, который показал незначительное влияние на коэффициент теплопроводности ППУ. Так, при 19 % масс.ч графита на 100 масс.ч. полиола в ППУ (образец 2) λ=0,056 Вт/(м*К). Оценку термостойкости материала проводили при нагреве от 30 до 550 °С со скоростью 10 °С /мин в атмосфере аргона методом термогравиметрического анализа (ТГА), который используется как лабораторный метод для быстрого получения ориентировочных результатов об относительной термостойкости вещества. Результаты анализа характеризуются температурой разложения, то есть температурой, при которой происходят потери в массе. Термическое разложение проводили по ГОСТ 29127. По теплоте процесса деструкции можно проводить предварительную оценку огнеопасности. Так, образец 2 на кривой с-DTA имеет незначительные тепловые эффекты, а образец 1 характеризуется эндо- и экзоэффектами $T_{экзоэффекта}$=363 °С. Известно [13], что в слоистую структуру графита внедрены молекулы серной кислоты. Под воздействием тепла внедренные в графит молекулы разлагаются с выделением газа, происходит вспенивание, толщина слоя увеличивается в 100 раз. Эти свойства и предопределили использование терморасширяющегося окисленного графита в рецептуре для защиты ППУ. Провели испытания по определению огнеопасности (скорости горения) ППУ. Установлено, что образец 1 поддерживает горение, а образцы 2 – 3 – не поддерживают распространение пламени вследствие активного поверхностного вспенивания образца.

В настоящей работе показана возможность применения терморасширяющегося окисленного графита марки МЕТОРАС EG 350-50 (80) в эластичной системе ППУ, в качестве вещества, снижающего горючесть (антипирена) и улучшающего его потребительские свойства. В результате проведенных физико-механических и термических свойств ППУ с повышением

содержания графитовой добавки выявлено: увеличение нормального коэффициента звукопоглощения; малое влияние на коэффициент теплопроводности; малое влияние на температуру начала разложения.

Наиболее высокими физико-механическими и термическими свойствами обладает образец 2 ППУ, содержащий в соотношении на 100 масс.ч. полиола 19 масс.ч графитовой добавки, позволяющий по сравнению с исходным ППУ: увеличить в среднем на 16 % нормальный коэффициент звукопоглощения в частотном диапазоне от 100 до 1600 Гц; снизить коэффициент теплопроводности на 8 %. Таким образом, модификация ППУ терморасширяющимся окисленным графитом позволяет создавать не только трудногорючие полиуретаны, но и улучшать их физико-механические и термические свойства.

Литература

1. Захарченко А.А., Ваниев М.А., Кочнов А.Б., Шокова Д.В, Емельяненкова К.А., Новаков И.А. Современное состояние исследований в области создания пенополиуретанов пониженной горючести // Известия волгоградского государственного технического университета. 2019 № 228. С. 7-18.

2. Правила ЕЭК ООН № 118 Единообразные предписания, касающиеся характеристик горения материалов, используемых в конструкции внутренних элементов механических транспортных средств определенных категорий: Правила ЕЭК ООН от 06.04.2004 № 118. – Интернет-ресурс: http://docs.cntd.ru/document/ 1200106694.

3. Erofeev V.T., Shafigullin L.N., Bobrishev A.A. Investigation of Noise - Vibration-Absorbing Polymer Composites Used in Construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Volume 463. Issue 4. 31 Article number 042034 DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042033

4. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123–ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями и дополнениями). – Интернет-ресурс: https://base.garant.ru/ 12161584/

5. Клемпнер Д. Полимерные пены и технологии вспенивания // Санкт-Петербург: Профессия, 2009. – 599 с.

6. Готлиб Е.М., Галимов Э.Р., Зенитова Л.А. и др. Полиуретаны: синтез, свойства и применение в машиностроении // Казань: изд-во Казан. ун-та, 2016. – 149 с.

7. Zharin E.D., Yurasov S.Y., Shafigullin L.N., Shafigullina A.N., Shayakhmetova G.R. Sound-Absorbing Polyurethane Foam for the Auto Industry // Russian Engineering Research. 2017. Volume 37. Issue 4. pp. 38-40

8. Дементьев А.Г. Структура и свойства газонаполненных полимеров // диссертация … доктора технических наук : 05.17.06. - Москва, 1997. - 409 с. : ил.

9. Zharin D.E., Yurasov S.Y., Gumerov M.I., Shafigullin L.N. Vibration-and noise-absorbing polymer composites used in manufacturing // Russian Engineering

Research. 2010. Volume 30, Issue 2. pp. 194-196. [10] Г.М. Бартенев, С.Я. Френкель, Физика полимеров. Химия, Санкт-Петербург, 1990.

10. Кодолов В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов// Москва: Химия, 1976. – 160 с

11. Information at http://chemsystem.ru/ catalog/41

12. Information at http://www.dow-izolan.com/ru/production/construction/sandwich-panels-for-buildings-face-finishing

13. Михайлин Ю.А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов // Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, 2011. – 416 с.

АНАЛИЗ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ ПЕН, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ МЕЗОФАЗНОГО ПЕКА

Юрасов Ю.С., Галимов Э.Р.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, ул. К. Маркса 10, Казань, 420111

Аннотация: в данной статье рассматриваются углеродные пены, полученные из мезофазного пека. Изучаются их свойства и структуры.

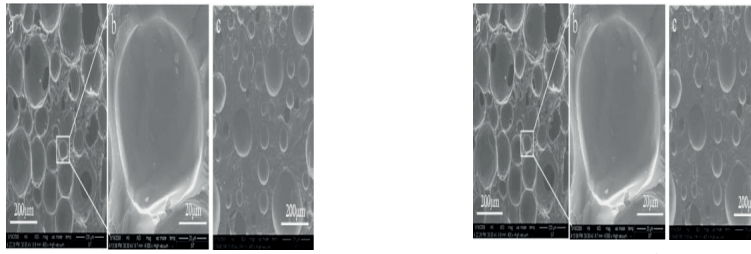
Annotation: this article discusses carbon foams obtained from mesophase pitch. Their properties and structures are studied.

Ключевые слова: углеродная пена, теплопроводность, прочность.

На сегодняшний момент одним из основных тенденций развития науки является разработка теплопроводящих и теплоизоляционных материалов. Для выполнения поставленной задачи большое внимание уделяют на разработку углеродных пен (УП) из различных смол и пен с добавлением различных наполнителей. В тоже время большинство теплопроводных углеродных пен получают из пека. Особой популярностью пользуется мезофазный пек.

Мезофазный пек – это анизотропная жидкокристаллическая фаза, образованная при пиролизе изотропного нефтяного или каменноугольного пека при температуре 300-500 ºС в инертной атмосфере. Рассмотрим различные пены, полученные из мезофазного пека.

В работе [1] пены получали методом вспенивания раствора мезофазного пека в толуоле в сверхкритических условиях (593 К, 12 МПа). Полученный продукт представлял собой УП плотностью 0,4 г/см3 с порами размером 20-200 мкм. Показано, что при снижении содержания легких фракций в пеке (что достигалось путем предварительной экстракции толуолом) величина общей пористости пен снижалась при одновременном уменьшении размеров пор (рис. 1).



а б

Рисунок 1 – Снимки СЭМ структуры пен на основе мезофазного пека до (а) и после (б) экстракции толуолом

На основе проведенных экспериментальных исследований авторами сделано заключение, что основным источником пористости полученных углеродных пен являются легкие фракции пека, а концентрация пор пропорциональна концентрации нерастворимых твердых частиц углерода. Это свидетельствует о том, что поры зарождаются на поверхности раздела: твердое тело-жидкость.

В работе [2] проведены исследования по оценке влияния группового состава и точки размягчения исходного пека на структуру и свойства графитированных пен на их основе. При этом было установлено, что оптимальными с точки зрения получения высокотеплопроводящих высокографитированных углеродных пен являются мезофазообразующие относительно мягкие пеки с низким содержанием хинолин-нерастворимой фракции. Полученные пены отличались сравнительно невысокой прочностью (порядка 4 МПа) и очень высокими значениями коэффициента теплопроводности (190-200 Вт/м·К).

К примеру, в работе [3] УП получили на основе двух мезофазных смол Mitsubishi ARA24 и Conoco Dry Mesophase, которые карбонизировали при 1000° С с шагом нагрева 0,28 °С/мин., а затем графитизировали при 2800 °С с 2-часовой выдержкой. При производстве пены использовали четыре разных рабочих давления. Выяснилось, что увеличение давления приводит к увеличению насыпной плотности. Пены, полученные при низком давлении, имеют множество микротрещин, что существенно снижают прочностные показатели пен.

После карбонизации смол УП обладал низкой теплопроводностью (1-2 Вт/м·К). Однако процесс графитизации существенно повысил теплопроводность обеих пен теплопроводность УП на основе мезофазной смолы Conoco составила 135 Вт/м·К, а Mitsubishi ARA24 150 Вт/м·К при плотности 0,57 г/см3.

В работе [4] УП также получали из мезофазного пека путем вспенивания под давлением 6,9 МПа и карбонизации до 1000 °С при атмосферном давлении. Затем образцы графитизировали с разной скоростью нагрева (1, 5, 10 и 15 °С/мин) под аргоном до 2800 °С. Теплопроводность полученных образцов был в интервале от 90 до 145 Вт/м·К.

В работе [5] УП получены путем вспенивания и последующей карбонизации мезофазного пека с добавками аэрогеля SiO2. Показано, что добавки аэрогеля способствуют образованию пен с более однородными размерами ячеек (рис. 2). Углеродные пены в зависимости от процента содержания аэрогеля имели пористость от 61,2 до 67 %, плотность от 0,6 до 0,64 г/см3, а прочность на сжатие варьировалась в интервале 9,15-12,72 МПа при теплопроводности 0,1-0,3 Вт/м·К

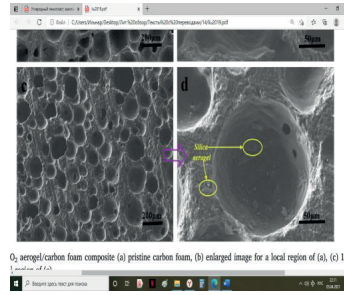


Рисунок 2 – Снимки СЭМ углеродной пены с 11 масс. % SiO2

Исследование температурной зависимости теплопроводности УП показало, что образцы пен имеют практически одинаковую теплопроводность при обычной температуре. При увеличении температуры образцы с аэрогелью имели меньшую теплопроводность. Это объяснено тем, что добавка аэрогеля уменьшает проводимость через твердое тело. Повышенное содержание SiO2 меняет объемное набухание и вязкость расплавленного мезофазного пека, приводящего к более низкой пористости и меньшему вкладу проводимости через газ.

В работе [6] описан процесс модификации углеродной пены на основе мезофазного пека монтмориллонитом в количестве до 10 масс. % с получением образцов с прочностью при сжатии до 12,8 МПа и коэффициенте теплопроводности 0,25 Вт/м·К.

Анализ существующей литературы показал, что углеродные пены на основе мезофазных пеков получают путем карбонизации и последующей графитации. Теплопроводность таких пен может варьировать в широком диапазоне вплоть до 145 Вт/м·К.

Список литературы

1. Qiu L. Biomimetic super elastic graphene-based cellular monoliths /L. Qiu, J.Z. Liu, S.L.Y. Chang, Y.Z. Wu, D. Li // Nat. Commun. – 2012. – 3.– 2251.

2. Qiu L. Biomimeticsuperelasticgraphene-based cellular monoliths / L. Qiu, J.Z. Liu, S.L.Y. Chang, Y.Z. Wu, D. Li // Nat. Commun. – 2012. – 3. – 1241.

3. Klett, J., Hardy, R., Romine, E., Walls, C., & Burchell, T. (2000). High-thermal-conductivity, mesophase-pitch-derived carbon foams: effect of precursor on

structure and properties. Carbon, 38(7), 953–973. doi:10.1016/s0008-6223(99)00190-6

4. Klett, J. W., McMillan, A. D., Gallego, N. C., Burchell, T. D., & Walls, C. A. (2004). Effects of heat treatment conditions on the thermal properties of mesophase pitch-derived graphitic foams. Carbon, 42(8-9), 1849–1852. doi:10.1016/j.carbon.2004.01.057

5. Ji-Hyun Kim, Hyung-Ik Lee and Young-Seak Lee. The enhanced thermal and mechanical properties of graphite foams with a higher crystallinity and apparent density, Materials Science & Engineering A http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2017.04.071

6. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://phys.org/news/2011-11-carbon-foam-key-ingredient-battery.html, свободный.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ПАРОМ

Юрасов Ю.С., Галимов Э.Р.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, ул. К. Маркса 10, Казань, 420111

Аннотация: в данной статье рассматривается способ повышения износостойкости режущего инструмента путем обработки паром.

Annotation: this article discusses a way to increase the wear resistance of a cutting tool by steam treatment.

Ключевые слова: режущий инструмент, износостойкость, обработка паром.

Износостойкость – очень важное свойство материала, которая зависит не только от структуры и свойств инструментальной стали, но и от свойств обрабатываемого материала (его твердости, коррозионного воздействия), а также от коэффициента трения и внешних условий, при которых происходит изнашивание: температуры в зоне трения и механических воздействий. При изменении отдельных из этих условий в свою очередь изменяется износостойкость инструментальной стали [1].

Изготовленный из правильно подобранного инструментального материала режущий инструмент может иметь высокую или низкую стойкость, так как высокие режущие свойства инструмента обеспечивает не только материал, а также оптимальная геометрия и правильно проведенная технология обработки инструмента (термическая обработка, шлифование, заточка и т. д.), но и условия эксплуатации инструмента. Существует ряд методов, позволяющих повысить стойкость режущей части инструмента (при прочих равных условиях) путем проведения дополнительных операций, к которым относятся: цианирование, хромирование, сульфидирование, обработка холодом, обработка паром, доводка, притирка и т.д. [1].

Процесс обработки паром инструментов из быстрорежущей стали заключается в предварительной промывке инструмента при температуре около 70 °С следующим составом на литр раствора: 20—40 г соды Na2CO3, 20—40 г каустической соды NaOH и 20—40 г тринатрийфосфата Na3PO; затем промытый горячей водой инструмент загружается в электропечь с герметическим затвором (можно использовать печи для отпуска инструмента). При температуре 340—380 °С инструмент выдерживается в течение 15—30 мин до полного прогрева; затем печь продувается водяным паром, и при 540—560 ° С инструмент выдерживается в течение 30—40 мин; затем охлажденный до 50—70 °С инструмент опускают в подогретое минеральное масло. После обработки паром и погружения в масло на инструменте образуется тонкая (0,05 мм) пленка окислов, а так как процесс происходит при температуре дополнительного отпуска для быстрорежущей стали, то инструмент получает повышенную среднюю стойкость (если он был правильно закален). В процессе обработки паром не могут быть устранены последствия плохой термической обработки инструмента. Повышение стойкости в 2 раза и некоторая стабилизация показателей стойкости вследствие улучшения условий отвода и уменьшения налипания стружки, например, на ленточках сверл, обеспечили внедрение этого процесса в промышленность [2].

Для повышения стойкости режущие кромки следует доводить. Заточка и доводка режущих кромок, особенно алмазными кругами, позволяет повысить среднюю стойкость ряда инструментов, особенно чистовых, в 2—3 раза и более, так как улучшает качество поверхности инструмента, а, следовательно, и условия работы режущей части инструмента.

Методы восстановления сборного и цельного инструмента различны. Возможность восстановления заложена в конструкциях сборных инструментов. Например, корпуса сборных фрез разверток, зенкеров и т. д. могут служить очень долго и выдерживают многократную смену изношенных ножей. Во многих случаях возможность легкого восстановления и обеспечивает целесообразность выбора сборной конструкции инструмента. Для отдельных конструкций сборного инструмента вопрос замены ножей решается по-разному. В конструкциях резцов и фрез предусматривается применение неперетачиваемых многогранных пластинок. Такой инструмент восстанавливается просто. Когда износились все режущие кромки пластинки, она снимается и заменяется новой. Державка служит до тех пор, пока можно на ней закреплять пластинку [3].

Восстановление инструмента цельной конструкции, а также инструмента с напаянными пластинками значительно сложнее и не всегда оправдывается экономически. Инструмент можно перешлифовать на ближайший размер с соответствующим углублением стружечных канавок. Подобным путем могут восстанавливаться такие инструменты, как зенкеры, развертки, большинство видов цельных фрез. При восстановлении методом шлифования отверстие насадных инструментов остается в первоначальном виде, поможет также хромироваться в размер.

Ряд инструментов можно восстановить путем отжига изношенного инструмента с последующей полной механической обработкой на новый размер. Отверстие насадного инструмента после отжига растачивается на другой размер, или в него вставляется втулка. Из поломанных быстрорежущих фрез могут быть изготовлены пластинки для напайки на резцы и т. д. Инструмент следует восстанавливать только тогда, когда это оправдывается экономически [4].

Паротермическое оксидирование реализуется в более сложных нагревательных устройствах, оснащенных парогенератором (технологическим блоком для получения и подачи перегретого водяного пара) и блоком питания и управления процессом обработки. Паровая реакционная среда подается в камеру оксидирования печи под определенным давлением, которое поддерживается на протяжении всей продолжительности оксидирования [5].

Получение термооксидного покрытия происходит в условиях взаимодействия металлической поверхности с реакционными компонентами парогазовой среды, в результате чего формируются поверхностные металлооксидные системы определенной толщины и структуры. По мере роста покрытия в толщину возрастает его пористость, степень шероховатости и морфологической гетерогенности поверхности, что приводит к ухудшению механической прочности и снижению коррозионной устойчивости металлооксидов. Поэтому, для создания термооксидных покрытий с высокой твердостью и защитной способностью необходимо формировать тонкослойные металлооксидные системы с минимальной пористостью и шероховатостью, а также морфологической гомогенностью поверхности.

Паротермическое оксидирование состоит в окислении металлов при высоких температурах в среде перегретого водяного пара с образованием на поверхности оксидных покрытий с улучшенными свойствами. Вначале окисление металлов осуществляется в предварительно нагретой воздушной атмосфере печи, исключающей конденсацию пара на холодной поверхности металлоизделий. Затем в печь подается перегретый водяной пар и процесс оксидирования кратковременно протекает в паровоздушной смеси. После этого окисление идет в атмосфере пара при непрерывном ее нагреве до заданной температуры и выдержке металлоизделий при этой температуре в течение определенного времени. В данных условиях на металлах формируется оксидное покрытие, физико-технические параметры которого зависят от температуры и продолжительности обработки, а также от скорости движения и давления газовой среды в рабочем объеме печи. Охлаждение оксидированных изделий может осуществляться на воздухе или в паровой атмосфере при выключенном нагреве печи.

Паротермическая обработка для получения функциональных оксидных покрытий на хромоникелевых сталях, титане и его сплавах в настоящее время рассматривается как перспективный способ создания на поверхности изделий металлооксидных слоев, обладающих высокой износостойкостью.

Список литературы

1. Арзамасов В.Б., Волчков А.Н., Головин В.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов / В.Б. Арзамасов // – М.: Академия, 2009. – 538 с.

2. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. – М.: Машиностроение, – 2015. – 832 с.3. Лившиц, Б. Г. Металловедение и термическая обработка / Б. Г. Лившиц. — М. : Металлургия, 1989. — 228 с.

3. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 2013. – 336 с.

4. Shaojun S. Heat-treatment and properties of high-speed steel cutting tools // Conference Series Materials Science and Engineering. – 2018. – November

5. Белый, А. В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев.

СЕКЦИЯ № 2

«Инновационные разработки и экономика в машиностроении»

Модераторы:

Кашапов Наиль Фаикович – директор Инженерного института КФУ, к.ф-м.н, д.т.н., проф., членкор АН РТ, академик Российской академии инженерных наук, заслуженный изобретатель РТ

Шамсутдинов Эмиль Василович – заместитель директора Инженерного института КФУ по научной деятельности, к.т.н.

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Абашева Динара Ильдусовна
Хуснутдинова Эльвира Мусавировна

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18
E-mail: dinarous2810@mail.ru

Аннотация: В статье рассмотрены основные цели и задачи метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации, определены документы, которые могут подвергаться метрологической экспертизе. Представлен алгоритм проведения метрологической экспертизы чертежа детали.

Abstract: The article considers the main goals and objectives of metrological examination of design and technological documentation, identifies documents that can be subjected to metrological examination. The algorithm of metrological examination of the drawing of the part is presented.

Ключевые слова: экспертиза, машиностроение, конструкторская документация, технологическая документация.

Метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации является одним из способов повышения качества изготавливаемой продукции и производительности труда на всех стадиях конструкторского и технологического циклов производства деталей, отдельных единиц и готовой продукции, новых технологических процессов.

Метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации является одной из составляющих работ по метрологическому обеспечению производства. Данная процедура осуществляет анализ и оценку технических решений по выбору параметров, подлежащих измерению, по установлению норм точности измерений и обеспечению методами и средствами измерений процессов разработки, изготовления, испытания и применения продукции [1]. Цель метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации заключается в гарантии эффективности контрольно-измерительных операций на таких стадиях жизненного цикла продукции, как разработка, изготовление, испытания и ввод в эксплуатацию.

Метрологической экспертизе могут быть подвержены:

- документы, находящиеся на этапе подготовки и разработки технического задания (заявка, пожелания заказчика, технические условия);
- документы, применяющиеся на этапе разработки конструкции (техническое предложение, эскизный и технический проекты);
- предварительные и подающие надежду проекты технологических процессов и рабочая технологическая документация (маршрутная карта, карта эскизов, технологическая инструкция, ведомость оснастки и технологических документов, карта типового технологического процесса, операционная карта);

- рабочая конструкторская документация (пояснительная записка, чертеж детали, расчет, технические условия, методики испытаний, документы по ремонту и эксплуатации);

- документы на этапе изготовления продукции (извещения о поправке документов, которые содержат в себе данные об установленных нормах точности или о методах и средствах измерения) [2].

Цель метрологической экспертизы рабочей конструкторской документации заключается в получении возможности контролировать нормы точности, установленные в документации, а также экономичную целесообразность использования методов контроля [3].

Метрологическая экспертиза рабочих конструкторских документов направлена на решение следующих задач:

- проверка правильно использованных и написанных терминов;
- проверка на возможность контроля установленных норм точности СИ;
- проверка правильного использования СИ;
- проверка целесообразности использования выбранных методов контроля;
- проверка осуществления автоматизации получения и обработки полученной информации;
- проверка полного описания операций контроля;
- проверка достаточности методов контроля всех установленных в данном документе норм точности;
- проверка взаимной увязки допусков на размеры, форму и расположение поверхностей и требований к шероховатости;
- проверка на правильность проведения мероприятий по обеспечению безопасности труда и охране окружающей среды [2].

Метрологическая экспертиза чертежа детали проводится для определения способности контроля установленных в чертеже норм точности. Данная процедура проходит по следующим этапам:

1. установление размеров, ограниченных допусками, расположения, допуски формы, формы и нормы шероховатости поверхностей продукции;
2. проверка правильного написания и использования терминологии;
3. проверка взаимной увязки допусков на размеры, форму и требований к шероховатости;
4. определение пригодности допусков на размеры, допусков формы и взаимного расположения поверхностей.

Результаты метрологической экспертизы приводятся в виде перечня замечаний и предложений, который подписывается метрологом, проводившим экспертизу, и утверждается главным метрологом организации. Документация с вышеупомянутым перечнем отправляется обратно разработчику для проведения исправлений.

Основной причиной проведения метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации является желание выпускать конкурентоспособную высококачественную продукцию. Метрологические

недочеты, выявленные на начальных стадиях жизненного цикла продукции устранить намного легче, чем на более поздних.

Отказ от проведения метрологической экспертизы технической документации приводит к неверному выбору измеряемых параметров, к неправильному выбору норм точности измерений, а также методов и методик [4]. Данные последствия сказываются на качестве и себестоимости конечной продукции.

На практике метрологическая экспертиза является мощным инструментом улучшения метрологического обеспечения производства и благоприятным образом сказывается на качестве готовой продукции и эффективности производства.

Литература

1. Метрологическая экспертиза технологической документации, её цели и задачи. [Электронный ресурс]. — URL: https://studopedia.su/15_159094_metrologicheskaya-ekspertiza-konstruktorskoy-dokumentatsii-tseli-i-zadachi.html — Загл. с экрана.

2. Метрологическая экспертиза технической документации /Яковлев Ю.Н., Глушкова Н.Г., Медовикова Н.Я., Бесфамильная Л.В., Столярова Н.И. - М.: Из-во стандартов, 1992. - 184 с.

3. Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие / Правиков Ю.М., Муслина Г.Р. - М.: КНОРУС, 2009. - 240 с.

4. Метрологическое обеспечение качества продукции. Часть 1. Основные проблемы. Крутиков В. Н., «Контроль качества продукции» №9/2016.

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОГО БИЗНЕСА В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

Зайнутдинова Диана Рустемовна
Хуснутдинова Эльвира Мусавировна

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18
E-mail: diana.zajnutdinova@bk.ru

Аннотация: Влияние пандемии на глобальное финансово-экономическое развитие побудило даже самые эффективные компании искать новые способы ведения бизнеса. События кризиса заставили не только участвовать в разработке новых продуктов и услуг, открывать новые каналы продаж, но и совершенствовать процессы. Несмотря на необходимость, инновации, как правило, могут быть затруднены во время кризисов, поскольку требуют быстрых и решительных действий, часто с ограниченными ресурсами.

Abctract: The impact of the pandemic on global financial and economic development has prompted even the most efficient companies to look for new ways of doing business. The events of the crisis forced us not only to participate in the

development of new products and services, to open new sales channels, but also to improve processes. While necessary, innovation can typically be difficult during crises as it requires quick and decisive action, often with limited resources.

Ключевые слова: инновации, инновационное развитие, инновационная активность, финансирование инноваций.

Бизнес-среда динамична из-за меняющихся потребностей потребителей, быстрого развития рынка и технического прогресса. Каждая организация, независимо от ее размера и назначения, имеет цепочку создания стоимости. Основная цель инноваций — найти эффективные подходы к совершенствованию цепочки создания стоимости для организации и ее стейкхолдеров [1,2]. Чтобы успешно работать в гиперконкурентной и нестабильной среде, организации должны развивать динамические способности, основанные на гибкости, гибкости, устойчивости и скорости, создавая соответствующие инновации для поддержания своих финансовых показателей и достижения конкурентных преимуществ [3,4].

Современный период инновационного развития характеризуется активным взаимодействием и стремительными изменениями в цифровом производстве и технологиях, процессами интеллектуализации труда, на что указывают концепции четвертой промышленной революции, позволяющей использовать достижения цифровых технологий, такие как Интернет вещей, искусственный интеллект, большие данные, виртуальная и дополненная реальность, широкое внедрение информационных систем [5].

Каждая новая технология, которая появляется, меняет не только внутреннюю природу продуктов и компаний, которые ее внедряют, но и модифицирует цепочки создания стоимости и внутренние процессы организации, трансформирует бизнес-модели, а значит, меняет характер конкуренции. При этом одни организации активно внедряют в свою ресурсную базу новые цифровые технологии, а другие зачастую игнорируют их потенциал, ориентируясь на менее рискованные инновации, аналогичные их знаниям и опыту [6].

Передовые технологии оказались в центре внимания исследователей и новаторов из-за экономического и социального давления, вызванного пандемией.

Технологии Индустрии 4.0 способны предоставить цифровые решения для повседневной жизни и быть устойчивыми во времена кризиса. Лучшие технологии позволяют не только увеличить скорость производства и снизить себестоимость продукции, но и сократить количество людей, необходимых для производства товаров. Во время пандемии это помогает ограничить передачу вируса за счет увеличения физического расстояния, что еще больше помогает сократить производственные перерывы и простои из-за инфекционных заболеваний [7].

Производственные линии, в которых используются самые современные технологии, легко адаптируются, что позволяет более эффективно переключаться при изменении обстоятельств. Проблемы при внедрении этих

технологий включают расширение технологических возможностей до необходимого уровня автономности, совершенствование систем беспроводной связи для обеспечения требуемой передачи данных и обеспечение модульности и гибкости оборудования для поддержки широкого использования.

Многие компании перешли на удаленную работу, что сильно увеличило спрос на такие программы, как Zoom, Skype и другие. Благодаря применению этих технологий люди работают из дома; они открывают для себя новую культуру цифрового офиса, рабочее время, виртуальные офисы, виртуальные встречи. Индустрия 4.0. В то же время переход на удаленную работу был вызовом для многих компаний, но сейчас большинство компаний склонны считать, что удаленная работа более продуктивна, чем работа в офисе [8].

В глобальном масштабе стратегия успешного развития отечественных экономических систем в последние годы тесно связана с достижениями в области исследований и разработок, появлением новых знаний, развитием высокотехнологичного производства и созданием массовой инновационной продукции. Повышение инновационности предприятий, отраслей и регионов – это не только возможность динамичного развития, но и способ обеспечения безопасности и суверенитета страны, ее конкурентоспособности в современном мире [9].

Последствия эпидемии коронавируса положительно сказались на процессе инновационного развития, способствуя быстрому восстановлению экономики и росту устойчивого экономического роста в стране. Положительные тенденции в реализации инновационного потенциала и стимулировании инноваций можно наблюдать практически во всех сферах экономической деятельности. Таким образом, мы можем сделать вывод, что пандемия действительно может стимулировать инновации и инициировать поиск новых возможностей и ресурсов для инноваций.

Высокий уровень глобальной конкуренции на рынке, ускоренная динамика его технологического обновления и цифровизации, последствия кризиса, вызванного пандемией COVID, обусловливают актуальность проблем эффективного стимулирования инновационной активности организаций в современных экономических условиях. Это особенно актуально во время пандемии, поскольку инновации являются одним из наиболее эффективных стратегических ответов на кризисы [10].

Достаточно важной характеристикой проблемы экономической оценки инноваций является наличие значительного временного лага между инвестированием в инновационную деятельность компании и получением первого экономического эффекта от коммерческого использования инновации.

Анализ современного мирового опыта внедрения инноваций показывает, что все продуктовые, технологические и управленческие инновации, появившиеся и распространившиеся в условиях пандемии коронавируса, ориентированы на поддержание устойчивости и конкурентоспособности бизнеса. Следовательно, инновации, направленные на создание предложения внутри страны, а также цифровизация всех видов товаров и услуг, отвечают

новым условиям существования рынка и должны стать драйверами восстановления отечественной экономики уже в ближайшее время.

Литература

1. Freeman R. E. The stakeholder approach revisited // Zeitschrift für wirtschafts-und unternehmensethik. – 2004. – № 3. – p. 228–254.

2. Harrison J. S., Freeman R. E. Stakeholders, social responsibility, and performance: Empirical evidence and theoretical perspectives // Academy of management Journal. – 1999. – № 5. – p. 479–485.

3. Bagherzadeh M. How does outside-in open innovation influence innovation performance? Analyzing the mediating roles of knowledge sharing and innovation strategy // IEEE Transactions on Engineering Management. – 2019. – № 3. – p. 740–753.

4. Iglesias O. Co-creation: A key link between corporate social responsibility, customer trust, and customer loyalty // Journal of Business Ethics. – 2020. – № 1. – p. 151–166.

5. Орлов М. А. Выявление критических факторов успеха в проектах по внедрению информационных систем // Управленческое консультирование. – 2020. – № 9 (141). – с. 101–114.

6. Khanagha S., Volberda H., Oshri I. Customer co-creation and exploration of emerging technologies: the mediating role of managerial attention and initiatives // Long Range Planning. – 2017. – № 2. – p. 221–242.

7. Javaid M. Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic // Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews. – 2020. – № 4. – p. 419–422.

8. Ананишнев В. В. Удаленная работа и эффективность бизнеса: факторы, тренды, влияние пандемии коронавируса // Московский экономический журнал. – 2020. – № 11.

9. Новиков В. А. Инновационная активность как условие устойчивого развития экономики // Вестник Ивановского государственного университета. Серия: Экономика. – 2020. – № 4(46). – с. 69–72.

10. Wenzel M., Stanske S., Lieberman M. B. Strategic responses to crisis // Strategic Management Journal. – 2020. – № 7/18.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОЗДАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ

Закирова А.Р. к.т.н., доцент,
Рахимзянов М.М., студент

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18

Аннотация: В статье рассматриваются направления развития стандартизации в области технологического обеспечения и источники их планирования, акцентируется внимание на роли технических комитетов в научно-техническом совершенствовании.

Abstract: The article discusses the directions of development of standardization in the field of technological support and the sources of their planning, focuses on the role of technical committees in scientific and technical improvement.

Ключевые слова: стандартизация, технический комитет, приоритетные направления

Согласно действующему международному стандарту ISO/IEC GUIDE 2-2004 «Standardization and related activities. General vocabulary /(ИСО/МЭК Руководство 2-2004 «Стандартизация и смежные виды деятельности. Общий словарь») важнейшими результатами деятельности по стандартизации являются повышение степени соответствия продукции, процессов и услуг их функциональному назначению, устранение барьеров в торговле и содействие научно-техническому сотрудничеству [1].

Международная организация по стандартизации ISO и Международная электротехническая комиссия IEC формируют систему международной стандартизации при участии технических комитетов национальных органов.

Под техническим комитетом по стандартизации в РФ понимается «регулируемая национальным органом по стандартизации форма сотрудничества заинтересованных организаций, органов власти и физических лиц при проведении работ по национальной, межгосударственной и международной стандартизации в определенной сфере деятельности» [2].

В 2007 году был введен в действие национальный стандарт РФ ГОСТ Р 1.1-2005 «Стандартизация в Российской Федерации. Технические комитеты по стандартизации. Порядок создания и деятельности (Standardization in the Russian Federation. Technical committees for standardization. Order of creation and activity). В 2009 году, были введены в действие рекомендации по стандартизации Р 50.1.065-2008 «Стандартизация в Российской Федерации. Типовое положение о технических комитетах по стандартизации».

Оба стандарта были заменены в 2014 году единым национальным стандартом РФ ГОСТ Р 1.1-2013 Стандартизация в Российской Федерации. Технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности (Standardization in the Russian Federation. Technical committees for standardization. Rules of organization and function). В свою очередь он был заменен на

национальный стандарт РФ ГОСТ Р 1.1-2020 Стандартизация в Российской Федерации. Технические комитеты по стандартизации и проектные технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности (Standardization in the Russian Federation. Technical committees for standardization and project technical committees for standardization. Rules of organization and function). Данный стандарт устанавливает правила создания, деятельности и ликвидации технических комитетов по стандартизации (ТК) и проектных технических комитетов по стандартизации (ПТК), а также типовое положение о Типовое положение о техническом комитете по стандартизации.

Одним из принципов формирования и деятельности ТК и ПТК является принцип открытости и доступности информации о формировании ТК и о его работе, если отсутствуют ограничения, установленные действующим законодательством Российской Федерации. Решение федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации должно быть размещено на его официальном сайте в информационно-телекоммуникационной сети Интернет в день принятия решения. В настоящее время функции федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации осуществляет Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Но на сайте Росстандарта можно найти только уведомления о создании ТК, которые представлены в неструктурированном виде с затрудненным поиском необходимой информации.

Рассмотрим ситуацию на примере образованного в 1990 году ТК-210 "Технологическое обеспечение создания изделий", который в 2015 году был реорганизован в ТК-210 "Технологическое обеспечение создания и производства изделий". Не удается найти уведомление о создании ТК, чтобы ознакомиться с планируемыми к разработке стандартами. В числе действующих стандартов, внесенных комитетом после реорганизации, например, ГОСТ Р 57550-2017 «Технологические комплексы для электронно-лучевой обработки в вакууме. Технические требования», но большая часть стандартов внесена совместно с ТК 321 «Ракетная и ракетно-космическая техника», например, ГОСТ Р 58124-2018 «Системы космические. Обеспечение производственной технологичности создания изделий. Основные положения»; ГОСТ Р 58125-2018 «Системы космические. Система технологического обеспечения разработки и постановки на производство изделий космической техники. Организация и управление технологической подготовкой производства». Однако эту информацию можно найти только на других сайта и невозможно отследить является ли она полной. Кроме того, в ежегодных рейтингах кроме 2016 г, информация о ТК-210 отсутствует. Соответственно, если работа ТК не ведется в течение года, то федеральный орган исполнительной власти в сфере стандартизации может принять решение о реорганизации, вплоть до ликвидации ТК, с передачей его области деятельности, тематики и закрепленных за ним стандартов институту стандартизации или другому ТК. Аналогичная ситуация и по некоторым другим ТК.

По требованиям ГОСТ Р 1.1—2020 ТК должен иметь перспективную

программу работы комитета, которая должна быть увязана с документами стратегического планирования, в том числе с государственными программами РФ и государственными программами субъектов РФ, а также федеральными целевыми программами, ведомственными целевыми программами, иными программами, предусматривающих разработку документов по стандартизации, включая перспективные программы стандартизации по приоритетным направлениям [3].

Так Приказом от 27 октября 2020 года № 1775 Росстандартом утверждена Программа национальной стандартизации на 2021 год и дальнейшую перспективу (ПНС-2021), в которой указаны ключевые области разработки стандартов в 2021 году. Наибольшее количество стандартов запланировано за ТК 045 Железнодорожный транспорт (150), ТК 023 Нефтяная и газовая промышленность (99), ТК 274 Пожарная безопасность (89), ТК 322 Атомная техника (85) и ТК 418 Дорожное хозяйство (81).

Планы по стандартизации на 2021 год соответствуют утвержденному в декабре 2013 года Прогнозу научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, который включает следующие приоритетные направления развития науки, технологий и техники: информационно-коммуникационные технологии; науки о жизни (биотехнологии; медицина и здравоохранение); новые материалы и нанотехнологии; рациональное природопользование; транспортные и космические системы; энергоэффективность и энергосбережение.

При планировании деятельности технических комитетов авторы рекомендуют использовать крупнейшую единую базу данных Scopus публикаций в области естественных, общественных и гуманитарных наук, техники, медицины и искусства, которая отражает не плановые, а фактическое состояние развития науки, техники и технологий.

В первую десятку наиболее востребованных направлений входят направления: Онкология, Химия материалов, Молекулярная биология, Общая химия, Общая медицина, Общая физика и астрономия, Исследования рака, Энергетика и энергетические технологии, Физика и астрономия, Общая биохимия, генетика и молекулярная биология.

В качестве еще одного источника для планирования деятельности ТК можно назвать Роспатент, в частности такие сводные информационные источники как Перечень изобретений, получивших правовую охрану и включенных в базу победителей номинации Роспатента «100 лучших изобретений России» за 2019 год и первое полугодие 2020 года.

В данном документе представлены разделы: искусственный интеллект, цифровые решения, информационно-телекоммуникационные технологии; медицина и медицинская техника, фармацевтика; биотехнологии и генная инженерия; безопасность, защита и спасение человека и окружающей среды, экология; технологии наноиндустрии; авиакосмическая промышленность, наземный, морской и воздушный транспорт; энергетика, новые и возобновляемые источники энергии; электротехника, электроника и технологии связи; металлургия, общее машиностроение, металлообработка, неорганическая

химия; органическая химия, химическая и нефтегазодобывающая промышленность; измерительная техника, управляющие и навигационные системы; горная промышленность, строительство и строительные материалы [4].

В рассмотренных направлениях не нашли отражение в виде отдельно выделенных важные отрасли, например, такие как сельское хозяйство и жилищно-коммунальное хозяйство. О проблемах стандартизации в ЖКХ было проведено исследование деятельности ТК, которое позволяет наметить направления совершенствования системы стандартизации в этой отрасли [5].

Кроме того, стандартизации можно планировать по этапам жизненного цикла, например, рассматривая вопросы, касающиеся завершающего этапа - утилизация и (или) переработки [6].

Таким образом, развитие стандартизации должно проводиться на основе совершенствования деятельности технических комитетов, осуществления планирования с учетом нормативно-правовых документов и материалов реальных достижений в области науки, техники и технологий.

Список литературы:

1. ISO/IEC GUIDE 2:2004(E/F/R) Standardization and related activities — General vocabulary URL: https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/iso_iec_guide_2_2004.pdf (дата обращения 01.11.2022)

2. ГОСТ Р 1.1-2013 Технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности URL: https://docs.cntd.ru/document/1200105343 (дата обращения 01.11.2022)

3. ГОСТ Р 1.1— 2020 Технические комитеты по стандартизации и проектные технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности URL: http://ipg.geospace.ru/metrology/docs/GOST_R_1.1-2020.pdf (дата обращения 01.11.2022)

4. Перечень изобретений, получивших правовую охрану и включенных в базу победителей номинации Роспатента «100 лучших изобретений России» за 2019 год и первое полугодие 2020 года URL: https://rospatent.gov.ru/content/uploadfiles/100-best-2019-1p-2020.pdf (дата обращения 25.10.2021)

5. ПироговаА.С., Коваленко К.О., Закирова А.Р. Стандартизация в области повышения устойчивости работы систем жилищно-коммунального хозяйства URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=32831246 (дата обращения 01.11.2022)

6. Воронцов Д.П., Шихалев А.М., Ялалина В.А., Закирова А.Р., Садыков З.Б., Хананова А.Ф. Перспективная стандартизация в сфере утилизации продукции и отходов производства // Материалы X Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2019» (МНТК «ИМТОМ-2019«). Часть 2. с. 365-369 URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42936252 (дата обращения 01.11.2022)

УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМИ РАЗРАБОТКАМИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

Закирова А.Р. к.т.н., доцент,
Шарафеев А.Н. студент

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18

Аннотация: В статье предлагается формализация процесса разработки инновации на основе системы показателей качества. В целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня качества следует разработать систему управления качеством продукции, устанавливающую действия по созданию и эксплуатации или ее потреблении.

Abstract: The article proposes to formalize the process of developing an innovation based on a system of quality indicators. In order to establish, ensure and maintain the required level of quality, a product quality management system should be developed, specifying the actions for the creation and operation or its consumption.

Ключевые слова: показатели качества, система управления качеством, продуктовые инновации, процессные инновации

В сфере управления инновационной деятельностью существуют международные стандарты такие как Руководство Фраскати и Руководство Осло. Первый из них представляет собой документ, излагающий методологию сбора статистики о исследованиях и разработках, а второй - рекомендации для сбора и интерпретации сведений об инновациях в международно сопоставимом виде. Различают четыре типа инноваций: продуктовые, процессные, маркетинговые и организационные [1]. В данной статье будут рассматриваться только технологические продуктовые и технологические процессные инновации.

Как правило появление новых идей связывают с так называемым «озарением», процессом не формализованным, а значит и неуправляемым может стать причиной убытков от инвестиций в инновационные проекты либо упущенной прибыли при отсутствии внедрения. Поэтом важным элементом процесса создания инновации является формализация процесса ее разработки.

Авторы предлагают формализацию процесса разработки инновации осуществлять на основе применения межгосударственного стандарта ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения». Данный стандарт устанавливает применяемые в науке и технике термины и определения основных понятий в области управления качеством продукции. Термины, установленные стандартом, обязательны для применения в документации всех видов, учебниках, учебных пособиях, технической и справочной литературе. В остальных случаях применение этих терминов рекомендуется.

Для каждого понятия установлен один стандартизованный термин. Применение терминов-синонимов стандартизованного термина запрещается.

Установленные определения разрешается при необходимости изменять по форме изложения, не допуская нарушения границ понятий. Допускается применение отраслевых терминов, не установленных настоящим стандартом, отражающих специфические особенности продукции отрасли [2].

В стандарте приведены термины и определения показателей качества продукции, методов их определения, различных видов оценки качества продукции и управления ее качеством. Под продукцией понимается результат производственной, хозяйственной деятельности, может рассматриваться как продукт и как процесс производства продукта.

Руководствуясь данным стандартом при разработке технологической продуктовой или процессной инновации, предлагается разработать систему единичных показателей качества продукции, характеризующих одно из ее свойств; комплексных показателей качества продукции, характеризующих несколько ее свойств. Далее следует выбрать определяющий показатель качества продукции, по которому принимают решение при оценке ее качества. Можно рассчитать интегральный показатель качества продукции, представляющий собой отношение суммарного полезного эффекта от предполагаемых эксплуатации или потребления продукции к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию или потребление.

В случае, если инновация разрабатывается на основе существующей продукции, выбранной в качестве основы для усовершенствования, рекомендуется рассчитать следующие показатели: индекс качества «базовой» продукции; коэффициент дефектности продукции; индекс дефектности продукции; коэффициент весомости показателя качества продукции; базовое значение показателя качества продукции; относительное значение показателя качества продукции; регламентированное значение показателя качества продукции, номинальное значение показателя качества продукции, предельное значение показателя качества продукции; оптимальное значение показателя качества продукции; допускаемое отклонение показателя качества продукции; уровень качества продукции; технический уровень продукции.

Следующий этап формализации разработки инновации – выбор методов определения показателей качества продукции: измерительный метод на основе применения технических средств измерений; регистрационный метод определения на основе наблюдения и подсчета числа определенных событий, предметов или затрат, расчетный метод на основе использования теоретических и (или) эмпирических зависимостей показателей качества продукции от ее параметров; органолептический метод, осуществляемый на основе анализа восприятий органов чувств; экспертный метод, осуществляемый на основе решения, принимаемого экспертами; социологический метод, осуществляемый на основе сбора и анализа мнений ее фактических или предполагаемых потребителей.

Далее рекомендуется составить перечень дефектов существующей или потенциальных дефектов разрабатываемой продукции по видам дефектов:

явный, скрытый, критический, значительный, малозначительный, устранимый, неустранимый дефект.

В целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня качества следует разработать систему управления качеством продукции, устанавливающую действия по созданию и эксплуатации или ее потреблении.

Для определения технического совершенства стандартом рекомендуется форма карты технического уровня, представленной в межгосударственном стандарте ГОСТ 2.116-84 Карта технического уровня и качества продукции, но несмотря на то, что стандарт имеет статус действующего, форма устарела и требует актуализации и адаптации к конкретному применению.

В актуализированной и адаптированной карте предлагается включать номенклатуру показателей качества продукции в соответствии с таблицей применяемости показателей, предусмотренной стандартом системы показателей качества продукции (СПКП) для существующей продукции [3]. В настоящее время существует около трехсот действующих стандартов СПКП, большая часть которых разработана в 80-90 е годы, поэтому может быть полезной дополнительная информация по результатам научно-исследовательских и экспериментальных работ, патентных исследований, данные о техническом уровне и качестве лучших отечественных и зарубежных аналогов. На основе имеющейся информации выбираются лучшие аналоги, из их числа базовый и перспективный образцы.

Например, при изучении процесса формирования хромовых покрытий можно воспользоваться ГОСТ 4.457-86 «Система показателей качества продукции. Линии для химической, электрохимической обработки поверхности и получения покрытий. Номенклатура показателей». Согласно указанному СПКП, рассматриваются следующие показатели: назначения, надежности, экономного использования материалов, электроэнергии и трудовых ресурсов, технологичности, стандартизации, патентно-правовые, безопасности и эргономические показатели [4].

В числе показателей назначения определяются производительность, толщина покрытия, удельный выход продукции с занимаемой площади, габаритные размеры линии, темп выхода подвесок (барабана), способ загрузки и выгрузки обрабатываемых деталей, степень механизации, вид системы управления, число программ, гибкость линии, вид переналадки.

В числе показателей экономного использования материалов, электроэнергии и трудовых ресурсов анализируются экономичность потребления электроэнергии линией, экономичность потребления электроэнергии на получение покрытия, расхода пара, воды, сжатого воздуха, экономичность использования трудовых ресурсов.

В числе эргономических показателей проверяется соответствие эргономическим требованиям по уровню звукового давления на рабочем месте и объему отсасываемого воздуха.

В числе показателей технологичности масса линии и ее удельная масса, отражающие экономичность расхода материалов.

Кроме того, рассматриваются уровень унификации, показатели патентной

защиты, а также степень защиты электрического оборудования.

Дополнительно к указанным показателям в инновационной разработке рассматриваются особенности плазменно-электролитного процесса для формирования хромового покрытия при тепловом воздействии разряда на электрохимически сформированный слой покрытия, относительно материалов электродов и их расположения, а также требование плавности. регулирования выходного напряжения в необходимом диапазоне [5,6].

Приведенный пример показывает применимость СПКП при управлении разработками при условии установления дополнительных показателей, повышающих инновационность разработок.

Список литературы:

1. Руководство Осло: Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям / Пер. на рус. яз. / Совместная публикация ОЭСР и Евростата. 3-е изд. – М.: ЦИСН, 2010. – 107 с. URL: https://mgimo.ru/upload/docs_6/ruk.oslo.pdf (дата обращения 01.11.2022)

2. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 22 с. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200001719 (дата обращения 01.11.2022)

3. ГОСТ 2.166-84. Карта технического уровня и качества продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 15с. URL: https://docs.cntd.ru/document/855100280 (дата обращения 01.11.2022)

4. Drozhzhin S.A., Kashapov R.N., Kashapov L.N., Kashapov N.F., Influence of the electrode location on discharge combustion in the processes of chromium coatings formation from Cr2(SO)4 solutions // IOP Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1923, Is. 1. – Art. № 012028. URL: https://www.researchgate.net/publication/352138781_Influence_of_the_electrode_location_on_discharge_combustion_in_the_processes_of_chromium_coatings_formation_from_Cr2SO4_solutions (дата обращения 01.11.2022)

5. Kashapov L.N., Kashapov N.F., Kashapov R.N., Denisov D.G., Plasma electrolytic treatment of products after selective laser meltin // IOP Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 669, Is. 1. – Art. № 012029. URL: https://www.researchgate.net/publication/290492152_Plasma_electrolytic_treatment_of_products_after_selective_laser_melting (дата обращения 01.11.2022)

6. Kashapov L.N., Kashapov N.F., Kashapov R.N., Research of the impact acidity of electrolytic cathode on the course of the plasma-electrolytic process // IOP Journal of Physics: Conference Series. – 2013. – Vol. 479, Is. 1. – Art. № 012011. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/479/1/012011 (дата обращения 01.11.2022)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С ОБРАЗОВАНИЕМ АЛЬФИРОВАННОГО СЛОЯ НА ОТЛИВКАХ ТИТАНА

Ишпаева Анастасия Анатольевна, Ляхович Алевтина Михайловна,
Кашапов Наиль Фаикович
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет
isp.anastasya@mail.ru, alalam@mail.ru, Nail.Kashapov@kpfu.ru

Саубанов Марат Нинарович
ОАО «Зеленодольский завод имени А.М.Горького»
info@zdship.ru

Аннотация. В работе применен подход борьбы с образованием альфированным слоем на отливках титана предложенный корейскими исследователями, где при использовании форм на основе Al_2O_3 присутствие на поверхности формы барьерного слоя состоящего из коллоидного раствора кремнезема с добавками Ti и Al_2O_3, гарантировало отсутствие альфированного слоя. В случае использования магнезитовых форм с аналогичным барьерным слоем приводит к уменьшению толщены альфированного слоя до 20 мкм по сравнению с 900 мкм при отсутствие барьерного слоя.

Abstract. The paper uses an approach to combat the formation of an alpha layer on titanium castings proposed by Korean researchers, where, when using molds based on Al2O3, the presence on the mold surface of a barrier layer consisting of a colloidal solution of silica with Ti and Al2O3 additives guaranteed the absence of an alpha layer. In the case of using magnesite forms with a similar barrier layer, it leads to a decrease in the thickness of the alpha layer to 20 μm compared to 900 μm in the absence of a barrier layer.

Ключевые слова. Литье титана, альфированный слой, барьерные покрытия, лейксил, магнезитовая форма.

Введение. Метод литья является наиболее приемлемым для труднообрабатываемых материалов, к которым относится титан, имеющий более высокую вязкость по сравнению со сталью. При литье на поверхности титана образуется альфированный слой, который обладает повышенной твердостью и имеет склонность к трещинообразованию. По мнению авторов [1] альфированный слой состоит из двух подслоев: реакционного и слоя повышенной твердости. Реакционный слой в основном представлен продуктами реакции среды и элементов формы, а слой повышенной твердости состоит из продуктов взаимодействия межузельного кислорода и титана с образованием оксидов титана.

Для предотвращения формирования альфированного слоя чаще всего используют барьерные покрытия с добавлением иттрия и циркония, так как энергии Гиббса образования их оксидов более отрицательна, чем у TiO_2.

Однако данные компоненты являются дорогостоящими, что значительно увеличит стоимость производства деталей из сплавов титана.

Авторы работы [1] в своих исследованиях изучили процесс формирования альфированного слоя на отливках титана полученных в формах из Al_2O_3. Было показано, что в результате взаимодействия титана с компонентами формы образуется фаза Ti_3Al.

В предположении, что присутствие на поверхности формы фазы Ti_3Al взаимодействия расплавленного титана с Al не будет. Для получения на поверхности формы фазы Ti_3Al они использовали смесь Ti и Al_2O_3 (1:1) в коллоидном растворе кремнезема, что привело к отсутствию альфированного слоя на отливке титана.

Опираясь на данные корейских исследователей, нами был проведен эксперимент по получению фазы Ti_3Al на магнезитовой форме, используемой при литье сплава ТЛ-3, в предположении, что альфированный слой не будет образовываться.

Экспериментальная часть. Магнезитовые формы состоят из окислов MgO (92,3 мас. %), CaO (3,2 мас.%), SiO2 (2,2 мас.%), а в качестве связующего вещества применялось жидкое стекло Na2O(SiO2)n [2].

Сплав титана ТЛ-3 состоит из Ti (94,1мас.%), Al (4,5 мас.%) [3].

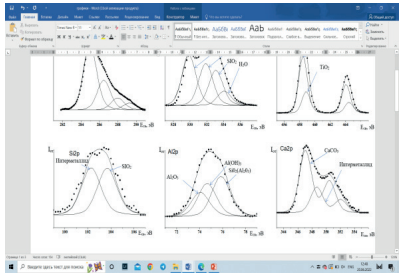
Использовалось барьерное покрытие, состоящее из коллоидного раствора на основе Si (лейксил [4]) (10 частей) и дисперсных частиц Al_2O_3 и Ti, взятых в соотношении 2:1 (15 частей). На внутреннюю поверхность формы наносилось последовательно 3 слоя: 1 и 2 слой сушился на воздухе 90 мин, 3 слой выдержка на воздухе 60 мин. После чего форма с барьерным слоем был термообработана при 1050 ^{0}C.

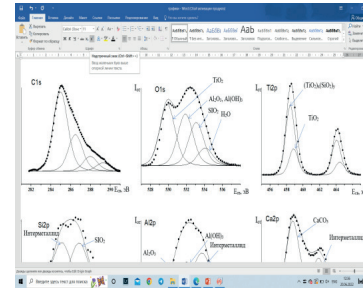
Методом РФЭС были изучены образцы формы с барьерным слоем и поверхностный слой отливки после отрыва от формы. Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) была изучена поверхность отливки титана.

Результаты исследования. Установлено, что на поверхности магнезитовой формы при использовании покрытия из лейксила с частицами Al_2O_3 и Ti образуется фаза Ti_3Al.

Исследования поверхности отливки после ее пескоструйной обработки показало наличие на поверхности элементов: C, O, Al, Si, Ti.

На поверхности отливки отсутствует фаза Ti_3Al ($E_{св}$Ti2p=453,9 эВ, $E_{св}$ Al2p= 72,0 эВ (рисунок 1).





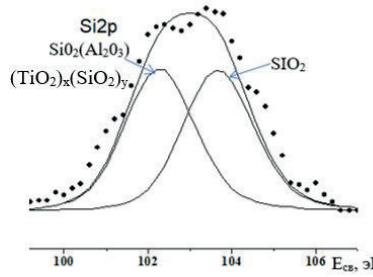


Рисунок 1 – РФЭ – спектры Al 2p, Ti 2p, Si 2p альфированного слоя на отливке титана после обработки пескоструем

Однако, на поверхности отливки имеются соединения Si с Al и Ti, что свидетельствует о том, что в состав альфированного слоя входят соединения на основе Si.

Исследования сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) поверхности и поперечного сечения отливки показали, что соединения с Si образуются до глубины в 20 мкм, тогда как при отсутствии барьерного покрытия глубина альфированного слоя составляет не менее 1мм.

Выводы. Таким образом, подход борьбы с альфированным слоем на отливках титана, предложенного корейскими авторами [1], применен для магнезитовых форм. Барьерный слой был получен на основе кремнеземного связующего (лейксила) и дисперсных порошков Al_2O_3 и Ti. Установлено что, в процессе термообработки на поверхности магнезитовой форме образуется фаза Ti_3Al, которая гарантирует отсутствие альфированного слоя при использовании форм на основе Al_2O_3. Однако в случае использования магнезитовых форм наличие фазы Ti_3Al на поверхности формы не гарантирует отсутствие альфированного слоя на отливке, который представлен соединениями Si с Al и Ti.Тем не менее, глубина альфированного слоя с использованием магнезитовых форм уменьшилась до 20 мкм.

Список используемых источников

1. Sung, S. Formation of Alpha Case Mechanism on Titanium Investment Cast Parts / S. Sung, B. Han and Y. Kim // Titanium Alloys - Towards Achieving Enhanced Properties for Diversified Applications. - 2012.–29-42 p.

2. Саубанов, М.Н. Особенности изготовления крупногабаритных и сложнопрофильных отливок из титановых сплавов/ М.Н.Саубанов, А.Ю. Дозорнов// Технический оппонент – 2018.- № 1(1).- С. 34-39.

3. ОСТ 5Р.9071-88 Отливки из сплавов марки ТЛ. Общие технические условия

4. База данных производителя «Компас» / Производство // Лейксил [Электронный ресурс] - Режим доступа к ст.: URL: http://www.compass-kazan.ru/leyksil20-30-40.php дата обращения на сайт 15.02.2021.

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭКСТРАКЦИИ МЕТАЛЛА НА ПРИМЕРЕ ЦИНКА

Кашапов Ленар Наилевич[1,2], Кашапов Рамиль Наилевич[1,2],
Кашапов Наиль Фаикович[1,2], Чебакова Виолетта Юрьевна [1]

[1] Казанский федеральный университет, Россия, 420 008 Казань, Кремлевская 18, vchebakova@mail.ru

[2] Объединенный институт высоких температур РАН, Россия, 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2 kashlenar@mail.ru

Аннотация. В мире ежегодно образуется большое количество промышленных отходов, содержащих тяжелые металлы, особенно в черной и цветной металлургии, металлообработке. Эти материалы обычно классифицируют как опасные из-за возможности выщелачивания токсичных элементов при длительном хранении. Вместе с тем, из-за достаточно высокой ценности цветных металлов, их рациональное использование привлекает все больший интерес. Одним из способов утилизации является электроэкстракция металлического порошка из щелочных электролитов. В данной работе методом прямого поиска численной оптимизации, а именно методом Хука-Дживса, решается задача обратной кинетики, описывающая электрохимических процессы получения порошка цинка при электролизе раствора гидроксида натрия, содержащего тетрагидроксоцинкат натрия. Алгоритм расчетов верифицирован на экспериментальных данных по массе осажденного цинка и показал хорошее согласие с экспериментальными данными.

Abstract. Annually, it is generated a large amount of industrial waste containing heavy metals, especially in ferrous and non-ferrous metallurgy, metalworking. These materials are usually classified as hazardous due to the potential toxic elements leaching during long-term storage. At the same time, their rational se is attracting increasing interest due to the rather high value of non-ferrous metals. One of the recycling methods is the electroextraction of metal powder from alkali electrolytes. In this paper, using the direct search method of numerical optimization,

namely the Hooke-Jeeves method, it is solved the problem of inverse kinetics, which describes the electrochemical processes for obtaining zinc powder by electrolysis of sodium hydroxide solution contacting sodium tetrahydroxozincate. The calculation algorithm was verified on experimental data on the mass of zinc deposited and showed good agreement with experimental data.

Ключевые слова: Электроэкстракция, цинк, моделирование, численная оптимизация

Электроэкстрация цинкового порошка из щелочного электролита обладает большой актуальностью, в силу широкого применения Цинка для защиты металла от коррозии, производства сплавов и красок, в качестве цементирующего металла, а так же в качестве возможного электроносителя в гибридных проточных накопителях, таких как Zn-Br или Zn-air, при переходе к альтернативным источникам энергии. Так в работе [1] показана технология переработки порошковых отходов сталелитейного производства для получения цинка, а в работе [2] дан обзор исследований влияния различных условий электроэкстракции цинковых порошков из щелочных электролитов и выявлено, что среди авторов нет единого мнения о влиянии условий электролиза с точки зрения выхода по току и расхода электроэнергии. В работе [3] приведены данные выхода по току при электролизе раствора гидроксида натрия в присутствии тетрагидроксоцинкат натрия, полученного путем выщелачивание цинкосодержащих руд.

На основе данных работы [3] покажем возможность прогнозирование выхода цинка с помощью численной оптимизации. При выщелачивание руды содержащей цинк в зависимости от концентрации оксида натрия в растворе, цинк в электролите может содержатся как в качестве оксида цинка ZnO , так и соединение $[Zn(OH)_4]^{2-}$. В работе [4] показано, что, в целом, 20% концентрации раствора гидроксида натрия *NaOH* хватало, что бы молярное отношения ионов гидроксильной группы OH^-к содержащемуся цинку Zn было достаточным для существования $[Zn(OH)_4]^{2-}$, при этом если концентрация ионов гидроксильной группы OH^- мала, то соединение $[Zn(OH)_4]^{2-}$ переходит в оксид цинка ZnO. Таким образом, процесс выщелачивания цинкосодержащей руды описываем как общую реакцию растворения вида $2NaOH + Zn + 2H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + H_2$.

Непосредственно, по поводу протекания приэлектродных реакций выделения цинка существует различные мнения. Так в обзоре [2] опираясь на работу [5] приведено, что в процессе электроосаждения цинка соеденинии $[Zn(OH)_4]^{2-}$ подвержен модификации в гидрированный $Zn(OH)_2$, при этом гидроксид цинка является нерастворимым основанием и , как следствие этого, его присутствие должно отмечаться в полученном осадке, однако, в большинстве работ это не наблюдается.

При построение математической модели учитывались следующие предположения:

1) $Na_2[Zn(OH)_4]$ в электролите полностью диссоциирует на ионы

2) на электроде электрохимические реакции выделения цинка проходят параллельно с выделением водорода

Поэтому, несмотря на принцип независимости параллельных реакций, в математическую модель нами были включены обе параллельные реакции прямо не связанные между собой:

$[Zn(OH)_4]^{2-} + 2e \rightarrow Zn + 4OH^-, 2H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2OH^-,$

Надо отметить, что параллельное выделение водорода приводит во-первых к подщелачиванию приэлектродного слоя, что может приводить, при определенных значениях водородного показателя, к выпадению гидроксидов или окосолей осаждаемого металла, что возможно наблюдалось в [5] и во-вторых к внедрению адсорбированных атомов водорода в растущий металлический осадок. Все перечисленное приводит к изменению свойств и структуры получающегося осадка (так называемая водородная хрупкость металла). Одной из задач оптимизации процесса получения цинка является получения параметров при которых выход водорода минимален.

Моделирование осаждения цинка было произведено в приближение пористой пленки. Так в [6] показано влияние добавок на строение выделевшего слоя Zn (фактически пористое) и утверждается, что при достаточной плотности тока процесс осаждения представляет реакцию с контролируемой переносом массы. Так же в работе представлены фото поверхности при разной плотности тока при электролизе раствора *NaOH* с концентрации 240 г/л и с 25 г/л Zn^{2+}при температуре 35˚С. В работе [7] также отмечено губчатый и пористый характер покрытия из осажденного цинка

Для решения поставленной задачи предложен численный алгоритм, описанный в работах [8,9] и модифицированный под решаемую задачу и базирующийся на методе прямого поиска Хука –Дживса и методе Рунге –Кутта для решения систем состоящих из задач Коши.

Алгоритм был верифицирован на данных работы [3] . В ней исследовалось влияние приложенного напряжения на приэлектродные процессы электроосаждения цинка в растворах гидроксида натрия на катоде из нержавеющей стали. В таб. 1 представлено сравнение расчетных значений по массе осаждаемого цинка и экспериментальных данных работы [19] , где функционал (6), строился по массе цинка на моменты времени T=10 минут и T=60 минут.

Таблица 1 сравнение расчетных значений по массе осаждаемого цинка и экспериментальных данных

Время, мин	Относительное уклонение расчетных значений от теоретических (%)			
	125 A/m^2	375 A/m^2	250 A/m^2	500 A/m^2
20	35	27	40	26
30	16	21	26	18
40	12	11	17	8
50	3	3.5	8	0
60	0	0	0	0
70	2	3	6	3
100	25	2	18	8

Расчеты показали наибольшее расхождение в начале процесса электролиза, из этого можно заключить, что фаза образования зародышей, оказывает влияние на начальной стадии и с разрастанием кристаллов цинка ее влияние уменьшается. Таким образом на начальной стадии разрастания кристаллов цинка водород выделяется как на электроде, так и на поверхности кристаллов цинка что делает поверхность сильно неоднородной. При этом, численные исследования, включающий обе параллельные реакции, показали, что влияние первоначально заданной концентраций ионов цинка не влияет на точность рассчетов, таким образом стадия образования ионов цинка не является лимитирующей. При этом, более точную информацию по развитию начальной стадии можно было бы получить при учете данных о выходе водорода. В дальнейшем для развития модели представляет интересными исследование фазы появления зародышей (анатомов)и включение наиболее влияющих процессов зародошеоброзования в математическую модель.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект No 21-79-30062).

Литература

1) Boyanov B.S. and Baev T.B. Utilization of zinc in powders from electric arc furnaces in steel production// Journal of Mining and Metallurgy 45 (1) B (2009) 15 – 22

2) Мамяченков С.В., Якорнов С.А., Анисимова О.С., Блудова Д.И. Обзор результатов исследования электролитического получения цинковых порошков из щелочных растворов. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т.23. №2. С. 367–394.

3) Yucheng Zhang, Jinxia Deng, Jun Chen, Pando Yu, Xianran Xing. The Electrowinning of Zinc from Sodium Hydroxide Solutions//Hydromettallurgy,2014,146,59-63

4) Yucheng Zhang, Jinxia Deng, Jun Chen, Pando Yu, Xianran Xing. Leaching of zinc from calcined smithsonite using sodium hydroxide// Hydromettallurgy,2013,131-132,89-92

5) Brenner A. Electrodeposition of alloys principles and practice. New York, Academic Press, 1963, vol. 1, 402 p.

6) Leung P.K., Ponce-De-León, C., Low, C.T.J., Walsh, F.C.. Zinc deposition and dissolution in methanesulfonic acid onto a carbon composite electrode as the negative electrode reactions in a hybrid redox flow batteryElectrochimica Acta ,2011,56(18), c. 6536-6546

7) Gürmen S., Emre M. A laboratory-scale investigation of alkaline zinc electrowinning//Minerals Engineering, 2003,16(6), c. 559-562

8) Кашапов Р.Н., Кашапов Л.Н., Кашапов Н.Ф., Чебакова В.Ю. Кинетика двухфазных газожидкостных сред в процессах электролиза//Теплофизика высоких температур. 2021. Т. 59. № 6. С. 869-876.

9) L. Kashapov, R. Kashapov. N. Kashapov and V. Chebakova, "One of the Methods of Numerical Optimization in Chemical Kinetics Problems," 2021 International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ITNT52450.2021.9649369

ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОГО CIS-1 БИСМЕТАНОФУЛЛЕРЕНА В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Кашапов Наиль Фаикович,
д.т.н., профессор Инженерного Института КФУ,

Гильмутдинова Алина Азатовна,
к.х.н., доцент кафедра БМИиУИ Инженерного Института КФУ,
420021, г. Казань, ул. С. Сайдашева, зд.12

Аннотация: впервые региоселективным, одностадийным синтезом получены циклические трис-фосфорилированные cis-1 бис-метанофуллерены и методами циклической вольтамперометрии и ЭПР в сочетании с in situ электролизом изучен механизм электрохимического восстановления бисметанофуллеренов. Наблюдаемая картина восстановления существенно отличается от ранее исследованных фосфорилированных бисметанофуллеренов как по потенциалам, так и по механизму восстановления. Показано, что трис-фосфорилированные cis-1 бис-метанофуллерены в условиях электрохимического восстановления являются стабильными соединениями и не претерпевают ретро-реакцию Бингеля даже при переносе четырех электронов на фуллереновую сферу.

Abstract: For the first time, cyclic tris-phosphorylated cis-1 bis-methanofullerenes were obtained by regioselective, one-step synthesis, and the mechanism of electrochemical reduction of bis-methanofullerenes was studied by cyclic voltammetry and EPR in combination with in situ electrolysis. The observed

picture of reduction significantly differs from the previously studied phosphorylated bismethanofullerenes both in terms of potentials and in terms of the mechanism of reduction. It has been shown that tris-phosphorylated cis-1 bis-methanofullerenes under electrochemical reduction conditions are stable compounds and do not undergo the retro-Bingel reaction even when four electrons are transferred to the fullerene sphere.

Ключевые слова: электрохимия, бисметанофуллерены, ретро-реакция Бингеля, анионные интермедиаты, адденд, ЭПР.

Электрохимические реакции восстановления метанофуллеренов представляют интерес как с точки зрения оценки влияния метаногрупп на редокс-свойства фуллереновой сферы, так и с точки зрения оценки возможности использования метаногрупп в качестве защитных в химии фуллеренов. Ранее [1, 2] методами электрохимии и ЭПР было исследовано восстановление фосфорилированных моно- и бис-метанофуллеренов, содержащих в фосфонатной группе различные заместители.

Особенно интересные результаты получены при восстановлении региоизомерных бис [бис(диэтоксифосфорил)метано][60]-фуллеренов [3]. Найдено, что потенциалы восстановления и устойчивость анионных интермедиатов изомеров различаются. tr-1 и tr-2 изомеры восстанавливаются на 50 мВ легче tr-3, tr-4 и e-изомеров. Анион-радикалы tr-4 изомера при комнатной температуре неустойчивы, в них происходит раскрытие трехчленного цикла, приводящее в конечном счете к элиминированию обоих аддендов, в то время как анион-радикалы остальных изомеров вполне стабильны. При потенциалах генерирования дианионов во всех изомерах происходит быстрое количественное элиминирование обоих аддендов. Было интересно выяснить, насколько общими являются полученные зависимости, применимы ли они и к другим фосфорилированным бис-метанофуллеренам.

С этой целью нами методами циклической вольтамперометрии изучено электрохимическое восстановление вновь полученного cis-1 бис-метанофуллерена 1. На циклических вольтамперограммах бисметанофуллерена 1, снятых на стеклоуглеродном электроде в среде о-ДХБ-ДМФА (3:1 v/v)/0.1 M Bu4NBF4, регистрируется четыре одноэлектронных обратимых пика восстановления (рис.1, таблица 1). Наблюдаемая картина восстановления существенно отличается от ранее исследованных фосфорилированных бисметанофуллеренов как по потенциалам, так и по механизму восстановления [4-5]. Для этих бисметанофуллеренов, как и для монометанофуллеренов, при электрохимическом восстановлении в аналогичных условиях наблюдалось элиминирование метаногрупп (ретро-реакция Бингеля). Обратимость всех четырех ступеней восстановления 1 и отсутствие на ЦВА пиков восстановления и ре-окисления свободного фуллерена однозначно свидетельствуют, что ни на одной стадии 4e восстановления не происходит элиминирования метаногрупп. Потенциал первого пика восстановления 1 (Ep1 = -1.01 В) заметно положительнее потенциалов пиков восстановления фосфорилированных бисметанофуллеренов (Ep1 = -1.09 ¸ -1.15 В) и находится в области

потенциалов восстановления, характерных для дифосфонатных монометанофуллеренов (Ep1 = -1.01 ¸ -1.04 В).

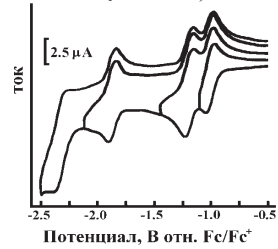


Рис. 1. Циклическая вольтамперограмма бисметанофуллерена 1 (C = 1·10-3 M) на стеклоуглеродном электроде в среде о-ДХБ-ДМФА (3:1)/0.1 M Bu4NBF4. u = 100 мВ×с-1.

Таблица 1. ЦВА характеристики электрохимического восстановления бисметанофуллерена 1 в среде о-ДХБ-ДМФА (3:1 v/v)/0.1 M Bu4NBF4 на стеклоуглеродном электроде. Потенциалы приведены относительно стандартного потенциала редокс-системы ферроцен/ферроцений ион (Fc/Fc+).

Соединение	$-E_{p,red}^{1}$, ($-E_{p,ox}^{1}$), В	$I_{p,red}^{1}$, □A	$-E_{p,red}^{2}$, ($-E_{p,ox}^{2}$), В	$-E_{p,red}^{3}$, ($-E_{p,ox}^{3}$), В	$-E_{p,red}^{4}$, ($-E_{p,ox}^{4}$), В
C_{60}	0.96 (0.90)	5.3	1.40 (1.33)	1.90 (1.84)	2.39 (2.32)
1	1.01 (0.94)	3.8	1.21 (1.13)	1.88 (1.81)	2.36

Необычным является также и близость первого и второго пиков восстановления. Для фуллерена, моно- и бисметанофуллеренов разность потенциалов первого и второго пиков обычно составляет DEp1,2 = 0.45¸0.50 В, а в данном случае эта разность всего 200 мВ. Кроме того, третий и четвертый пики находятся в области менее отрицательных потенциалов по сравнению с соответствующими пиками свободного фуллерена.

На основании полученных результатов предлагаем следующую схему восстановления бисметанофуллерена 1 (схема 1).

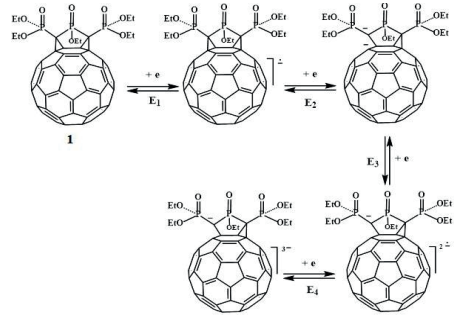


Схема 2. Восстановление бисметанофуллерена 1.

Первый электрон переносится на фуллереновую сферу с образованием фуллеренцентрированного анион-радикала. При потенциалах второго пика происходит диссоциативный перенос второго электрона с расщеплением С-С связи между экзоуглеродным атомом и фуллереновой сферой и раскрытием трехчленного цикла. Экзоуглеродный атом имеет две связи с фуллереновой сферой и в принципе можно представить расщепление каждой из них. Поскольку процессы обратимые, расщепление той или иной связи является термодинамически контролируемым. Исходя из лучшей возможности делокализации отрицательного заряда на фуллереновой сфере, мы расщепляем лишь одну связь с сохранением пятичленного цикла между аддендом и фуллереновой сферой. В продукте один электрон делокализован на адденде, а второй делокализован на фуллереновой сфере. Последующие две ступени связаны со ступенчатым переносом двух электронов на фуллереновую сферу образовавшегося дианиона с одним раскрытым трехчленным циклом. Процессы обратного электронного переноса приводят к обратным процессам с возвратом к исходному соединению в результате четырехэлектронного ре-окисления.

В чем же причина столь разительного отличия данного циклического бисметанофуллерена от ациклических бисметанофуллеренов? Во всех бисметанофуллеренах первый электрон переносится на фуллереновую сферу. Различие в потенциалах первой ступени восстановления возможно заключается в том, что в соединении 1 обе метаногруппы находятся в одном бензольном кольце и не нарушают систему сопряжения в остальной части фуллерена, в то время как в ациклических бисметанофуллеренах метаногруппы располагаются в значительном удалении друг от друга и тем самым нарушают систему сопряжения в большей части фуллереновой сферы.

В этом смысле бисметанофуллерен 1 значительно ближе к монометанофуллерену, чем к бисметанофуллеренам и совершенно логичным представляется близость потенциала первого пика восстановления 1 к монометанофуллеренам и удаленность от потенциалов бисметанофуллеренов.

Как и в случае фосфорилированных моно- и бисметанофуллеренов перенос двух электронов на молекулу 1 приводит к раскрытию трехчленного

цикла с образованием однотипных продуктов. Отличие заключается только в том, что в случае ациклических производных в дианионе с раскрытым трехчленным циклом происходит протонирование адденда, а в случае 1 дианион стабилен и в аналогичных условиях не протонируется. Это, видимо связано с лучшей делокализацией отрицательного заряда в адденде дианиона соединения 1. На схеме 1 показано раскрытие одного трехчленного цикла. Поскольку оба трехчленных цикла эквивалентны, абсолютно такое же раскрытие возможно и для второго трехчленного цикла.

Заключение. По сути дела, сказанное означает делокализацию отрицательного заряда не на одном фрагменте адденда, а на всем адденде, т. е. по половине отрицательного заряда на отдельном фрагменте. Поэтому сродство адденда к протону в дианионе 1 будет существенно ниже, чем в дианионе ранее изученных бисфосфонатных метанофуллеренов.

Соответственно, повышается стабильность такого интермедиата и в результате не происходит элиминирование адденда не только в дианионе, но и при последующем нагнетании еще двух отрицательных зарядов на фуллереновую сферу.

Литература

[1] Янилкин, В.В. Ретро-реакция Бингеля при электрохимическом восстановлении бис(диалкоксифосфорил)метанофуллеренов / В.В.Янилкин, Н.В.Настапова, В.П.Губская, В.И.Морозов, Л.Ш.Бережная, И.А.Нуретдинов // Изв.АН. Сер.хим. – 2002. – N 1. – С. 70 – 75

[2] Янилкин, В.В. Электрохимия фуллеренов и их производных / В.В. Янилкин, В.П.Губская, В.И.Морозов, Н.В.Настапова, В.В.Зверев, Е.А.Бердников, И.А.Нуретдинов // Электрохимия. – 2003. – Т. 39, N 11. – С. 1285 – 1303

[3] Гильмутдинова, А.А. Синтез и свойства новых функционально замещенных водорастворимых производных фуллерена С60 / А.А. Гильмутдинова // Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова Казанского НЦ РАН. Казань, 2015

[4] В.П., Губская. Синтез новых фосфорилированных производных фуллерена С60, растворимых в полярных растворителях / Губская В.П., Фазлеева Г.М., Гильмутдинова А.А., Латыпов Ш.К., Шарафутдинова Д.Р., Нуретдинов И.А., Синяшин О.Г. // Известия Академии наук. Серия химическая. 2014. № 6. С. 1386.

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МАШИН В АГРАРНЫХ ФОРМИРОВАНИЯХ

Н.Ф. Кашапов[1], М.М. Нафиков[1], М.Х. Газетдинов[2], Ш.М. Газетдинов[2]
[1] Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, г. Казань, РФ
[2] Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, РФ

Аннотация. В статье исследуются подходы к повышению эффективности сельскохозяйственного производства. Утверждается, что она не только охватывает сферы производства, но и непосредственно затрагивает жизненные интересы сельского населения и продовольственной безопасности страны. Рассмотрено зависимость влияния комплектации аграрного сектора экономики более производительной техникой позволяет решить сложнейшую социально-экономическую задачу – совершенствования структуры занятого в экономике населения. Предлагается при комплектации машинно-тракторного парка исходить из расчетной цены на технологическую операцию, учитывающую интересы не только сельскохозяйственного предприятия, но и решение социально-экономических проблем.

Ключевые слова: машинно-тракторный парк, эффективность, сельская территория, производительность, механизированная услуга

SOME APPROACHES TO EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE MACHINE SYSTEM IN AGRICULTURAL FORMATIONS

N.F. Kashapov [1], M.M. Nafikov [1], M.Kh. Gazetdinov [2], Sh.M. Gazetdinov [2]
[1] Kazan (Volga) Federal University, Kazan, Russia
[2] Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Annotation. The article examines approaches to improving the efficiency of agricultural production. It is argued that it not only covers the spheres of production, but also directly affects the vital interests of the rural population and the food security of the country. The dependence of the influence of completing the agricultural sector of the economy with more productive equipment is considered, which makes it possible to solve the most difficult socio-economic task – improving the structure of the population employed in the economy. It is proposed to proceed from the estimated price for a technological operation that takes into account the interests of not only an agricultural enterprise, but also the solution of socio-economic problems when completing a machine and tractor fleet.

Keywords: machine and tractor fleet, efficiency, rural area, productivity, mechanized service

Введение. Характерными особенностями современного этапа развития аграрного сектора экономики являются комплексный подход к решению проблемы развития сельских территорий, совершенствование форм организации производства, улучшение управления сельским хозяйством, специализация и концентрация производства, дальнейшее развитие наряду с

крупным производством малого и среднего предпринимательства, формирование интегрированных предприятий, которые создают предпосылки устойчивости в сельском хозяйстве. В социально-экономическом развитии сельскохозяйственного производства четко проявляется объективный процесс обобществления, что приводит к увеличению масштабов аграрных формирований. В связи с этим, открываются широкие возможности применения машин и других современных средств производства.

Стратегические цели, поставленные перед аграрным производством, предполагают развитие новых форм его организации, позволяющие решать, как экономические, так и социальные задачи. Такой формой, в частности, является формирование с наряду с фермерскими (крестьянскими) хозяйствами крупных интегрированных формирований, которые позволяют использовать резервы сельского хозяйства для решения неотложных вопросов экономики. Формирование интегрированных формирований обеспечивает устойчивость сельскохозяйственного производства, что благоприятно сказывается на развитии всей системы экономических отношений в сельских территориях.

Параллельно осуществляются крупные мероприятия по техническому оснащению производства. Так, только по Республике Татарстан за 2015-2019 гг. инвестиционные вложения в АПК составили 140 млрд руб., из них 96 млрд руб. – в сельское хозяйство, 44 млрд руб. – в перерабатывающую промышленность, влекущие за собой комплексное изменение его материально-технической базы. Это обеспечивает рост производительности труда и в целом – подъем экономики сельского хозяйства.

В то же время проблем в аграрном секторе много. По сравнению с 1990 годом посевные площади по Российской Федерации к 2018 г. сократились на 37,1 млн. га, мяса говядины производится 1,6 млн тонн (в 1990 г. – 4 млн. тонн), 3-5 % урожая зерна теряется из-за изношенного состояния зернохранилищ и т.п.

При этом себестоимость 1 ц зерна, по данным Республики Татарстан, за данный период повысилась и составила в 2018 году 715 руб., сахарной свеклы – 173, картофеля – 797, молока – 1770, прироста массы скота – 13919 руб.

Одной из основных причин относительно низкой эффективности принято считать имеющиеся диспропорции в развитии сельского хозяйства и связанных с ним отраслей экономики, т.е. агропромышленного комплекса в целом.

Материалы и методы.

Повышение эффективности сельскохозяйственного производства – сложная комплексная проблема. Она имеет научный и технический, организационный и правовой, но, самое главное, социальный и экономический аспекты. Она не только охватывает сферы производства, но и непосредственно затрагивает жизненные интересы сельского населения и продовольственной безопасности страны. Можно без преувеличения сказать, что от эффективного развития аграрного сектора экономики в решающей мере зависит успешное решение важнейших социально-экономических задач, которые стоят перед государством на современном этапе его развития.

Такое исключительное значение сельского хозяйства и непосредственно связанных с ним других отраслей экономики обусловлено двумя важнейшими факторами. Первый из них заключается в том, что в среднесрочной перспективе планируется увеличить финансирование до 5 % расходной части федерального бюджета, второй состоит в том, что в наши дни примерно половина общего объема розничного оборота государственной и кооперативной торговли приходится на продовольствие, одежду и обувь, т.е. те товары, которые вырабатываются в основном из продукции сельского хозяйства.

Современный этап развития аграрного сектора экономики характеризуется усилением интенсификации, определяющими факторами которой являются механизация и цифровизация производственно-технологических процессов. Эти факторы в развитии каждой отрасли имеют свои специфические особенности. В частности, в животноводстве основой достижения прогнозируемых темпов роста является становление кормовой базы на основе производства культур, обеспечивающих высокую продуктивность и полностью удовлетворяющих внутреннюю потребность отрасли в качественных кормах. Для создания устойчивой кормовой базы необходимо использовать современные технологии заготовки и хранения сырья, а также эффективную кормоуборочную технику, в первую очередь комбайны.

Так, количество кормоуборочных комбайнов в сельскохозяйственных предприятиях Республики Татарстан за последние 20 лет сократилось с 3322 до 730 единиц. Одновременно с этим снизился уровень обеспеченности основными видами техники для кормопроизводства. Так, количество косилок сократилось с 3591 до 1314 единиц, или на 63,4 %, грабли-ворошилки – с 1616 до 616, (на 61,9 %), пресс-подборщики – с 1670 до 1231, (на 26,3 %). Тенденции количественного сокращения кормозаготовительных машин по Республике Татарстан описываются следующими уравнениями:

– кормоуборочные комбайны

$y1 = -580{,}1\ln(x) + 2071{,}8$ $\quad R^2 = 0{,}9053$;

– косилки

$y2 = -860{,}5\ln(x) + 3258{,}2$ $\quad R^2 = 0{,}9462$;

– грабли-ворошилки

$y3 = -340{,}5\ln(x) + 1368{,}2$ $\quad R^2 = 0{,}8457$;

– пресс-подборщики

$y4 = 9{,}2632x2 - 126{,}24x + 1516{,}1$ $\quad R^2 = 0{,}4011$.

В целом выбытие кормозаготовительных машин продолжается оставаться на высоком уровне. В определенной степени сокращение количества кормозаготовительной техник связано с ростом производительности современных агрегатов, каждая единица которых обрабатывает большие площади. Понятно, что одновременно со снижением численности тракторов сокращается и количество прицепного и навесного оборудования пропорционально.

Современный парк кормоуборочных машин представлен как отечественными производителями («Агромаш», «Гомсельмаш», «Ростсельмаша»), так и зарубежными (Krone, New Holland, Claas).

При этом следует отметить, что при обновлении парка кормоуборочной техники доля российской техники в настоящее время повышается. Если 2013 году доля зарубежных производителей на рынке составляла почти 75%, то на данный момент отечественные компании увеличили продажи более, чем на треть. Очевидно, на этот процесс повлияла, в том числе, и программа субсидирования производства сельскохозяйственной техники, принятая правительством России. Еще одна четкая тенденция на рынке сельскохозяйственной техники: прицепное и полунавесное оборудование активно вытесняется самоходной энергонасыщенной кормоуборочной техникой.

Несмотря на высокую производительность импортной техники по сравнению с отечественными машинами, последние являются экономически эффективными. В условиях развития рыночных отношений и конкуренции между субъектами хозяйствования цену за механизированную услугу приходится определят исходя из балансовой стоимости техники и оборудования. При этом расчетная цена должна обеспечивать не только возврат затраченных на производство услуг материально-технических ресурсов, но и прибыль для ведения расширенного воспроизводства и выполнения социально-экономических мер. Тогда расчетная цена на услуги машинного агрегата определяется следующим образом:

Ц = Сбто + Сбто * ((Првп + Псэм) / 100),

Ц – расчетная цена за выполнение работы по технологической карте, руб./га;

Сбто – себестоимость работы по технологической карте, руб. / га;

Првп – прибыль для ведения расширенного воспроизводства, %;

Псэм – прибыль для выполнения социально-экономических мер, %.

Экономическая стратегия государства, направленная на механизацию и автоматизацию сельского хозяйства, нашла свое конкретное воплощение в повышении уровня его технической оснащённости.

В результате все структурные изменения материально-технической базы создают предпосылки планомерного перевода сельского хозяйства на цифровую основу, что будет способствовать дальнейшему увеличению производства сельскохозяйственной продукции.

Так, анализируя результаты аграрного сектора экономики за 10 лет по Республике Татарстан можно сделать вывод о том, что производительность возросла в 2 раза. Достигнутый её уровень в сельском хозяйстве позволил существенно продвинуться в решении сложнейшей социально-экономической задачи – совершенствования структуры занятого в экономике населения. Так, если в 2008 г. во всех отраслях сельского хозяйства было занято 91,8 тыс. чел., то к концу 2018 г. их численность сократилась до 52,6 тыс. чел., т.е. на 42,7 %.

Тенденция описывается следующим уравнением:

$y5=102,06 – 4,79\ t, \qquad R2 =0,995,$

где t – период, годы.

При этом валовая продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах возросла с 1957,5 тыс. руб. до 2201,7 тыс. руб., т.е. на 12,5 %. Соответственно, рост продуктивности сельского хозяйства в анализируемый период был достигнут при абсолютном сокращении численности занятых работников. Социально-экономический эффект такого роста состоит, прежде всего, в повышении продовольственного потенциала страны.

Немалый экономический эффект для экономики страны имеет высвобождение рабочей силы в сельском хозяйстве, так как высвобождаемая рабочая сила позволяет в значительной мере покрывать её дефицит в других отраслях экономики республики и, первую очередь, в сфере малого и среднего бизнеса, без успешного развития которого невозможно решение задач повышения уровня жизни населения. Так, наряду с сокращением уровня обеспеченности сельского хозяйства трудовыми ресурсами произошли и другие значительные изменения в сельских территориях. Капиталоемкость единицы прироста валовой продукции в сельском хозяйстве из года в год возрастает и фондоотдача, соответственно, падает. Основные фонды сельского хозяйства (у6) увеличились на 88%, с 43348 млн. руб. в 2008 году до 81512 млн. руб. в 2018 году. Тенденция описывается уравнением:

$y6=43772,07 + 4185,41\ t, \qquad R2=0,939.$

где t – период, годы.

При этом себестоимость 1 ц зерна в республике за данный период повысилась и составила в 2018 году 715 руб., сахарной свеклы – 173, картофеля – 797, молока – 1770, прироста массы скота – 13919 руб.

Выводы. Одной из основных причин относительно низкой эффективности следует считать имеющиеся диспропорции в развитии сельского хозяйства и связанных с ним отраслей экономики, т.е. агропромышленного комплекса. В настоящее время агропромышленный комплекс развивается в условиях жесткой конкуренции со стороны зарубежных стран. Общеизвестно, в АПК входят отрасли, снабжающие сельское хозяйство средствами производства (сфера I), само сельское хозяйство (сфера II) и отрасли, которые призваны способствовать заготовке, транспортировке, хранению, переработке и реализации сельскохозяйственной продукции (сфера III). Однако под воздействием рыночных условий и конкуренции в развитии отдельных сфер наблюдается серьезная несбалансированность. Недостаточное развитие отраслей, образующих I сферу АПК, обусловливает высокий уровень материально-денежных затрат в сельском хозяйстве, прежде всего из-за отсутствия машин или неконкурентоспособности имеющихся предприятия вынуждены закупать дорогие импортные варианты. Практически это оборачивается тем, например, что такие энергонасыщенные тракторы, как К-744Р, АТМ 7360 и RSM 2375, работают с малопроизводительными сельскохозяйственными машинами и оборудованиями. При этом их потенциальная мощность, производительность и расчетная эффективность, по существу не реализуются.

Слабое развитие отраслей, обеспечивающих переработку сельскохозяйственной продукции, оборачивается для сельского хозяйства огромными потерями. До 10-25% продукции земледелия, на производство которой затрачиваются огромные трудовые, материальные и финансовые ресурсы, теряются из-за того, что не обеспечивается ее надежное хранение и своевременная переработка.

Отмеченные диспропорции являются одной из главных причин тех огромных потерь, которые несет сельское хозяйство.

Таким образом, ключевым вопросом повышения эффективности сельского хозяйства и всего АПК является определение конкурентоспособной стоимости услуг механизированных и роботизированных работ, которая связана с обеспечением эффективной отечественной техникой. Следовательно, центральной задачей является обоснование оптимальных темпов развития отраслей, входящих в АПК, структуры капиталовложений и цен на производимую ими продукцию. Чтобы преодолеть такое положение, необходимо решительно переходить от узкоотраслевого к системному планированию, ориентирующему все отрасли АПК на рост выпуска не промежуточной, а конечной продукции.

Литература

1. Кашапов Н.Ф., Нафиков М.М., Гильманшин И.Р., Газетдинов М.Х., Нафикова М.М., Нигматзянов А.Р. Энергосберегающие технологии возделывания сахарного сорго // В сборнике: Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2016 (МНТК "ИМТОМ-2016"). Материалы Международной научно-технической конференции. 2016. С. 316-321.

2. Газетдинов М.Х., Семичева О.С., Нуруллина Г.Ш. Основы инновационного развития сельских муниципальных районов // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2017. № 5-2 (44). С. 42-45.

3. Газетдинов М.Х., Семичева О.С., Газетдинов Ш.М. Экономические аспекты регулирования развития сельских территорий // Современная экономика: проблемы и решения. 2019. № 8 (116). С. 112-120.

4. Зиганшин Б.Г., Газетдинов Ш.М. О некоторых методологических аспектах создания и развития цифровой экономики // В сборнике: Развитие АПК и сельских территорий в условиях модернизации экономики. Материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения д.э.н., профессора Н.С. Каткова. 2018. С. 9-11.

5. Валге А.М., Сухопаров А.И., Папушин Э.А. Оценка эффективности работы кормоуборочных комбайнов в зависимости от урожайности травы // АгроЭкоИнженерия. 2020. № 3 (104). С. 39-48.

6. Кашапов Н.Ф., М.М.Нафиков, Газетдинов М.Х., Нафикова М.М., Нигматзянов А.Р. Экономическое обоснование выбора машин и орудий для основной обработки почвы под сахарное сорго (научная статья) Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные

машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2015» (МНТК «ИМТОМ–2015»). Ч. 1. – Казань, 2015. – С. 285-288.

References

1. Kashapov N.F., Nafikov M.M., Gil'manshin I.R., Gazetdinov M.H., Nafikova M.M., Nigmatzyanov A.R. Energosberegayushchie tekhnologii vozdelyvaniya saharnogo sorgo // V sbornike: Innovacionnye mashinostroitel'nye tekhnologii, oborudovanie i materialy - 2016 (MNTK "IMTOM-2016"). Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. 2016. S. 316-321.

2. Gazetdinov M.Kh., Semicheva O.S., Nurullina G.SH. Osnovy innovacionnogo razvitiya sel'skih municipal'nyh rajonov // Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii. 2017. № 5-2 (44). S. 42-45.

3. Gazetdinov M.H., Semicheva O.S., Gazetdinov SH.M. Ekonomicheskie aspekty regulirovaniya razvitiya sel'skih territorij // Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya. 2019. № 8 (116). S. 112-120.

4. Ziganshin B.G., Gazetdinov SH.M. O nekotoryh metodologicheskih aspektah sozdaniya i razvitiya cifrovoj ekonomiki // V sbornike: Razvitie APK i sel'skih territorij v usloviyah modernizacii ekonomiki. Materialy I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu so dnya rozhdeniya d.e.n., professora N.S. Katkova. 2018. S. 9-11.

5. Valge A.M., Suhoparov A.I., Papushin E.A. Ocenka effektivnosti raboty kormouborochnyh kombajnov v zavisimosti ot urozhajnosti travy // AgroEkoInzheneriya. 2020. № 3 (104). S. 39-48.

6. Kashapov N.F., M.M.Nafikov, Gazetdinov M.H., Nafikova M.M., Nigmatzyanov A.R. Ekonomicheskoe obosnovanie vybora mashin i orudij dlya osnovnoj obrabotki pochvy pod saharnoe sorgo (nauchnaya stat'ya) Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Innovacionnye mashinostroitel'nye tekhnologii, oborudovanie i materialy – 2015» (MNTK «IMTOM–2015»). CH. 1. – Kazan', 2015. – S. 285-288.

ГЕРМЕТИК ПЛАСТИЛИН-РЕЗИНА ХОЛОДНОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ ДЛЯ РЕМОНТА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Ключников Олег Романович, Ключников Ярослав Олегович

ООО «Олепластика», 420136, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Маршала Чуйкова д.18 оф.44. info@oleplastica.ru

Аннотация. В данной работе представлен герметик пластилин-резина (ГРП) способный к холодной вулканизации в эластомер при 50 °С за 5-10 мин. Ремонтный состав ГРП может найти применение для гидро- электроизоляции композиций металл-полимер-керамика-резина в любых сочетаниях.

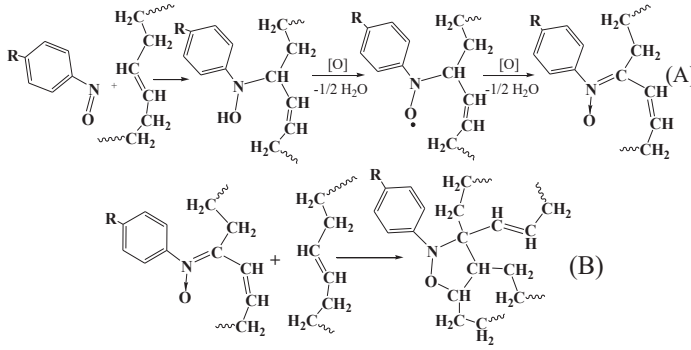
Ключевые слова: реакции вулканизации; герметик; ремонтный состав.

Abstract. This paper presents the sealant plasticine-rubber (SPR) capable of cold vulcanization into elastomer at 50 ° C in 5-10 min. The SPR repair composition

can be used for hydro- and electrical insulation of metal/polymer/ceramic/rubber compositions in any combinations.

Keywords: vulcanization reactions; sealant; repair composition.

Исследования холодной или низкотемпературной вулканизации непредельных каучуков системами, генерирующими нитрозоарены, такими как: *пара*-хинондиоксим + окислитель; поли-*n*-динитрозобензол; 1,3,5-тринитрозобензол; хиноловый эфир ЭХ-1 и др. [1-4], показали две стадии процесса, (А) - с интенсивным ростом поперечных сшивок или крутящего момента и (В) с последующим заметно медленным ростом.

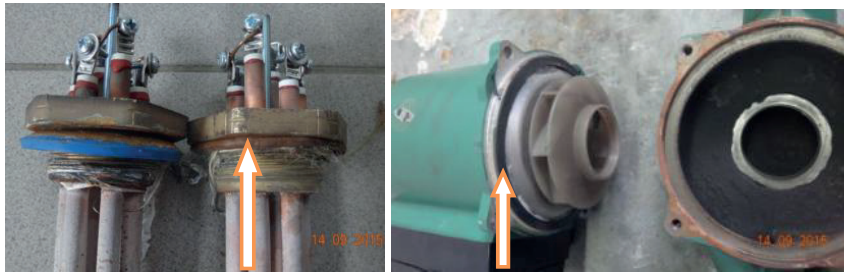


Было обнаружено, что скорость вторичной реакции на порядок менее основной, а последующий прирост крутящего момента, вторичной реакции вулканизации или сшивки каучука всего 10 %.

На основе данного научного задела и патента [5] в ООО Олепластика разработана новая серия ГРП для промышленности, быта и творчества.

На начальном этапе исследования были поддержаны и финансированы фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, номер контракта 11881р/21596, проект № 21596 «Исследования теплофизических и эксплуатационных свойств, условий переработки исходного сырья в эластомерные композиционные материалы холодной вулканизации для промышленности, художественного творчества и быта», отчет [6]. Последующие исследования позволили расширить спектр применения композиций ГРП.

На рис. 1. показан ремонт-замена импортной резиновой прокладки ТЭНа водонагревателя Sunsystem S1000 и циркуляционного насоса марки DAB SMEX 80-16.0 герметиком пластилин-резина ГРП:



(а) (в)

Рис. 1. Замена синей прокладки-уплотнителя в ТЭНе водонагревателя Sunsystem S1000 на ГРП коричневого цвета (а) и в циркуляционном насосе марки DAB SMEX 80-16.0 системы водоподготовки плавательного бассейна «Аквааренa» г. Казань при использовании ГПР черного цвета (в).

Ранее были проведены успешные испытания состава ГПР для ремонта пневмокаркасного мобильного надувного госпиталя республиканского центра медицины катастроф Министерства здравоохранения Республики Татарстан, где цель ремонта- восстановление герметичности мест сопряжения пневмоклапанов с резиновыми пилонами. ГПР наносится толстым слоем на очищенную поверхность вокруг пневмоклапана, отверждается горячим воздухом промышленного фена. После вулканизации в полевых условиях пневматический модуль выдержал испытания до расчетного давления 0,2 МПа. Результаты испытаний представлены в публикации [7] и утверждены директором РЦМК МЗ РТ.

При дополнительном использовании разработанного праймера Олепластика, после его предварительного нанесения на поверхность детали и вулканизации состава ГПР, удалось добиться когезионного разрушения на 90-100% композиций металл/полимер/керамика (стекло)/резина.

На рис. 2 показан пример испытания состава ГПР черного цвета на синих полимерных грибках Римамид.ру, где демонстрируется пример когезионного разрушения (правое фото) на 95-98% и отличная адгезия римамида к отвержденной резине ГРП.

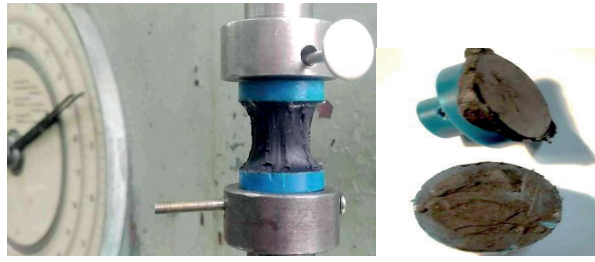


Рис. 2. Испытание состава ГПР на римамидных грибках с когезионным разрывом по резине.

Также, праймер Олепластика позволил обеспечить отличную адгезию ГРП к стеклу. На рис. 3 (c) показан пример художественной композиции на силикатном стекле из цветных составов- зеленого, коричневого, красного и желтого цветов ГРП.

Для ремонта РТИ праймером может служить исходный герметик ГРП нанесенный на поверхность ремонтируемой резины в виде раствора в растворителе напр. бензине, ксилоле, 646.

На рис. 3 (d) показан пример использования черного состава ГРП как ремонтного состава для наращивания резинового слоя в полевых условиях к стертому участку протектора длинной 20-25 мм глубиной 3-5 мм поверхности автопокрышки (после неудачной эвакуации автомобиля), фото после ремонта и пробега-испытания 450 км в июне-октябре 2022 г.

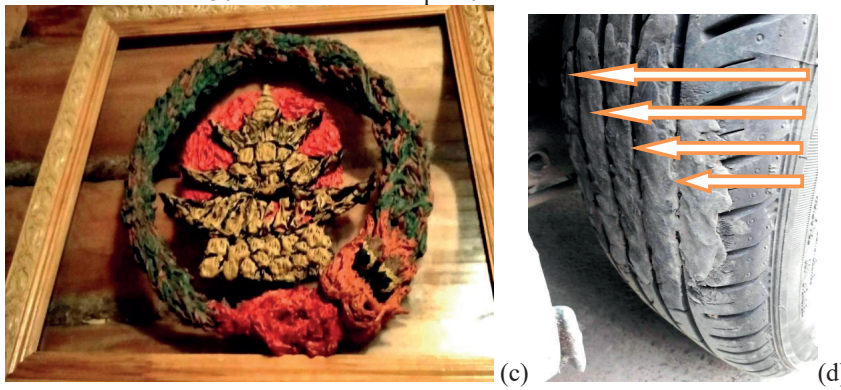


Рис. 3. Пример художественной композиции (c) «Дракон-символ Азии», автор Олег Ключников, из цветных составов ГРП с отличной адгезией к силикатному стеклу и пример черного герметика ГРП (d) к изношенной поверхности автопокрышки.

Заключение. Таким образом свойства герметика ГПР с условной прочность на разрыв 8-10 МПа, относительным удлинением 100-300%, термостойкостью 110–130^{o}С, электрической прочностью на пробой 1 мм- 20 кВ, являются предпосылками его широкого применения в ремонтных работах, творчестве и быте. Дополнительное использование праймера Олепластика обеспечивает высокую адгезию резины ГПР к стали, алюминию, латуни, полипропилену, ПВХ, АВС-пластику, резине, поликарбонату, полиметилметакрилату, полиамиду, силикатному стеклу и керамике в разных сочетаниях.

Литература

1. Ключников О.Р. С-нитрозо N-оксидные системы вулканизации. Монография. -Казань, КНИТУ, 2018. -С. 160.

2. Klyuchnikov O.R., Martianov N. A., Kiyamov I K., Sabitov L. S., Morozov D. A., Gilmanshin I. R. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 570. 2019. 012058. DOI:10.1088/1757-899X/570/1/012058.

3. Klyuchnikov O.R. Development of the direction of vulcanization of elastomers with quinol ethers // International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. September 16, 2020. Beijing, PRC. Part 1: Participants’ reports in English. P. 80-88. DOI:10.34660/INF.2020.20.93.012.

4. Klyuchnikov O.R., Klyuchnikov Ya.O. Vulcanization of Elastomers with Quinol Ethers of p-Benzoquinone Dioxime// Key Engineering Materials. New Polymer Composite Materials III. -2021.-Vol. 899. -P. 479-485. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.899.479.

5. Патент РФ, 2575652. Отверждаемый пластилин Ключниковых. Ключников О.Р., Ключников Я.О., Ключников И.О., Ключникова В.С. Опубл. 2016, Бюл. № 5.

6. Исследования теплофизических и эксплуатационных свойства, условий переработки исходного сырья в эластомерные композиционные материалы холодной вулканизации для промышленности, художественного творчества и быта // О.Р. Ключников. Отчет по контракту с фондом содействия предприятий в научно-технической сфере по программе СТАРТ-1 № 11881р/21596 от 13.05.2013. Рег. № НИОКТР 01201365796 от 04.07.2013. Рег. № ИКРБС АААА-Б16-216052070038-0 от 20.05.2016. -80 стр.

7. Ключников О.Р., Ключников И.О. Ремонтный состав резины холодной вулканизации для промышленных резинотехнических изделий // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2015» МНТК «ИМТОМ-2015». Казань: Фолиант, 2015. -Ч. 2. –С. 129-131.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАССООБМЕННОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ УСТАНОВКИ С ОБНОВЛЯЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Лашков Вячеслав Александрович
КНИТУ (КХТИ), 420015, Казань, ул. К.Маркса, 68
Кондрашева Светлана Геннадьевна
КНИТУ (КХТИ), 420015, Казань, ул. К.Маркса, 68
Хамидуллина Дина Александровна
КНИТУ (КХТИ), 420015, Казань, ул. К.Маркса, 68
Каратаева Елена Сергеевна
К(П)ФУ, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

Проведено исследование двухстадийного обезвоживания суспензий: механического отделения жидкости и сушки влажного осадка в фильтрующих центрифугах. Анализ данной системы базируется на математическом описании взаимосвязанных процессов. По результатам проведенных исследований в CAD/CAE системе спроектирована и многосекционная массообменная

центробежная установка, разделенная по длине на требуемое число зон контакта фаз, в которой кроме стадий механического обезвоживания и сушки можно также организовать процессы химического взаимодействия фаз и промывки осадка.

Ключевые слова: центрифуга, многосекционный массообменный аппарат, фильтрующая лента, инженерный анализ, CAD/CAE система.

A study of two-stage suspension dehydration was carried out: mechanical separation of liquid and drying of wet sediment in filter centrifuges. The analysis of this system is based on a mathematical description of interrelated processes. Based on the results of the studies carried out in the CAD/CAE system, a multisection mass transfer centrifugal installation was also designed, divided along its length into the required number of contact zones of phases, in which, in addition to the stages of mechanical dehydration and drying, it is also possible to organize the processes of chemical interaction of phases and washing the sludge.

Key words: centrifuge, multi-section mass transfer apparatus, filter belt, engineering analysis, CAD/CAE system.

Центробежное фильтрование применяется в различных отраслях промышленности: в химической - для разделения суспензий и эмульсий; в нефтеперерабатывающей - для обезвоживания нефти, разделения и обработки буровых растворов; в пищевой - для производства вина, сока, пива и масла и т.д. Наиболее широкая сфера применения центрифуг - очистка бытовых и промышленных стоков.

В фильтрующей центрифуге при разделении суспензии, как правило, последовательно протекают стадии образования осадка, его уплотнения и механической сушки (возможны сопутствующие стадии, например, промывки осадка).

При обезвоживании наиболее эффективным является применение двухстадийного обезвоживания, включающего механическое отделение жидкости и сушку влажного осадка. Анализ химико-технологической системы, содержащей стадии механического и теплового удаления жидкой фазы, базируется на математическом описании взаимосвязанных процессов.

Известные описания процесса центробежного фильтрования наиболее полно представлены, например, в трудах В.И. Соколова [1] и Д.Е. Шкоропада [2]. Несмотря на свои безусловные достоинства, данные математические модели, независимо от различия подходов, имеют, некоторые общие недостатки. В первую очередь, отметим, что в большинстве этих работ предполагается наличие трех периодов центробежного фильтрования, последним из которых является механическая сушка осадка. Описание различных периодов фильтрования в этих моделях опирается на физические представления различной природы, что усложняет стыковку математических моделей при практическом расчете процесса.

Кроме этого, применение этих моделей требует проведения большого количества предварительных исследований для определения различного рода коэффициентов и параметров процесса, входящих в расчетные формулы.

В работах [3, 4] приводятся основные кинетические уравнения по стадиям обезвоживания.

Для стадии центробежного отделения капиллярной влаги из осадка

$$\tau = 2\mu\mu_{oc}r_э\int_h^{h_{oc}}\frac{hdh}{\rho_ж\omega_ц^2 r_0[R_2^2-(R_2-h)^2]-4\sigma}+\tau_1.$$

Полученная зависимость справедлива для момента достижения фронтом насыщения высоты капиллярного подъема $h_к$, после чего процесс прекращается.

Общая продолжительность определится подстановкой в формулу выражение для определения $h_к$ по известной формуле Жюрена [1]

$$\tau_1 = \frac{\mu r_0(h_0-h_{oc})}{\rho_ж\omega_ц^2 Fr_{ср.ц}g}.$$

Для стадии центробежной сушки закон изменения температуры теплоносителя при прохождении его через слой осадка определится зависимостью

$$(t-t_м) = (t_0-t_м)exp\frac{\alpha f(R^2-R_{2c}^2)}{2W_0R_{2c}\rho_г c_г}\rho_м(1-\varepsilon)dR,$$

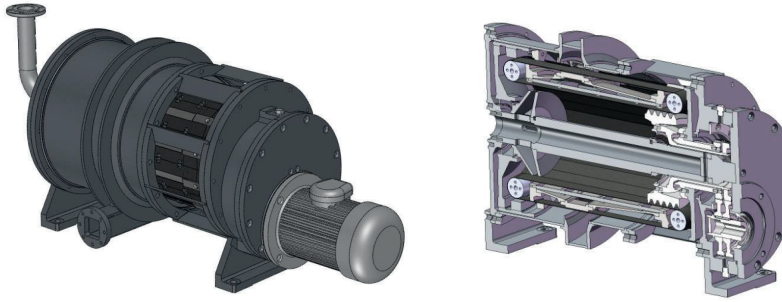
а интегральная скорость сушки - выражением

$$N_{ср} = -\frac{\alpha f(t_0-t_м)}{(R_{2c}-R_{1c})}\int_{R_{1c}}^{R_{2c}}exp\frac{\alpha f(R^2-R_{2c}^2)}{2W_0R_{2c}\rho_г c_г}\rho_м(1-\varepsilon)dR.$$

Независимо от принципа действия центрифуги имеют общий недостаток, заключающийся в сложности регенерации фильтрующей поверхности. Неполное удаление дисперсных частиц с фильтрующей поверхности, их внедрение в поры фильтрующего элемента и уплотнение центробежными силами приводит к возрастанию сопротивления разделения. В литературе приводятся различные конструкции регенерирующих узлов, основанных на: механическом удалении слоя осадка, действии эффекта гидравлического клина и гидравлического удара при пульсациях противодавления в дополнительно образованном зазоре, изменении геометрии фильтрующего элемента и нарушении целостности уплотненного слоя и т.п. Анализ литературных источников позволяет сделать вывод о том, что в данных технических решениях наблюдается локальная, но не полная регенерация фильтрующей поверхности.

В работе [5] приводится перспективное направление по восстановлению активности фильтрующей поверхности, состоящей из отдельных элементов (лопаток), имеющих возможность поочередного поворота с ускорением вокруг собственной оси. Однако конструкция фильтрующей поверхности не позволяет обеспечить многостадийное взаимодействие осадка с различными средами при заданном времени пребывания твердой фазы в центробежном поле.

По результатам проведенных исследований в CAD системе Компас 3-D с интегрированной CAE системой APM WinMachine спроектирована и многосекционная массообменная центробежная установка (рис.1). Система APM WinMachine позволяет производить проектные и проверочные расчеты на прочность механических передач, отдельных узлов и деталей машин [6, 7], а также инженерный анализ конструкции с целью выбора оптимального варианта решения задачи.



а б

Рис.1. Массообменная центробежная установка:
а - общий вид; б - продольное сечение

Массообменная установка представляет собой роторный центробежный фильтрующую горизонтальную центрифугу (аппарат), разделенную по длине на требуемое число зон контакта фаз (кроме стадий механического обезвоживания и сушки по длине центрифуги можно также организовать процессы химического взаимодействия фаз и промывки осадка), с коаксиальными питающими трубами, окнами ввода исходной суспензии, жидких реагентов и промывной воды в соответствующую зону, окнами отвода воды и жидких реагентов из контактных зон, а также обезвоженной твердой фазы. Жидкие компоненты циркулируют в замкнутом цикле. Осаждение твердой фазы и ее перемещение по длине установки из зоны в зону осуществляется непрерывной движущейся фильтрующей лентой транспортеров. Транспортеры, размещенные по окружности, образуют ротор центрифуги в виде торовой фильтрующей поверхности без разрывов, а перемещение ленты обеспечивается взаимодействием упоров ленты с винтовой линией приводного механизма.

Принцип работы массообменной установки заключается в следующем. При вращающемся роторе, состоящего из набора ленточных транспортеров, в первую зону по питающей трубе подается исходная суспензия, которая центробежными силами отбрасывается на внутреннюю поверхность движущейся фильтрующей ленты. Осадок тонким слоем распределяется на

ленте и перемещается в смежную зону, а жидкость отводится через окно. В следующей зоне по питающей трубе подается химический реагент, в результате взаимодействия которого с тонкодисперсным осадком осуществляется химическая реакция с получением заданного продукта.

Скорость движения фильтрующей ленты задает время пребывания слоя дисперсного осадка в зонах контакта. Подача воды в последующую зону обеспечит промывку и стабилизацию продукта, а подача теплоносителя - его сушку до требуемой влажности. Потери твердой фазы по данной технологии составляют 2,5-5%.

Подвод и отвод реагентов, воды и энергоносителей осуществляется по соответствующим патрубкам и окнам.

При перемещении сыпучего продукта на внешнюю поверхность транспортеров обеспечивается его выгрузка и очистка фильтрующей поверхности.

Список литературных источников

1. Соколов В.И. Центрифугирование. М.: Химия, 1979. 407 с.

2. Шкоропад Д.Е., Новиков О.П. Центрифуги и сепараторы для химических производств. М.: Химия, 2010. 256 с.

3. Мухтаров Я.С., Суфиянов Р.Ш., Лашков В.А. Моделирование процесса отделения капиллярной влаги из осадка на фильтрующей центрифуге // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 7. С. 232-233.

4. Мухтаров Я.С., Суфиянов Р.Ш., Лашков В.А. Расчет предельной толщины слоя материала, высушиваемого в центробежной сушилке // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 12. С. 136-137.

5. Karataeva, E.S., Lashkov, V.A., Brodt, A.A., Akhlyamov, M.N. Development of turning-filtering mechanism of centrifuges // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 570(1), 012037.

6. Каратаев О.Р., Завьялова В.Е., Лашков В.А. Расчет параметров цепных передач в модуле АРМ Trans // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 12. С. 140-142.

7. Лашков В.А., Кондрашева С.Г., Ганин Е.А. Расчет прочности валов машин с помощью расчетно-графического модуля АРМ Shaft // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 7. С. 94-96.

ОБРАБОТКА СЛОЖНЫХ МНОГОКЛЕТОЧНЫХ СТРУКТУР РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В УСТАНОВКЕ С БАРАБАННОЙ СУШИЛКОЙ

Лашков Вячеслав Александрович
КНИТУ (КХТИ), 420015, Казань, ул. К.Маркса, 68

Существующие способы обработки сложных многоклеточных структур растительного происхождения (семян растений) не решают комплексной задачи по обеспечению сохранности семенного фонда перед посевом и хранением. В связи с этим, благоприятные погодные условия способствуют развитию болезнетворных микроорганизмов и вредителей, что приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Для комплексной обработки семян разработана установка, в основе которой использована барабанная сушилка для дисперсных материалов. Кинематический и прочностные расчеты передач и деталей установки производились в системе АРМ WinMachine.

Ключевые слова: семена сельскохозяйственных культур, комплексная обработка, барабанная сушилка.

Existing methods for processing complex multicellular structures of plant origin (plant seeds) do not solve the complex problem of ensuring the safety of the seed fund before sowing and storage. In this regard, favorable weather conditions contribute to the development of pathogens and pests, which leads to a decrease in crop yields. For the complex treatment of seeds, an installation was developed, which is based on a drum dryer for dispersed materials. Kinematic and strength calculations of gears and parts of the installation were carried out in the APM WinMachine system.

Key words: seeds of agricultural crops, complex processing, drum dryer.

В последнее время наблюдается рост цен на сельскохозяйственную продукцию во всем мире, вызванный снижением объемов ее производства, вследствие сложных геополитических, экономических и природных факто-ров. В связи с возможным продовольственным кризисом повышение уро-жайности сельскохозяйственных культур становится определяющим.

Одним из направлений повышения урожайности является сохранение семенного фонда (сложных многоклеточных структур растительного происхождения) путем обработки семян перед хранением и посевом от патогенов и сельскохозяйственных вредителей.

Способы для предпосевной обработки семян и конструкции устройств [1, 2], представленные в литературе, решают только определенную задачу. Вследствие чего, наличие болезнетворных микроорганизмов и вредителей сельскохозяйственных культур в исходном материале перед посадкой объясняется неэффективной обработкой семян перед хранением или ее отсутствием.

Для обработки сложных многоклеточных структур растительного происхождения разработана установка, в основе которой использована барабанная сушилка для дисперсных материалов (принципиальная схема установки представлена на рис.1). Кинематический и прочностные расчеты передач и деталей производились в системе АРМ WinMachine [3-5]. Решение технической задачи позволило обеспечить комплексную обработку семян с получением кондиционного посевного материала, в том числе по влажности, исключающей условия для благоприятного роста болезнетворных микроорганизмов и сельскохозяйственных вредителей, как перед посевом, так и перед хранением.

Установка включает горизонтальную камеру 1, имеющую форму полого цилиндра, с возможностью вращения вокруг оси, которая выполнена из каркаса, обтянутого сеткой 2 по образующей, а с торцов каркас снабжен сетчатыми кольцами 3 с отверстиями 4. Камера 1 помещена с зазором в теплоизолированный корпус 5. Установка снабжена загрузочным 6 узлом и разгрузочным узлом. Последний выполнен в виде трубопровода 7 с отверстиями, расположенными на одной образующей, отверстия трубопровода снабжены трубками 8 с открытыми концами, при этом трубопровод 7 размещен в камере 1 по центру с возможностью вращения вокруг продольной оси. Установка включает емкость для жидкого агента 9, которая размещена под камерой 1, и сообщена с емкостями для жидкого агента 10, 11, 12, 13. Кроме того, емкость для жидкого агента снабжена нагревателем 14 и насосом 15, который обеспе-чивает рециркуляцию жидкого агента. Полость камеры 1 сообщена через трубопровод 7 и ресивер 16 с вакуумным насосом 17. Установка снабжена вентилями 18-29.

Установка для предпосевной обработки семян (на примере семян томатов) работает следующим образом.

Включают привод (на рис. не показан), при вращающейся камере 1 из загрузочного узла 6 во внутренний объем камеры 1 подают посевной материал - семена томатов. Под действием сопротивления посевного материала и силы тяжести, разгрузочный узел, раскачиваясь, разравнивает слой семян по поверхности сетки 2 камеры 1.

В емкость для жидкого агента 9 поочередно подают жидкие агенты из емкостей 10 (раствор поваренной соли), 11 (промывную воду), 12 (раствор перманганата калия), 13 (гуммата калия или натрия), а после обработки се-мян томатов, отработанный агент направляют в ту же емкость для сброса агента, используя вентили трубопровода и насос 15.

В емкость жидкого агента 9 из емкости 10 при открытом вентиле 23 и закрытом вентиле 18 насосом 15 подают 5-7 мас.% раствор поваренной соли. Уровень раствора в емкости 9 должен с избытком покрывать слой семян в камере 1. При обработке раствором поваренной соли в течение 1,5-2 часов выделяют нежизнеспособные (пустые) семена, которые удаляют с поверхности раствора через отверстие 4 торцового сетчатого кольца 3. Низкая скорость вращения камеры 1 и раскачивание разгрузочного узла обеспечивают разравнивание семян и перераспределение частиц в ожиженном слое, что

способствует равномерному обтеканию семян жидкостью. По окончании обработки раствор поваренной соли сливают из емкости для жидкого агента 9 в емкость10 для сброса агента при открытых вентилях 18, 19 и закрытом вентиле 23. Требуемая температура раствора 25-30 0С обеспечивается нагревающим устройством 14.

На стадии промывки семян в емкость для жидкостного агента 9 из емкости 13 при открытом вентиле 26 и закрытом вентиле 18 насосом 15 подают воду. Длительность промывки 10-20 мин., по окончании которой открывают вентили 18, 22, (при закрытом вентиле 26) и сливают воду из емкости для жидкостного агента 9 в емкость 13 для сброса агента.

На стадии обеззараживания семян в емкость для жидкого агента 9 из емкости 11 при открытом вентиле 24 и закрытом вентиле 18 насосом 15 подают 1% раствор перманганата калия (KMnO4). Длительность обеззараживания 20-30 мин. По окончании обеззараживания открывают вентили 18, 20 (при закрытом вентиле 24) и сливают раствор из емкости для жидкостного агента 9 в емкость 11 для сброса агента.

На стадии обработки питательными веществами семян в емкость для жидкого агента 9 из емкости 12 при открытом вентиле 25 и закрытом вентиле 18 насосом 15 подают раствор гуммата калия или натрия.

Одновременно с обработкой питательными веществами в виде суспен-зии проводят барботирование слоя семян. Для этого (при открытом вентиле 27) по трубопроводу 7 и трубкам 8 в суспензию подают воздух, который обеспечивает ожижение слоя семенного материала и насыщение его кисло-родом. Длительность совместных процессов может составлять 10-12 часов. По окончании процесса обработки питательными веществами открывают вентили 18, 21 (при закрытом вентиле 25) и сливают питательный раствор из емкости для жидкостного агента 9 в емкость 12 для сброса агента.

Отработанный воздух удаляют через сетку 2, в теплоизолированный корпус 5 и направляют на очистку (в фильтр или циклон).

Установка позволяет осуществлять как барботирование слоя семян, так и сушку в псевдожиженном режимах. При открытом вентиле 27 по трубопроводу 7 и трубкам 8 теплоноситель подают в слой влажных семян. В слое семян, расположенном между выходным концом трубок 8 и сеткой 2, нагретый воздух, частично отражаясь от сетки 2, приводит слой в псевдожиженное состояние и равномерно обтекает частицы материала. Идентичность условий обработки семенного материала и рациональная гидродинамика, а также мягкий режим теплообмена (температура теплоносителя 30-50 0С) в тонком слое обеспечивает качественную сушку семян томатов. Отработанный теплоноситель из внутреннего объема барабанной сушилки удаляют через сетку 2 в теплоизолированный корпус 5 и направляют на очистку (в фильтр или циклон).

По достижению материалом заданной влажности 8-9% (влажности сыпучего состояния) перекрывают вентили 27, 29, открывают вентиль 28 и включают вакуумный насос 17. За счет разрежения семена через открытые концы трубок 8 удаляются из камеры 1 в ресивер 16. Для выгрузки обработанных семян из ресивера 16 открывают вентиль 29.

Подготовка семян к хранению включает стадии промывки водой, обеззараживания и сушки при сохранении той же последовательности выполнения операций, что и при предпосевной обработке.

Список литературных источников

1. Устройство для предпосевной обработки семян: Пат. 2224400 Рос. Федерация. № 2002123625 / В.М. Иванов и др.: заявл. 04.09.2002; опубл. 27.02.2004 Бюл. № 6.

2. Устройство для СВЧ предпосевной и послеуборочной обработки семян: Пат. 2498551 Рос. Федерация. № 2012111630 / А.Н. Иванов и др.: заявл. 26.03.2012; опубл. 20.11.2013 Бюл. № 32.

3. Каратаев О.Р., Завьялова В.Е., Лашков В.А. Расчет параметров цеп-ных передач в модуле АРМ Trans // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 12. С. 140-142.

4. Лашков В.А., Сорокин С.А., Кондрашева С.Г., Ганин Е.А. Проектирование и инженерный анализ механизмов в CAD/CAE системах. / Вестник Казанского технологического университета. 2018. Т. 21. № 3. С. 139-142.

5. Лашков В.А., Кондрашева С.Г., Ганин Е.А. Расчет прочности валов машин с помощью расчетно-графического модуля АРМ Shaft // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 7. С. 94-96.10.

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА КИНЕТИКУ СОСТАВА И СВОЙСТВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Муратаев Фарид Исхакович
Евлампьев Андрей Валерьевич

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Аннотация: Выявлены и проанализированы изменения состава и структуры сплавов ВТ22, ВТ8, ВТ25 и ВТ6 в результате импульсного ударного упрочнения от поверхности лазерного пятна в глубину. Предложены виды и режимы объемного и поверхностного упрочнения титановых сплавов с применением лазерных технологий ударного упрочнения и наплавки. Определено влияние технологических факторов на изменение микротвердости по величине в глубину и от центра поверхности воздействия на образцы сплавов ВТ6 и ВТ22.

Abstract: Changes in the composition and structure of VT22, VT8, VT25 and VT6 alloys as a result of impulse shock hardening from the surface of the laser spot into the depth are revealed and analyzed. The types and modes of volumetric and surface hardening of titanium alloys using laser technologies of impact hardening and surfacing are proposed. The influence of technological factors on the change in

microhardness in depth and from the center of the surface of the impact on the samples of VT6 and VT22 alloys has been determined.

Ключевые слова: упрочнение лазером титановых сплавов.

Эффективным методом повышения твердости и стойкости против износа титановых сплавов мартенситного и переходного классов является широкое применение лазерных технологий [1-5]. Исследованы превращения состава, структуры и микротвердости образцов титановых сплавов ВТ22, ВТ8, ВТ6пч и ВТ25 подвергнутых лазерному ударному упрочнению. В качестве источников упрочнения в работе использовались лазерный комплекс «FMark-20 RL» и модуль импульсной лазерной наплавки на базе волоконного генератора ЛС-10 [1, 6, 7].

В результате импульсного ударного упрочнения на поверхности формируется литая структура, а в подложке микроструктура представлена α дендритами и высокодисперсной или игольчатой αп - превращенной фазами. Структура фиксируется с помощью сканирующего электронного микроскопа «Auriga Cross Beam» [7, 8] с программным обеспечением «Smart Sem».

Структура состоит из зон: «плато» с кратером (ЗП), оплавления металла (ЗОМ) и термического влияния (ЗТВ). Она имеет участки взаимодействия с внешней средой, т.е. «плато» с литой неоднородной структурой металла и участка без взаимодействия – фрагмент, с частичным оплавлением включая литую структуру. Например, в результате увеличивается микротвёрдость сплава ВТ6 (HV100) от 3000МПа до 6500…7500 HV100 (в МПа) степень его упрочнения в зонах лазерного воздействия (ЗЛВ) – от глубинных слоев к поверхности «плато» [1, 8]. Степень повышения твердости зависит от параметров режима генератора, состава сплава, типа исходной структуры и последующей термической обработки (рис.1).

С помощью спектрометра INCA X-Max выявлено, что на поверхности кратера, от воздействия лазерного луча, в сплаве ВТ22 окисляется Cr на глубину до 20мкм, сильно окисляются и выгорают Ti, Mo и V на глубину до 60мкм (рис.2). Эта глубина в четыре раза больше в сравнении с эффектом от действия лучом лазера на поверхность сплава ВТ6, в котором Ti и V окисляются и выгорают на глубину до 15мкм [1].

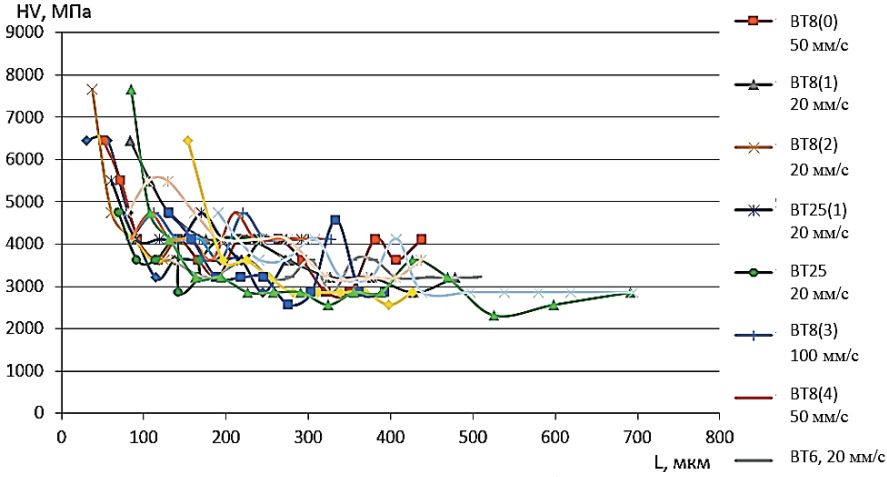


Рис.1 Изменение (увеличение) микротвердости образцов сплавов Вт8, ВТ6пч и ВТ25 у поверхности кратера при упрочнении лазером при скорости обработки - V=20, 50 и 100 (мм/с)

Установлен факт резкого изменения содержания Ti, Si, V, Mo, Cr, Al и др. элементов (Ca, N, H и C) на участке, прилегающем к «плато» включая часть ЗТВ при взаимодействии с компонентами среды (в основном с кислородом и азотом). Последние приводят к выгоранию на плато Ti и V, а Mo частично испаряется. Кроме того, дестабилизируются концентрации алюминия, углерода, хрома, кремния, а при взаимодействии Al с кислородом, кремнием и азотом образуются в зоне «плато» сложные соединения оксидов типа шпинелей алюминия, двойных шпинелей Al2O3 x Cr2O3 и фаз внедрения титана (TiC), карбонитридов и соединений SiC. Высокая диффузионная активность азота (особенно с титаном) способствует образованию нитридов и оксидов (Ti и Al) на участках частичного оплавления и в ЗТВ. Это существенно повышает твердость поверхности титановых сплавов и способствует значительному увеличению антифрикционных свойств образцов сплава ВТ6 [1, 4, 8] и стойкости поверхностей деталей к износу.

Геометрические параметры ЗЛВ и особенно ЗОМ в титановых сплавах существенно зависят от режимов лазерной обработки. При сочетании больших величин теплового вложения высококонцентрированной энергии и низких теплофизических свойств титана возможны случаи негативного результата лазерной обработки [4]. Т.е. при значительных градиентах температуры, давление испаряющихся паров приводит к выдавливанию части жидкого металла, способствуя увеличению проплавляющей способности лазерного луча, за счёт более глубокого его проникновения через небольшой кратер в центре ЗОМ, который в последней фазе импульса заплавляется, затем твердеет в виде «плато» окисляя Ti. При этом возникают огромные внутренние напряжения, наклеп и дополнительное твердению «плато».

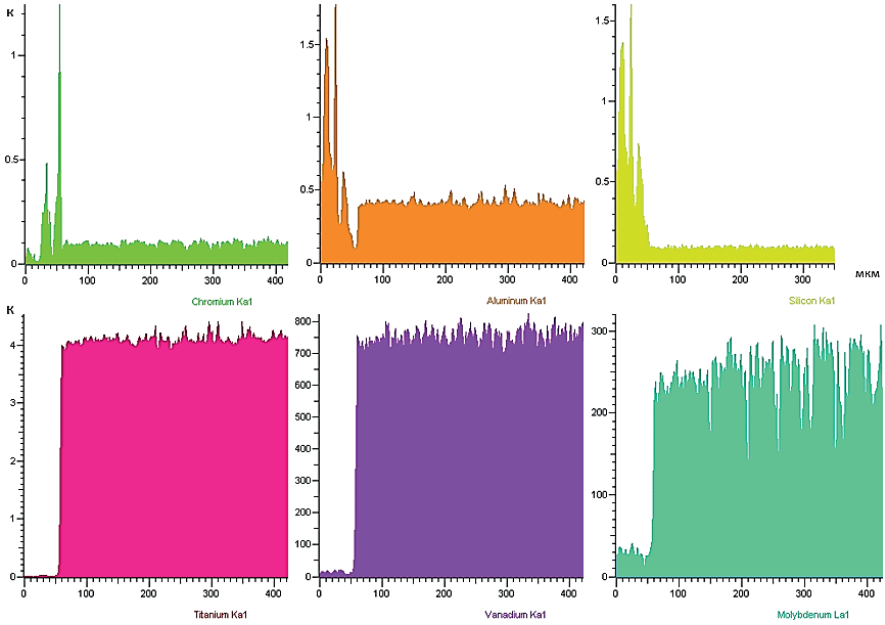


Рис.2 Изменение химического состава основных компонентов сплава ВТ22 от поверхности «плато» к исходному металлу при лазерной обработке в атмосферных условиях

Для обеспечения стабильности свойств, достижения большего упрочнения сплава ВТ6 после лазерной закалки на твердость свыше HRC60 необходимо фазовое старение. Помимо локализации воздействия и увеличения твердости выявлен факт стабилизации геометрии и размеров рабочих поверхностей деталей. Эффективность упрочнения сплава определяется скоростью роста величин градиентов температуры и концентрации пересыщенных фаз α+αп+α′+α″+βп. Твердость упрочненного слоя зависит от дисперсности низкотемпературной фазы (α), превращенной αп, и превращенных после старения α′+α″+βп – фаз. Влияние марочного состава сплава и скорости обработки концентрированным тепловым потоком - V (мм/с) на микротвердость сплавов ВТ8 и ВТ6 представлено на рис.3. Видно эффективность повышения твердости обеспечивается при скорости обработки V =20 мм/с соответственно в среднем относительно темпа в V =50 мм/с в сплаве ВТ8 – на 96% и относительно темпа обработки в V =100 мм/с – в сплаве ВТ6 на 34%. Причем в сплаве ВТ8 в глубину 300мкм, в сплаве ВТ6 – 150мкм. Т. О., повышение твердости при лазерном упрочнении (с оптимальной V =20 мм/с) относительно исходного состояния сплавов составили соответственно: ВТ8 на 100% и ВТ6 – на 125%.

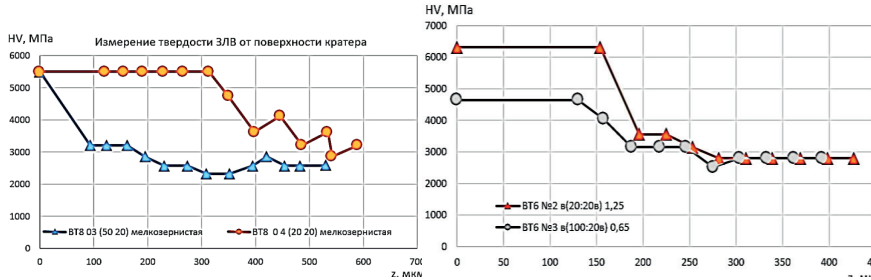


Рис.3 Изменение твердости у поверхности образцов сплавов ВТ8 и ВТ6 при скоростях лазерной обработки V =20, 50 и 100 мм/с в атмосферных условиях.

От действия лучом лазера на поверхность сплава ВТ22 Cr окисляется на глубину до 20мкм, много больше, окисляются и выгорают Ti, Mo и V - на глубину до 60 мкм. На поверхности (в лазерном кратере) сплава ВТ6, Ti и V окисляются и выгорают на глубину до 15мкм.

Использованные литературные источники

1. Муратаев Ф.И., Махмутянов А.Н., Муратаев Т.А. Превращения титановых сплавов в лазерном пятне при ударном упрочнении // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2020. № 2. С. 57–62.

2. Муратаев Т.А., Фролова А.Б., Муратаев Ф.И., Согласование характеристик структуры и конструкционной прочности титановых сплавов мартенситного и переходного классов Materials. Technologies. Design. - [S. l.], v. 3, n. 2(4), p. 25-31, авг. 2021. ISSN 2658-7572.

3. Клабуков М.А., Данилов Е.В. Обоснование состава материалов и технологий рабочих поверхностей микрохирургического инструмента // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2019. №2. С. 66-73.

4. Муратаев Ф.И., Клабуков М.А. Особенности лазерного ударного упрочнения сталей и титановых сплавов // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2012 №4. С. 82-84.

5. Муратаев Ф. И., Мухамадеев И. М. Закономерности структурных состояний и характеристик конструкционной прочности штамповок титанового сплава // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. 2020. Т. 76, № 2. С. 46–52.

6. Клабуков М.А., Колесников Д.Н. Согласование характеристик структуры и свойств титановых сплавов // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2020. № 2. С. 53–56.

7. ШАБАЛИН Е.А., МУРАТАЕВ Т.А., МУРАТАЕВ Ф.И. Ранжирование характеристик конструкционной прочности в задачах обеспечения долговечности и надежности сплавов. Materials. Technologies. Design, [S. l.], v. 3, n. 2(4), p. 51-61, авг. 2021. ISSN 2658-7572.

8. Murataev F.I., Galimov E.R. Development of a technology for hardening the working surfaces of microsurgical tools from titanium alloy // IOP Conf. Ser.:

Materials Science and Engineering. 2020. V. 915. Article number 012042. DOI: 10.1088/1757-899X/915/1/012042.

АНАЛИЗ СОСТАВЛЯЮЩИХ СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ В ЗАДАЧАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Муратаев Фарид Исхакович
Галимов Энгель Рафикович
Хуснетдинов Карим Рамилевич

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Аннотация: Определены характеристики состава, структуры и свойств переходной зоны сварного соединения медных и алюминиевых трубок в раструб, выполненного контактной сваркой и представляющего собой в переходной зоне композиционный металл. Выявлены изменения поэлементного состава участков разнородного сварного соединения, полученного твердо-жидкими превращениями металла трубок. Определены структурные превращения на участках расплавленного металла и твердой фазы, и определены значения распределения твердости на участках сплавления алюминия и диффузионных превращений меди в композитном слое.

Abstract: The characteristics of the composition, structure and properties of the transition zone of a welded joint of copper and aluminum tubes into a socket, made by resistance welding and representing a composite metal in the transition zone, have been determined. Changes in the element-by-element composition of the sections of a dissimilar welded joint obtained by solid-liquid transformations of the metal of the tubes are revealed. Structural transformations in the areas of molten metal and solid phase are determined, and the values of hardness distribution in the areas of aluminum fusion and diffusion transformations of copper in the composite layer are determined.

Ключевые слова: сварка меди с алюминием, структура, твердость.

Исследуются фрагменты натурных элементов теплообменных аппаратов и образцы разнородных СС медных и алюминиевых трубок и микрошлифы. Они имеют переходную зону СС сложного структурного состава, участки оплавления и диффузионной сварки и повреждаются в производстве и при эксплуатации (рис.1) [1-5]. Измерениями и анализом микротвердости переходных участков СС выявлены уровни значений в интервале H_{100} 1700…2330 МПа (рис. 2), что примерно в семь раз превышает микротвердость алюминия в диапазоне H_{100} 250…310 МПа и значительно превышает уровень твердости меди H_{100} 560…940 МПа. Осредненные значения микротвердости меди, переходных участков СС и алюминия (см. рис. 2) составили 680, 2200 и 280 HV_{100}.

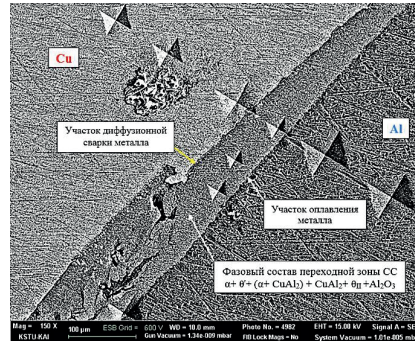


Рис.1 Фрагмент разнородного СС (Cu-Al)

Твердость грата – H_{100} 1800 МПа. Измерениями также выявлены аномальные уровни микротвердости на цилиндрических участках соединения H_{100} 2100…2330 МПа (см. рис. 2).

Значительные расхождения микротвердости фрагментов СС свидетельствуют об очень высокой хрупкости и жесткости переходных участков соединений в сравнении с высокой пластичностью и малой жесткостью меди и алюминия при больших их коэффициентах температурного расширения [1]. При работе переходных участков (металлического сэндвича) в условиях теплосмен, по-видимому, возникают большие внутренние напряжения, которые могут привести к образованию трещин и расслоению поверхностей сопряжения металла СС, отличающегося структурным составом [1, 6–10].

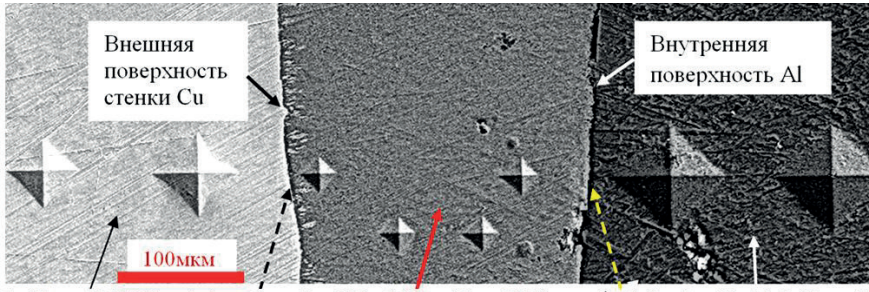


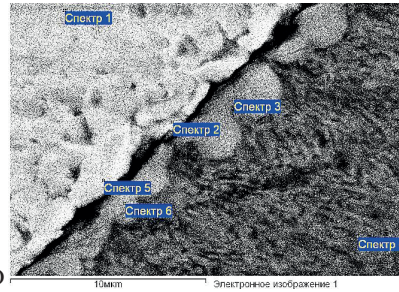
Рис. 2 Фрагмент структуры контактного сварного соединения трубок из меди и алюминия в раструб с участками измерения микротвердости

Результаты анализа химического состава [1,11-16] позволили определить структуру переходной зоны СС. На участке сплавления внутренней поверхности алюминиевых трубок с переходным участком структура имеет сложный фазовый состав: $\alpha + \theta' + (\alpha + CuAl_2) + \theta_{II} + Al_2O$. Структура естественно-слоистая зона КМ состоит из пересыщенного твердого раствора (α) и интерметаллической промежуточной фазы $CuAl_2$ (θ) в эвтектике и

когерентной (θ') в твердом растворе. Среднее содержание алюминия и меди в интерметаллиде ($CuAl_2$) переходной зоны СС составляет Al (63–66) % + Cu (29–34) %, а в Al_2O интервал значений 3–14 %. Результаты анализа химического состава СС в раструб трубок из меди и алюминия на участке диффузионной сварки в зоне термического влияния (табл. 1) свидетельствуют об изменении фазового состава в обе стороны от соединения. У границы раздела участков диффузионного СС с непроваром (рис. 3) при составе компонентов Al = 1 % + Cu = 96 % структура представлена пересыщенным твердым раствором и окисью меди $\alpha_1(Cu)$ + CuO. В СС у наружной поверхности медной трубки состав металла Al = 17 % + Cu = 75 %, структура представлена следующим образом: метастабильные фазы (γ') + (η') + интерметаллид (γ_2) + CuO. В композитном слое в зоне термического влияния при составе компонентов Al = 16 % + Cu = 82 % структура представлена фазами $\gamma_2 + \gamma' + (\alpha_1 + \gamma_2)$ + CuO, мартенситной фазой (γ') и эвтектикой ($\alpha_1 + \gamma_2$). В переходном участке на расстоянии $h > 1{,}1$ мкм от поверхности диффузионной сварки при составе компонентов СС в интервалах Al = (45–48) % + Cu = (46–48) % структура представлена фазами $(\alpha + CuAl_2) + \theta(CuAl_2) + \alpha_{II} + Al_2O_3$.

Изменение химического и фазового состава в зоне термического влияния СС трубок из меди и алюминия на участке диффузионной сварки (переходный слой КМ – Cu) Таблица

Номер спектра	Компонент, %			Расстояние от поверхности сплавления h, мкм	Фазовый состав фрагмента СС на участке диффузионной сварки	H_{100}, МПа
	O	Al	Cu			
1	2,36	1,21	96,43	8	$\alpha_1(Cu) + CuO$	620
2	8,49	16,65	74,86	0,3	$\gamma' + \eta' + \gamma_2 + CuO$	-
3	4,69	47,60	47,71	–1,1	$(\alpha + CuAl_2) + \theta(CuAl_2) + \alpha_{II} + Al_2O_3$	2300
4	3,93	65,87	30,20	–10	$\alpha + (\alpha + CuAl_2) + \theta' + \theta_{II} + Al_2O_3$	2170
5	2,36	15,65	81,99	0,5	$\gamma_2 + \gamma' + (\alpha_1 + \gamma_2) + CuO$	740
6	8,54	45,48	45,98	–1,2	$(\alpha + CuAl_2) + \theta(CuAl_2) + Al_2O_3$	2280



$\alpha_1(Cu)+CuO$ $(\alpha+CuAl_2)+\theta+...$ $\alpha(Al)+\theta'+...$

Рис. 3. Фрагмент структуры СС трубок из меди и алюминия с участками определения химического состава и структуры металла по спектрам (указаны в табл. 1) у поверхности диффузионной сварки: α_1(Cu) (спектр 1), содержащий Cu = 96,4 % + Al = 1,2 % + O = 2,4 %; КМ с $CuAl_2$ (спектр 4), содержащий Cu = 30,2 % + Al = 65,9 % + O = 3,9 %

На рис.4 представлены кривые изменения химического состава и фазовый состав микроструктуры металла СС трубок из меди и алюминия в поперечном направлении протяженностью 600 мкм от участка алюминиевая трубка – поверхность сплавления с КМ к участку диффузионной сварки КМ – медная трубка. Структура протяженной части СС (промежуточный участок СС размером примерно 250 мкм) включает в состав интерметаллическую фазу θ ($CuAl_2$) с объемно-центрированной тетрагональной кристаллической решеткой, которая содержит приблизительно Cu = 54,1 %, имеет высокую твердость (HV 5310 МПа).

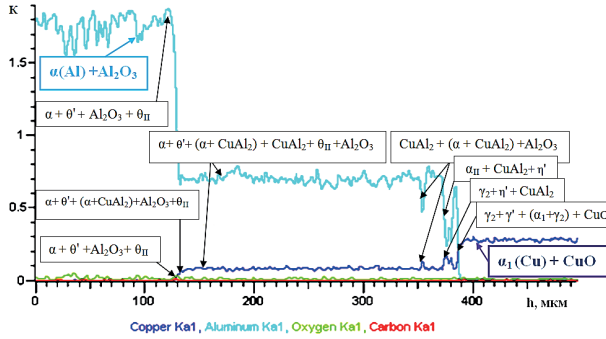


Рис. 4. Изменение химического и фазового состава металла СС трубок из меди и алюминия в поперечном направлении от участка поверхности сплавления КМ к участку диффузионной сварки

Выводы. 1. Высокая скорость нагрева и охлаждения металла при контактной сварке сопротивлением трубок из алюминия и меди в раструб формирует несколько метастабильных промежуточных фаз (θI, γ′, η′).

2. Металл соединения трубок из алюминия и меди, сваренных в твердо-жидком состояния, содержит в промежуточном слое КМ на участках: сплавления (Al – КМ) и диффузионной сварки (без оплавления металла) с переходным слоем (КМ – Cu). Выявлен сложный фазовый состав.

3. Участок композиционного металла переходной зоны сварного соединения имеет микротвердость в интервале значений 1770…2330 HV_{100}.

4. Осредненные значения микротвердости (HV_{100}) меди, естественно-слоистого КМ (в сварном соединении трубок из алюминия и меди) и алюминия составили 680, 2200, 280 МПа.

5. Растрескивание медных трубок и отслоение алюминиевых трубок в условиях теплосмен (непровары) происходит из-за разномодульности оксидов алюминия и меди, их промежуточных фаз и мгновенных, точечных ионно-молекулярных превращений водорода на границах промежуточного слоя.

6. Интерметаллидное соединение θ ($CuAl_2$) в составе структуры промежуточного слоистого КМ состава Al (63–66) % + Cu (29–34) % определяет свойства сварного соединения в целом.

Использованные литературные источники

1. Муратаев Ф.И., Фролова А.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ КОНТАКТНОГО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ В РАСТРУБ МЕДНЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ ТРУБОК // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2021. №3.

2. *Муратаев Ф.И., Евлампьев А.В., Муратаев Т.А.* Анализ причин развития стресс-коррозии аустенитных сталей и сварных соединений // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2021. № 1. С. 76–81.

3. *Шабалин Е.А., Муратаев Т.А., Муратаев Ф.И.* Влияние количества интерметаллида $CuAl_2$ на микротвердость сварного соединения // Materials. Technologies. Design. № 2(4). С. 37–42

4. *Муратаев Ф.И., Махмутянов А.Н., Муратаев Т.А.* Превращения титановых сплавов в лазерном пятне при ударном упрочнении // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2020. № 2. С. 57–62.

5. *Муратаев Ф.И., Мухамадеев И.М.* Металлография коррозионного растрескивания сталей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2020. № 3. С. 49–55.

6. *Горицкий В.М.* Диагностика металлов. М.: Металлургиздат, 2004. 408 с.

7. *Муратаев Ф.И., Горбунов А.В.* Закономерности структуры и свойств соединений разнородных металлов, сваренных в твердо-жидком состоянии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2012. № 1. С. 44–48.

8. Муратаев Ф.И., Шабалин Е.А. СОГЛАСОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ И СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2021. № 4. С.171-179.

9. *Муратаев Ф.И., Горбунов А.В., Клабуков М.А.* Исследование характеристик эвтектического композиционного сплава, полученного сваркой меди с алюминием // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2012. № 4-2. С. 79–81.

10. *Муратаев Ф.И. и др.* Закономерности состава, структуры и повреждаемости металла лопаток турбины после стендовой и эксплуатационной наработки // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2014. № 2. С. 74–78.

11. *Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф.* Влияние состава и морфологии интерметаллической фазы сплава IN-738LC на повреждаемость лопаток газовых турбин // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2015. № 3. С. 43–48.

12. *Муратаев Ф.И., Клабуков М.А.* Исследование закономерностей структуры и усталостной повреждаемости литых лопаток из сплава IN-738LC // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2014. № 3. С. 107–109.

13. *Муратаев Ф.И.* Типовые и деградационные признаки микроструктуры сварных соединений конструкционных и специальных сталей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2013. № 2-2. С. 84–89.

14. *Клабуков М.А., Колесников Д.Н.* Согласование характеристик структуры и свойств титановых сплавов // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2020. № 2. С. 53–56.

15. *Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф.* Адаптация состава, структуры, свойств металла и сварных соединений теплообменников к сопротивлению высокотемпературной газовой коррозии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2015. № 3. С. 119–125.

16. *Муратаев Ф.И. и др.* Исследование закономерностей формирования структуры и свойств эвтектического композиционного сплава при сварке в твердо-жидком состоянии разнородных материалов // Вестник КНИТУ. 2013. № 2. С. 45–48.

УДК 633.15:631.8

ОБОСНОВАНИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОТРАСЛИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Нафиков Макарим Махасимович
доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет. Россия, Республика Татарстан, г.Казань, ул. Кремлёвская, 18; nafikov_makarim@mail.ru
Смирнов Сергей Геннадьевич
кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой ФГБОУ ДПО «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса» Россия, Республика Татарстан, г.Казань, ул. Оренбургский тракт, 8; SSG75@mail.ru
Нигматзянов Айдар Равилович
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры предпринимательства и управления бизнесом ФГБОУ ДПО «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса», Россия, Республика Татарстан, г.Казань, ул. Оренбургский тракт, 8; arnig76@yandex.ru
Нафиков Мансур Макаримович
магистрант кафедры БМИ и УИ ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет. Россия, Республика Татарстан, г.Казань, ул. Кремлёвская, 18; nafikov_mancur@mail.ru
Смирнов Эмиль Сергеевич
студент ГАПОУ «Казанский энергетический колледж». Россия, Республика Татарстан, г.Казань, ул. Оренбургский тракт, 8; SSG75@mail.ru

Аннотация. Проведён подробный анализ деятельности агропромышленного комплекса Российской Федерации и Республики Татарстан, определены основные проблемы и приоритетные задачи. Приоритетным направлением решения проблем и задач в аграрном секторе экономики считается внедрение цифровых технологий в растениеводстве. Цифровые методы оценки, а также, краткосрочное и долгосрочное планирование использования земель сельскохозяйственного назначения в агроформированиях всех форм собственности являются источником получения объективной информации их плодородия и экологической оценки территорий. Полученные объективные данные позволят повысить точность прогнозов, которые в дальнейшем помогут избежать проблем экологического характера таких как, возникновение различных эрозий, загрязнения почвы и водных источников в результате сельскохозяйственной деятельности.

Ключевые слова: экономика, экология, цифровое сельское хозяйство, технологии

Annotation. A detailed analysis of the activities of the agro-industrial complex of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan was carried out, the main problems and priorities were identified. The priority direction of solving problems and tasks in the agricultural sector of the economy is the introduction of digital

technologies in crop production. Digital methods of assessment, as well as short- and long-term planning of the use of agricultural land in agricultural formations of all forms of ownership are a source of objective information about their fertility and environmental assessment of territories. The objective data obtained will improve the accuracy of forecasts, which in the future will help to avoid environmental problems such as the occurrence of various erosions, pollution of soil and water sources as a result of agricultural activities.

Введение. Площади земель, вовлеченных в сельскохозяйственное производство, наше государство занимает в мире лидирующие позиции, в тоже время, по уровню цифровизации сельского хозяйства занимает мы находимся во второй десятке. Лишь около 3% крупных агрохолдингов России применяют технологии точного земледелия, а в странах Евросоюза (ЕС) – 80%, США – 60%.

Столь значительное отставание в развитии цифровой экономики от мировых лидеров объясняется пробелами нормативной базы для цифровой экономики и недостаточно благоприятной средой для ведения бизнеса и инноваций и, как следствие, низким \уровнем применения цифровых технологий в крестьянских-фермерских хозяйствах [1].

Проведенные нами исследования показали, что в России высокий уровень внедрения технологических решений цифровизации в земледелии присутствует в 20%, а средний уровень в 29% регионах. Лидерами по темпам внедрения передовых технологий цифровизации в земледелии являются лишь пять регионов, в числе которых и Республика Татарстан [2].

В связи с увеличением числа фермерских хозяйств, обширные территории, занятые под сельскохозяйственное производство стало довольно таки сложно контролировать из-за, недостатка точных карт межевания, нехваткой пунктов оперативного мониторинга, недостаточностью в связи со значительными сокращениями наземных станций, в том числе метеорологических и т.д. и другими факторами в настоящее время они препятствуют получению объективной информации при проведении сельскохозяйственных работ для качественной оценки ситуации, прогнозирования и планирования мероприятий связанных с урожайностью и повышению рентабельности производства.

Материалы и методы исследования. Первоочередной задачей, стоящей перед сельхозтоваропроизводителями является внедрение дистанционного зондирования земель сельскохозяйственного назначения и цифровых методов обработки информации. Внедрение на обширных территориях цифровизации позволит оперативно решать задачи управления сельскохозяйственными территориями и оптимизировать управление агропромышленным комплексом

В Республике Татарстан АПК было и остается одним из стратегических направлений экономической и социальной политики. Ведь не зря Татарстан является одним из ведущих регионов в области производства сельскохозяйственной продукции [3].

Основными аргументами в поддержку цифровизации сельскохозяйственного производства в республике являются необходимости выполнения следующих проблемных задач, связанных отставанием отрасли от передовых стран мира с высокоразвитым аграрным сектором:

- увеличение количества и качества урожая;
- минимизация вложений капитала;
- снижение трудоемкости и повышение производительности сельскохозяйственного производства;
- уменьшение вредного воздействия на окружающую среду;
- снижение зависимости от человеческого фактора в сельском хозяйстве и отставания по урожайности.

Поэтому министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан и государственным унитарным предприятием «Республиканский информационно-вычислительный центр Министерства сельского хозяйства и продовольствия РТ» была внедрена информационно-аналитическая система мониторинга показателей производства АПК с получением исходных данных в режиме онлайн непосредственно из всех муниципальных районов [4].

Комплекс мероприятий проведённых МСХиП РТ позволили создать предпосылки для внедрения современных информационных технологий и дальнейшего формирования государственных информационных ресурсов в сфере управления агропромышленным комплексом.

В Татарстане активно применяет инструменты цифровизации для поддержки аграрного сектора экономики. Так, например, для наблюдения и мониторинга земель сельскохозяйственного назначения республики начали применяться беспилотные летательные аппараты. Беспилотные летательные аппараты способны проводить качественную видеосъемку с высоты птичьего полета и предоставлять информацию о состоянии посевов сельскохозяйственных культур. Летательные аппараты составляют карту посевов республики, безошибочно определяя границы полей севооборотов [5], Рис 1.

Рисунок 1. Схема управления формированием урожая.

На геопортале РТ действует Единый информационный центр (ЕИЦ) агропромышленного комплекса. Главная задача системы – сбор, структурирование и обработка оперативной информации агроландшафтов.

Проект ЕИЦ предназначен для эффективного использования, планирования и контроля этапов сельскохозяйственного производства, а также наблюдения и мониторинга земель сельскохозяйственного назначения.

В муниципальных районах получил развитие проект "Цифровое земледелие" которая даёт возможность решения генетически предопределённой пятнистости почвы, её неоднородности, мозаичности и прочих специфических особенностей за счёт проектов адаптивно-ландшафтного земледелия и агротехнологий [6,7,8,9,10,11,12,13].

Данный проект функционирует на основе цифровых информационных технологий и компьютерного моделирования и состоит из блоков разного уровня, таких как:

- сбор, актуализация и хранение баз данных;
- мониторинг состояния агроландшафтов;
- многоцелевая оценка пригодности сельхоз земель;
- моделирование потенциальной урожайности, её краткосрочное и долгосрочное прогнозирование и планирование;
- размещение сельхозугодий в муниципалитетах;
- распределение производительных сил на всех предприятиях независимо от форм собственности.

Заключение: Внедрение цифровых технологий в процессы производства растениеводческой продукции позволяют снизить затраты на производство и повысить их конкурентоспособность на рынке сельскохозяйственных товаров.

Литература

1. Цифровизация сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL: http://polit.ru/article/2018/02/21/sk_digital_farming/.

2. Шаги цифровизации //Информационный бюллетень Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. 2022. № 3. С. 17-18.

3. Смирнов С.Г. Эффективность введения информационных технологий в АПК Республики Татарстан / Смирнов С.Г., Нафиков М.М., Нигматзянов А.Р. / /Наука, технологии, кадры – основы достижений прорывных результатов в АПК: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Выпуск XV в двух частях, ч. 1. - Казань: ФГБОУ ДПО «ТИПКА», 2021. – 584 с.

4. Сельское хозяйство Республики Татарстан, статистический сборник. Татарстанстат, г. Казань, 2020 – 360с.

5. Гарипова Г.Р., Кудрявцева С.С., Шинкевич А.И., Особенности управления инновационным развитием сельского хозяйства Республики Татарстан / Экономические аспекты управления инновационным развитием аграрного сектора России в региональных аспектах. 2019, с.45-49

6. Сальников С. Г. Актуальные направления цифровой трансформации АПК России [Электронный ресурс]. URL: http://www.viapi.ru/.

7. Скворцов Е. А. Повышение эффективности роботизации сельского хозяйства: автореф. дис. ... канд. экон. наук / УрГАУ — Екатеринбург, 2018. — 24 с.

8. Смирнов С.Г. Урожайность семян сои в лесостепи Поволжья при разных приемах возделывания / С.Г. Смирнов, М.М. Нафиков, В.Н. Фомин // Кормопроизводство. – № 1. – 2014. – С. 17-20.

9. Нафиков М.М. Обоснование принципов производства, хранения, переработки и реализации органической сельскохозяйственной продукции / Нафиков М.М., Нигматзянов А.Р., Смирнов С.Г. // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения: сб. науч. Тр. По материалам Междунар. Науч. Экол. Конф. – Краснодар: КубГАУ, 2021 – С. 117-120.

10. Совершенствование технологических процессов в растениеводстве на основе цифровизации и автоматизации в Республике Татарстан / М. М. Нафиков, С. Г. Смирнов, А. Р. Нигматзянов, М. М. Хисматуллин // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2022. – Т. 18. – № 3. – С. 96-100. – EDN VVXMDI.

11. Kashapov N.F., Nafikov M.M., Gilmanshin I.R., Gazetdinov M.Kh., Nafikova M.M., Nigmatzyanov A.R. Eenergy-saving technologies of cultivation of sugar sorghum. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Сер. "International Scientific-Technical Conference on Innovative Engineering Technologies, Equipment and Materials 2016, ISTC-IETEM 2016" 2017. С. 012032.

12. Kashapov, N.F., Nafikov, M.M., Nigmatzyanov, A.R., Gajnutdinov, I.G. (2019). The state of the technical level of domestic agricultural machinery. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 570. 012047. 10.1088/1757-899X/570/1/012047.

13. Kashapov N F, Nafikov M M, Gazetdinov M KH, Gazetdinov SH M, Nigmatzyanov A R .Modern problems of digitalization of agricultural production/ IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.(2019) 012048.

УДК 631

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Нафиков Макарим Махасимович, профессор, д-р с.-х. наук, ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет". Россия, Республика Татарстан, г.Казань, ул. Кремлёвская, 18; nafikov_makarim@mail.ru

Хузина Роза Рифатовна, аспирант, ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет". Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18; khuzinaroza@yandex.ru

Хузина Айзиля Нургалиевна, магистр, ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет". Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18; khuzina.aizilya@yandex.ru

Тевелева Александра Львовна, магистр, ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет". Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18; ateveleva@yandex.ru

Аннотация. В связи с внедрением энергоресурсосберегающих технологий, методы нетермической обработки приобретают в последние годы всё большую популярность в аграрном секторе. Одним из передовых, является новый метод нетермической обработки семян сельскохозяйственных культур в которой применяется технология низкотемпературной атмосферной плазмы (НТАП). Неравновесность НТАП, которая сочетает высокую концентрацию активных соединений и высокий уровень энергии при низкой температуре газа, позволяет применять ее для обеззараживания семян. Исследования при применении данного метода сосредоточены на анализе влияния коронного разряда НТАП на периферийные части зерновки и эпифитную микрофлору. Семена культуры после обработки НТАП биоактивизируются, повышается их всхожесть, растения в полевых условиях приобретают устойчивость к болезнетворным патогенам, повышают урожайность и качество, снижается нагрузка на почву негативного пестицидного влияния.

Ключевые слова: низкотемпературная атмосферная плазма, обеззараживание семян, сельское хозяйство, всхожесть, качество.

Annotation. In connection with the introduction of energy-saving technologies, non-thermal processing methods have become increasingly popular in the agricultural sector in recent years. One of the advanced is a new method of non-thermal treatment of crop seeds, which uses the technology of low-temperature atmospheric plasma (LTAP). The non-equilibrium nature of NTAP, which combines a high concentration of active compounds and a high level of energy at a low gas temperature, makes it possible to use it for seed disinfection. Studies using this method are focused on the analysis of the effect of the LTAP corona discharge on the peripheral parts of the caryopsis and epiphytic microflora. Seeds of the crop after treatment with NTAP are bioactivated, their germination capacity increases, plants in

the field acquire resistance to pathogens, increase yield and quality, and reduce the load on the soil of negative pesticide effects.

Key words: low-temperature atmospheric plasma, seed disinfection, agriculture, germination, quality.

Плазма представляет собой ионизированный газ, состоящий из электронов, атомов, из отрицательных и положительных ионов, радикалов и множеств нейтральных молекул, сосуществующих с УФ-фотонами и видимым светом, причем концентрации каждого сбалансированного делают плазму нейтральной в целом [4]. Все эти перечисленные выше компоненты придают плазме уникальные свойства, и, хотя она не имеет чистого заряда, она проводит электричество. Энергия должна быть добавлена к газу, либо в виде тепловой, либо электрической энергии, чтобы генерировать плазму. НТАП характеризуется более низкой электронной плотностью и более низкой общей температурой по сравнению с тепловой плазмой.

Современные инновации в плазменной инженерии привели к появлению плазменных источников, которые могут работать при атмосферном давлении. К ним относятся диэлектрические барьерные разряды, скользящий дуговой разряд, коронный разряд и радиочастотная плазма. Мы рассмотрим более эффективный плазменный источник питания - положительный коронный разряд.

НТАП положительного коронного разряда представляет собой рассеянный путь для плазменного воспламенения, который развивается вокруг остроконечных электродов, которые в свою очередь содержать электрическое поле для ускорения энергии ионизации беспрепятственно производственных электронов до энергии окружающих атомов или молекул газа. В состав положительного коронного разряда входят ионы N^{2+}, N^{4+}, O^{2+}, O^{2-}, OH^{-}, H^{-}, которые в свою очередь преобразуются в такие газовые соединения как: O_3, NO, NO_2, H_2. Он генерируется при высоком напряжении и происходит преимущественно на одном электроде. Коронные разряды используются исключительно в узком направлении такими как: микробная дезактивация, обработка поверхностей, электроосаждения и т.п

Изучение мощности плазменной струи коронного разряда при проращивании бобов мунг привело к более высокой скорости прорастания ростка через один день на 36,2% и 15,3% через два дня по сравнению с необработанными, при этом обработка проходила с использованием НТАП при давлении 20 Па и частоте 13,56 МГц [3]. Также выявлено, что при проращивании рапса улучшился процент всхожести и прорастания семян на 7,7% по сравнению с контрольной фазой, за счет усиления переноса клеточной мембраны и несущие свойства семян и проницаемости [5]. Изучение влияние газовой плазмы коронным разрядом озона на томат установило, что обработанные семена первоначально показали хорошее значение всхожести, но при этом уменьшили его эффект по мере увеличения времени хранения. Также в семенах томата был обнаружен низкий уровень абсцизовой кислоты, подвергшихся воздействию НТАТ, что также улучшило прорастание [6].

Khatami, S.и Ahmadinia, A. наблюдали значительное снижение микробного загрязнения в семенах гороха, где количество патогенных микроорганизмов уменьшилось примерно на 3-log с начальных 5.5 до 2.5 log КОЕ/мл/см.^{2} (единицы измерения не объясняются в оригинальной статье) после 60 секунд воздействия [5]. Кроме этого, исследовано обеззараживание некоторых видов бобовых культур (голубой люпин, медовых клевер, горох, соя, козий юр) [1,2], где плазменная обработка позволила улучшить фунгицидный эффект против *Alternaria sp., Fusarium sp., Stemphilium sp*.. Исходя из этого, можно сделать вывод, что воздействие НТАП улучшают свойства прорастания и роста обработанных семян и обеззараживают семена от патогенов.

Для обработки семян сельскохозяйственных культур нами предложена схема экспериментальной установки (рис. 1).

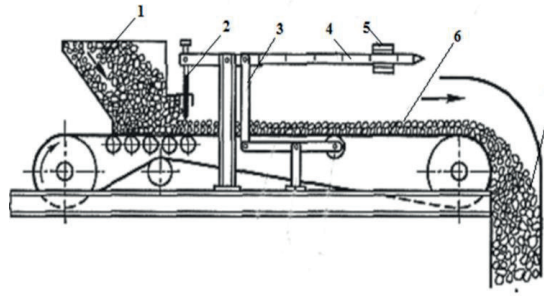


Рисунок. 1. 1 – бункер с семенами, 2 – дозатор, 3 – натяжное устройство, 4 – система крепления плазматрона, 5 – плазматрон, 6 – лента транспортера с семенами, 7 – семена обработанные плазмой

Для исследования были выбраны семена зерновых культур (пшеница яровая *(Triticum aestivum L.)*, овёс посевной *(Avena sativa L.)*, ячмень обыкновенный *(Hordeum vulgare L.)*), которые обрабатывали при следующих параметрах: при напряжении 220 В мощность в источнике питания НТАП варьируется от 2 до 15 кВт, а частота в пределах 0,05 – 0,5 кГц; время обработки семян варьируется от 10 до 50 секунд. Расстояние семян от струи НТАП составляет от 1 до 5 см.

На рис. 2 представлены лучшие результаты эксперимента, которые были получены при следующих оптимальных параметрах:

– овёс: 8 кВт, 0,3 кГц, 30 сек, 2 см;
– ячмень: 4 кВт, 0,05 кГц, 20 сек, 1,5 см;
– пшеница яровая: 4 кВт, 0,2 кГц, 40 сек, 3 см.

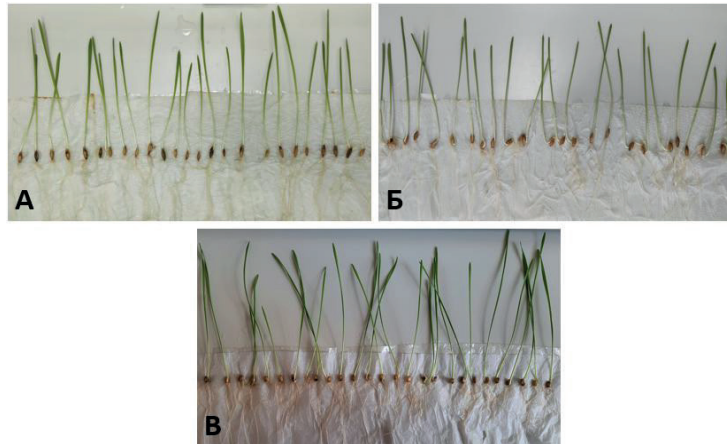


Рис. 2 – Семена обработанные НТАП: А – овёс посевной; Б – ячмень обыкновенный; В – пшеница яровая

Таким образом, при обработке семян НТАП наблюдалось эффективное снижение патогенных микроорганизмов на поверхности семян, ускоренная всхожесть ростков и первичных корешков и т. д. Полученные результаты экспериментальных данных показывают, что технология обработки семян НТАП является новой, передовой и альтернативной технологией в аграрном секторе.

Список использованной литературы

1. Filatova, I. The Effect of Plasma Treatment of Seeds of Some Grain and Legumes on their Sowing Quality and Productivity / Azharonok, V.; Kadyrov, M.; Beljavsky, V.; Gvozdov, A.; Shik, A.; Antonuk, A. // Rom. J. Phys. 2011, 56, 139–143.

2. Filatova, I. Fungicidal Effects of Plasma and Radio-Wave Pre-treatments on Seeds of Grain Crops and Legumes / Azharonok, V.; Shik, A.; Antoniuk, A.; Terletskaya, N. // Springer Science and Business Media LLC: Cham, Switzerland, 2011; pp. 469–479.

3. Khatami, S. Increased Germination and Growth Rates of Pea and Zucchini Seed by FSG Plasma / Khatami, S.; Ahmadinia, A. // J. Theor. Appl. Phys. 2018, 12, 33–38.

4. Misra, N. Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens / Tiwari, B., Raghavarao, K., &Cullen, P. // Food Engineering Reviews, 2011, 3(3-4), 159-170.

5. Puligundla, P. Effect of corona discharge plasma jet treatment on decontamination and sprouting of rapeseed (Brassica napus L.) seeds / Kim, J.-W., & Mok, C. // Food Control, 2017, 71, 376–382.

6. Sadhu, S. Influence of cold plasma on the enzymatic activity in germinating mung beans (Vigna radiate) / Thirumdas, R., Deshmukh, R., & Annapure, U. // LWT-Food Science and Technology, 2017, 78, 97–104.

7. Sudhakar, N. Assessing influence of ozone in tomato seed dormancy alleviation / Nagendra-Prasad, D., Mohan, N., Hill, B., Gunasekaran, M., & Murugesan, K. // American Journal of Plant Sciences, 2011, 2, 443.

ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ

Нигматуллина Л.Г.
ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет,
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

Аннотация. Инновации являются условием конкурентоспособности национальной экономики на мировом рынке.

Учитывая сложившиеся условия и факторы, влияющие на предпринимательскую активность экономических субъектов, а том числе на малый бизнес, в ближайшее время состояние инновационной деятельности в нашей стране будет оставаться на прежнем уровне.

Annotation. Innovation is a condition for the competitiveness of the national economy in the world market.

Taking into account the prevailing conditions and factors affecting the entrepreneurial activity of economic entities, including small businesses, in the near future the state of innovation activity in our country will remain at the same level.

Ключевые слова. Инновационная активность. Интеллектуальная собственность. Предпринимательская деятельность.

Одной из основных характеристик постиндустриального общества является активное внедрение инноваций, опирающихся на последние достижения в сфере науки и технологий, а фактором развития – экономика знаний. Инновации также являются условием конкурентоспособности национальной экономики на мировом рынке.

Объем финансирования научной сферы в промышленно-развитых странах с высоким индексом инновационного развития составляет не менее 2 % ВВП, в Израиле – он около 5% ВВП в год. В России расходы на НИОКР составляют около 1 %. Учитывая сохраняющуюся структуру финансирования и соотношение государственных и частных инвестиций в НИОКР, а также влияние известных внешних и внутренних факторов на предпринимательскую и в целом экономическую активность в ближайшее время общее финансирование науки в нашей стране будет оставаться на прежнем уровне.

Инновационную активность можно оценить также по динамике изобретательской активности субъектов инновационной деятельности.

В таблице 1 представлена динамика изобретательской активности в сфере создания объектов промышленной собственности (изобретений, промышленных образцов и полезных моделей).

Таблица 1

Динамика подачи и рассмотрения заявок на выдачу патентов и выдача патентов Российской Федерации

Показатели	Годы				В %%
	2018	2019	2020	2021	2021 г. к 2020 г.
Подано заявок в Роспатент, всего Из них:	37957	35511	34984	30977	88,55
российскими заявителями	24926	23337	23759	19569	82,36
иностранными заявителями	13031	12174	11225	11408	101,63
Выдано патентов, всего	35774	34008	28788	23662	82,19
Из них:					
российскими заявителями	20526	20113	17181	15012	87,38
иностранными заявителями	15248	13895	11607	8650	74,52

За анализируемый период с 2018 по 2021 годы отмечено постепенное снижение количества поданных заявок на объекты промышленной собственности. Так в 2021 году поданных заявок в Роспатент составляет 88,55 % к предыдущему 2020 году. При этом у иностранных заявителей не ослабевает интерес к российскому рынку объектов интеллектуальной собственности и в 2021 году было подано ими больше заявок на 183 заявки. Соответствует и динамика выдачи охранных документов, количество которых также сокращается.

Однако выданные охранные документы – патенты могут свидетельствовать только об изобретательской активности, а вот внедрение запатентованных технических решений – это уже инновационная и предпринимательская деятельность хозяйствующих субъектов. С 2018 по 2021 годы наблюдалась слабая положительная динамика по передаче и уступке прав интеллектуальной собственности. В данной части инновационного процесса можно отметить не активную деятельность.

Из 100% запатентованных технических решений в 2018 году было передано и уступлено (коммерциализировано) 7,73%; в 2019 году – 8,78%; в 2020 году – 10,2%; в 2021 году – 12,54%. Можно заключить, что рынок объектов интеллектуальной собственности в настоящее время в России не сложился.

Для того чтобы обеспечить непрерывность инновационного процесса в связке наука – производство, на наш взгляд, необходимо всемерно содействовать развитию малого бизнеса в целом и инновационной составляющей предпринимательской деятельности в рамках малого бизнеса.

Можно ли в директивном порядке по инициативе сверху стимулировать (читай заставить) субъектов хозяйствования на всех уровнях заниматься инновационной деятельностью? Очевидно, можно. В условиях плановой экономики в нашей стране так оно и было. Также в период плановой экономики в России были достигнуты определенные результаты государственной инновационной политики в некоторых отраслях экономики, которые и сегодня являются конкурентными на мировом рынке, например, ракетостроение, космические, атомные технологии и др. В условиях рыночной экономики такой подход не приемлем, так как, во-первых, он нарушает рыночные принципы организации экономической системы, во-вторых, опыт планового хозяйства до сих пор, на наш взгляд, дает отрицательные последствия, такие как отсутствие стимулов развития малого бизнеса и не сформировавшейся инициативы, как сказать, снизу. В странах с рыночной экономикой и высокими рейтингами инновационного развития, больший процент финансирования данной сферы приходится на предпринимательских сектор, то есть основным заказчиком инноваций является частный бизнес. В России, исторически сложилоть так, что до сих пор основным стимулятором инноваций является государство. То есть устойчивой смычки «наука – производство» не складывается. А между тем основным связующим звеном между наукой и промышленным производством, на наш взгляд, должен быть малый бизнес. То есть основной задачей является поддержка и стимулирование развития малого бизнеса вообще и инновационного бизнеса, в частности. Сутью бизнеса в целом, как понятия, является предпринимательство. А предпринимательство, в свою очередь является синонимом инновационной деятельности.

Проблемой развития бизнеса в нашей стране, на наш взгляд, является то, что основная часть малого бизнеса сосредоточена в сфере торговли, где в 2021 году было занято 36,9 % представителей малого бизнеса. В целом распределение численности предпринимателей, занятых в сфере малого бизнеса в 2021 году выглядит так: 36,9 % занято в сфере торговли; 12,5% - в сфере транспорта и хранения; 6,39 % - в сфере строительства и производства соответственно 6,39 % и 5,18 %; в сфере сельского хозяйства, лесного и рыбного хозяйства – 4,62 %; информатика и коммуникации – 3,68 %. То есть в воспроизводственной сфере экономики, где создается реальный продукт труда, занято всего 19,87 % предпринимателей от всех предпринимателей – представителей малого бизнеса. 80,13 % предпринимателей заняты, в так называемой, сфере нематериального производства; торговле товарами и услугами. Данное соотношение благоприятно для постиндустриальной высокотехнологической экономики. Для России это означает деиндустриализацию в прямом смысле.

Еще одной неблагоприятной тенденцией является сокращение численности малых предприятий и предпринимателей. Так в период времени с 2019 по 2021 год количество предпринимателей сократилось на 457 тысяч человек, и тенденция сокращения численности сохраняется в 2022 году. Государственное финансирование НИОКР стимулирует творческую активность научной сферы, являясь своеобразным заводным механизмом, а

предпринимательский сектор определяет прикладное направление НИОКР. То есть наука, как специфическая форма творческой деятельности, на наш взгляд, не должна напрямую зависеть от внешних факторов, влияющих на предпринимательскую активность, но, в то же время предпринимательский сектор экономики, по определению нуждается в новых исследованиях и разработках, которые в условиях цикличности экономики, являются основным источником инноваций.

Как известно инновационный процесс может быть представлен в неразрывной цепочке «наука – производство – рынок». Сокращение расходов на исследования и разработки приведет к ослаблению связи «наука – производство». Целевое выделение бюджетных средств на определенные приоритетные научно-прикладные разработки, несомненно, будет приносить положительные результаты, но общая ситуация не изменится и тенденции нарушения взаимосвязи «наука – производство» сохранится, что в итоге не будет способствовать усилению инновационной составляющей российской экономики. Наиболее эффективна модель инновационного развития - «рыночная тяга», где в качестве стимулятора и проводника инноваций должны выступать малые предприятия. Потенциал инновационного развития есть, о чем свидетельствует изобретательская активность российских разработчиков. Проблемный вопрос – как при ограниченных государственных возможностях обеспечить условия для развития малого бизнеса? Очевидно, это задача многоаспектная, включающая различные факторы и в ближайшее время вряд ли возможно ее эффективное решение.

Литература.

1. Институт статистических исследований и экономики знаний ВШЭ https://issek.hse.ru/

2. Информационный портал «Statista» https://f.partnerkin.com/blog/allinfo/izmenenie_v_biznes_sfere

Годовой отчет ФИПС 2021 год

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ОКТОКОПТЕРА В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ

Перешивайлов Александр Игоревич@,
Гурьянова Екатерина Олеговна

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия
@Автор для переписки, e-mail: alex_pereshivaylov@mail.ru

Анотация. Была проведена линеаризация модели октокоптера для задач управления динамикой полёта. Математическая модель была получена в результате разложения нелинейных элементов уравнений в ряд Тейлора. Построение полученной математической модели осуществлялось в

программном комплексе SimInTech. В результате этого была проведена проверка на адекватность модели в соответствии с результатами ранее построенной нелинейной модели октокоптера.

Ключевые слова: линеаризация модели динамики, система стабилизации октокоптера, SimInTech.

Annotation. The linearization of the octocopter model for the tasks of controlling the flight dynamics was carried out. The mathematical model was obtained as a result of the decomposition of nonlinear elements in a number of cases of the disease. The construction of the obtained mathematical model was carried out in the SimInTech software package. As a result, the adequacy of the model was tested in accordance with the results of the previously constructed nonlinear octocopter model.

Keywords. dynamics model linearization, octocopter control system, SimInTech.

Введение. В настоящее время задачи управления БПЛА мультироторного типа в автономном режиме наиболее интересны и сложны с точки зрения проблем управления. Так как классические методы теории управления рассчитаны на линейные модели объектов управления, был проведён численный эксперимент с разработкой упрощённой модели динамики октокоптера в горизонтальной плоскости.

Моделирование динамики октокоптера. В работе используется две системы координат (рис. 1): а) неподвижная инерциальная, связанная с Землёй и б) связанная система координат. Были принятые следующие допущения: октокоптер моделировался как твёрдое тело и представлял собой жёсткую раму с постоянной массой, типа рамы — симметричный. Сила тяги винтомоторной группы $F_M(t)$ [Н] описывается как подъёмный коэффициент C_T $[H \cdot c^2]$, умноженный на квадрат угловой скорости $\omega^2(t)$ $[рад/с]$.

$$F_M(t) = C_T \cdot \omega^2(t);$$

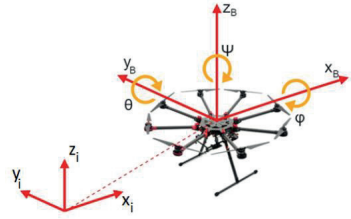


Рисунок 1 — Система координат октокоптера

Октокоптер имеет симметричную относительно осей x и y, структуру, получим диагональную матрицу тензора инерции (1), состоящую лишь из главных центральных моментов инерции.

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Дифференциальные уравнения БПЛА (2) были представлены в пособии Щекатурова [2]:

$$\begin{cases} \frac{dv_{Bx}(t)}{dt} = \frac{1}{m}(F_{Mx}(t) + F_{Dx}(t) + F_{Ox}(t)) - g \cdot \sin(\theta) + v_{By}(t) \cdot \omega_{Bz}(t) - v_{Bz}(t) \cdot \omega_{By}(t), \\ \frac{dv_{By}(t)}{dt} = \frac{1}{m}(F_{My}(t) + F_{Dy}(t) + F_{Oy}(t)) - g \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\varphi) - v_{Bx}(t) \cdot \omega_{Bz}(t) + v_{Bz}(t) \cdot \omega_{Bx}(t), \\ \frac{dv_{Bz}(t)}{dt} = \frac{1}{m}(F_{Mz}(t) + F_{Dz}(t) + F_{Oz}(t)) - g \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\varphi) + v_{Bx}(t) \cdot \omega_{By}(t) - v_{By}(t) \cdot \omega_{Bx}(t), \\ \frac{d\omega_{Bx}(t)}{dt} = \frac{1}{I_{xx}}\left(M_{Mx}(t) + M_{Dx}(t) + M_{Ox}(t) + (I_{yy} - I_{zz}) \cdot \omega_{By}(t) \cdot \omega_{Bz}(t)\right), \\ \frac{d\omega_{By}(t)}{dt} = \frac{1}{I_{yy}}\left(M_{My}(t) + M_{Dy}(t) + M_{Oy}(t) + (I_{zz} - I_{xx}) \cdot \omega_{Bx}(t) \cdot \omega_{Bz}(t)\right), \\ \frac{d\omega_{Bz}(t)}{dt} = \frac{1}{I_{zz}}\left(M_{Mz}(t) + M_{Dz}(t) + M_{Oz}(t) + (I_{xx} - I_{yy}) \cdot \omega_{Bx}(t) \cdot \omega_{By}(t)\right), \end{cases} \quad (2)$$

Здесь v_{Bx}, v_{By}, v_{Bz} – проекции вектора линейной скорости, $\omega_{Bx}, \omega_{By}, \omega_{Bz}$ – угловая скорость тангажа, крена, рысканья – соответственно, m – общая масса коптера, I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} – моменты инерции вокруг осей *x,y,z* соответственно

На основе данной нелинейной модели была построена компьютерная модель динамики октокоптера со следующими режимами управления: в результате наклона происходит движение в нужном направлении, для поворота два противоположных винта ускоряют вращение, а другие два — замедляют. Устройство управления содержит регулятор, который используя данные от нескольких датчиков, стабилизирует аппарат в воздухе в горизонтальном положении путем подачи управляющих сигналов двигателям. Управляющая программа, вычисляет скорость для каждого винта, компенсирует внешние воздействия ветра и другие помехи.

С точки зрения анализа устойчивости и синтеза управления необходимо было получить линейное приближение данной системы дифференциальных уравнений. Для того чтобы при линеаризации управление полностью не ушло из системы, за него были взяты угловые скорости винта [3]. Ориентация октокоптера в пространстве представлена тремя углами: крен φ (roll), тангаж θ (pitch) и рыскание/курс ψ (yaw).

$$w = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 & w_4 & w_5 & w_6 & w_7 & w_8 \end{bmatrix}^T, \quad (3)$$

За положение равновесия возьмем

$$\begin{bmatrix}\dot{x}\\ \dot{y}\\ \dot{z}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\0\\0\end{bmatrix};\ \begin{bmatrix}x\\y\\z\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\hat{x_0}\\y_0\\z_0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\0\\80\end{bmatrix};\ \begin{bmatrix}\dot{\varphi}\\ \dot{\theta}\\ \dot{\psi}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\0\\0\end{bmatrix};\ \begin{bmatrix}\varphi\\ \theta\\ \psi\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\0\\0\end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$w=\begin{bmatrix}w_1^0 & w_2^0 & w_3^0 & w_4^0 & w_5^0 & w_6^0 & w_7^0 & w_8^0\end{bmatrix}; w_1^0 \ldots w_8^0 = 159.785095851634$$

Где w_i^0 – угловая скорость одного мотора такой, что тяга, создавая восемью такими значениями, будет полностью компенсировать силу тяжести. Иначе говоря, управление, при котором дрон неподвижно висит в воздухе.

В результате были получены следующие уравнения (5):

$$\begin{cases}
\dot{v}_{bx}=\frac{1}{m}\left(\frac{C_t}{\sqrt{2}}\left(-\left(w_2^0+2\cdot w_2^0\left(w_2(t)-w_2^0\right)\right)-\left(w_4^0+2\cdot w_4^0\left(w_4(t)-w_4^0\right)\right)+\left(w_6^0+2\cdot w_6^0\left(w_6(t)-w_6^0\right)\right)+\right.\right.\\
\left.+\left(w_8^0+2\cdot w_8^0\left(w_8(t)-w_8^0\right)\right)\right)\gamma+C_t\left(\left(w_3^0+2\cdot w_3^0\left(w_3(t)-w_3^0\right)\right)-\left(w_7^0+2\cdot w_7^0\left(w_7(t)-w_7^0\right)\right)\right)\gamma+\\
\left.+K_{vx}\cdot\left(v_{bx}^0+2\cdot v_{bx}^0\left(v_{bx}(t)-v_{bx}^0\right)\right)\right)-g\cdot\theta+v_{by}(t)\cdot w_{bz}{}^0-v_{bz}{}^0\cdot w_{by}(t);\\
\dot{v}_{by}=\frac{1}{m}\left(\frac{C_t}{\sqrt{2}}\left(\left(w_2^0+2\cdot w_2^0\left(w_2(t)-w_2^0\right)\right)-\left(w_4^0+2\cdot w_4^0\left(w_4(t)-w_4^0\right)\right)-\left(w_6^0+2\cdot w_6^0\left(w_6(t)-w_6^0\right)\right)+\right.\right.\\
\left.+\left(w_8^0+2\cdot w_8^0\left(w_8(t)-w_8^0\right)\right)\right)\gamma+C_t\left(\left(w_5^0+2\cdot w_5^0\left(w_5(t)-w_5^0\right)\right)-\left(w_1^0+2\cdot w_1^0\left(w_1(t)-w_1^0\right)\right)\right)\gamma+\\
\left.+K_{vy}\cdot\left(v_{by}^0+2\cdot v_{by}^0\left(v_{by}(t)-v_{by}^0\right)\right)\right)+g\cdot\varphi\cdot\theta-v_{bx}(t)\cdot w_{bz}(t)+v_{bz}(t)\cdot w_{bx}(t);\\
\dot{w}_{by}=\frac{1}{I_{yy}}\left(\left(\frac{C_t\cdot l}{\sqrt{2}}\left(\left(w_2^0+2\cdot w_2^0\left(w_2(t)-w_2^0\right)\right)-\left(w_4^0+2\cdot w_4^0\left(w_4(t)-w_4^0\right)\right)-\left(w_6^0+2\cdot w_6^0\left(w_6(t)-w_6^0\right)\right)+\left(w_8^0+2\cdot w_8^0\left(w_8(t)-w_8^0\right)\right)\right)+\right.\right.\\
\left.\left.+C_t\cdot l\cdot\left(\left(w_1^0+2\cdot w_1^0\left(w_1(t)-w_1^0\right)\right)-\left(w_5^0+2\cdot w_5^0\left(w_5(t)-w_5^0\right)\right)\right)\right)\gamma+K_{wy}\cdot\left(w_{by}^0+2\cdot w_{by}^0\left(w_{by}(t)-w_{by}^0\right)\right)+\left(I_{zz}-I_{xx}\right)\cdot w_{bz}{}^0\cdot w_{bx}{}^0\right);\\
\dot{\theta}=w_y;
\end{cases} \quad (5)$$

На основе этих уравнений была построена модель пространства состояний. Модель с 8 входными (управляющими сигналами для каждого из моторов) и 4 выходами – измерениями. Реализация модели (рис.2) осуществлялась с помощью блока «Переменные состояния» библиотеки «Динамические» [4].

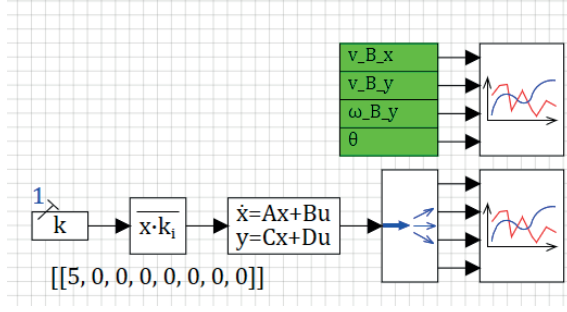
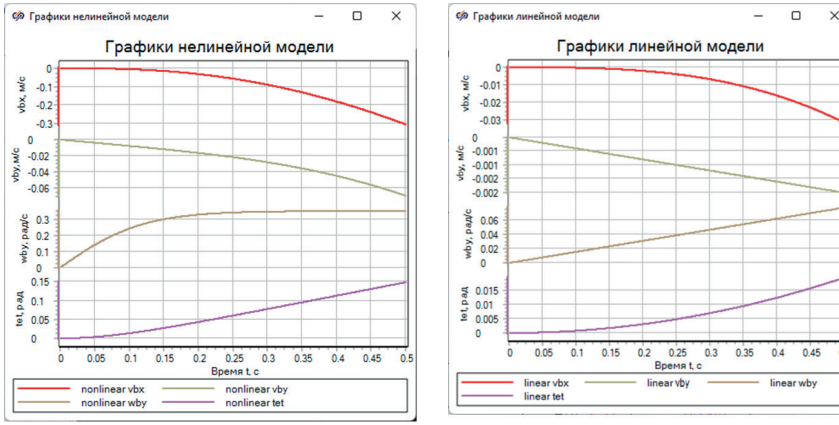


Рисунок 2 — Схема модели для сравнительного анализа линейной и нелинейной моделей



a) b)

Рисунок 3 — Результаты моделирования $v_{bx}, v_{by}, w_{by,}\theta$ в положении равновесия. *a) нелинейная модель динамики, b) линейная модель динамики*

Выводы. Погрешность для линейных скоростей находится в допустимых пределах — около 10%, угловая скорость w_{by} выходит за эти пределы; угол θ также находится в допустимых пределах погрешности. Можно сделать вывод, что модель в пространстве состояний должна быть исследована на наблюдаемость. управляемость и робастность. Модель, прежде всего, необходима для разработки многосвязных систем управления.

Заключение. В дальнейшем планируется перенести исследования с математической модели на модель в симуляторе на базе ROS для мониторинга различных объектов. Линейная многосвязная модель позволяет применить классические методы теории автоматического управления: линейно-квадратичное регулирование, модальное управление.

Таким образом, разработанная линеаризованная модель может быть использована для разработки алгоритмов управления.

Список литературы.

1. Зубов Н.Е. Матричные методы в теории и практике систем автоматического управления летательных аппаратов / Н.Е.Зубов, Е.А. Микрин, В.Н.Рябченко - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. — 666 с.

2. Щекатуров А. SimInTech: методика моделирования динамики октокоптера. - М.: ДМК Пресс, 2021. — 228 с.

3. Певзнер Л.Д. Теория автоматического управления. Задачи и решения: Учебное пособие.. - Спб.: Издательство «Лань», 2016. — 608 с.

4. Хабаров, С. П. Основы моделирования технических систем. Среда Simintech: учебное пособие / С. П. Хабаров, М. Л. Шилкина. — Санкт-Петербург организацией М.: РУСАЙНС, 2017 — 235с.

ОБРАТНАЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА АЭРОДИНАМИКИ – ИНСТРУМЕНТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОПАТОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБОМАШИН

Поташев Андрей Валерьевич,
Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, ул. К. Маркса, 68,

Поташева Елена Владимировна,
Казанский кооперативный институт (филиал) Российского университета кооперации, г. Казань, ул. Н. Ершова, 58

Аннотация: При проектировании турбомашин одной из основных задач является выбор формы лопаток. Одним из способов профилирования лопаток с заранее заданными свойствами является использование теории обратных краевых задач аэрогидродинамики. Возможности применения таких задач для построения лопаток рабочих колес по заданным распределениям скорости показаны на некоторых примерах для рабочих колес разного назначения.

Annotation: When designing turbomachines, one of the main tasks is the choice of the shape of the blades. One of the methods for profiling blades with predetermined properties is to use the theory of inverse boundary value problems of aerohydrodynamics. The possibilities of using such problems for constructing impeller blades for given speed distributions are shown in some examples for impellers for various purposes.

Ключевые слова: обратная краевая задача аэрогидродинамики, турбомашины, лопаточные элементы

Keywords: inverse boundary value problem of aerohydrodynamics, turbomachines, blade elements

В настоящее время при проектировании ступеней турбомашин часто используются численные решения пространственных задач многокритериальной прямой оптимизации в рамках пространственных уравнений Рейнольдса, замкнутых дифференциальными моделями турбулентности, с одновременным расчётом напряжённо-деформированного состояния и собственных частот пространственных лопаток. Использование таких методов приводит как к неоправданно большим временным затратам, но также не дает возможности создавать лопатки принципиально новой формы, обеспечивающей требуемые аэродинамические характеристики.

В связи с этим актуальной является разработка методов проектирования, основанных на решении обратной краевой задачи аэрогидродинамики (ОКЗА). Теоретические исследования, касающиеся решения различных ОКЗА, проводятся еще с 1940-х годов. Достаточно полное описание достижений в этой области содержится в монографиях [1-3]. Интерес к исследованиям в ОКЗА сохраняется и в настоящее время (см., например, статьи [4-6]).

Основное количество публикаций по ОКЗА связано с решением задач отыскания формы изолированного крылового профиля. Однако широкое

практическое применение различного типа турбомашин (компрессоры, турбины, вентиляторы, насосы и др.) потребовало разработки методов решения ОКЗА для гидродинамических решеток профилей. Основополагающие результаты в данном направлении получены Г.Ю. Степановым (см., например, монографию [7]). Обзор других методов решения ОКЗА для гидродинамических решеток или при других параметризациях представлен в монографии [8].

Задача построения формы лопаток турбомашин, если в ней полностью учитывать пространственную картину течения, в настоящее время не имеет адекватного решения. В этой связи целесообразно при ее постановке и построении метода решения использовать модель разбиения трехмерного потока на два двумерных (см., например, [7]). Такой подход позволяет распространить метод решения ОКЗА для плоских решеток профилей на решетки, лежащие на осесимметричных поверхностях тока в слое переменной толщины (см., например, [9]). При этом предполагается, что сама форма осесимметричных поверхностей тока, описываемая зависимостями [×] и [×], или известна, или может уточняться в процессе решения по параметрам потока на этих поверхностях.

В настоящем докладе на конкретных примерах проектировочных расчетов (см. [10-12]) представлены различные подходы к методике использования ОКЗА при проектировании рабочих колес турбомашин. В частности, приведен пример модификации формы лопаток рабочего колеса турбокомпрессора путем изменения числа лопаток и модификации их формы путем изменения распределения скорости по их поверхности. Форма проточной части и профилей на основном и покрывном дисках показаны на рис.1.

Форма лопаток рабочего колеса, построенных с использование обратной задачи, показана на рис.2.

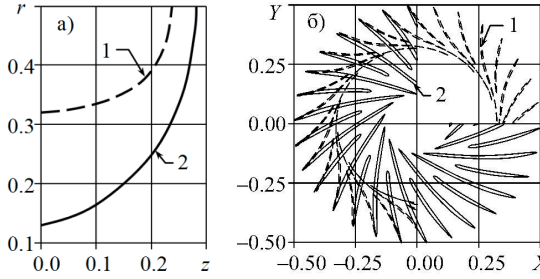


Рис. 1:Формы проточной части и лопаток на покрывном (1) и основном (2) дисках у исходного колеса турбокомпрессора

Из сравнения рис.1 и рис.2 видно, что новое рабочее колесо имеет существенно меньшее количество лопаток (17 вместо 30) и является однорядным, а не двухрядным, как исходное. Уменьшение числа лопаток и замена их более толстыми лопатками сложной пространственной формы позволило выполнить технологические ограничения за счет увеличения зазора

между лопатками. При этом удалось сохранить требуемую величину коэффициента напора.

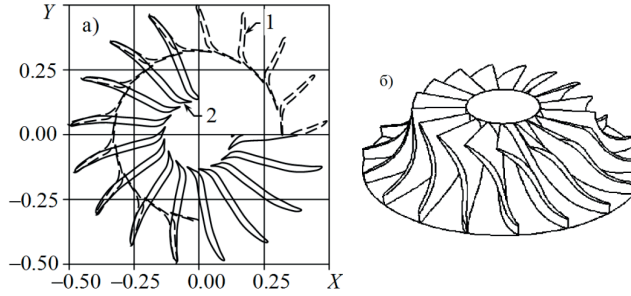


Рис. 2:Форма лопаток на покрывном (1) и основном (2) дисках и общий вид спроектированного колеса

Также в докладе описаны подходы реализации применения ОКЗА для модификации формы лопаток погружного насоса и вентилятора газотурбинного двигателя.

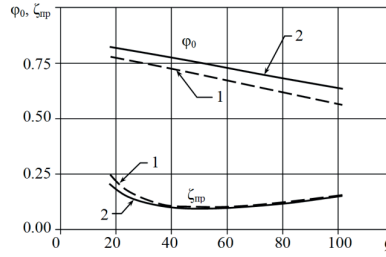


Рис. 3. Зависимости коэффициента напора φ_0 и коэффициента профильных потерь $\zeta_{ПР}$ от расхода Q (м3/сут) для средней поверхности тока: 1 – исходное колесо, 2 – модифицированное колесо

В первом примере модифицированное рабочее колесо обладает при тех же значениях расхода Q, что и исходное, повышенным значением коэффициента напора φ_0 и меньшими значениями коэффициента профильных потерь $\zeta_{ПР}$ (рис.3). Кроме того, удалось снизить уровень максимальной скорости на контуре лопатки, что позволило расширить диапазон массовых расходов, устойчивых к возникновению кавитации.

Приведенные в работе примеры показали, что использование методов ОКЗА в совокупности с методами решения прямых задач, позволяет существенно усовершенствовать процесс проектирования рабочих колес, давая возможность профилирования лопаток рабочих колес с желаемыми аэродинамическими параметрами потока.

Литература

1. Елизаров А.М., Ильинский Н.Б., Поташев А.В. Обратные краевые задачи аэрогидродинамики. – М.: Изд. фирма «Физматлит» ВО «Наука», 1994. – 436 с.;

2. Elizarov A.M., Il'inskiy N.B., Potashev A.V. Mathematical Methods of Airfoil Design. Inverse Boundary-Value Problems of Aerohydrodinamics. – Akademie Verlag, Berlin, 1997. 292p.;

3. Елизаров А.М., Ильинский Н.Б., Поташев А.В., Степанов Г.Ю. Основные методы, результаты, приложения и нерешенные проблемы теории обратных краевых задач аэрогидродинамики // Труды математического центра имени Н.И. Лобачевского. Т.10. – Казань: Издательство «ДАС», 2001. – 225с.

4. Елизаров А.М., Илюхин А.Э., Лапин А.В. Квазирешения обратных краевых задач аэрогидродинамики с ограничением на максимум скорости // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2005. – № 1. – С.28-33.;

5. Ильинский Н.Б., Камалутдинов И.М., Марданов Р.Ф. Об одном способе достраивания контура крылового профиля // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2008. – № 3. – С.31-36.;

6. Елизаров А.М. Теория вариационных обратных краевых задач аэрогидродинамики: современное состояние, приложения, перспективы развития // В сборнике: XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики сборник докладов. – 2015. – С. 1289-1291.

7. Степанов Г.Ю. Гидродинамика решеток турбомашин. – М.: Физматгиз. 1962. – 512 с.

8. Gostelow J. P. Cascade aerodynamics. – Sydney: Pergamon Press. – 1984.

9. Вячкилев О.А., Ильинский Н.Б., Поташев А.В., Поташева Е.В., Таюрская Г.Р. Обратная краевая задача для решетки профилей, расположенной на осесимметричной поверхности тока в слое переменной толщины// Журнал вычислительной математики и математической физики. 1996. №11. – С. 134-142.

10. Афанасьев Б.В., Лунев А.Т., Мустафин Н.Г., Поташев А.В., Поташева Е.В. Проектирование рабочего колеса компрессора с использованием обратной задачи для вращающейся решетки профилей на осесимметричной поверхности тока// Компрессорная техника и пневматика. 1996. Вып.1-2 (10-11). – С. 33-37.

11. Поташев А.В., Поташева Е.В., Павлов Г.И., Кочергина К.А. Проектировочный расчет вентилятора газотурбинного двигателя ГТД-1000Т // Вестник КГТУ им А.Н. Туполева. – 2014. – №4. – С. 50-54.

12. Поташев А.В., Поташева Е.В., Рубиновский А.В. Проектирование новых колес для центробежных насосов методом обратных краевых задач // Химическое и нефтегазовое оборудование. 2002, №8. С.18-20.

ПРИМЕНЕНИЕ VR/AR ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Рамазанова Альбина Булатовна
Хуснутдинова Эльвира Мусавировна

Казанский (Приволжский) Федеральный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18
E-mail: albinaram-2003@mail.ru

Аннотация: Статья посвящена описанию использования VR/AR-технологий в машиностроении. Актуальность темы заключается в том, на данный момент предприятия заинтересованы в повышении эффективности производимого продукта, в его качестве, при этом минимизировать трудовые и финансовые затраты. Показано, что применение VR/AR технологий дает возможность работать с макетом будущего изделия: тестировать работу конструкции в виртуальном пространстве, выявлять недочеты в проектировании, оценивать эргономику и многое другое, что сокращает количество ошибок и, следовательно, затраты на их устранение на финальной стадии разработки.

Abstract: The article is devoted to the description of the use of VR/AR technologies in mechanical engineering. The relevance of the topic lies in the fact that at the moment enterprises are interested in improving the efficiency of the manufactured product, in its quality, while minimizing labor and financial costs. It is shown that the use of VR/AR technologies makes it possible to work with the layout of the future product: to test the work of the design in virtual space, identify design flaws, evaluate ergonomics and much more, which reduces the number of errors and, consequently, the cost of eliminating them at the final stage of development.

Ключевые слова: VR/AR технологии, машиностроение, виртуальная реальность, дополненная реальность.

Одной из важнейших отраслей, которая способствует экономическому развитию нашего государства, является машиностроение. Первоочередной задачей в стране является формирование экономики инновационного типа.

В настоящее время наша Родина переживает тяжелые времена. В связи введением санкций, многим странам ограничили поставки в Россию современных оборудований и комплектующих к ним, запретили импортировать высокотехнологическую продукцию и оказывать услуги в области многих сервисов. Что привело необходимости активно развивать собственные технологии. Перед российскими машиностроителями встала задача импортозамещение. В этих новых условиях для повышения производительности труда, экономии времени и затрат приходят новые технологии: бумажные эскизы, рисунки, планы уступают место дронам, 3Д-моделям, V/R и A/R (виртуальная и дополненная реальность).

В машиностроении основой повышения устойчивости и перспективными являются технологии, связанные с роботизацией, нанотехнологиями, искусственным интеллектом, трехмерной печатью. В современном мире

широкое применение нашли технологии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности. Из области игр и развлечений они уже внедряются в различные сферы промышленности. Еще в 1960-х г. Майрон Крюгер ввел понятие искусственной реальности. В 1962 году появилась первая виртуальная реальность, Мортон Хейлиг представил первый прототип мультисенсорного симулятора. А в 1970-х годах видеосъёмку полностью заменила компьютерная графика. Системы, в которых пользователь мог манипулировать с трёхмерными объектами на экране благодаря их отклику на движения руки, появились в середине 1980-х.

Виртуальная реальность (VR) – искусственный созданный компьютером мир, который передается человеку через его ощущения, при помощи специальных приборов (шлемов и очков). Реальный мир полностью заменяет виртуальная среда.

Дополненная реальность (AR) – это реальный мир, дополненный сенсорными, цифровыми данными с помощью специальных устройств (шлемы, планшеты, смартфоны) для дополнения и изменения восприятия окружающей среды.

Несмотря на сходство, сценарии и сферы применения, виртуальная реальность (VR) и дополненная (AR) две разные интерактивные технологии. Если VR это полностью цифровой, то есть виртуальный мир, то AR объединяет реальный и виртуальный мир. Для восприятия искусственной реальности нужны специальные устройства (очки, перчатки и т. п.) и программное обеспечение (браузеры Wikitude, Layar, blippAR, специализированные программы для отдельных сервисов, компаний или даже единичных моделей).

Возможное использование VR/AR-технологий в машиностроении на различных этапах проектирования и эксплуатации: (рис. 1)

- ✓ на начальном этапе – обучение на тренажерах новичков (не отвлекая наставников), демонстрация будущего продукта еще до производства:
- ✓ на конструкторской проработке - проверка и оценка результата работы, возможность ввести корректировки;
- ✓ на этапе технологической подготовки – оценка эргономических характеристик изделия;
- ✓ на этапе эксплуатации - ремонт и обслуживание, на тренажерах повышать квалификацию персонала, выработать навыки операций и аварийно опасных ситуации.

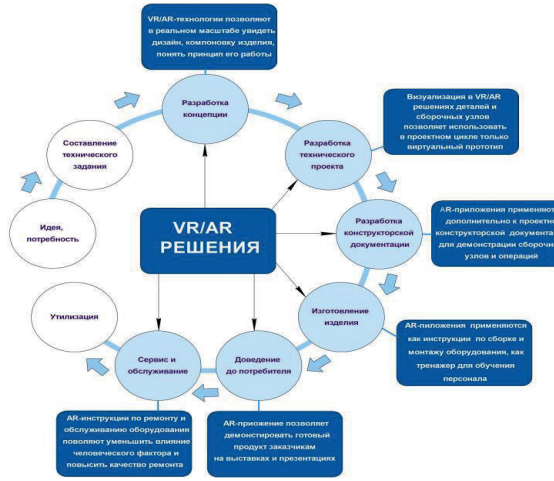


Рис.1. Применение VR/AR-технологий в машиностроении в рамках жизненного цикла продукции

Системы виртуальной реальности воспроизводят компьютерные модели отдельных машиностроительных узлов, деталей, оборудования и техники в трехмерном изображении, с возможностью их визуализации, просмотра, сборки, разборки. И это можно эффективно использовать для демонстрации проектов во время выставок, переговоров и презентаций новых продуктов, применять в процессе обучения производственного персонала. С помощью приложений на смортфоне (Unity, Unreal Engine и Simlab) и систем автоматизированного проектирования - Autodesk Inventor, Autodesk Autocad, Компас 3D, SolidWorks можно увидеть трехмерную модель редуктора в целом, скрыть детали и подробно изучить устройство и принцип работы, при наведении камеры смартфона на распечатанный сборочный чертеж (рис. 2)

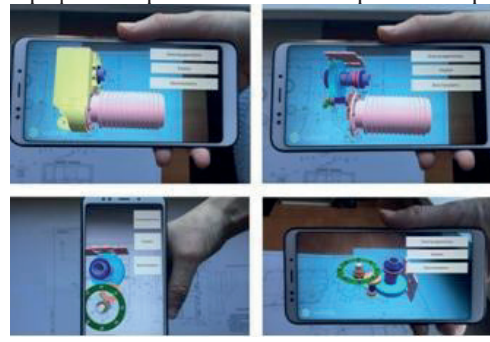


Рис. 2. Визуализация готового изделия на основании электротехнической схемы с помощью AR

В связи со сложившейся ситуацией в мире, зарубежные компании были вынуждены выйти из российского рынка, многим гражданам запретили въезд и выезд другие страны. Для получения необходимой консультации в процессе производства, как российские, так и зарубежные компании могут использовать VR/AR-технологии, что дает экономия времени и финансовых затрат. Это происходит так: исполнитель надевает специальные очки, приглашенный специалист через web-сервис подключается по видеосвязи, на экране ПК или ноутбука он видит картинку. С помощью камеры очков исполнитель показывает проблему. Специалист на удаленке консультирует, как устранить проблему. На экране может вывести инструкции, схемы, чертежи, которых потом можно будет в удобном формате выгрузить из очков.

Итальянско-американская компания Fiat Chrysler по производству автомобилей провел эксперимент - собрать цепи и зубчатые передачи. Половина операторов задачу выполняли с помощью бумажных инструкций, а остальные на AR-инструментах. По результатам эксперимента число ошибок уменьшилось на 80%, цикл рабочего времени сократилось на 38%, пропускная способность увеличилась на 82 %.

В России некоторые компании (Сибур, «Газпром нефть», «Ростех» и др) уже применяют VR/AR-технологии в области машиностроения. Они используют тренажёры для обучения сотрудников и для визуализации процессов технического обслуживания и ремонта оборудования с применением VR-технологий, которые способствуют:

- ✓ снижению рисков для здоровья и целостности оборудования, уменьшению травматизма;
- ✓ увеличению производительности за счёт ускорения адаптации и снижения ошибок персонала;
- ✓ экономии на очном обучении, которое не требует остановки оборудования и создания натурных моделей.

Таким образом, технологии AR/VR - это новый интересный и эффективный инструмент для решения многих задач, существующих на современных предприятиях. Внедрение VR/AR-технологий поможет развитию экономики страны, повышению производительности и эффективности на предприятиях. Ожидается, что к 2024 году мировой рынок дополненной реальности достигнет 300 миллиардов долларов. Дополненная реальность не заменить рабочих на местах, улучшит способы совместной работы цифровых машин и людей. В данный момент технологии виртуальной реальности широко применяются в различных областях человеческой деятельности: проектировании и дизайне, медицине, военных технологиях, строительстве, добыче полезных ископаемых маркетинге и рекламе, индустрии и т.д. Технология не стоит на месте, продолжает развиваться и внедряться, и AR/VR технологии в машиностроительстве станут бесценным инструментом и даже изменят будущее.

Литература

1. Решетникова Е.С., Усатая Т.В., Курзаева Л.В. - Разработка метода визуализации производственных объектов с применением технологий дополненной реальности // Программные системы и вычислительные методы. - 2021. - № 1. -С. 10 - 21. DOI: 10.7256/2454-0714.2021.1.32708 (Дата обращения 27.10.2022 г.)
2. Балла Олег Михайлович - Технологии и оборудование современного машиностроения//Учебники для вузов. Специальная литература - 2020 г.- Редактор: Макаров С. В. - Издательство: Лань
3. Леус А.В. К выбору оптико-электронной системы комплекса виртуальной реальности // Автоматизация в промышленности. 2016. № 7. С. 35–37.

УДК 656.2.07

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Султанов Вячеслав Андреевич
Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань
420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18
Slava_Sultanov1411@mail.ru

Махмутов Марат Мансурович
Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1
maratmax@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены особенности реализации принципов организации производства, специфика использования типов и форм организации производства в транспортном обслуживании нефтегазодобывающей отрасли.

Annotation. The article considers the features of the implementation of the principles of production organization, the specifics of the use of types and forms of production organization in the transport service of the oil and gas industry.

Ключевые слова: инновационные подходы, организация производства, транспортное обслуживание, нефтегазодобывающая отрасль, технологический транспорт, принципы

Нефтегазовая отрасль России представляет собой одну из отраслей тяжелой индустрии и включает в себя разведку газовых и нефтяных месторождений, проведение изысканий, бурение скважин, добычу нефти и газа, организацию транспортировки добытых ресурсов посредством прокладки трубопроводов [1]. Перечисленные производственные направления, дополняя

друг друга, составляют единую отраслевую сферу. Добыча нефти и газа является важнейшей составляющей топливно-энергетического комплекса.

Эффективность работы нефтегазодобывающей отрасли в значительной степени зависит от полноты и своевременности их обеспечения материальными ресурсами, оборудованием, трудовыми ресурсами, специализированным транспортом. В свою очередь это обеспечивается четким и эффективно налаженным транспортным обслуживанием. Проблема эффективной организации транспортного обслуживания особо остро стоит в нефтегазодобыче в силу ряда специфических особенностей данной отрасли. Так транспортные, технологические машины и оборудование составляют до 60 % общего количества транспорта нефтегазовых предприятий и являются непосредственными участниками производственного процесса нефтегазодобычи [1].

Потенциал использования технологии IoT наряду с используемыми сейчас облачным GPS-системами огромен. IoT основан на использование чипов радиочастотной идентификации (RFID), которые «общаются» друг с другом. Товар больше не будет теряться при хранении или транспортировке, так как каждый элемент будет передавать данные о своем местоположении. Уведомление будет приходить о любом негативном воздействии, что позволит оперативно предотвратить повреждение груза или его хищение. Чип может сигнализировать о наступлении неблагоприятных погодных условий, таких как высокая температура или влажность. Мало того, он также может передавать данные о дорожной обстановке и данные, связанные с конкретным параметром, таким как средняя скорость перемещения и схемы движения, информацию о возврате. Поскольку управление цепочками поставок и транспортировка - актуальная тема для менеджеров и директоров по логистике, логистические компании, которые будут применять эту технологию.

В отличие от автомобильного транспорта технологический транспорт относится к промышленному транспорту. Технологический транспорт обеспечивает две главные функции. Первая функция — транспортная –доставка к месту выполнения работ так называемого навесного оборудования – специальной техники, размещенной на транспортном средстве. Вторая - производственная — связана с использованием этого оборудования непосредственно в процессах нефтегазодобычи [6]. Технологический транспорт и специальная техника в отличие от автомобильного транспорта общественного пользования, непосредственно участвует в производственном процессе нефтегазодобычи. Важной особенностью транспортного обслуживания нефтегазовых предприятий является то, что работу технологического транспорта для заказчиков невозможно выполнить подвижным составом из других отраслей. В большинстве случаев технологические процессы нефтегазодобычи, капитального ремонта скважин и другие носят непрерывный характер [1], именно поэтому здесь на первый план выступает система гарантированного обеспечения нефтегазовых предприятий технологическим транспортом в определенной номенклатуре и в заданном количестве. Это положение в корне меняет требования не только к системе обеспечения

технологическим транспортом нефтегазовых предприятий, но и так же к системе поддержания технологического транспорта в исправном техническом состоянии. Перед системой транспортного обслуживания нефтегазовых предприятий стоят разносторонние задачи (рисунок 1). Главной задачей транспортного обслуживания является обеспечение нефтегазового предприятия транспортными услугами в полном объеме. Перечень услуг всех видов, осуществляемый транспортно-технологическим комплексом нефтегазовой отрасли, обширен и включает в себя комплексные задачи.

Технологическое обслуживание осуществляется непосредственно в технологических процессах нефтегазодобычи за счет специальной техники на колесном и гусеничном ходу с навесным оборудованием. Этот вид услуг осуществляют следующей техникой: установки для исследования скважин; установки для текущего и капитального ремонта скважин; установки для монтажа и наладки средств телемеханики и автоматики, смазки станков-качалок; пескосмесительные агрегаты; промывочные, цементировочные

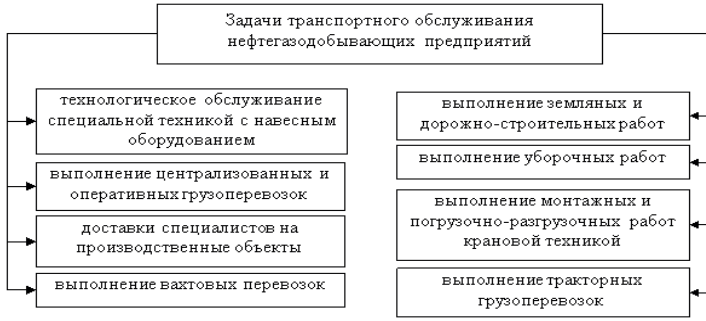


Рисунок 1 - Основные задачи транспортного обслуживания нефтегазовых предприятий

агрегаты; лаборатории различного назначения; компрессорные установки; агрегаты для депарафинизации скважин горячей нефтью и другие [6].

Транспортные предприятия, участвующие в цепи распределения готовой продукции, так же, как и другие партнеры, должны обеспечивать сокращение времени на транспортировку, повышение уровня сервиса. В целом это означает движение навстречу потребителю транспортных услуг. Такая ситуация конкретно выражается в предоставлении различных нетрадиционных дополнительных услуг, а также в широкомасштабном использовании новейших достижений в области коммуникации и информатизации. Классификация компонентов, образующих новые стратегии фирм-перевозчиков, приведена на рисунок 2.

Рисунок 2 - Компоненты новых стратегий транспортного обслуживания

Предоставление транспортными фирмами новых дополнительных услуг позволяет расширить круг их клиентуры, увеличить прибыль от реализации продукции, облегчает и ускоряет.

Услуги дорожно-строительной техники на колесном и гусеничном ходу используются для земляных и дорожно-строительных работ при строительстве скважин, внутрипромысловых дорог, обустройстве нефтяных и газовых месторождений. Выполнение уборочных работ на объектах нефтегазодобычи осуществляется с помощью следующей техники: мусоровозы, ассенизационные машины, снегоуборочные машины, снегопогрузчики, пескоразбрасыватели. Выполнение грузоперевозок автомобильным грузовым транспортом осуществляют грузовые автомобили, а также автомобили для перевозки длинномерных грузов. Выполнение тракторных грузоперевозок осуществляется в большинстве случаев при переезде бригад в процессе выполнения ремонтов скважин, а также теолого-технических мероприятий на скважинах. В процессе услуг перебазирования используются тракторы-тягачи (колесные и гусеничные), большими артиллерийскими тягачами (БАТ), гусеничными тяжелыми тягачами (ГТТ) [6]. Выполнение монтажных и погрузочно-разгрузочных работ крановой техникой на колесном и гусеничном ходу осуществляют следующей техникой: автомобильными и тракторными кранами, трубоукладчиками, погрузчиками. Выполнение вахтовых перевозок производится автобусами и грузовыми автомобилями, переоборудованными для перевозки людей.

Эксплуатация технологического автомобильного транспорта регламентируется «Приказом Ростехнадзора от 20.11.2017 № 488 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной

безопасности "Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом"» [6].

Структура автопарка транспортного комплекса в нефтегазовой отрасли отличается от структуры автопарка транспортного комплекса общего

пользования, однако многие проблемы схожи с автотранспортными участками других отраслей промышленностей, в том числе имеющих другой функционал. На рисунке 3 с помощью диаграммы Исикавы были выявлены и учтены все существенные факторы, влияющие на результат деятельности транспортных участков.

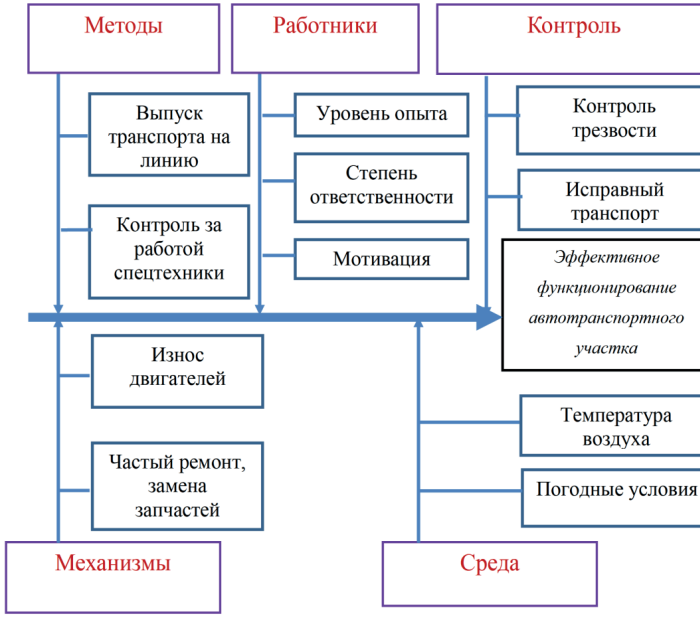


Рисунок 3 - Диаграмма Исикавы по выявлению проблем функционирования автотранспортного участка

Организация транспортного обслуживания в нефтегазодобыче подчиняется общим принципам организации производства, но они имеет свои особенности (рисунок 4).

Рисунок 4 - Особенности реализации принципов организации производства в транспортном процессе

Принцип пропорциональности в организации транспортного обслуживания предполагает соответствие пропускной способности всех звеньев транспортного предприятия — цехов, участков, различных рабочих мест по выпуску транспорта в наряд [4]. Параллельность имеет место при выполнении смежных операций при выполнении основных, вспомогательных и обслуживающих транспортных процессов. Ритмичность является основополагающим принципом организации транспортного обслуживания, так как обеспечивает бесперебойные материальные потоки нефтегазового предприятия, и основана на выполнении графика транспортного обслуживания, составляемого с применением принципов прямоточности и автоматизации [5]. Организация транспортного обслуживания зависит от типа производства. В мелкосерийном и единичном производстве отсутствуют устойчивые грузопотоки и пассажиропотоки, в связи с чем перевозки грузов и пассажиров осуществляются в основном по разовым маршрутам, а работа специализированного технологического транспорта — по разовым заявкам [3]. Данный тип производства характерен для узкоспециализированных транспортных предприятий, оказывающих специализированные услуги в единственном числе. В серийном производстве грузопотоки и пассажиропотоки более устойчивые, чем в единичном и мелкосерийном, поэтому перевозки грузов и пассажиров организуются как по постоянным, так и по разовым маршрутам. Работа технологического транспорта организовывается как по постоянному графику, так и по разовым заявкам [3]. Данный тип производства характерен для средних транспортных организаций, имеющих небольшие объемы транспортного обслуживания нефтегазовых предприятий. В крупносерийном и массовом производстве грузопотоки и пассажиропотоки являются наиболее устойчивыми. Это дает возможность организовывать перевозку грузов и пассажиров по постоянным маршрутам, а работу транспортных средств — по постоянному графику [3]. Данный тип

производства характерен для крупных транспортных предприятий, обслуживающих несколько месторождений. Тип производства зависит от специализации, концентрации и степени кооперирования транспортного предприятия. Формирование этих форм производства взаимообусловлено и взаимосвязано. Концентрация производства — процесс сосредоточения транспортного обслуживания, характеризуется объемом оказания транспортных услуг, численностью водительского состава, количеством транспортных средств. По степени концентрации выделяют крупные, средние, мелкие предприятия [2]. Специализация — сосредоточение деятельности на относительно узком секторе, специальном направлении, отдельных технологических процессах и операциях. Специализация производства в транспортном обслуживании реализована в двух основных формах: предметной и технологической [4, 12].

Исследование теоретических и практических работ в области оптимизации процесса эксплуатации технологического транспорта и спецтехники на объектах нефтегазового хозяйства показало [9-11], что к основным направлениям совершенствования транспортной техники нефтегазовой отрасли можно отнести:

- внедрение и эксплуатация специальных транспортных средств, способных работать в любых погодных условиях, на различных местностях - различной проходимости, высокой грузоподъемности;

- внедрение и установка автоматизированных информационных систем контроля и видеофиксации и другого бортового оборудования для обеспечения безопасности эксплуатации технологического транспорта и спецтехники;

- совершенствование имеющихся транспортных средств, в плане сокращения объема холостых пробегов, механизация трудоемкости погрузочно-разгрузочных работ;

- планирование транспортных услуг с помощью экономико-математических методов.

Таким образом, транспортное обслуживание нефтегазодобывающей отрасли в целом отвечает общим принципам, использует стандартные типы и формы организации производства, однако в силу специфики своей деятельности имеет отличительные особенности.

Литература:

1. Бренц, А. Д. Организация, планирование и управление предприятиями нефтяной и газовой промышленности [Текст]: учебное пособие / А. Д. Бренц, В. Е. Тищенко. — М.: Издательство «Недра», 2011. — 52 с.

2. Бухалков, М. И. Производственный менеджмент. Организация производства [Текст]: учебник для студентов высших учебных заведений / М. И. Бухалков. — М.: Издательство «ИНФРА-М», 2015. — 385 с.

3. Габдуллин Т.Р. Нанесение дорожной разметки на мокрое покрытие. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1 (35). С. 240-246.

4. Матанцева, О. Ю. Основы экономики автомобильного транспорта [Текст]: учебное пособие для студентов / О. Ю. Матанцева. — М.: Издательство «Юстицинформ», 2015. — 189 с.

5. Минько, Р. Н. Организация производства на транспорте [Текст]: учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений / Р. Н. Минько. — М.: Издательство «Инфра-М», 2015. — 335 с.

6. Найманова, А. С. Особенности организации транспортного обслуживания нефтегазодобывающей отрасли/ А. С. Найманова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 1 (291). — С. 101-104. — URL: https://moluch.ru/archive/291/65968/ (дата обращения: 07.10.2021).

7. Организация производства в транспортной системе России [Текст]: учебно-методическое пособие / под ред. Н. Б. Поповой. Новосибирск: Издательство «СГУПСа», 2015. — 263 с.

8. Павловская, А. В. Организация производства на буровых и нефтегазодобывающих предприятиях [Текст]: учебное пособие / А. В. Павловская. — Ухта: Издательство «УГТУ», 2014. — 191 с.

9. Туровец, О. Г. Организация производства на предприятии [Текст]: Учебное пособие / О. Г. Туровец, В. Н. Родионова. — М.: Издательство «ИНФРА-М», 2011. — 207 с.

10. Сахапов Р. Л., Мазитов Н.К., Рахимов Р. С., Лобачевский П. Я., Галяутдинов Н. Х., Шарафиев Л. З. водо - и энергосберегающая технология обработки почвы и посева в условиях повышенной тяги // Машины и оборудование для села. 2013. № 3 (189). С. 2-6.

11. Sakhapov R.L., Nikolaeva R.V., Gatiyatullin M.H., Makhmutov M.M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines. Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 738. № 1. С. 012119.

12. Sakhapov, R. L., Makhmutov, M.M. (2020). Influence of removable anti-skid device on the soil density. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 786. 012021. doi. 10.1088/1757-899X/786/1/012021.

ВОПРОСЫ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ КРУПНЫХ НАСОСОВ СИСТЕМ МАШИННОГО ОРОШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Тоиров Олимжон Зувурович
Ташкентский государственный технический университет,
100095, Ташкент, ул. Университетская, 2, e-mail: olimjontoirov@gmail.com
Институт проблемы энергетики Академии наук Республики Узбекистан,
100125, Ташкент, Республика Узбекистан
Халиков Салихджан Субханович
Ташкентский государственный технический университет,
100095, Ташкент, ул. Университетская, 2, e-mail: xalikovsolixjon@gmail.com
Институт проблемы энергетики Академии наук Республики Узбекистан,
100125, Ташкент, Республика Узбекистан
Хуснутдинов Азат Назипович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
420061, Казань, ул.Красносельская, д.51, e-mail: khusnutdinov.an.kgeu@mail.ru

Аннотация. В существующем методе анализа безопасности, чтобы корректно ввести комплексные показатели типа риск, характеризующие безопасность при эксплуатации используется модель развития нарушения, представляемая правосторонним дихотомическим «деревом событий. В рассмотренных методах расчета риска во многих случаях проведение вероятностного анализа безопасности в полном объеме может быть затруднено, особенно при отсутствии информации об отдельных процессах. Расчет риска сопровождается высокой степенью неопределенности, что требует значительных затрат времени. С этой точки зрения в статье предложено для проведения вероятностного анализа безопасности насосов применить системы искусственного на основе искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов, экспертных систем и систем нечетной логики.

Abstract: In the existing method of safety analysis, in order to correctly introduce complex risk-type indicators that characterize safety during operation, a violation development model is used, represented by a right-sided dichotomous "event tree. In the considered risk calculation methods, in many cases, carrying out a probabilistic safety analysis in full may be difficult, especially in the absence of information about individual processes. Risk calculation is accompanied by a high degree of uncertainty, which requires considerable time. From this point of view, the article suggests using artificial systems based on artificial neural networks, genetic algorithms, expert systems and odd logic systems to conduct a probabilistic analysis of pump safety.

Ключевые слова. анализ, безопасность, насос, орошения, нейронная сеть

Изучение причин нарушений нормальной эксплуатации (ННЭ) крупных насосов машинного орошения свидетельствует о необходимости разработки

методологии управления риском аварий и оценки безопасности, которая позволит оценить баланс между масштабами возможного ущерба от потенциальных аварий данной системы и ее технико- экономическими преимуществами.

В статье предложено для проведения вероятностного анализа безопасности насосов применить системы искусственного на основе искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов, экспертных систем и систем нечетной логики.

Основу каждой искусственной нейронной сети составляет элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга (далее под нейроном подразумевается искусственный нейрон, ячейку искусственного нейрона, ячейку искусственной нейронной сети). Каждый нейрон представляет элемент насоса и события происходящие в результате ННЭ и характеризуется своим текущим состоянием по аналогии с нервными клетками головного мозга, которые могут быть возбуждены или заторможены. Он обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона, с которого (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов. Каждый синапс характеризуется величиной синоптической связи или весом W_{ij} , который по физическому смыслу эквивалентен электрической проводимости [2].

Текущее состояние нейрона определяется, как взвешенная сумма его входов:

$$\text{Sij} = \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{n} X_{ij} \cdot W_{ij} \qquad (1)$$

Выход нейрона есть функция его состояния:

$$y = f\,(s) \qquad (2)$$

Нелинейная функция f называется активационной и может иметь следующие виды: функция единичного скачка; линейный порог (гистерезис); сигмоид.

Для нашего случае выбран вид функции - сигмоид – гиперболический тангенс, здесь входом функции будет наработка t, параметром функции – интенсивность отказов - λ, а выходом вероятность безотказной работы – P (t). Для оценки показателей критичности используется теория нечетких множеств [3-5].

Нарушение нормальной эксплуатации элементов насосов происходят из-за ненормального режима работы насоса и механических неисправности его элементов [6].

На рис.1 показаны существующие 9 видов отказов насоса.

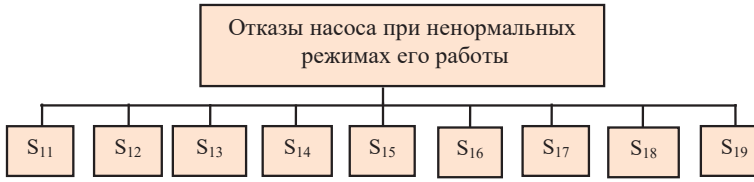


Рис. 1. Отказы насоса при ненормальных режимах его работы.

S_{11}- появление вибрации и увеличение биения вала насоса, сопровождается ударами, стуками в рабочем колесе; S_{12} - напор и подача насоса пульсируют и не соответствуют рабочему режиму; S_{13} - вибрация с преобладающими кавитационными частотами 800-20000 Гц; S_{14} - напор пульсирует и выше допустимого, подача значительно меньше расчетной; S_{15} - агрегат сильно вибрирует с кавитационными частотами; S_{16} - насос не подает воду при перегрузке электродвигателя, допустимых гидравлическом сопротивлении трубопровода и подпоре; S_{17} - усиленная вибрация на частотах, кратных лопастным и частотам вращения; S_{18} - насос не обеспечивает требуемого напора, вибрации на лопастных частотах; S_{19} - насос не обеспечивает требуемой подачи.

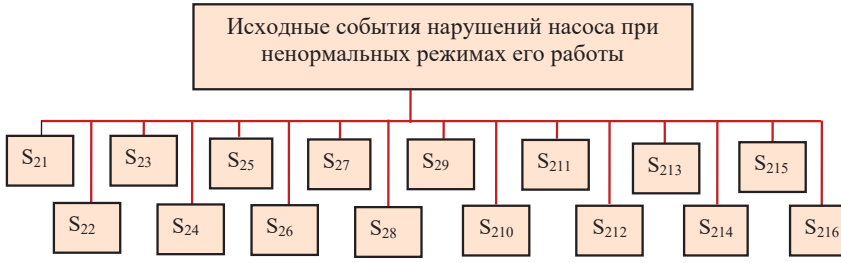


Рис.2. Исходные события нарушений насоса при ненормальных режимах его работы

S_{21} - забивка решеток; S_{22} - попадание воздуха во всасывающую трубу; S_{23} - образование воздушных мешков в трубопроводах; S_{24} - заиление всасывающей трубы; S_{25} - критический кавитационный режим с характерными стуками, похожими на удары камней о железо; S_{26} - резкая кривая спада уровня в аванкамере с воронками при низком уровне нижнего бъефа; S_{27} - повышенная закрутка потока в аванкамере в плане; S_{28} - помпажные явления; S_{29} - гидравлическое сопротивление превышает допустимое; S_{210} - насос работает в тормозном или реверсивном режиме при обратном вращении; S_{211} - обломка лопастей и расцентровка ротора насоса; S_{212} - значительный износ торцов

лопастей рабочего колеса и камеры; S_{213} - износ уплотнительных колец переднего диска колеса; S_{214} - установлен нерабочий угол разворота лопастей осевого насоса; S_{215} - прикрыта или полностью открыта задвижка на трубопроводе; S_{216} - негерметичен клапан срыва вакуума.

Величина функции будет вероятность без отказной работы $P_{11}(t)$ насоса при ненормальных режимах его работы. Из выходов нейронов S_{12} - S_{19} получим вероятность безотказной работы P_{12} (t) - P_{19} (t). Здесь множества нейронов S_{12} - S_{19} характеризуют отказы, множество сигналов X_{12}…..X_{19} являются выходом этих нейронов. Эти выходные сигналы соответствуют сигналам, приходящим в синапсы биологического нейрона и каждый из них умножается на соответствующий вес W_{12}…. W_{19} и поступает на вход нейрона отказа. Каждый вес соответствует «вес» одной биологической синаптической связи S_{H1}. Нейрон S_{H1} , соответствующий телу биологического элемента, складывает взвешенные входы алгебраически, создавая выход, который назовем NET. В векторных обозначениях это может быть записано следующим образом:

$$NET_{H1} = X_{H1}W_{H1}$$

Зная вероятность безотказной работы, можем произвести диагностику технического состояния насосов, рассчитать риск, определить тяжесть каждого нарушения и оценить безопасность каждого элемента насоса, обращаясь каждому из них, отображать состояния их на экране ЭВМ и эффективно выявлять аварийные факторы, принять необходимые экстренные корректирующие меры, направленных на повышение безопасности работы насоса.

Список литературы

1. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник / Л.Н. Александровская, И.З.Аронов, А.И. Елизаров и др.; Под ред. В.П.Соколова. - Логос, 2001 – Т. 232.

2. Борисов Е. С. Основные модели и методы теории искусственных нейронных сетей //URL: https://mechanoid. kiev.ua (дата обращения: 14.09. 2022). – 2005.

3. Kashapov N. F. et al. New methodological approach to the development of the theory of electric traction of urban electric transport //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Т. 570. – №. 1. – P. 012041.

4. Pavlov P. et al. Technique for optimization of diagnostic parameters composition for power systems objects //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Т. 643. – №. 1. – P. 012013.

5. Aykhadeev A. et al. Identification of electric traction in the urban electric transport system //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Т. 643. – №. 1. – P. 012028.

6. Киселев И. И. и др. Крупные осевые и центробежные насосы //Монтаж, эксплуатация и ремонт. Справочное пособие/ИИ Киселев, АЛ Герман, ЛМ Лебедев, ВВ Васильев–М.: Машиностроение.–1977.–184 с.

РАЗРАБОТКА ТОКЕНА ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСИ С ДАТЧИКОМ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Фахреева Диляра Рамилевна
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Российская Федерация, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18

Бурганова Танзиля Ахметкаримовна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
Российская Федерация, г.Казань, ул. Красносельская, д. 51.

Фахреев Наиль Насихович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
Российская Федерация, г.Казань, ул. Красносельская, д. 51.

Аннотация. Цель данного исследования — разработка работы токена электронной подписи с датчиком биометрических данных (изображение отпечатка пальца). Для достижения цели был использован метод сравнительного анализа. Исследовались существующие виды токена электронной подписи. Также исследовался внешний носитель информации с биометрическим способом аутентификации по изображению отпечатка пальца. Доступ к информации на данном носителе осуществлялся с помощью сканирования изображения отпечатка пальца.

Annotation. The purpose of this study is to develop the operation of an electronic signature token with a biometric data sensor (fingerprint image). To achieve the goal, the method of comparative analysis was used. Existing types of electronic signature token were studied. An external storage medium with a biometric authentication method based on a fingerprint image was also studied. Information on this media was accessed by scanning a fingerprint image.

Ключевые слова: токен, электронная подпись, электронный документ, изображение отпечатков пальцев.

Токен электронной подписи – это носитель ключей электронной подписи, который используется для придания документу юридической силы и замены традиционной подписи. Токен представлен в виде флеш носителя с картой памяти объемом 128 кб. Защита электронной подписи осуществляется с помощью двухфакторной аутентификации, когда используется пароль и флеш носитель токена. Однако генерируемые пароли могут храниться ненадлежащим образом, могут быть утеряны, украдены и владельцы электронной подписи могут передавать токен третьим лицам (в целях подписания документов). Такое ненадлежащее использование токена электронной подписи может привести к

несанкционированному доступу к информации и фальсификации документов. Таким образом, возникает проблема использования токена электронной подписи посторонними лицами. Одним из решений данной проблемы может стать использование токена с датчиком биометрических данных.

Юридическая сила использования токена электронной подписи была исследована в работах Р.М. Аллалыева и В.В.Беляй [1]. Способы защиты токена электронной подписи были проанализированы в работах Е.Царева [2], А.Н. Лебедева [3]. Однако в этих работах не изучались вопросы разработки и использования токена электронной подписи с датчиком биометрических данных. Поэтому цель данного исследования - разработка работы токена электронной подписи с датчиком биометрических данных (изображение отпечатка пальца). Для достижения цели необходимо провести сравнительный анализ существующих видов токена электронной подписи.

В Российской Федерации в качестве носителей электронной подписи сертифицировано несколько видов токенов: Рутокен; Е-токен; JaCarta LT; Esmart USB; ключевой носитель R301 Форос; JaCarta-2 SE.

«Рутокен» — торговый бренд российского разработчика «Актив», занимающегося разработкой и производством продуктов в области защиты информации. Данные токены разработаны для хранения ключей и сертификатов электронной подписи и с помощью них можно подписывать документы.

«Е-токен» — мировой бренд, принадлежащий компании Thales/Gemalto, разрабатывающий средства аутентификации. Данный вид токена отличается широким разнообразием видов USB-накопителей.

JaCarta LT - токен который может быть использован для хранения контейнеров для всех популярных поставщиков криптографического ПО

JaCarta-2 SE отличается от других видов токенов дополнительными средствами защиты.

Esmart USB – токен, который может быть использован для хранения электронной подписи любого типа.

Работа токена сформирована следующим образом. При получении токена у владельца генерируются закрытый и открытый ключи. Закрытый ключ известен только владельцу – он хранится на специальном токене. Безопасность данного способа заключается в ограничении доступа к токену посторонних лиц, так как именно с помощью него происходит шифрование подписи электронного документа. Рассмотренные виды токенов сертифицированы и соответственно обладают всеми необходимыми средствами защиты. Но для совершенствования уровня безопасности, предотвращения фальсификации документов и защиты информации от несанкционированного доступа, токены могут быть дополнены датчиками биометрических данных. Авторами был разработан алгоритм работы токена с биометрическими данными (Рис 1.)

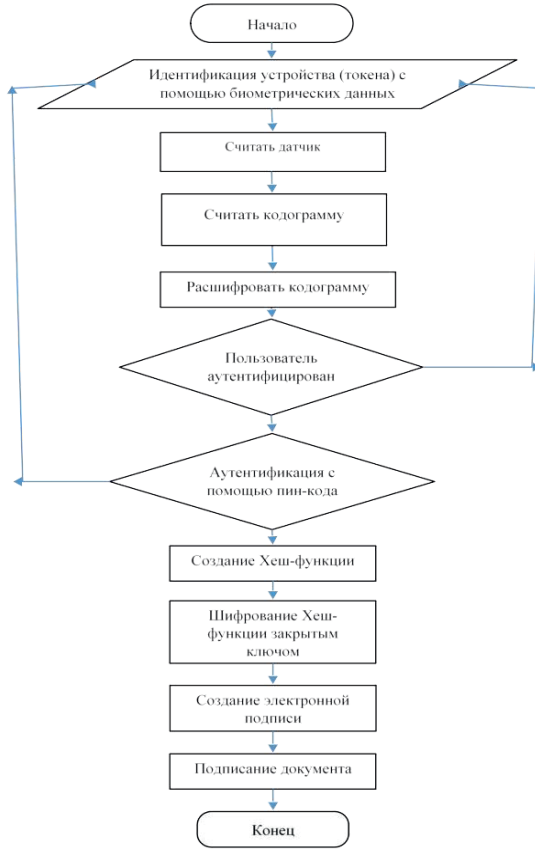


Рисунок 1 - схема работы электронной подписи с датчиком биометрических данных

Первичная аутентификация осуществляется с помощью сканирования изображения отпечатка пальца с помощью датчика, встроенного в токен электронной подписи. Далее система идентифицирует пользователя и открывает доступ к электронной подписи. Вторичная аутентификация производится с помощью пароля. После ввода пароля производится создание электронной подписи и подписание ей электронных документов. Данный способ двухфакторной аутентификации электронной подписи с помощью биометрических документов может быть использован при подписании документов во внутреннем электронном документообороте.

Литература

1. Аллалыев, Р.М. К вопросу о цифровых правах в законодательстве Российской Федерации / Р.М. Аллалыев, В.В. Беляй // Образование и право. 2020. № 2. С. 90-95.

2. Царев, Е. Практические способы усиления аутентификации граждан при использовании электронных услуг / Е.Царев // Защита информации. Инсайд. 2014. № 3 (57). С. 30-31.

3. Лебедев, А.Н. Способ рассылки защищенных данных с регулированием доступа к отдельным их разделам / А.Н. Лебедев // Вопросы кибербезопасности. 2015. № 5 (13). С. 70-72.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРОЗРАЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Хайбуллина Нурия Наилевна, Ляхович Алевтина Михайловна
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
hajbullina.nuria-99@yandex.ru, alalam@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены преимущества и недостатки прозрачных полупроводников n и p вида. Предложен способ получения прозрачных полупроводников p вида на основе йодида меди (I) (CuI), применяющиеся в прозрачных электродах и в солнечных элементах в качестве слоя переноса носителей заряда. Обсуждены способы подготовки образцов, способы нанесения пленок и метод получения покрытий.

Ключевые слова: солнечные элементы, прозрачный полупроводник, полупроводники p-типа.

Abstract. The advantages and disadvantages of transparent n- and p-type semiconductors are considered. A method for producing transparent p-type semiconductors based on copper iodide (I) (CuI) used in transparent electrodes and in solar cells as a charge carrier transfer layer is proposed. Methods of sample preparation, methods of film deposition and method of coating production are discussed.

Key words: solar cells, transparent semiconductor, p-type semiconductors.

Неорганические прозрачные полупроводники в последние десятилетия достигли большого прогресса в современных оптоэлектронных исследованиях и нашли широкое применение от слоев переноса заряда в полупроводниковых приборах до прозрачных электродов для различных оптоэлектронных устройств.

Прогноз показывает, что к 2025 году будет создан рынок прозрачных дисплеев стоимостью 87,2 миллиарда долларов (рисунок 1) [1].

В настоящее время эффективно используются прозрачные полупроводники n-типа: In_2O_3, легированный Sn, ZnO, легированный Ga или Al, оксид фтора и олова, InGaZnO с шириной запрещенной зоны от 3.1 эВ до 5 эВ [2].

Из-за отсутствия хороших прозрачных электродных материалов p-типа современные устройства OLED и солнечные элементы (органические или титанат кальциевые (перовскиты)) требуют слоя переноса дырок для достижения эффективной инжекции дырок в прозрачных электродах ITO. Высокоэффективные аналоги могут быть получены из полупроводников p-типа, ширина запрещенной зоны которых составляет ~ 3 эВ [3].

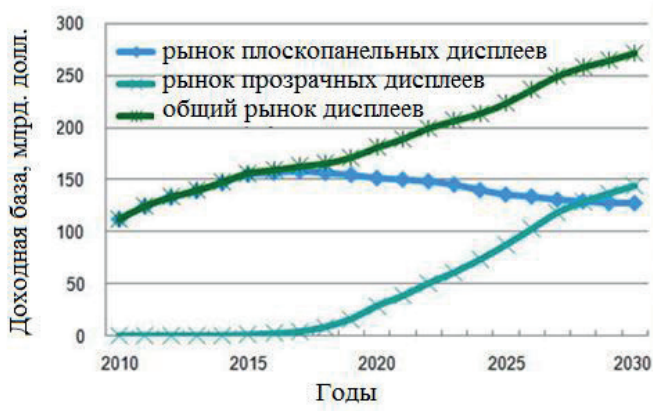


Рисунок 1 – Прогноз рынка плоскопанельных и прозрачных дисплеев

Были проведены обширные исследования семейств на основе Cu(I), включая CuMO2 (M = Al, Ga, In и т. д.), делафосситы и неделафосситы $SrCu_2O_2$ и LnCuOCh (Ln = La–Nd, Ch = S и Se). Оксиды Cu_2O, SnO, NiO и Rh_2O_3 были продемонстрированы как потенциальные кандидаты полупроводники p-типа, но они обладают недостаточным переносом дырок с низкой подвижностью и недостаточной оптической прозрачностью [2].

Строгие методы получения данных полупроводников, такие как импульсное лазерное осаждение (PLD) и эпитаксиальный рост, а также высокие температуры кристаллизации (≥700 °C) не подходят для процесса коммерциализации на больших площадях. Остается открытым вопрос о том, можно ли разработать новые высокопроизводительные прозрачные полупроводники p-типа.

Возрос интерес к поиску прозрачных полупроводников p-типа помимо оксидов, которые можно обрабатывать с использованием простых и масштабируемых методов при температурах, совместимых с пластиком.

Теоретические исследования показывают, что замена кислорода на элементы с меньшей электроотрицательностью и большими p-орбитальными анионами могут реализовывать более делокализованные валентные зоны, чем

оксиды. Следуя этой стратегии, перспективными альтернативами являются галогениды металлов и бинарные галогениды металлов (халькогениды). Для халькогенидов металлов типичным примером является система Cu–Zn–S, обладающая как высокой проводимостью ≈ 3 См/см, так и E_g=3 эВ. Недостаток халькогенидов состоит в большей склонности к разложению в условиях окружающей среды по сравнению с оксидами [4]. Другим кандидатом является псевдогалогенид тиоцианата меди (I) (CuSCN), который показывает большую E_g=3,5 эВ с приличным переносом дырок из-за преобладания состояний Cu3d в максимуме валентной зоны, аналогично другим оксидам на основе Cu(I). Однако из-за относительно большой эффективной массы дырки $0{,}8m_e$ CuSCN показал низкую проводимость р-типа с подвижностью дырок <0,1 $см^2В^{-1}с^{-1}$, что ограничивает его применение в высокопроизводительных электронных устройствах [5].

Приведенные недостатки исключает такой кандидат, как прозрачный йодид меди(I) (CuI), с E_g=3,1 эВ, демонстрирующий более высокую подвижность дырок (до 44 $см^2В^{-1}с^{-1}$) и проводимость р-типа (до 280 См/см). Превосходные электрические характеристики CuI по сравнению с оксидами на основе Cu(I) выгодны по двум причинам, а именно:

- меньшая электроотрицательность йода по сравнению с кислородом (2,66 против 3,44 по шкале Полинга) позволяет больше делокализовать дырки над максимумом валентной зоны;
- пространственно разнесенные три крайние р-орбитали могут обеспечить достаточное орбитальное перекрытие для быстрого переноса дырок.

CuI в основном состоит из нетоксичных элементов и может быть выращен с помощью различных методов осаждения пленки при низких температурах [2].

Мы планируем получать на базе Инженерного институту Казанского Федерального Университета на кафедре ТфиЭ прозрачные полупроводники р-типа на основе йодида меди(I) (CuI).

Для этого у нас имеется:

- Установка магнетронного распыления ВУ-700Д (рисунок 2);
- Медная мишень;
- Газы: N_2, Ar;
- Опыт работы по нанесению функциональных покрытий с использованием магнетронного распыления.

Рисунок 2 – Вакуумная ионно-плазменная установка магнетронного распыления ВУ-700Д

При исследовании полупрозрачных полупроводников йодида меди(I) (CuI) будут использованы методы чувствительные к свойствам поверхности, а именно: атомно-силовая микроскопия и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.

В качестве подложек будут использованы бесщелочные, содово-известковые стекла и пленки полиэтилентерефталата (ПЭТ). Подготовка стекол будет реализоваться путем очистки ультразвуковой мойкой деионизированной водой, этанолом, ацетоном в течение 15 мин.

В качестве мишени будет использоваться диск из чистой меди (99,9%).

Среда обработки: Ar: N_2 (1:1), Ar.

Травление подложек стекла в течение 5 минут.

Осаждение пленки 5 минут.

Получение пленок CuI:

1 вариант. Обработка в парах йода: Cu_3N /стекло и Cu_3N /ПЭТ помещается в стеклянную бутыль стороной с покрытием Cu_3N вверх; в колбу переносится ≈1 г твердофазного йода для создания прямого контакта с поверхностью Cu_3N; стеклянная бутыль немедленно запечатывается и затем выдерживается при 20°C в течение 60 мин.

2 вариант. Обработка в растворе йода: пленка меди погружается в раствор йода (I_2) (1% на 100 $см^3$) на 15с, 30с и 60с, затем сушится горячим воздухом.

Заключение.

Рассмотрены преимущества и недостатки прозрачных полупроводников n и p вида. Предложен способ получения прозрачных полупроводников p вида на основе йодида меди (I) (CuI), применяющиеся в прозрачных электродах и в солнечных элементах в качестве слоя переноса носителей заряда. Обсуждены способы подготовки образцов, способы нанесения пленок и метод получения покрытий.

Список литературы

1. Fortunato E. Oxide Semiconductor Thin-Film Transistors: A Review of Recent Advances / E. Fortunato, P. Barquinha, R. Martins // Advanced Materials. – 2012. – Т. 24. – С.2945-2986.

2. Engineering Copper Iodide (CuI) for Multifunctional p-Type Transparent Semiconductors and Conductors / A. Liu [и др.] // Advanced Science. – 2021. – Т. 8, № 2100546.

3. Printable Semiconductors for Backplane TFTs of Flexible OLED Displays / H. Zhu [и др.] // Advanced Functional Materials. – 2020. – Т. 30, № 1904588.

4. Combinatorial Tuning of Structural and Optoelectronic Properties in $Cu_xZn_{1-x}S$ / R. Woods-Robinson [и др.] // Matter. – 2019. – Т. 1. – С. 862-880.

5. Elucidating the Coordination of Diethyl Sulfide Molecules in Copper(I) Thiocyanate (CuSCN) Thin Films and Improving Hole Transport by Antisolvent Treatment / P. Worakajit [и др.] // Advanced Functional Materials. – 2020. – Т. 24, № 2002355.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Хайбуллина А.И., доцент
Сунгатуллина Г.Г., магистр гр. ЭОм-1-22

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
кафедра «Энергообеспечение предприятий,
строительство зданий и сооружений»
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51

Аннотация. В данной статье приведен расчет экономической эффективности системы горячего водоснабжения с использованием солнечного коллектора для административного здания.

Abstract. This article presents a calculation of the economic efficiency of a hot water supply system using a solar collector for an administrative building.

Ключевые слова: солнечный коллектор, горячее водоснабжение, экономическая эффективность.

Key words: solar collector, hot water supply, economic efficiency.

Энергетические проблемы выходят на первое место в мире среди важнейших проблем и задач, которые предстоит решить обществу в XXI веке. В связи с этим вопросы энергосбережения, развития и внедрения систем альтернативной энергетики или возобновляемых источников энергии (ВИЭ) становятся одними из самых актуальных.

Применение солнечных коллекторов позволит сэкономить потребление тепла, выработанного на ТЭЦ, а значит поможет существенно снизить выбросы CO_2 и сократить потребление природного газа. Также это поможет в поисках

более современных эффективных способов производства тепловой энергии и оптимизации существующих способов теплоснабжения.

В статье [1] представлены результаты натурных исследований использования солнечного коллектора в системе отопления и горячего водоснабжения частного жилого дома в условиях Сибири. Исследования показали, что солнечный коллектор снижает энергетические затраты на 25-39 % в весенне-осенний период времени, а расчетный срок окупаемости составил 5,2 года.

В работе [2] рассчитана экономическая эффективность установки солнечных коллекторов с целью получения тепловой энергии для системы горячего водоснабжения неэнергоемких потребителей.

В данной работе приведен расчет экономической эффективности системы горячего водоснабжения с использованием солнечного коллектора для административного здания, г. Казань по методике [3].

Количество работников 50 чел; среднее суточное потребление горячей воды, N/сут ↖ 60 л/чел; коэффициент запаса $k_з$ ↖ 1,5; температура горячей воды, $t_{гор}$=60 ^{0}C; средняя температура холодной воды в зимний период, $t_{хол.з.}$ = 5 ^{0}C; средняя температура холодной воды в летний период, $t_{хол.л}$ = 15 ^{0}C; сезонность работы установки в летний период – 12 часов (0,5 суток), в зимний период – 6 часов (0,25 суток).

Определение объема теплообменного бака и температурного перепада.

Объем бойлера определяется по формуле:

$$V = \text{кз} \cdot 1 \cdot n = 1{,}5 \cdot 50 \cdot 60 = 4500 \text{ л} \quad (1)$$

Температурный перепад, т.е. разность температур воды на входе и на выходе теплообменного бака находится по формуле:

$$\Delta t = t_{гор} - t_{хол},\ ^0\text{C} \quad (2)$$

Летний период:

$$\Delta t_л = 60 - 15 = 45\ ^0\text{C}$$

Зимний период:

$$\Delta t_з = 60 - 5 = 55\ ^0\text{C}$$

Определение количества энергии для нагрева воды:

$$Q = C \cdot V \cdot \Delta t\ , \text{Ккал} \quad (3)$$

Летний период:

$$Q_л = C \cdot V \cdot \Delta t_л = 1 \cdot 4500 \cdot 45 = 202500 \text{ Ккал} = 235{,}52 \text{ кВт/ч}$$

Зимний период:

$$Q_з = C \cdot V \cdot \Delta t_з = 1 \cdot 4500 \cdot 55 = 247500 \text{ Ккал} = 287{,}86 \text{ кВт/ч}$$

Зная количество энергии, нужной для нагрева воды в летний период 235,52 кВт/ч в 0,5 суток, найдем потребление 235,52 кВт/ч·150 дней·0,5 = 17664 кВт/ч и в зимний период соответственно 287,86 кВт/ч в 0,25 суток, потребление 287,86 кВт/ч ·215 дней · 0,25 = 15472,47 кВт/ч.

Исходя из этих данных определим экономию в год:

1 кВт = 4,95 руб. (тариф за 2022 год)

Летний период:

17664 кВт/ч · 4,95 руб. = 87436,8 руб.

Зимний период:

15472,47 кВт/ч · 4,95 руб. = 76588,75 руб.

Экономия в год:

87436,8 руб. + 76588,75 руб. = 164025,55 руб. в год.

Определим количество условного топлива, нужного для нагрева горячей воды

164025,55 кВт/ч за год · 0,3445 = 56,5 тонн условного топлива.

Список литературы:

1. Шелехов И.Ю., Пахомова Е.С., Гористов И.А. Опыт использования солнечных коллекторов в условиях сибири. Тенденции развития науки и образования. 2022. № 84-1. С. 114-117.

2. Овсянников Д.Е., Сенникова О.Б. Расчет энергетической и экономической эффективности солнечных коллекторов в г. Москва. Энергосбережение и водоподготовка. 2022. № 5 (139). С. 47-50.

3. Аллаёрова Г.Х., Тошматов Б.М., Узаков Г.Н. Расчет экономической эффективности системы горячего водоснабжения с использованием плоского солнечного коллектора. Молодой ученый. 2019. № 2 (240). С. 15-16.

ИНЖЕНЕРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ПОДГОТОВКЕ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ

Хамидуллина Гульнара Рафкатовна
Хуснутдинова Эльвира Мусавировна
Юнусова Гульназ Рашитовна

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18
E-mail: rr-088@mail.ru

Аннотация: Представлена методология постановки базовых дисциплин в подготовке высококвалифицированных специалистов технических профилей, таких как «Инженерный эксперимент», «Планирование эксперимента» и других дисциплин родственной направленности. На основе длительного опыта преподавания указанных дисциплин в Инженерном институте КФУ обсуждаются ключевые проблемные вопросы в их постановке с позиций современных образовательных технологий.

Abstract: The article presents the methodology of setting basic disciplines in the training of highly qualified specialists of technical profiles, such as «Engineering experiment», «Experiment Planning» and other related disciplines. Based on the long-term experience of teaching these disciplines at the Engineering Institute of Kazan (Volga region) Federal University, the key problematic issues in their formulation from the standpoint of modern educational technologies are discussed.

Ключевые слова: инженерный эксперимент, методология, образовательные технологии.

Экспериментальные исследования – основа развития самых различных отраслей современной науки и техники. Проведение экспериментов позволяет выявить некоторые объективные закономерности явлений, происходящие независимо от исследователя, которые можно использовать для достижения определенных целей – решения конкретных задач или устранения имеющихся проблем.

Главным проблемным моментом развития современной экспериментальной инженерии является то, что характеристики изучаемых объектов в ходе экспериментов все чаще становятся недоступными для прямых измерений какими-либо приборами. Это означает, что измерения становятся всего лишь первичным сбором информации, на базе которых в процессе исследования будут в дальнейшем определены или вычислены необходимые параметры объекта. Сложность современных экспериментальных исследований все чаще связывается с зависимостью от состояния окружающей среды; динамичностью изучаемых процессов (изменением их состояния в течение времени); усложнением измерительно-регистрирующих и управляющих комплексов изучаемых объектов [1].

Поэтому на первый план выходит математическое моделирование как неотъемлемый элемент экспериментальных испытаний. Только на основе математического описания объекта можно связать результаты непосредственных измерений с теми характеристиками объектов, которые необходимо изучить, в том числе с учетом внешних и динамических факторов.

Научить делать открытия нельзя, это зависит от индивидуальных и даже уникальных особенностей самого специалиста или исследователя, его профессиональной подготовки, уровня его развития, сосредоточенности на предмете исследования и даже от стечения определенных обстоятельств (часто говорят, что открытие было сделано случайно), но подготовиться к тому, чтобы делать открытия – можно. В первую очередь, это методическая подготовка, знание инструментария проведения и обработки экспериментов. В высшей школе освоение методик экспериментальных исследований, как правило, ведется на трех образовательных уровнях с постепенным усложнением и углублением в материал (рис.1).

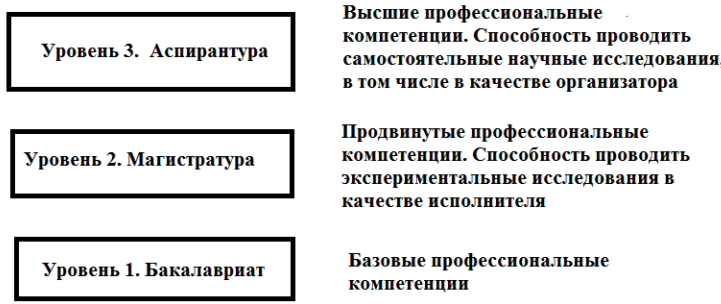


Рис.1. Уровни освоения методологии экспериментальных исследований в образовательных программах высшей школы, реализуемых при подготовке специалистов технических профилей

Целью освоения дисциплин «Инженерный эксперимент», «Планирование эксперимента» и иных дисциплин сходного содержания, преподаваемых для подготовки обучающихся техническим специальностям, является: изучение основных понятий, приемов и методов экспериментального исследования в науке и технике; получение навыков построения физических и математических моделей технических объектов, оценки погрешностей эксперимента, планирования эксперимента.

Для изучения рассматриваемых дисциплин необходимы знания, умения и компетенции, полученные обучающимися ранее в процессе изучения дисциплин естественно-научного цикла: «Теоретическая механика», «Математика», «Физика», «Теория вероятностей и математическая статистика». В связи с этим целесообразным представляется освоение методологии инженерного эксперимента на старших курсах бакалавриата (5, 6 или 7-й семестры) с тем чтобы обучающихся был успешен в своей дальнейшей профессиональной деятельности на производстве или в научно-прикладной деятельности на дальнейших уровнях обучения – в магистратуре и аспирантуре инженерно-технических и естественно-научных профилей.

В результате освоения дисциплин у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции (рис.2) [2]:

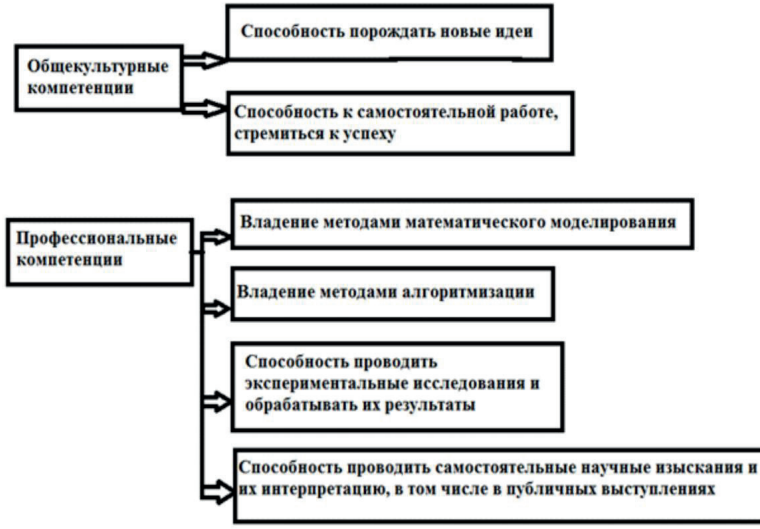


Рис.2. Формирование основополагающих профессиональных компетенций в ходе изучения методологии и прикладных аспектов инженерного эксперимента

Освоение методики проведения экспериментов и обработки экспериментальных данных относится к основным задачам постановки рассматриваемых дисциплин, и здесь следует выделить ряд уровней, характеризующих квалификацию экспериментатора (рис. 3).

Постановка задачи экспериментального исследования, в ходе которой формулируются цели и задачи исследования, намечается каким образом будет организован процесс и обработка измерений.

Составление плана эксперимента, при разработке которого определяется, какие параметры будут измеряться, необходимое количество измерений, шаг изменения параметров в процессе исследований и пр.

Проведение экспериментов. Методика проведения экспериментальных исследований в соответствии с планом.

Обработка экспериментальных данных, в том числе на основе математических моделей; оценка погрешностей измерений и достоверности полученных данных.

Рис.3. Основные этапы экспериментальных исследований

Требуемый уровень квалификации и степень подготовленности исследователя к выполнению этапов, представленных на рис.3, повышается при движении снизу вверх [3].

Отдельного обсуждения требует проблема материального обеспечения образовательного процесса – оборудования, приборов, измерительной и вычислительной техники, программного обеспечения. Все это должно соответствовать той сложности задач, которые предстоит решать специалисту в его профессиональной деятельности [3, 4].

Литература

1. Сафин Р.Г. Основы научных исследований. Организация и планирование эксперимента / Р. Г. Сафин, А. И. Иванов, Н. Ф. Тимербаев. - Казань: Изд-во КНИТУ, 2013. - 155 с.

2. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион; под ред. Э. К. Лецкого, Е. В. Марковой. – М.: Мир, 1981. - 520 с.

3. Khamidullina G.R, Konakhina I.A, Kashapov N.F. Engineering experiment as an underlying tool for training research engineers//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2020. - Vol.915, Is.1.

4. Хуснутдинова Э.М. Инженерное образование в системе современной инновационной деятельности / Конахина И.А., Хамидуллина Г.Р., Хуснутдинова Э.М., Кашапов Н.Ф. // IX Международная научно-техническая конференция «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2018» (МНТК «ИМТОМ–2018»). Ч. 1. – Казань, 2018. - С. 323-326.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Харитонова Ольга Сергеевна, os_kharitonova@mail.ru
Бронская Вероника Владимировна dweronika@mail.ru
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Бальзамов Денис Сергеевич dbalzamov@mail.ru
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Костромин Роман Николаевич kostromin-rn@rambler.ru
Игнашина Татьяна Вячеславовна ighnashina00@mail.ru
Гарифуллина Эльвира Валерьевна elviragar4@mail.ru
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Аннотация: Исследованы проблемы нефтегазовой промышленности и возможные пути их решения с применением искусственных нейронных сетей. Представлены результаты обучения нейронной сети.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, нефть, зависимость, Wolfram Mathematica.

Abstract: The problems of the oil and gas industry and possible ways to solve them using artificial neural networks have been studied. The results of neural network training are presented.

Keywords: artificial neural networks, oil, addiction, Wolfram Mathematica

С каждым годом возрастает тенденция применения искусственного интеллекта с целью обеспечения интеллектуальной автоматизации. Технологии искусственного интеллекта способствуют эффективной работе предприятия и повышению ее конкурентоспособности, к чему стремиться каждое предприятие, особенной в нефтегазовой отрасли.

Состояние нефтегазовой промышленности имеет множество проблемы, решение которых возможно с применением технологий искусственного интеллекта, нейронных сетей и математического моделирования. Основными проблемами данной отпасли является обеспечение безаварийной работы предприяти6 (возможность прогнозирование аварийных ситуаций), оценка надежности оборудования, зависимости качественных показателей, оптимизация транспорта и многое другое.

В нефтегазовой отрасли также применяется машинное обучение. К способами машинного обучения относиться:

- моделирование процессов нефтеподготовки, нефте- и газопереработки, а также поиск оптимальных значений технологических параметров параметров
- планирование процессов бурения на объектах нефтяных месторождений

- создание баз данных об месторождениях и других секторов нефтегазовой отрасли и др.

Применение искусственных нейронных сетей возможно как в производственных, так и в учебных и экспериментальных целях. Для построения нейронных сетей был использовать программный пакет Wolfram Mathematica. Данный программный комплекс эффективен для создания аппроксимаций данных в условиях погрешностей.

Для проведения нейросетевого моделирования были использованы такие показатели, как плотность, и процент отгона фракций до 350^0C и вязкость при при 50^0C для 520 образцов нефтей различных месторождений. Показатели про 360 нефтям были использованы для обучения нейронной сети. Оставшиеся показатели были применены в качестве тестовых значений с целью проверки полученной нейронной сети. Справочные данные из источников [1-6] были использованы в качестве экспериментальных.

Обучение нейронной сети заключалось в выборе функции активации, количестве скрытых слоев [7-10], определении количества нейронов в скрытом слое по формуле [11-12], вычислении ошибки и весовых коэффициентов. Нейронные сети обучаются до того момента, когда ошибка не достигла приемлемого уровня. Процесс обучение нейронной сети 1-50-1 представлен на рисунке 1.

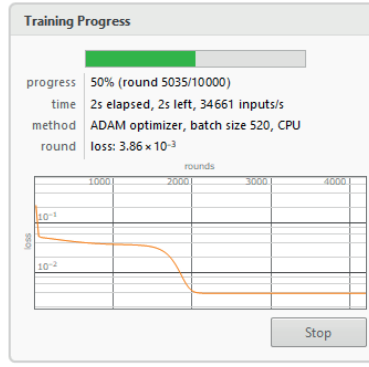


Рис. 1 – Процесс обучения нейронной сети

В результате обучения нейронной сети 1-50-1 была получена зависимость двойного логарифма вязкости ln(lnυ50) от выхода фракций, выкипающих до 350^0C. Зависимость ln(lnυ50) от выхода фракций представлена на рисунке 2.

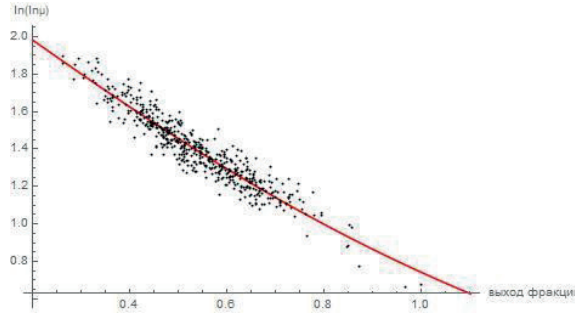


Рис. 2 – Зависимость ln(lnυ50) от выхода фракций (черные точки – экспериментальные данные, линия – результат расчета нейронной сети)

При обучении другой нейронной сети, состоящей из двух входных сигналов, скрытого слоя с 50 нейронами и одного выходного слоя, функций активации LogisticSigmoid (сигмоидальная функция) и Tanh (гиперболический тангенс) – нейронная сеть 2-50-1 - была получена зависимость вязкости нефти от плотности и выхода светлых фракций. Зависимость вязкости нефти от плотности и выхода светлых фракций представлена на рисунке 3.

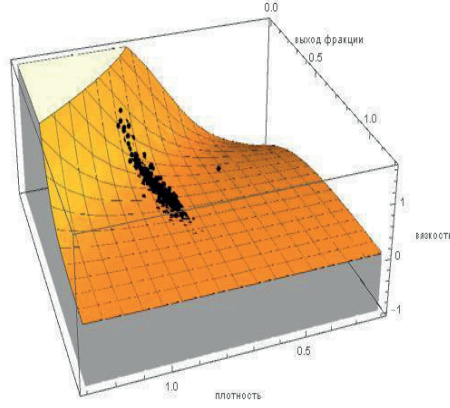


Рис. 3 – Зависимость вязкости от плотности и выхода фракций (результат расчета нейронной сети, черные точки – экспериментальные данные)

На рисунке 4 представлено сравнение экспериментальных данных, результатов расчета нейронной сети и результатов расчета по уравнению расчета вязкости по 50^0C.

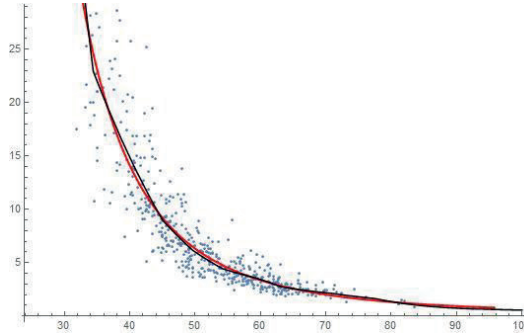


Рис. 4 – Сравнение результатов (синие точки – экспериментальные данные, красная линия – расчет по уравнению расчета вязкости по 50^0С, черная линия – результат расчета нейронной сети)

Полученная нейронная сеть может быть использована для прогнозирования потенциального содержания светлых фракций в нефти.

Литература

1. А.А. Цапаев, В.В. Бронская, Т.В. Игнашина, П.П. Суханов, Научно-технический вестник Поволжья, 2, 7-11 (2019).

2. З.В. Дриацкая, Е.Г. Ивченко, И.С. Лазарева, Нефти северных районов Европейской части ССР и Урала. М.: Химия, 1971. 504 с.

3. З.В. Дриацкая, А.П. Олейникова, И.С. Лазарева, Нефти Среднего и Нижнего Поволжья. М.: Химия, 1972. 392 с.

4. З.В. Дриацкая, И.С. Лазарева, А.С. Журба, Нефти Кавказа и западных районов Европейской части СССР. М.: Химия, 1973. 616 с.

5. З.В. Дриацкая, И.С. Лазарева, Г.Х. Ходжаев, Нефти Средней Азии, Казахстана, Сибири и о. Сахалин. М.: Химия, 1974. 792 с.

6. З.В. Дриацкая, Н.М. Жмыхова, М.А. Мхчиян, Физико-химическая характеристика нефтей СССР. М.: Химия, 1975. 87 с.

7. К.А. Демиденко, Нефти и газовые конденсаты России. М.: Издательство «Техника», 2000. 192 с.

8. Н.И. Попок, М.В. Пята, Ползуновский Вестник, 1-2, 55-62 (2008).

9. Л.С. Гордеев, В.А. Иванов, Ю.Ю. Столяров, Программные продукты и системы, 1, 25-29 (1998).

10. А.А. Цапаев, О.С. Харитонова, В.В. Бронская, Т.В. Володченко, Ф.А. Мусина, Д.С. Бальзамов, Т.В. Игнашина, Приоритетные направления развития науки и технологий. доклады XXVI международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.М. Панарина, 150-152 (2019).

11. И.Г. Ахметова, Е.Ю. Бальзамова, В.В. Бронская, Д.С. Бальзамов, К.В. Лапин, О.С. Харитонова, Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. 92- е заседание семинара учрежденного при ИСЭМ СО РАН. В 3-х книгах. Иркутск, 186-190 (2020).

12. О.С. Харитонова, А.А. Цапаев, В.В. Бронская, Т.В. Игнашина, Н.В. Котова, Р.С. Шайхетдинова, Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство. Сборник научных статей по итогам шестой международной научной конференции, 80-81 (2019).

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Хафизов Ильдар Ильсурович, канд. техн. наук, доцент кафедры УК Инженерного института КФУ, e-mail: Khafizov@kpfu.ru

Кашапов Наиль Фаикович, доктор техн. наук, профессор, директор Инженерного института КФУ, e-mail: Nail.Kashapov@kpfu.ru

Нуруллин Инсаф Галимуллович, аспирант Инженерного института КФУ, e-mail: opros16@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается перспективы применения роботизированных систем, драйверы и барьеры роботизации производства. Внедрение цифровых технологий в производство является одним из основных тенденций развития. Те предприятия, которые в числе первых автоматизируют производство, имеют шанс получить преимущество и стать лидером в своем направлении.

Abstract: The article discusses the prospects for the use of robotic systems, drivers and barriers to the robotization of production. The introduction of digital technologies into production is one of the main development trends. Those enterprises that are among the first to automate production have a chance to gain an advantage and become a leader in their field.

Ключевые слова: роботизированные системы, роботизация, человеческий фактор, пандемия, перспективы.

Применение роботизированных систем в производстве является ключевой тенденцией развития современных производств и промышленности в целом. Она обеспечивает рост производительности труда, сокращение трудовых и материальных ресурсов, снижение капитальных и эксплуатационных затрат, нивелирование техногенного воздействия на окружающую среду.

Надо отметить, автоматизация не должно быть самоцелью и продиктовано лишь стремлением соответствовать «модным» тенденциям. Перед принятием решения о внедрении роботизированных систем в производство, обязательно необходимо просчитать эффективность, спрогнозировать все изменения с помощью программ моделирования бизнес-процессов разных уровней [1].

Роботизация производства позволяет сократить конверсионные расходы предприятия на 15%, а также дать до 40% экономии. По оценкам экспертов, к 2035 году в странах, лидирующих в сфере промышленной роботизации, производительность труда на заводах вырастет на 40%, а валовая добавленная стоимость удвоится.

На 2020 год в мире установлено 2,7 млн промышленных роботов, в России - около 6 тыс. (0,25%). В среднем по миру на 10 тыс. работников приходится 99 роботов, в России - только 5 (в 20 раз меньше). В странах-лидерах по внедрению роботизации эти цифры очень внушительные: Сингапур – 831, Южная Корея – 774, Германия – 338, Япония – 327, США – 217, Китай – 140 роботов [2].

Как видим, Россия по уровню, и по темпам роботизации существенно отстает от промышленно развитых стран мира. Роботизация предприятий находится на низком уровне, но, с каждым годом видна положительная динамика внедрения инновационных технологий. Преимущества, получаемые от внедрения роботизированных систем, помогут вывести промышленность России на новый технологический уровень. Повысят качество выпускаемой продукции, увеличат объемы производства, позволят расширить свое влияние на международном рынке [3].

Роботы могут заменить рабочих там, где человеческое здоровье и жизнь подвержены к вредным воздействиям. Также надо отметить, что применение промышленных роботов – единственное спасение для тысячи компаний нашей страны, борющихся с нехваткой квалифицированных сотрудников [4].

Чтобы оценить перспективы применения роботов, необходимо рассмотреть драйверы и барьеры роботизации производства. Надо отметить, чем выше барьер, тем сильнее должен быть драйвер, который заставит его преодолеть [5].

Таблица 1 - Драйверы роботизации производств

	Драйверы роботизации	**Описание фактора**
Технологические драйверы	Увеличение разнообразия роботов	Существует семь типов промышленных роботов (каждая производственная задача имеет робототехническое решение)
	Расширение технических возможностей	Современные роботы выдерживают большие нагрузки, вырос скорость и точность их работы, могут работать в неотапливаемых цехах
	Простота интеграции	Быстрая и дешевая установка и обслуживание
	Обновление производств	В России низкий уровень модернизации (устаревшее оборудование стараются сразу менять на современное)

Финансовые и бизнес-драйверы	Снижение стоимости	Снижение стоимости разработки и производства делает роботов доступнее по ценам для предприятий
	Увеличение затрат на сотрудников	Растет стоимость труда людей. Высокие затраты на человеческий фактор
	Рост конкуренции	Роботы позволяют увеличить производительность, снизить себестоимость продукта, повысить гибкость, скорость и адекватность подстройки под рынок
Социальные драйверы	Создание новых рабочих мест	В странах с высокой плотностью роботизации, внедрение роботов привело к созданию новых рабочих мест и росту квалификации сотрудников
	Роботизация дает новое качество жизни людям	Благодаря автоматизации и роботизации производства люди могут работать из дома, улучшать свою жизнь и развивать локальные производства

Однако существует также ряд факторов, которые препятствуют роботизации производства (таблица 2).

Таблица 2 - Барьеры роботизации производств

	Барьеры роботизации	**Описание фактора**
Технологические барьеры	Нетехнологичность продукции	Полная автоматизация требует пересмотра параметров и различных свойств выпускаемой продукции
	Необходимость пересмотра всего процесса производства	Внедрение робота на одном участке производства неизбежно приводит к необходимости пересмотра всего производственного процесса.
Финансовые барьеры	Инвестиции на этапе внедрения	Роботизация требует значительных инвестиций (трудно найти доступный кредит на новое оборудование)
	Дешевая рабочая сила	Труд людей стоит очень дешево, выгоднее отложить модернизацию и использовать дешевую рабочую силу
Социальные барьеры	Страх сокращения рабочих мест	Панические настроения в связи с опасением потерять работу и остаться невостребованными, работники саботируют внедрение роботов из-за чувства дискомфорта
	Кадровый голод	В России критически мало квалифицированных инженеров, способных качественно спроектировать робототехническую систему и провести ее внедрение

После внедрения роботов в различные производственные операции, выполнение их без непосредственного участия человека будет обходится дешевле (или станет дешевле в среднесрочной перспективе) при сопоставимых сроках и качестве выполнения работ [6].

В дальнейшем, этот разрыв в расходах будет только расти, что в итоге приведет к такому результату, когда использование роботов в ряде современных производств будет являться уже безальтернативной необходимостью [7].

Мощный толчок к активизации внедрения роботов в различные отрасли экономики дала пандемия Covid-19. В условиях, когда люди были вынуждены соблюдать социальную дистанцию или сидеть дома, компании, которые не успели вовремя внедрить роботов или дистанционное управление, либо закрывались, либо теряли прибыль, из-за остановки производства [8].

Во время и после пандемии выросли цены на продукты, так как из-за локдауна многие производства пришлось остановить, чтобы сократить распространение болезни, а это привело к дефициту товаров.

Сегодня, в период пандемии и кризиса, компании, уже применяющие роботизированные производства, несут минимальные потери - роботы не болеют, управлять роботизированными заводами можно дистанционно. Если бы большинство предприятий были полностью роботизированы, то экономика пострадала бы значительно меньше.

Внедрение роботизированных систем на производственный цикл даст много преимуществ как для компании, так и для рабочих. Позволяет рассчитывать не только на высокое качество изготавливаемых элементов, но и на высокую эффективность, приведет к оптимизации и унификации процессов и снижению затрат.

Нет сомнений в том, что в ближайшем будущем на заводах большинство работ будет выполняться только роботами. Несмотря на имеющиеся барьеры оптимизации производства, тормозящих преобразования, некоторые весомые события, такие как кризис или пандемия, заставляют нас или могут заставить в будущем, модернизировать производство в быстром темпе, чтобы не потерять свое место на рынке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Хабибуллин, Р.И. Цифровизация промышленности как ключевой приоритет экономической политики России / Р.И. Хабибуллин // Economics. 2021. №1 (48).

[2] Сяо Цзэсяо Развитие робототехники, искусственного интеллекта и влияние роботизации на мир в условиях пандемии covid-19 // Вестник науки и образования. 2021. №3-2 (106).

[3] Фоменко, А.С. Перспективы применение роботов в промышленности / А.С. Фоменко, С.В. Гладкий // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. - Воронеж, 2017.

[4] Кашапов, Н.Ф. Применение роботизированных систем в производстве: новые возможности для развития и риски / Н.Ф. Кашапов, И.И. Хафизов, И.Г.

Нуруллин // Материалы X Международной научно-технической конференции «ИМТОМ» 2019. ч. 1. - Казань, 2019. - 486 с. 243-247.

[5] Спиридонов, А.И. Роботизация производств: драйверы и барьеры // Журнал FORBES: blogs.forbes.ru [сайт]. – 31.03.2020. URL: https://blogs.forbes.ru/2020/03/31/robotizacija-proizvodstv-drajvery-i-barery. Дата обращения: 21.10.2021 г.

[6] Kashapov, N.F. Influence of introduction of robotics on increase in efficiency of electrochemical production/ N.F. Kashapov, I.I. Khafizov, I.G. Nurullin //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2018. - Vol.412, Is.1. - Art. № 012034.

[7] Khafizov I.I. Influence of application of robotic systems on prospects and directions of development of electroerosive processings / I.I. Khafizov, I.G. Nurullin// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. 570. 012049. 10.1088/1757-899X/570/1/012049.

[8] Балуев, М.С. Перспективы использования робототехники для выполнения логистических работ // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. 2021. №2 (48).

УДК 631.86

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОЛУЧЕНИИ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ НИЗИННОГО ТОРФА

Хузина Роза Рифатовна, аспирант, ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет". Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18; khuzinaroza@yandex.ru

Хузина Айзиля Нургалиевна, магистр, ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет". Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18; khuzina.aizilya@yandex.ru

Тевелева Александра Львовна, магистр, ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет". Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18; ateveleva@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время наблюдается резкое повышение цен на минеральные удобрения. Поэтому поиск новых природных сырьевых ресурсов биологически активных веществ является актуальной задачей современности. Торфяные месторождения признаны уникальным сырьевым источником, нашедших применение в агропромышленным комплексе и биотехнологии. Огромный интерес представляет низинный торф, который в последние годы находит всё более широкое применение в растениеводстве для получения биостимуляторов, ростовых и биологически активных веществ. Специфическую и наиболее представительную в количественном отношении группу БАВ торфа (49% мас.) составляют гуминовые вещества. С перспективой повышенного спроса фермерских хозяйств на удобрения в нашей работе

исследованы некоторые технические проблемы создания перспективного оборудования для использования их в технологиях по переработке торфа с целью получения гуминовых веществ для использования в растениеводстве.

Ключевые слова: электрогидравлическая технология, торф, гуминовые вещества, биотехнологии, сельское хозяйство.

STUDY OF THE PROCESS OF OBTAINING HUMIC SUBSTANCES FROM PEAT USING ELECTROHYDRAULIC TECHNOLOGIES

Teveleva A.L., Khuzina A.N., Khuzina R.R.

Annotation. Currently, there is a sharp rise in prices for mineral fertilizers. Therefore, the search for new natural raw materials for biologically active substances is an urgent task of our time. Peat deposits are recognized as a unique source of raw materials that have found application in the agro-industrial complex and biotechnology. Low-lying peat is of great interest, which in recent years has found more and more widespread use in crop production for the production of biostimulants, growth and biologically active substances. The specific and most quantitatively representative group of peat BAS (49% wt.) Are humic substances. With the prospect of increased demand for fertilizers from farms in our work, we investigated some technical problems of creating promising equipment for their use in peat processing technologies in order to obtain humic substances for use in crop production.

Key words: electrohydraulic technology, peat, humic substances, biotechnologies, agriculture.

Торф представляет собой органогенную горную породу, которая образуется в результате отмирания и неполного распада растений в условиях повышенного увлажнения при недостатке кислорода, при этом содержание минеральных компонентов составляет не более 50% в расчете на сухое вещество.

Торф состоит из растений-торфообразователей, но к ним добавляется еще один класс соединений – гуминовые вещества (ГВ) [1]. Процесс накопления ГВ в торфе является наиболее характерным для торфообразования.

Все органические вещества (рис. 1) по своему происхождению, характеру и функциям делятся на две большие группы: органические остатки и гумус. Первую из них составляют отмершие части живых организмов, еще не утратившие своего анатомического строения.

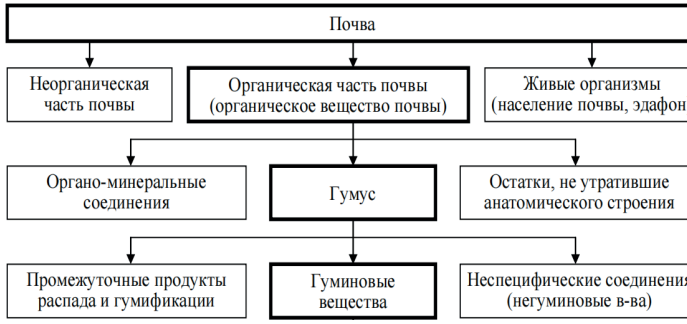


Рис. 1 - Схема разделения органических веществ торфа

Второе, гумус – продукт длительной трансформации остатков живых и растительных организмов. Гумус (перегной) – совокупность всех органических соединений, находящихся в почве. В.И. Вернадский в свое время называл гумус продуктом коэволюции живого и неживого планетарного вещества.

Гуминовые вещества выполняют в биосфере множество различных функций. Аккумулятивная функция заключается в накоплении химических элементов, веществ и энергии, необходимых живым организмам. Транспортная функция состоит в образовании устойчивых комплексных соединений гумусовых кислот с катионами металлов или гидроксидами. Регуляторная функция заключается в следующем: влияние на кислотно-основные и окислительно-восстановительные режимы; регулирование условий питания живых организмов путем изменения растворимости минеральных компонентов; регулирование теплового режима почв и атмосферы, включая проявления парникового эффекта. Протекторная функция состоит в способности ГВ связывать в малоподвижные или труднодиссоциирующие соединения токсичные и радиоактивные элементы. Физиологическая функция: гуминовые кислоты и их соли могут стимулировать прорастание семян, активизировать дыхание растений [2].

Гуминовые вещества имеют широкое применение во многих отраслях промышленности и в сельском хозяйстве. В растениеводстве их используют в качестве стимуляторов роста растений (гуматы калия, гуматы натрия, фульвокислоты) [4].

Но торф разлагается после внесения длительное время. Задача состоит в том, чтобы «активировать» природный торф, переведя полезную органику и минеральные вещества в легкодоступную для растений форму. Основу данного процесса «активации» как правило, составляет процесс разрушения целлюлозной и лигнинной оболочки органической клетки содержащей в себе необходимые полезные вещества. Однако технологически этого добиться не так уж и просто. На данным момент основными технологиями активации являются биохимическая (микробиологическая), термическая ультразвуковая (кавитационная) и электрогидравлическая.

Биохимические технологии в настоящее время являются самыми распространёнными. В основном биохимические технологии основаны на щелочной экстракции гуминовых веществ из почвы с последующей очисткой. Применяя щелочную экстракцию торфа, добиваются доступности ряда веществ питанию растения. Однако химический способ выделения гуминовых веществ недостаточно эффективен.

В технологии производства гуминовых препаратов (торфогелей), где не используется щелочная экстракция, успешно могут быть применены так называемые кавитационные диспергаторы.

По простоте исполнения, дешевизне и эффективности отличается электрогидравлическая технология обработки торфа.

Для создания электрогидравлических ударов предложена экспериментальная установка (рис. 2), включающая источник питания с конденсатором в качестве накопителя электрической энергии. Напряжение на конденсаторе повышается до значения, при котором происходит самопроизвольный пробой воздушного формирующего промежутка, и вся энергия, запасенная в конденсаторе, мгновенно поступает на рабочий промежуток в жидкости, где и выделяется в виде короткого электрического импульса большой мощности. Далее процесс при заданных емкости и напряжении повторяется с частотой, зависящей от мощности питающего трансформатора [3].

Дополнительный формирующий воздушный промежуток позволяет накапливать заданное количество энергии с импульсной подачей ее на основной промежуток, значительно сократить длительность импульса и предотвратить возникновение колебательных процессов, создавать крутой фронт импульса, исключая возможность перехода к дуговому разряду, получать при заданном основном межэлектродном промежутке любые из допустимых для используемого источника питания значения тока и напряжения, регулированием длины формирующего промежутка изменять форму импульса и характер разряда на основном рабочем промежутке в жидкости. Именно формирующий промежуток явился обострителем импульса тока, позволившим перейти к напряжениям много большим, чем напряжение пробоя рабочего промежутка в жидкости.

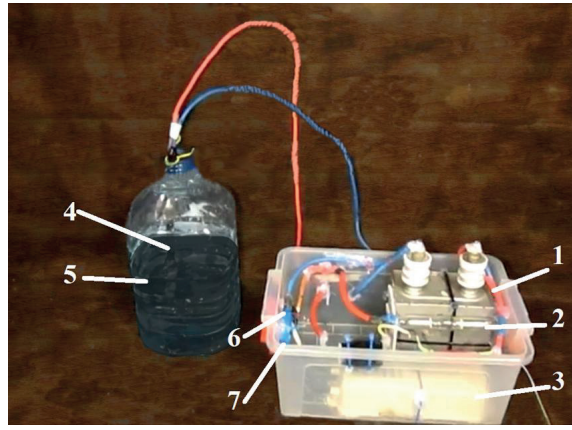


Рис. 2 - Общий вид экспериментальной установки: 1 – конденсатор, 2 – газовый диод, 3 – воздушный разрядник с дросселем, 4 – кавитатор, 5 – торф+H2O, 6 – высоковольтный диод, 7 - сопротивление

Опытным путем была установлена возможность широкого варьирования параметрами принципиальной электрической схемы, воспроизводящей электрогидравлический эффект. Это дало основание ввести понятие «режим работы» силовой установки, подразумевая под этим значения основных параметров схемы – емкости и напряжения.

Таким образом, были определены три основных режима работы установок:

жесткий – $U > 50$ кВ; $C < 0{,}1$ мкФ;

средний – 20 кВ $< U < 50$ кВ; $0{,}1$ мкФ $< C < 1{,}0$ мкФ;

мягкий – $U < 20$ кВ; $C > 1{,}0$ мкФ.

Электрогидравлическая обработка обладает многофакторным физико-химическим воздействием на сложные органические структуры и является перспективным методом его активации.

Таким образом, электрогидравлический метод получения из торфа гуминовых веществ позволяет значительно снизить потребность в минеральных и органических удобрениях, улучшить за счет дезодорирующего эффекта санитарно-гигиенические свойства почв и самовосстанавливаемость гумуса, снизить себестоимость, а также обеспечить экологическую безопасность сельхозпродукции.

Литература

1. Юткин Л.А. Способ улучшения удобрительных свойств торфа /Л.А. Юткин, Л.И. Гольцова// Заявл. 18 01 65, № 949723/30-15, Опубл. в Б. И , 1983, № 2

2. Юткин Л.А. Установка для производства органического удобрения /О.Н. Мельникова, Г.К. Лейкина// Заявл 300480, № 2918927/30-15, Опубл в Б И, 1982, № 30

3. Лиштван, И.И. Гуминовые вещества торфа и их практическое использование /Бамбалов Н.Н.// Химия тверд, топл. 1990. - №6. - с. 14-20.

4. Орлов Д. С. Гуминовые вещества в биосфере // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 2. С. 56–63.

5. Хузина Р. Р. Применение гидроудара для получения гуминовых веществ из торфа / Р. Р. Хузина, М. М. Нафиков // Итоговая научно-образовательная конференция студентов КФУ 2021 года. – 2021

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Хуснутдинов Азат Назпович, Лазарев Павел Сергеевич,
Марданшина Ралина Айдаровна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
420061, г.Казань, ул.Красносельская, д.51, e-mail: khusnutdinov.an.kgeu@mail.ru

Тоиров Олимжон Зувурович
Ташкентский государственный технический университет,
100095, Ташкент, ул. Университетская, д.2, e-mail: olimjontoirov@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены практические аспекты развития инфраструктуры зарядных устройств и электрических зарядных станций для электромобилей, а также их влияние на режимы электрических сетей. Показано, что при массовом использовании зарядной инфраструктуры электромобильного транспорта можно существенно повысить эффективность и стабильность работы энергосистемы, в частности, за счет сглаживания пиков графиков нагрузки электрической сети. Рассмотрены технические средства обеспечения электромагнитной совместимости в низковольтных сетях при подключении к ним зарядных устройств и станций.

Abstract: The practical aspects of the development of the infrastructure of chargers and electric charging stations for electric vehicles, as well as their impact on the modes of electric networks, are considered. It is shown that with the mass use of the charging infrastructure of electric vehicles, it is possible to significantly increase the efficiency and stability of the power system, in particular, by smoothing the peaks of the load graphs of the electric network. The technical means of ensuring electromagnetic compatibility in low-voltage networks when connecting chargers and stations to them are considered.

Ключевые слова: зарядная инфраструктура, электромобиль, электрическая сеть, электромагнитная совместимость.

Производство и совершенствование электромобильного транспорта является производственной программой любого мирового автомобильного концерна. Очевидно, что для комфортной эксплуатации электромобилей (ЭМ), которые должны подключаться к зарядным устройствам (ЗУ) и стационарным электрическим зарядным станциям (ЭЗС), необходимо создавать эффективную зарядную инфраструктуру - сети зарядных устройств и зарядных станций. Основными мировыми компаниями-производителями ЗУ и ЭЗС для зарядки электромобилей являются: «Siemens AG», «Schneider-electric», «Phoenix Contact E-Mobility», «GreenFuel», «TESLA Motors», «Nissan», «BMW Group», «Ensto Finland Oy», «ABB», «EV Plug Alliunce», «Mitsubishi», и др. В Республике Татарстан на данный момент ЭЗС производят ««ПромЭнерго» и «ЭнергоРазвитие». Количество зарядных станций в Республике на первое полугодие 2022 года составляет: быстрых – 20, медленных – 45 (рис.1 по данным приложения 2Chargers). В 2022 году количество быстрых ЭЗС планируется увеличить на 95.

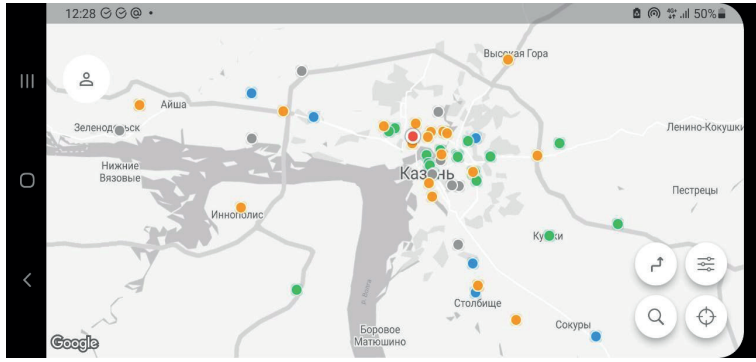


Рисунок 1. Зарядные станции в Республике Татарстан вприложении

Поскольку системы быстрой зарядки ЭМ достаточно распространены и будут широко внедряться в электросетях, то можно ожидать необходимость определенной модернизации соответствующих систем электроснабжения (СЭС). Это связано с тем, что среднее время зарядки тяговой аккумуляторной батареи электромобиля (АКБ) от сети напряжением 0,4 / 0,23 кВ при допустимом токе до 30 А занимает от 8 до 10 часов, а быстрая зарядка осуществляется 15-30 минут, но требует подключения к отдельному фидеру, рассчитанного на силу тока в несколько сотен ампер. Если оценивать мощность конкретного зарядного оборудования, то для сравнения: ЗУ для электромобиля «TESLA 3» обеспечивает мощность до 10 кВт, а «экспресс-зарядка» станции сверхбыстрой зарядки TESLA «Supercharger» для электромобилей TESLA Model S (X) – более 120 кВт.

Кроме того, увеличивается количество ультрабыстрых зарядных станций для электробусов, мощность которых достигнет 300 кВт. Электробусы уже начали свое курсирование в крупных городах России таких как Москва, Санкт-Петербург, Казань, Краснодар и др.

Очевидно, что повышение мощности современных ЭЗС и ожидаемый ее рост в близкой перспективе обуславливает необходимость выполнения определенных организационно-технических мероприятий по созданию и развитию соответствующей зарядной инфраструктуры, оптимизации режимов работы городских электросетей низкого напряжения, а также обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) и электробезопасности при подключении к ним указанного зарядного оборудования [1].

Следует отметить, что ЭМ, которые заряжаются, является новым видом нагрузки для электросети, что требует учета отличающих особенностей. Решение указанных проблем потребует соответствующего оценивания и контроля, а также определения оптимальных режимов работы зарядки оборудования и способов зарядки тяговых АКБ.

Влияние зарядной инфраструктуры на режимы электрических сетей. Основным преимуществом взаимодействий зарядных устройств и электрических зарядных станций с электрической сетью является возможность выбора оптимального промежутка времени для зарядки АКБ электромобилей с точки зрения повышения эффективности использования электросетевой инфраструктуры, а именно, в то время, когда имеет место значительный спад потребления электроэнергии (во время ночного провала графика нагрузки). На рис. 2 показан дневной график суточного потребления электроэнергии в Объединенной энергетической системы Средней Волги. Из графика видно, что в ночные часы мощность генерации превышает потребление. Отбор электроэнергии от сети для зарядки АКБ электромобилей в ночные часы способствует выравниванию графика нагрузки сети, позволяет повысить эффективность функционирования энергосистемы отдельного региона.

Для энергокомпаний создания и использования зарядной инфраструктуры электротранспорту не только способствует график нагрузки энергосистемы, которая становится более управляемой и устойчивой, а также обеспечивает существенное увеличение полезного отпуска электроэнергии и, как следствие, рост соответствующих доходов.

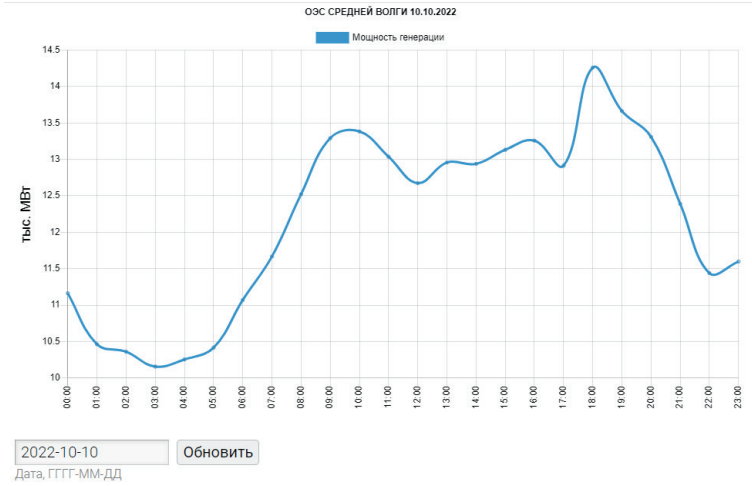


Рисунок 2. Дневной график суточного потребления электроэнергии.

Следует отметить, что важной проблемой в низковольтных распределительных сетях является обеспечение ЭМС потребителей сети во время зарядки АКБ электромобилей от ЗУ или ЭЗС, когда в электросеть вносятся различные помехи, причем обеспечения ЭМС требует решения двух основных взаимосвязанных научно-технических задач.

Первым из них является обеспечение нормированных показателей электромагнитных помех в электрическую систему. В результате характеристики напряжения питания ухудшаются, то есть значения показателей качества напряжения в сети перестают соответствовать необходимым нормам, определяющиеся соответствующими стандартами по ЭМС. Вторая задача данной проблемы заключается в уменьшении негативного влияния ухудшения качества напряжения в электрической сети НН на нормальное функционирование ЗУ или ЭЗС в процессе зарядки тяговых АКБ. Например, с точки зрения обеспечения ЭМС уровень гармоник тока должен быть таким, чтобы в сети, к которой подключены ЭЗС, суммарный коэффициент гармонических искажений напряжения не превышал ±10 %, а значения коэффициентов, гармонических составляющих напряжения соответствующим значениям требования ГОСТ 32144 – 2013.

При решении комплексной проблемы обеспечения ЭМС и электробезопасности в низковольтных сетях с системами зарядки тяговых АБ автономного электротранспорта следует отметить, что на сегодня есть необходимость разработки мер по эффективному противодействию электромагнитным помехам, которые приводят к снижению показателей качества электроэнергии во время зарядки АКБ электромобилей, а также методик тестирования зарядных устройств и станций на предмет соответствия требованиям стандартов по обеспечению ЭМС. Для обеспечения

энергоэффективности зарядного оборудования существенной мощности (более 10 кВт) необходимо повысить коэффициент мощности с помощью силовых активных выпрямителей и фильтров. Одним из самых простых и экономических средств является применение пассивных корректоров коэффициент мощности в виде трехфазных дросселей, последовательно включенных в цепь питания выпрямителя ЗП и СЗС и рассчитанных на подавление помех [2-4].

Для обеспечения современного развития зарядной инфраструктуры для электромобилей необходимо, в частности, решить важную проблему обеспечения ЭМС в низковольтных распределительных сетях при подключении к ним зарядных устройств и станций с учетом требований соответствующих национальных и международных стандартов, а также разработка методик тестирования зарядных устройств и станций на предмет соответствия требованиям по обеспечению электромагнитной совместимости.

Список литературы

1. Shidlovskii A.K. Influence of development of charging infrastructure for electric vehicles and hybrid transport on modes of electric networks / A.K. Shidlovskii, A.F. Zharkin, V.B. Pavlov, V.A. Novskiy // Tekhnichna elektrodynamika. – 2018, № 3, pp. 74–81.

2. Сафиуллин Б.И. Применение трехфазных активных выпрямителей в зарядных станциях постоянного тока для электромобилей / Б.И. Сафиуллин, К.Т. Ле, Г.Р. Ахсаниев, А.Э. Аухадеев //в сборнике: Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация». – 2021. Т. 3. С. 261-263.

3. Наумов А.А. Участие населения и приравненных к нему потребителей в регулировании графика потребления ЭЭ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018; №20(9-10). С. 84-91.

4. Герасимов Д. О., Суслов К. В., Уколова Е. В. Принципы построения модели энергетического хаба //Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11. – №. 3 (43). С. 3-12.

СИНТЕЗ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА БАЗЕ СИСТЕМ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ

Хуснутдинова Эльвира Мусавировна
Хамидуллина Гульнара Рафкатовна

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18
E-mail: rr-088@mail.ru

Аннотация: Представлен метод энерго- и ресурсосбережения в нефтехимической промышленности РФ, основанный на комбинировании нефтехимических и энергетических систем и регенерации тепловой энергии

низкого потенциала. Комплексные решения по реорганизации производств ищутся с привлечением методологии системного анализа. В качестве показателей эффективности рассматриваются экономия топливного эквивалента, безотходность и технико-экономические показатели, оптимизируемые в динамике структурных преобразований исходных систем.

Abstract: The article presents a method of energy and resource conservation in the petrochemical industry of the Russian Federation, based on the combination of petrochemical and energy systems and the regeneration of low-potential thermal energy. Comprehensive solutions for the reorganization of production are sought with the involvement of the methodology of system analysis. Fuel equivalent economy, waste-free and technical and economic indicators optimized in the dynamics of structural transformations of the initial systems are considered as efficiency indicators.

Ключевые слова: энергосбережение, системный анализ, оптимизация, регенерация теплоты, термотрансформация.

В настоящее время для Российской Федерации стратегически важным направлением развития промышленности и энергетики является энергосбережение на всех уровнях [1]. Особенно остро это касается энергоемких производств, к которым относятся и нефтехимические предприятия РФ, являющиеся крупнейшими потребителям пара, тепловой энергии и холода. Топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) потребляются на данных предприятиях, преимущественно, на технологические нужды, но нельзя исключать из рассмотрения и так называемых «хозбытовых» потребителей тепловой энергии, применяющих ее на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения (ГВС) [2].

Главной проблемой отечественной промышленности является неэффективная организация взаимодействия технологических и энергетических систем. Кроме того, нефтехимические производства характеризуются многостадийностью технологических процессов, сопряженной с чередованием нагрева и охлаждения технологических потоков; регламентными ограничениями режимов, а также многообразием и сложной структурой взаимосвязей используемого оборудования.

Энергетическая составляющая в структуре себестоимости основных продуктов нефтехимического комплекса России находится на уровне 30 %, причем до 80 % затрат приходятся на тепловые энергоресурсы. Основной причиной такого положения вещей являются проблемы с утилизацией вторичных энергоресурсов (ВЭР) низкого потенциала - они не находят применения в высокотемпературных технологиях, поэтому сбрасываются в атмосферу. Объем тепловых выбросов при этом может достигать 30% от суммарного объема потребленных топливно-энергетических ресурсов.

Современные мировые тенденции развития промышленности состоят в переходе к безотходным технологиям с замкнутым производственным циклом. Организация замкнутых систем утилизации низкопотенциальных тепловых ВЭР в рамках энерготехнологических комбинированных систем позволит

свести зависимость от внешних источников энергоснабжения к минимуму, а уменьшение тепловых выбросов в атмосферу – позволит улучшить экологическую обстановку в регионе расположения предприятия.

Одним из направлений энерготехнологического комбинирования является организация утилизационных систем, позволяющих использовать сбросную низкопотенциальную теплоту на производственные, отопительно-вентиляционные, санитарно-технические и иные нужды промышленных предприятий. Особую важность эта задача приобретает для стадий промышленных технологий нефтехимических производств, связанных с выделением и разделением основных и побочных продуктов. Нагрузка теплоотводящих систем здесь зачастую превышает внешнее теплопотребление, так как процессы охлаждения производятся при температурах, близких к температуре окружающей среды, и сопровождаются передачей скрытой теплоты конденсации технологических потоков. Потенциал ВЭР на этих стадиях обычно ограничивается пределами 45÷110 °С и не находит применения в теплотехнологии и теплоэнергетических системах предприятия. Отвод теплоты производится непосредственно в окружающую среду либо с помощью систем хладоснабжения и оборотного водоснабжения. Актуальны такие системы и для низкотемпературных теплотехнологий нефтехимической и химической промышленности, так как на их основе могут быть построены системы трансформации низкопотенциальной теплоты на более высокий уровень, приемлемый для внутреннего или внешнего потребления [2, 3].

Метод энерготехнологического комбинирования, основанный на организации замкнутых локальных, групповых или централизованных утилизационных систем, направленных на регенерацию теплоты низкопотенциальных ВЭР, позволяет сократить объем тепловых сбросов и попутно значительно снизить внешнее тепло- и холодопотребление рассматриваемого объекта. В частности, источниками низкопотенциальной теплоты t = 45÷80 °С могут являться верхние продукты колонн выделения и разделения углеводородных фракций технологических продуктов, а также охлаждаемые потоки кубовой жидкости.

Замкнутая утилизационная система объединяет группы источников ВЭР с одной стороны и потребителей теплоты и холода, вырабатываемого на тепловом потреблении – с другой (рис. 1) [2].

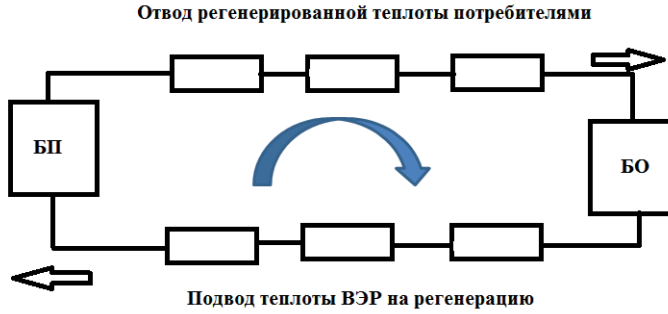


Рис.1. Централизованный узел регенерации теплоты
БП и БО – буферные подогреватели и охладители, соответственно

Циркулирующая по замкнутому контуру вода нагревается за счет отвода сбросной теплоты технологических или силовых агрегатов с t = 20÷50 °С до 80÷110 °С. Избыточное давление на расчетном уровне поддерживают установленные в контуре циркуляции обессоленной воды насосы (на рис.1 не показаны). При необходимости, сглаживать неравномерность работы утилизационной системы могут специальные буферные теплообменники, подключенные к внешним системам

В такой системе становится возможным повышение температуры воды, охлаждающей элементы технологических и силовых агрегатов, а также применение обессоленной воды в замкнутом контуре, что позволяет резко снизить скорость отложения загрязнений на теплопередающих поверхностях в межремонтный период [2]. Кроме того, возможен переход на использование хладоносителей и холодильных агентов для интенсификации рассматриваемых процессов подвода и отвода тепловой энергии, а также установка термотрансформаторов (тепловых насосов и турбодетандеров), позволяющих сократить на 30-70% внешнее теплопотребление в буферных подогревателях БП и вырабатывать электроэнергию за счет расширения рабочего агента, вытесняя при этом внешнюю нагрузку буферных охладителей БО.

Летом, когда тепловая нагрузка технологических потребителей значительно снижается, а отопительно-вентиляционная нагрузка отсутствует, система может работать в режиме охлаждения элементов оборудования оборотной водой или обеспечивать теплотой утилизационные источники холода – холодильные машины абсорбционного типа [2].

Задача совершенствования систем тепло- и холодоснабжения нефтехимических предприятий сложна и обладает множеством вариантов решений. Поиск наиболее выгодных из них требует применения методов системного анализа, структурного моделирования и оптимизации. Задача энерго-экономической оптимизации в данном случае состоит в поиске совокупности технических решений и режимных параметров, которые

соответствуют максимуму достигаемой экономии топлива $B_{эк}$ при наложении ограничений, обусловленных особенностями применяемых технологий и оборудования [3].

$$B_{эк} = \sum_{i=1}^{i_k} \left(\Delta B_т + \Delta B_{N_п}\right)_i ; \quad (1)$$

где $\Delta B_т$ – изменение топливного эквивалента расхода теплоты предприятием от внешних источников, т/ч; $\Delta B_{N_п}$ – изменение топливного эквивалента затрат электроэнергии от внешних источников, т/ч; i – порядковый номер мероприятия; i_k – общее количество мероприятий.

Кроме этого, определяется достигаемый показатель безотходности рассматриваемых систем и производственных участков:

$$\beta = \frac{\sum_j G_j + \sum_i G_i^{возвр.} + \sum_k G_k^{поб.} +}{\sum_m G_m} ; \quad (2)$$

где m – индексы подведенных материальных потоков G с сырьем и энергоносителями; j – индекс отведенных продуктов и энергоносителей; i и k – соответственно, индексы возвратного сырья и побочных продуктов (в том числе ВЭР).

Задачи (1) и (2) должны решаться совместно с задачей поиска максимума экономического эффекта $\Delta Э_к$ или минимума срока окупаемости $\tau_{ок}$ (3) от энергосберегающих мероприятий с учетом затрат на обеспечение требуемых условий надежности и безопасности модернизируемого комплекса [3]:

$$\tau_{ок} = \frac{\sum_{i=1}^{i_k} (\Delta S_K)_i}{\sum_{i=1}^{i_k} (\Delta Э_к)_i} ; \quad (3)$$

где $\Delta S_к$ - капитальные затраты на мероприятие, руб.

Литература

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года // Министерство энергетики РФ [электронный ресурс]. - https://minenergo.gov.ru/node/1026 (Дата обращения 28.10.2021 г.)

2. Назмеев Ю.Г., Конахина И.А. Теплоэнергетические системы и энергобалансы промышленных предприятий. М.: Издательство МЭИ, 2002.

3. Khamidullina G.R., Technical and economic analysis of the decisions efficiency of system of water vapor condensate collecting and reusing organization in the industrial firm practice // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol.134, Is.1. - Art. № 012016

СОЗДАНИЕ МАЛООТХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЭК

Шамсутдинов Эмиль Василович

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Инженерный институт,
eshsamsutd.kazan@mail.ru

Аннотация: предлагается на базе результатов теоретических и экспериментальных исследований разработать комплексную плазменную технологию утилизации нефтешламов и остатков переработки углеводородного сырья для ликвидации накопленного ущерба и выработки электроэнергии со снижением углеродного следа с одновременным получением водорода и применение его в твердооксидных топливных элементах.

Annotation: based on the results of theoretical and experimental studies, it is proposed to develop a comprehensive plasma technology for the utilization of oil sludge and residues of hydrocarbon processing to eliminate accumulated damage and generate electricity with a reduction in the carbon footprint while producing hydrogen and using it in solid oxide fuel cells.

Ключевые слова: автномное энергоснабжение, утилизация отходов, ТОТЭ

Нефть и газ – это основные энергоресурсы, которые играют ключевую роль в экономике всех развитых стран мира. Продукты их переработки применяются почти во всех отраслях промышленности, на всех видах транспорта, в строительстве, сельском хозяйстве, энергетике, в быту и т. д. Также из нефти и газа вырабатывают в больших количествах разнообразные химические материалы, пластмассы, синтетические волокна, каучуки, лаки, краски, моющие средства, минеральные удобрения и многое другое. Использование нефти и газа определяет уровень экономического развития и жизни современного человека. Энергетическое направление в использовании нефти до сих остается главным во всем мире.

Российская Федерация занимает ведущее место в мире по объему добычи нефти и газового конденсата, так в 2016 г. было добыто 594 млн. т. При этом пропорционально возрастают объемы образующихся нефтеотходов и шламов, накапливаемых при переработке исходного сырья. Оно отличается высокой вязкостью, значительным содержанием золы, а также ароматических углеводородов, которые при сжигании способны образовывать канцерогенные компоненты.

Указанные факторы сдерживают прямое использование в качестве топлива и сырья отходов нефтедобычи и нефтепереработки. К тому же стабилизация и переработка газового конденсата и попутного нефтяного газа сдерживается экономическими факторами.

Кроме того, эксплуатация объектов топливно-энергетического комплекса (далее – ТЭК), особенно в тяжелых климатических условий или для трудноудаленных районов, характеризуется необходимостью наличия

гарантированного и качественного энергоснабжения участков нефтеподготовки и хранения. Сами резервуары системы хранения и подготовки требуют, помимо всего, регулярного подогрева нефти и вязких нефтепродуктов с целью предотвращения их застывания, что в свою очередь налагает требования по их эксплуатации.

Для решения описанных проблем, предлагается создание малоотходных технологий эксплуатации и автономного энергоснабжения объектов ТЭК.

При этом для повышения эффективности эксплуатации объектов ТЭК, в частности резервуарного парка, предлагается оптимизация систем циркуляционного разогрева нефти и вязких нефтепродуктов, что требует исследования и моделирования процессов нестационарного теплопереноса и поиска как эффективных режимов работы оборудования, так устройств для струйного истечения разогретой нефти (насадки) [1-3]. Также требуется решить вопрос, связанный со своевременным и эффективным удалением отложений на дне резервуаров, влияющим на как процесс разогрева, так на надежную эксплуатацию резервуарного парка [4].

Извлекаемые при этом шламы, также как и нефтеотходы, планируется перерабатывать с последующим использованием для энергоснабжения самих объектов ТЭК (как на нефтепромыслах, так и на нефтеперабатывающих заводах), что позволить снизить негативное воздействие на окружающую среду и повысить экономическую эффективность производства за счет вовлечения нефтешламов и иных отходов в основную деятельность предприятия [5, 6].

С этой целью планируется на базе результатов теоретических и экспериментальных исследований разработать комплексную плазменную технологию утилизации нефтешламов и остатков переработки углеводородного сырья для ликвидации накопленного ущерба и выработки электроэнергии со снижением углеродного следа с одновременным получением водорода и применение его в твердооксидных топливных элементах (далее - ТОТЭ). Что в конечном счете позволит создать методологию создания масштабируемых источников автономного энергоснабжения объектов ТЭК.

С развитием малой энергетики и децентрализованного энергоснабжения у потенциальных потребителей растет интерес к энергоустановкам на базе твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). В настоящее время энергоустановки на основе ТОТЭ рассматриваются как одни из самых перспективных среди установок малой мощности (от 1 до 50 кВт). Такие установки имеют целый ряд преимуществ перед традиционными дизельными генераторами (ДГ), газотурбинными (ГТУ) и газопоршневыми установками (ГПУ). В ТОТЭ при температурах 800 - 950°С происходит прямое преобразование химической энергии топлива в электрическую энергию постоянного тока. Это определяет высокую энергетическую эффективность энергоустановок на баз технологии ТОТЭ (электрический к.п.д. более 50 %), высокие скорости протекания электродных реакций. При этом могут быть реализованы высокие значения удельной мощности. Важно, что при рабочих температурах ТОТЭ нивелировано влияние каталитических ядов. Толерантность к чистоте используемого топлива является одним из важных

преимуществ ТОТЭ по сравнению с другими типами топливных элементов. В качестве топлива, кроме технического водорода, здесь могут быть использованы любые углеводороды, преобразованные в синтез-газ (H2 - CO), а также отходы жилищно-коммунального хозяйства, сельского хозяйства и лесопереработки, преобразованные в биогаз. Такие энергоустановки не имеют в своем составе движущихся элементов, что предотвращает их преждевременный износ и необходимость использования расходных материалов (например, масел). При изготовлении экспериментальных ячеек ТОТЭ можно использовать опыт, наработанный казанский учеными, работающими в КФУ. В частности , проведенными ранее ими экспериментальными исследованиями многофазной системы, состоящей из плазмы и конденсированных частиц вещества, исследованиями газового разряда и влияния эффекта самосогласованного нагрева электродов на характеристики плазмы; исследования низкотемпературной плазмы в процессах нанесения неоднородных по толщине покрытий, по плазменным методам получения неоднородных покрытий, а также синтеза покрытий из оксида титана [7 - 10].

Литература:

1. Здор В.О., Шамсутдинов Э.В. Влияние месторасположения насадок на процесс циркуляционного подогрева мазута в резервуарах малой вместимости // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – №5. – С. 37-41.;

2. Шамсутдинов Э.В., Вачагина Е.К.Исследование теплопереноса при ударении одиночной затопленной струи мазута о преграду для различных углов наклона насадки // Известия РАН. Энергетика. – 2008. – № 5. – С. 39-43.;

3. Назмеев Ю.Г., Шамсутдинов Э.В. Исследование процесса теплопереноса в плоской затопленной стесненной струе при большом расходе вязкой жидкости // Известия РАН. Энергетика. – 2006. – №6. – С. 87-91.;

4. Хуснутдинова Э.М., Конахина И.А., Кадыйров А.И., Вачагина Е.К. Теплообмен при ламинарных течениях вязкой жидкости в каналах с трехзаходными шнековыми вставками при больших числах Пекле / Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. №11-12. С. 161-169.

5. Зверева Э.Р., Шагеев М.Ф., Дмитриев А.В., Шамсутдинов Э.В., Хабибуллина Р.В., Ахметвалиева Г.Р., Булыгина К.С. Использование золошлаковых отходов, образующихся при сжигании мазутов на тепловых электрических станциях / Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. №1. С. 64-73

6. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Моделирование процесса образования продуктов термохимической переработки угля // Теплоэнергетика. 2010. № 9. С. 67-70.

7. Kashapov, N., Kashapov, R., Kashapov, L. Influence of the electrolytic cathode temperature on the selfsustaining mechanism of plasma-electrolyte discharge / Journal of Physics D: Applied Physics. 2018. Volume 51. Issue 49. DOI: 10.1088/1361-6463/aae334.

8. Begrambekov L.B., Evsin A.E., Grunin A.V., Gumarov A.I., Kaplevsky A.S., Kashapov N.F., Luchkin A.G., Vakhitov I.R., Yanilkin I.V., Tagirov, L.R.

Irradiation with hydrogen atoms and ions as an accelerated hydrogenation test of zirconium alloys and protective coatings / International Journal of Hydrogen Energy. 2019. Volume 44. Issue 31. Pages 17154-17162. DOI:10.1016/j.ijhydene.2019.04.198.

9. Tukmakov A.L., Kashapov N.F., Tukmakov D.A., Fazlyyyakhmatov M.G. Process of the Deposition of Charged Polydisperse Gas Suspension on the Plate Surface in an Electrical Field / High Temperature. 2018. Volume 56. Issue 4. Pages 481-485. DOI:10.1134/S0018151X18040193.

10. Fayrushin I.I., Dautov I.G., Kashapov N.F. Distribution of the potential and concentration of electrons in low-temperature plasma with hollow microparticles / International Journal of Environmental Science and Technology. 2017. Volume 14. Issue 12. Pages 2555-2560, DOI:10.1007/s13762-016-1054-8.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗБРЫЗГАННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ИСКРОВОМ И ВИБРОДУГОВОМ РАЗРЯДАХ

Шарифуллин Саид Насибуллович, Гилязетдинов Ранис Разинович

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия
e-mail: Saidchist@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследований распыленных частиц электрического разряда. Для распыления использовали электроискровое устройство для легирования металлов. В качестве электрода выбрали вольфрамокобальтовый стержень диаметром 4,0 мм. Распыление электрода производили при малых мощностях электроискрового устройства. Эксперименты показали, что часть распыленных частиц электрического разряда являются бесформенными, часть в виде пористых или круглых зерен. Представляется, что собирая распыленные частицы электрического разряда в конгломераты можно получить пористые элементы, которые могут использоваться в различных отраслях техники, в частности при создании гетерогенных катализаторов.

Annotation. The paper presents the results of studies of sputtered particles of an electric discharge. For sputtering, an electrospark device for alloying metals was used. A tungsten-cobalt rod with a diameter of 4.0 mm was chosen as the electrode. The electrode was sputtered at low power of the electrospark device. Experiments have shown that some of the sputtered particles of the electric discharge are shapeless, some are in the form of porous or round grains. It seems that by collecting sputtered particles of an electric discharge into conglomerates, one can obtain porous elements that can be used in various branches of technology, in particular, in the creation of heterogeneous catalysts.

Ключевые слова: электрическая искра, пористые зерна, распыленные частицы

1. Введение. Пористые порошковые материалы громадным успехом пользуются в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве и других областях. В промышленности пористые материалы чаще всего применяются в качестве фильтров, теплоизоляции, катализаторов или осушителей. В данном случае рассмотрим их применение в качестве катализаторов, в частности гетерогенных катализаторов.

Катализатор – это химическое вещество, ускоряющее реакцию, но не входящее в состав продуктов реакции. В качестве гетерогенных катализаторов применяются металлы, их оксиды, бориды и сульфиды. Гетерогенные катализаторы должны удовлетворять определенным требованиям технологии каталитического процесса, основные из которых следующие: высокая каталитическая активность, высокая механическая прочность к сжатию, удару и истиранию, термостойкость, простота получения, оптимальные форма и геометрические размеры, небольшие экономические затраты на производство катализатора [1]. Понятно, что любой катализатор всем этим требованиям отвечать не может. Единой теории подбора катализаторов также не существует. Поэтому, многие катализаторы подбирают эмпирическим путем. Это связано, в первую очередь, с тем, что на сегодня нет конкретных представлений о механизме катализа. Тем не менее, принимая за основу ту или иную теорию действия катализаторов, стремятся найти какую-либо независимую и хорошо изученную характеристику катализатора, связав ее с каталитической активностью. Следовательно, поиск новых технологий получения гетерогенных катализаторов, в том числе с применением плазменных способов, всегда представляет собой актуальность[2]. Актуальность поиска новых технологий получения гетерогенных катализаторов еще более усиливается при сегодняшних требованиях срочного импортозамещения катализаторов в области нефтепереработки.

Исходя из изложенного, представляет интерес технология получения гетерогенных катализаторов виброплазменным методом (электроискровым и вибродуговым). Суть предложения заключается в том, чтобы используя энергетические, газодинамические и тепловые характеристики электроискровых и вибродуговых разрядов получить пористые металлокерамические порошки для технологии переработки нефти, максимально отвечающие основным требованиям гетерогенных катализаторов. Принято считать, что форма катализаторных зерен должна быть круглой. Однако у таких поверхностей меньше активных центров и малая удельная поверхность взаимодействия со средой, чем у бесформенных пористых зерен. Поэтому вторая форма катализаторных зерен с точки зрения физики будет представлять больший интерес для исследований с последующим применением в технологиях переработки нефти.

2. Материалы и методы. Электрический разряд создавался с применением электроискровых и вибродуговых устройств. В качестве электрода выбрали вольфрамокобальтовый стержень диаметром 4,0 мм. Распыление электрода производили при малых мощностях электроискрового устройства. В качестве подложки служил образец из стали 65Г. Для съемки

распыленных частиц с применением электроискровых и вибродуговых устройств использовали скоростную камеру Fastec HiSpec 4 для регистрации быстропротекающих процессов, позволяющую получать изображение со скоростью до 523 кадров в секунду при разрешении 1696 x 1710 и 1150 кадров/с при 1280 x 1024, Исследование морфологии распыленных частиц производили с применением цифрового микроскопа levenhuk 40l/50l/d50l. С помощью USB-интерфейса микроскоп подключался к компьютеру. Изображение предмета, полученное через объектив, выводился на монитор компьютера.

3. Результаты и обсуждения. В экспериментах использовались 2 вида устройства для получения электрического разряда разработки одного из авторов статьи Шарифуллина С.Н. (Рис. 1 и 2). Пределы регулирования энергии электроискрового разряда устройства по патенту РФ 2655420 составляет от 0,02 до 3,6 Дж, Комбинированная установка электроискрового и вибродугового разрядов имеет 2 вида электроискрового режима (мягкий и жесткий) и один вибродуговой режим. Пределы регулирования энергии электроискрового разряда комбинированной установки для мягкого режима составляет от 0,05 до 0,5 Дж, жесткого режима – от 18 до 54 Дж. В обоих устройствах электрический

Рисунок 1. Фотография общего вида электроискрового устройства по патенту РФ № 2655420

Рисунок 2. Фотография комбинированной установки электроискрового и вибродугового разрядов

разряд осуществлялся за счет разряда блока электролитических конденсаторов. Вибродуговой разряд производился с применением инверторной установки с выходным напряжением 60 В, электродом являлся медно-графитовый стержень диаметром 8 мм. Съемку скоростной камерой Fastec HiSpec 4 быстропротекающих процессов в электрическом и вибродуговом разрядах производили сотрудники КФУ Кашаповы Р.Н. и Л.Н. На рисунках 3 – 5 приведены специфические кадры разрядов.

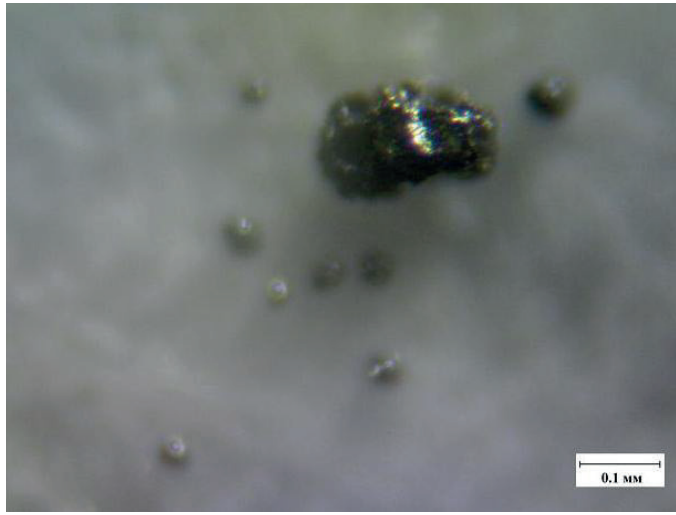
Рисунок 3. Фотография пучка искр от электрического разряда электроискрового устройства по патенту РФ № 2655420

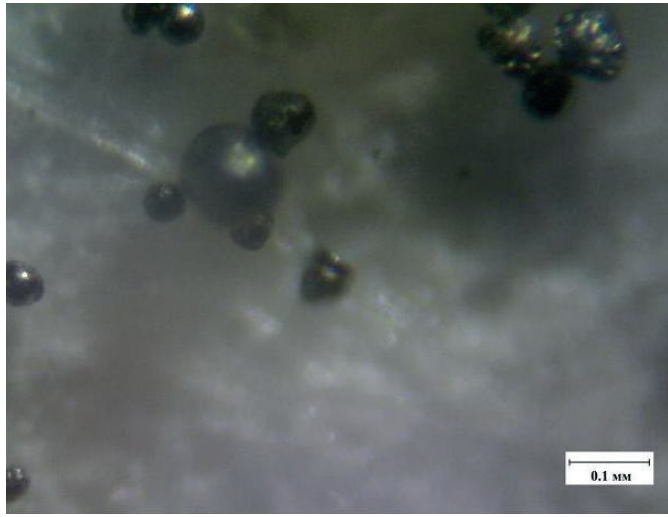
Сравнение фотографий на рисунках 3 – 5 искровых брызг от электрического разряда, как при электроискровом, так и при вибродуговом режимах виброплазменных устройств показывает, что количество искр и их масса зависит от вкладываемой энергии в разряд. Также рисунок 4 показывает, что электроискра может быть более энергоемкой, чем вибродуга.

Рисунок 4. Фотография пучка искр от электрического разряда комбинированной установки при жестком электроискровом режиме

Рисунок 5. Фотография пучка искр от электрического разряда комбинированной установки при вибродуговом режиме

Были изучены разбрызганные частицы электрического разряда с применением цифрового микроскопа levenhuk 40l/50l/d50l с выводом. изображения предмета на монитор компьютера. Изучению подверглись только частицы от электрического разряда электроискрового устройства по патенту РФ № 2655420. Приведем некоторые специфические кадры (Рис. 6).





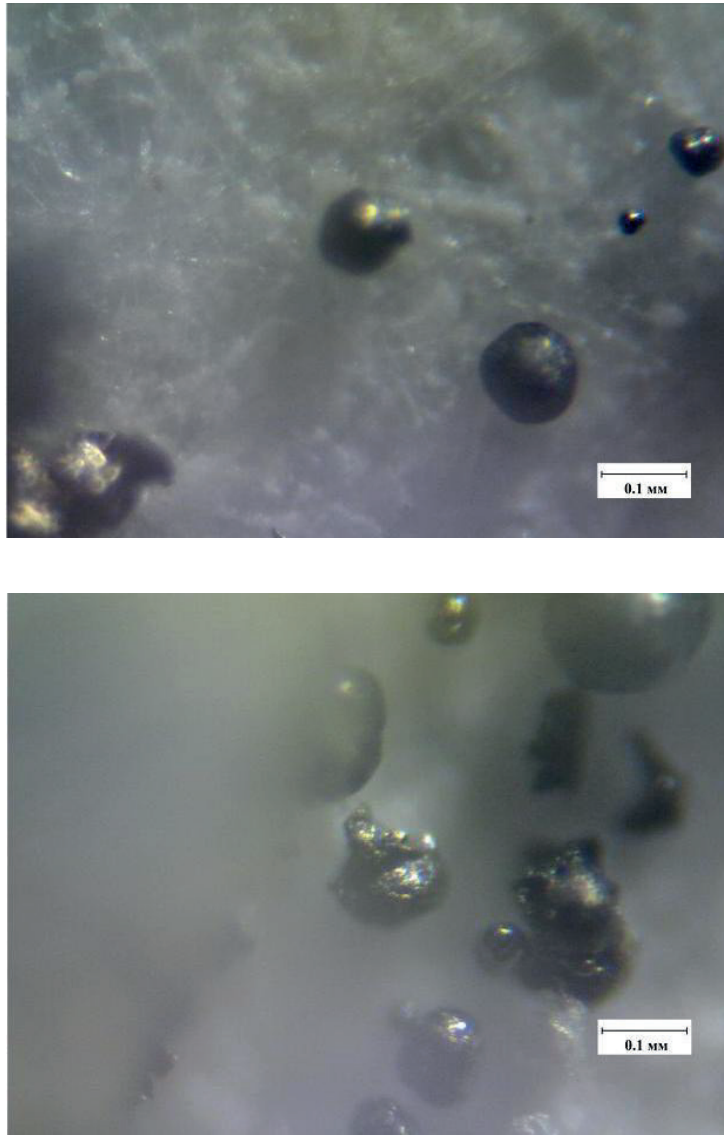


Рисунок 6. Специфические кадры разбрызганных частиц от электрического разряда электроискрового устройства по патенту РФ № 2655420

Просмотр приведенных на рисунке 6 кадров показывает, что распыленные частицы электрического разряда могут быть в виде, как отдельных шарообразных зерен, так и спеченных между собой элементов состава сварочной ванны и материала электрода и подложки. С точки зрения исследований и практического применения, больший интерес представляет второй вид распыленных частиц электрического разряда. Как видно они бесформенные, что говорит об их большой активной удельной поверхности. Они имеют как выпуклые части, так и впадины, что позволяет предположить их пористость. Из просмотра фотографий также видно, что размер распыленных частиц мал, всего порядка 100 мкм. С точки зрения их практического применения размер распыленных частиц можно иметь при повышении мощности электрического разряда. Такая возможность имеется при использовании комбинированной установки электроискрового и вибродугового разрядов.

4. Выводы.

1. Распыленные частицы электрического разряда являются бесформенными, часть в виде пористых или круглых зерен.
2. Собирая распыленные частицы электрического разряда в конгломераты можно получить пористые элементы.
3. Полученные пористые элементы из распыленных частиц электрического разряда можно исследовать на возможность их применения в качестве гетерогенных катализаторов.

Литература.

1. Пармон, В.Н. Отечественная нефтеперерабатывающая промышленность сквозь призму катализа. Состояние и проблемы /В.Н. Пармон, В.К. Дуплякин //Катализ в промышленности. - 2003. - №2. - С. 3-10/

2. Чижевский А.А. Получение катализаторов плазменной модификацией или обработкой носителя /А.А. Чижевский, И. Ш. Абдуллин, В. С. Желтухин //Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18. – № 14. – С. 159 – 162.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗНАЧЕНИЯ ЧАСТОТЫ СРЕЗА И ЗАПАСА ПО ФАЗЕ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Шихалёв Анатолий Михайлович
К(ПФУ) Инженерный институт

Ахметова Ирина Анатольевна
КГЭУ Институт цифровых технологий и экономики

Воронцов Дмитрий Петрович
К(ПФУ) Инженерный институт

Хафизов Ильдар Ильсурович
К(ПФУ) Инженерный институт

Кашапов Наиль Фаикович
К(ПФУ) Инженерный институт

Аннотация. На примере отдельного звена системы автоматического управления (САУ) приведён способ точного получения частоты среза и запаса по фазе на совместных логарифмических амплитудных и частотных характеристиках (ЛАЧХ и ЛФЧХ). Точное значение частоты среза по ЛАЧХ и соответствующее ему точное значение запаса по фазе позволяют установить степень устойчивости САУ к стандартным воздействиям в виде ступенчатой функции, импульсной функции и других. Требования на этапах анализа САУ и их проектирования к точности и показателям качества регулирования являются, как правило, противоречивыми и нуждаются в последующей оптимизации (рационализации). Важную их часть составляют корректное определение значений не только сопрягающих частот, но и частоты среза и соответствующего ей запаса по фазе.

Abstract. On the example of a separate part of automatic control system (ACS) we propose the method for the maximum precise crossover frequency and phase margin receiving at the joint logarithmic amplitude and frequency characteristics (BMD and LPFRC). The exact value of the Bode magnitude plot (BMD) and the corresponding exact value of the phase margin make it possible to estimate the degree of the ACS stability to such reference exposures like the unit step function, a (im)pulse function, etc. The requirements at the ACS analysis and design stages for the precision and control quality indicators are generally contradictory and need to be further optimized (rationalized). Its important part is the correct values determination not only for the corner frequencies, but also for the cut-off frequency and its corresponding phase margin.

Ключевые слова: апериодическое звено 1-го порядка, передаточные функции, частотные характеристики САУ, устойчивость системы, частоты сопряжения и срез.

Целью данной статьи является аналитическое определение частоты среза ωср для исследуемой САУ как совокупности звеньев автоматического регулирования, так и для отдельного звена. Известный пакет ПО MatLab (в отличие от иных решений [1]) располагает достаточно широкими, в т. ч.

графическими, возможностями для определения данного параметра. Графически это обозначает пересечение логарифмической амплитудной характеристики (ЛАЧХ) с осью абсцисс, на которой откладываются значения lg(ω). При этом главный интерес для исследователей представляет не только точное значение величины ωср, но и запаса по фазе Δφ(ωср). Если его абсолютное значение $|\Delta\varphi(\omega ср)| > -\pi$ (или – 1800), то исследуемая САУ или её элемент – устойчивы. Если же модуль запаса по фазе $|\Delta\varphi(\omega ср)| < -\pi$ – переходный процесс будет расходящимся; если $|\Delta\varphi(\omega ср)| = -\pi$ – имеется так называемый «консервативный процесс» в режиме автоколебаний, или, согласно теореме об устойчивости систем Ляпунова (1892 г.) [2] он является «неопределённым». В данной связи аналитическая, т. е. возможно точная оценка значения частоты среза ωср с последующей оценкой величины Δφ(ωср) является для исследователей актуальной задачей. Рассмотрим САУ, состоящую из 1 апериодического звена 1-го порядка, представленного в [2], которую намеренно усложним введением в её контур некоторого безынерционного (усилительного звена) с коэффициентом передачи k1 так, чтобы по правилу структурных преобразований при следовании в САУ последовательно друг за другом: k1·k2 = k = 10 и T = 1 с в качестве конкретного примера. Примером выбрано апериодическое звено первого порядка передаточной функции (без явно несоответствующих вариантов как в [8]) после преобразований Лапласа при нулевых начальных условиях вида (1) и проследим, как эта функция могла получиться [3].

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}. \qquad (1)$$

Пусть мы располагаем некоторой электрической R-L-C цепью (или некоторым инерционным звеном, например, двигателем с постоянным возбуждением обмотки якоря), поведение которой описывается дифференциальным уравнением (ДУ) вида:

$$T\frac{dx_{вых}}{dt} + x_{вых} = kx_{вх}. \qquad (2)$$

По отображению Лапласа при нулевых начальных условиях заменяем: p = d/dt = jω. Тогда ДУ (2) примет вид алгебраического уравнения:

$$Tp\, x_{вых} + x_{вых} = kx_{вх}, \text{ или } x_{вых}(Tp + 1) = kx_{вх}, \qquad (3)$$

Передаточная функция (ПФ) – есть отношение выходного сигнала хвых ко входному хвх, что из уравнения (3) приобретёт следующий вид:

$$W(p) = \frac{x_{вых}}{x_{вх}} = \frac{k}{Tp + 1}, \text{ как и приведено в выражении (1).} \quad (4)$$

Затем определим амплитудо- и фазо-частотные (АЧХ и ФЧХ) характеристики САУ, данной ниже. Подобные характеристики - основные показатели при анализе САУ [4]. Для нахождения амплитудно-фазовых характеристик (АФХ) рассмотрим отдельно АЧХ и ФЧХ. То есть АФХ – это совокупность АЧХ и ФЧХ [5]. Итак, для построения АФХ необходимо прежде заменить по Лапласу в выражении (1) или (4) оператор $p = j\omega$:

$$W(j\omega) = \frac{k}{T j\omega + 1}. \quad (5)$$

То есть преобразование Лапласа не только позволяет сводить дифференциальные уравнения при нулевых начальных условиях к алгебраическим. Для дальнейших расчётов необходимо разделить действительную часть $P(\omega)$ и мнимую $Q(\omega)$, что в общем виде можно записать как $W(j\omega) = P(\omega) + j\,Q(\omega)$. (6)

Так, для построения АЧХ необходимо изначально разделить действительные и мнимые переменные выражения (5) так, чтобы привести его к виду (6). Для этого попытаемся умножить числитель и знаменатель (исходного для нас) выражения (5) на такой множитель, чтобы иметь комплексную переменную именно в числителе, а не в знаменателе, как в выражении (5). Располагая действительной и мнимой частью из выражений можно найти модуль искомого годографа вектора АЧХ. Если ось действительной оси принято изображать осью абсцисс, а мнимую – ординат, то модуль искомого годографа вектора (это и есть АЧХ) находится с помощью формулы Пифагора:

$$A(\omega) = \left| W(j\omega) \right| = (P^2(\omega) + Q^2(\omega))^{1/2} = \left(\frac{k^2}{(1 + (\omega T)^2)^2} + \frac{(k\omega T)^2}{(1 + (\omega T)^2)^2} \right)^{1/2} =$$

$$= \left(\frac{k^2 (1 + (\omega T)^2)}{(1 + (\omega T)^2)^2} \right)^{1/2} = \frac{k}{(1 + (\omega T)^2)^{1/2}}. \quad (7)$$

Выражение (7) означает вид АЧХ. Для нахождения ФЧХ достаточно воспользоваться определением тангенса, это будет отношение мнимой части $Q(\omega)$ к действительной части $P(\omega)$:

$$\operatorname{tg}\varphi(\omega) = \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} = -\frac{k\omega T}{1+(\omega T)^2} : \frac{k}{1+(\omega T)^2} = (-\omega T).$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg}(-\omega T) = -\operatorname{arctg}(\omega T). \quad (8)$$

Для отыскания частоты среза требуются ЛАЧХ и ЛФЧХ. Пусть постоянная времени T = 1 с и обобщённый коэффициент передачи k = k1 · k2 = 10. Постоянная времени для примера T = 1 с. Получить логарифмическую амплитудно-частотную характеристику можно на основе формулы (7), прологарифмировав её по основанию 10:

$$L(\omega) = \lg(W(j\omega)) = 20\lg k - 20\lg[(T^2\omega^2 + 1)^{1/2}]. \quad (9)$$

Множитель 20 [1] в формуле (9) введён из соображений масштабирования, тогда как по оси абцисс отображают не саму круговую частоту ω, но её десятичный логарифм. Так, мощность сигнала от P1 до P2 пропорциональна квадрату его амплитуды A. Изменение сигнала в 10 раз есть изменению его уровня на 20 дБ, так как $\lg(P2/P1) = \lg(A22/A21) = 20\lg(A2/A1)$. По оси абсцисс откладывается частота ω в логарифмическом масштабе для расширения возможностей визуализации процесса, когда единичный промежуток (декада) соответствует изменению круговой частоты ω в 10 раз. А поскольку $\lg 0 = -\infty$, то начало координат по оси абсцисс назначается произвольно. ЛФЧХ, получаемое из формулы (8) отличается от ФЧХ только масштабом по оси ω. Однако счёт по формуле (9) проводят отдельно до частоты сопряжения ωсопр = 1/T (здесь T = 1 с, поэтому ωсопр = 1/T = 1 с), что нашло своё представление формулы (9) в следующем виде:

$$L(\omega) = \begin{cases} 20\lg k \text{ при } \omega < \omega_{сопр}, \\ 20\lg k - 20\lg[(T^2\omega^2 + 1)^{1/2}] \text{ при } \omega \geq \omega_{сопр}. \end{cases} \quad (10)$$

Частота сопряжения ωсопр показывает, что при достижении её значения L(ω) в последующем изменяется на (- 20 дБ/дек). Там, где ЛАЧХ пересекает ось абсцисс, и находится частота среза ωср. Представляет практический интерес не только определения точного её значения, но и запаса по фазе Δφ(ωср) для оценки степени устойчивости анализируемой САУ. Чтобы найти её точное значение, необходимо второе уравнение системы уравнений (10) - из выводов следует ωсопр < ωср. Остаётся определить её точное значение. Расчёты по системе уравнений (10) показывают, что при ω = 10 (рад) значение L(ω) = -0,04. То есть пересечение с осью абсцисс уже произошло, но равенство L(ω) = 0 позволит отыскать его корень как уравнения: $20\lg k - 20\lg[(T^2\omega^2 + 1)^{1/2}] \to 0$. (11)

Проведя операцию с логарифмом и разделив оба слагаемых, получим:

$$20\lg k = (1/2) \cdot 20\lg(T^2\omega_{срез}^2 + 1); \quad 2 \cdot \lg k = \lg(T^2\omega_{срез}^2 + 1). \quad (12)$$

В равенстве (12) по определению логарифмов при известном основании можно записать: $10^{2 \cdot \lg k} = (T^2 \omega_{ср}{}^2 + 1)$, откуда $\omega_{срез} = [(10^{2 \cdot \lg k} - 1) / T^2]^{1/2}$. (13)

Подставим в выражение (13) исходные данные для данного модельного примера, для которого k = 10; T = 1 с, и получим: $\omega_{срез} = [(10^{2 \cdot \lg 10} - 1) / 1^2]^{1/2} = (10^2 - 1)^{1/2} = (99)^{1/2} = 9{,}9498743 \approx 9{,}95$.

Для проверки полученной частоты среза воспользуемся исходным уравнением (11), которое при подстановке значения частоты среза как его корня должно обратиться в ноль: 20lg10 - 20lg[(12ωср2 + 1)1/2] = 20 – 20 lg[(1 · 9,94987432 + 1)1/2] = 0,0000001 ≈ 0. Т. е., нами найдено аналитически значение частоты среза, равное 9,95 (с-1). Значение запаса по фазе на частоте среза можно определить из уравнения (8): $\varphi(\omega ср) = -\operatorname{arctg}(\omega ср T) = -\operatorname{arctg}(9{,}95 \cdot 1) = 1{,}471$ рад $= 84{,}3^0$. То есть до $-\pi / 2$ фазе «осталось» ещё $90^0 - 84{,}3^0 = 5{,}7^0$. Итого запас по фазе, учитывая его дополнительное расстояние до $-\pi$ ещё -90^0, в данном модельном примере запас по фазе $|\Delta\varphi(\omega ср)| = 90^0 + 5{,}7^0 = 95{,}7^0$: исследуемая САУ (или её элемент) являются устойчивой (устойчивым).

Выводы. Проведённые расчёты по предложенной методике позволили определить не только точное значение характерной частоты среза, равной 9,95 рад, но и позволили оценить точный запас по фазе, равный 95,7 градуса по отношению к значению $-\pi$ на данной частоте: исследуемая система является устойчивой.

Литература

1. Кашапов Н.Ф., Шихалѐв А.М., Воронцов Д.П., Ахметова И.А., Хамидуллина Г.Р. Многокритериальная оценка районов региона РФ, перспективных для расположения логистических объектов (на примере РТ) // Материалы IX МНТК «ИМТОМ-2018», Ч. 2. - Казань: Фолиант, 2018. - С. 283-287.

2. Интернет-ресурс. Понятие частотных характеристик. URL: https://www.toehelp.ru/theory/tau/letures6.htm (дата обращения 16.10.2022).

3. Интернет-ресурс. Типовые звенья САУ. URL: Studwood.ru/1678987 (дата обращения 16.10.2022).

4. Шишмарёв В.Ю. Основы автоматического управления / учебное пособие для академического бакалавриата / В.Ю. Шишмарёв. – М.: Юрайт, 2018. – 350 с.

5. Интернет-ресурс. Апериодическое звено 1 порядка. URL: Tk.uistu.ru/lib/method/tau_kurs.pdf, Ульяновск, 2002 (дата обращения 16.10.2022).

6. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1975. – 768 с.

7. Интернет-ресурс. Логарифмические амплитудно-фазовая частотная… URL: ru/wikipedia.org.wiki/АФЧХ (дата обращения 16.10.2022).

8. Shikhalev A.M., Akhmetova I.A., Vorontsov D.P., Khamidullina G.R., Kashapov N.F., Rozhko O.N. The multicriteria estimation of the Russian Federation region districts promising for the logistic objects placement (on the Republic of Tatarstan example) // 2019 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 570, URL:https://doi.org/10.1088/1757-899X/570/1/012095.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧЕТЫРЁХПОЛЬНЫХ ТАБЛИЦ ВЗАИМНОЙ СОПРЯЖЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШКАЛЫ Т. СААТИ В ТЕРМИНАХ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫх

Шихалёв Анатолий Михайлович, Инженерный институт КФУ, Казань, Россия;
Воронцов Дмитрий Петрович, Инженерный институт КФУ, Казань, Россия;
Ахметова Ирина Анатольевна, Институт управления экономикой и финансами КФУ, Казань, Россия.

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы переходы от интервальной (количественной) шкалы в порядковую (лингвистическую), развивая тем самым некоторые предложения, указанные в [1], [2], [3]. В качестве примера выступают ожидания от автомобилиста: 10,0 км или 10,5 км – велика ли разница? В статье даётся определённый ответ на заданный вопрос: разница получилась в ранге «слабой», что и следовало ожидать. Апробирована предлагаемая схема кластеризации всё возрастающих модельных расстояний и установлено, что с 10,0 км до 10,5 км расстояния по шкале Т. Саати отличаются друг от друга со степенью «нет различий». Также в соответствии с таблицей Т. Саати остальные различия по расстояниям были отображены в соответствующие классы: различия «нет различий», «слабые различия», «существенные», «сильные» и «абсолютные». Иначе говоря, осуществлена кластеризация модельных расстояний, превышающих расстояние в 10,0 км.

Abstract. In our research we are considering some issues of transitions from the interval (quantitative) scale to the ordinal (linguistic) scale, thereby developing some proposals from the [5], [6], [7]. As an example we look at the expectations in a driver’s case: 10.0 km or 10.5 km - is there a big difference? Our study gives a definitive answer to this question: the difference has the "weak" rank which has been expected. Then in the article is tested the proposed clustering scheme for the increasing model distances and we have found that from 10.0 km to 10.5 km the distances on the T. Saati’s scale differ from each other with a "no difference" degree. According to T. Saati's table the rest of the differences on the distance were mapped into its respective classes: "no difference", "weak differences", "essential", "strong" and "absolute" differences. In other words, the cluster analysis for the model distances exceeding 10.0 km has been realized in this paper.

Ключевые слова: лицо, принимающее решения (ЛПР), критерий согласия хи-квадрат Пирсона, параметры связи четырёхпольных ТВС,

девятипозиционная шкала Томаса Саати, кластеры.

Введение. Российский исследователь Б.Г. Миркин как-то отмечал [4], что в обувном магазине мы вполне обходимся, принимая решение о приобретении (не приобретении) данной модели обуви, ориентируясь лишь на порядковую и лингвистические шкалы – ЛП (даже бинарных ЛП альтернативного вида «подходит – не подходит»). Да и акад. Дм. Поспелов как-то заметил, что «человеческие знания укладываются на шкалах» [5] (это шкалы наименований, порядковая, интервальная и лингвистические). У авторов некогда также состоялся вполне естественный вопрос: а отличаются ли расстояния, скажем, в 10,0 км от 10,5 км? А если и отличаются, то насколько это значимо для лица, принимающего решение (ЛПР – здесь водитель автомобиля). На основе подобных исходных данных и была построена известная четырёхпольная таблица взаимных сопряжений (ТВС):

Таблица 1. Четырёхпольная ТВС

Счётчик	Признаки	A: $\Delta x_i = \lvert x_{i+1}-x_i \rvert$, $j = 1$	B: x_i, $j = 2$	Всего:
i = 1	Значимое различие	a=0,5	b=10	**10,5**
i = 2	Незначимое различие	c=0,0	d=10	**10,0**
	Итоговые частоты	**0,5**	**20**	**20,5**

Анализ исходных данных. У табл. 1 существуют два назначения: 1) есть ли значимая связь между признаками A и B? 2) какова теснота из связи?

Средство ответа на первый вопрос - необходимо и достаточно рассчитать значение критерия согласия Пирсона вида (1) [6, с. 50]:

$$\chi^2_{\text{расч}} = \sum_{i=1}^{4} \frac{\left(m_{ij} - m_{ij}^{\text{теор}}\right)^2}{m_{ij}^{\text{теор}}}. \qquad (1)$$

Тогда, согласно (1) и табл. 1, теоретические частоты будут иметь вид: $m_{11}^{\text{теор}} = 10,5\ (0,5 / 20,5) = 0,2561$; $m_{12}^{\text{теор}} = 10,5\ (20 / 20,5) = 10,2439$; $m_{21}^{\text{теор}} = 10,0\ (0,5 / 20,5) = 0,2439$; $m_{22}^{\text{теор}} = 10,0\ (20 / 20,5) = 9,7561$. Расчётное значение $\chi^2_{\text{расч}} = 0,4881 \approx 0,49$. Табличное значение с числом степеней свободы k = 1 при уровне значимости $\alpha = 0,05$ (или с надёжностью 95%) $\chi^2_{\text{таблч}} = 3,84$ [6, Приложение 4, с. 134]. Следовательно,

$$\chi^2_{\text{расч}} \approx 0,49 \ll \chi^2_{\text{табл}}(\alpha = 0,05; k = 1) = 3,84, \qquad (2)$$

из чего следует (если $\chi^2_{\text{расч}} = 0,49 \leq \chi^2_{\text{табл}}$ (df = 1, $\alpha = 0,05$) = 3,84 , что распределение случайно, что и следовало ожидать. Однако, для ответа на второй вопрос рассчитаем и тесноту связи между исследуемыми признаками (см. табл. 1) по методике [6, с. 80] для четырёхпольных ТВС – коэффициент ассоциации Q= 1,00, коэффициент контингенции $k_{\text{континг}} = 0,069$; коэффициент взаимной сопряжённости Пирсона C = 0,1525 и коэффициент взаимной сопряжённости Чупрова $K_ч = 0,1525$. Хотя коэффициент Q высок, остальные показатели достаточно низкие. Вычислим отдельно показатель φ^2, который применяется в вычислении коэффициента связи по Пирсону C:

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2 + N}} = \sqrt{\frac{\varphi^2}{\varphi^2 + 1}}, \qquad \text{где } \varphi^2 = \frac{\chi^2}{N} = \frac{0{,}4881}{20{,}5} = 0{,}1543. \qquad (5)$$

Например, нам требуется сравнить два числа 10,0 и 10,5 (здесь – км) – см. модельный пример в табл. 1. Выразим для этого явно именно параметр φ:

$$\varphi = \frac{\Delta x}{\sqrt{2 \cdot \Delta x \cdot (\Delta x + b)}}, \qquad (7)$$

где $\Delta x = |x_{i+1} - x_i|$; параметры b, как и остальные a,c,d здесь выражают аналоги частот сопоставимых признаков, суммы (a+c) и др. - аналоги сумм распределяемых частот, а N= 20,5 (км) - общую сумму четырех параметров в абсолютных единицах при их числе n = 4. Затем нормируем показатели табл. 1 к 100% и, применяя сравнительную таблицу Томаса Саати [7] (см. табл. 2) получаем интересующий нас результат, приведённый в табл. 3.

Таблица 2. Девятипозиционная шкала Т. Саати

№ п/п	Баллы	Мера различий двух сравниваемых величин
1	9	абсолютные различия
2	8	
3	7	сильные различия
4	6	
5	5	существенные различия
6	4	
7	3	слабые различия
8	2	
9	1	нет различий

В табл. 3 мы и получили ответ на поставленный вопрос: как сильно отличаются расстояния в 10,0 км и 10,5 км: они отличаются со степенью «малые различия». На основании изложенных результатов написана и отлажена компьютерная программа в среде MSDOS в системе управления базами данных FoxPro 2.5, фрагмент листинга которой представлен в табл. 4.

Таблица 3. Шкала формирования лингвистической переменной

"Степень различия двух показателей" P (%)	$\aleph^2_{крит}$	Критическая величина различия (%)	Степень различий	Идентификатор	Фактическая величина различия (%)
1	2	3	4	5	6
P>99			абсолютная		
P=99	6.635	15.30	абсолютная		
95<P<99			сильная		
P=95	3.841	8.32	сильная		

90<P<95			существенная		
P=90	2.706	5.72	существенная		
70<P<90			слабая	*	5.00
P=70	1.074	2.20	слабая		
50<P<70			нет различия		
P=50	0.455	0.92	нет различия		
P<50			нет различия		

Ну а для того, чтобы продолжить наши рассуждения, приведём ещё одну таблицу (табл. 4):

Таблица 4. Результаты решения компьютерной программы.

№ п/п	Расстояния, км	P, % – вероятность различий	Значения лингвистической переменной
1	10 – 10,05	36,56 (P< 50)	нет различия
2	10 - 10,1	51,29 (50 < P < 70)	нет различия
3	10 - 10,2	66,98 (50 < P < 70)	нет различия
4	10 - 10,3	76,77 (70 < P < 90)	слабые различия
5	10 - 10,4	82,64 (70 < P < 90)	слабые различия
6	10 - 10,5	86,95 (70 < P < 90)	слабые различия
7	10 - 10,6	90,55 (90 < P < 95)	существенные
8	10 - 10,7	92,49 (90 < P < 95)	существенные
9	10 - 10,8	94,35 (90 < P < 95)	существенные
10	10 - 10,9	95,55 (95 < P < 99)	сильные
11	10 - 11,0	96,35 (95 < P < 99)	сильные
12	10 - 11,1	97,13 (95 < P < 99)	сильные
13	10 - 11,2	97,10 (95 < P < 99)	сильные
14	10 - 11,3	98,28 (95 < P < 99)	сильные
15	10 - 11,4	98,60 (95 < P < 99)	сильные
16	10 - 11,5	98,91 (95 < P < 99)	сильные
17	10 - 11,6	99 < P < 100	абсолютные

Выводы. Таким образом, предложенный метод нормированных четырёхпольных ТВС может использоваться как способ кластеризации упорядоченных величин уровней рядов, в том числе и динамических. Итак, классу (таксону) с именем «нет различий» принадлежат расстояния от 10,0 до 10,2 (км), к классу «слабые различия» - от 10,3 до 10,5 (км), к классу «существенные различия» - от 10,6 до 10,8 (км), к классу «сильные различия» - от 10,9 до 11,5 (км), к классу «абсолютные различия» - расстояния от 11,6 км и выше. Таким образом, осуществлена кластеризация модельных расстояний от базовой величины в 10,0 км.

Литература

1. The method of specification the degree of reliability for “zero hypotheses” about the distribution laws basing on Pearson's and Kolmogorov's consent criteria. Ilya Igushkin, Anatoly Shikhalev, Dmitry Vorontsov, Natalya Verzun, Irina Akhmetova, Vadim Zubenko. Proceedings of VIII International

Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT-2022), DOI:10.1109/ITNT55410.2022.9848752.

2. Shikhalev A.M., Vorontsov D.P., Akhmetova I.A., Rozhko O.N., Khafizov I.I. The modified scale n.a. prof. V.A. Yadov using for the theoretical distributions creation in the turbulent economics // International May Conference on Strategic Management IMCSM20, Book of Proceedings, pp. 137-147.

3. Shikhalev A.M., Akhmetova I.A., Vorontsov D.P., Khamidullina G.R., Kashapov N.F., Rozhko O.N. The multicriteria estimation of the Russian Federation region districts promising for the logistic objects placement (on the Republic of Tatarstan example) // 2019 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 570, URL:https://doi.org/10.1088/1757-899X/570/1/012095.

4. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974, с. 256.

5. Тезисы к докладам на Всероссийской научно-практической конференции / 28 сентября – 02 октября 1996 г. / Отв. за вып. И.З. Батыршин (председатель ЛИИ Республики Татарстан). – Казань: КХТИ, 1996 г.

6. Громыко Г.Л. Общая теория статистики: Практикум. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 139 с.

7. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ПОДГОТОВКЕ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ДИСЦИПЛИНЫ «НАЦИОНАЛЬНАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ»

Юнусова Гульназ Рашитовна,
Хамидуллина Гульнара Рафкатовна,
Хуснутдинова Эльвира Мусавировна

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18
E-mail: gulnaz_gatina@mail.ru

Аннотация. В статье проанализирована роль цифровых образовательных ресурсов при формировании профессиональных навыков специалистов технических профилей. Рассмотрен опыт создания цифрового образовательного ресурса «Национальная стандартизация» в Инженерном институте Казанского федерального университета.

Abstract. The article analyzes the role of digital educational resources in the development of professional skills of technical specialists. The experience of creation of digital educational resource «National standardization» in Engineering Institute of Kazan Federal University was considered.

Ключевые слова: цифровые образовательные ресурсы, техническое образование.

В современном мире, когда существует необходимость фундаментальной подготовки инженеров, инновационный вуз ориентируется на подготовку высококвалифицированных специалистов технических профилей, знающих свои профессиональные задачи, демонстрирующих высокий образовательный уровень, гибкое мышление и т.д.

Инженерный институт, являющийся учебно-научным подразделением КФУ [3], в процессе профессионального обучения большое значение отводит на поиск путей совершенствования подготовки конкурентоспособных специалистов.

Активное развитие информационных технологий связанное с происходящими в обществе событиями за последние годы привел к появлению инноваций в образовательной системе [5]. Например, создание онлайн-курсов в образовательной системе, являющихся источником массового обучения, также решающих вопросы доступности высококачественных образовательных услуг для любого желающего[4]. Также инновацией в образовательной системе можно считать индивидуализацию учебного процесса. Иными словами, создается траектория обучения каждого слушателя за счет применения инновационных технологий. Объединение вышеназванных новшеств в образовании будет толчком массовому обучению слушателей с применением преимуществ адаптивного обучения[2].

Следует отметить, что реализацию образовательных программ по инженерным направлениям подготовки желательно проводить в виде смешанного обучения с применением цифровых образовательных ресурсов.

На сегодняшний день создание и внедрение цифровых образовательных ресурсов (ЦОР) актуализировались во всем мире. ЦОР в образовательной системе это новый формат обучения с использованием информационных технологий, обеспечивающий углубленное изучение материала. В процессе создания и использования ЦОР участники образовательной системы выявляют как преимущества, так и недостатки.

Преимущества ЦОР:

- самостоятельное изучение обучающимися теоретического материала вне аудитории;
- наглядность теоретического материала;
- возможность решения практических и самостоятельных заданий обучающимися в свой темп, время, место своего обучения;
- интерактивные занятия;
- возможность повторного использования цифрового лекционного материала, внесения изменений в них и т.д.

Недостатки ЦОР:

- получаемая информация поступает через вторую сигнальную систему, а на практике при решении реальных задач информация поступает через первую и вторую сигнальные системы [1].
- активное использование сетевых технологий приводит к уменьшению непосредственного общения студента и преподавателя.

Для эффективного обучения с применением ЦОР необходимо качественно подготовиться к проведению данного вида занятий, а именно необходимо создать комплект лекций (текстовый материал, презентацию по теме, дополнительные материалы и т.п.), необходимо подготовить обучающихся к новой для них форме обучения. Также преподавателю самому следует усовершенствовать свои цифровые навыки.

Современный ЦОР должен создаваться в рамках действующего ФГОС, темы изучаемого материала должны совпадать с рабочей программой дисциплины, дополнять учебный курс; иметь удобный интерфейс и средства навигации.

В рамках данных требований на кафедре управления качеством Инженерного института КФУ для бакалавров 2 курса очного обучения по направлению подготовки «Управление качеством» был разработан ЦОР «Национальная стандартизация» в помощь при изучении дисциплины аналогичной темой, в котором рассмотрены основные положения системы стандартизации РФ.

На изучение учебного курса в соответствии с учебным планом отводится следующий объем учебных часов: 108 ч. (в том числе: лекции – 18, практические занятия – 36, самостоятельная работа – 54), форма контроля: зачет.

В рамках лекционных занятий изучаются 10 тем. По каждой теме были загружены теоретические материалы, созданы презентации по каждой изучаемой теме, разработаны практические и самостоятельные работы для студентов, интерактивные тестирующие системы для анализа качества знаний обучающихся и т.п.

По завершении курса участники обучения с применением ЦОР по дисциплине «Национальная стандартизация» положительно оценили полученные знания данным методом, проявили заинтересованность в использовании цифровых образовательных ресурсов.

Таким образом, можно сделать вывод, что продуманный учебный курс с применением ЦОР помогает развитию профессиональных компетенций и навыков обучающихся – будущих специалистов, интегрируя все инновационные элементы образовательного процесса.

Литература

1. Павлов И. П. Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей деятельности (поведения) животных. – М.: Наука, 1973. – 661с.

2. Daniel, J., Vazquez Cano, E., & Gisbert, M. The Future of MOOCs: Adaptive Learning or Business Model? RUSC. Universities and Knowledge Society Journal, 2015. 12 (1). pp. 64-73. Doi: http://dx.doi.org/10.7238/rusc.v12i1.2475

3. Konakhina, I & Khamidullina, G & Khusnutdinova, E & Kashapov, N. Engineering education in the system of modern innovation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 570. 012062. 10.1088/1757-899X/570/1/012062.

4. Mohamed Jemni, Kinshuk, Mohamed Koutheair Khribi “Open Education: from OERs to MOOCs”. Springer-Verlag. 2017

5. Sharpies, M., Adams, A., Alozie, N., Ferguson, R., FitzGerald, E., Gaved, M., McAndrew, P., Means, B., Remold, J., Rienties, B., Roschelle, J., Vogt, K., Whitelock, D. & Yarnall, L. Innovating Pedagogy 2015: Open University Innovation Report 4. Milton Keynes: The Open University. 2015.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ № 1
«Высокоэффективные материалы, технологии и оборудование в машиностроении» 3

Аникеева К.Г., Шайхетдинова Р.С., Бронская В.В., Игнашина Т.В. Нейросетевое моделирование получения композиционных материалов с контролируемым комплексом свойств 4
Астащенко В.И., Мухаметзянова Г.Ф., Орлянский В.Е., Харисов И.Ж., Саляхов И.Ф., Махонин В.В. Технология поверхностного упрочнения длинномерных стальных изделий 7
Астащенко В.И., Мухаметзянова Г.Ф., Мухаметзянов И.Р., Швеёва Т.В., Захарова И.Х. Рациональные технологические схемы упрочнения стальных изделий 11
Вагизов Т.Н., Галимов Э.Р., Галимова Н.Я., Шарафутдинова Э.Э., Юсупов И.И., Галиев И.Г. Разработка составов и технологии получения световозвращающих покрытий 15
Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П. Исследование влияния углерода на свойства наноструктурных медных материалов, применяемых для поршней машин литья под давлением 19
Габдрахманов А.Т., Галиакбаров А.Т., Шафигуллин Л.Н., Габдрахманова Т.Ф. Исследование влияния вида раскроя на качество сварного соединения 24
Гаврилова Т.П., Хантимеров С.М., Нуждин В.И., Валеев В.Ф., Степанов А.Л. Высокоэффективный анод на основе нанопористого германия для литий-ионных аккумуляторов 28
Галимов Э.Р., Юрасов Ю.С. Влияние дисперсных наполнителей на реологические свойства поливинилхлорида 29
Готлиб Е.М., Нцуму Р.Ш., Валеева А.Р., Галимов Э.Р. Сравнение эксплуатационных свойств эпоксидных композиций, модифицированных продуктами переработки риса, выращенного в различных климатических условиях 32
Давыдов Э.А., Хабибуллин Ф.Ф., Малкова В.В. Исследование и анализ параметров искусственных мышц 37
Долгова А.В., Валеева А.Р. Исследование полимерных композиционных материалов на основе волластонита и диопсида 42
Звездин В.В., Саубанов Р.Р., Рахимов Р.Р., Хисамутдинов Р.М., Сыркин С.С. Технологический контроль зоны лазерной сварки средствами технического зрения 45
Клинов А.В., Латыпов Д.Р., Фазлыев А.Р., Топунов И.В. Фосфорорганические полиуретановые иномеры как селективный слой первапорационных мембран 49

Колесников Д.Н., Махмутянов А.Н. Влияние термической обработки на структуру и свойства сварного соединения из нержавеющей стали 12х18н10т, полученного с применением лазерной сварки 52
Круглов Е.П., Галимов Э.Р., Беляев А.В., Исхаков Б.Р. Диффузионная сварка охлаждаемых литых лопаток ГТД 56
Куртаева Ф.Н., Ахметзянова Л.Х. Повышение ресурсоэффективности литья лопаток ГТД из жаропрочных сплавов 60
Куртаева Ф.Н., Ахметзянова Л.Х. Молниезащитные покрытия из полимерных композиционных материалов 64
Курылев Д.В., Тынчеров М.Р. Особенности разработки постпроцессора для обработки тел вращения на примере детали «стакан» в программном комплексе SIEMENS NX 67
Курынцев С.В., Сафиуллин Э.И., Исхаков Б.Р. Способы лазерной сварки разнородных сплавов встык 71
Курынцев С.В., Солопова Е.А., Путинцева А.А., Мабуйе Шелзи Исследование влияния режимов термической обработки на структуру и свойства штамповой стали 4Х5МФС 74
Лапин И.В., Жиляков В.В., Гильмутдинов И.М. Разработка и определение эффективности новых видов порофоров для получения пеноалюминия 77
Махмутянов А.Н., Колесников Д.Н. Влияние параметров электронно-лучевой сварки на геометрию сварного шва 81
Моренко И.В. Численное исследование нестационарного всплытия пузырьков при аэрации 85
Муратаев Ф.И., Евлампьев А.В. Механизмы коррозии сварных соединений аустенитных сталей 89
Муратаев Ф.И., Хуснетдинов К.Р. Закономерности структуры и свойств в вариантах технологических состояний титановых сплавов 94
Панов А.Г., Шаехова И.Ф., Гимазетдинова Ч.А., Соченко Т.В. Влияние изотермической выдержки на структуру и микротвердость закаленного на нижний бейнит высокопрочного чугуна с вермикулярным и шаровидным графитом 98
Панов А.Г., Шаехова И.Ф., Гимазетдинова Ч.А., Соченко Т.В. Влияние изотермической выдержки на структуру и микротвердость закаленного на верхний бейнит высокопрочного чугуна с вермикулярным и шаровидным графитом 102
Прокопьев А.А., Сафин Р.Р. Обзор свойств композиционных материалов на основе биоразлагаемых полимеров и органических наполнителей 105
Рыжков С.А., Черноглазова А.В., Черноглазов П.А. Способ изготовления пористых композиционных материалов 109
Сабирова М.М., Нуриахметов Б.Д., Каратаев О.Р. Использование autodesk inventor как инструмента для проектного анализа конического редуктора и его трехмерного проектирования 113
Самойлова А.С. Исследование рабочих лопаток свободной турбины ГТД с повышенной наработкой 119

Сандугей Н.С., Гильмутдинов И.И., Кузнецова И.В., Гильмутдинов И.М., Сабирзянов А.Н. Экспериментальное исследование процесса получения композитных частиц в сверхкритической водной среде на основе оксида алюминия и оксида кобальта 124
Саубанов Р.Р., Звездин В.В., Хисамутдинов Р.М., Рахимов Р.Р., Песошин В.А. Разработка элементов системы технического зрения для технологического контроля лазерной прецизионной сварки 127
Сиверин В.С. Высокоэффективные технологии получения новых композиционных материалов 131
Сироткина Л.В. Современные наноматериалы в энергетике 136
Снигирева Ю.В., Танеева А.В., Новиков В.Ф. Новые сорбционные материалы для очистки сточных вод промышленных предприятий от примесей фенолов 141
Солопова Е.А., Ларионова А.С., Яппаров Е.М. Обоснование выбора варианта технологии толстостенных трубопроводов по характеристикам структуры и свойств 144
Фарахутдинов Р.А., Галимов Э.Р. Области применения углеродных пен в современном мире 149
Федяев В.Л., Галимов Э.Р., Беляев А.В. О влиянии пористости материалов на их прочностные свойства 152
Хазиев Э.Л., Хусаенова А.А., Шарипова Ч.Р. Система технического зрения аддитивной установки 155
Хазиев М.Л. Метод определения остаточного ресурса элементов гидравлического привода в экспертной диагностической системе 160
Храмов Н.А., Ключников О.Р. Термостойкость цианакрилатных адгезивов 165
Хузаханов Р.М., Галимов Э.Р. Современное состояние и перспективы развития технологии нанесения полимерных порошковых покрытий (обзор) 168
Черноглазов П.А., Черноглазова А.В. Применение в авиастроении композиционных материалов с матрицей холодного отверждения 174
Шабалин Е.А. Влияние различных режимов термической обработки сплава В-1469 на микротвердость в различных зонах сварного соединения, полученного лазерной сваркой 177
Шарафутдинова Э.Э., Галимова Н.Я., Галимов Э.Р., Шарафутдинов Р.Ф., Юрасов Ю.С. Технология получения углеродных пен на основе фенолоформальдегидных смол и микросфер 181
Шарафутдинова Э.Э., Галимова Н.Я., Шарафутдинов Р.Ф., Юсупов И.И. Принципы экспериментальной реализации методов получения углеродных пен с регулируемыми теплофизическими свойствами 185
Шафигуллин Л.Н., Романова Н.В., Габдрахманов А.Т., Шафигуллина Г.Р., Агашкин Д.А. Влияние терморасширяющегося графита на свойства пенополиуретана 188
Юрасов Ю.С., Галимов Э.Р. Анализ свойств углеродных пен, полученных из мезофазного пека 192

Юрасов Ю.С., Галимов Э.Р. Повышение износостойкости режущего инструмента путем обработки паром 195

СЕКЦИЯ № 2
«Инновационные разработки и экономика в машиностроении» 199

Абашева Д.И., Хуснутдинова Э.М. Метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации в машиностроении 200
Зайнутдинова Д.Р., Хуснутдинова Э.М. Инновационное развитие российского бизнеса в условиях пандемии 202
Закирова А.Р., Рахимзянов М.М. Стандартизация в области технологического обеспечения создания и производства изделий 206
Закирова А.Р., Шарафеев А.Н. Управление инновационными разработками на основе системы показателей качества 210
Ишпаева А.А., Ляхович А.М., Кашапов Н.Ф., Саубанов М.Н. Инновационные подходы к решению проблемы борьбы с образованием альфированного слоя на отливках титана 214
Кашапов Л.Н., Кашапов Р.Н., Кашапов Н.Ф., Чебакова В.Ю. Алгоритм оптимизации параметров электроэкстракции металла на примере цинка 217
Кашапов Н.Ф., Гильмутдинова А.А. Изучение стабильности циклического CIS-1 бисметанофуллерена в условиях электрохимического восстановления 221
Кашапов Н.Ф., Нафиков М.М., Газетдинов М.Х., Газетдинов Ш.М. Некоторые подходы к оценке эффективности системы машин в аграрных формированиях 226
Ключников О.Р., Ключников Я.О. Герметик пластилин-резина холодной вулканизации для ремонта в полевых условиях 232
Лашков В.А., Кондрашева С.Г., Хамидуллина Д.А., Каратаева Е.С. Проектирование массообменной центробежной установки с обновляемой поверхностью 236
Лашков В.А. Обработка сложных многоклеточных структур растительного происхождения в установке с барабанной сушилкой 241
Муратаев Ф.И., Евлампьев А.В. Влияние лазерной обработки на кинетику состава и свойств титановых сплавов 244
Муратаев Ф.И., Галимов Э.Р., Хуснетдинов К.Р. Анализ составляющих состава, структуры и свойств в задачах обеспечения качества разнородных сварных соединений 249
Нафиков М.М., Смирнов С.Г., Нигматзянов А.Р., Нафиков М.М., Смирнов Э.С. Обоснование цифровизации технологических процессов в отрасли растениеводства 255
Нафиков М.М., Хузина Р.Р., Хузина А.Н., Тевелева А.Л. Применение холодной атмосферной плазмы в сельском хозяйстве 260

Нигматуллина Л.Г. Инновационная экономика россии: Проблемы развития 264
Перешивайлов А.И., Гурьянова Е.О. Линеаризация модели октокоптера
в горизонтальной плоскости для задач управления.....267
Поташев А.В., Поташева Е.В. Обратная краевая задача аэродинамики –
инструмент проектирования лопаточных элементов турбомашин 272
Рамазанова А.Б., Хуснутдинова Э.М. Применение VR/AR технологий
в машиностроении 276
Султанов В.А., Махмутов М.М. Инновационные подходы к организации
транспортного обслуживания нефтегазодобывающей отрасли 280
Тоиров О.З., Халиков С.С., Хуснутдинов А.Н.
Вопросы вероятностного анализа безопасности работы крупных насосов систем
машинного орошения с помощью нейронной сети 288
Фахреева Д.Р., Бурганова Т.А., Фахреев Н.Н.
Разработка токена электронной подписи с датчиком биометрических данных 292
Хайбуллина Н.Н., Ляхович А.М. Новые подходы к созданию
солнечных элементов и прозрачных электродов 295
Хайбуллина А.И., Сунгатуллина Г.Г. Исследование потенциала
использования солнечной энергии в системах теплоснабжения.....299
Хамидуллина Г.Р., Хуснутдинова Э.М., Юнусова Г.Р.
Инженерный эксперимент в подготовке высококвалифицированных специалистов
технических профилей: Проблемы, перспективы, развитие методологии.....301
**Харитонова О.С., Бронская В.В., Бальзамов Д.С., Костромин Р.Н.,
Игнашина Т.В., Гарифуллина Э.В.** Применение искусственных
нейронных сетей в нефтегазовой отрасли.....306
Хафизов И.И., Кашапов Н.Ф., Нуруллин И.Г.
Перспективы применения роботизированных систем в промышленности 310
Хузина Р.Р., Хузина А.Н., Тевелева А.Л.
Применение электрогидравлических технологий в получении гуминовых
веществ из низинного торфа.....314
Хуснутдинов А.Н., Лазарев П.С., Марданшина Р.А., Тоиров О.З.
Повышение эффективности работы энергосистемы на основе развития
зарядной инфраструктуры электромобилей.....319
Хуснутдинова Э.М., Хамидуллина Г.Р.
Синтез энерго- и ресурсосберегающих процессов в нефтехимической
промышленности на базе систем регенерации теплоты 323
Шамсутдинов Э.В.
Создание малоотходных технологий эксплуатации и автономного
энергоснабжения объектов ТЭК.....328
Шарифуллин С.Н., Гилязетдинов Р.Р.
Исследование разбрызганных частиц при искровом и вибродуговом разрядах.....331
Шихалёв А.М., Ахметова И.А., Воронцов Д.П., Хафизов И.И., Кашапов Н.Ф.
Методика оценки значения частоты среза и запаса по фазе в системе
автоматического управления.....339

Шихалёв А.М., Воронцов Д.П., Ахметова И.А.
Применение четырёхпольных таблиц взаимной сопряженности
с использованием шкалы т. Саати в терминах лингвистических переменных 344
Юнусова Г.Р., Хамидуллина Г.Р., Хуснутдинова Э.М.
Развитие цифровых образовательных ресурсов в подготовке
высококвалифицированных специалистов технических профилей
на примере дисциплины «Национальная стандартизация» 348

Материалы
XI Международной научно-технической конференции
«Инновационные машиностроительные технологии,
оборудование и материалы – 2022»

Часть 1

Подписано в печать 25.11.2022
Формат 60×84/16
Бумага офсетная
Тираж 70 экз.

Отпечатано ООО «Фолиант»
420111 г. Казань, ул. Профсоюзная, 17в
foliantkazan@mail.ru

АО «Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий»
г. Казань, ул. Дементьева, д. 2в
тел.: (843) 212-09-08
e-mail: oao@kniat.ru
web: www.kniat.ru

9 785604 770115