

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический
университет
Механико-технологический факультет



**Сборник научных работ
Республиканской научно-технической
конференции профессорско-
преподавательского состава, научных
работников, докторантов и аспирантов
МТФ БНТУ**

Современные технологии для заготовительного производства

(проводится в рамках 74-й научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных работников, докторантов и
аспирантов БНТУ)



14 апреля 2021 года

Механико-технологический факультет

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ
ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

Сборник научных работ
Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподава-
тельского состава, научных работников, докторантов и аспирантов МТФ
БНТУ (проводится в рамках 74-й научно-технической конференции профес-
сорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспи-
рантов БНТУ)

14 апреля 2021 года

Минск
БНТУ
2021

ОРГКОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Николайчик Ю.А., проректор по учебной работе, к.т.н., доцент

СОПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Иванов И.А., декан механико-технологического факультета, д.т.н., профессор

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Пантелеенко Ф.И., член-корр. НАНБ, Заслуженный деятель науки РБ, д.т.н., профессор;

Константинов В.М., д.т.н., профессор;

Лазаренков А.М., д.т.н., профессор;

Немененок Б.М., д.т.н., профессор;

Ровин С.Л., д.т.н., доцент;

Томило В.А., д.т.н., профессор;

Бежок А.П., к.т.н., доцент.

РАБОЧАЯ ГРУППА:

Гольцова М.В., д.т.н., доцент;

Одиночко В.Ф., к.т.н., доцент;

Слуцкий А.Г., к.т.н., доцент.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

Бежок А.П., к.т.н., доцент.

СОСТАВИТЕЛЬ: **Бежок А.П.**

В настоящий сборник включены материалы докладов Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов МТФ БНТУ (проводится в рамках 74-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) «Современные технологии для заготовительного производства», участники которой выступали по следующим направлениям: «Современные проблемы материаловедения и новые материалы», «Машины и технология литейного производства», «Обработка металлов давлением. Теория, технология, оснастка и оборудование», «Металлургические процессы и промышленная экология», «Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка», «Охрана труда и промышленная безопасность».

**Изучение коррозионной стойкости цинксодержащих покрытий,
полученных на основе отходов производства горячего цинкования**

Урбанович Н.И., Барановский К.Э., Розенберг Е.В., Карпенкин А.А.
Белорусский национальный технический университет

Ежегодно из-за коррозии теряется около четверти всей произведённой стали и чугуна. Затраты на ремонт или замену металлического оборудования, судов, автомобилей, приборов и коммуникаций, водопроводных труб во много раз превышают стоимость металла, из которого они изготовлены. Разработка и практическое использование эффективной противокоррозионной защиты позволяет не только уменьшить потери металла, но и увеличить эксплуатационный период оборудования.

В настоящее время цинкование является наиболее распространённым способом для защиты металлических конструкций от электрохимической коррозии. Используется как гальваническое цинкование, так и горячее. На защиту углеродистой и низколегированной стали от коррозии расходуется приблизительно 40 % мировой добычи цинка.

Среди способов защиты металлов от коррозии часто используют нанесение на защищаемую поверхность цинкнаполненных красок. Цинконаполненные краски отличаются высоким содержанием цинка в составе до 96 %, чистотой 98–99,99 %. Такие антикоррозионные краски могут защищать сталь от коррозии так же надежно, как при «горячем» способе цинкования. Поэтому способ часто называют холодным цинкованием.

Согласно прогнозам уже в ближайшие десятилетия возрастающий дефицит сырьевой базы многих базовых металлов (в том числе и цинка) приведет к резкому повышению их стоимости. В результате чего наблюдается устойчивая тенденция повышения использования лома и отходов в общем объеме цветных металлов. Вышесказанное особенно актуально для Республики Беларусь, которая не имеет своих сырьевых ресурсов и вынуждена закупать цинк, цинксодержащие краски или цинковый порошок для производства красок за рубежом. В то же время в Республике Беларусь существуют производства горячего цинкования, в частности на ОАО «Речицкий метизный завод», где в процессе горячего цинкования при продувке труб образуются около 100 т в год дисперсного отхода в виде цинковой пыли. Часть этих отходов может быть использована для получения цинксодержащих красок и других целей.

В связи с вышесказанным перед тем, как разрабатывать составы красок на базе дисперсных отходов производства горячего цинкования были проведены исследования их фракционного и химического состава. Анализ результатов исследований показал, что он представляет собой дисперсный отход с частицами круглой формы и размерами от 2 до 200 мкм, а по химическому составу она в основном соответствует требованиям ISO 3549 [1]. На рисунке 1 представлен внешний вид, морфология, и размер цинкового отхода.

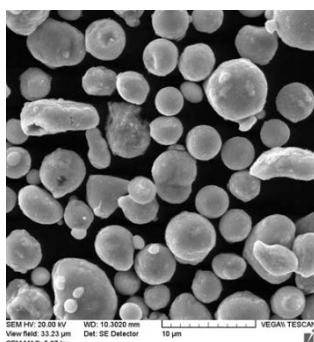


Рисунок 1 – Отход горячего цинкования – цинковая пыль
размером 2 - 15 мкм

Так как для изготовления красок можно использовать фракцию 2 – 15 мкм, проводили рассев цинковой пыли, который позволил установить, что размер фракции, представляющий интерес для использования в цинкнаполненных красках, составляет 27 % от всего фракционного состава отхода [2]. Из цинковой пыли данной фракции и стандартного цинкового порошка изготовили краски на основе пленкообразователей (жидкого стекла, этилсиликата и акрилового связующего), предоставленные производителем красок ООО «Гальварекс», на основе их были получены покрытия.

Результаты сравнительных испытаний физико-механических свойств покрытий, изготовленных с использованием разных пленкообразователей и наполнителей, показали, что по своим физико-механическим свойствам полученные покрытия практически одинаковы. Их свойства в большей степени зависят от типа и качества пленкообразователя, а лучшей адгезией и стойкостью обладают цинкнаполненные покрытия на акриловом связующем [3].

Так как основной функцией цинкнаполненных красок является защита стальных изделий от коррозии, авторами данной статьи проведена оценка коррозионной стойкости покрытий, полученных на акриловом связующем, где наполнителем в одном случае являлся стандартный цинковый порошок (образец 1), в другом - дисперсный отход горячего цинкования (образец 2). Испытания осуществлялись в камере соляного тумана по ГОСТ 9.908–85 и ГОСТ 9.407 –2015. На рисунке 2 показаны фотографии образцов до испытаний (а) и после испытаний (б) в камере солевого тумана в течение 500 часов.

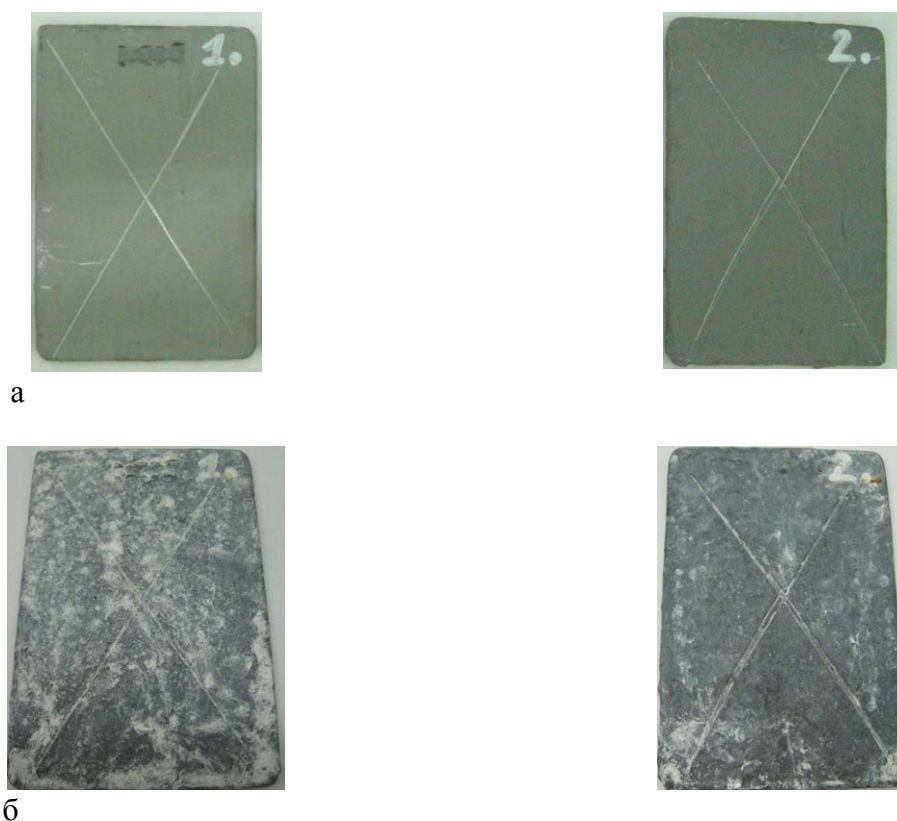


Рисунок 2 – Фотографии образцов:
а - до испытаний; б –500 часов в камере соляного тумана

Результаты исследований в камере соляного тумана показали, что покрытие, полученное на базе отхода горячего цинкования с размером частиц 2–15 мкм, обеспечивает в течение 500 часов практически такие же защитные свойства, как и покрытие, полученное на базе стандартного цинкового порошка, что, примерно, соответствует 10 годам нахождения покрытий в атмосферных условиях. Таким образом, авторами данной статьи показана возможность использования дисперсного отхода производства горячего цинкования с размером частиц 2 – 15

мкм в качестве дешевого заменителя стандартного порошкового цинка в цинксодержащих красках.

Литература

1. Урбанович Н.И., Барановский К.Э., Розенберг Е.В. Исследование химического и гранулометрического состава отхода горячего цинкования-цинковой пыли // Материалы 17-ой МНТК «Наука - образованию, производству, экономике», г.Минск БНТУ – 2019, (Электронный ресурс).
2. Урбанович, Н.И. Оценка возможности использования отхода горячего цинкования-цинковой пыли для цинкнаполненных красок / Н.И. Урбанович, К.Э. Барановский, Е.В. Розенберг, В.А. Ашуйко, Т.И. Бендик // Литье и металлургия. 2019. № 3. С. 153-156.
3. Карпенкин, А.А. Исследование вязкости составов цинксодержащих красок на основе дисперсного отхода горячего цинкования и физико-механических свойств покрытий / А.А. Карпенкин, В.В. Миношин, Д.В. Труханович, Е.В. Алексиевич // Литье и металлургия 2020: III Междунар. науч.-практ. интернет конф. студентов и магистрантов, Минск: БНТУ, 18-19 ноября 2020. С. 116-118 (Электронный ресурс).

Модифицирование легированных железоуглеродистых сплавовКомаров О.С.¹, Розенберг Е.В.¹, Барановский К.Э.¹, Скуратович А.З.²¹Белорусский национальный технический университет²Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы

Современное машиностроение требует постоянного совершенствования свойств сплавов в отливках, в связи с чем наблюдается тенденция перехода с обычных на легированные железоуглеродистые сплавы. Легированные стали и чугуны выплавляют на УПП «Универсал-Лит» (г. Солигорск), ОАО «Белоозёрский энергомеханический завод» (г. Белоозерск) и на других предприятиях.

Для различных типов легированных железоуглеродистых сплавов одним из важных направлений развития производства является разработка и использование методов воздействия на кристаллизующийся расплав, что обеспечивает получение мелкозернистой и однородной структуры металла в твердом состоянии и, как следствие, повышаются его свойства. Универсальным, относительно дешевым и высокоэффективным методом управления структурой кристаллизующегося расплава является модифицирование. Общим для всего многообразия способов модифицирования железоуглеродистых сплавов является изменение степени дисперсности и морфологии фазовых составляющих в результате введения в расплав небольших количеств активных добавок [1].

Наиболее широкое распространение в настоящее время на предприятиях СНГ и дальнего зарубежья получили модификаторы в состав которых входят химически активные компоненты (силикокальций и др.) являющимися модификаторами 2-ого рода. Механизм действия таких модификаторов сводится к образованию тугоплавких неметаллических включений, которые облегчают образование в расплаве центров кристаллизации, оказывающих влияние на зарождение кристаллов при затвердевании.

Не ослабевает интерес производителей легированных сталей и чугунов к щелочноземельным (ЩЗЭ) и редкоземельным элементам (РЗЭ), являющимися сильными раскислителями и десульфураторами и, как показала практика, позволяющим в ряде случаев повысить механические и другие свойства сплавов. Поддержание интереса к щелочноземельным и редкоземельным элементам, несомненно, способствовало развитию техники их ввода в расплавленный металл, позволяющей уменьшить потерю вводимых элементов и повысить их усвоение металлом. Известную роль сыграло также появление лигатур, содержащих эти элементы, упрощающих их ввод в металл и удешевляющих щелочноземельные и редкоземельные элементы (в расчете на единицу их массы) [2].

Точные данные о поведении щелочноземельных, а также редкоземельных элементов в расплавленном металле обеспечить весьма трудно ввиду очень малой их растворимости в жидком и твердом металле и незначительности равновесных концентраций кислорода с остаточными их концентрациями. Они рафинируют сталь от вредных примесей (O, S, Pb, N, P и др.), которые в виде соединений с РЗЭ удаляются в составе отдельной фазы; или РЗЭ коренным образом изменяют природу и свойства не успевшей всплыть неметаллической фазы, придавая ей более благоприятный для стали характер; оказывают модифицирующее действие, изменяя форму зерна металлической матрицы и сопутствующих фаз (карбидов, нитридов и др.); РЗЭ используются для измельчения карбидов в износостойких хромистых чугунах; изменяют микроструктуру и свойства основного металла за счет создания новых фаз (например, упрочняющих ультрадисперсных включений); микролегируют металлическую основу стали и сопутствующих фаз, то есть замещают в кристаллической решетке часть атомов основного металла и придают ей новые механические и другие свойства [3]

В настоящее время рядом заводов для обработки металла и шлака применяется рафинирующе-модифицирующий концентрат, содержащий щелочноземельные металлы. Концентрат представляет собой карбонат (Ba, Sr, Ca)CO₃, содержание которого может достигать 90 %. Действие таких модификаторов было опробовано в производстве ряда марок стали [4, 5]. Кроме того, применение для модифицирования барий-стронциевых карбонатов за счет одно-временного рафинирующего и модифицирующего действия позволяет получить более высокие прочностные и эксплуатационные свойства [6]. Модификаторы оказывают рафинирующее воздействие на расплав, обеспечивают гомогенизацию макро- и микроструктуры, повышают однородность расплава, увеличивают жидкотекучесть расплава и жидкоподвижность шлаков, а также стабилизируют механические свойства сталей.

Значительно меньше информации по использованию модификаторов первого рода, которые представляют собой поверхностно-активные элементы (ПАЭ). Поверхностно-активные элементы относятся к модификаторам I рода это Te, Bi, Mg, Ti, V, Sb и др. [7]. Они обладают ограниченной растворимостью в аустените и в процессе кристаллизации стали образуют в жидкой фазе барьер около поверхности кристалла. Условие, при котором происходит это явление, – малый коэффициент распределения добавки в модифицируемой фазе [8]. Скапливаясь на поверхности растущих дендритов аустенита, они замедляют их рост в результате чего увеличивается переохлаждение, что вызывает увеличение скорости зарождения центров кристаллизации, и как результат, измельчение структуры.

Стоит отметить, что ввод и усвоение поверхностно-активных компонентов связан с определенными трудностями, вызванными их невысокой температурой кипения и очень небольшими количествами необходимыми для успешного проведения модифицирования (0,001 - 0,05%).

Как следует из приведённого краткого обзора современных комплексных модификаторов, они по своей сути являются смесью оксидов, карбонатов или несвязанных щелочных, щелочноземельных и редкоземельных элементов, дополняющих друг друга и обеспечивающих стабильных эффект модифицирования. В этих модификаторах отсутствуют ПАЭ, в связи с чем введение их в состав модификатора можно рассматривать как новое направление в совершенствовании составов комплексных модификаторов.

Применение комплексного модифицирования позволит повысить механические свойства сплавов, уменьшить количество неметаллических включений и улучшить их форму, выровнять свойства по сечению толстостенных отливок, а также повысить надежность литых заготовок.

Литература

1. Гольдштейн, Я. Е. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали / Я. Е. Гольдштейн, В.Г. Мизин. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
2. Модифицирование мартеновской стали 20ГЛ для отливок вагонных деталей барий-стронциевым карбонатом / М.А.Крупин [и др.] // Труды восьмого съезда литейщиков России, Ростов-на-Дону, 23 - 27 апр. 2007 г. – Ростов-на-Дону, 2007. –Т.1. –С. 119 - 127.
3. Ивакин, В.Л. Новая технология повышения качества металлов и сплавов барий-стронциевым карбонатом / В.Л. Ивакин, С.С. Черняк, Д.Ю. Пимнев.- Иркутск: ИНТУ, 2004. - 123 с.
4. Применение барий-стронциевого карбоната при производстве заготовок из инструментальной стали Р6М5 и Х12МФ / С.В. Мурцев [и др.] // Электрометаллургия. – 2004. – № 10. – С. 8 - 10.
5. Обработка стали 110Г13Л барий-стронциевыми карбонатами / А.П. Бежок [и др.] // Литье и металлургия. – 2010. - № 4. – С. 89 - 94.
6. Применение барий-стронциевых карбонатов для обработки жаропрочных сталей / А.П. Бежок [и др.] // Литье и металлургия. – 2011. - № 3. – С. 109 - 114.

7. Рябчиков И. В. История развития производства модификаторов и основные требования к ним – Сб. докладов Литейного консилиума №1 «Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей» - Челябинск: Челябинский Дом печати, 2006 - с. 4.
8. S. Lekakh, Jun Ge, Von Richards. Optimization of melt Treatment for Austenitic Steel Grain Refinement. Metallurgical and Materials Transaction/ vol 48B, February 2017, pp. 406-419.

Современные направления использования отходов производств в качестве вторичных ресурсов

Комаров О.С., Урбанович Н.И., Розенберг Е.В., Волосатиков В.И.
Белорусский национальный технический университет

Решение проблемы отходов производства является приоритетным направлением деятельности в области ресурсосбережения и охраны окружающей среды. В процессе производственной деятельности металлургического и литейного производства в Республике Беларусь образуется большое количество разнообразных отходов, многие из которых являются ценными вторичными ресурсами. Материальные ресурсы, которые возможно и целесообразно использовать вторично в качестве сырья или изделий непосредственно или после дополнительной обработки называются вторичным сырьём. К ценным вторичным ресурсам можно отнести железосодержащие пыли газоочисток электросталеплавильных печей. Пыль дуговых сталеплавильных печей из-за применения в составе шихты значительной доли лома с покрытиями состоит из оксидов железа и примесей цветных металлов, таких как цинка, свинца, олова. Например, содержание цинка в составе пыли может достигать от 15 до 30%.

Проблема вовлечения в хозяйственный оборот пыли газоочисток электросталеплавильных печей отмечена в виде запроса в задачнике от Министерства промышленности Республики Беларусь за 2021 год. Такой запрос имеется от ОАО «Белорусский металлургический завод» на переработку, утилизацию и рециклинг пыли газоочисток, ежемесячный объем образования которой составляет порядка 2500–2800 тонн. Следует также отметить запрос от ОАО «Могилевский металлургический завод» о разработке технологии переработки железосодержащих отходов (пыль железосодержащая), образующихся в процессе производственной деятельности, с целью дальнейшего их использования в качестве шихтовых материалов для загрузки в плавильные агрегаты (вагранка, индукционная печь).

Чтобы обеспечить эффективность использования вторичных ресурсов необходимо изучить опыт других стран, так как предлагаемые пути или направления решения этой проблемы могут быть полезны и для Республики Беларусь.

Методы переработки пылевидных железосодержащих отходов можно разделить на два направления: гидро- и пирометаллургические.

Гидрометаллургическое – направлено на выщелачивание цинка, свинца и других примесей цветных металлов в раствор, а затем их извлечение путем электролиза. Применяют щелочные и кислотные методы выщелачивания цветных металлов. Кислотные методы обеспечивают высокое отделение цинка, но растворы, получаемые после извлечения цинка, содержат значительное количество солей железа. Щелочной метод требует применение повышенных температур (100 °С), при этом происходит избирательное извлечение цинка, свинца и др. цветных металлов в раствор, но зато щелочной метод не обеспечивает извлечение цинка из ферритной формы цинка. Твердый остаток, состоящий в основном из оксидов железа и ферритов цинка, высушивают, окомковывают с углем и вводят в шихту дуговой печи. При плавке ферриты цинка диссоциируют, цинк испаряется и удаляется вместе с технологическими газами в систему газоочистки, где цинксодержащая пыль опять улавливается. Переработка пылей гидрометаллургическим методом реализована на заводах Италии и США [1].

Широкое применение утилизации железосодержащих пылевидных отходов получило пирометаллургическое направление, к которому относятся процессы вельцевания и технологии: FASTMET, FASTMELT, PRIMUS и др.

Основой Вельц-процесса является карботермическое восстановление цинксодержащих отходов во вращающейся печи. При вельцевании железо-цинксодержащие пыли вместе с твердым железосодержащим компонентом, например, коксиком загружают во вращающуюся трубчатую печь, при этом пары цинка возгоняются и осаждаются на фильтре.

Побочным продуктом является смесь шлака с металлическим железом, которая имеет ограниченную сферу использования и низкую цену для реализации возможным потребителям. Главными недостатками данной технологии являются большой расход топлива и загрязнение цинкового концентрата оксидами железа. В странах ЕС посредством Вельц-процесса перерабатываются 80 % металлургических отходов [2,3].

Технология FASTMET, разработанная в Японии, основана на восстановлении железа в печи с вращающимся подом. В качестве шихты используется пыль в виде окатышей и коксовая мелочь. При температуре 1300 – 1350 °С происходит восстановление железа с получением металлизированных окатышей (степень металлизации 75 – 94%), а в качестве побочного продукта сырой оксид цинка. Процесс FASTMELT отличается от процесса FASTMET наличием электропечи, при этом степень извлечения железа достигает 98%. К недостаткам процесса относят: большой расход горючего газа; нестабильный состав железа прямого восстановления; низкий выход сырого оксида цинка [4].

Технология PRIMUS позволяет утилизировать не только пыль, но и шламы. В качестве восстановителя используется уголь. Основными агрегатами являются многоподовая и электродуговая печи. Процесс - двухступенчатый. Конечными продуктами являются чугуны, шлак и концентрат оксида цинка.

Выше представленные в кратком обзоре способы переработки железосодержащих пылевидных отходов требуют специализированного оборудования. В тоже время на большинстве предприятий, в том числе металлургических, имеют место отлаженная инфраструктура, экономические и территориальные ограничения, препятствующие внедрению кардинальных технологических решений. Поэтому, по мнению авторов данной статьи, наиболее перспективным направлением переработки пылевидных железосодержащих отходов будет являться совместное компактирование (брикетирование) данных отходов вместе с восстановителем, характерными особенностями которого являются возможность организации участков различной производительности, гибкость технологических решений, низкая энергоемкость и экологическая нагрузка. Брикетирование позволит уменьшить величину активной поверхности материала и ограничить, таким образом, ее взаимодействие с атмосферой печи. При этом достигается максимальное использование объема печи и исключается унос материала газами.

Литература

1. Jalkanen H., Oghbasilasie H., Raipala K. Recycling of steelmaking dust – the RADUST concept // *Journal of Mining and Metallurgy*. 2005. N 41. P.1-16.
2. Стовпченко, А. П. Процессы утилизации пыли сталеплавильного производства. Часть I. Высокопроизводительные промышленные процессы переработки пыли и других железосодержащих отходов / А. П. Стовпченко [и др.] // *Электрометаллургия*. – 2010. – № 1. – С. 25-32.
3. Козлов, П. А. Вельц-процесс / П. А. Козлов. – М.: Руда и металлы, 2002. – 164
4. Доронин И. Е., Свяжин А. Г. Промышленные способы переработки сталеплавильной пыли – М.: *Металлург*, № 10, 2010. – 48-53.

Методика исследования процесса контактной точечной сварки соединений материалов «алюминий-сталь»

Караминадик И. Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Анализ литературных источников [1] позволил выявить направление исследований в области контактной точечной сварки для получения изделий из разнородных материалов на основе соединения «алюминий-сталь».

Исследования процесса контактной точечной сварки материалов «алюминий-сталь» проводили на машине МТ-22 «Оливер» (рисунок 1), создающей усилие сжатия пластин (при давлении сжатого воздуха 0,63 МПа) – 7,50 кН. Расход воздуха при номинальном усилии сжатия и рабочем ходе 100 мм составлял 1,15 м³/100 ходов. Максимальный вторичный ток в контуре - 22 кА.



Рисунок 1 – Машина контактной точечной сварки МТ-22

Машины «Оливер» серии МТ снабжены контроллером (блоком управления сварочным процессом) серии «Welcom» (Южная Корея), который позволяет составлять и контролировать технологические программы сварки и осуществлять сварку заготовки в 3-х импульсном (ступенчатом) режиме. Контроллер обеспечивает сохранение 15-ти технологических программ и возможность их оперативного использования с минимальным временем выбора. Возможен оперативный показ на мониторе величины силы сварочного тока в реальном времени, усилия сжатия электродов, количества сварочных точек, других параметров процесса сварки, а также характеристик сварочного оборудования. Это весьма важно для соблюдения технологии сварки и обеспечения 100 % контроля качества сварных соединений.

Процесс сварки осуществлялся по следующей схеме (рисунок 2).

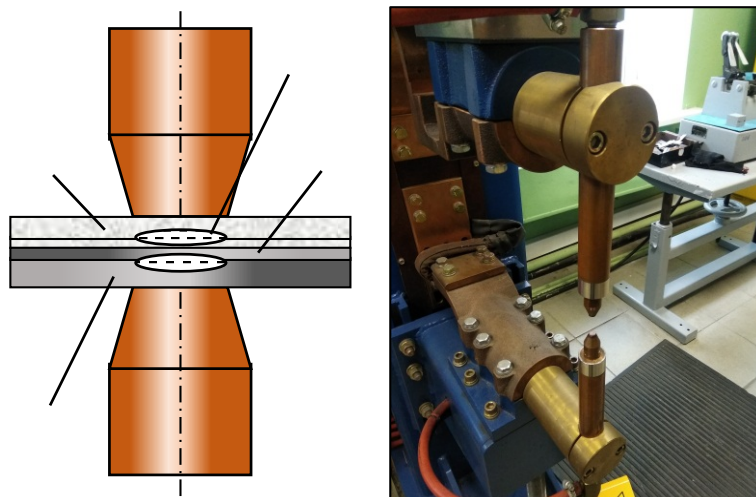


Рисунок 2– Схема сварки и электродный узел

Для свариваемых образцов в качестве материалов использовали холоднокатаную листовую сталь 3 марки «08 кп» толщиной 0,8 мм, технический алюминий 4 марки А85 толщиной 1 мм и биметаллические переходники «алюминий-сталь» 2 (рисунок 3) из тех же материалов одинаковой толщины 0,5 мм.

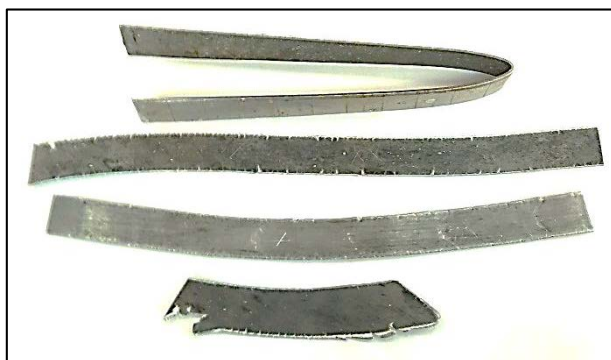


Рисунок 3 – Биметаллические переходники «Al-сталь», полученные сваркой взрывом

Биметаллические переходники изготавливались способом сварки взрывом и затем прокатывались в тянущей двухвалковой клети до необходимых размеров. Поверхности образцов перед сваркой предварительно очищались от окислов и загрязнений.

Электроды контактной сварки 1 (рисунок 2) изготавливали из дисперсно-упрочненной меди марки М1. Верхний электрод имел сферическую рабочую поверхность образованную радиусом 150 мм, а нижний электрод - цилиндрическую рабочую поверхность диаметром 5,2 мм. Электроды водоохлаждаемые, расход охлаждающей воды не более 480 л/ч. Контроль расхода воды фиксируется специальным указателем протока.

В процессе сварки контролировали величину сварочного тока $I_{св}$, время сварки $t_{св}$, усилия сжатия электродов P . Исследования механизма формирования ядра, микроструктуры и прочностных характеристик сварных соединений проводили при следующих параметрах режима сварки:

- величина сварочного тока $I_{св}=(10...14)$ кА;
- время сварки $t_{св}$ выбирали в зависимости от толщины тонкой детали и методики работы [2,3]; для толщины 0,8 мм время сварки составляло $t_{св}=0,24$ с; в ходе экспериментов $t_{св}$ устанавливали в диапазоне: 0,16; 0,20; 0,28; 0,32; 0,36 с;
- усилие сжатия электродов P для толщины детали 1 мм составляло $P=1000$ Н; в ходе экспериментов усилие сжатия устанавливали в диапазоне: 500; 1500; 2000 Н.

Исследование прочностных характеристик сварных соединений проводили по следующей методике. Сварные соединения, выполненные точечной сваркой, испытывали на срез путём растяжения образца. Схема сварного соединения представлена на рисунке 4. Для механических испытаний точек на срез образцы выполнялись одноточечными, а их размеры были выбраны по ГОСТ 6996-66. При испытании определяли разрушающую нагрузку на сварную точку.

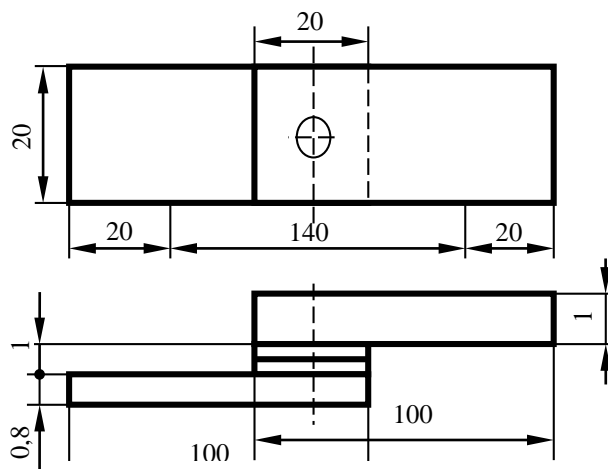


Рисунок 4 – Схема сварного соединения

Микроструктурный анализ и измерение микротвёрдости литой зоны сварных соединений и зоны термического влияния проводили с помощью шлифов, полученных из образцов, сваренных при разных режимах сварки. В качестве оборудования использовали сканирующий микроскоп фирмы «Сатеса» (Франция), микротвёрдомер «Micromet-II» фирмы «Buchler-Met» (Швейцария).

По результатам анализа построены зависимости свойств сварных соединений от параметров режима сварки.

Литература

1. Современное состояние контактной точечной сварки соединений «алюминий-сталь» / Караминадик, И. Демченко Е.Б. // Литьё и металлургия 2019 [Электронный ресурс]: сборник научных работ II Международной научно-практической интернет конференции студентов и магистрантов, 16-17 октября 2019 года / ред.: А.П. Бежок, И.А. Иванов. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 67-69.
2. Кочергин К.А. Контактная сварка. - Л: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1987. - 240 с.: ил.
3. Особенности контактной сварки разнородных материалов / Е.Б. Демченко, В.П. Березиненко, А.Е. Жук // Матер. 54-й Междун. науч.-техн. конф. БГПА: Материалы, технология получения и обработки. –Минск: БГПА. -2000. -Ч. 5. - С.159.

Расчёт и выбор режимов контактной точечной сварки соединений из разнородных материалов

Караминадик И. Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

В практике контактной точечной сварки при решении задач получения соединений, особенно из разнородных материалов [1] необходимо учитывать некоторые особенности связанные с выбором и расчётом технологических параметров. Кроме всего прочего технологу и конструктору нужно считаться с целым рядом других обстоятельств, например, требуемой прочностью соединений, производительностью, качеством и т.д.

Накопленный теоретический материал говорит о том, что для назначения режима сварки единичной точки главным параметром является толщина свариваемых деталей δ . По толщине деталей выбирается размер ядра, его диаметр d_T и высота h . Эти параметры служат основой для дальнейших технологических расчётов.

В многочисленной справочной литературе имеется большое количество табличных данных [2], из которых для определённых диаметров точек можно выбирать величины сварочных токов, времени сварки и давления электродов. В случае если проектируемая технология точечной сварки именно для такого металла и размеров ядра вписывается в табличные данные, то проводить расчёты токов и давлений нет необходимости. В противном случае, если речь идёт о новом или вообще другом металле или сочетании разных металлов (как в нашем случае), когда размеры явно не вписывающиеся в табличные, то такие расчёты производить необходимо.

В работе [3] показано, как с помощью критериальных методов расчёта для сегодняшней практики по хорошо отработанным режимам можно с высокой инженерной точностью вычислить режимы сварки для неизвестных металлов (группы металлов) и неизвестных размеров свариваемых деталей (группы деталей).

Первый критерий K технологического подобия

$$K = \frac{I^2 \rho h \sqrt{t} \sigma_T}{d_T T_{nl} \sqrt{\lambda \gamma c \delta P}} \quad (1)$$

пригоден для расчёта режимов точечной сварки с диаметром точки от $d_T=(3...40)$ мм двух листов одинаковой толщины.

Второй критерий (I) технологического подобия

$$I = \frac{i^2 \rho_T \tau_1 r_{m20} + r_{nl0}}{\gamma T_{nl} r_T} \frac{1}{2n+1}$$

применим для импульсных режимов сварки униполярными токами.

Критерии K и I достаточно полно описывают взаимосвязи всех параметров, от которых зависит режим сварки. Однако не все параметры могут быть рассчитаны. Многие из них задаются. Например, размеры ядра точек задаются по ГОСТ 15878-79. Здесь для каждой толщины свариваемых листов δ предусмотрен минимальный размер диаметра ядра точки d_T (таблица 1).

Таблица 1

Толщина листа, мм	0,3	0,8...1,0	1,8...2,2	2,7...3,2	3,7...4,2	4,7...6,2	6,7...6,0
Диаметр ядра не менее, мм	2,6	4	7	9	12	14	16

Это соотношение хорошо описывается эмпирической формулой

$$d_T = 1,75 + 2,5\delta.$$

Если диаметр ядра точки d_T определяется стандартом, то величины сварочного тока I и силы сжатия электродов P могут лежать в довольно широких интервалах. Опыт эксплуатации точечной сварки показал, что интервалы значений силы сжатия P в зависимости от толщины

δ свариваемых листов имеют следующие соотношения (таблица 2).

Таблица 2

Материал	Ст3 и низко-легированные стали	Латуни	Mg сплавы	Al сплавы	Коррозионно-стойкие стали	Ti и сплавы
P^*10 , кН	$(0,2...0,3)\delta$	$(0,22...0,35)\delta$	$(0,25...0,35)\delta$	$(0,25...0,5)\delta$	$(0,3...0,5)\delta$	$(0,35...0,5)\delta$

Отношение действующего давления электродов p к пределу текучести металла $d_{т0}$ можно определить исходя из зависимости давления от диаметра ядра точки d_T (таблица 3).

Таблица 3

Материал	Ст3	Титан	Дюралюминий	Латунь	Коррозионно-стойкая сталь
$p / d_{т0}$	0,33	0,3	0,25	0,15	0,2

Силу сварочного тока назначать и выбирать произвольно нельзя, так как для этого параметра существуют ограничения связанные с длительностью процесса сварки. Минимальный ток характеризуется наибольшей длительностью сварки - мягкие режимы токов. Такие режимы практически не приводят к образованию закалочных структур и больших размеров зон термического влияния. Это режимы, при которых обеспечиваются минимально требуемые размеры ядра сварной точки (ГОСТ 15878-79). Предельно возможный максимальный сварочный ток характерен для жёстких режимов токов. Он ограничивается не только размерами расплавленного ядра, но и опасностью выплеска перегретого жидкого металла из плоскости свариваемого контакта.

Установлено, что все возможные режимы сварочного тока описываются уравнением

$$I^2 \rho_T / d_T^2 = (14...30) \text{ [кВт/см]}.$$

Отсюда получается формула для расчёта силы сварочного тока

$$I = (120...170) d_T / \rho_T^{0,5} \text{ [A]}, \quad (2)$$

где ρ_T – удельное сопротивление ядра точки [Ом×см]. Минимальное значение границы токов переходить не рекомендуется. Максимум может быть превышен при проведении тщательной зачистки деталей перед сваркой, при большом давлении электродов и др.

Поскольку формула (2) входит в уравнение (1) критерия K , то критерий K для практически всех режимов сварки должен находиться в определённых пределах. Для всех металлов независимо от режимов токов (мягкий, жёсткий) критерий K лежит в пределах (25...50): $K < 25$ - это недопустимо мягкие режимы, $K > 50$ - это граница выплесков.

Исходя из принципа подобия можно сделать вывод о том, что если для каких-либо деталей отработан оптимальный режим характеризуемый определённым критерием K , то такое же значение K будет характеризовать оптимальные режимные параметры для любых других деталей отличающихся размерами и физическими свойствами.

Принимая во внимание вышеизложенную методику [3] рассчитаем процесс сварки деталей из разнородных металлов на основе «алюминий-сталь» с применением биметаллических пластин (переходники) по критерию технологического подобия K .

Для свариваемых образцов в качестве материалов использовали холоднокатаную листовую сталь марки «08 кп» толщиной 0,8 мм, технический алюминий марки А85 толщиной 1 мм и биметаллические переходники «алюминий-сталь» из тех же материалов одинаковой толщины 0,5 мм [4]. Был отработан и принят следующий режим сварки: $I=12$ кА; $P=1$ кН; $t=0,24$ с. При этом режиме в зоне контакта «алюминий-биметалл» обеспечивалось: $d_T=4$ см; $h/\delta=(0,4...0,6)/0,5=(0,8...1,2)$. Принимаем константы: $\rho_T=10$ мкОм×см; $d_{т0}=250$ МПа; $T_{нл} \sqrt{\lambda \gamma c} = 1527 \text{ Дж/(см}^2 \times \text{град} \times \text{с}^{0,5})$ [3]. Получаем значение критерия

$$K = \frac{I^2 p h \sqrt{t} \sigma_T}{d_T T_{нл} \sqrt{\lambda \gamma c} \delta P} = \frac{144 \times 10^6 \times 10 \times 10^{-6} \times 1 \times 0,49 \times 25000}{4,25 \times 1527 \times 1 \times 100} = 27.$$

Из расчёта видно, что для выбранного режима сварки значение критерия технологического подобия удовлетворяет современным требованиям технологии.

Следует отметить, что при исследовании режима сварки в контакте «биметалл-сталь» было установлено [4], что формирование расплавленного ядра сварной точки протекает несколько позже формирования ядра в контакте «алюминий-сталь» из-за различных температур плавления материалов. Поэтому, как возможный вариант расчёта параметров режима сварки, следует рассматривать последовательный расчёт двух циклов режимов сварки: режим сварки в контакте «алюминий-биметалл» и режим - «биметалл-сталь». Для решения такой задачи необходимо провести тщательный теоретический анализ и хорошо спланированный и качественно поставленный эксперимент.

Литература

1. Современное состояние контактной точечной сварки соединений «алюминий-сталь» / Карминадик, И. Демченко Е.Б. // Литьё и металлургия 2019 [Электронный ресурс]: сборник научных работ II Международной научно-практической интернет конференции студентов и магистрантов, 16-17 октября 2019 года / ред.: А.П. Бежок, И.А. Иванов. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 67-69.
2. Чулошников П.Л. Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов. - М.: Машиностроение, 1974. - 230 с.: ил.
3. Кочергин К.А. Контактная сварка. - Л: Машиностроение. Ленингр. отделение. 1987. - 240 с.: ил.
4. Демченко, Е. Б. Применение переходников при контактной сварке для получения соединений из разнородных материалов / Е.Б. Демченко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-й Международной научно-технической конференции. - Минск: БНТУ, 2015. - Т.1. - С.334.

Сидоров В.А., Пантелеенко Ф.И.

Белорусский национальный технический университет

От уровня механических свойств конструкционных материалов зависит качество продукции машиностроения и других отраслей промышленности. Обеспечение надежной и долговечной работы этой продукции невозможно без эффективных методов и средств контроля механических свойств, которые претерпевают изменения на стадиях изготовления и эксплуатации вследствие влияния технологических и эксплуатационных факторов. Все острее стоит вопрос о структурно-механическом состоянии металла действующего оборудования, выработавшего свой расчетный срок службы, и возможности его дальнейшей безопасной эксплуатации. В связи с этим проблема оперативной диагностики механических свойств металла промышленного оборудования является важной, актуальной и приоритетной.

Для диагностирования с целью оценки остаточного ресурса работоспособности и пригодности для дальнейшей эксплуатации ответственных металлических конструкций самого различного назначения широко используются разрушающие и неразрушающие методы контроля. Существующие физические методы неразрушающего контроля позволяют выявлять дефекты в металле изделий, но количественная оценка механических свойств этими способами контроля является очень сложной и пока не решенной задачей.

В настоящее время существует множество методов контроля и диагностики механических свойств материалов, среди которых методы, контроля механических свойств металла индентированием, основанные на измерении твердости, играют важную роль. Их преимущества состоят в простоте реализации, доступности и, вместе с тем, в них присутствует еще достаточно большой потенциал для совершенствования. Одно из главных достоинств методов твердости заключается в возможности оперативного определения механических свойств металла без вырезки образцов на готовых изделиях, не разрушая и не выводя их из строя прямым способом определения механических характеристик непосредственно в изделии и локальных зонах изделия. Особое значение методы твердости приобретают для контроля сварных соединений, так как в силу специфики их создания в них наблюдается значительная неоднородность по механическим свойствам. Вследствие сильного изменения свойств металла шва и зоны термического влияния сварное соединение является, как правило, наиболее опасным местом, где чаще всего происходит разрушение. Для выявления изменения свойств необходимо использовать методы, позволяющие производить контроль в небольшом объеме металла, т.е. применять локальные методы. Методы контроля твердости отвечают этому условию, позволяя выявлять распределение механических свойств в локальных зонах обработанного металла. Они позволяют также производить контроль механических свойств упрочненных поверхностных слоев и тонких покрытий на разных размерных уровнях деформированного объема. Эти методы получили также еще одно название: безобразцовые методы контроля механических свойств по характеристикам твердости. Практически во всех областях техники там, где требуется определение механических свойств металла, существует необходимость в использовании безобразцовых методов, которые, если не полностью, то хотя бы частично помогли бы сократить количество контрольных вырезок металла и изготавливаемых из них образцов.

Безобразцовый метод основан на инденторных испытаниях металлов, в результате которых измеряют специальные характеристики твердости и пересчитывают их на показатели других механических свойств. Главное его достоинство заключается в возможности ускоренной оценки механических характеристик металла готовых изделий, не выводя их из строя и не вырезая из них образцов.

Безобразцовый метод, как более экономичный и простой, представляет большой научный и практический интерес в области исследования, контроля и диагностики качества металла. В некоторых случаях он пока единственно пригодный для оценки механических свойств

малых объемов или локальных зон обработанного материала (упрочненных слоев, сварных соединений и т.п.). Этот метод особенно эффективен при оценке остаточного ресурса оборудования, пробывшего длительное время в эксплуатации и выработавшего свой расчетный срок службы.

В настоящее время методы индентирования продолжают развиваться и все шире используются в диагностике механических свойств материалов. Области использования этих методов могут быть самыми разнообразными, включая разработку и производство материалов и до изготовления, эксплуатации и ремонта изделий и конструкций. На рис 1 представлена схема указывающая области наиболее эффективного применения методов индентирования в диагностике механических свойств материалов.



Рисунок 1 - Основные области эффективного применения метода индентирования

Несмотря на большой объем выполненных исследований по разработке безобразцовых методов контроля механических свойств по характеристикам твердости они еще мало используются на практике. Это объясняется многими причинами. Во-первых - недостаточным теоретическим и экспериментальным обоснованием взаимосвязи характеристик твердости с показателями прочности, пластичности, ударной вязкостью и материалов, находящихся в различном структурном и напряженно-деформированном состоянии, во-вторых - большим количеством методик и эмпирических формул с ограниченным применением, в-третьих - недостатком специальных переносных и стационарных приборов для реализации этих методов. Таким образом несмотря на явный прогресс в развитии методов индентирования есть ряд задач, решение которых позволит расширить применения данного метода. Среди них: теоретическое и экспериментальное обоснование связи характеристик твердости, определенных индентированием, с показателями механических свойств материалов, определенных в результате

других видов испытаний; развитие методов индентирования в сочетании с методами физического воздействия на металл; установление механизмов деформации и разрушения материалов при индентировании на разных размерных уровнях деформированного объема; автоматизация испытаний индентированием; разработка методик и портативных приборов физического и механического действия для испытания материалов индентированием непосредственно в конструкциях и деталях; разработка стандартов предприятий, отрасли, ГОСТов на новые методики индентирования определением твердости и других механических свойств материалов; широкое внедрение новых методов и средств испытания материалов индентированием специалистами разного уровня и в различных организациях.

Изменения структуры и свойств сварного инструмента на основе марганцовистой стали

Ушеренко С.М., Чигринов В.Е, Бычек А.Б.
Белорусский национальный технический университет

Возникают научно - технические задачи, постановка и решение которых будет определять характер и темпы развития техники и страны. Для разработки вариантов решения таких научно-технических задач потребуются использование новых физико-химических явлений, необычные эффекты или их необычные сочетания .

Сталь Гадфильда сохраняет аустенитную структуру в условиях статического и динамического нагружения. Присутствие в аустените большого количества углерода примерно в 3-5 раз снижает плотность фиксируемых в стали Гадфильда каналов сверхглубокого проникания частиц по сравнению с таковой в безуглеродистом аустените, например - в сплаве марки Г30.

Металлографическим, рентгеновским и электронно-микроскопическими методами исследованы структурные превращения, происходящие в аустенитной стали 110Г13 (Гадфильда) под действием ускоренных до скоростей ~ 1 км/с ударников - SiC (средний размер 60 мкм).

По мере продвижения микрочастиц в объеме образца характер взаимодействия стали с частицами меняется от упруго-пластического до упругого. Это, по-видимому, обусловлено уменьшением по мере проникновения частиц среднего размера. Износ частиц происходит в результате их взаимодействия со стенками каналов и, соответственно, с сокращением характерного времени взаимодействия стали с частицей менее чем 10⁻⁸-10⁻⁷сек. Образование каналов в стали при режиме, так называемого сверхглубокого проникания, связано с возникновением и развитием хрупких микротрещин по плоскостям $\{111\}\gamma$.

Легирование стали частицами SiC не привело к существенному изменению ее абразивной износостойкости, что объясняется малым количеством введенных карбидных частиц, а также отрицательным влиянием на износостойкость стали, образующихся в ней при данной обработке несплошностей (т.е. незахлопнутых каналов проникания), снижающих прочность стали. Использование эффекта сверхпроникания частиц позволило вводить в металлические материалы на большую глубину (десятки и сотни миллиметров) частицы различного типа (металлы, окислы, карбиды и др.) с исходными размерами 10-100 мкм [1].

Это открывает широкие возможности для эффективного изменения физических, механических, технологических и др. свойств для самых разнообразных металлических материалов. Природа эффекта сверхглубокого проникания частиц и связанные с ней механизмы взаимодействия ускоренных частиц с материалом преграды весьма сложная. Высокоскоростной поток частиц, кроме легирующего действия, вызывает в материале преграды широкий спектр структурных изменений. В объеме металлической заготовки

формируются системы прерывистых (частично захлопнутых) каналов,

В области каналов возникают зоны интенсивной локальной пластической деформации, образуются высокие концентрации дефектов (дислокаций, вакансий, двойников). В межканальных объемах металла, реализуются в данных объемах фазовые превращения, формируются в материале металлической заготовки сложные по структуре поля частично релаксированные упругие напряжения и ряд других структурных превращений [2].

Данная работа посвящена исследованию структурных превращений, происходящих в аустенитной стали Гадфильда под воздействием высокоскоростной струи порошковых частиц из карбида кремния, а также связанных с данными превращениями изменениями твердости и, соответственно износостойкости в рассматриваемой стальной сборке.

Конструкция инструмента формировалась за счет крепления режущей головки из стали 110Г13л сварным швом к корпусу из стали 10.

Изменение твердости сварной конструкции: 110Г13л – сталь 10

Образец № 1. Сталь 110Г13л + сталь 10. После обработки в режиме СГП частицами (SiC+ Cu).

Край - 110Г13л. Средняя твердость: 438 HV.

Зона сварки (электросварка): 110Г13л+ сталь 10. Середина: среднее значение HV 328

Край со стороны держателя (сталь 10).

Сварка + СГП (двукратная обработка). Твердость зоны сварки увеличилась на 10,1%.
Среднее значение HV 260,7

Скачок упрочнения (твердости) произойдет в 1,55 раза – 55%.

Образец №2. Край : HV Средняя твердость 282,5 HV

Сталь 110Г13л + сталь 10 не было СГП

Зона сварки (электросварка): 110Г13л – сталь 10. Середина: HV - усреднение 298,0

За счет электросварки подъем твердости на 5,5%

Край со стороны держателя (сталь 10)

Усреднение HV 281,1

Без СГП в 110Г13л (исходная твердость) 282,5 HV

Вывод: выполнение комплексной обработки сталь: 110Г13л – сварной шов- сталь 10 за счет динамической прошивки стального инструмента сгустками порошковых частиц позволяет эффективно регулировать процесс сварки и упрочнения инструмента.

Формирование многофункциональных поверхностных слоев на конструкционных сталях с использованием термодиффузионной обработки в порошковых средах

Дашкевич В.Г., Судников М.А. Плетенев И.В.
Белорусский национальный технический университет

Теория и технология поверхностного упрочнения включает в себя процессы химико-термической обработки (ХТО) известные с давних времен и дающие обширные возможности по упрочнению различных металлов и сплавов. Широкое применение ХТО объясняется тем, что большинство деталей машин и механизмов работает в условиях износа, кавитации, циклических нагрузок, коррозии (химической, электрохимической) при криогенных или высоких температурах, при которых максимальные напряжения возникают в поверхностных слоях металла. Решить вопросы стойкости и надежности деталей машин за счет поверхностного упрочнения как раз помогает ХТО, повышая поверхностную твердость, износостойкость, кавитационную и коррозионную стойкость и создавая на поверхности благоприятные остаточные напряжения сжатия. При ХТО происходит поверхностное насыщение металла соответствующим элементом (С, N, В и др.) путем его диффузии в атомарном состоянии из внешней среды (твердой, газовой, паровой, жидкой) при высокой температуре [1].

Отметим, что в последние годы привлекают внимание специалистов и исследователей комбинированные технологии упрочнения, разные по своей сущности и сочетаниям, совмещенные с ХТО и дающие в ряде случаев действительно существенный прирост механических и эксплуатационных свойств. Однако такие работы носят отрывочный, поисковый характер.

В настоящей работе проведен анализ некоторых, уже разработанных, в той или иной мере, направлений комплексных технологий, сочетающих в себе предварительную обработку поверхности перед ХТО или последующую обработку после насыщения.

Существуют три основных направления воздействия на поверхность до или после ХТО (рисунок 1), некоторые варианты их конкретной реализации с участием рассмотрены ниже.

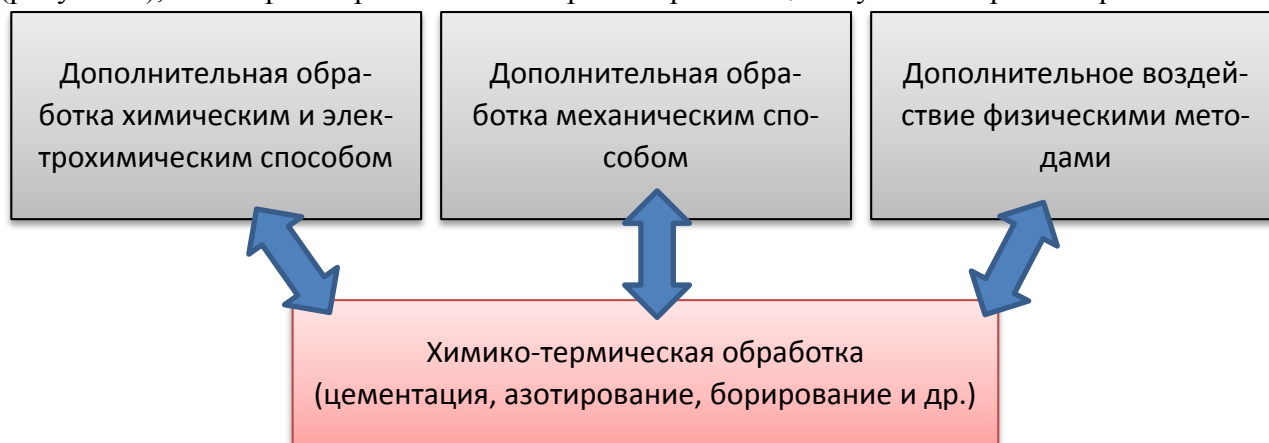


Рисунок 1 – Блок-схема вариантов совмещения различных способов обработки и ХТО

В работе [2] описан способ высокоэнергетической обработки поверхности, в частности ударно-волновое воздействие с целью стимулирования последующего процесса ХТО. За счет деформационного упрочнения происходило измельчение зерна в слое глубиной до 30 мкм, что в последующем приводило к интенсификации ХТО. Отметим, что деформационное упрочнение это известный и достаточно эффективный способ интенсификации диффузионных процессов, встречается как на макрообъектах, так и на микрообъектах в виде порошка. Именно на этом принципе, например, разработаны эффективные технологии ХТО чугуновой и стальной дроби для последующего использования в качестве наплавочных материалов [3].

Попытки создать комплексную технологию, включающую использование электроискрового легирования и ХТО были предприняты авторским коллективом и упоминаются в работах российских ученых [4, 5]. Предпосылки к такой комбинации заключаются в возможности изменения морфологии диффузионного слоя и возможности создания композиционных структур. Направление в настоящее время только формируется и при всей спорности подхода, сложности рационального выбора технологических сред и материала для легирования, по нашему мнению, является перспективным и заслуживающим внимание направлением, особенно в разрезе получения градиентных регулярных слоев на поверхности изделий.

В работе [6] рассматривался процесс предварительной обработки заключающейся в активации сверхглубоким проникновением порошковых частиц в стальную матрицу и последующее термодиффузионное борирование в порошковых средах. Активацию проводили динамической обработкой на специальном пушечном ускорителе, позволяющем обрабатывать образцы цилиндрической формы. В результате отмечен эффект объемного упрочнения, формирование активных зон (треков), которые ускоряют процесс диффузии и обеспечивают прирост толщины слоя на 20...50 %, слой в результате получается более компактный с меньшим количеством пор, снижается хрупкость и повышается адгезия.

Необходимо упомянуть направление получения специального гальванического покрытия перед ХТО, в частности, меднение. По данным ряда исследователей пленка меди, полученная на сталях упрочняемых азотированием, является каталитическим покрытием, поскольку на поверхности образуется неустойчивый нитрид меди, который по мере протекания процесса азотирования восстанавливается до чистой меди, освобождая атомы азота, являясь дополнительным источником их [7].

Что касается обработки после ХТО, то актуальным как у нас, так и за рубежом является исследования упрочнения поверхности конструкционных и инструментальных сталей при комплексной химико-термической и лазерной обработке. В многочисленных работах по лазерному упрочнению показана высокая эффективность использования процесса для повышения износостойкости в условиях абразивного и прочих видов износа. Применение предварительной ХТО приводит к образованию в поверхностном слое фаз-упрочнителей, позволяющих получать при последующей лазерной обработке модифицированные слои с повышенными эксплуатационными свойствами [8-10].

В последние годы сформировалось еще одно направление исследований, посвященное совмещению предварительного ХТО и последующего нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия. В результате такой комплексной обработки формируются износостойкие покрытия композиционного типа «термодиффузионный слой – вакуумное ионно-плазменное покрытие» с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами, значительно превышающими свойства просто вакуумного покрытия такого же типа, без подложки полученной термодиффузионной обработкой. Например, в работе [11] отмечено, что нанотвердость покрытий TiAlN толщиной 1 мкм на подложках с карбонитридным слоем выше, чем на неупрочненных стальных подложках, более чем в 2 раза.

Литература

1. Eric J. Mittemeijer. Thermochemical surface engineering of steels / Eric J. Mittemeijer, Marcel A. J. Somers // Woodhead publishing series in metals and surface engineering: Number 62. – Elsevier. 2015. – 792 p.
2. Комплексная химико-термическая обработка конструкционных сталей / В. А. Козечко // ScienceRise. - 2015. - № 4(2). - С. 59-63.
3. Ворошнин, Л.Г. / Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. – 133 с.

4. Шкодкин, В. И. разработка и исследование инструментальных и конструкционных материалов, подвергнутых электрофизической и химико-термической обработке, для повышения механических и эксплуатационных свойств: 05. 16. 01 : автореф. дис... ктн / Шкодкин В. И.; Курский государственный технический университет. - Курск., 2009. - 16 с.
5. Dashkevich, V. Combined technology of electro-spark alloying and thermal diffusion boriding of steel / V. Dashkevich, Y. Usherenko, I. Matvienko Victor Ivashko // Environment. Technology. Resources. Rezekne, Latvia Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference. Volume III, 2019. – P. 24-26.
6. Дашкевич, В. Г. Модификация поверхности для последующего термодиффузионного борирования конструкционных сталей / В. Г. Дашкевич, Ю.С. Ушеренко // *Металлургия: Республ. Межвед. сб. научн. трудов* – Минск: БНТУ, 2020. – Вып. 41. – с. 97-105.
7. Козечко, В.А. Интенсификация процесса азотирования конструкционной стали / В.А. Козечко // *Журнал инженерных наук*. – 2014. – Том 1.- №3. – С.F1-F5.
8. Лазерная закалка инструмента из быстрорежущих сталей с предварительной химико-термической обработкой / А.Н. Сафонов, Н.Ф. Зеленцова, А.А. Митрофанов, Е.А. Сафонова // *СТИН*. - 1998. - №4. - С. 18-22.
9. Мишаков, Г.А. Комплексная химико-термическая и лазерная обработка конструкционных и инструментальных сталей / Г.А. Мишаков, А.И. Радионов, А.М. Мясников // *Вестник национального исследовательского ядерного университета МИФИ*. Том 3, № 1. – 2014. – с. 11.
10. Сафонова Е. А. Комплексное упрочнение инструментальных сталей за счет совмещения лазерной обработки с процессами химико-термического насыщения элементами внедрения : 05. 16. 01 : автореф. дис... ктн / Сафонова Е. А. ; МГТУ им. Н. Э. Баумана. - М., 2004. - 16 с.
11. Ковальчук, А.В. Износо- и коррозионностойкие азот-, углерод-, борсодержащие композиционные покрытия на инструментальных сталях, полученные термодиффузионным насыщением и вакуумным осаждением : автореферат диссертации ... канд. техн. наук: специальность 05.16.01 *Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов* / Ковальчук Алексей Владимирович; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020. – 21 с.

Структурно-фазовые особенности формирования боридного термодиффузионного слоя и его концентрационного профиля через полупроницаемые покрытия

Дашкевич В.Г., Судников М.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время имеется обширный комплекс научных и практических исследований в области термодиффузионного борирования. Существенная часть этих исследований, последние 10...20 лет, направлена на снижение наиболее проблемного фактора боридных слоев, а именно их повышенную хрупкость. Поскольку это проблема является сдерживающим фактором широкого применения способа для упрочнения конструкционных углеродистых сталей. Необходимо отметить, что в литературе способов снижения хрупкости упоминается достаточно много, как собственно и методов ее оценки. Перечень возможных мер по снижению хрупкости был представлен и систематизирован впервые в работе М.Г. Круковича [1]. Однако, возможности каждого из вариантов, в настоящее время, полноценно не изучены и представляют собой актуальные направления совершенствования процесса борирования. Из перечисленных в вышеуказанной работе вариантов наиболее перспективным, по нашему мнению, является направление, связанное с предварительной обработкой поверхности. Оно дает огромное поле деятельности исследователю, поскольку всевозможных вариантов предварительной обработки большое количество.

В качестве предварительной обработки поверхности существенно изменяющей морфологию получаемых борсодержащих термодиффузионных слоев нами рассматривалось нанесение на поверхность полупроницаемых покрытий (слоев). Полупроницаемые покрытия это слои, частично блокирующие диффузию активных атомов насыщающего элемента при проведении термодиффузионной обработки, в нашем случае бора. Это может выражаться в искусственно созданной предварительной обработкой несплошности покрытия, когда слой нанесен не на всю поверхность, а фрагментами с долей, например, 75...80 % от общей площади. Второй вариант более интересный и перспективный и заключается он в проведении обработки способствующей получению естественной пористости, закрытой или даже открытой, за счет специальных режимов и сред. Исходя из анализа двойных диаграмм состояния, наиболее подходящими элементами, блокирующими диффузию бора, являются никель и медь, однако из-за высокой стоимости никеля целесообразнее использовать покрытия из меди.

При создании полупроницаемых покрытий на основе меди использовалось два метода, а именно, гальваническое осаждение и электроискровое легирование.

Гальванические медные слои характеризуются хорошей адгезией и малой пористостью, однако при необходимости пористость можно увеличить за счёт изменения параметров тока и состава электролита, при этом адгезионные свойства такого покрытия не изменяются. В результате гальванические покрытия формируются толщиной 5-20 мкм и пористостью до 30%. В ранее проведенных работах проанализированы структурные особенности такого слоя [2]. После насыщения бором в структуре видны отделенные друг от друга боридные иглы, но, как правило, такая картина в самой глубине слоя, поскольку из-за химической активности составляющих смеси, которая использовалась при исследовании [3], покрытие меди постепенно «растворилось», и соответственно, это привело к образованию в приповерхностном слое сплошной боридной структуры [2]. Установлено, что для избегания сращивания необходимо ограничить время насыщения в пределах 1-2 часов, либо увеличивать толщину медного слоя, что очевидно приведёт к уменьшению пористости всего покрытия. Также стоит отметить, что вероятен и вариант когда явление «растворения» пористого покрытия будет отсутствовать, например, при использовании насыщающей смеси на основе карбида бора.

При электроискровом легировании (ЭИЛ) образование покрытия основано на явлении электрической эрозии и переноса электродного материала на поверхность обрабатываемой детали при протекании импульсных разрядов в газовой среде [4]. При обработке можно формировать слои с толщиной покрытия от 10 до 200 мкм, а также с необходимыми параметрами шага и особыми конфигурациями рельефа. К преимуществам электроискровых покрытий также можно отнести и то, что задавая их толщину, мы можем полностью нивелировать эффект «растворения» медного слоя. Однако есть и недостаток, при нанесении происходит частичное смешивание основного металла изделия и наносимой меди, а также и её частичное окисление, что при долгом процессе насыщения приводит к частичному разрушению барьерного слоя, с образованием под слоем меди мелких боридных игл. Стоит отметить, что чем больше наносимый слой, тем меньше эффект смешивания, а следовательно и ниже шанс на разрушение барьерного слоя.

Созданные барьерные слои приводят к тому, что изменяется характеристика диффузионных потоков бора. Если при классическом борировании, диффузионные потоки направлены вглубь изделия, то при диффузии через полупроницаемые покрытия, будет наблюдаться изменение направления диффузии, заключающееся в добавлении потоков направленных под медное покрытие, активизирующие рост боридных игл в ширину. Также в процессе насыщения из-за градиента концентрации, между растущей боридной иглой и защищённым медью основным металлом, иглы будут расти не только вглубь изделия, но и в ширину. Всё выше описанное приведёт к изменению соотношения между боридными фазами FeB и Fe_2B , и значительно изменит концентрационный профиль бора по всей толщине слоя. Типовой концентрационный профиль бора по толщине на различных участках представлен на рисунке 1.

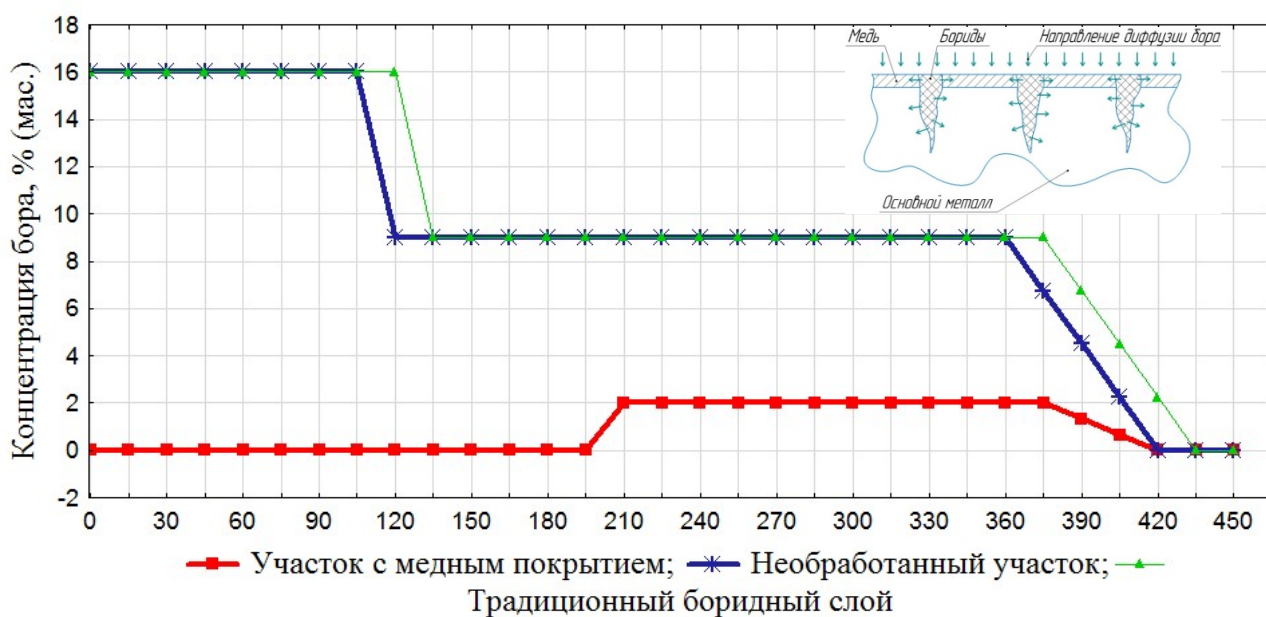


Рисунок 1 – Концентрационные профили бора по толщине слоя

Выводы. Приведен анализ двух подходов нанесения меди в качестве предварительного слоя перед термодиффузионным борированием, описаны структурно-фазовые особенности формирующегося слоя и влияние толщины на степень его фрагментации. Проанализирован типовой концентрационный профиль бора по толщине слоя полученного при предварительной меднении для различных участков покрытия, выявлены характерные изменения концентрационного профиля, заключающиеся в изменении соотношения высокобористой и низкобористых фаз.

Литература

1. Крукович, М. Г. Пластичность борированных слоев / М. Г. Крукович, Б. А. Прусаков, И. Г. Сизов. – М.: Физматлит, 2010. – 381 с.
2. Судников, М.А. Исследование структурных особенностей борсодержащих диффузионных слоев сформированных после предварительной обработки стальной поверхности : дис. ... маг. техн. наук : 36.80.04 / М.А. Судников. – Минск., 2019, 69 с.
3. Константинов, В.М. Изменение морфологии термодиффузионного боридного слоя на стали при предварительном меднении основы. В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, М.А. Судников. // Инженерия поверхности и реновация изделий : материалы 17-й междунар. Науч.-техн. Конф., Одесса, 29 мая–2 июня 2017 г. – Киев: АТМ Украины, 2017. – С. 65–68.
4. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А.Е. Гитлевич [и др.]. – Кишинев: Изд-во «Штиинца», 2086. – 196 с.

Влияние пассивационной обработки на эксплуатационные свойства цинковых диффузионных слоев

Константинов В.М., Булойчик И.А.

Белорусский национальный технический университет

Способ термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах имеет ряд преимуществ по отношению к другим способам формирования цинковых покрытий – а именно: в частности – более высокая микротвердость, стойкость к истиранию (в сравнении с электролитическим цинкованием), а также технологическая возможность совмещения с основной термической обработкой ряда изделий [1-3]. Единственным существенным недостатком данного способа является отсутствие широких возможностей по корректировке внешнего вида формируемых цинковых слоев. Учитывая высокий комплекс эксплуатационных свойств цинковых диффузионных слоев, целесообразно устранить указанный недостаток, а именно отсутствие декоративного внешнего вида изделия посредством применения пассивационных составов с учетом дополнительного повышения коррозионной стойкости изделий.

В качестве образцов для нанесения цинковых диффузионных слоев и последующей обработки пассивационными составами были выбраны упругие элементы типа упругого кожуха для клетевой гайки из стали 65Г ТУ ВУ 190644876.001–2020 [4]. Формирование цинковых диффузионных слоев производили в стационарных герметичных тиглях в порошковой насыщающей смеси следующего состава (% масс: 70 % порошок цинка, 28 % корунд, 2% NH_4Cl (активатор).

Пассивацию производили в водных растворах пассиваторов: TRISTAR YEEL M (1%, 5%, 10% концентрации) и Gardolene D 6812 (1%, 5%, 10% концентрации), время выдержки для TRISTAR YEEL M (1%, 5%, 10% концентрации) и Gardolene D 6812 (1%, 5%, 10% концентрации) составляло 30 мин, а так же дополнительно были обработаны пассиватором Gardolene D 6812 5% концентрации детали время выдержки которых составило: 2, 5 и 10 минут.

Согласно полученным данным наиболее ярко выраженное изменение цвета диффузионного слоя вызвала обработка в 10%-ном растворе пассиватора Gardolene D 6812 после 30 минут выдержки (рисунок 1). В свою очередь, увеличение концентрации пассивирующего компонента Gardolene D 6812 или времени выдержки привели к почернению внешнего слоя цинка на образцах, что, вероятно, связано с активным протравливанием поверхности и формированием коррозионных продуктов на основе состава пассиватора и цинкового диффузионного слоя. Обработка пассиватором TRISTAR YEEL M не повлияла на изменение внешнего вида образца после термодиффузионного цинкования.



Рисунок 1 – Внешний вид исследуемых образцов, обработка в 10%-ном растворе пассиватора Gardolene D 6812 после 30 минут выдержки.

Результаты ускоренных испытаний образцов с термодиффузионным цинковым покрытием и последующей пассивацией представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты ускоренных испытаний образцов с термодиффузионным цинковым покрытием и последующей пассивацией.

№ п/п	Вид пассивационного покрытия	Продолжительность испытания, ч		Примечание
		Коррозия покрытия	Коррозия основного металла	
1	TRISTAR YEEL M (t=30°C,τ=30м), 1%	отсутствует	отсутствует	количество 2 шт.
2	TRISTAR YEEL M (t=30°C,τ=30м), 5%	отсутствует	отсутствует	количество 2 шт.
3	TRISTAR YEEL M (t=30°C,τ=30м), 10%	отсутствует	отсутствует	количество 2 шт.
4	Gardolene D 6812 (t=30°C,τ=30м), 1%	24	отсутствует	количество 2 шт.
5	Gardolene D 6812 (t=30°C,τ=30м), 5%	24	отсутствует	количество 2 шт.
6	Gardolene D 6812 (t=30°C,τ=30м), 10%	48	отсутствует	количество 2 шт.
7	Gardolene D 6812 (t=30°C,τ=2 м), 5%	24	отсутствует	количество 2 шт.
8	Gardolene D 6812 (t=30°C,τ=5 м), 5%	24	отсутствует	количество 2 шт.
9	Gardolene D 6812 (t=30°C,τ=10м), 5%	24	отсутствует	количество 2 шт.

Исследования деталей проводились под воздействием 5% водного раствора хлорида натрия при 35 °С и 95% влажности в течение 120 часов с фотофиксацией на предмет выявления коррозионного поражения стальной основы деталей.

Анализ результатов ускоренных коррозионных испытаний цинковых диффузионных слоев, полученных способом термодиффузионного цинкования с последующей пассивацией показал, что наиболее высоким комплексом антикоррозионных свойств обладают цинковые диффузионные слои, полученные с применением 1 процентного пассивирующего состава TRISTAR YEEL M. Вне зависимости от режима формирования пассивационного покрытия, все образцы с пассивацией, продемонстрировали меньшую склонность к формированию продуктов коррозии на основе цинка, а следовательно продемонстрировали лучшую коррозионную стойкость в сравнении с незапассивированными образцами.



Рисунок 35 – Пружинный кожух для гайки клетевой квадратной обработанный пассивационным составом TRISTAR YEEL M ($t=30^{\circ}\text{C}$, $\tau=30$ м.), 1%.

Выводы

Таким образом на основании проведенных исследований установили, что пассивационная обработка диффузионно-оцинкованных образцов существенно повышает декоративно-эксплуатационные свойства за счет снижения активности формирования продуктов коррозии цинка.

Применять пассивацию следует рационально, исходя из предполагаемых условий эксплуатации изделий. Активное абразивное воздействие может нивелировать положительный эффект от пассивационной обработки.

В то же время, разработка пассивационных составов, позволяющих изменять цветовую гамму диффузионного слоя на поверхности оцинкованного изделия, все еще является актуальной научно-технической задачей.

Литература

1. Булойчик И.А. Исследование характера формирования цинковых диффузионных слоев на стали в различном структурном состоянии. // Литейные процессы, 2014, № 13. С. 150-155.
2. Константинов В.М., Булойчик И.А., Баранкевич Н.М. Определение оптимальных условий насыщения при реализации технологий термодиффузионного цинкования с использованием методов математического планирования // Межведомственный сборник научных трудов «Металлургия», Вып. 41, Мн. 2020, с. 165-175.
3. Ситкевич М.В., Булойчик И.А. Анализ диффузионных процессов при формировании цинковых антикоррозионных слоев в условиях воздействия токов высокой частоты. // 17-я Международная научно-техническая конференция “Инженерия поверхности и реновация изделий”. Украина, Одесса, 2017 – С. 175-178.
4. Технические условия. ТУ ВУ 190644876.001–2020: утв. ООО “Вежа – строительные машины”: 22.09.2020 – Минск : Беларусь, 2020. – 13 с.

Исследование особенностей окисления и разрушения термодиффузионных жаростойких слоев на меди

Плетенев И.В.

Белорусский национальный технический университет

Жаростойкие покрытия, активно разрабатываемые в последние годы, обладают широким спектром функциональных возможностей [1, 2]. Опыт исследователей и собственный в области разработки специализированных термодиффузионных покрытий свидетельствует о перспективности использования комплексного диффузионного легирования меди и медных сплавов для защиты от высоких температур и агрессивной среды [3]. Насыщение при этом проводится преимущественно алюминием, и соответственно структура слоя это алюминиды меди и твердый раствор, однако насыщающая среда при комплексном насыщении еще является и источником других, сопутствующих элементов, которые помогают повысить стойкость при работе в условиях высоких температурах образуя сложные оксидные пленки (шпинели) и повысить технологичность процесса насыщения, в частности реализовать его при более низких температурах. Отметим, что в результате присутствия на поверхности меди диффузионного слоя определенной толщины, очевидно с более низким коэффициентом теплопроводности, теплопроводность всей пластины снижается. Если рассматривать работу в составе теплоотводящих элементов рассматриваемых медных пластинок эффективность работы всего устройства может быть значительно снижена.

Задачами данного исследования являлось оценить снижение теплопроводности за счет наличия на поверхности диффузионного слоя (преимущественно алюминидного), установить скорость нагрева ламельного элемента с различной толщиной защитного слоя при источнике нагрева в виде газового пламени. Изучить механизм защитного действия диффузионного слоя на меди.

Исследование проводили на специально подготовленном стенде, где осуществлялся нагрев медной пластины с диффузионным слоем размером 50x20x2мм, с разной интенсивностью, а также осуществлялся контроль температуры «холодной» и «горячей» части медной ламели (рисунок 1).

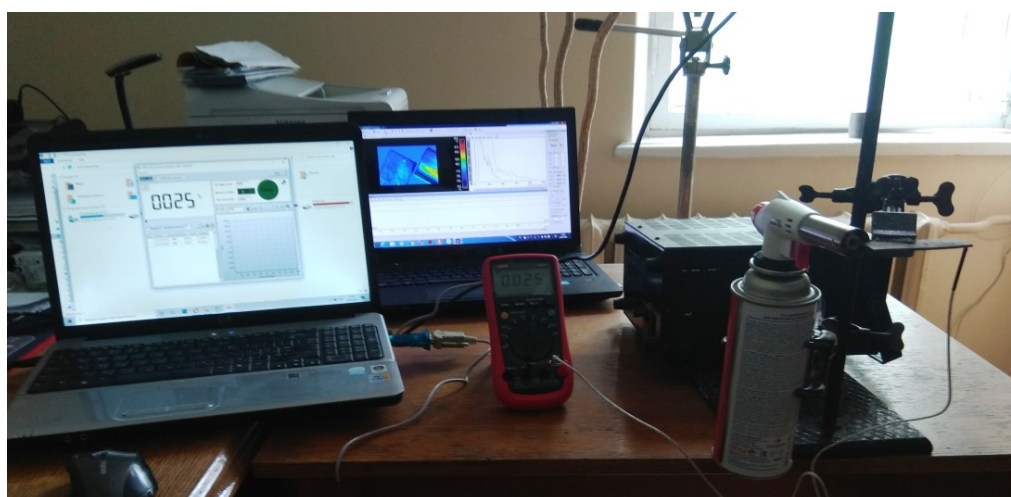


Рисунок 2 – Стенд для исследования теплопроводности упрочненных термодиффузией образцов при источнике нагрева в виде пламени пропан-бутановой газовой смеси

Измерение температуры и регистрация ее распределения (в зоне высоких температур) выполнялись с использованием измерителя температурного оптического ИТ-3СМ (высокотемпературный трехзональный термовизор). Кроме этого, дополнительно, контроль температуры на элементах выполнялся термометром инфракрасным Mestek IR01D, а регистрация

температуры «холодной» части пластины мультиметром UNI-T UT61C с термопарой, с записью данных на компьютер через порт RS232. Основной факел газового пламени был проходящим, «контактировал» с торцом медной пластины (ламели) или максимально к нему приближался (рисунок 2).

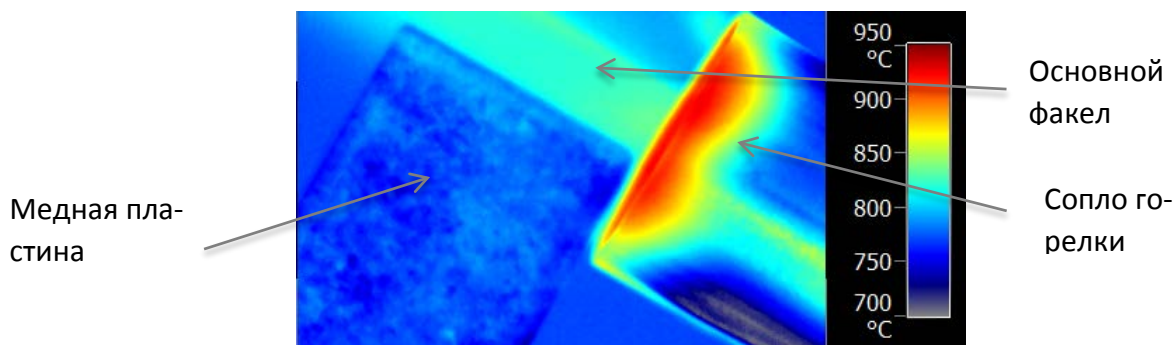


Рисунок 2 – Позиционирование источника нагрева относительно исследуемого образца

В результате исследований получены данные о скорости нагрева медной пластины (ламели) при выбранном источнике нагрева. В исследовании принимали участие образцы с термодиффузионным жаростойким покрытием различной толщины и исходный медный образец без упрочнения (рисунок 3).

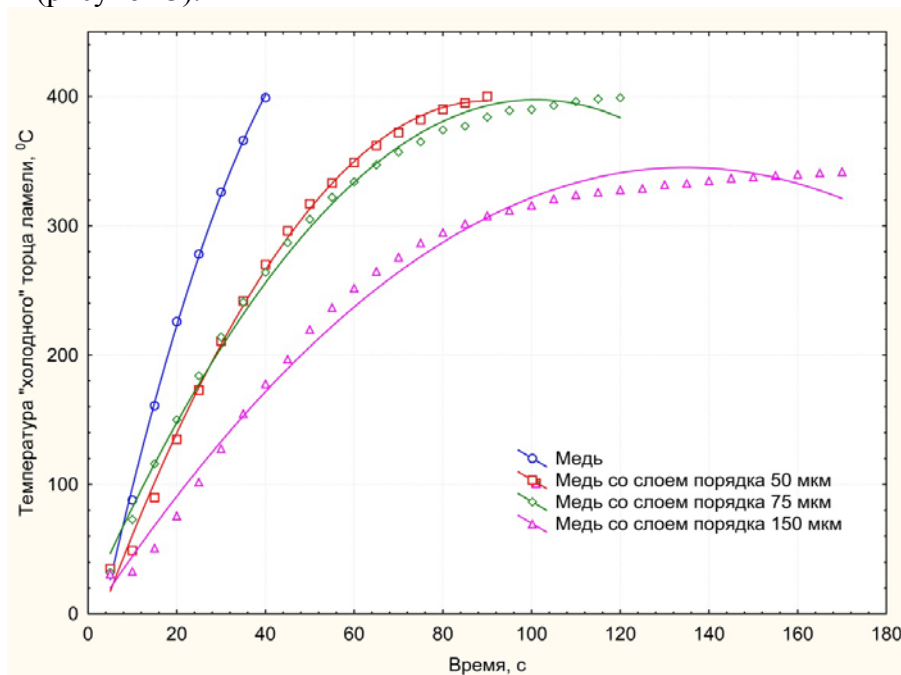


Рисунок 3 – Скорость нагрева «холодного» торца медной пластины

По результатам исследований необходимо отметить значительное снижение теплового потока и снижение теплопередачи от горячего теплоносителя к медной основе ламели. Скорость нагрева для медного образца без диффузионного слоя с интервале температур 0 - 400 °C получилась порядка 10 °C/c, а для образца с максимальным рассматриваемым диффузионным слоем 4,5 °C/c, что косвенно свидетельствует о значительном снижении интегрального коэффициента теплопроводности всего ламельного элемента. Кроме этого стоит отметить, что снижение скорости нагрева происходит практически пропорционально увеличению толщины диффузионного слоя. В результате термодиффузионный слой с большой толщиной является существенным фактором в ограничении применения соответствующих слоев, поскольку эффективность теплоотводящих элементов резко снижается.

Для выявления механизма защитного действия диффузионного слоя были изучены микроструктуры до окисления и после при высоких температурах (нагрев до 800°C). Установлено, что при испытаниях на образцах происходит рост толщины слоя вглубь ламели и перераспределение концентрации алюминия, «рассасывание» слоя. За 25 ч испытаний за счет увеличения зоны α -твердого раствора слой увеличился на 10...20 %. Такое перераспределение приводит к заметному обеднению поверхностных слоев алюминием, подтверждение этому является внешний вид образцов, цвет которых меняется от металлического к бронзовому. Предположительно, бронзовый цвет это пленка двойного окисла CuAl_2O_4 (рисунок 4).

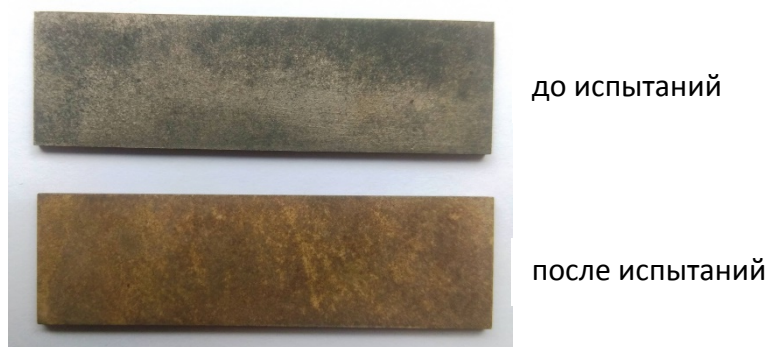


Рисунок 4 – Внешний вид алитированных образцов меди до и после испытаний

Литература

1. Минкевич, А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич. – М.: Машиностроение, 1965. – 491 с.
2. Коломыцев, П.Т. Жаростойкие диффузионные покрытия / П.Т. Коломыцев. – М.: Металлургия, 1979. – 272 с.
3. В.М. Константинов Исследование особенностей структуры и свойств термодиффузионных жаростойких покрытий на меди / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, И.В. Плетенев // Литье и металлургия. №1, 2021. – С. 124 – 129.

Сравнительный анализ структуры и свойств поверхностных слоев сталей 40Х и 40ХМФА после ионного и газового азотирования в условиях ОАО «БЕЛАЗ»

Ситкевич М.В.¹, Курилович М.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «БЕЛАЗ»

На ОАО «БЕЛАЗ» преимущественно используют два режима азотирования: ионное при температуре 540°C в течении 27 часов и газовое азотирование при 520°C в течении 36 часов. Качество азотированного слоя контролируется по следующим параметрам: твердости диффузионного слоя с поверхности и на глубине 0,2 мм, толщине зон азотированного слоя.

Измерение толщины зоны ϵ и γ' фаз показало, что при газовом азотировании толщина зоны данных фаз в азотированном слое больше, чем при ионном насыщении и составляет: при газовом азотировании для стали 40Х – 16 мкм, 40ХМФА – 18 мкм; при ионном для стали 40Х – 15 мкм, 40ХМФА – 13 мкм (рис.1).

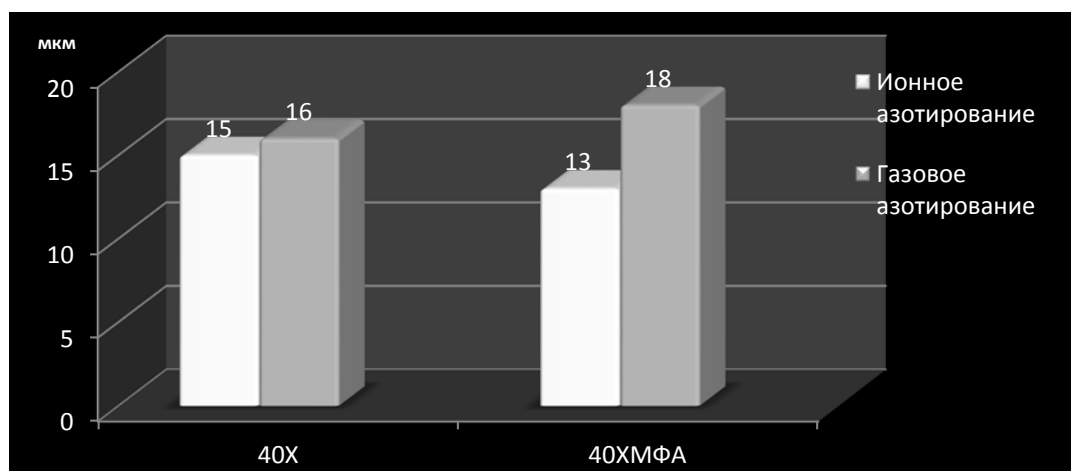


Рисунок 1- Толщина зоны ϵ и γ' фаз после газового и ионного азотирования.

Исследования поверхностной твердости (рис.2) показало, что при ионном азотировании твердость азотированного слоя выше на 25–50 HV по сравнению с газовым азотированием и составляет: для ионного азотирования для стали 40Х – 660 HV, 40ХМФА – 680 HV.

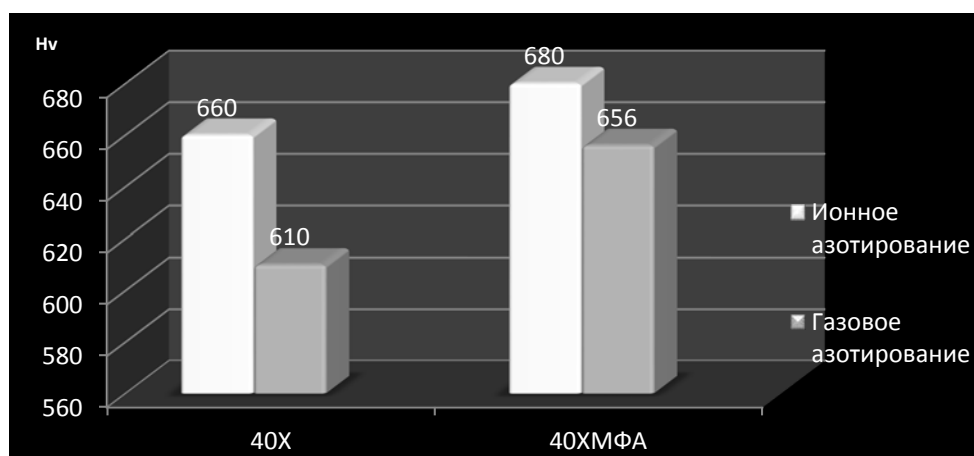


Рисунок 2 - Поверхностная твердость (по Виккерсу) азотированных слоев после газового и ионного азотирования.

Исследование характера распределения микротвердости по толщине азотированного слоя показало, что твердость плавно снижается по мере удаления от поверхности вглубь азотированного слоя как для стали 40X так и 40XMФА. При этом толщина упрочненного слоя (расстояние от поверхности до твердости 400HV) составляет: для стали 40X – 0,3-0,4 мм, 40XMФА – 0,3-0,35 мм в зависимости от вида азотирования.

Определение хрупкости азотированного слоя производится по виду отпечатка алмазной пирамиды, полученной при измерении твердости на приборе Виккерса. На рис.3 представлена шкала хрупкости диффузионного слоя в зависимости от характера отпечатка пирамиды прибора Виккерса [1].





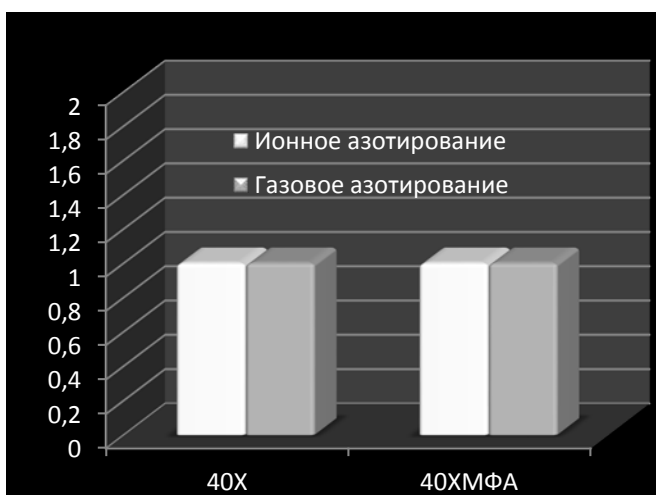
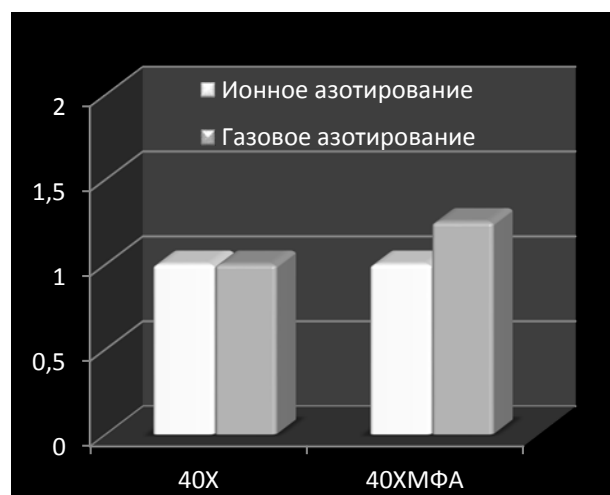
Группа	Вид отпечатков по Виккерсу	Определение	Примечание
I		Нехрупкие	Во всех случаях допустимы
II		Слегка хрупкие	
III		Хрупкие	Недопустимы на шлифованных поверхностях
IV		Очень хрупкие	Во всех случаях недопустимы

Рисунок 3 - Шкала хрупкости азотированного слоя.

Установление группы хрупкости азотированного слоя проводились при нагрузке 10 и 30 кг (рис.4). При нагрузке 10кг (рис.4а), азотированные слои на сталях 40X, 40XMФА имеют группу хрупкости 1 как при газовом, так при ионном азотировании, то есть азотированные слои являются не хрупкими.



а)



б)

Рисунок. 4 - Хрупкость азотированного слоя при нагрузке 10кг (а) и 30кг (б).

Увеличение нагрузки при определении группы хрупкости до 30 кг (рис.4б) позволяет отметить, что азотированный слой на стали 40Х имеет группу хрупкости 1 как при ионном, так и при газовом азотировании. В то же время исследования показывают, что при нагрузке 30 кг на стали 40ХМФА при газовом азотировании слой более хрупкий, чем при ионном азотировании.

Литература

1. Герасимов, С.А. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов/ С. А. Герасимов, Л. И. Куксенова, В.Г. Лаптева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 518 с.

Формирование биосовместимых покрытий двух типов на винтах транспедикулярного фиксатора позвоночника

Багаев С.И., Смягликов И.П., Паршутто А.А., Климова Е.А.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Введение

В медицинской практике к титановым имплантатам в зависимости от их назначения, помимо свойства биосовместимости предъявляется ряд дополнительных требований: поверхность должна иметь определенную морфологию (различную степень шероховатости), пористость, химический и фазовый состав [1]. Например, в случае искусственного клапана сердца – для предотвращения осаждения тромбоцитов и образования тромбов поверхность должна быть полированной, биоинертной, или наоборот, быть шероховатой, биоактивной – для увеличения прочности сцепления имплантата с костной тканью (дентальные имплантаты). Для решения таких задач наиболее перспективными является применение методов электрохимической обработки, которые обеспечивают формирование на всей площади имплантата равномерных биосовместимых покрытий с заданными физико-химическими и механическими свойствами [2, 3]. Для повышения эффективности применения имплантатов практический интерес представляет локальное формирование на одном имплантате нескольких типов биосовместимых покрытий, характеризующихся различными функциональными свойствами. Настоящая работа посвящена разработке основ технологического процесса формирования на имплантатах двух типов биосовместимых покрытий: функционального и маркирующего. На части поверхности имплантата, где требуется повышенная механическая прочность формируется износостойкое оксидное покрытие, а на остальной его поверхности – цветное маркирующее покрытие.

Методика исследований

Экспериментальные образцы представляли собой плоские прямоугольные пластины размерами 40x15x2 мм и винты, изготовленные из титанового сплава ВТ6. Формирование оксидных покрытий на титановых образцах осуществлялось в 0,5 М растворе фосфорной кислоты. В зависимости от режимов обработки на поверхности формировались покрытия с разными свойствами. Интерференционно окрашенные оксидные покрытия (тип I) получали методом электрохимического оксидирования в потенциостатическом режиме при напряжении на электродах 10–100 В с использованием источника питания постоянного тока Б5-94. Износостойкие оксидные покрытия (тип II) формировали методом плазменно-электролитического оксидирования при напряжении на электродах 120–500 В и плотности тока 1–5 кА/м² с использованием импульсного источника питания мощностью 2,5 кВт. Толщина оксидных слоев измерялась методом эллисометрии и оптической микроскопии поперечного сечения образцов. Исследование износостойкости проводилось на трибометре типа «палец – плоскость диска», работающего в соответствии со стандартом ASTM G99-05.

Экспериментальные данные и их обсуждение

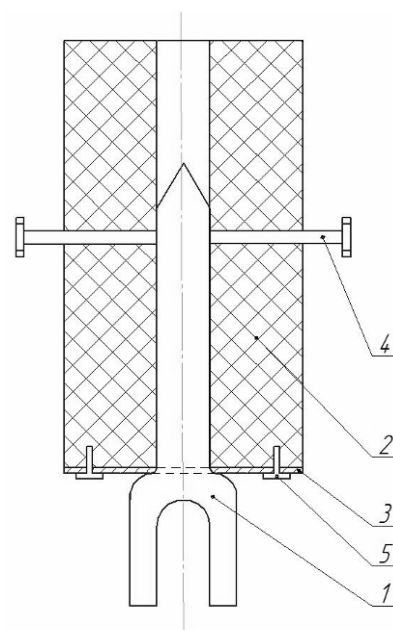
Рассмотрено формирование на титановых винтах интерференционно окрашенных (тип I) и износостойких (тип II) оксидных покрытий. Методика получения и свойства рассматриваемых покрытий подробно изложены в работах [4, 5].

Получение биосовместимых покрытий типов I и II на одном имплантате осуществлялось в два последовательных этапа. На первом этапе износостойкое покрытие (тип II) формировалось методом плазменно-электролитического оксидирования. При этом для локального получения покрытия на части поверхности имплантата необходимо изолировать остальную часть поверхности от контакта с раствором с помощью устройства, показанном на рисунке 1. Для защиты верхней части имплантата 1 от воздействия раствора изделие плотно вкручивается во втулку 2, выполненной из фторопласта, через уплотняющее кольцо 3. К зажимным винтам 4 присоединяется токоподвод, и имплантат опускается в ванну для анодирования таким образом, чтобы часть имплантата, на которой необходимо сформировать покрытие, была полностью погружена в раствор. Затем подается напряжение на электроды и формируется износостойкое оксидное покрытие.

На втором этапе в том же растворе 0,5 М фосфорной кислоты создается оксидное покрытие требуемого цвета на необработанной поверхности имплантата. Так как цветное покрытие типа I образуется при меньших напряжениях формовки, чем покрытие типа II, то специальной технологической оснастки для осуществления анодирования не требуется. Цвет покрытия зависит от режимов обработки, и задается, в основном, напряжением формовки [6].

Технология формирования оксидных покрытий двух типов состоит из следующих операций: подготовительная, контрольная, обезжиривание, промывка, химическая подготовка, промывка, монтаж, формирование покрытия типа II, демонтаж, монтаж, формирование покрытия типа I, промывка, демонтаж, сушка, контрольная, упаковка.

В результате проведения двухэтапного оксидирования титановых имплантатов получается имплантат с двумя типами биосовместимых покрытий – функциональным и маркирующим (рисунок 2, а).



1 – имплантат; 2 – корпус втулки из фторопласта; 3 – уплотняющее кольцо; 4 – зажимные винты; 5 – крепление уплотняющего кольца

Рисунок 1. – Схема устройства для частичного оксидирования поверхности имплантатов



а – винты; б – транспедикулярный фиксатор позвоночника в сборе

Рисунок 2. – Изображения имплантатов с покрытиями двух типов на основе оксидов титана

В той части имплантата, где требуется повышенная износостойкость, формируется оксидное покрытие (тип II) толщиной 1–5 мкм, характеризующееся удельным объемным износом $4-8 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})$, а на остальной его поверхности создается цветное оксидное покрытие

толщиной 0,06–0,3 мкм (тип I) для маркировки имплантата. Для маркировки в основном используются четыре цвета: синий, желтый, красный, зеленый. Данная технология использовалась для изготовления многофункционального фиксатора с биологически инертным покрытием, разработанного совместно с ГУ РНПЦ «Травматологии и ортопедии» и НП ООО «Медбиотех» и предназначенного для дорсальной интраоперационной коррекции и стабилизации при тяжелых травмах и деформациях позвоночника (рисунок 2, б) [7].

Заключение

Разработаны основы технологического процесса электрохимического формирования на имплантатах двух типов биосовместимых покрытий, выполняющих функции повышения износостойкости (тип II, удельный объемный износ покрытия $4-8 \cdot 10^{-4}$ мм³/Н·м) и цветовой маркировки (тип I). Применение двух типов покрытий одновременно на титановых винтах позволит улучшить биосовместимость вживляемых элементов, повысить их долговечность за счет улучшения механических свойств, улучшить эргономичность и снизить вероятность побочных эффектов в постоперационный период.

Литература

1. Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах / В. В. Савич [и др.] ; под науч. ред. В. В. Савича. – Минск : Беларуская навука, 2012. – 244 с.
2. Родионов, И. В. Применение технологии анодного оксидирования при создании биосовместимых покрытий на дентальных имплантатах / И. В. Родионов, Ю. В. Серянов // Вестник СГТУ. – 2006. – № 2, Выпуск 1. – С. 23–28.
3. Structure and properties characterization of ceramic coatings produced on Ti-6Al-4V alloy by microarc oxidation in aluminate solution / W. Xue [et al.] // Mater. Lett. – 2002. – Vol. 52. – P. 435–441.
4. Электрохимическая модификация поверхности медицинских имплантатов из титановых сплавов / С. И. Багаев, И. П. Смягликов, Е. К. Сергеева, А. М. Чапланов, А. А. Паршута, А. Н. Малышко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. научных трудов : в 3 кн. / ФТИ НАН Беларуси ; редкол.: С. А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Кн. 1. – С. 3–8.
5. Формирование кальций и фосфоросодержащих оксидных покрытий на титановых имплантатах / С. И. Багаев, И. П. Смягликов, Е. К. Сергеева, А. Н. Малышко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. трудов : в 3 кн. / ФТИ НАН Беларуси ; редкол.: А. В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2018. – Кн. 1. – С. 22–30.
6. Багаев, С. И. Влияние предварительной обработки на шероховатость и равномерность окрашивания поверхности титановых имплантатов при электрохимическом оксидировании / С. И. Багаев, Е. К. Сергеева // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. трудов / ФТИ НАН Беларуси ; редкол.: В. Г. Залесский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – С. 126–134.
7. Многофункциональный фиксатор позвоночника с биологически инертным покрытием / С. Багаев, А. Мазуренко, И. Смягликов, С. Макаревич, С. Залепугин, Н. Чекан // Наука и инновации. – 2016. – № 11. – С. 62–67.

Структура цементованного слоя на хромоникелевых сталях.

Стефанович В.А., Мельниченко В.В., Стефанович А.В.
Белорусский национальный технический университет

Хромоникелевые аустенитные стали обладают низкой износостойкостью из-за невысокой твердости 200...220 НВ. Увеличение износостойкости данных сталей можно достигнуть химико-термической обработкой, в частности насыщением углеродом. Наличие значительного количества хрома в стали (18...19%) позволяет формировать диффузионный слой, состоящий из карбидов хрома, находящихся в металлической матрице. Высокая твердость карбидов обеспечивает повышение износостойкости поверхности. Однако процесс насыщения углеродом хромоникелевых сталей затруднен из-за наличия оксидной пленки на поверхности. Цементация хромоникелевых сталей из широко применяемых карбюризаторов не позволяет получать диффузионный слой равномерной толщины с хорошей чистотой поверхности и с повышенной твердостью. Для получения качественных цементованных слоев на хромоникелевых сталях требуется разработка специальных смесей.

Целью данной работы является разработка карбюризатора для цементации коррозионно-стойких хромоникелевых сталей для формирования структуры цементованного слоя с зоной карбидов.

Основными компонентами при разработке насыщающих смесей являлись: бондюжский карбюризатор, ацетат натрия, порошковая смесь для хромирования и галогениды щелочных металлов. Оптимизация состава карбюризатора осуществлялась методом математического симплекс планирования. Насыщение проводилось на образцах из стали 09X19H9T. Химико-термическая обработка осуществлялась в герметичных контейнерах с плавким затвором при температуре 960°C и времени выдержки 4...8 часов. Распределение микротвердости по толщине диффузионного слоя исследовалось на твердомере ПМТ-3 с нагрузкой 2 Н.

Цементованный слой, полученный из оптимального состава смеси состоит из двух зон (рис. 1а): внешней толщиной 80...160 мкм, представляющей собой мелкодисперсные включения белого цвета округлой формы в матрице с твердостью 4800... 5200 МПа и внутренней – темно травящейся (рис. 1б, в) с редкими включениями белых частиц толщиной 210...370 мкм с твердостью 3400...4800 МПа.

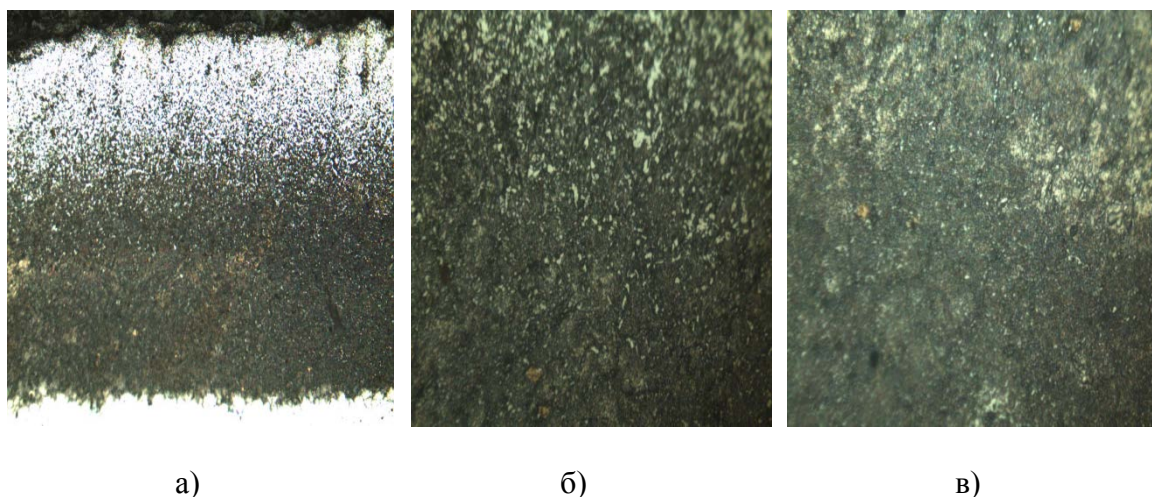


Рисунок 1 – Микроструктура цементованного слоя на стали 09X18H9T: а – $\times 250$; б, в – $\times 1000$

Рентгеновский фазовый анализ установил следующий фазовый состав диффузионного слоя: легированные феррит α -Fe и аустенит γ -Fe; карбиды M_3C , M_7C_3 и оксид железа Fe_3O_4 .

Таким образом применение разработанного карбюризатора для поверхностного упрочнения стали 09Х19Н9Т позволяет формировать цементованный слой, состоящий из карбидов M_3C , M_7C_3 в виде мелкодисперсных частиц округлой формы, находящихся в феррито-мартенситной матрице. Наличие карбидов в поверхностной зоне обеспечивает повышенную твердость 4800... 5200 МПа на толщину $\sim 0,3 \dots 0,53$ мм, что обеспечит высокую стойкость изделий в условиях износа.

Применение метода линеаризации для генерации регрессионных моделей в материаловедении

Мельниченко В.В., Стефанович В.А.
Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является анализ технологий разработки регрессионных моделей, с целью выработки рекомендаций получения регрессионных моделей для сильно анизотропных сред.

Для решения такой задачи надо сделать первый шаг (выбор). Исследователь находится в точке А и в сторону точки В делает пробный шаг, затем второй и так далее. Обозначим точку А(х,у), здесь Х,У оси системы координат. В простейшем случае прямоугольная. Тогда траектория движения есть набор точек В(х,у). Рассмотрим эту траекторию движения. Если обозначить номер точки буквой *i*, получим два массива координат x_i , y_i . Расстояние между соседними точками установим одинаковым, и они приблизительно ложатся на одну прямую линию, которую исследователь проводит из последней точки в первую [1]. Регрессионная зависимость установлена как линейная.

$$\varphi(x) = k\phi(x) + d \quad (1)$$

В общем случае эта зависимость может быть и нелинейной. Если точки не ложатся на линию, исследователь пробует предположить другие зависимости, рассматриваемые как простейшие [2]

На плоскости в системе координат ХУ эта функция отображается в виде кривой линии. Предположим, что обе функции из уравнения (1) строго монотонные, тогда возможно введение преобразование переменных

$$X1 = \phi(x), Y1 = \varphi(x) \quad (2)$$

В новой системе координат точки будут располагаться на прямой линии. Это дает возможность визуальной оценки типа зависимости как линейной, если представить результаты в преобразованной системе координат.

Ряд простейших эмпирических зависимостей линеаризуется логарифмированием по одной или обоим координатным осям [1].

Этот метод легко распространяется и на многомерное пространство при исследовании многокомпонентного материала (сплава).

В случае, когда логарифмические преобразования трудоемки предложен метод наименьших квадратов отклонений предсказываемой регрессионной моделью от опытной точки. Накопленная ошибка является мерой оценки для модели в целом. Та модель, которая дает наименьшую сумму квадратов рассматривается как наилучшая. Чтобы доказать ее применимость выбранной регрессионной модели вычисляется критерий Фишера[3], который является дробью. В числителе дроби стоит сумма квадратов отклонений, а в знаменателе оценка воспроизводимости точек эксперимента. Следуя закону нормального распределения ошибок составленные таблицы являются критерием достоверности предлагаемой регрессионной модели.

Вывод гибридных корреляционных моделей, которые состоят из двух базовых регрессионных моделей и оценка адекватности примененной модели в пакете Mathcad [3] реализуется применением специальных процедур $\text{linfit}(x,y,F(x))$ и $\text{genfit}(x,y,F(\dots),v)$. Но и имея такую программную поддержку подбор необходимой, корректной регрессионной модели является искусством экспериментатора, поскольку требуется введение коррелирующих коэффициентов регрессионные модели.

Встает единственная задача обучение вычислительного процесса методу аппроксимации имеющихся данных. В задачах с разрывами первого рода (например, вычисление формы, скорости роста фаз в многокомпонентной среде) необходимым условием с нашей точки зрения является применение метода нейронных сетей. В этом случае мелкие шаги, как бы нашупывают границы разрывов с обеих сторон и компромиссно создают границу. Наиболее простой программной оболочкой, в которой можно реализовать данную концепцию, можно рассматривать программу Statistica [4].

Литература

1. Демидович, Б.П. Численные методы анализа. // Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. – М.: Наука, 1963.- 400 с.
2. Тарасевич, Ю.Ю. Численные методы на Mathcad. //Астраханский университет, Астрахань, 2000. – 68 с.
3. Тейлор, Дж. Введение в теорию ошибок. // Дж. Тейлор. М.: Мир, 1985.- 288 с.
4. Statistica. Официальное руководство. Том3. – 2007.

Вакуумно-дуговое осаждение металлов на текстильные материалы

Кохнюк В.Н., Изюмов А.А., Селифанов С.О., Мочайло Е.В.,
Дениженко А.Г., Смягликов И.П.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Проведено исследование характеристик текстильных материалов, используемых для различных технических применений (изготовления одежды, санитарных средств, фильтров и других изделий) путём нанесения металлических покрытий и создания комплексов «основа - покрытие», обладающих бактерицидными и/или фунгицидными свойствами, низким удельным поверхностным электрическим сопротивлением, способных обеспечить антистатические и экранирующие свойства.

Введение

Производство текстиля и изделий из него (одежды, обуви, головных уборов, предметов домашнего быта и др.) является одной из традиционных, базовых технологий. Эти области знания и практической деятельности человека совершенствовались с развитием фундаментальных и прикладных наук [1]. Придание текстильным материалам антимикробных свойств преследует цель защиты от действия микроорганизмов и патогенной микрофлоры объектов, соприкасающихся с текстильными материалами [2]. Ещё необходимо принять во внимание отрицательное влияние статического электричества на здоровье человека и различное оборудование [3–5]. Проблема обеспечения электростатической безопасности на промышленных предприятиях была и остаётся актуальной. Это связано с тем, что электростатический заряд, достигая величины от нескольких сот вольт до нескольких тысяч вольт, может стать причиной взрыва, воспламенения, нарушить работу электронного оборудования и привести к человеческим жертвам и материальным потерям [6, 7]. Электризация изделий из текстильных материалов происходит в результате трения при их эксплуатации или в процессе обработки. Образование и скорость исчезновения электрических зарядов связаны с объемной и поверхностной проводимостью текстильных материалов, зависящей от свойств волокон, в частности гидрофильности, и строения полотен [8].

Экспериментальные результаты

Изучены различные материалы основы: ткань полиэфирная; ткань льняная; ткань вискозная; ткань комбинированная (5%полиэфир и 95% хлопок); ткань техническая полиамидная различных артикулов; нетканый материал «Акваспан» разной плотности с различной дополнительной обработкой; бумага.

Покрытия из меди и титана осаждались как в остаточной атмосфере, так и в среде реакционно-способного газа, в качестве которого использовалась двуокись углерода. Серебро и сталь осаждались только в среде остаточных газов. В качестве основного материала покрытия выбрана медь, в связи с её противовирусными свойствами [6, 7] и невысокой ценой.

Для нанесения покрытий использовалась серийная установка вакуумного напыления УВНИПА-1-001, оборудованная источником плазмы стационарного катодно-дугового разряда с металлическим катодом, который применялся во всех экспериментах, а в случае использования газа CO_2 и для нанесения подслоя.

Толщина осаждённых покрытий определялась с использованием образцов-свидетелей (ОС) из монокристалла кремния. Принималось, что толщины покрытий, нанесённых на ткань и на ОС, равны. На подготовленных ОС часть поверхности маскировалась для того, чтобы создать непокрытый слой, от которого будет отсчитываться толщина покрытия. После маскирования ОС устанавливались в одном процессе с текстильными материалами и проходили те же стадии обработки. По окончании процесса напыления маскирующий слой удалялся и проводились измерения на образовавшейся ступеньке с помощью микроскопа МИИ-4.

Биотестирование проводили по стандартной методике с использованием коллекционной тест-культуры *Staphylococcus aureus* ATCC 6538.

Исследования по выбору перспективных материалов для получения комплексов «текстильный материал-покрытие» были разделены на два этапа. На первом этапе проводили исследование влияния вида металла на бактерицидные свойства системы «покрытие-основа». На втором – на основании результатов первого этапа выбирались оптимальные материалы основы. Для определения чувствительности бактерий к антибиотикам использовался метод диффузии в агар (метод дисков). Оценку бактерицидных свойств полученных образцов проводили по наличию роста микроорганизмов под текстильным материалом и вблизи него.

Фунгицидность определяли по методу, разработанному в Институте микробиологии НАН Беларуси, который позволяет оценить влияние текстильных материалов с наноструктурными вакуумно-плазменными покрытиями на рост и развитие плесневых грибов, а также их воздействие на наноразмерные покрытия.

Характеристики электропроводности образцов измеряли на приборе ИЭСП–2 в соответствии с требованиями. Уровень напряжённости электростатического поля образцов тканей измерялся с помощью прибора-измерителя ИПЭП-1 согласно ГОСТ Р ИСО 139-2007.

Для исследования экранирующих характеристик (коэффициентов передачи S₂₁ и отражения S₁₁ электромагнитного излучения) использовался панорамный измеритель SNA 0,01-18. Эффективность экранирования электромагнитного излучения материалом оценивалась соотношением между напряженностями электрического поля в точке пространства при отсутствии и наличии в ней этого материала и характеризовалась коэффициентами отражения и передачи излучения.

Для создания систем «покрытие-основа» наиболее целесообразно использовать в качестве основы текстильный материал из синтетических нитей или волокон (полиэфирных или полиамидных), а в качестве материала покрытия – серебро или медь, осаждённые в среде остаточных газов. Более предпочтительно использование меди в связи с её доступностью и относительно невысокой ценой. Результаты бактериологических исследований фильтровальных материалов медным покрытием показывают, что их антимикробная активность находится в зависимости от продолжительности напыления покрытия. Наибольший бактерицидный эффект выражен у текстильных материалов со временем осаждения 15–30 мин. При более продолжительном времени нанесения покрытия существенного увеличения бактерицидных свойств не происходит, но ухудшаются физико-механические свойства текстильных материалов, поэтому оптимальное время нанесения покрытия составляет 15–30 мин.

Анализ антифунгальных свойств вакуумно-плазменных медных покрытий, проведенный в сравнении с медной пластиной, показал, что наночастицы меди и её соединений обладают значительной токсичностью в отношении микроскопических грибов рода *Aspergillus*. Результаты исследований позволяют рекомендовать медное покрытие, нанесённое на полиамидную ткань, в качестве индикатора загрязнения среды спорами грибов, так как при этом покрытие частично или полностью исчезает. Эти текстильные материалы с медным покрытием можно также рекомендовать в качестве основы для производства противомикробных изделий.

При нанесении медного покрытия снижение удельного поверхностного электрического сопротивления наблюдается у всех исследованных образцов. Согласно нормативной документации, для использования в качестве фильтров с антистатическими свойствами можно рекомендовать тканые текстильные материалы на основе полиамида и полиэфира с медным покрытием со временем напыления 15 мин.

Результаты исследований позволяют рассматривать текстиль на основе полиэфира и полипропилена с нанесённым на них медным покрытием со временем напыления 15 мин как материалы фильтров с высокими антистатическими свойствами. Ещё одним применением таких материалов может являться спецодежда. Вместе с тем, нанесение медного покрытия мо-

жет и увеличивать напряжённость электростатического поля текстильных материалов относительно исходных до 4 раз. Предположительно, это связано с тем, что материал покрытия является источником дополнительных электрических зарядов.

При использовании в качестве материала покрытия стали 12Х18Н10Т наибольшее значение коэффициента передачи наблюдается у образца с покрытием, напыленным за 40 мин в диапазоне 7 – 17 ГГц. При более низких частотах время нанесения не оказывает видимого эффекта. Значения коэффициентов отражения для этих же образцов также практически не отличаются, однако можно выделить образцы со временем напыления 20 мин, как образец с наибольшим коэффициентом отражения в диапазоне 7–10 ГГц, и 10 мин, как образец с наибольшим коэффициентом отражения в диапазоне 15–16,5 ГГц.

Наибольшими перспективами обладают образцы текстильных материалов с медным покрытием, осаждённым в вакууме и в среде углекислого газа (давление газа 0,4 Па) при времени осаждения 20-30 мин. При времени нанесения медного покрытия 10–30 мин все образцы имеют примерно одинаковые значения коэффициента передачи во всём измеряемом диапазоне частот. Медное покрытие, осаждённое в вакууме, имеет наибольшее значение коэффициента передачи.

Для медных покрытий на льняных и хлопкополиэфирных текстильных материалах использование реакционно-способного газа в нижнем из измеряемых диапазонов (0,7–3 ГГц) оказало заметное влияние на коэффициент отражения. В диапазоне 2–18 ГГц присутствие газа во время нанесения покрытия не оказало такого влияния на измеряемую величину. Для гардинной ткани использование реакционно-способного газа также не оказывает ощутимого влияния на коэффициент отражения электромагнитного излучения.

Литература

1. Халиуллина М. К. Использование различных бактерицидных и фунгицидных добавок в полимерах при производстве антимикробных текстильных материалов / М.К. Халиуллина, Э.А. Гадельшина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014 - Т.17, №8 – С.87-91.
2. Антонова М. В. и др. Методы придания антибактериальных свойств текстильным волокнам. Обзор / М.В. Антонова, И В. Красина, С.В. Илюшина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. - Т.17, №8. – С.56-63.
3. СН 6032-91. Допустимые уровни напряженности электростатических полей и плотности ионного тока для персонала подстанций и ВЛ постоянного тока ультравысокого напряжения.
4. ГОСТ 12.1.045-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
5. ESD Assotiation – Setting the global standards for static control [Электронный ресурс]. – 2020 – Режим доступа: www.esda.org – дата доступа 20.12.2020. Кулезнёв В.Н. Основы физики и химии полимеров. – М.: Высшая школа, 1977. – 248 с.
6. Алексашина О. Ф. Статическое электричество в чистых помещениях // Чистые помещения и технологические среды. – 2004. - № 1. - С. 18–19.
7. Хэтчер С. Защита от статического электричества // Чистые помещения и технологические среды. – 2004. - № 4. - С. 18–19.
8. Бузов Б.А., Модестова Т.А., Алыменкова Н.Д. // Материаловедение швейного производства. 4-е изд., перераб и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 424 с.

Исследование влияния технологических параметров аноодирования алюминия на получение темных оксидных покрытий

Паршуту А.А., Багаев С.И., Климова Е.А., Степанова-Паршуту Е.А.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Введение

Для повышения эксплуатационных характеристик изделий из сплавов алюминия ведется постоянный поиск новых методов их упрочнения. Традиционные подходы к улучшению эксплуатационных характеристик не всегда обеспечивают достижение требуемых свойств.

Формирование защитных оксидных слоев на поверхности изделий из сплавов алюминия широко применяют как в традиционных областях авиа- и машиностроения, строительства, транспорта, электроники, так и в новых – при создании солнечных батарей, инфракрасных излучателей, фильтров, сенсоров и др. [1] Известно [2], что свойства оксидных пленок на алюминии и его сплавов могут изменяться в значительной степени от состава электролита и условий оксидирования. К важным характеристикам оксидных слоев, которые во многих применениях играют определяющую роль, относится комплекс параметров, включающий и декоративные: цвет и толщину покрытий, шероховатость поверхности, микротвердость, износ- и коррозионную стойкость. Одним из перспективных методов формирования анодных оксидных пленок является метод высоковольтного электрохимического оксидирования (ВВЭО) [3], по своим параметрам занимающий промежуточное положение между традиционным методом анодирования и методом МДО.

Методика исследований

Процесс ВВЭО проводился при следующих технологических параметрах: плотность тока 1-5 А/дм², температура электролита 5-20°С.

В качестве материала основы использовались пластины из алюминиевого сплава АД1 (ГОСТ 4784-2019) размером 50×20×2 мм.

Оценка цветовых характеристик покрытия проводилась с использованием метода *RAL* (определение соответствия цвета по сравнению с каталогом цветов *RAL K7*, разработанным *RAL gGmbH*). *RAL* - это система согласования цветов, созданная и управляемая *RAL gGmbH* (некоммерческим *LLCRAL*), которая является дочерней компанией Немецкого института *RAL*. В рамках данной работы было исследовано влияние параметров процесса ВВЭО на цвет оксидного слоя сплава алюминия АД1.

Экспериментальные данные и их обсуждение

Важными параметрами процесса ВВЭО являются плотность тока, состав и температура электролита. Режимы обработки влияют не только на толщину, микротвердость материала и морфологию поверхности оксидного слоя на сплавах алюминия, но и на цвет формируемых оксидных слоев.

Исследования показали, что наиболее темные оксидные покрытия получаются при использовании электролитов № 1 и №2, приведенных в таблице 1, данные по ним приведены ниже.

Таблица 1. Рассматриваемые электролиты

№	Добавки в электролиты на водной основе
1	Щавелевая кислота ($C_2H_2O_4$), 35±5 г/л и фосфат натрия (Na_3PO_4), 5±1 г/л
2	Винная кислота ($C_4H_6O_6$), 70±10 г/л и серная кислота (H_2SO_4), 35±5 г/л
3	Щавелевая кислота ($C_2H_2O_4$), 45±5 г/л и метасиликат натрия (Na_2SiO_3), 1±0,5 г/л

4	Борная кислота (H_3BO_3), 10 ± 2 г/л, ортофосфорная кислота (H_3PO_4), 45 ± 5 г/л и щавелевая кислота ($C_2H_2O_4$), 30 ± 5 г/л
---	---

Процесс ВВЭО позволяет регулировать цветовые характеристики оксидного слоя, получаемые путем изменения плотности тока и температуры электролита. Имеется возможность достижения существенно отличающихся цветов оксидных покрытий, формируемых при каждой плотности тока и температуре. При использовании плотности тока 1 А/дм^2 при всех температурах электролита со щавелевой кислотой и добавкой тринатрийфосфата от $5 \text{ }^\circ\text{C}$ до $20 \text{ }^\circ\text{C}$ разность цветов покрытий на сплаве АД1 невелика и соответствует светло-коричневому, близкому к желтому, *RAL 7032* (рисунок 1 и таблица 2).

Цвета становятся более темными (до темно-коричневого, *RAL 8025*) при повышении плотности тока до $4\text{-}5 \text{ А/дм}^2$ и температуры электролита до $20 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом более важную роль в изменении цвета в направлении более темных тонов играет повышение плотности тока.

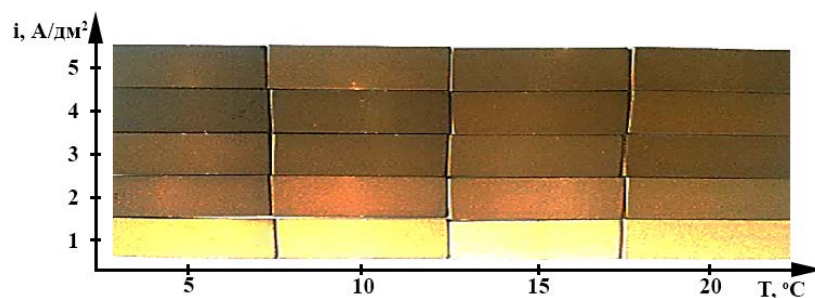


Рисунок 1. – Вид оксидных слоев на поверхности образцов из сплава АД1, полученных при различных температурах T электролита №1 и плотности тока i . Цвету материала соответствуют нумерация по таблице *RAL* в таблице 2

Таблица 2. – Цвета материала оксидных слоев по таблице *RAL*, соответствующие рисунку 1, на образцах из сплава АД1, полученных при различных температурах T электролита №1 и плотности тока i

Плотность тока i , А/дм^2	Температура, $^\circ\text{C}$			
	5	10	15	20
1	7032	7033	7048	7048
2	8025	8008	8008	8000
3	6014	6014	6014	6014
4	8025	8014	8007	8008
5	8025	8008	8008	8008

Влияние параметров процесса ВВЭО на цветовую гамму оксидных покрытий на сплаве АД1 при использовании электролита с винной и серной кислотами (электролит №2) отличается от применения электролита со щавелевой кислотой и добавкой тринатрийфосфата (электролит №1).

В данном случае наиболее темные цвета оксидных покрытий (темно-серые и черные, *RAL 9004*, *RAL 9017*) получены при плотности тока $2\text{-}5 \text{ А/дм}^2$ и при температуре электролита $5\text{-}15 \text{ }^\circ\text{C}$ (рисунок 2, таблица 2). Плотности тока 2 А/дм^2 и температура электролита $20 \text{ }^\circ\text{C}$ соответствует светло-серому цвету покрытия, *RAL 7039*.

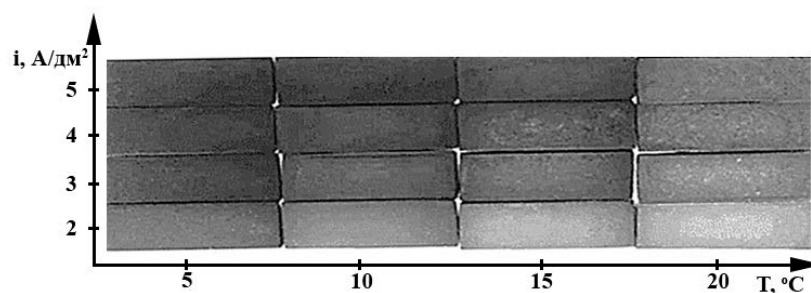


Рисунок 2. – Вид оксидных слоев на поверхности образцов из сплава АД1, полученных при различных температурах T электролита №2 и плотности тока i .

Таблица 3. – Цвета материала оксидных слоев по таблице *RAL*, соответствующие рисунку 2, на образцах из сплава АД1, полученных при различных температурах T электролита №1 и плотности тока i

Плотность тока $i, \text{A/дм}^2$	Температура, °C			
	5	10	15	20
2	7022	6006	7010	7039
3	7022	9011	6006	7010
4	9004	7022	6008	7010
5	9004	9011	9017	7010

Заключение

Исследование формирования темных оксидных покрытий на технически чистом сплаве алюминия АД1 показало, что возможно получение оксидных слоев различных темных оттенков цвета, что косвенно указывает на внедрение компонентов электролита в структуру оксидной пленки. Добавление в электролиты на основе щавелевой и винной кислоты, фосфата натрия и серной кислоты соответственно позволяет формировать более темные оксидные покрытия в сравнении с оксидными слоями, полученными в однокомпонентных растворах. В результате экспериментов установлено, что при температурах ниже $10\text{ }^\circ\text{C}$ и плотностях тока свыше 3 A/дм^2 формируемые оксидные слои более темные, чем при других исследуемых параметрах. При плотностях тока выше 5 A/дм^2 происходит локальный прожог, что приводит к прекращению роста оксидного слоя.

Литература

1. Белецкий, В.М. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение). Справочник / В.М. Белецкий. – КОМИНТЕХ, 2005. – С. 168.
2. Белов В.Т. Анодное окисление алюминия и его анодный оксид: учеб. пособие. – Казань: Изд.-во КГТУ, 1995. – 55 с.
3. Нмаду, Д. Особенности формирования покрытий на основе оксида алюминия в серной и винной кислот с использованием высоковольтного электрохимического окисления (ВВО) / Д. Нмаду, И.Л. Поболь, А.А. Паршуту // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов / Минск: ФТИ НАН Беларуси; редкол.: С.А. Астапчик [и др.]. – 2015. – Кн. 2. – С. 245-252.

Применение количественной фрактографии для установления причин разрушения деталей

Позняк И.Г.

Белорусский национальный технический университет

При проведении металловедческой экспертизы зачастую возникает необходимость установления причины излома металлических деталей. При этом содержание используемых в настоящее время практических разработок ограничено анализом изломов, в основном усталостного характера. В большинстве случаев это связано с тем, что фрактографический анализ носит лишь качественный описательный характер морфологических особенностей поверхности изломов. В существующих на сегодняшний день стандартных методиках отсутствует какие-либо регламентированные количественные параметры, которые описывали бы степень вязкости поверхности разрушения и одновременно могли быть легко измерены с помощью современного оборудования и информационных систем. Поэтому корректность определения соответствия рельефа поверхности излома хрупкому, вязкому или усталостному разрушению полностью зависит от опыта и навыков исследователя. Одним из недостатков традиционных методов, применяемых в данной области, является двумерность получаемых изображений, т.е. это фактически фотографии, сделанные при некотором увеличении [1]. Этот факт в значительной степени затрудняет количественную оценку поверхности разрушения. В этой связи возникает необходимость развития методов количественного исследования трехмерного представления изломов.

В течение последних лет актуальным направлением фрактографических исследований является разработка автоматизированных методов количественного описания рельефа поверхности разрушения материалов [2–3]. Задача объективного количественного описания рельефа излома может сводиться к корректному измерению его рельефа и получению массива данных, содержащих трехмерные координаты каждой точки его поверхности. В частности, требуется оценить рельеф поверхности разрушения, поскольку существует корреляция между энергией, затраченной на образование новой поверхности, и площадью данной поверхности. Так, например, хрупкий излом образуется в результате очень малой макропластической деформации. Хрупкому внутризеренному разрушению, сопровождающемуся малой затратой энергии, свойственно кристаллическое строение изломов. Поверхность изломов, как правило, светло-серая. Чем крупнее величина зерна в изломе, тем более хрупкий характер имеет разрушение. При хрупком разрушении может наблюдаться шевронный излом – система ступенек, образующих рисунок типа елочки, вершины которых направлены к зоне начала разрушения. Хрупкий излом является наиболее опасным, так как происходит с большой скоростью.

Вязкому разрушению, сопровождающемуся большой затратой энергии, свойственно волокнистое строение изломов. Образование вязких изломов сопровождается значительной пластической деформацией и поверхность имеет ямочный рельеф. Вследствие пластической деформации поверхностных кристаллов отсутствуют фасетки и кристаллический блеск. Поверхность волокнистого излома обычно матовая, темно-серого цвета и волокна ориентированы в направлении развития магистральной трещины. Части разрушенной детали не совмещаются, что является, в отличие от хрупкого, критерием вязкого излома.

Для получения трехмерных моделей разрушенных стальных деталей использовался промышленный 3D-сканер метрологической точности Artec Space Spider. В основе его функционирования лежит фотограмметрический метод, который используется в картографии и геодезии. Применительно к сканерам это означает, что излучатель и камера на корпусе разнесены, и луч посылается под определенным углом относительно камеры. Для ускорения процесса очень часто используется структурированная подсветка, когда источник излучения наносит на объект не точку, а сетку. Камера, расположенная немного в стороне от такого проектора, воспринимает отражение этой сетки и по обнаруженным искажениям вычисляет расстояние до

каждой точки в поле зрения. Большой набор точек, полученный с использованием 3D-сканирования и позволяющий создавать 3D-представления о структуре (конструкции) геометрического объекта, называется *облаком точек*. Облако точек поверхности излома в PLY-файле модели представлено в виде набора вершин (*vertex*). Эти данные лежат в основе построения модели поверхности в виде триангуляционной сетки, аппроксимирующей реальную поверхность излома с точностью, которая зависит от разрешающей способности 3D-сканера.

Оценка информативности макрогеометрических параметров поверхности вязкого и хрупкого изломов основана на следующем факте – площадь поверхности вязкого излома более развита, нежели хрупкого. Макрогеометрические параметры поверхности вязкого и хрупкого изломов, представляют собой основные статистические характеристики распределения (гистограммы) углов отклонения нормалей к треугольникам 3D-модели излома относительно средней нормали. В качестве более простого параметра можно использовать отношение площадей поверхности треугольников 3D-модели, к максимальной площади проекции треугольников на плоскость.

Сканер способен воспроизводить сложную геометрию, острые края и тонкие ребра, а также экспортировать 3D-модель в программное обеспечение САПР в различных форматах. Универсальность подхода в распознавании образов и математического анализа получаемых 3D-изображений объектов позволяет решать широкий спектр задач в направлении объективного количественного описания рельефа излома с максимальной степенью достоверности по отношению к исходному объекту-оригиналу. Причем можно воспроизводить не только форму, но и текстуру поверхности. Текстура – изображение (растровый формат), применяемое к полигональной модели путем наложения, с целью придания модели фактурности, рельефности и цветовой окраски. Текстурирование важный этап в процессе создания и визуализации 3D-модели, позволяющий придать поверхности объемного объекта максимальной реалистичности и сходства с реальным изделием.

Сложные для сканирования цвета и материалы:

- отражающие и прозрачные поверхности, например: металл, зеркало, стекло;
- темные и черного цвета поверхности, поглощающие свет.

Для того чтобы достигнуть удовлетворительных результатов сканирования указанных объектов, рекомендуется проводить его с различных углов или использовать для обработки поверхности объекта специальный спрей, если это необходимо.

Таким образом, технология 3D-сканирования может эффективно использоваться при фрактографическом анализе поверхностей разрушения (изломов) деталей. Поскольку вид излома в определенной мере представляет собой своеобразную модель тех процессов, которые происходили при разрушении исследуемого объекта, фрактография служит одним из основных источников информации о характере разрушения деталей и является первым и обязательным этапом исследования при установлении причины их разрушения.

Литература

1. Феллоуз, Д. Фрактография. Металлы и сплавы: справ. изд./под ред. Дж. Феллоуза: пер. с англ. – М.: Металлургия, 1982. – 489 с.
2. Кудря, А. В. и др. Оценка строения изломов и структур в конструкционных сталях с использованием компьютеризированных процедур // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – №. 4 (34). – С.44-52.
3. Мерсон, Е. Д. Количественный анализ изломов при помощи конфокальной лазерной сканирующей микроскопии / Е. Д. Мерсон. В. А. Данилов, Д. Л. Мерсон // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 4 (34). – С. 68 – 75.

**Увеличение ресурса металлообрабатывающего инструмента
посредством нанесения износостойких наноструктурных покрытий на основе карбидов
и оксидов титана**

Кохнюк В.Н., Изюмов А.А., Селифанов С.О., Мочайло Е.В., Дениженко А.Г.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Разработано многослойное многокомпонентное покрытие, представляющее собой чередующиеся слои титана, его нитридов, оксикарбонитридов и оксикарбидов (Ti–TiN–TiNCO–TiCO) и характеризующееся значительным снижением коэффициента трения при сопутствующем повышении его твердости.

Ключевые слова: износостойкое покрытие, вакуумно-дуговое осаждение, титан, оксикарбонитрид, оксикарбид, твердость, коэффициент трения.

Для повышения эксплуатационных характеристик инструментальной оснастки перспективно применение многослойных покрытий с наноразмерной структурой. При этом отдельные слои покрытия выполняют различные функции и для покрытия в целом обеспечивают его высокую адгезию с основой, высокую износостойкость и низкий коэффициент трения [1].

Инструментальная оснастка и подложки, на которые наносились покрытия, подвергались двухстадийной очистке потоком ионов инертного газа (аргона), а также потоком ионов титана в прерывистом режиме. В результате удалялись практически все загрязнения с поверхности, детали не перегревались, не происходил отпуск режущих кромок инструмента, а также исключалась возможность возникновения микродуговых разрядов. При этом дополнительно осуществлялся нагрев инструмента до 200–400 °С, что положительно влияет на адгезию синтезируемого покрытия. Давление реакционно-способных газов (N₂, CO₂) изменялось в диапазоне 0,02–1 Па. Толщина слоев составляла 0,1–2,0 мкм, а общая толщина покрытий – до 2–5 мкм.

Покрытие представляет собой чередующиеся слои из титана и соединений титана при их суммарном количестве до 4, каждый слой выполнен в виде последовательной совокупности субслоев титана толщиной от 0,1 до 1,0 мкм, нитрида титана толщиной от 0,5 до 2,0 мкм, карбоксинитрида титана толщиной от 0,1 до 0,5 мкм и карбоксида титана, содержащего от 15 до 30 масс.% карбидной фазы, толщиной от 0,5 до 2,0 мкм [2].

Первый субслой титана в составе покрытия играет роль адгезионного слоя. Субслои титана, расположенные между слоями соединений титана, играют, в основном, демпферную роль и снижают возникающие в процессе эксплуатации покрытия механические напряжения. Толщина этого слоя может составлять величину от 0,1 до 1,0 мкм и зависит от конкретного вида упрочняемого основания и состояния его поверхности – с повышением шероховатости необходимая толщина адгезионного должны быть увеличена.

Каждый упрочняющий слой в составе покрытия представляет собой последовательную совокупность субслоев нитрида титана, карбоксинитрида титана и карбоксида титана. Субслой карбоксида титана является внешним слоем заявляемого покрытия и несет основную нагрузку в его составе. Выбор именно этого материала основан на его высокой твердости, обусловленной высокой энергией химической связи и чрезвычайно мелкой кристаллической структурой. По сути карбоксид титана является композитом, состоящим из диоксида титана и его карбида. В процессе формирования этого субслоя диоксид и карбид конкурируют друг с другом и взаимно подавляют рост кристаллов. Таким образом, нанесенные покрытия имеют мелкодисперсную поликристаллическую структуру со средними размерами зерен от 15 до 50 нм.

Толщина внешнего субслоя карбоксида титана в составе покрытия определяется возможными эксплуатационными нагрузками и выбрана в интервале от 0,5 до 2,0 мкм. Толщина

менее 0,5 мкм не обеспечивает приемлемый срок эксплуатации упрочняемого инструмента, а использовать толщину более 2,0 мкм нецелесообразно по экономическим критериям, т.к. увеличение затрат на формирование покрытия не приводит к дальнейшему росту его износостойкости.

Количество упрочняющих слоев в покрытии выбирается на основании экономических критериев в зависимости от вида обрабатываемого материала. С повышением твердости материала количество слоев повышают, однако, как установлено экспериментально, использование более четырех упрочняющих слоев не приводит к дальнейшему повышению эффективности процесса обработки.

Соотношение элементов в покрытии практически не меняется при изменении давления реакционных газов. Содержание фаз карбидов и оксидов титана изменяется при изменении давления углекислого газа. В зависимости от режимов нанесения доля карбидной фазы составляет 15–30 % для покрытий Ti–TiN–TiNCO–TiCO и 6–20 % для покрытий Ti–TiCO. При повышении давления реакционного газа от 0,02 до 0,5 Па содержание стехиометрического карбида титана в покрытиях существенным образом снижается.

В зависимости от режимов нанесения доля карбидной фазы составляет от 15 до 30%. При повышении давления реакционного газа от 0,02 до 0,5 Па содержание стехиометрического карбида титана в покрытиях существенным образом снижается (отношение TiC/TiO₂ уменьшается с 0,8 до 0,1).

Исследованные покрытия имеют развитый рельеф поверхности. Среднеквадратическая шероховатость поверхности покрытий составляет 50–120 нм. По-видимому, наблюдаемая структура поверхности покрытий определяется наличием макродефектов и большим содержанием карбидной фазы. Минимальную шероховатость (около 50 нм) имеют покрытия, полученные при давлении реакционного газа ~ 0,2–0,3 Па.

С увеличением доли карбидной фазы в поверхностном слое покрытий их микротвердость возрастает и составляет 12–20 ГПа. При содержании карбидной фазы менее 15 мас.% чрезмерно падает твердость покрытия, а при увеличении содержания карбидной фазы более 30 мас.% возрастает коэффициент трения. Максимальной твердостью (~ 20 ГПа) характеризуются покрытия системы Ti–TiN–TiNCO–TiCO, полученные при давлении углекислого газа 0,25–0,3 Па.

Скорость износа покрытий при трибологических испытаниях в режиме сухого трения не превышает 10^{-6} – 10^{-7} мм³/Н·м. Наблюдается снижение коэффициента трения с 0,5 до 0,12 при увеличении давления реакционного газа до с 0,05 до 1,0 Па. Максимальную износостойкость имеют многослойные покрытия системы Ti–TiN–TiNCO–TiCO с чередованием толстого слоя TiN (до 2 мкм) и тонких слоев TiNCO и TiCO (до 1 мкм).

Покрытия на стали 9ХС, закаленной до 60 HRC, формировали в среде CO₂ при давлении $4 \cdot 10^{-1}$, $1 \cdot 10^{-1}$ и $6,5 \cdot 10^{-2}$ Па. Как показали исследования методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, для спектров электронов Ti2p характерно наличие основного максимума в области (457,8±0,2) эВ, что почти на 1 эВ ниже энергии связи в диоксиде титана (E_{св} = 458,6 эВ). Более низкая энергия связи Ti–O наблюдается из-за частичного замещения атомов кислорода атомами углерода в структуре оксида титана с образованием оксикарбида Ti(C_xO_y). Подтверждением наличия монокарбида служит присутствие в спектрах Ti2p пиков в области (455,5±0,2) эВ [3–5]. Кроме того, можно выделить пики с большей (456,6 эВ) и меньшей (453,8–454,4 эВ) энергией связи, что, по-видимому, связано с образованием нескольких наночастиц нестехиометрического карбида титана (TiC_x).

Для спектров углерода этих покрытий, как и во всех рассматриваемых образцах, характерна сложная структура, связанная с присутствием нескольких различных соединений. Наличие пиков в области 287–288 эВ подтверждает присутствие на поверхности связей углерода с кислородом (–C–O и –C=O) в карбонильных и карбоксильных группах. Кроме того, в спектрах C1s всех образцов наблюдаются пики в области 282,6–283,6 эВ, которые могут быть связаны с образовавшимися связями атомов углерода и титана. Эти значения несколько выше, чем для

стехиометрического монокарбида титана (281,2–281,7 эВ) [3–5]. Причем с увеличением давления газа пик, отвечающий за связь C–Ti, постепенно смещается в сторону увеличения энергии от 282 до 283,5 эВ, что может быть связано с изменениями соотношения углерода и титана в результате образования нестехиометрических карбидов. Как известно, их наличие и концентрация могут существенно влиять на микротвердость сформированных покрытий из-за изменения статистического веса sp^3 связей атомов [6].

Таким образом, поверхность покрытий, сформированных в атмосфере углекислого газа, представляет собой композит, состоящий, в основном, из оксикарбидов титана, диоксида титана и карбидов, имеющих переменный состав. Разработанные покрытия могут быть использованы для повышения эксплуатационных свойств различных изделий, включая металло- и деревообрабатывающий инструмент, плунжерное оборудование, штамповую оснастку.

Литература

1. И.Л. Поболь, А.Г. Дениженко, Е.В. Станкевич, С.О. Селифанов. Наноструктурированные износостойкие вакуумно-плазменные покрытия на инструменте и деталях машин // Вестник двигателестроения. – № 1. – 2014. – С. 91-97.
2. Патент ВУ 23341 С1 2021.02.028
3. Нефедов, В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений. Справочник / В.И. Нефедов. — М.: Химия, 1984. – 256 с.
4. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии // Под ред. Д. Бриггса и М.П. Сиха. - Москва: Мир, 1987. – 503 с.
5. Wagner, C.D. Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy. Physical electronics Div. / C.D Wagner, W.M. Rigys, L.E. Davis. - Percin-Elmer Corp., Eden Prairie, MN, 1979. – 92 p.
6. Фотоэлектронная спектроскопия и дифракция как метод исследования поверхности. Практические приложения / М.В. Кузнецов [и др.] // Фазовые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы. - 2009. – №8. – С.1–4.

Кукареко В.А., Кушнеров А.В.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Введение. Наноструктурные покрытия имеют широкую область применения для деталей машин и инструментов, изготавливаемых из различных материалов. Использование покрытий позволяет объединить свойства двух материалов – подложки и самого покрытия и получить поверхностную слоистую композицию, обладающую характеристиками, которые не могут быть получены при использовании одного материала. Высокие твердость, износостойкость, а также химическая стабильность покрытий на основе нитрида титана обеспечили их широкое использование в различных отраслях промышленности [1,2]. Более перспективными являются многоэлементные нитридные покрытия, в частности TiCrN . Однако известно, что повышенная твердость покрытий часто сопровождается снижением их трещиностойкости [3,4]. Образование трещин в покрытиях существенно снижает их надежность и долговечность, поскольку позволяет кислороду легко проникать к поверхности подложки, вызывая ее интенсивное окисление, особенно при повышенных температурах. Кроме того, образование свободных краев покрытия по краям трещин приводит к возникновению в данных областях концентраторов сдвиговых и нормальных напряжений, что способствует отслоению и скалыванию покрытий [5,6]. Для улучшения свойств наноструктурных покрытий может применяться отжиг [7]. Поэтому представляет интерес исследовать влияние отжига покрытий TiCrN на их трещиностойкость.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования являются образцы покрытий TiCrN , сформированные методом сепарируемого вакуумно-дугового осаждения на подложку из сплава $\text{Zr}_{2,5}\text{Nb}$. Толщина покрытий составляет 6-7 мкм.

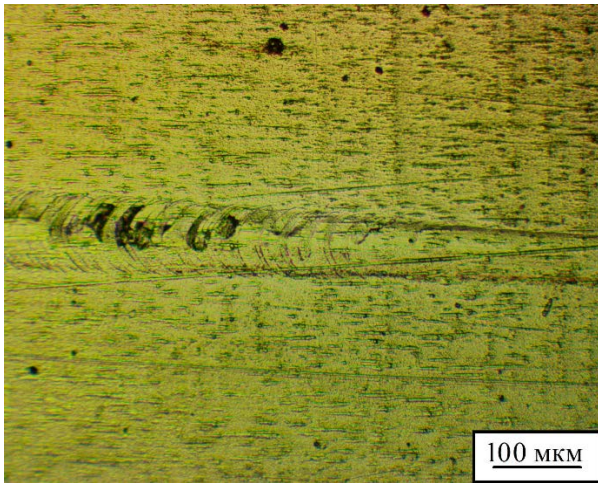
Отжиг покрытий TiCrN проводился на воздухе в муфельной печи SNOL 7,2/1100 при температурах 500 и 530 °С в течение часа

Скретч-тестирование проводилось на трибометре MFT-5000. К поверхности образца с покрытием подводится индентор Роквелла (алмазный наконечник с радиусом при вершине 20 мкм и углом 120°). Индентор перемещался вдоль поверхности на расстояние 5,0 мм и одновременно прикладывалась постепенно увеличивающаяся нагрузка в пределах 1...48 Н. В итоге на поверхности формировалась царапина переменной глубины. Скорость нагрузки индентора – 14 Н/мин, скорость перемещения индентора – 1 мм/мин.

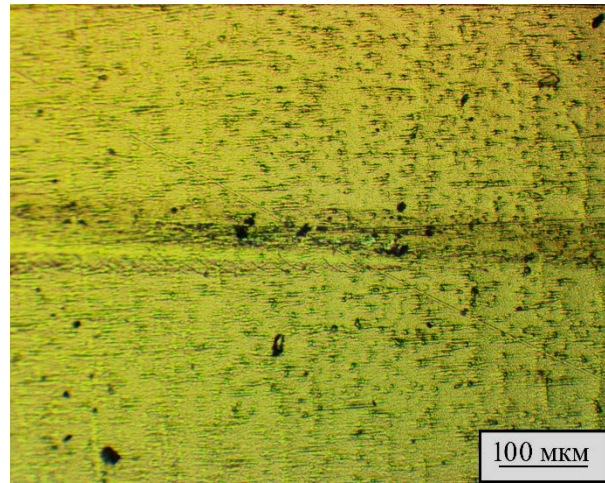
Исследование поверхности покрытий и царапин проводилось с помощью микроскопа Альтами MET 1MT и программного обеспечения AltamiStudio 3.3

Результаты и их обсуждение. Внешний вид царапин, полученных в результате скретч-тестирования, представлен на рисунке 1. Наименьшая нагрузка, при которой наблюдается характерное для покрытия разрушение, называется критической нагрузкой (L_c). L_{c1} обычно соответствует началу когезионного разрушения покрытия (трещинообразование), L_{c2} – первые отслоения (частичные или полные) покрытия от подложки, L_{c3} – полный износ или разрушение покрытия [8-10]. Характеристикой трещиностойкости выбрана нагрузка L_{c1} , при которой образовывались первые трещины на поверхности царапины.

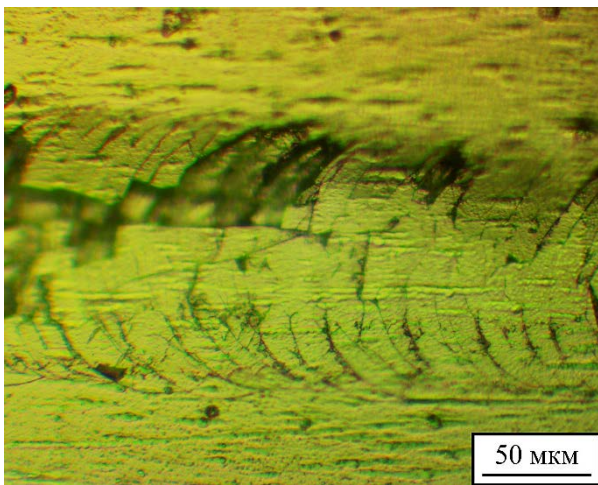
Формирование первых трещин происходит вдоль краев царапины. Это связано с тем, что в процессе царапания происходит пластическое отеснение материала подложки из области вдавливания индентора, и при этом возможно образование навалов по краям царапины. При достижении определенной нагрузки и глубины проникновения индентора в образец, высота навалов возрастает и в зонах максимальной локальной кривизны поверхности покрытия вдоль



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Изображения царапин на поверхности покрытий TiCrN в исходном состоянии (а, в) и после отжига в течении часа на воздухе при 500 °С (б)

краев царапины образуются трещины [11]. В исходном состоянии покрытия TiCrN критическая нагрузка L_{c1} составила 7,9 Н. После отжига при 500 °С, 6 Н, при 530 °С, 6 Н. Значительное уменьшение критической нагрузки связано с разупрочнением покрытия и (см. табл. 1) и увеличением пластического оттеснения материала. При дальнейшем увеличении нагрузки на индентор на дне царапины начинают образовываться трещины, направление которых, перпендикулярно направлению движения индентора (поперечные трещины). Это происходит, когда одновременный рост приложенной нагрузки и коэффициента трения обуславливает существенное увеличение растягивающих напряжений, вызванных трением [11]. Образование поперечных трещин покрытия TiCrN в исходном состоянии происходит при нагрузке 8,1 Н, а после отжига 500 °С, 1,0 ч. В таблице 1 представлены дюрометрические характеристики покрытий TiCrN.

Таблица 1 – Значения микротвердости покрытий TiCrN

Покрытие	HV 0,025
TiCrN исх. состояние	2600-2800
TiCrN отжиг 500 °С	2150-2250
TiCrN отжиг 530 °С	1800-2000

Таким образом, отжиг покрытий TiCrN приводит к снижению нагрузки трещинообразования, что связано с разупрочнением покрытия и уменьшением его микротвердости.

Заключение. Исследовано влияние отжига на трещиностойкость вакуумно-дуговых покрытий TiCrN.

Установлено, что в результате отжига покрытий TiCrN при 500 и 530 °С критичная нагрузка образования продольных трещин уменьшается, что связано с разупрочнением покрытия.

Литература

1. Musil, J. Hard nanocomposite coatings: Thermal stability, oxidation resistance and toughness / J. Musil // *Surface and Coatings Technology*. – 2012. – Vol. 207. – P. 50–65.
2. Cavaleiro, A. Nanostructured Coatings / A. Cavaleiro, J. T. M. De Hosson (ред.) // Berlin: Springer-Verlag, – 2006. – 648 p.
3. Zhang, S. Ni-toughened nc-TiN/a-SiN, nanocomposite thin films / S. Zhang, D. Sun, Y. Fu, Y.T. Pei, J.Th.M. De Hosson // *Surf. Coat. Technol.* – 2005. – V. 200. – P. 1530-1534.
4. Wang, C. Toughness enhancement of nano structured hard coatings: Design strategies and toughness measurement techniques / C. Wang, K. Shi, C. Gross, J.M. Pureza, M. de M. Lacerda, Y.W. Chung // *Surf. Coat. Technol.* – 2014. – V. 257. – P. 206-212.
5. Панин, А.В. Влияние наноструктурирования подложки Cu разрушение теплозащитных покрытий SiAlN при одноосном растяжении Ti / А.В. Панин, М.С. Казаченок, А.Р. Шугуров, В.П. Сергеев // *ЖТФ*. -2012. – Т. 15. – № 6. – С. 44-52.
6. Chen, B.F. In situ observation of the cracking behavior of TiN coating on 304 stainless steel subjected to tensile strain / B.F. Chen, J. Hwang, G.P. Yu, J.H. Huang // *Thin Solid Films*. – 1999. – V. 352. – P. 173-178.
7. Константинов, В.М. Адгезия покрытий Ti-N на модифицированной стальной подложке / В.М. Константинов, Г.А. Ткаченко, А.В. Ковальчук // *Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов. Вып. 35 / ред. Колл.: В.И. Тимошпольский [и др.]*. – Минск: БНТУ, 2014. – С. 272–281.
8. Матюнин, В.М. Определение механических свойств и адгезионной прочности ионно-плазменных покрытий склерометрическим методом / В.М. Матюнин, П.В. Быков, Р.Х. Сайдахмедов и др. // *МИТОМ*. – 2002. – № 3. – С. 36 – 39.
9. Гадалов, В.Н. К исследованию механических свойств защитных покрытий методом царапания / В.Н. Гадалов, Ю.В. Болдырев, Ю.Г. Алехин и др. // *Конструирование, использование и надежность машин с/х назначения: сб. науч. работ. межвуз. научн.-практ. конф. Брянск.: БрянскГСХА. – 2004. – С. 245-250.*
10. Хрущев, М.Н. Склерометрия / М.Н. Хрущев // М: Наука. – 1968. – 205 с.
11. Шугуров, А.Р. Исследование трещиностойкости покрытий TiAlN методом скретч-тестирования / А.Р. Шугуров, А.А. Акуликин, А.В. Панин [и др.] // *Физическая мезомеханика* – 2015 – Т.18 № 6,– С. 66-74

Коррозионная стойкость газотермических покрытий на основе Fe-Al в водном растворе NaCl

Астрашав Е.В., Григорчик А.Н.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Исследована коррозионная стойкость газотермических покрытий из сталей 08Г2С, 40Х13, 06Х19Н9Т, 95Х18, алюминия АД-1 и псевдосплавов «Fe-Al» и «Fe-Ni-Cr» в 10-% водном растворе NaCl. Установлено, что наибольшей коррозионной стойкостью в водной среде NaCl обладают покрытия из алюминия АД-1 и псевдосплавов «Fe-Al» и «Fe-Ni-Cr». Высокая коррозионная стойкость покрытия из псевдосплава «Fe-Al» достигается за счет обволакивания стальных частиц алюминием в процессе напыления, а также за счет образования пленки оксидов алюминия на поверхности алюминиевых прослоек и легированных алюминием железных прослоек. Высокая коррозионная стойкость покрытий из высокохромистых сталей обусловлена их легированием хромом и никелем.

Газотермическое напыление методом высокоскоростной металлизации, позволяет формировать на рабочей поверхности деталей покрытия с широким комплексом свойств, например, таких как высокая износостойкость, коррозионная стойкость, электро/теплопроводность и т.д. Кроме традиционного напыления одного типа проволочного материала, метод ВМ позволяет проводить одновременное распыление двух различных по составу проволок формируя при этом покрытия из псевдосплавов, обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с покрытиями из одного материала. Поскольку актуальной задачей является получение защитных газотермических покрытий с высокой коррозионной стойкостью, то целью данной работы являлось исследование коррозионных свойств данных покрытий различных составов, напыленных методом высокоскоростной металлизации в 10-% водном растворе NaCl.

Изготовление образцов и методики исследований. В качестве объектов исследований были выбраны газотермические покрытия из проволочных сталей 08Г2С, 40Х13, 06Х19Н9Т, 95Х18, алюминия АД-1 и псевдосплавов «Fe-Al» (покрытие «08Г2С+АК12») и «Fe-Ni-Cr» (покрытие «Х20Н80+65Г»). Коррозионные свойства газотермических покрытий исследовались методом погружения и выдержки образцов в 10-% водном растворе NaCl при комнатной температуре. Все нерабочие стороны образца изолировались от коррозионной среды с помощью изолирующей ленты. Определение антикоррозионных свойств образцов покрытий проводилось согласно требований ГОСТ 9.909-86.

Результаты исследований и их обсуждение. Средняя условная скорость коррозии газотермических покрытий и удельная потеря массы представлены в таблице и на рисунке.

Таблица – Средняя условная скорость коррозии газотермических покрытий в 10-% водном растворе NaCl

Материал	Средняя условная скорость коррозии, $\times 10^{-3}$ мг/см ² ·ч
ГТП 08Г2С	9,0
ГТП 40Х13	3,0
ГТП 06Х19Н9Т	4,0
ГТП 95Х18	3,5
ГТП АД-1	0,8
ГТП «Fe-Al»	2,0
ГТП Fe-Ni-Cr	1,4

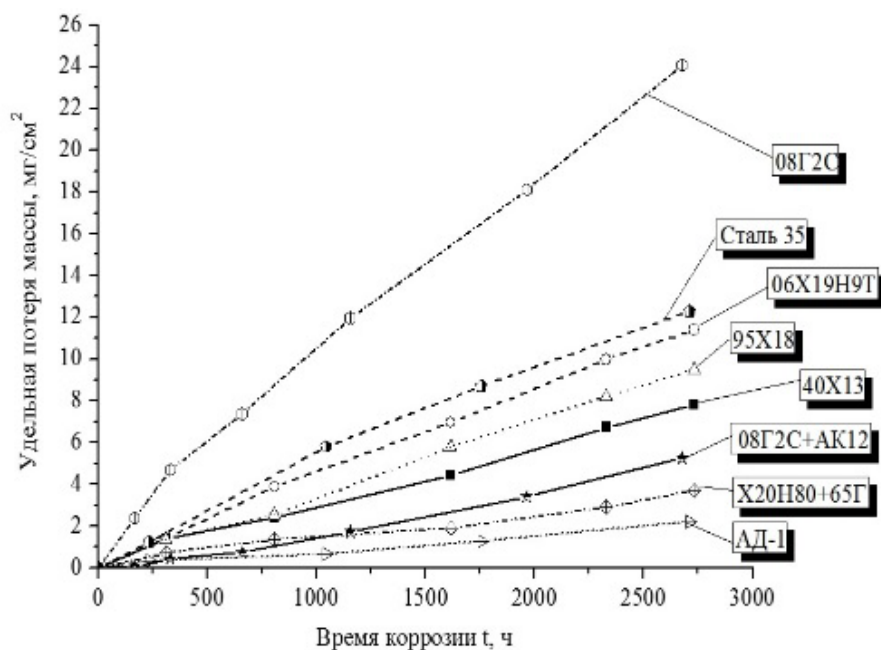


Рисунок – Удельная потеря массы исследуемых образцов в зависимости от времени коррозии

Из результатов исследований можно видеть, что газотермическое покрытие из проволоочной стали 08Г2С характеризуется максимальной скоростью коррозии ($\approx 9,0 \times 10^{-3}$ мг/см²·ч) среди исследуемых покрытий, что связано с низкой коррозионной стойкостью стальных частиц, а также наличием в покрытии большого количества пористых оксидов железа, сформировавшихся при напылении. Через рыхлые оксиды железа ионы коррозионной среды проникают к стальной частице с последующим образованием гидроксидов и хлоридов. В результате образования под оксидами FeO и Fe₃O₄ продуктов коррозии происходит отслоение оксидов от стальных частиц и удаление их из покрытия. Таким образом, повышенное содержание пористых оксидов железа в газотермических покрытиях, может способствовать ускоренной потере их массы при коррозионных испытаниях.

Покрытия из высокохромистых сталей 40X13, 06X19H9T, 95X18 и псевдосплава «Fe-Ni-Cr» имеют высокую коррозионную стойкость в 10-% водном растворе NaCl, что обусловлено легированием покрытий атомами хрома и никеля. Наибольшей коррозионной стойкостью в 10-% водном растворе NaCl обладают газотермические покрытия из алюминиевого сплава АД-1 и псевдосплавов «Fe-Al», «Fe-Ni-Cr». В частности, скорость коррозии алюминиевого покрытия из АД-1 составляет $\approx 0,8 \times 10^{-3}$ мг/см²·ч. Низкая скорость коррозии покрытия из алюминия обусловлена низкой энергией пассивации алюминия, в результате чего на поверхности покрытия образуется защитная пленка из оксида алюминия. Высокая коррозионная стойкость покрытия из псевдосплава «Fe-Al» обусловлена обволакиванием стальных частиц алюминием в процессе напыления, а также образованием антикоррозионной пленки оксидов Al₂O₃, как на поверхности прослоек алюминия, так и на поверхности легированных алюминием прослоек железа. В пользу легирования стальных частиц алюминием свидетельствует значение параметра кристаллической решетки α-Fe в покрытии из псевдосплава «Fe-Al» ($a=0,28753$ нм), которое существенно превышает соответствующее значение параметра кристаллической решетки α-Fe для покрытия стали 08Г2С ($a=0,28665$ нм). Значительное увеличение параметра кристаллической решетки α-Fe покрытия из псевдосплава «Fe-Al» связано с растворением в нем алюминия, имеющего большой атомный радиус $R_{ат}=0,143$ нм.

Заключение. Исследована коррозионная стойкость газотермических покрытий различных составов в водном растворе NaCl. Показано, что наименьшими антикоррозионными свойствами обладает покрытие из низколегированной стали 08Г2С. Покрытия из высокохромистых сталей 40X13, 06X19H9T, 95X18 и псевдосплава «Fe-Ni-Cr» имеют высокую коррозионную стойкость в 10-% водном растворе NaCl, что обусловлено их легированием атомами

хрома и никеля. Максимальными антикоррозионными свойствами обладают покрытия из алюминия АД1 и псевдосплавов «Fe-Al» и «Fe-Ni-Cr». Высокая коррозионная стойкость покрытий, содержащих сталь и алюминий, обусловлена обволакиванием стальных частиц алюминием в процессе напыления, а также образованием антикоррозионной пленки оксидов Al_2O_3 , как на поверхности прослоек алюминия, так и на поверхности легированных алюминием прослоек железа.

**Формирование оксидных покрытий на поверхности
вентильных металлов с применением высокочастотного импульсного
микродугового оксидирования**

Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Будницкий А.С.
Белорусский национальный технический университет

Микродуговое оксидирование (МДО) относится к экологически безопасным процессам, так как позволяет проводить обработку в электролитах с низкой концентрацией неагрессивных компонентов, а также отсутствует необходимость тщательной предварительной подготовки поверхности перед обработкой. Данный вид обработки относится к электрохимическим процессам и отличается от традиционного анодного оксидирования образованием локальных электрических искровых и микродуговых микроплазменных разрядов на обрабатываемой поверхности, в результате чего существенно увеличивается скорость формирования тонкого слоя керамикоподобного пористого покрытия с различным элементным и полифазовым составом [1]. Кроме того, процесс ведется при более высоких напряжениях – до 1000 В, причем чаще используется не постоянный, а переменный и импульсный токи. В особенности отмечается, что биполярный импульсный режим отличается мягкостью, регулируемым соотношением амплитудно-частотных значений катодного и анодного токов, что позволяет получать покрытия с большей толщиной, хорошей структурой и низкой пористостью [2].

Метод микродугового оксидирования широко используется для нанесения покрытий на многие вентильные металлы и их сплавы, в том числе на алюминиевые и титановые, широко применяемые в машиностроении. Недостатками традиционных методов МДО являются большая продолжительность обработки (до 120 мин) для формирования оксидных слоев необходимой толщины с требуемыми свойствами и, соответственно, высокие энергетические затраты. Такая большая длительность процесса традиционной МДО вызвана тем, что толщина формируемого оксидного слоя определяется количеством воздействующих технологических импульсов. Так, рабочая частота традиционного процесса МДО составляет 50 Гц, а технологические импульсы тока следуют с периодом 10 мс.

Решением проблем, связанных с повышением производительности процесса и значительным снижением времени обработки при одинаковой толщине оксидного слоя является предложенный нами метод, основанный на использовании полностью управляемых по амплитуде и длительности разнополярных импульсов напряжения 100–500 В низкой частоты 0,05–1 кГц с одновременным наложением в анодный полупериод технологических импульсов амплитудой 600–1000 В высокой частоты (до 10 кГц). Использование высокочастотных режимов МДО позволяет существенно увеличить количество технологических импульсов тока в единицу времени и существенно уменьшить продолжительность обработки (до 3–4 раз). Использование регулируемой длительности и амплитуды технологических импульсов позволяет управлять потоками энергии в зонах пробоя оксидных слоев. Такого рода технологические режимы перспективны для получения оксидных слоев с низкой шероховатостью (R_a до 0,2–0,63 мкм) на алюминии и титане.

Дополнительное наложение на чередующиеся низкочастотные импульсы высоких по амплитуде высокочастотных импульсов в анодный полупериод позволяет обеспечить более легкий пробой пленки за счет повышения суммарного тока в этот полупериод, создает благоприятные условия для организации разрядов не только на оксидных пленках с явно выраженными вентильными свойствами, но и на других металлах. Использование высокочастотных импульсов способствует улучшению структуры покрытий, обеспечивает их мелкокристаллическую структуру, приводит к повышению их плотности и микротвердости, уменьшению пористости. При этом высокочастотные импульсы имеют большую амплитуду напряжения, но меньшую мощность, чем низкочастотные импульсы. За счет большей амплитуды именно высокочастотные импульсы инициируют микродуговой процесс в дефектных местах покрытия,

что обеспечивает его более плотное формирование.

Установлено, что при регулировании энергии в каналах пробоя формируемые покрытия отличаются более высокой термостабильностью и высокими значениями электросопротивления по сравнению с покрытиями, полученными без ограничения энергии. Соответственно и другие физико-химические свойства покрытий, сформированные с использованием разработанного метода МДО, также могут контролироваться при регулируемой длительности и амплитуде технологических импульсов, что оказывает влияние на такие конечные характеристики МДО-покрытий, как твердость, пористость, пробойное напряжение и т.д. Эти режимы определяются выходными параметрами источника питания для МДО, определяющими начало и окончание микродугового разряда в каждом периоде.

Литература

1. Суминов, И. В. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборуд.)/ И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин, Б. Л. Крит, А. М. Борисов — М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Yilmaz M. S., Sahin O. Investigation of the High Energy Single Pulses Affect on Micro Arc Oxidation Process on Aluminium. Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'18). Madrid, Spain – August 16 – 18, 2018.

Разработка импульсной электролитно-плазменной технологии размерной и финишной обработки металлических материалов

Королёв А.Ю., Нисс В.С., Паршутто А.Э., Сорока Е.В.
Белорусский национальный технический университет

Одним из прогрессивных методов повышения качества поверхности металлических изделий является электролитно-плазменная обработка (ЭПО), которая широко используется для полирования, удаления заусенцев и очистки изделий медицинского назначения, декоративных изделий, деталей машин и приборов, а также с целью с повышения физико-механических и химических свойств поверхности, подготовки поверхности для нанесения покрытий. Основным недостатком метода является высокая энергоёмкость. Плотность мощности в процессе обработки может достигать 300 Вт/см^2 , поэтому метод можно отнести в его классическом виде к энергоёмкому производству [1].

Для снижения энергоёмкости и повышения эффективности процесса ЭПО металлических материалов при сохранении высокой интенсивности, качества обработки и экологической безопасности нами предложен принципиально новый импульсный метод (импульсная ЭПО), совмещающий преимущества как электрохимической обработки, так и ЭПО. Метод реализуется за счет совмещения в пределах одного импульса миллисекундной длительности амплитудой по напряжению 90 В и более двух чередующихся стадий: электрохимической и электролитно-плазменной (рис. 1). На осциллограмме (рис. 1а) видно, что во время электрохимической стадии при увеличении напряжения происходит значительный рост силы тока, а при достижении определенного значения напряжения возникает электролитно-плазменная стадия, во время которой протекает высокочастотный ток намного меньшей амплитуды.

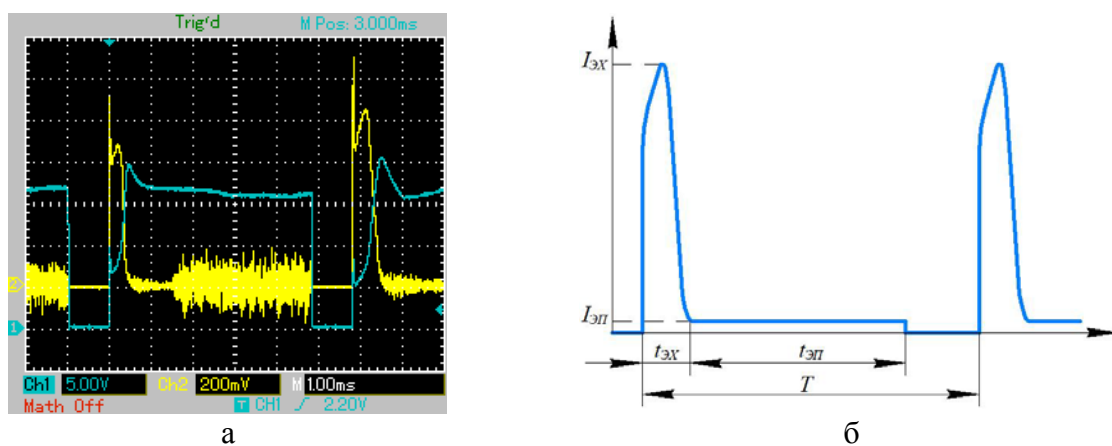


Рисунок 1- Импульсные характеристики процесса: а – осциллограммы напряжения (зеленая линия) и тока (желтая линия); б – диаграмма импульсов тока

На рис. 1б представлена диаграмма изменения силы тока в пределах одного импульса с периодом следования T . Высокая эффективность достигается за счет основного интенсивного съема металла при реализации электрохимической стадии длительностью $t_{ЭХ}$ с высоким значением силы тока $I_{ЭХ}$ и оптимизации продолжительности электролитно-плазменной стадии $t_{ЭП}$, при которой обеспечивается высокое качество поверхности. Уменьшение периода следования импульсов T при снижении их длительности позволяет увеличить электрохимическую составляющую процесса и обеспечить более интенсивный съем металла, удалить значительные неровности поверхности. Повышение периода следования импульсов T при одновременном повышении их длительности позволяет увеличить электролитно-плазменную составляющую процесса и достигнуть низкой шероховатости при общем снижении энергоёмкости процесса.

Период следования импульсов T включает длительности электрохимической стадии $t_{эx}$, электролитно-плазменной стадии $t_{эп}$ и паузы между импульсами. Длительность импульса t состоит из длительностей $t_{эx}$ и $t_{эп}$. Во время электрохимической стадии происходит основной съём металла, поэтому ее длительность оказывает наиболее существенное влияние на производительность импульсного процесса. Плотность тока в коротком высокоэнергетическом пике электрохимической стадии ($t_{эx}$) достигает сверхвысоких значений, на порядок превышающих соответствующие значения для существующих электрохимических процессов, за счет чего обеспечивается большой съём металла. Так, с повышением напряжения импульса с 90 В до 240–300 В происходит пропорциональное увеличение плотности тока с 100–130 А/см² до 330–400 А/см² (концентрация электролита – 20 %, длительность импульса – 5 мс).

Так же, как и при традиционной ЭПО с применением постоянного тока, в импульсном процессе ЭПО величина напряжения подаваемого импульса и температура электролита оказывают определяющее влияние на условия формирования парогазовой оболочки, то есть на изменение длительности электрохимической стадии. Чем выше напряжение импульса и температура электролита, тем меньше энергии и времени требуется для формирования парогазовой оболочки вокруг образца и возникновения электролитно-плазменной стадии, соответственно, тем меньше продолжительность электрохимической стадии. Зависимости длительности электрохимической стадии от напряжения обработки при различных значениях температуры электролита (концентрация электролита – 20 %, длительность импульса – 5 мс) представлены на рис. 2. При обработке в холодном электролите (30 °С) при напряжении 90 В электрохимическая стадия занимает всю длительность импульса – 5 мс. Электролитно-плазменная стадия возникает при повышении напряжения импульса до 120 В ($t_{эx} = 3,75$ мс). С дальнейшим повышением напряжения до 300 В длительность электрохимической стадии уменьшается до 2 мс. При значениях температуры электролита 60 °С и 90 °С электролитно-плазменная стадия возникает уже при напряжении импульса 90 В. Причем в случае обработки в электролите с температурой 90 °С длительность электрохимической стадии составляет незначительную часть длительности всего импульса (8 %) и уменьшается с 0,4 до 0,18 мс при изменении напряжения с 90 до 240 В.

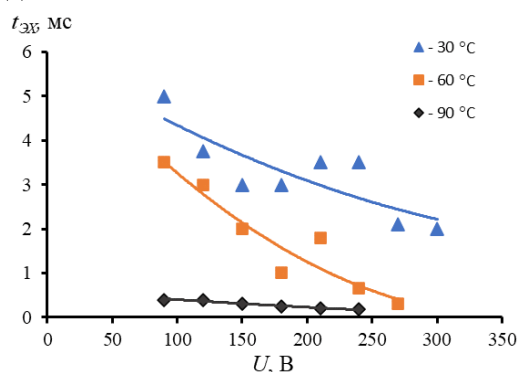


Рисунок 2- Влияние напряжения на длительность электрохимической стадии процесса при различных значениях температуры электролита

Для оценки эффективности использования импульсного процесса ЭПО вместо традиционного ЭПО при постоянном напряжении выполнен расчет энергозатрат, необходимых съема равного слоя металла с поверхности образца. Обработка образцов площадью 0,42 см² с применением двух методов выполнялась с длительностью, необходимой для уменьшения их диаметра с 1,80 до 1,70 мм (съём 100 мкм). ЭПО выполнялась при следующих параметрах: напряжение – 160 В, концентрация электролита – 4 %, температура электролита – 80 °С. Импульсная ЭПО выполнялась при тех же параметрах, при этом длительность импульса составляла 5 мс с периодом следования 6 мс. Время, необходимое для уменьшения диаметра образца на 100 мкм, составило: для ЭПО с применением постоянного тока – 769 с (скорость съема – 7,8 мкм/мин), для импульсного ЭПО – 150 с (40,0 мкм/мин). Таким образом, скорость съема в

импульсном процессе ЭПО более, чем в пять раз превысила скорость съема в традиционном процессе ЭПО с применением постоянного тока.

Расчет энергии, потребляемой в импульсе, показывает, что в высокоэнергетическом пике электрохимической стадии, когда происходит основной съем металла за счет высокой плотности тока, мощность достигала значения 1600 Вт. Мощность в электролитно-плазменной стадии составляла 34 Вт (рис. 3а). Суммарные затраты энергии, необходимой для уменьшения диаметра образца на 100 мкм, в импульсном процессе на 19 % меньше, чем в традиционном процессе при постоянном напряжении. При этом в структуре энергозатрат импульсного процесса 83 % занимает электрохимическая стадия, обеспечивающая высокую производительность процесса (рис. 3б).

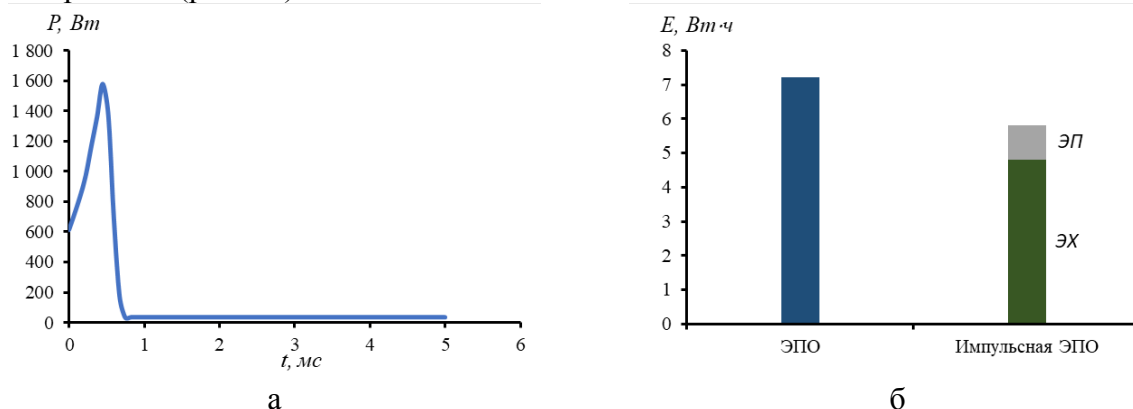


Рисунок 3- Результаты расчета эффективности использования импульсного процесса ЭПО: а – изменение мощности потребляемой мощности во времени импульса; затраты электроэнергии в импульсном процессе ЭПО и традиционном ЭПО при постоянном напряжении

Примеры изделий из коррозионностойкой стали после полирования в импульсном процессе ЭПО представлены на рис. 4.



Рисунок 4- Образцы изделий из коррозионностойкой стали после полирования в импульсном процессе ЭПО

Литература

1. Электролитно-плазменная обработка при нестационарных режимах в условиях высокградиентного электрического поля / Ю. Г. Алексеев [и др.] // Наука и техника. 2017. Т. 16, № 5. С. 391–399. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-5-391-399>.
2. Технология полирования с применением комплексного электрохимического и электролитно-плазменного воздействия в управляемых импульсных режимах / А.Ю. Королёв, В.С. Нисс, А.Э. Паршутто // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: мат. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апреля 2019 г. – Могилев: БРУ, 2019. – С. 51–52.

Модифицирование поверхности титана с применением электролитно-плазменного нагрева

Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Будницкий А.С., Сенченко Г.М.
Белорусский национальный технический университет

Благодаря особым свойствам титан и сплавы на его основе получили в настоящее время широкое распространение при производстве ряда ответственных изделий. Эти материалы применяются в самолетостроении, атомной энергетике, космической технике, ультразвуковой технике, а также при производстве изделий медицинского назначения. При этом именно производство изделий медицинского назначения является в последнее время одной из важнейших сфер применения титана и его сплавов [1, 2].

К важнейшим преимуществам титана и титановых сплавов относятся малая плотность, высокая удельная прочность, высокая жаропрочность и чрезвычайно высокая коррозионная стойкость, обусловленная способностью титана образовывать на поверхности тонкие сплошные оксидные пленки. При этом имеются недостатки, которые ограничивают, а в некоторых случаях делают невозможным применение титана при изготовлении многих изделий. К ним относятся низкая износостойкость и усталостная прочность, плохие антифрикционные свойства, обусловленные налипанием частиц титана на контртело, в особенности при работе пары трения титан-титан. Поэтому применение изделий из титана и его сплавов в узлах трения и в подвижных соединениях является крайне ограниченным. Обладая незначительной толщиной оксидной пленки и большой реакционной способностью участков поверхностей, образующихся в процессе трения, титан склонен к схватыванию с последующим повреждением поверхностей контакта.

Существующие способы повышения твердости, износостойкости и антифрикционных характеристик поверхности изделий авиационной техники, машиностроения и медицины из титана и его сплавов, применяемые в настоящее время в мировой практике, основаны на модифицировании поверхностного слоя с применением ионно-плазменных и химико-термических методов. Применяемые методы позволяют получать на поверхности титана и его сплавов упрочненные слои с микротвердостью до 20 ГПа толщиной до 0,2 мм.

Повышение прочностных и антифрикционных свойств поверхности титана и его сплавов методом химико-термической обработки достигается за счет диффузионного насыщения азотом, бором, кремнием, металлами. Наиболее распространенным видом химико-термической обработки титана и титановых сплавов является азотирование, позволяющее добиться высоких значений микротвердости. Химико-термическое азотирование титана достигается нагреванием его в атмосфере аммиака или азота, соответственно, при 870 и 980 °С. Недостатком метода является ухудшение таких механических свойств титана, как прочность, пластичность и вязкость, что связано с образованием на поверхности, наряду с нитридным, также и гидридного слоя. Другим недостатком способа является малая глубина упрочненного слоя – до 0,16 мм. Кроме того, максимальное упрочнение поверхности достигается после очень продолжительной обработки – 16 ч. Ионно-плазменное азотирование обеспечивает диффузионное насыщение поверхностного титана и титановых сплавов азотом в азотной плазме при температуре 800–950 °С. Кроме повышения износостойкости и антифрикционных характеристик, метод обеспечивает повышение коррозионной стойкости поверхности титана. К недостаткам метода необходимо отнести сложность его реализации, необходимость дорогостоящего технологического оборудования и достаточно большую длительность обработки – 3–6 ч.

В качестве альтернативы существующим методам модифицирования поверхности титана и титановых сплавов нами предложен метод электрохимико-термической обработки – электролитно-плазменный нагрев в азот- или углеродсодержащем электролите с последующей закалкой путем отключения рабочего напряжения. При подаче напряжения в диапазоне 100–

300 В на электрохимическую ячейку, вокруг заготовки происходит локальное вскипание жидкости за счет выделения джоулева тепла. В этих условиях электролит вблизи поверхности заготовки разогревается до температуры кипения и обрабатываемая заготовка, оказываясь отделенной от основной массы электролита, разогревается до температур 400–1100 °С. Высокие температуры заготовки позволят проводить насыщение поверхности атомами легких элементов, содержащихся в веществах-донорах, растворенных в электролите. Наличие в электролите углеродсодержащих и азотсодержащих компонентов обуславливает определенный углеродный или азотный потенциал парогазовой оболочки, в результате чего становится возможной химико-термическая обработка. В условиях электролитно-плазменного нагрева интенсифицируются диффузионные процессы, что позволит значительно сократить время химико-термической обработки до 5–10 мин.

Преимуществами такого метода перед другими существующими методами термической обработки является высокая скорость нагрева заготовки (до 250 °С/с), а также высокая скорость диффузионного насыщения (до 100 мкм/мин). Кроме того, применение электролитно-плазменного нагрева позволяет сформировать на поверхности защитный оксидный слой, обеспечивающий дополнительное повышение коррозионной стойкости.

Литература

1. Veiga C., Davim J.P., Loureiro A.J.R. (2012). Properties and applications of titanium alloys: a brief review. *Rev. Adv. Mater. Sci.* – No.32(2). – Pp. 133-148.
2. Inagaki I., Takechi T., Shirai Y., Ariyasu N. (2014). Application and features of titanium for the aerospace industry. *Nippon steel & sumitomo metal technical report.* – No.106. – pp. 22-27.

**Получение светопоглощающих покрытий на поверхностях
изделий из алюминиевых и титановых сплавов на основе
микродугового оксидирования**

Алексеев Ю.Г., Нисс В.С., Паршутто А.Э., Сенченко Г.М.
Белорусский национальный технический университет

Светопоглощающие покрытия применяются в электронно-оптических системах, в приборостроении для снижения рассеянного светового фона, а также при изготовлении приемников излучения, преобразователей солнечной энергии, устройств оптической обработки информации, которые изготавливаются, как правило, из алюминиевых и титановых сплавов. Такие покрытия обеспечивают ослабление фонового излучения. Коэффициент ослабления различается в зависимости от типа и материалов покрытий, химико-физических свойств поверхностей, на которые их наносят.

К светопоглощающим покрытиям предъявляются особые требования: обеспечение заданного спектрального коэффициента отражения и коэффициента яркости; обеспечение механической прочности, твердости и стойкости к воздействию внешней среды в течение срока эксплуатации изделия, высокая адгезия покрытия к основанию. В ряде случаев от покрытия требуется также высокая устойчивость к ультрафиолетовому и ионизирующему излучению, низкому давлению.

Существующие в настоящее время методы получения светопоглощающих покрытий включают химические методы, анодное оксидирование с последующим окрашиванием в анилиновых красителях, электрохимическое осаждение, вакуумно-плазменную обработку, микродуговое оксидирование (МДО). Преимуществом химических методов является возможность обработки поверхностей сложных форм, а также низкая стоимость промышленного оборудования для получения покрытий. Основным недостатком является сложность управления в широких пределах эксплуатационными свойствами покрытий: коэффициентами отражения и яркости, адгезией, износостойкостью. Преимущество вакуумного метода нанесения светопоглощающих покрытий заключается в гибком управлении технологическими параметрами процесса, достижении заданных спектральных значений коэффициента отражения, что весьма затруднительно при использовании химических методов. При этом недостатком является сложность технологии, необходимость контроля большого количества технологических характеристик и высокая стоимость технологического оборудования.

Недостатками применяемых процессов черного никелирования являются как правило низкая коррозионная стойкость, низкая износостойкость формирующихся покрытий, а также их слабое сцепление с металлом основы. Ультратерные пленки, получаемые анодным оксидированием с последующим заполнением пор черным анилиновым красителем не устойчивы к ультрафиолетовому и ионизирующему излучению.

Существующие методы, основанные на применении МДО, обеспечивают высокие прочностные и эксплуатационные характеристики светопоглощающих покрытий: высокую износостойкость, твердость, термостойкость, коррозионную стойкость, хорошую адгезию к основе [1]. Основным недостатком МДО являются низкие коэффициенты поглощения формируемых покрытий. Кроме того, особой проблемой является создание на основе метода МДО таких покрытий как на наружных, так и на внутренних поверхностях длинномерных изделий и изделий сложной формы – внутренних и наружных поверхностей корпусов оптических приборов, которые эксплуатируются в жестких условиях.

В применяемых методах МДО, как правило, используется переменный ток промышленной частоты (50 Гц), что сильно ограничивает возможность управления амплитудно-частотными характеристиками рабочих импульсов и свойствами формируемых оксидных слоев. Поэтому повышение оптических поверхности обычно осуществляется за счет разработки новых

или усовершенствования существующих электролитов для МДО. Причем часто такие электролиты содержат токсичные компоненты и требуют постоянной корректировки в процессе работы, что затрудняет их широкое практическое применение.

Наряду с разработкой новых электролитов решением проблемы получения качественных светопоглощающих слоев на изделиях из алюминиевых и титановых сплавов с низким коэффициентом отражения, является совершенствование характеристик технологических импульсов процесса МДО и создание принципиально новых схем обработки с применением потоков электролита. Поэтому для решения проблемы получения качественных светопоглощающих покрытий, в том числе и на внутренних поверхностях, нами предложено выполнять процесс МДО с управляемыми анодными и катодными импульсами длительностью 3–10 мс с использованием специальной электродно-гидравлической системы. Изменение соотношений длительностей и амплитуд анодных и катодных импульсов тока позволяет значительно расширить технологические возможности процесса оксидирования, что дает возможность управлять характеристиками формируемых светопоглощающих покрытий в широких диапазонах значений. Для формирования на внутренней поверхности трубчатых изделий из алюминиевых и титановых сплавов оксидных слоев разработана специальная электродно-гидравлическая система, позволяющая создать в зоне обработки необходимые электрические и гидравлические условия для успешного протекания процесса микродугового плазменного процесса.

Литература

1. Суминов, И. В. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборуд.)/ И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин, Б. Л. Крит, А. М. Борисов — М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.

Разработка технологии получения коронарных стентов лазерной резкой и электрохимической полировкой

Нисс В.С., Гавриленко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Коронарный стент – это изделие медицинского назначения (ИМН), предназначенное для восстановления просвета в коронарной артерии сердца. Стент представляет собой жесткую конструкцию цилиндрической формы, которая благодаря своим упругим свойствам поддерживает расширенный сосуд. Стент устанавливается (имплантируется) путем введения его по руслу сосуда в область, где на внутренней поверхности образовался слой атеросклеротических бляшек, препятствующих нормальному движению крови и доставке кислорода к тканям сердца. Далее выполняется расширение стента до требуемого диаметра путем подачи давления в баллон, расположенный внутри конструкции. После удаления баллона стент остается внутри сосуда, поддерживая стенку артерии и обеспечивая расширенный просвет. Материал стента должен отвечать требованиям биосовместимости, эластичности, прочности, коррозионной стойкости и радиальной жесткости [1].

Для изготовления стентов могут использоваться различные материалы: нержавеющая сталь 316L, титан, платиноиридиевые сплавы, тантал, кобальт-хромовые сплавы, различные виды полимеров. Для коронарных стентов, из-за их миниатюрности, наиболее подходящими являются сплавы на основе кобальта и хрома в виду их высокой прочности, что позволяет уменьшать толщину стоек стента до 0,1 мм. Это значительно снижает частоту послеоперационных рестенозов [2].

Целью проводимых исследований являлась разработка технологии получения опытных образцов коронарных стентов из кобальт-хромового сплава. В качестве исходной заготовки для получения стентов применялись тонкостенные трубки с толщиной стенки от 0,11 мм до 0,16 мм и наружным диаметром от 1,4 мм до 2,8 мм из кобальт-хромового сплава по стандартам ASTM F 90 и ISO 5832-5. Пример химического состава материала трубок представлен в таблице 1.

Таблица 1. – Химический состав кобальт-хромового сплава

Химический элемент	C	Si	P	S	Mn	Ni	Cr	Fe	Co	W
Массовая доля, %	0,07	0,24	<0,02	<0,010	1,2	10,5	20,9	0,63	Баланс	14,8

Сплав обладает высокими механическими свойствами, что позволяет при малых диаметрах и толщинах стента обеспечить радиальную жесткость конструкции. Диаграмма растяжения отожженного материала приведена на рисунке 1.

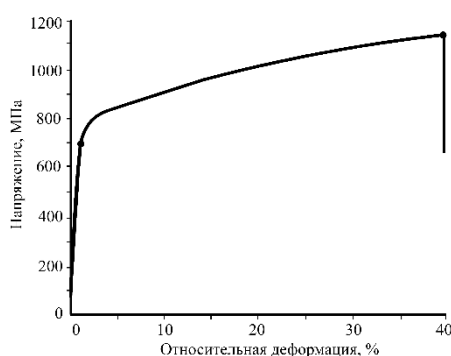


Рисунок 1 – Диаграмма растяжения отожженного кобальт-хромового сплава

Типичные механические характеристики материала трубок представлены в таблице 2. В ряде случаев для исследований применялся сплав в холоднотянутом состоянии после предварительного отжига в вакууме при 1050 °С.

Таблица 2. – Механические характеристики кобальт-хромового сплава

Состояние материала	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Размер зерна по ISO 643
Холоднотянутый	1838	1049	13	10
Отожженный	1177	662	43	9/10

В ходе работ были разработаны и исследованы различные дизайны стентов. Оптимизированный вариант дизайна представлен на рисунке 1а (3D-модель) и рисунке 1в (развертка). Модель стента и процесс его расширения баллоном анализировалась методом конечных элементов в программе ANSYS (рисунок 1б).

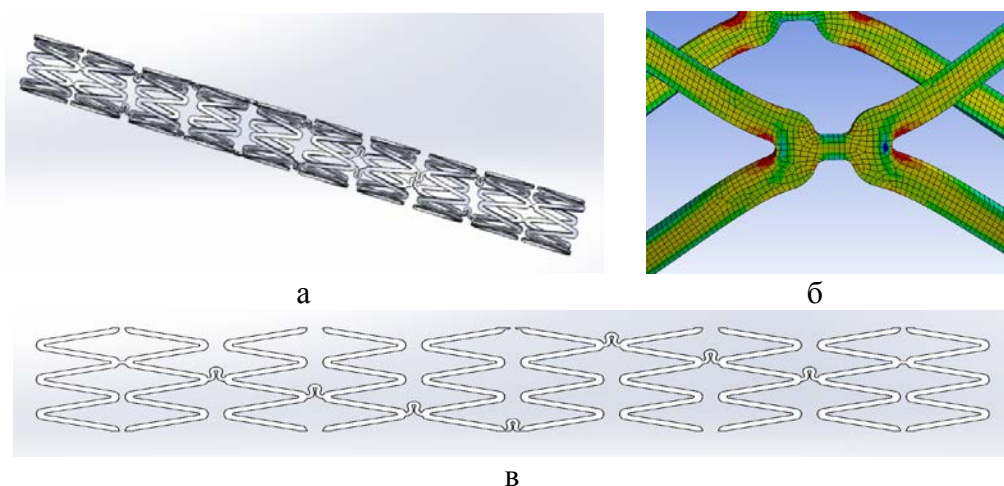


Рисунок 1 Дизайн и модели коронарного стента: 3D-модель (а), расчетный элемент (б), развертка (в)

Каркас стента образован стойками (балками), которые расположены под углом друг к другу и в совокупности образуют замкнутое кольцо. Отдельные кольца соединены между собой переходными элементами (выполняющими роль компенсаторов). Компенсаторы могут иметь различную форму и обеспечивают в первую очередь продольную гибкость стента.

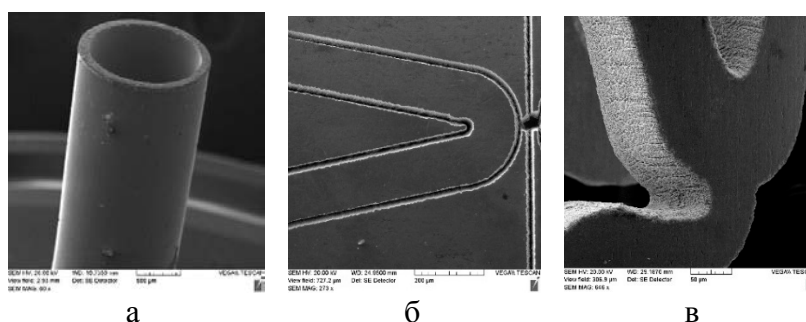


Рисунок 2 – Заготовка стента до (а) и после (б) лазерной резки и после ультразвуковой очистки (в).

Для получения заданного дизайна стента применена резка ультракоротким (фемтосекундным) импульсным лазером в среде азота при давлении 11 – 13 бар на частоте лазера 400 КГц. Энергия и скорость резки подбирались для каждой толщины трубки. Выбор ультракороткого лазера позволил обеспечить малые значения толщины реза и глубины повреждаемой поверхности, важные для обеспечения радиальной жесткости конструкции и достижения

наибольшей площади наружной поверхности стента. Вид исходной трубки и последующего лазерного раскроя представлены на рисунках 2а и 2б соответственно. Обеспечена толщина реза до 20 мкм. На внутренней поверхности стентов практически отсутствует обратный валик, который обычно образуется при резке лазером (рисунок 2в).

Удаление вырезанных фрагментов выполнялось в процессе эффективной ультразвуковой очистки. Вид поверхности после лазерной резки и очистки представлен на рисунке 2в.

Дефектный слой толщиной до 4 мкм, образовавшийся при лазерной резке, требует удаления для обеспечения биосовместимости поверхности стента. Также необходимо обеспечить шероховатость поверхности менее Ra 0,4 мкм. Качество поверхности достигались электрохимическим полированием в смеси этиленгликоля, серной и соляной кислот. Вид полированных элементов стента представлен на рисунке 3.

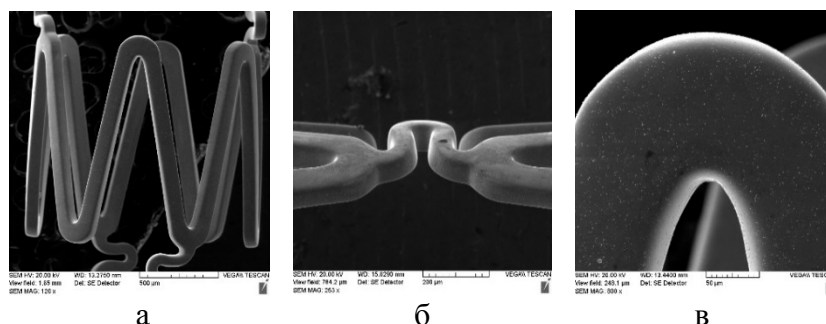


Рисунок 3 – Стент после электрохимической полировки: элемент «кольцо» (а), компенсатор (б) и переход между стойками(в)

Важным этапом в жизненном цикле стента является процесс его имплантации в сосуд. При установке стента внутри артерии выполняется его расширение баллоном, которое приводит к существенному увеличению диаметра стента с упругопластической деформацией материала. За счет достаточной радиальной жесткости конструкции расширенное состояние стента сохраняется при удалении баллона и обеспечивает поддержку стенки артерии и эффективный кровоток через расширенный участок сосуда.

Образец расширенного стента представлен на рисунке 4а. Зона соединения стоек и компенсатора, претерпевает существенную пластическую деформацию (рисунки 4б и 4в), подтверждая расчетные значения моделирования (рисунок 1 б).

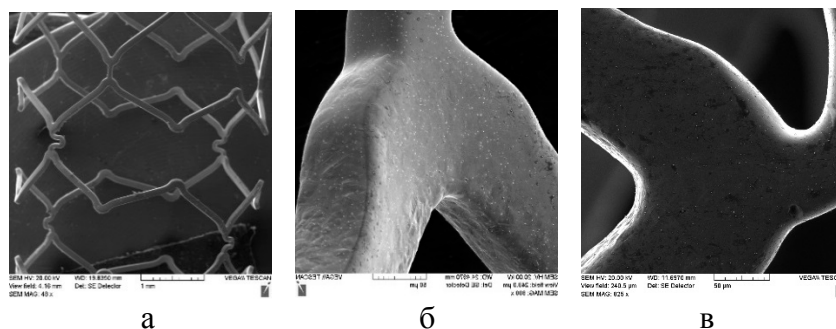


Рисунок 4 – Радиально расширенный баллоном стент: общий вид (а), зона соединения стоек и компенсатора (б, в)

Выполненные исследования позволили разработать технологию получения опытных образцов коронарных стентов с использованием биосовместимого прочного кобальт-хромового сплава, малодефектной лазерной резки фемтосекундным лазером, эффективной ультразвуковой очистки и оптимизированной электрохимической полировки. Опытные образцы стентов отвечают требованиям, предъявляемым к соответствующим ИМН, и прошли успешные испытания в ходе стентирования коронарных сосудов животных.

Литература

1. Баикин А.С., Разработка композиционного биомедицинского материала «Наноструктурный никелид титана – биodeградируемый полимер»: дис. ... канд. техн. наук : 05.16.06 / А.С. Баикин. – Москва 2019. – 140 л
2. Kastrati, A Intracoronary stenting and angiographic results: strut thickness effect on restenosis outcome (ISAR-STEREO) trial / A. Kastrati, J. Mehilli, J. Dirschinger // Circulation. 2001/6/12. – Vol. 103. – P. 2816-2821

Одновременное легирование поверхностного слоя углеродистой стали Ст3 атомами Мо-Сг под воздействием компрессионного плазменного потока

Асташинский В.М.¹, Иванов А.И.¹, Углов В.В.², Черенда Н.Н.²

¹Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

²Белорусский государственный университет

Воздействие компрессионных плазменных потоков (КПП), плазмообразующим веществом которых являлся азот, на образцы углеродистой стали Ст3 с предварительно нанесенным тонким (~ 5 мкм) комбинированным покрытием Мо-Сг проводили при размещении образцов на различное расстояние L от среза разрядного устройства МПК-КГ как одиночными импульсами воздействия, так и серией n импульсов на расстоянии 0,12 м от среза ускорителя. Во всех режимах воздействия КПП происходит плавление комбинированного покрытия и части подложки, жидкостное фазовое перемешивание расплавленного слоя и, после окончания воздействия КПП, кристаллизация расплава в условиях быстрого охлаждения за счет теплоотвода вглубь образца.

Как показали исследования фазового состава модифицированного слоя образцов Мо-Сг/Ст3, проведенные методом рентгеноструктурного анализа, при всех режимах воздействия компрессионного потока на образцы происходит растворение оксидов молибдена и хрома, а также формирование высокотемпературной γ -Fe фазы. Следует также отметить, что легирование стали сопровождается смещением на дифрактограммах линий железа к меньшим углам, указывающим на увеличение параметра решетки. Данное наблюдаемое явление может быть связано с формированием на основе железа твердых растворов, содержащих хром или молибден.

Исследование поперечного сечения образцов, модифицированных серией импульсов воздействия показывает, что толщина модифицированного слоя возрастает (до 20 мкм) с увеличением как энергии воздействующих одиночных импульсов, так и с увеличением числа импульсов воздействия.

Характерной особенностью структуры поперечного сечения модифицированных образцов является наличие двух зон, первая из которых характеризуется сравнительно равномерной ячеистой структурой, а вторая (нижележащая) – наличием различно ориентированных пластинчатых структур. Увеличение энергии воздействия, в том числе за счет увеличения числа воздействующих импульсов, приводит к более равномерному распределению в модифицированном слое материала легирующего покрытия.

Максимальная твердость поверхности модифицированных образцов составляет ~ 7 ГПа, что в ~ 3 раза превышает твердость необработанной стали.

Таким образом, воздействие КПП на систему Мо-Сг/Ст3 приводит к формированию поверхностного слоя стали, одновременно легированного атомами хрома и молибдена, в котором образуется твердый раствор на основе метастабильной фазы γ -Fe, содержащей легирующие элементы, что приводит к увеличению твердости поверхностного слоя стали до 7 ГПа.

Влияние примесей и легирующих элементов на физико-механические свойства сурьмянистых и кальциевых свинцовых сплавов

Ровин С.Л.¹, Насевич И.С.²

¹Белорусский национальный технический университет, ²УП «Технолит» (г.Минск)

Основным потребителем свинца сегодня является автомобильная промышленность, а именно – производство свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, которое поглощает до 75% от общемирового выпуска свинца и свинцовых сплавов.

Свинцово-кислотные аккумуляторы – самые распространенные химические источники тока (ХИТ). Их история насчитывает уже более 150 лет, но на рынке ХИТ они, по-прежнему, занимают первое место. На их долю приходится более 80 % вырабатываемой химическими источниками энергии и 100% рынка аккумуляторов емкостью выше 500 А·ч. Это связано с тем, что такие батареи имеют ряд существенных преимуществ перед другими химическими аккумуляторами: высокие энергетические характеристики (40 – 50 Вт·ч/кг); относительно большой срок службы (5 – 6 лет); относительно низкий саморазряд (0.5 % в сутки); стабильное напряжение при разряде; возможность применения ускоренных зарядов; самую низкую стоимость [1].

Важнейшими требованиями, предъявляемыми сегодня к аккумуляторам, являются увеличение их срока службы, надежность и работоспособность, особенно при низких температурах. Определяющее влияние на эти характеристики оказывают используемые в АКБ решетки – токоотводы (положительные и отрицательные электродные пластины), борны, перемычки, которые должны обладать необходимой прочностью и твердостью, высокой проводимостью, коррозионной стойкостью и термодинамической устойчивостью. Кроме того, сплавы, из которых изготавливают токоотводы, должны обладать высокими литейными свойствами: хорошей жидкотекучестью, низкой температурой плавления и низкой склонностью к трещинообразованию. В процессе работы аккумулятора решетки, особенно положительные, подвергаются интенсивной коррозии и деформации, которая приводит к изменению линейных размеров рамки, короблению, разрыву отдельных жилок и выходу аккумулятора из строя. Факторы, способствующие увеличению механической прочности сплава, должны (при прочих равных условиях) уменьшать деформируемость решеток при работе аккумулятора.

Основными сплавами для изготовления решеток являются сурьмянистые и кальциевые сплавы. Тенденцией последнего времени является увеличение производства необслуживаемых АКБ и, соответственно, потребления низкосурьмянистых и кальциевых сплавов (таблица 1), доля последних при производстве решеток сегодня достигает уже 65-70% [1].

Таблица 1 - Состав типовых свинцовых низкосурьмянистых (Pb-Sb-Sn) и кальциевых (Pb-Ca-Sn) сплавов

Сплав	Химический состав, %											
	Основные компоненты			Примеси, не более								
	Сурьма	Олово	Кальций	Медь	Мышьяк	Алюминий	Висмут	Сурьма	Цинк	Железо	Серебро	Всего
Pb-Sb-Sn	1,5-2,5	1,5-2,5	-	0,2	0,05	-	0,03	-	0,001	0,005	-	0,3
Pb-Ca-Sn	-	0,5-0,25	0,06-0,15	0,005	0,002	0,03	0,027	0,005	-	0,005	0,005	0,1

Значительное повышение прочности и твердости свинцовых сплавов достигается только методом легирования, а, учитывая необходимость сохранения себестоимости АКБ и требуемого уровня электрофизических свойств токоотводов, особое значение приобретает микролегирование. Исследования показывают, что наиболее перспективным направлением повышения физико-механических свойств кальциевых сплавов, содержащих 0,06-0,15% Ca,

является микролегирование добавками серебра (0,007-0,015%) и бария (0,010-0,015%), а низкосурьмянистых сплавов (1,5-2,5% Sb) – добавками кадмия (1,0-1,5%) и олова (1,5-2,5%) (таблицы 2 и 3) [2,3].

Таблица 2 - Физико-механические свойства свинцово-сурьмяно-оловянных сплавов

№ сплава	Sb, мас. %	Sn, мас. %	Cd, мас. %	Твердость <i>HB</i> , кг/мм ²	Предел прочности на разрыв σ , кг/мм ²
1	2.6	1.5	-	18.3 ± 0.1	4.4 ± 0.1
2	1.9	2.0	-	16.5 ± 0.1	4.8 ± 0.1
3	1.5	3.0	-	11.4 ± 0.1	3.0 ± 0.1
4	1.5	4.0	-	12.9 ± 0.1	3.7 ± 0.1
5	1.5	-	1.5	11.4 ± 0.1	3.7 ± 0.1

Таблица 3 - Физико-механические свойства свинцово-кальциево-оловянных сплавов

№ сплава	Sn, мас. %	Ca, мас. %	Ag, мас. %	Ba, мас. %	Твердость <i>HB</i> , кг/мм ²	Предел прочности на разрыв σ , кг/мм ²
1	1.25	0.01	-	-	7.4 ± 0.1	1.4 ± 0.1
2	1.0	0.04	-	-	12.0 ± 0.1	1.4 ± 0.1
3	1.0	0.08	-	-	14.5 ± 0.1	2.4 ± 0.1
4	0.9	0.2	0.1	-	18.1 ± 0.1	2.4 ± 0.1
5	1.2	0.06	-	0.015	20.5 ± 0.1	2.4 ± 0.1

Введение кадмия в свинцово-сурьмяный сплав в равном по отношению к сурьме количестве приводит к связыванию сурьмы в интерметаллическое соединение CdSb и формированию структуры свинцового сплава с более высокими механическими, коррозионными и электрохимическими характеристиками. При введении кадмия микроструктура сплавов становится более однородной и мелкозернистой. Таким образом, кадмий оказывает не только легирующее, но и модифицирующее действие. Характерной особенностью Pb-Sb, легированного кадмием, является малая окисляемость, незначительный переход сурьмы на катод. Однако при этом отмечается недостаточная жидкотекучесть этого сплава. Кроме того, следует учитывать, что кадмий отличается высокой токсичностью и его использование требует решения сложных экологических задач, связанных с необходимостью обеспечения низкого содержания кадмия в воздухе на стадии приготовления и разлива сплава, и особенно в процессе переработки аккумуляторного лома.

Свинцово-кальциево-оловянные сплавы с низким содержанием кальция обладают более низкими механическими свойствами, чем малосурьмянистые сплавы. Повышение концентрации олова в свинцово-кальциево-оловянных сплавах до 1.0-1.5% приводит к повышению их коррозионной стойкости. По комплексному критерию качества (физико-механические, коррозионные и электрохимические свойства) наилучшими характеристиками обладают многокомпонентные свинцово-кальциево-оловянные сплавы, легированные серебром (1,25 % Sn; 0,06 % Ca; 0,023% Ag) и барием (1,2 % Sn; 0,06% Ca; 0,015 % Ba). Увеличение содержания кальция и легирование серебром и барием приводит к образованию сплавов с мелкозернистой структурой, что и обеспечивает росту их механических свойств [4].

В тоже время легированному серебром сплаву присущ и ряд недостатков: наблюдается их повышенная хрупкость литых токоотводов; во второй половине срока службы вследствие переноса и накопления серебра на отрицательных электродах, который обладает относительно низким значением водородного перенапряжения и не взаимодействует с водородом, наблюдается повышенное газовыделение.

Исследования выявили также положительное влияние на прочность и трещиностойкость кальциевых сплавов незначительных примесей серы (0,008-0,012%) и мышьяка (0,01-0,05%). Это позволяет использовать для микролегирования и модифицирования этих сплавов

некоторые из отходов производства свинца, например, желтые съемы, получаемые при рафинировании свинца марок С2 и С2С, а также при производстве селеновых свинцовых сплавов, и соответственно снизить расход дорогостоящих лигатур.

Литература

1. Русин, А.И. Свинцовые сплавы для современных аккумуляторов. Теория и практика / А.И. Русин, Л.Д. Хегай, С. Токарчук. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 221 с.
2. Иноземцева, Е. В. Влияние некоторых компонентов свинцово-сурьмяных и свинцово-кальциевых сплавов на их механические и коррозионные свойства / Е.В. Иноземцева, М.М. Бурашникова, И.А. Казаринов // Электрохимическая энергетика. – 2007. – № 4. – С. 196-199.
3. Каменев, Ю.Б. Влияние олова на характеристики сплавов pb-sb / Ю.Б. Каменев [и др.] // Электрохимическая энергетика. – 2008. – № 4. – С. 215-221.
4. Казача, Ю.И. Исследование механических свойств pb-ca-sn сплавов и лент для токоотводов герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторов (vrla) / Ю.И. Казача [и др.] // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта – 2013. – № 2 (44). – С. 99-103.

Влияние ультрадисперсного модификатора на угол смачивания жидкостекольного связующего материала

Гуминский Ю.Ю., Одиночко В.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Одним из способов улучшения выбиваемости стержневых и формовочных жидкостекольных смесей является применение жидкостекольного связующего материала модифицированного неорганическими ультрадисперсными добавками [1]. Данные модификаторы встраиваются в структуру связующего и при повышенных температурах (свыше 800 °С) подвергаются термодеструкции с выделением газов, благодаря которым происходит адгезионное разрушение отвержденной пленки связующего материала.

Модифицирование связующего даёт возможность повысить исходную прочность смесей, снизить количество связующего и улучшить выбиваемость стержней. Известно, что одним из показателей повышения исходной прочности является смачиваемость связующим материалом огнеупорного наполнителя. Смачиваемость характеризуется углом смачиваемости.

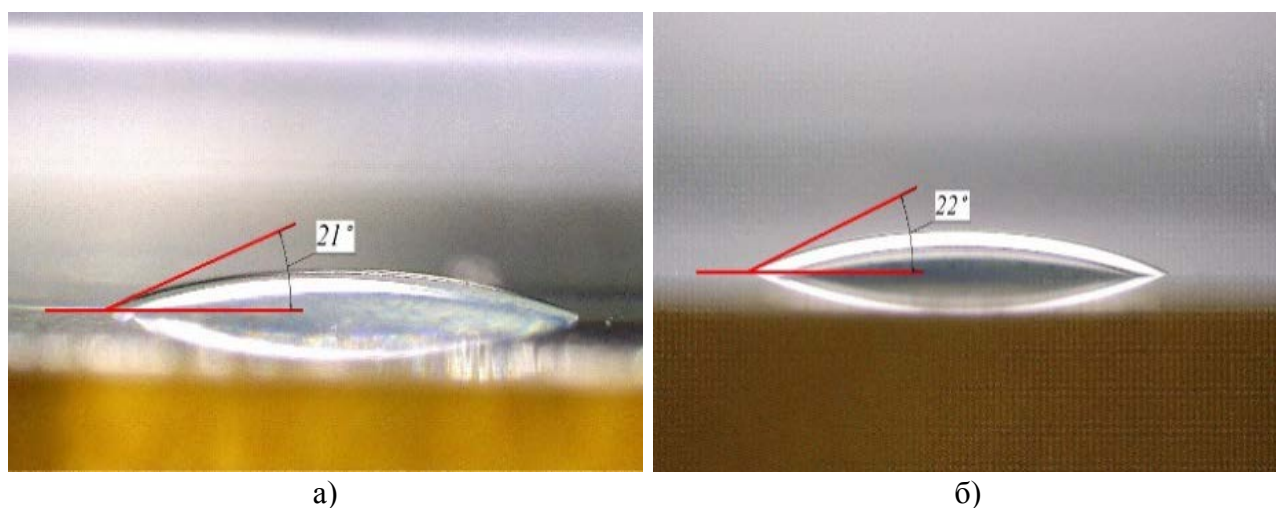


Рисунок 1 – Угол смачиваемости жидкостекольного связующего:
а) обычное; б) модифицированное

Как видно из рисунка 1 – углы смачиваемости у обычного и у модифицированного связующего практически не отличаются. Следовательно, можно сделать вывод, что ультрадисперсный модификатор на угол смачивания жидкостекольного связующего материала не влияет.

Литература

1. Крутилин А.Н Повышение эффективности использования жидкостекольных смесей. Обзорная информация. Ч. 1. Модифицирование // АН Крутилин, ЮЮ Гуминский, ОА Русевич и т.д. - Литьё и металлургия, № 1, 2018.

Повешение эксплуатационных свойств ионно-плазменных покрытий нитрида и карбо-нитрида титана введением легирующих добавок

Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет

Вакуумно-плазменные покрытия широко используются для упрочнения деталей машиностроительного профиля, так и медицинского назначения. Процесс нанесения покрытий на поверхность материала определяется свойствами и спецификой протекания процессов формирования покрытия. Покрытия на основе карбо-нитридов и нитрида титана хорошо известны еще с середины 70-х годов прошлого века. Однако они широко используются в вакуумно-плазменных технологиях и сегодня. Это связано с сочетанием таких свойств карбидных и нитридных соединений титана как износостойкость, повышенная коррозионная стойкость, высокие декоративные свойства, возможность использования таких покрытий в качестве барьерных подслоев. Благодаря последним исследованиям наметились пути значительного увеличения эксплуатационных характеристик покрытий на основе карбо-нитридов и нитридов титана за счет использования комбинированного воздействия на них различных энергетических потоков или формирование покрытия при одновременном осаждении плазменных потоков других металлических или неметаллических материалов. Хорошо известна роль ориентации зерен на повешении коррозионной стойкости материалов с покрытием из нитрида титана. Преимущественная ориентация растущих пленок зависит от энергии ионов, плотности ионного тока, угла облучения и толщины пленок. При низких энергиях ионов (до 500 эВ) и низкой плотности ассистирующего ионного тока (менее 80 мА/см²) наблюдается преимущественная ориентация (111). Для достаточно толстых покрытий преимущественная ориентация равна (001). Наилучшими свойствами обладают покрытия на основе нитрида титана легированные химическим элементом, который способен сам образовывать нитрид - покрытия TiAlN, TiSiN, TiZrN, TiAlVN, TiAlZrN и др. Известен состав покрытия Ti_{0.5}Al_{0.5}N наносимый в вакууме методом магнетронного распыления на режущий инструмент. Улучшенный коэффициент трения имеют покрытия легированные кремнием. Добавление кремния в состав покрытия повышает его окалиностойкость и, как следствие, износостойкость. Сравнение покрытий TiAlSiN, TiN, AlTiN показывает, что все они имеют столбчатую структуру с предпочтительной ориентацией зерен (200). Наилучшим коэффициентом трения и лучшей адгезией к основе обладает покрытие нитрида титана. Однако эти покрытия окисляются уже при температуре 700 °С, в тоже время покрытие титан-алюминий-азот - при 800 °С, титан-алюминий-кремний-азот - при 900 °С. Введение в состав покрытия от 0 до 20% кремния увеличивает его твердость в сравнении с покрытиями из чистого нитрида титана и увеличивают стабильность и сопротивление окислению на воздухе до 800 °С. Таким образом, сплавы титан являются перспективными материалами для разработки катодов-мишеней для ионно-плазменных испарительных устройств. С целью практической реализации результатов исследований выбран модельный состав катода - мишени и получены покрытия из сплава кремний-медь. Нанесение проводили при токе дугового разряда 70А и давление 0.1 Па в течении 10 минут. Покрытия характеризуются наличием капельной фазы, что характерно для всех вакуумных электродуговых покрытий.

Условия формирования плазмы дугового разряда в вакууме и её использование для упрочнения поверхности сталей и сплавов

Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет

Среда для поддержания стабильного горения вакуумного дугового разряда формируется из материала катода, испаряемого в катодных пятнах. Размер зоны разряда составляет доли миллиметра, а время жизни катодного пятна порядка $10^{-3} \dots 10^{-4}$ с. Новый эмиссионный центр формируется на расстоянии радиуса катодного пятна. Эта смена положения эмиссионных центров называется движением катодного пятна. В течении времени своего существования катодное пятно перемещается на расстояние $\Delta r = \left(1/D_m\right) \ln(1 - \xi)$, где ξ – случайное число от 0 до 1, D_m – величина характеризующая дрейф катодного пятна по поверхности катода. Координаты центра нового катодного пятна: $X_1 = X_0 + \Delta r \times \cos(\varphi)$, $Y_1 = Y_0 + \Delta r \times \sin(\varphi)$. Направление движения катодного пятна всегда перпендикулярно плоскости, в которой лежат вектора силы тока и тангенциального магнитного поля. Угловая координата локального перемещения будет определяться из соотношения: $\varphi = \left(\frac{\pi}{b}\right) \times (rand - 1/2)$, где константа b – это некоторая численная величина, характеризующая силу внешнего магнитного поля, $rand$ – число получаемое генератором случайных чисел.

Ионы и капли являются основными продуктами эрозии катода. Доля нейтрального пара не превышает 1%. Основное количество капель, движется под малыми углами к плоскости торцевой поверхности катода. Пространственное распределение ионной компоненты плазменного потока имеет ярко выраженную осевую направленность при разлете относительно оси испарителя в пределах $\pm 40^\circ$. Поток плазмы электрически нейтрален. Концентрация ионов в единице объема составляет 10^{16} м^{-3} . Ионы в потоке двигаются без столкновения друг с другом. Пройдя расстояние, равное длине свободного пробега ион может: попасть на поверхность изделия, попасть на стенки камеры, столкнуться с молекулой технологического газа. В точке столкновения ион меняет направление вектора скорости. Новое направление вектора выбирается случайным образом и будет определяться двумя углами в сферической системе координат. Ион будет двигаться со скоростью v под углом θ_1 к первоначальному направлению, а частица газа – со скоростью V под углом θ_2 . Углы θ_1 и θ_2 называют углами рассеяния частиц.

Сумма углов рассеяния частиц θ_1 и θ_2 это угол разлета частиц после столкновения, $\theta_1 + \theta_2 < \frac{\pi}{2}$

. Угол рассеяния иона определяется отношением массы частицы газа к массе иона. Для случая столкновения иона титана с частицей азота этот угол равен 30° .

При упругих взаимодействиях величина энергии, теряемой заряженной частицей в момент ее соударения, будет равна энергии, приобретаемой молекулой газа. Для ионов титана ($m_1 = 47,87$ а.е.м.) и молекулы азота ($m_2 = 28,004$ а.е.м.): $E = \mu \cdot E_{cp} \cdot \sin^2(\varphi/2)$, где $\mu = 4m_1m_2/(m_1 + m_2)^2$ - приведенная масса сталкивающихся частиц; E_{cp} - средняя энергия иона перед столкновением с молекулой газа; φ - угол. Энергия, теряемая ионом титана за однократный акт взаимодействия с молекулой технологического газа составляет: 2.325 эВ.

Основное количество ионов, достигших подложки, теряют 25... 43% первоначальной энергии. Это говорит о значительном вкладе процессов упругих столкновений в потери энергии ионами потока. Среднее расчетное значение энергии иона составляет 65,34% от его первоначальной энергии. Порядка 1,1 % ионов не испытывают столкновений в вакуумной камере и достигают подложки сохраняя свою первоначальную энергию.

Закономерности нагрева дисперсных материалов в ротационных печах

Ровин С.Л.¹, Ровин Л.Е.²

¹Белорусский национальный технический университет,

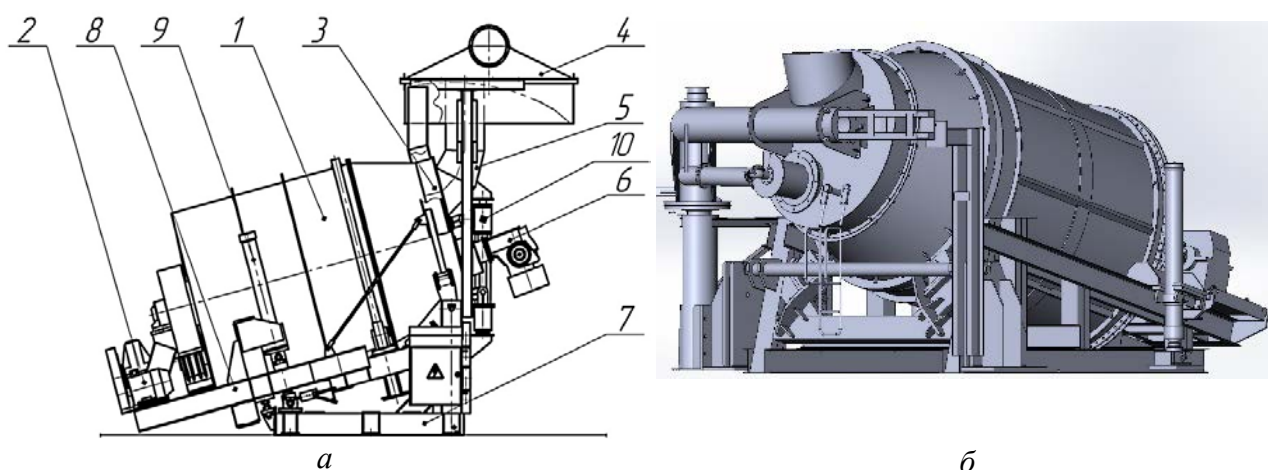
²Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого

Ротационные печи – агрегаты с вращающимся корпусом, предназначенные для физико-химической обработки мелкодисперсных, включая полидисперсные, сыпучих материалов получают все более широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства, в том числе металлургии, горнодобывающей и химической промышленности, производстве строительных материалов и др., где они используются для сушки, нагрева, обжига, прокалики и других видов термообработки, процессов твердофазного восстановления, а также плавки металлов и сплавов [1].

Их растущая популярность объясняется высокой интенсивностью и эффективностью процессов тепломассопереноса в динамических продуваемых слоях по сравнению со стационарным неподвижным слоем. Теплопроводность стационарного слоя дисперсного материала сравнима с теплоизоляционными материалами и, как правило, она в десятки раз меньше собственной теплопроводности материала. Так по практическим данным слой чугунной стружки имеет коэффициент теплопроводности на уровне $0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, в то время как теплопроводность самого чугуна составляет около $60 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, соответственно и теплопередача в неподвижном слое на два порядка ниже чем в сплошном материале [2]. В тоже время интенсивное перемешивание делает передачу тепла в слое даже эффективнее чем в монолите.

Смешивание частиц в агрегатах с неподвижным корпусом реализуется с помощью скребков, шнеков или катков. При этом энергозатраты значительно выше, а эффективность – ниже, чем при смешивании в динамических слоях ротационных печей.

Наибольшую эффективность тепломассообменных процессов демонстрируют агрегаты с осью вращения, расположенной под углом к горизонту и петлеобразным движением газового потока – ротационные наклоняющиеся печи (РНП). Принциальная схема и общий вид печей такого типа представлены на рисунке 1.



1 – корпус печи; 2 – привод вращения; 3 – крышка; 4 – зонт; 5 – дымоход; 6 – горелка; 7 – рама опорная; 8 – рама поворотная; 9 – привод наклона печи; 10 – опорная стойка и привод поворота крышки

Рисунок 1 – Схема (а) и общий вид (б) ротационной наклоняющейся печи с рабочим положением под углом к горизонту и петлеобразным движением газов.

Исследования, выполненные путем имитационного и компьютерного моделирования с использованием п/п ANSYS и CD-Adapco Star CCM+, позволили не только получить адекватное представление о движении, смешивании и нагреве материалов в рабочем пространстве ротационных наклоняющихся печей, но и дать количественную оценку этим процессам [3].

Было установлено, что материал в РНП совершает сложное возвратно-поступательное винтовое движение, причем скорость вращения слоя материала в 3-5 раз превышает скорость вращения самой печи и меняется, как в пределах поперечного, так и продольного сечения. Движение материала носит пульсационный (перманентно-дискретный) характер, при этом скорости движения частиц в поперечном сечении слоя могут отличаться в десятки даже сотни раз (рис.2). Решающее влияние на движение и перемешивание материала оказывают его адгезионные и аутогезионные свойства, наклон к горизонту и скорость вращения корпуса печи. Интенсивности тепломассообменных процессов в РНП способствует постоянное обновление поверхности слоя (замешивание материала с поверхности в глубину слоя), что обеспечивает выравнивание температуры материала по сечению слоя не более чем за 6-10 оборотов корпуса печи (рис. 3) [4]. Согласно практическим данным объемный коэффициент передачи тепла при нагреве стружки в РНП составляет 2000-2500 Вт/(м³·К), в то время как в стационарном слое камерной печи не превышает 35-40 Вт/(м³·К) [2].

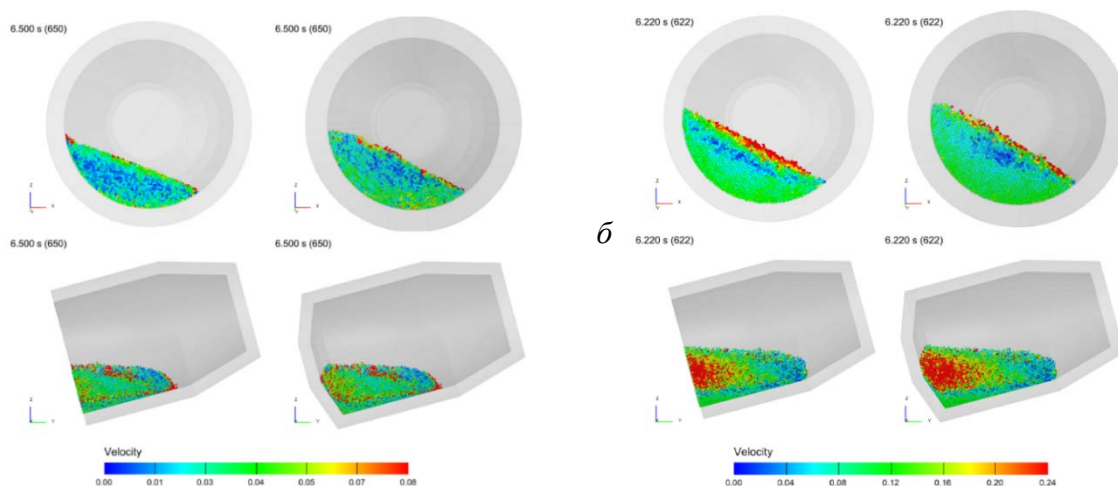
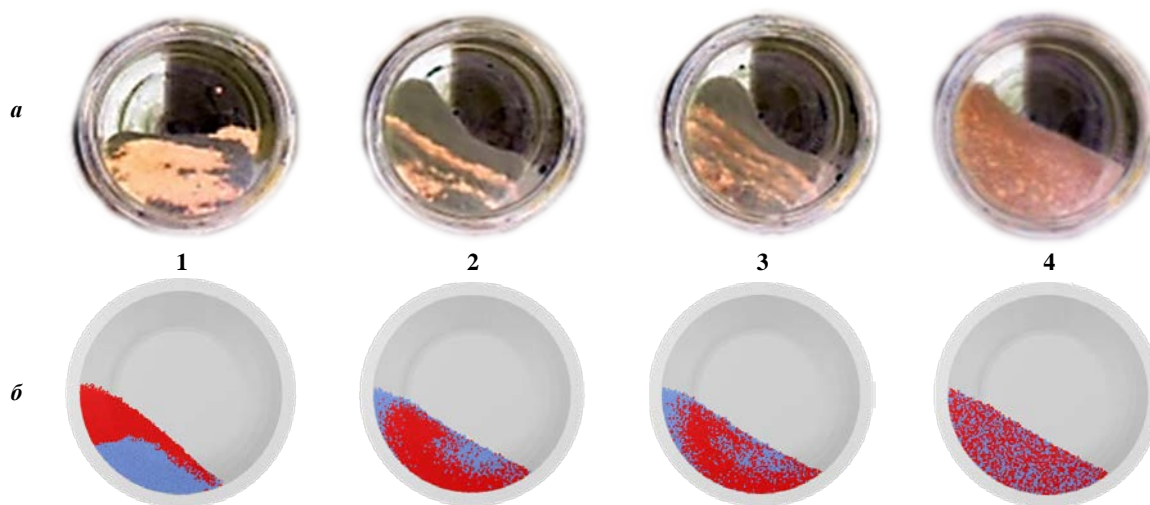


Рисунок 2 – Распределение скоростей дисперсных частиц в слое материала, находящегося в РНП: а – вращение печи со скоростью 5 об/мин, б – вращение печи со скоростью 10 об/мин.



1 – начало вращения; 2 – один оборот корпуса; 3 – 2 оборота; 4 – 6 оборотов

а – имитационное моделирование; б – компьютерное моделирование

Рисунок 3 – Перемешивание материала в РНП.

Низкая плотность и хорошая продуваемость вращающегося слоя материала в РНП, способствуют глубокому проникновению высокоскоростного потока газов-теплоносителей в материал и их интенсивному взаимодействию, что обеспечивает высокую скорость теплообмена между газовым потоком и поверхностью слоя. В совокупности это обеспечивает значительную интенсификацию происходящих в печи процессов теплообмена и массопереноса, благодаря этому тепловой КПД при нагреве и расплавлении дисперсных материалов в РНП достигает 50-55%, что в 2-3 раза превышает КПД традиционных ротационных печей с прямоточным движением газового потока, а также дуговых и индукционных печей при использовании аналогичной шихты [5].

Литература

1. Лисиенко, В.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: Справочное издание в 2-х кн. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплотехник, 2004. – 592 с.
2. Ровин С.Л. Переработка стружки черных металлов / С.Л. Ровин, Л.Е. Ровин, Т.М. Заяц, О.М. Валицкая // Литье и металлургия. – 2017. – № 4. – С. 94-101.
3. Sonavane, Y. Numerical analysis of the heat transfer in the wall of rotary kiln using finite element method ANSYS / Y. Sonavane, E. Specht // 7-th International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries: proceedings of the conf., CSIRO, Melbourne, Australia 9-11 December 2009. – P.1–5.
4. Ровин С.Л. Движение и смешивание дисперсных материалов в ротационных печах / С.Л. Ровин, Л.Е. Ровин, В.А. Жаранов, В.С. Мазуров // Литье и металлургия. – 2017. – № 2. – С.117–127.
5. Ровин, С.Л. Рециклинг металлоотходов в ротационных печах / С.Л. Ровин. – Минск: БНТУ, 2015. – 382с.

Перспективы применения ультрадисперсных частиц для модифицирования высокотемпературных расплавов.

Рудницкий Ф.И., Куликов С.А., Шумигай В.А.
Белорусский национальный технический университет

Любая система стремится к минимуму свободной энергии и в ультрадисперсной системе это выражается в образовании скоплений частиц, при котором снижается удельная площадь поверхности. При наличии жидкой фазы между частицами, к примеру, жидкого расплава, протекание различных реакций описывается дифференциальным уравнением энергии Гельмгольца:

$$dF = -T dS + d(\sigma\Omega), \quad (1)$$

где Ω – величина площади раздела между фазами.

Из (1) очевидно, что уменьшение избытка энергии поверхности частиц может достигаться либо энтропийным фактором, либо энергетическим. К примеру, увеличение натяжения приведет к полной несмачиваемости частиц и, как следствие, отсутствию слипаемости. Уменьшение концентрации частиц приведет к росту Ω , что так же увеличит второе слагаемое. В то же время надо понимать, что в высокотемпературных расплавах энтропийный фактор может в значительной степени превалировать над энергетическим. В данном случае, следует учесть то, что дисперсной системе нет необходимости приходить к монолитному состоянию, опыты показывают, что пористая система оказывается более живучая, чем ее плотный аналог.

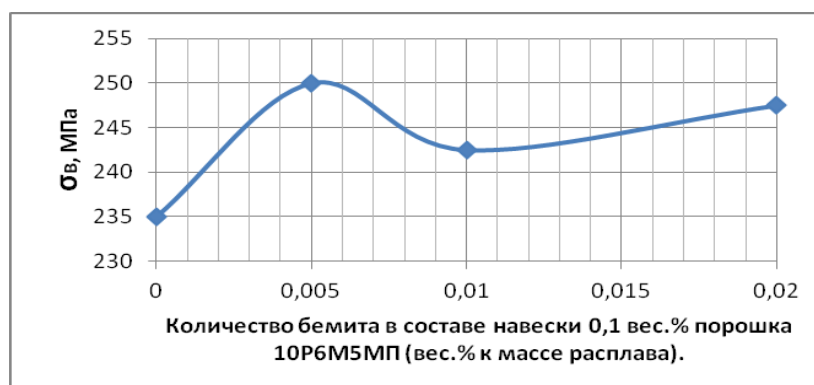


Рисунок 1 - Изменение σ_v в зависимости от количества введенной смеси УДМ

При применении ультрадисперсных добавок в качестве модификаторов для высокотемпературных расплавов (к примеру, расплавов чугунов) следует учитывать не только размерность частиц материала, а также гранулометрический и фазовый состав. Последний параметр подразумевает, является ли добавка мономатериалом или смесью материалов. Например, насыпной вес металлоабразивного шлама стали P6M5, используемого в исследовании для модифицирования серого чугуна, после отмагничивания материала уменьшается (1,33 и 1,13 гр/мл соответственно). Учитывая преобладание ленточных металлических частиц в составе шлама, система не может обладать большим удельным весом ввиду наличия значительного количества «пор» между частицами. В обычном шламе место «пор» занимают частицы абразива, стабилизируя систему. В отмагниченном шламе ленточные частицы, обладая большей развитой поверхностью, значительно увеличивают реакционную способность всей дис-

персной системы. Таким образом, создание смеси разнородных частиц вполне оправдано. Более крупные частицы правильной формы могут стабилизировать взвесь из мелких частиц неправильной формы.

Приведем другой пример, добавки порошка марки ПР-10Р6М5-5 в количестве 0,1% от массы жидкого сказывались положительно на механические свойства чугуна. В то же время, введение в расплав наноструктурированного бемита в этом же количестве не дало ожидаемого положительного результата. На рисунке 1 показано изменение кривой прочности σ_b по результатам производственного эксперимента, где в расплав чугуна вводилась смесь порошка ПР-10Р6М5-5 в количестве 0,1% от массы расплава и бемита в количестве 0,005%, 0,01% и 0,02% от массы расплава. кривой изменения σ_b показывает, что регулируя в смеси ультрадисперсных частиц доли каждого из компонентов позволяет регулировать конечные свойства литых изделий. Таким образом, перспектива применения ультрадисперсных частиц для модифицирования высокотемпературных расплавов это создание не только новых видов наноразмерных частиц, но их смесей, в том числе с применением из разных по природе частиц.

Литература

1. Урьев Н.Б. «Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов», - М:Химия, 1988, - 256с.
2. Петрухин В.Ф. «О причинах специфики ультрадисперсных (наноструктурных) материалов», научная сессия НИЯУ МИФИ, Том II, М., -2010, с.31-40
3. Карпенко С.В., Темроков А.И. «О роли приповерхностной энергии в наноразмерных кристаллических объектах», Журнал физической химии, №11, 2004, с.115-116

Практическая реализация применения алгоритма проектирования для управления процессом структурообразования отливок

Фасевич Ю.Н.

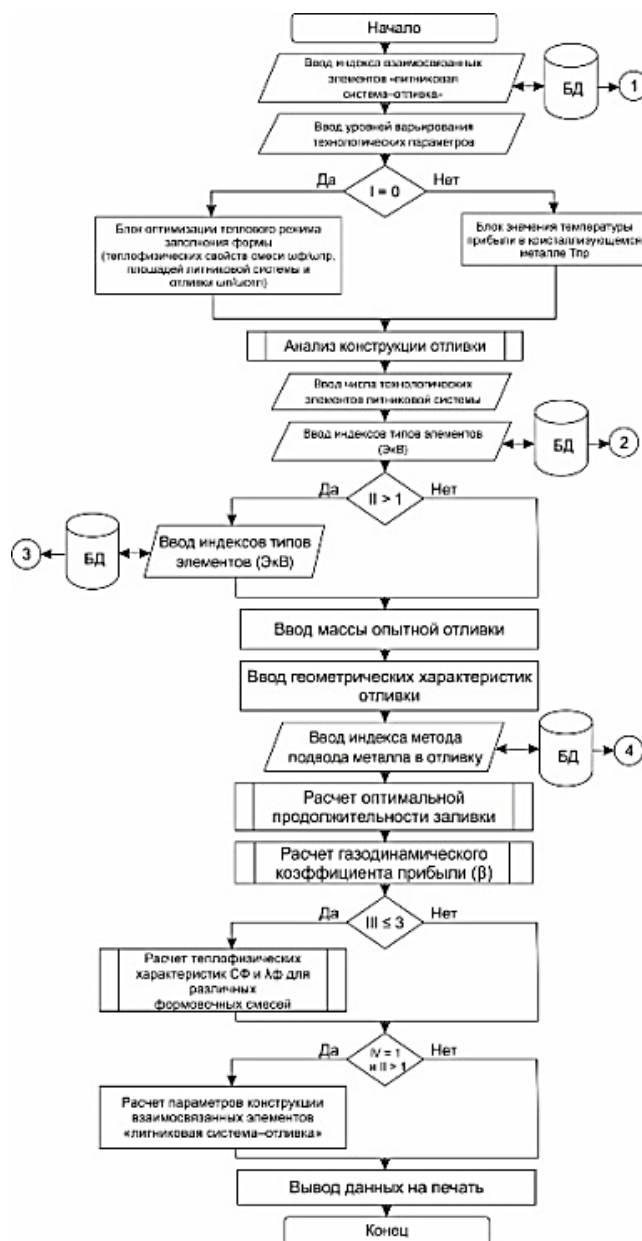
Белорусский национальный технический университет

Приведенные результаты [1] теоретических исследований и полученные зависимости положены в основу разработанной программной системы использующей средства вычислительного эксперимента для определения оптимальных значений литых технологических процессов.

Важнейшей интегральной характеристикой тепловых условий формирования отливки, непосредственно связанной с ее эксплуатационными свойствами, как показали экспериментальные данные и анализ опытной отливки, и ее количества в форме для исследования теплофизических свойств смесей, в данных условиях в процессе последовательного изготовления отливок наиболее нестабильными оказываются значения $T_{пр}$ и $\lambda_{кр} / \delta_{кр}$.

Для реализации системы программа разработана в среде объектно-ориентированного языка программирования. Блок схема программы приведена на рисунке.

Анализ данных вычислительного эксперимента рассчитан на отдельный сбор таких данных, как отношения площадей формы и прибыли работающей под режимом наложения гидродинамического давления, площадей литниковой системы и отливки и значения газодинамического коэффициента прибыли с учетом теплофизических характеристик исследуемых материалов, а затем на основании анализа определяются коэффициенты регрессии, которые формируются в программной среде.



Литература

1. Фасевич Ю.Н., Рудницкий Ф.И. Структура взаимодействия программных технологических модулей при разработке литых технологических процессов // Литье и металлургия. 2019, №1.

Сравнение показателей электроплавки металла при использовании различных видов тарифов на электрическую энергию

Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Проанализируем влияние используемых тарифов на стоимость электрической энергии.

При первом варианте тарифа для промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью 750 кВА и выше плата состоит из двух частей:

- основная плата – за мощность (на 1 месяц) 22,64 руб./мес.
- дополнительная плата – за энергию 0,19146 руб.

Рассмотрим затраты на электроэнергию на примере печи емкостью 2 тонны GWJ 2-1500-0.5 от компании MAGMATEX при удельном расходе 600 кВт·ч/т при мощности трансформатора 1,5 МВт и производительности 2,58 т/ч. При мощности 1,5 МВт плата за установленную мощность составит $C_m = 1500 \cdot 22,64 = 33960$ руб./мес. Будем считать, что печь работает непрерывно и средняя производительность составляет 2 т/ч с учетом межплавочных простоев при максимальной производительности 2,58 т/ч. Тогда при работе в одну смену получим объем производства $25 \cdot 8 \cdot 2 = 400$ тонн, в 2 смены – $25 \cdot 16 \cdot 2 = 800$ тонн, в 3 смены – $25 \cdot 24 \cdot 2 = 1200$ тонн.

Затраты на установленную мощность составят: при работе в одну смену $33960/400 = 84,9$ руб./т; при работе в две смены $33960/800 = 42,45$ руб./т; при работе в три смены $33960/1200 = 28,3$ руб./т.

Потребленная энергия (с учетом увеличения значений удельного расхода на 50 кВт·ч/т при простоях между плавками) составит: при односменной работе $650 \cdot 400 = 260000$ кВт·ч; при двухсменной работе $650 \cdot 800 = 520000$ кВт·ч; при трехсменной работе $650 \cdot 1200 = 780000$ кВт·ч.

Затраты на потребленную энергию: при работе в одну смену $260000 \cdot 0,191 = 49660$ руб. или 124,15 руб./т; при работе в две смены $520000 \cdot 0,191 = 99320$ руб. или 124,15 руб./т; при работе в три смены $780000 \cdot 0,191 = 148980$ руб. или 124,15 руб./т.

Суммарные затраты на электроэнергию: при работе в одну смену 209,05 руб./т; при работе в две смены 166,6 руб./т; при работе в три смены 152,45 руб./т.

Доля платы за установленную мощность в затратах на электроэнергию составляет: при работе в одну смену – 40,6%; при работе в две смены – 25,5%; при работе в три смены – 18,6%.

Средневзвешенный тариф на электрическую энергию при работе: в одну смену – 0,3216 руб./кВт·ч; в две смены – 0,2563 руб./кВт·ч; в три смены – 0,2345 руб./кВт·ч. Таким образом стоимость электроэнергии по одноставочному тарифу лежит между стоимостью электроэнергии при работе в две и три смены по двухставочному тарифу.

Рассмотрим вариант получения объема производства равного 400 тонн в месяц при помощи менее мощной печи GWJ 0.5-500-1, мощностью 0,5 МВт, с производительностью 0,84 т/ч и удельным расходом электроэнергии 750 кВт·ч/т.

Тогда при работе в 3 смены объем производства за месяц – $25 \cdot 24 \cdot 0,67 = 400$ тонн.

Плата за установленную мощность составит $C_m = 500 \cdot 22,64 = 11320$ руб./мес или 28,3 руб./т.

Потребленная энергия при трехсменной работе составит: с учетом увеличения значений удельного расхода на 50 кВт·ч/т при простоях между плавками: $800 \cdot 400 = 320000$ кВт·ч.

Затраты на потребленную энергию при работе в три смены: $320000 \cdot 0,191 = 61120$ руб. или 152,8 руб./т.

Суммарные затраты на электроэнергию: при работе в три смены 181,1 руб./т.

При использовании другого тарифа для потребителей с присоединенной мощностью до 750 кВА стоимость электроэнергии составляет 0,243 руб./кВт·ч.

Затраты на потребленную энергию при работе в три смены: $320000 \cdot 0,243 = 77760$ руб. или 194,4 руб./т.

Таким образом, сравнивая данные варианты работы очевидно, что двухставочный тариф несколько выгоднее, чем одноставочный. Однако работа в трехсменном режиме с менее мощными печами, даже с учетом увеличения удельного расхода электрической энергии оказывается выгоднее по затратам электрической энергии. Это также свидетельствует, что максимальная автоматизация процесса плавки и заливки делает затраты менее чувствительными к человеческим ресурсам, так как в противном случае необходимость в привлечении дополнительных работников перекрывает полученный эффект от снижения затрат на электроэнергию.

Еще больший экономический эффект как для предприятия, так и для энергоснабжающих организаций можно получить при использовании специальных тарифов, дифференцированных по времени.

Потребителям электроэнергии возможно предоставление на выбор трех видов тарифного учета: одноставочный; двухставочный; дифференцированный по двум зонам суток (дневная зона (7.00–23.00), ночная зона (23.00–7.00)); по трем зонам суток (пиковая зона (07.00–10.00 и 17.00–21.00), ночная зона (23.00–7.00), полупиковая зона (10.00–17.00 и 21.00–23.00)). Многотарифный учет электроэнергии позволяет снизить нагрузку на электросеть в самое загруженное время и повысить ее в ночные часы, когда потребление минимально. Это особенно важно для энергосистем, где генерация практически постоянна во времени, например, с атомными станциями.

Расчет стоимости электроэнергии по дифференцированным тарифам определяется по формулам 1 и 2.

Тариф, дифференцированный по двум временным периодам:

$$C_{вр2} = T_{\max} \cdot W_{\max} + T_{\min} \cdot W_{\min}, \quad (1)$$

где $C_{вр2}$ – стоимость потребленной электрической энергии в течение расчетного периода;

T_{\max} , T_{\min} – соответственно тарифы на электроэнергию в зоне максимальных и минимальных нагрузок;

W_{\max} , W_{\min} – соответственно количество потребленной электроэнергии в зоне максимальных (пиковое потребление) и минимальных (внепиковое потребление) нагрузок.

Тариф, дифференцированный по трем временным периодам:

$$C_{вр3} = T_1 \cdot W_1 + T_2 \cdot W_2 + T_3 \cdot W_3, \quad (2)$$

где T_1 , T_2 , T_3 – тарифы для зоны с минимальным энергопотреблением (ночной), полупиковой и пиковой зоны;

W_1 , W_2 , W_3 – потребление электроэнергии в зоне с минимальным энергопотреблением, полупиковой и пиковой зоне.

Переход на двухзонный тариф может быть оправдан, если соотношение доли ночного потребления электроэнергии и суточного будет соответствовать зависимости (3).

$$\frac{W_n}{W} > \frac{T_o - T_n}{T_o - T_n}, \quad (3)$$

Принимая действующий одноставочный тариф на электрическую энергию равный 0,243 руб./кВт·ч, определили соотношение доли энергопотребления в ночное время к общему потреблению энергии за сутки при различных дневных тарифах и соотношении ночного и дневного тарифов для эквивалентных одноставочному тарифу затрат. Результаты расчетов представлены на рисунке 1.

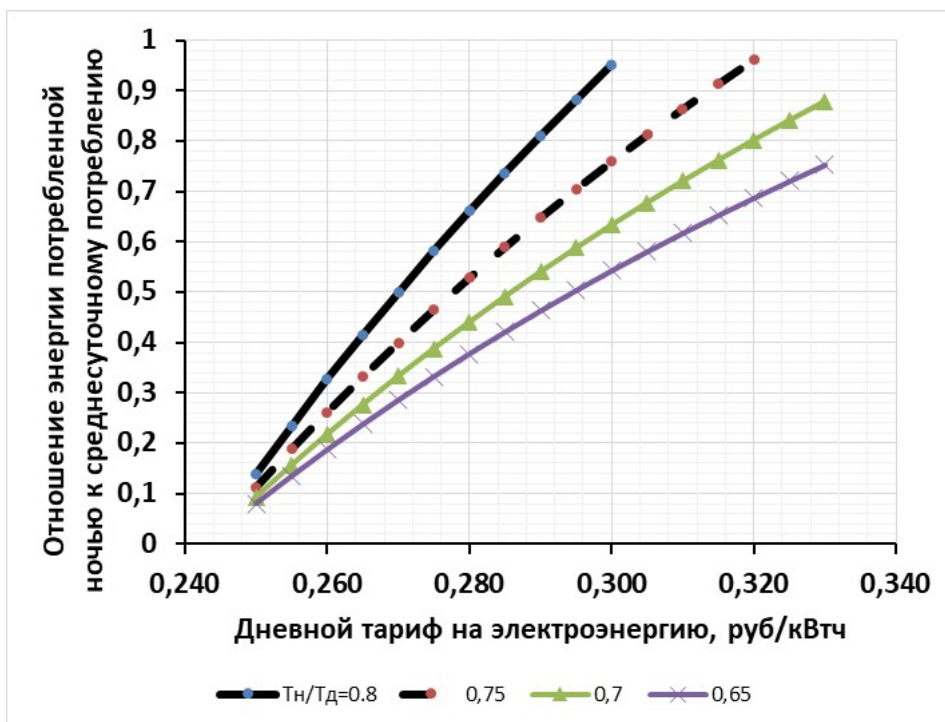


Рисунок 1 – Зависимость доли ночного электропотребления от двухзонных тарифов эквивалентных по затратам одноставочному

При равномерной загрузке печей в течение суток, доля ночного энергопотребления составляет 0,3, тогда, например, для равенства с одноставочным тарифом 0,243 руб./кВт·ч, дневной тариф не должен превышать 0,27 руб./кВт·ч при ночном равном 0,176 руб./кВт·ч.

Конструктивные исполнения прессов для брикетирования железосодержащих пылевидных материалов

Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Проблема переработки железосодержащих пылевидных материалов часто связана с необходимостью предварительного или заключительного окускования материала. При этом брикетирование для относительно незначительных объемов пыли может быть более эффективным, чем другие способы окускования. Рассмотрим современные конструкции брикетировочных прессов.

Валковые прессы для брикетирования.

Принцип работы таких прессов заключается в том, что брикетируемая смесь подается в зазор между двумя вращающимися навстречу друг другу валками, на поверхности которых расположены симметрично ячейки в виде полубрикетов. Во время вращения валков происходит сближение ячеек, захват материала и его уплотняющее сжатие. Брикетированный материал подвергается двустороннему сжатию, что способствует более равномерному распределению его плотности по объему. Затем по мере вращения валков ячейки расходятся, и брикет выпадает из ячейки под действием силы тяжести. Особенностью валкового брикетирования является ограничение влажности шихты (не более 5-10%).

Валковые прессы в черной металлургии позволяют брикетировать широкий класс природных и техногенных материалов с использованием различных связующих материалов. Однако ограничения по влагосодержанию брикетированной шихты создают трудности при использовании получившего широкое распространение портландцемента в качестве вяжущего. Требуемая доля цемента в массе брикета может достигать 8-12%, что сопоставимо с содержанием этого вяжущего в вибропрессованных брикетах, но в два раза больше, чем требуется в жестких экструзионных брикетах.

На прочность брикетов существенно влияет продолжительность процесса прессования. Выдержка брикета под давлением позволяет не только более полно вытеснить воздух из сужающегося порового пространства без образования сжатых «воздушных карманов», но и уменьшить количество упругих деформаций, которые могут привести к его размягчению. Увеличение времени прессования достигается за счет ограничения скорости вращения валков.

Основные производители.

Körrern один из основных производителей брикетировочных прессов известен своей работой по повышению долговечности материалов, используемых при изготовлении валковых прессов. Ячейки гильз для формования брикетов производятся по технологии электрохимической обработки (ECM—Electro Chemical Machining) с 60-х годов 20 века. Электрохимическая обработка заключается в удалении металла с поверхности заготовки путем электролитического растворения до достижения желаемой формы и размера. Компания Körrern также разработала противоизносную систему HEXADUR® - запатентованную технологию для производства гильз для брикетирования с износостойкой металлической порошковой поверхностью - RESIDUR®. Конструкция валков состоит из двух частей: сердцевин валка и износостойкой части, закрепленной на основании с помощью горячей посадки, что позволяет повторно использовать сердцевину валка.

Komarek, группа компаний Körrern, также является крупнейшим производителем валковых брикетировочных прессов. Впервые Komarek начал использовать сегментные бандажки со сменными элементами.



Рисунок 1 - Общий вид валкового брикетировочного пресса и поверхность валков

Например, для брикетирования оксидов металлов, рудной мелочи и шламов используется пресс Komarek DH500 производительностью до 45 тонн в час. Конструктивные особенности этого пресса заключаются в: использовании непрерывных или сегментных бандажей; в вертикальной загрузке под действием силы тяжести или с помощью шнекового питателя; в вакуумной деаэрации тонкодисперсных порошковых компонентов шихты; использовании двигателей с возможностью регулирования скорости вращения валков и шнека; в использовании материалов из стойких сплавов и др. Диаметр валка 710 мм, ширина валка 229-508 мм, усилие прессования до 3000 кН. Мощность привода валков 200 кВт, привода питателя 22 кВт. Вес пресса - до 33 тонн [1].

В 2001 году Комарек приобрел контрольный пакет акций EURAGGLO, который в настоящее время является европейским подразделением Komarek.

Nosokawa-Verex – один из крупнейших производителей валковых брикетировочных прессов. Для брикетирования с применением высокого давления используются валковые прессы серии MS, пригодные для обработки также абразивных и горячих материалов.

Особенностью конструкции прессов Nosokawa-Verex является возможность их работы в атмосфере инертного газа, как, например, при работе с материалами, требующими исключения контакта с кислородом. При этом кожух валковых прессов серии MS выполнен в газонепроницаемом исполнении. Поверхность валков может быть гладкой, профилированной или с канавками. Для прессов серии MS есть валки, подходящие для различных областей применения (сегментированные, для высокоабразивных материалов и высокопрочные).

Усилие прессования прессов серии MS находится в диапазоне от 360 до 6000 кН. Диаметр валков - от 300 до 1100 мм.

Крупнейшим французским производителем валковых прессов для брикетирования угля и рудных концентратов является Sahut-Conreur.

Производительность современных валковых прессов компании от 500 кг до 100 тонн брикетов в час. Усилие прессования достигает значений 10-50 кН на погонный сантиметр ширины валка. Диаметр валка 250 - 1400 мм. Прессы оснащены системой гидравлического сжатия валков и системой автоматического регулирования частоты их вращения.

Наряду с Köppern, Sahut-Conreur производит валковые брикетировочные прессы для горячего брикетирования. Компания также является разработчиком запатентованной концепции «холодного брикетированного железа и углерода» (Cold Briquetted Iron and Carbon, CBIC). Сырьем для такого брикетирования является так называемое холодное железо прямого восстановления и углерод.

В Республике Беларусь валковые прессы используются, например, при производстве гранулированных калийных удобрений.

Вибропрессование

Установлено, что при вибрации с частотой более 50 Гц связи между частицами в уплотненном сухом порошке разрушаются и внутреннее трение в сжимаемой массе резко уменьшается, что способствует сближению частиц и уплотнению смеси.

В этом случае более высокая степень уплотнения достигается при более низких значениях нагрузки, чем при сжатии. Аналогичные процессы происходят при брикетировании с использованием цементного вяжущего, когда за счет обратимого превращения цементного геля в золь при воздействии вибрации на этапах его разжижения частицы брикетированной шихты сближаются под действием собственной силы тяжести, что способствует уплотнению брикета, и воздух, вытесняемый приближающимися частицами, высвобождается на поверхности сжимаемой массы в виде пузырьков.

Неслучайно практически все известные заводы по производству вибропрессующих брикетов используют цемент в качестве вяжущего. Поэтому влагосодержание компонентов шихты играет важную роль при брикетировании с вибропрессованием. Его количества должно быть достаточно для сохранения свойств цементного геля и дальнейшего гидратационного твердения цемента. Обычно его содержание в брикетированной смеси ограничивается 5-8% от веса брикета.

Процесс вибропрессования состоит из нескольких этапов: поддон установлен на вибростоле; приготовленная в смесителе брикетированная смесь с добавлением связующего заливается в сменную оснастку формы – матрицу; далее смесь сжимается пуансоном, своеобразным «зеркальным» отражением матрицы, в идеале входя в нее точно так же, как поршень в цилиндре, и включается вибрация всего агрегата.

Крупнейшие производители оборудования для производства брикетов методом вибропрессования фирмы Гесс и Маса (Германия).

Особенностью вибропрессов Hess является запатентованная вибросистема VARIO TRONIC, которая позволяет задавать параметры вибрации (частоту и амплитуду) индивидуально для каждого типа вибрации и добиваться оптимального уплотнения с помощью восьми вибраторов с минимальным износом компонентов оборудования. Компания поставляет на рынок автоматические линии брикетирования, которые, помимо вибропрессов, включают в себя специальные устройства для транспортировки поддонов с сырыми брикетами на участок термообработки и готовых брикетов к точкам их отгрузки потребителям (складские подъемники, конвейеры поддонов, трансбордер, мультиформы, камеры для термообработки и др.).

Штемпельные брикетировочные прессы, обладают меньшей производительностью в сравнении с другими видами прессов и более сложной конструкцией. Различают одно- двух- и четырехштемпельные прессы.

Также в последнее время для получения брикетов все большее распространение получает технология брикетирования с помощью жесткой вакуумной экструзии.

Слово «жесткий» используется для описания процесса экструзии, который осуществляется при давлении от 2,5 до 4,5 МПа и влажности от 12 до 18%. Производительность экструдеров жесткой вакуумной экструзии может превышать 100 тонн брикетов в час [1,2].

Литература

1. Aitber Bizhanov Briquetting in metallurgy. History, problems and prospects. // Электронный ресурс. URL:https://briquet-brex.ru/userfiles/ufiles/all_web_2.pdf (дата обращения: 10.02.2021)
2. Курунов И.Ф., Бижанов А.М. Брэксы – новый этап в окусковании сырья для доменных печей // Металлург. 2014.– №3.– С.49–53

Технологии переработки пылей газоочисток электродуговых печей, содержащих соединения цинка

Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет

При плавке металлошихты содержащей оцинкованную сталь в электродуговых печах пыль системы газоочистки содержит значительное количество оксида цинка и других более сложных соединений, содержащих цинк. В настоящее время при плавке стали в высокомошных печах содержание соединений цинка в пыли в пересчете на цинк составляет в среднем от 10 до 15 % цинка, что позволяет рассматривать такую пыль как один из источников получения цинка. Основными составляющими пыли электроплавки являются соединения железа, образующиеся при испарении и окислении железа в зоне горения электрических дуг и в результате интенсивной продувки ванны кислородом, а также оксид кальция в результате пылеобразования при подаче извести и диоксид кремния из загрязненной металлошихты и диспергирования шлака при кипении ванны (и другие соединения пропорционально составу шлака), а также ряд их более сложных соединений.

Учитывая, что мелкодисперсная пыль представляет опасность для окружающей среды, актуальным является поиск путей ее полезного использования вместо обезвреживания и захоронения на полигонах.

При утилизации и рециклинге пыли, как правило, рассматривают в качестве ресурса как соединения цинка, так и соединения железа. При этом практически все известные процессы предполагают их раздельное использование. Это приводит к необходимости их разделения в процессе переработки пыли.

Основные процессы выделения цинка известны достаточно давно и в той или иной мере используются на практике, однако нестабильность состава электросталеплавильных пылей и разнообразие соединений элементов требуют поиска наиболее эффективных путей для обеспечения экономически обоснованных вариантов переработки.

В настоящее время для выделения цинка могут использоваться два направления: гидрометаллургическое и пирометаллургическое.

Первое связано с использованием химических реагентов, а второе с использованием высокотемпературных процессов.

Кроме того, известны технологии получения концентратов оксида цинка из пылевидных материалов при помощи гидроциклонов (например, по способу компании British Steel и способу DeZn японской компании Rasa Corp.).

Основной проблемой большинства технологий является необходимость переработки относительно небольших объемов пыли, образующейся на отдельном предприятии. С другой стороны, хорошо известно, что удельные капиталовложения увеличиваются при уменьшении производительности оборудования, а кроме того при уменьшении производительности увеличиваются удельные энергозатраты. Перевозка пыли из разных мест на перерабатывающий завод большой производительности экономически нецелесообразна, так как сопряжена с высокими транспортными и организационными расходами. Как результат эффективные в одних странах технологии (особенно при высоких требованиях к охране окружающей среды и значительных объемах отходов) могут быть не окупаемыми в других странах.

Так как гидрометаллургические способы требуют дорогостоящего оборудования, кислот (щелочей) и других реагентов, а кроме того содержат отходы, имеющие степень опасности выше чем исходная пыль, то для местного применения целесообразно рассматривать пирометаллургические процессы в различных их модификациях.

Различные пирометаллургические технологии опробованы в пилотном и промышленном масштабе.

Рассмотрим основные технологии, которые были реализованы в промышленных масштабах.

Вельц-процесс.

Наиболее распространен в настоящее время и относится к наилучшей доступной технологии на ближайшие 25 лет [1]. Особенности: выдержка предварительно окомкованной шихты без восстановителя во вращающейся трубчатой печи при температуре 1200 °С, улавливание возгонов цинка после конденсации в системе газоочистки, низкая степень металлизации, степень извлечения цинка 98% (в сыром оксиде цинка содержится 50–60% Zn). Достоинства: низкое энергопотребление; оптимизированная технология; простота технологического процесса в одну ступень. Недостатки: низкое качество продукта («грязный» оксид цинка); большое количество вновь образующихся отходов (около 700–800 кг/т загруженной пыли); извлечение только одного ценного металла.

Вельц-процесс, комбинированный с выщелачиванием по способу компаний Horsehead (США), Glencore (Италия) и «Акита» (Япония).

Продуктом является металлический цинк. Достоинства: независимость от первичных цинковых заводов; возможность извлечения свинца и серебра; удаление хлора и фтора до низкого уровня. Недостатки: высокие инвестиционные затраты, высокая себестоимость цинка; низкая степень восстановления железа.

Высокая степень извлечения цинка 90–99 % достигается в процессах получения металлизированного продукта в процессах компаний Крупп и Лурги (Германия), компаний «Кавасаки сэйтэцу» и «Сумитомо киндзоку коге» (Япония) (например, Dust Reduction, SPM и др.), компании «Ниппон кокан» (Япония), технология SL/RN. Все эти процессы предполагают восстановление оксидов железа из широкого спектра отходов углеродсодержащими восстановителями (лигнит, коксик, уголь, антрацит) при использовании вращающихся трубчатых печей. Общими недостатками данных процессов являются: высокие капитальные и эксплуатационные затраты, значительные размеры трубчатой печи, сложность организации температурного контроля и управления тепловой и технологической работой печи, низкий КПД процесса металлизации.

«Тиссен-Шталь» (Германия)

Особенности: выдержка окомкованной пыли доменного и сталеплавильного цехов в кипящем слое при температуре 1000 °С в восстановительной атмосфере (степень металлизации до 97%), отделение продуктов возгонки от пыли в циклонах, улавливание возгонов после охлаждения и конденсации в рукавных фильтрах (извлечение цинка 80%). Преимущества: исключение стадии окускования пылевидных отходов, эффективный тепло- и массообмен. Недостатки: невысокая степень использования газа-восстановителя, повышенный расход тепла, нарушение стабильности кипящего слоя вследствие слипания частиц при степени металлизации свыше 25–30%.

Процессы Fastmet и Fastmelt, компаний KobeSteel и Midrex direct reduction corporation.

Fastmet – восстановление электросталеплавильных пылей во вращающихся кольцевых печах при температуре 1300–1350 °С, Fastmelt – плавление восстановленного продукта в электропечи. Степень металлизации в процессе Fastmet – 75–94%. Степень извлечения цинка 98–99%. Достоинства: возможность рециклинга железа, высокая производительность процесса (время восстановления около 10 мин.) Недостатки: высокие капитальные и эксплуатационные затраты, высокое энергопотребление, окупаемость при переработке не менее 200 тыс. тонн пылей, нестабильный состав железа прямого восстановления.

Primus Process, компания Paul Wurth (Люксембург)

Двухступенчатый процесс. Доменные и конвертерные шламы, замасленная прокатная окалина, пыль электросталеплавильного производства, восстановитель (уголь), загружаются в многоподовую печь, где происходит предварительное восстановление при температуре 1100 °С. Железо прямого восстановления переплавляется в электродуговой печи в литейный чугун. Концентрат оксида цинка с содержанием цинка более 60%. Достоинства: широкий спектр пе-

перерабатываемых металлургических отходов, получение высококачественного конечного продукта в виде литейного чугуна и концентрата оксида цинка, исключение стадии брикетирования. Недостатки: высокие капитальные затраты, высокое потребление энергоресурсов. Примеры: установка производительностью 85 тыс. т отходов в год эксплуатируется в Люксембурге, на Тайване – установка мощностью 120 тыс. т/год.

Процесс компании ZincOx Resources.

Брикетирование пылевидных железосодержащих отходов и угольной мелочи со связующим, прокалка в кольцевой печи с вращающимся подом при температуре > 1250 °С, улавливание возгонов цинка в рукавных фильтрах после охлаждения и конденсации 85–90, содержание $Fe_{мет}$ в продукте – 61%. Степень извлечения цинка 90% (оксид и соли цинка). Высокая энергоэффективность благодаря непрерывному характеру процесса и дожиганию отходящих газов в печи. Недостатки: высокие капитальные затраты. Действующее предприятие в Южной Корее имеет производительность 400 тыс. т отходов в год.

Технология Охусур, компании Kuttner (Германия)

Брикетирование смеси мелкодисперсных пылей и шламов и восстановителя (кокс) на цементной связке, загрузка брикетов в шахтную печь, восстановление металлов при температуре 1000°С, непрерывный процесс плавления брикетов в шахтной печи (вагранке) при температуре 1500°С, продукт – чугун. Улавливание возгонов цинка в системе газоочистки (содержание цинка – более 30%). Недостатки: высокое потребление топлива, необходимость в дальнейшей переработке соединений цинка.

Процесс PIZO, компании Heritage (США). Непрерывный одностадийный процесс с плавлением восстановленного продукта в индукционной печи. Содержание цинка в сыром оксиде 65–70% [1]. Недостатки: высокое энергопотребление, низкий выход и низкое качество получаемого оксида цинка и железной фазы, относительно низкая производительность, взаимодействие возгоняемого цинка с огнеупорной футеровкой.

Плазменные технологии переработки цинксодержащей сталеплавильной пыли

Технология ScanDust (Швеция)

Перемешивание электросталеплавильной пыли с коксом и водой, инжектирование в нижнюю часть плазменного генератора, улавливание возгонов в газовом фильтре. Степень металлизации высокая. Оксид цинка улавливают и восстанавливают в других процессах.

Процесс ArcFume (Норвегия). Смешивание пыли с восстановителем (кокс, уголь, угольная пыль), подача в плазменную печь с восстановительной газовой атмосферой, улавливание частиц цинка в рукавном фильтре. Степень металлизации низкая, железо восстанавливается до FeO , который образует шлак. Достоинства: гибкость к изменениям параметров процесса, возможность исключения стадии окускования пыли. Недостатки: высокие энергозатраты, жесткие требования к качеству сырья по химсоставу и крупности.

Компания Tetronics (Великобритания), компания «Минтек» (США).

Загрузка пылевидных отходов в плазменнодуговые печи с центральным вращающимся наклонным плазмотроном (катодом) и ванной (анодом), плазмообразующий газ – аргон или азот. Восстановление при температуре 1500–1550 °С с разложением органических и неорганических соединений. Конечный продукт – чугун и сырой оксид цинка. Достоинства: исключение стадии окускования пылевидных отходов, минимальное воздействие на окружающую среду, простота управления и обслуживания; относительно низкие капитальные затраты и эксплуатационные расходы; универсальность технологии, возможность переработки широкого спектра отходов. Недостатки: высокие энергозатраты.

Литература

1. Волынкина Е.П. Вторичные ресурсы, образующиеся в металлургической промышленности // Электронный ресурс URL: https://eipc.center/wp-content/uploads/2020/08/encycl/p_three/chpt_18.pdf (дата обращения: 15.02.2021)

Использование алюминиевых отвалных шлаков для внепечной обработки стали

Трибушевский Л.В., Немененок Б.М., Румянцева Г.А., Шейнерт В.А.
Белорусский национальный технический университет

Требования к чистоте стали по неметаллическим включениям постоянно повышаются. Например, для сталей энергетического машиностроения за последние 50 лет допустимые концентрации по сере снижены в 15 раз, а по фосфору в 12 раз и составляют в настоящее время соответственно 0,002 % и 0,003 % [1]. Обеспечение таких низких концентраций данных элементов в условиях плавильного агрегата нереально, что требует использования эффективной внепечной обработки. Как известно [2], для повышения чистоты стали по неметаллическим включениям наиболее целесообразно использовать ее обработку синтетическими шлаками на основе СаО и Al_2O_3 , что приводит к повышению себестоимости стали.

С целью снижения данного показателя следует обратить внимание на возможность замены Al_2O_3 отвалными алюминиевыми шлаками, которые содержат 75-80 % оксида алюминия и менее 10 % свободного алюминия. Длительное хранение алюминиевого шлака на открытой площадке способствует окислению остаточного алюминия до Al_2O_3 и вымыванию остатков солевых флюсов до содержания 1,0-1,5 %.

Данный показатель зависит от начального содержания солей в шлаке, срока и условий их хранения. Наличие солевых флюсов в составе синтетического шлака крайне нежелательно. Хлориды натрия и калия при температурах получения синтетических шлаков или рафинирующей обработки стали являются источниками газов типа Cl_2 , HCl и других, загрязняющих воздух рабочей зоны, и негативно влияющих на здоровье работающих. Тем не менее, большинство раскислительных смесей на базе вторичных алюминиевых шлаков содержат в своем составе до 40 % хлоридов натрия и калия, что упрощает технологию его подготовки к использованию. Наиболее подходящими компонентами для получения синтетических шлаков являются алюминиевые шлаки, образовавшиеся при бесфлюсовой плавке, т.е. без использования хлоридов натрия и калия.

Использование в сталеплавильном производстве техногенных отходов в режиме рециклинга вторичных ресурсов является существенным резервом повышения эффективности металлургического производства. Наличие в составе флюсов металлического алюминия в количестве более 5÷10 % обеспечивает более глубокое раскисление шлака и снижение его окисленности, что способствует более полной десульфурации стали.

Для некоторых марок сталей не допускается раскисление алюминием, что требует снижения его содержания во вводимых реагентах, в том числе и в шлакообразующих смесях. Для отделения корольков алюминия от шлаков бесфлюсовой плавки его можно подвергнуть вихревой сепарации с использованием ленточного конвейера с многополюсным магнитным ротором. При вращении многополюсной магнитной системы в частицах металлического алюминия индуцируются вихревые токи, которые, в свою очередь, создают магнитное поле противоположное по направлению роторной магнитной системе. В результате взаимодействия магнитных полей металлические частицы алюминия будут выбрасываться из движущегося потока и отделяться от неэлектропроводящей фракции.

Такая подготовка отвалного шлака позволяет полностью извлечь из него металлический алюминий, который в дальнейшем может быть использован для производства чушкового раскислителя или «пирамидок». Неэлектропроводящая фракция отвалного шлака сплавляется с известью для получения синтетического шлака или используется при получении разжижителей рафинировочного шлака.

С целью усиления рафинирующего действия и модифицирования неметаллических включений в сталях к смеси Al_2O_3 -CaO целесообразно добавление барий-стронциевого карбоната БСК-2 в количестве до 15 мас. %. Добавка БСК-2 обеспечивает глубокое раскисление и десульфурацию стали [3].

Таким образом, определенная подготовка отвальных алюминиевых шлаков позволяет успешно использовать их в качестве основы при производстве реагентов для внепечной обработки стали.

Литература

1. Еланский, Д.Г. Обзор докладов на пленарном заседании XIV международного конгресса сталеплавильщиков / Д.Г. Еланский, Г.Н. Еланский // Сталь. - 2016. - № 11. - С. 21-29.
2. Воскобойников, В.Г. Общая металлургия / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. - 768 с.
3. Евразийский патент № 037177В1. Способ приготовления флюса на основе вторичного алюмосодержащего шлака / Б.М. Немененок, Л.В. Трибушевский, В.А. Шейнерт. - № 201800466; заявл. 24.07.2018; опубл. 15.02.2021.

Оптимизация фракционного состава порошка силицида для изготовления катодов мишеней вакуумных ионно-плазменных источников

Бежок А.П., Шейнерт В.А., Касперович И.А.
Белорусский национальный технический университет

В результате экспериментальных исследований разработан литейно-деформационный метод изготовления катодов мишеней для вакуумных ионно-плазменных источников [1].

Однако, несмотря на обнадеживающие результаты использования разработанной методики в структуре прессованных заготовок катода обнаружена микропористость. При этом плотность прессовок составляла 80-85% от фактической плотности литой заготовки. По-видимому, это связано в первую очередь, несмотря на высокое удельное давление прессования, с высокой прочностью частиц силицида при полном отсутствии пластических свойств. Потому, даже наращивание усилий прессования не обеспечивало снижение пористости заготовки катода. Одним из вариантов решения данной задачи является применение специально подобранного фракционного состава порошка силицида для прессования, обеспечивающую наиболее плотную упаковку частиц в полученной заготовке.

На рисунке 1 приведена фотография внешнего вида исходного порошка комплексного силицида фракцией менее 0,08мм, полученного методом электронной микроскопии.

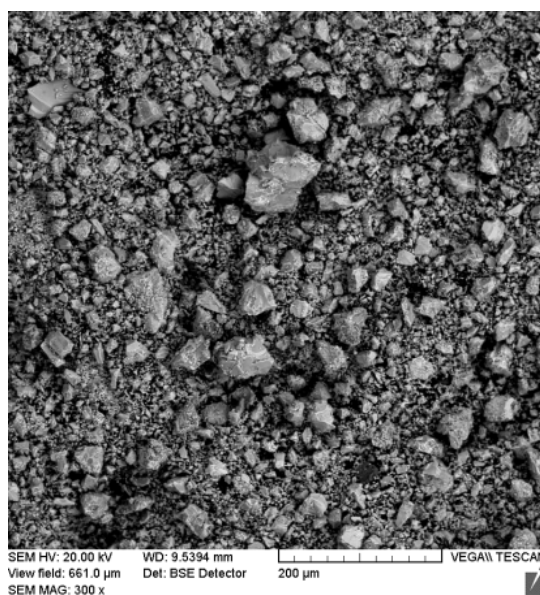


Рисунок 1 - Электронное изображение порошка комплексного силицида для прессования катода

При анализе изображения можно заключить, что порошок представлен случайным набором частиц размером от 5 до 80 мкм. При этом форма частиц сравнительно округлая с коэффициентом сферичности 0,6-0,8, вплоть до самых мелких фракций. При прессовании подобного порошка можно получить сравнительно плотные заготовки, однако практика показала, что достичь плотности, превышающей 85% от плотности литого сплава не удалось даже при давлении 10 т/см². Такая плотность материала катода являлась недостаточной для обеспечения высоких технологических показателей в процессе распыления. Поэтому для достижения меньшей пористости получаемых заготовок применены теоретические принципы формирования плотнейших упаковок частиц, хорошо разработанных геометрически и математически. За базовую упаковку частиц была принята гексагональная плотная упаковка шаров одного диа-

метра с коэффициентом заполнения 0,74, получаемая простым встряхиванием свободно насыпанных в форму сферических частиц. Такие упаковки частиц возникают при вибро-уплотнении порошков с формой частиц близкой к сферической. Для того, чтобы достичь плотности заполнения 0,95 была разработана 3Д модель, позволившая вычислить необходимое количество и размеры шаров второго, третьего и четвертого порядков требуемое для заполнения пустот между шарами первого порядка.

На рисунке 2 представлена модель гексагональной плотной упаковки сфер, пустоты которой заполнены элементами второго, третьего и четвертого порядка. В результате выполненных расчетов был получен следующий теоретический фракционный состав: частицы диаметром 0,5мм - 74,09%; диаметром 0,2мм - 5,26%; диаметром 0,11мм - 1,12%, диаметром 0,088 мм - 3,22%; диаметром 0,077мм - 1,44%. Ввиду малой разницы диаметров частиц 0,088 и 0,077мм они были объединены в одну фракцию 0,08мм с долей общего объема 4,66%. Исходя из наличия доступных сит, фракционный состав смеси для получения прессованных заготовок катодов был следующий.

-фракция 0,63-0,5мм-74,1%.

-фракция 0,25-0,20мм-5,3%.

-фракция 0,16-0,10мм-1,1%.

-фракция 0,10-0,08мм- 4,7%

Это в сумме составляет 85,2% от общего объема прессовки с абсолютной плотностью. Оставшийся свободный объем 14,8% решено было заменить микропорошком с размером частиц менее 10 мкм, полученном размолотом фракций 0,25-0,10 мм на планетарной мельнице. В качестве пластификатора для увеличения подвижности смеси при прессовании использовалась добавка поливинилового спирта.

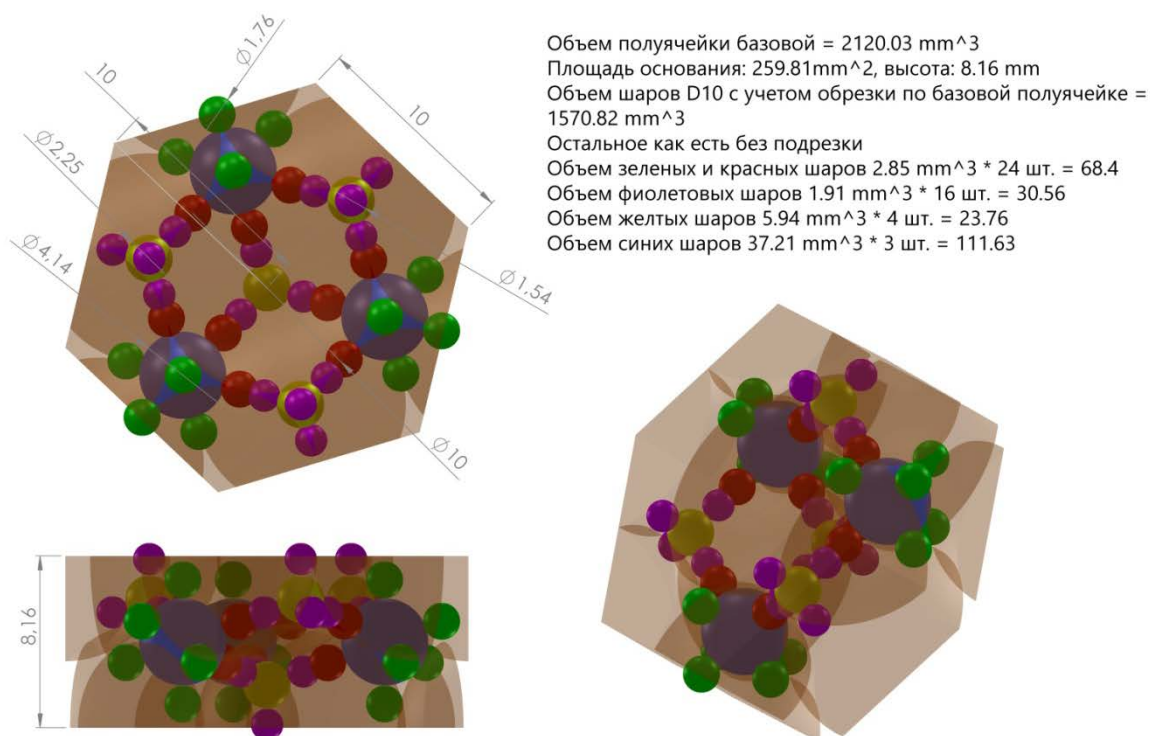


Рисунок 2 - Модель гексагональной плотной упаковки сфер с заполнением пустот до четвертого порядка

С учетом полученных результатов и применительно к конкретной вакуумно-электродуговой испарительной установке в дальнейшем использовался порошок такого фракционного состава, который позволил получить прессованные заготовки катодов-мишеней с фактической плотностью 90-95% от плотности литого материала.

Экспериментально установлено, что плотность катода, полученного на порошке такого фракционного состава, составила 92%, определённая методом гидростатического взвешивания заготовок, покрытых полимерным лаком, что на 10-12% больше, чем у аналогичного образца, изготовленного из порошка комплексного силицида с размером частиц менее 0,08 мм.

В лабораторных условиях апробирован вариант изготовления катода-мишени на основе порошка комплексного силицида предложенного фракционного состава, при котором его нижняя поверхность шлифовалась с последующей припайкой стального токовода. На рисунке 3. представлены фотографии полученного таким способом катода-мишени и его элементов.



Рисунок 3 - Основные элементы (а) и готовый образец(б) катода-мишени полученный литейно-деформационным методом

Литература

1. Иванов, И.А. Совершенствование процесса получения катодов-мишеней из комплексных силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников / И.А. Иванов [и др.] // Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск: БНТУ, 2020. – Вып. 41. – С. 7-14.

Процессы получения и особенности структурообразования функционально-градиентных материалов

Лущик П.Е., Рафальский И.В.

Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

В работе выполнена систематизация и анализ процессов получения и особенностей структурообразования функционально-градиентных материалов (ФГМ), которые представляют собой инновационный класс композиционных материалов (КМ), состав, структура и свойства которых постепенно изменяются в заданном направлении.

Концепция ФГМ, разработанная японскими исследователями и активно развиваемая с 1984 г., характеризует качественно новый этап в развитии КМ, которые отличаются большим структурно-конструкционным разнообразием и могут включать разнородные материалы со значительно отличающимися физическими и химическими свойствами. В зависимости от назначения при получении КМ могут быть использованы металлические, полимерные, керамические материалы либо их комбинации – гибридные материалы. Важными характеристиками гибридных КМ являются их функциональные свойства (тепло- и электропроводность, коэффициент теплового расширения, повышенная стойкость к ударным воздействиям и др.). Обладая уникальным сочетанием различных свойств, гибридные КМ широко востребованы в аэрокосмической, автомобильной, атомной, горнодобывающей, спортивной, биомедицинской, электронной и других отраслях промышленности. Несмотря на преимущества перед традиционными материалами, КМ подвержены резкому изменению физико-механических свойств на границе раздела разнородных структурных составляющих, что может приводить к потере работоспособности изделия в условиях экстремальной эксплуатации. Этот недостаток устраняется получением модифицированной, функционально-градиентной структуры КМ с плавным и непрерывным переходом свойств от одного материала к другому.

Существующие технологии изготовления ФГМ интенсивно развиваются с целью обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств изделий. В зависимости от структуры могут быть получены непрерывно-структурированные ФГМ с непрерывным градиентом от одного материала к другому или прерывисто-структурированные (дискретные) ФГМ, в которых градиент материала обеспечивается послойно. В зависимости от способа получения и пространственных характеристик, могут быть получены объемные (пространственные) материалы, а также пленочные и поверхностно-модифицированные ФГМ с тонкими функционально-градиентными покрытиями.

Получение ФГМ может быть реализовано с использованием широкого спектра технологий и оборудования, в том числе: электрохимического нанесения покрытий, физического и химического осаждения, газотермического напыления, наплавки и сварки, импульсного электрофизического воздействия, порошковой металлургии, химико-термической обработки, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, центробежного литья, аддитивных технологий 3D-печати и др.

Перспективным является применение комбинированных схем обработки материалов, используемых для получения многослойных гибридных ФГМ, обеспечивая возможность получения материалов с повышенными показателями прочности, износостойкости и стойкости к ударным воздействиям.

В настоящее время стойкость к ударным воздействиям КМ имеет исключительно важное значение в обеспечении структурной целостности конструкций и изделий, особенно, в автомобиле- и авиастроении, судостроении, атомной и военной промышленности, космических аппаратов, горнодобывающего и спортивного оборудования и др.

Высокими показателями свойств поглощения энергии удара, удельной прочности и низкой плотности обладают ФГМ с использованием тканевых и пленочных полимерных материалов (сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), пара-арамидное волокно

(кевлар), армированные стекловолокном (стекло-пластики) и углеродным волокном (углепластики) полимеры и др.). Однако ФГМ на основе полимерных материалов, как правило, не обеспечивают возможность эксплуатации изделий при повышенных температурах (СВМПЭ до 80-100 °С, стеклопластики на основе эпоксидных смол до 80-200 °С, полиимидов до 200-400 °С), а тканевые материалы в ряде случаев нестойки к истиранию, воздействию кислорода (углеволокно), УФ-излучению и воздействию влажной среды (кевлар).

Высокие показатели износостойкости, твердости, жаростойкости и тугоплавкости имеют ФГМ на основе керамических материалов, преимущественно, на основе оксидов (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2 и др.), карбидов (WC , TiC , B_4C , SiC и др.), нитридов (TiN) и других керамических соединений. Однако принципиальными недостатками этих материалов являются хрупкость, трудность обработки, невысокая стойкость к ударным воздействиям, особенно в условиях циклического воздействия механических и термических ударов.

ФГМ на основе металлических (преимущественно, сплавы на основе железа, титана и алюминия) материалов обладают высокой стойкостью к ударным воздействиям, хорошей обрабатываемостью и механическими свойствами, в том числе при повышенных температурах. Сплавы на основе железа представлены, преимущественно, среднеуглеродистыми, среднелегированными сталями мартенситного класса, требуемые прочностные свойства которых достигаются, как правило, после закалки и низкого отпуска. При выборе состава и способа термической обработки стали требуется обеспечить сочетание высокой твердости, прочности, пластичности и ударной вязкости для предотвращения хрупкого разрушения материала. Металлические материалы на основе титана и алюминия представлены, преимущественно, высокопрочными марками сплавов. Существенным недостатком ФГМ на основе металлических материалов является более высокие удельная плотность и вес конструкций по сравнению с остальными типами ФГМ.

Значительным потенциалом свойств поглощения энергии удара и прочности при повышенных температурах обладают гибридные ФГМ на основе многослойных металлических (в том числе с использованием тканевых, сеточных компонентов и пеноматериалов) и металло-керамических материалов (на основе керамических соединений при различном содержании Co , Ni , Fe , Al , Ti и других металлов и сплавов), обеспечивающих возможность получения конструкций с повышенными показателями жаропрочности и стойкости к ударным воздействиям при общем снижении веса конструкций ФГМ. При разработке гибридных многослойных ФГМ перспективным является использование пористых, сотовых, ячеистых металлических материалов, а также биоинспирированных материалов и ауксетических структур с высокими свойствами поглощения энергии ударных воздействий.

Моделирование процессов получения соединений листовых материалов на основе сплавов титана и алюминия способом сварки трением с перемешиванием

Неменёнок Б.М.¹, Рафальский И.В.², Лущик П.Е.^{2, 3}, Радченко А.А.³,
Бубен Д.В.³, Адепу Кумар⁴

¹Белорусский национальный технический университет, ²Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ³ОХП «Институт сварки и защитных покрытий» ГНУ «ИПМ НАН Беларуси», ⁴Национальный технологический институт (г.Варангаль, Индия)

Исследованы процессы получения соединений листовых материалов на основе сплавов титана и алюминия способом сварки трением с перемешиванием (СТП) средствами компьютерного моделирования. Результаты численного моделирования процесса СТП позволили установить распределение температур и напряжений в свариваемых разнородных материалах с учетом влияния различных параметров процесса СТП, конфигурации инструмента и его положения в пространстве.

При моделировании сварки трением с перемешиванием используются различные численные методы вычислений, в том числе конечных элементов, конечных объемов, конечных разностей. Использованный в численных методах математический аппарат основан на тепловых [1], термомеханических [2, 3], гидродинамических [4, 5], механики деформируемого твердого тела [6-8], концептуальных [9] и кинематических [10] моделях, которые разрабатывались исследователями собственными силами или были встроены в компьютерные системы моделирования технологических процессов, такие как Abaqus, COMSOL, Fluent, Deform-3d, CTH, Forge3D, Ansys, Nisa, Star-ccm, iStir, Stir3d, Fidap, Sysweld, Cosmos, Hickory, Thercast, Fastflo, и Weldsim.

Моделирование физических процессов соединения материалов при использовании метода сварки трением с перемешиванием, как правило, реализуется на основе следующих математических подходов:

- 1) Произвольный метод Лагранжа-Эйлера (МЛЭ);
- 2) Поэтапный метод Лагранжа;
- 3) Метод Эйлера.

Для численного анализа поставленной задачи была разработана термо-механически связанная трехмерная конечно-элементная модель с жестким поведением вязко-пластичного материала для расчета на основе метода Лагранжа. Сложность данной задачи существенно возрастает ввиду использования разнородных материалов при сварке, в связи с чем необходима точная валидация и верификация разработанной модели с использованием натурального эксперимента.

Для решения поставленной задачи была выбрана система имитационного моделирования технологических процессов Deform-3D. По полученной трехмерной модели была построена конечно-элементная модель системы, состоящей из двух пластин, основания и инструмента без оправки (для ускорения расчета) (рисунок 1). Модель инструмента была задана абсолютно жесткой, однако в отличие от основания имеет объемную конечно-элементную сетку для полноценного расчета теплопередачи. Конечно-элементная сетка инструмента имеет минимальный размер ячеек 1 мм с общим числом конечных элементов – 4972. Модели пластин сплавов алюминия и титана изначально строились с более мелкой сеткой для увеличения схожести расчетов, при этом Deform 3D способен автоматически локально перестраивать сетку (измельчать или укрупнять) для снижения вероятности возникновения ошибок расчета.

Теплофизические данные свариваемых материалов задавались по отдельности на основе литературных данных и значений из библиотеки материалов программного обеспечения. Практический интерес представляет сварка промышленных сплавов, поэтому в модели в качестве материалов выбраны алюминиевый сплав АД31 (Al6063) и титановый сплав Ti6Al4V.

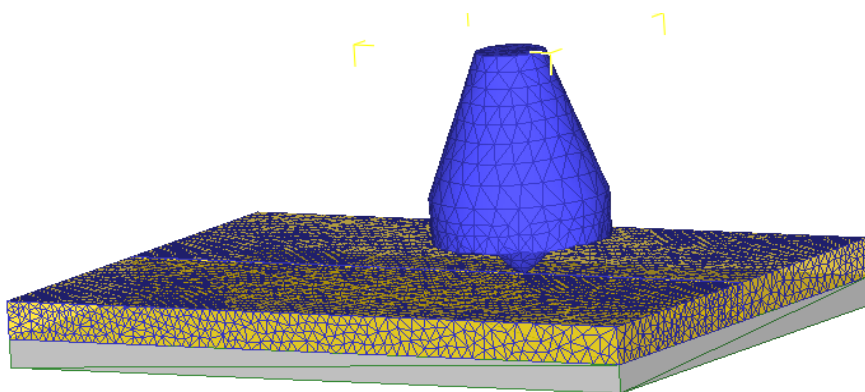


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель инструмента

Результаты моделирования распределения температур и напряжений при моделировании сварки трением разнородных материалов на основе титана и алюминия (соединение листовых материалов встык) представлено на рисунках 2, 3.

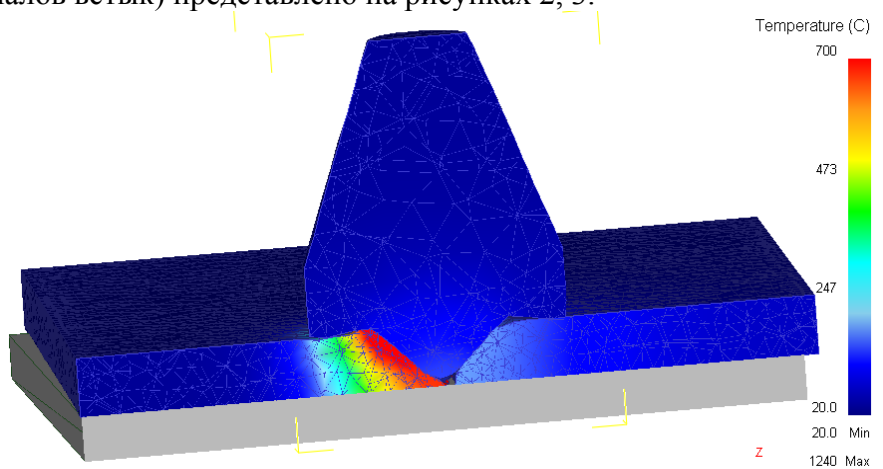


Рисунок 2 – Распределение температур при моделировании сварки трением разнородных материалов на основе титана и алюминия (соединение листовых материалов встык)

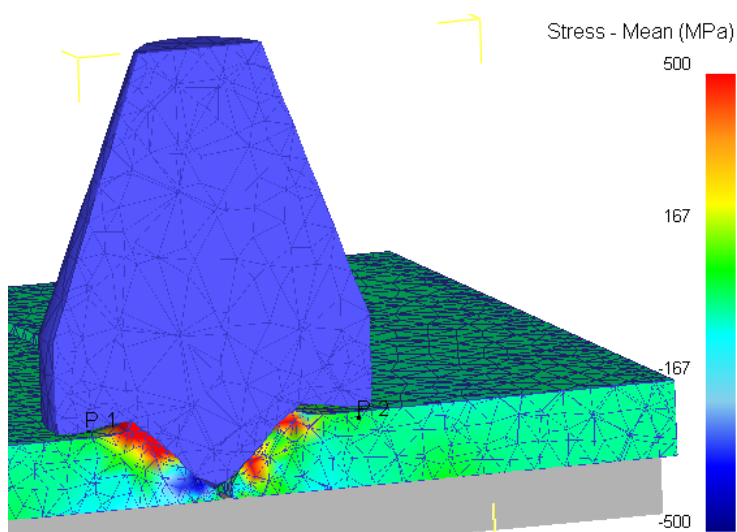


Рисунок 3 – Распределение главных напряжений при моделировании сварки трением материалов на основе титана и алюминия (соединение листовых материалов встык)

Анализ результатов моделирования показал, что обязательным условием для проведения качественного процесса СТП на основе сплавов титана и алюминия является уклон ин-

струмента. Для выбранных скоростей вращения инструмента оптимальной с точки зрения минимизации разрушений и появления дефектов сварки являются значения в области 900 об/мин. Снижение скорости вращения до 700 об/мин существенно не приводит к изменениям в ряде случаев, однако может способствовать падению температуры на отдалении инструмента от начальной точки.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Т19ИНДГ-007 «Исследование межфазного взаимодействия и формирования структуры зерна в швах, полученных сваркой трением, для различных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов с титановыми сплавами».

Литература

1. Nourani, M. Taguchi Optimization of Process Parameters in Friction Stir Welding of 6061 Aluminum Alloy: A Review and Case Study / M. Nourani, A.S. Milani, S. Yannacopoulos // Engineering. – 2011. – Vol. 3, No. 2. – pp. 144–155.
2. Schmidt, H. A Local Model for the Thermomechanical Conditions in Friction Stir Welding / H. Schmidt, J. Hattel // Model. Sim. Mater. Sci. Eng. – 2005. – Vol. 13, No. 1. – pp. 77-93
3. Chen, C. Finite Element Modeling of Friction Stir Welding-Thermal and Thermomechanical Analysis / C. Chen, R. Kovacevic // Inter. J. Mach. Tool. Manuf. – 2003. – Vol. 43, No. 13, pp. 1319-1326.
4. Long, T. Process Response Parameter Relationships in Aluminium Alloy Friction Stir Welds / T. Long, W. Tang, and A.P. Reynolds // Sci. Tech. Weld. Join. – Vol. 12, No. 4. – pp. 311–318.
5. Arora, A. Strains and Strain Rates during Friction Stir Welding / A. Arora, Z. Zhang, A. De, T. Debroy, // Scrip. Mater. – 2009. – Vol. 61, No. 9. – pp. 863–866.
6. Fratini, L. Using a Neural Network for Predicting the Average Grain Size in Friction Stir Welding Processes / L. Fratini, G. Buffa, D. Palmeri // Comp. Struc. – 2009. – Vol. 87, No. 17-18. – pp. 1166–1174.
7. Zhang, Z. Numerical Studies on Controlling of Process Parameters in Friction Stir Welding / Z. Zhang, H.W. Zhang // J. Mater. Proc. Tech. – 2005. – Vol. 9. – pp. 241–270.
8. Azimzadegan, T. Thermo-mechanical Modeling of Friction Stir Welding / T. Azimzadegan, S. Serajzadeh // Int. J. Mater. Research. – 2010. – Vol. 101, No. 3. – pp. 390–397, 2010.
9. Colligan, K.J. A Conceptual Model for the Process Variables Related to Heat Generation in Friction Stir Welding of Aluminum / K.J. Colligan, R.S. Mishra // Scrip. Mater. – 2008. – Vol. 58, No. 5. – pp. 327–331.
10. Heurtier, P. Mechanical and Thermal Modelling of Friction Stir Welding/ P. Heurtier, M.J. Jones, C. Desrayaud, J.H. Driver, F. Montheillet, D. Allehaux // J. Mater. Proc. Technol. – 2006. – Vol. 171, No. 3. – pp. 348–357.

Комплексная обработка высокопрочного чугуна, полученного с использованием методов литья, деформации и изотермической закалки

Покровский А.И.¹ (), Лущик П.Е.², Рафальский И.В.²

¹Физико-технический институт НАН Беларуси, ²Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

В работе проведена систематизация данных о методах исследования и моделях зарождения и роста графитных включений, процессов получения и особенностей структурообразования высокопрочного чугуна, полученного с использованием методов литья, деформации и изотермической закалки.

Высокопрочный чугун (ВЧ) для ряда ответственных машиностроительных изделий (поршневые и уплотнительные кольца, блоки цилиндров, коленчатые и распределительные валы, тормозные барабаны, диски сцепления, тормозные барабаны, ступицы колес, коробки дифференциалов, кронштейны, гидравлические муфты, подвески рессор, картеры задних мостов) является оптимально сбалансированным (и перспективным конструкционным материалом).

ВЧ представляет собой многофазную систему, структурные составляющие которой можно изменять с использованием методов литья, деформирования и термической обработки, что позволяет целенаправленно управлять механическими и эксплуатационными свойствами изделий. Особенностью чугуна по сравнению со сталью является гетерогенная металломатричная композиционная структура, включающая разнородные структурные составляющие:

- металлическая матрица (прочная и пластичная основа материала);
- графитные включения (непрочные по сравнению с прочностью матрицы, но при этом обеспечивающие исключительно высокие трибо-технические и демпфирующие показатели изделий).

Основные направления совершенствования структуры и повышения свойств чугуна основываются на модификации его структурных составляющих:

- изменение морфологии графита от разветвленной к компактной и сферической (переход от класса серых чугунов к классу высокопрочных чугунов с шаровидным графитом - ВЧШГ);
- переход на аустенито-бейнитную структуру металлической матрицы («бейнитный чугун»), при этом структура металлической матрицы этого чугуна не является полностью бейнитной, а содержит, еще некоторое количество нераспавшегося аустенита (АБЧШГ – аустенитно-бейнитный чугун с шаровидным графитом, за рубежом такую структуру называют «аусферритной»).

Действующий межгосударственный стандарт «Чугун с шаровидным графитом для отливок» предусматривает достаточно широкую гамму марок высокопрочных чугунов, в том числе наиболее высокую - ВЧ 100, обладающую показателем предела прочности при растяжении на уровне 1000 МПа.

Повышение уровня механических свойств чугуна может быть достигнуто за счет легирования, модифицирования, а также термической обработки, в частности, изотермической закалки, позволяющей достичь показателей прочности 1000-1200 МПа при удлинении 2-10%.

При определенных условиях литые изделия из ВЧ можно пластически деформировать. Исследуя процесс горячего выдавливания ВЧ, установлено, что хрупкое в обычном состоянии графитное включение ведет себя как пластическая субстанция без повреждения и нарушения сплошности, изменяя свою форму от шаровидной к овальной, эллипсоидной, веретенообразной и нитевидной по мере увеличения степени деформации, а металлическая матрица существенно измельчается.

Обработка давлением позволяет добиться существенного улучшения качества чугуна и комплекса физико-механических характеристик, а также эффективно управлять их распределением по сечению изделия. При этом обеспечивается увеличение прочности чугуна до 2 раз, достигается значительное улучшение акустических характеристик. Производственные испытания опытных и опытно-промышленных партий штампованных шестерен из чугуна показали, что их прочностные показатели повышаются до уровня легированных сталей (1200 МПа и более), а уровень шума при работе зубчатой пары снижается на 2-4 дБ, что актуально для соответствия современным европейским нормам ЕЭК ООН, предъявляемым к автомобильной технике.

Теоретические основы процесса формирования включений шаровидного графита в чугунах описываются различными моделями и гипотезами, в том числе моделями «газовых пузырьков», «микровзрывов», «пылевидных включений» и др. Научный и практический интерес представляет развитие моделей зарождения и диффузионного роста графита на микровключениях оксидов и сульфидов.

Получение порошков с высоким содержанием алюмооксидных фаз с использованием методов металлургической обработки алюмоматричных композиций для газотермического напыления

Рафальский И.В.¹, Лущик П.Е.¹, Руленков А.Д.², Довнар Г.В.²

¹Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ²Белорусский национальный технический университет

В результате исследования процессов получения композиционных покрытий с использованием методов газотермического напыления и лазерной обработки, систематизации и анализа данных о формировании газотермических покрытий установлено, что газотермическое напыление в настоящее время является основным методом нанесения многофункциональных (термобарьерных, защитных) покрытий, обеспечивающих значительное повышение эксплуатационных свойств, надежности и долговечности изделий. Непрерывное развитие способов получения покрытий и разработка новых материалов и оборудования для их распыления привели к широкому использованию газотермических технологий во многих, в том числе, стратегически важных отраслях: автомобилестроение, авиастроение, энергетика, транспортное машиностроение, нефтегазовая промышленность, биомедицина, электроника, строительство и др.

Большое техническое значение имеет применение защитных покрытий, полученных методами газотермического напыления с использованием керамических порошков, преимущественно, на основе оксидов алюминия (Al_2O_3), циркония (ZrO_2), иттрия (Y_2O_3), магния (MgO), кальция (CaO) и др. Газотермические покрытия на основе керамических порошковых материалов используются, в основном, для обеспечения повышенной износостойкости, термостойкости, коррозионной стойкости, электроизоляции, а также для восстановления поверхности изделий.

Функциональные свойства и качество защитных покрытий определяются, прежде всего, параметрами технологического процесса, применяемого технического оборудования, составом и свойствами исходных материалов. В качестве исходного сырья для формирования керамических покрытий наиболее предпочтительными являются порошки, поскольку изготовление стержневых и проволочных керамических материалов сопряжено с технологическими сложностями и требует дополнительных затрат. Оптимальным является использование порошковых материалов микрометрового размера (в диапазоне 30-90 мкм).

Применение порошковых материалов в качестве исходных компонентов является предпочтительным также и в случае получения композиционных, в том числе функционально-градиентных покрытий, благодаря технологической возможности предварительного смешивания и совместного распыления нескольких различных порошков в соответствующих пропорциях, в том числе с использованием плакированных материалов.

Нанесение керамических порошковых покрытий преимущественно осуществляют методами газоплазменного напыления (APS-процесс), но также может использоваться технология высокоскоростного газопламенного напыления (HVOF-процесс).

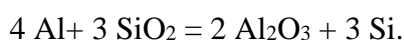
Применение наноразмерных и субмикронных порошковых материалов является актуальной проблемой газотермического напыления при получении наноструктурированных покрытий, поскольку частицы с нано- и субмикронными размерами в исходном состоянии не могут непосредственно переноситься от устройства подачи порошка к распылительному соплу. Получение наноструктурированных керамических покрытий на основе оксида алюминия может быть реализовано при использовании в качестве исходных компонентов порошков микрометрового размера, состоящих из агломерированных наноразмерных частиц (до 100 нм), либо жидких суспензий с частицами субмикрометрового или нанометрового размера (стабильный золь с наноразмерными частицами).

Типичными представителями керамических газотермических покрытий являются покрытия на основе Al_2O_3 . Независимо от исходного состояния порошка оксида алюминия, эти покрытия могут включать не только термодинамически стабильную фазу $\alpha-Al_2O_3$, но и различные переходные модификации Al_2O_3 , включая фазу $\gamma-Al_2O_3$, что приводит к снижению механических и эксплуатационных свойств покрытия по сравнению со свойствами спеченного корунда ($\alpha-Al_2O_3$).

Высокотемпературная термическая обработка (ВТО) керамического покрытия на основе оксида алюминия, полученного методами газотермического напыления, при температуре свыше $1200^\circ C$ обеспечивает возможность структурно-фазового превращения переходных модификаций Al_2O_3 в стабильную $\alpha-Al_2O_3$ фазу. Использование модифицирующих добавок (молибдена, бора) интенсифицирует этот процесс. Однако применение ВТО не может быть реализовано для большинства изделий из металлов и сплавов.

Фазовый переход $\alpha-Al_2O_3 \rightarrow \gamma-Al_2O_3$ может быть предотвращен при использовании модифицирующих добавок (в том числе оксида хрома Cr_2O_3) непосредственно в процессе распыления. Однако примесные добавки оксидов приводят к снижению свойств покрытий по сравнению со спеченным корундом, при этом процесс стабилизации $\alpha-Al_2O_3$ обеспечивается только при использовании плазмы, стабилизированной водой (WSP-процесс). В связи с этим лазерная обработка поверхности керамического газотермического покрытия представляется эффективным способом повышения его свойств.

Перспективными исходными компонентами для получения порошков с высоким содержанием алюмооксидных фаз являются продукты реакции кварцевых порошковых материалов (кремнезема) с алюминием. Технологические схемы реализации процесса синтеза кварцевых порошков с алюминием реализованы в металлургическом цикле температурно-временной обработки (ТВО) алюмоматричных кварцсодержащих композиций в жидко-твердофазном и жидком состояниях металлической основы на основе химической реакции взаимодействия алюминия с оксидом кремния:



Отношение массы алюминия, израсходованного на восстановление кремния, к массе выделившегося свободного кремния из кремнезема составляет 1,28, а соотношение массы образовавшихся алюмооксидных фаз к массе кремнезема 1,13.

Результаты спектрального анализа синтезированных оксидных фаз в алюмоматричных композициях Al/SiO_2 после их металлургической обработки (температура ТВО $800-850^\circ C$, время выдержки 1 час.), представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты спектрального анализа оксидных фаз в алюмоматричных композициях Al/SiO_2 после ТВО (температура $800-850^\circ C$, время выдержки 1 час.)

Состав химических элементов, % масс.					
Al	Si	Mg	O	C	Итого
51,8	4,7	0,4	42,8	0,3	100

Выделенные из шлаковой фазы продукты реакции после промывки и сушки были подвергнуты рентгеновскому анализу (пошаговый режим сканирования в кобальтовом монохроматизированном К-альфа излучении в диапазоне углов 2θ от 16 до 120° на дифрактометре ДРОН-3).

Установлено, что фазовый состав синтезированных оксидных фаз после металлургической обработки композиций Al/SiO_2 определяется различными модификациями оксида алюминия: кубической $Al_{2.667}O_4$ с (около 55 % мас.), ромбоэдрической Al_2O_3 (до 40 % мас.) и моноклинной $Al_{2.427}O_{3.64}$.

Параметры металлургической обработки алюмоматричных кварцсодержащих композиций Al/SiO_2 будут корректироваться в процессе изучения кинетики протекания химического взаимодействия кварцевых порошковых материалов с алюминиевым расплавом.

В качестве сырья для получения порошков с высоким содержанием алюмооксидных фаз в металлургическом цикле ТВО алюмоматричных кварцсодержащих композиций могут использоваться такие кварцсодержащие материалы, как формовочные пески (ГОСТ 2138-91). Указанные пески являются доступным и недорогим материалом, широко применяемым в литейном производстве Республики Беларусь (для приготовления форм и стержней при производстве стального, чугунного и цветного литья).

Формовочные пески в зависимости от массовой доли глинистой составляющей (частиц глинистых материалов и обломков зерен кварца и других минералов размером менее 0,02 мм) подразделяют на кварцевые (К), тощие (Т) и жирные (Ж). Кварцевые и тощие формовочные пески подразделяют на группы в зависимости от массовой доли глинистой составляющей, диоксида кремния, коэффициента однородности и среднего размера зерна, жирные - от предела прочности при сжатии во влажном состоянии и среднего размера зерна.

Анализ данных о формовочных песках показал, что оптимальные химические и фракционные составы для синтезирования алюмооксидных порошковых материалов имеют формовочные кварцевые пески марок 1К₁О₁01, 1К₁О₁016, 1К₁О₁02, 2К₁О₁01, 2К₁О₁016, 2К₁О₁02, 1К₂О₁01, 1К₂О₁016, 1К₂О₁02, 2К₂О₁01, 2К₂О₁016, 2К₂О₁02 с высокой массовой долей SiO₂ (не менее 98,0-99,0%), массовой долей глинистой составляющей не более 0,5%, коэффициентом однородности свыше 80% и средним размером зерна до 0,23 мм.

Перспективными сырьевыми ресурсами для получения порошков с высоким содержанием алюмооксидных фаз с использованием металлургического процесса переработки являются залежи силикатного песка отечественных месторождений с высоким содержанием SiO₂.

Микроструктурный анализ слоистых композитов после деформации листовых материалов на основе железа и алюминия

Рудницкий Ф.И.¹, Лущик П.Е.², Рафальский И.В.², Покровский А.И.³

¹Белорусский национальный технический университет, ²Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ³Физико-технический институт НАНБ

В работе представлены результаты микроструктурного анализа слоистых композитов, полученных с использованием различных схем деформации листовых материалов на основе железа и алюминия, по данным металлографических и спектроскопических исследований.

Изготовление слоистых образцов из разнородных листовых материалов на основе железа и алюминия осуществляли с использованием различных схем деформации, полученных методами гидроударной штамповки (ударного гидроформинга) и поперечно-клиновой прокатки (ПКП) в лаборатории высоких давлений и специальных сплавов Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси (ФТИ НАН Беларуси).

Анализ поперечных срезов экспериментальных образцов металломатричных слоистых композитов, полученных с использованием листовых материалов на основе железа и алюминия методом гидроударной штамповки, показал, что в процессе деформирования пакетов листовых материалов из алюминиевого сплава АМцМ и низкоуглеродистой стали 08кп при энергии удара УГФ от 510 до 905 Дж для всех использованных комбинаций материалов наблюдалось полное или частичное расслоение слоев. При использовании высокоэнергетических параметров воздействия на деформируемые материалы (905 Дж) наблюдалось появление трещин на стальном слое, гофрообразование и частичное разрушение образцов (рисунок 1). Таким образом, применение схем деформации при гидроударной штамповке, не предусматривающих возможность существенного перераспределения материала соприкасающихся слоев деформируемой заготовки при воздействии сдвиговых нагрузок, не позволяет обеспечить формирование прочных соединений листовых материалов на основе алюминия и железа.

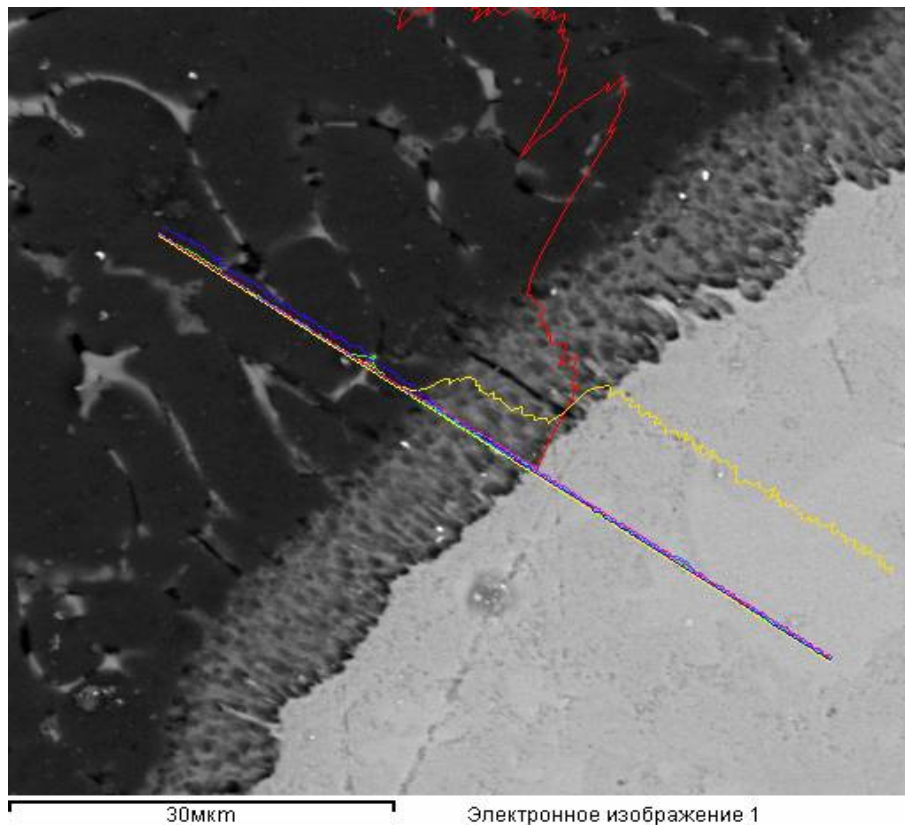


Рисунок 1 – Внешний вид поперечных срезов экспериментальных образцов металломатричных слоистых композитов, полученных с использованием листовых материалов на основе железа и алюминия, методом гидроударной штамповки алюминиевого сплава АМцМ и низкоуглеродистой стали 08кп: а – энергия удара 510 Дж; б – энергия удара 905 Дж

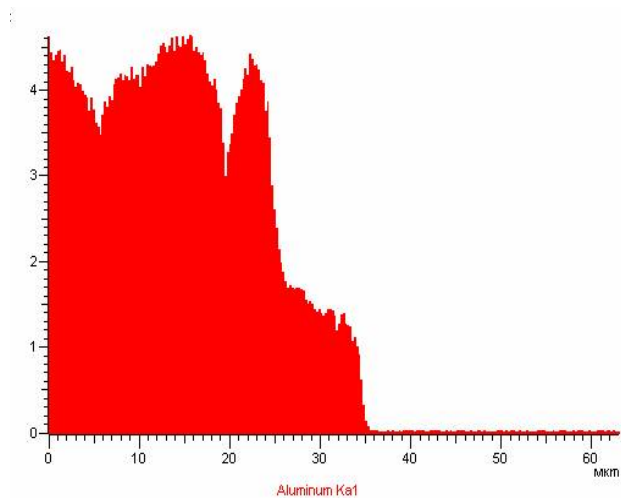
Исследование влияния эффекта перераспределения материала деформируемой биметаллической заготовки при воздействии сдвиговых нагрузок проводили с использованием образцов слоистых материалов системы «алюминий-сталь» в виде трубчатых биметаллических сэндвичей, полученных методом ПКП, формообразование которых осуществлялось путем перераспределения металла вдоль оси заготовки движущимся поперек оси плоским клиновым инструментом.

Установлено, что в экспериментальных образцах, полученных с использованием ме-

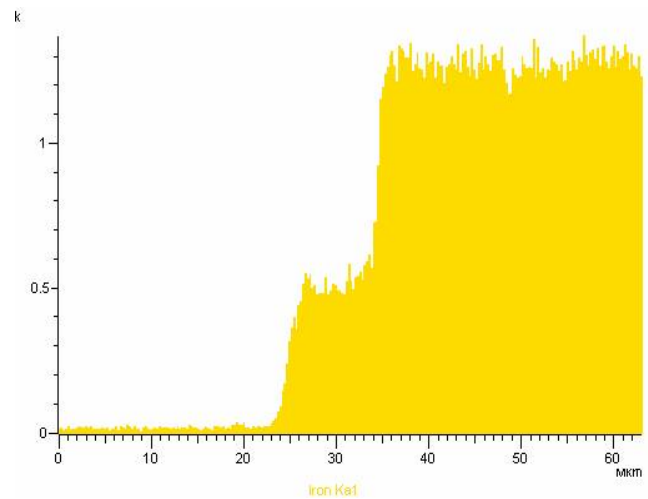
тогда продольно-клиновой прокатки материалов на основе железа и алюминия, соединение разнородных материалов реализуется преимущественно без дефектов расслоения с четко выраженной границей раздела (рисунок 2).



a)



б)



в)

Рисунок 2 – Электронное изображение микроструктуры (а) и спектры рентгенофлуоресцентного излучения основных элементов (б – алюминия, в – железа) на границе раздела разнородных материалов образцов композитов, полученных методом поперечно-клиновой прокатки

Анализ полученных данных металлографического и спектроскопического анализа исследованных композитов показал, что при использовании схем деформации материалов на основе железа и алюминия, реализуемых при ПКП, обеспечивается формирование переходной зоны соединения («сварного шва») материалов от 10 до 20 мкм, структура которой зависит от состояния поверхности соединяемых материалов и их состава.

Результаты спектроскопического анализа слоистых композитов на основе железа и алюминия, полученных методом поперечно-клиновой прокатки, свидетельствуют о том, что дефекты расслоения разнородных материалов по границе материала могут формироваться путем агрегации на границе раздела оксидных включений, а также металлических примесей, таких как висмут и свинец.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект T20КИ-023 «Исследование структурных характеристик многослойных композитов в системе Fe-Al».

Требования по охране труда при выполнении технологического процесса по нанесению интерференционных покрытий на вакуумной установке Ortus-700Автушко Г.Л.¹, Богданович Д.А.², Мандик Н.С.²¹Белорусский национальный технический университет²ОАО «Пеленг»

С момента нанесения первых интерференционных оптических покрытий прошло уже много десятков лет, но, несмотря на это на сегодняшний день актуальность их разработки не уменьшается. Плёнки, нанесённые на преломляющие и отражающие грани оптических элементов, позволяют формировать требуемые, разнообразные, часто уникальные спектральные кривые, которые могут быть реализованы благодаря уникальному свойству тонкоплёночных систем. Этим уникальным свойством является интерференция света в плёнках, реализуемая практически для всех источников света, в виду малой длины когерентности источников излучения, необходимой для тонкослойных систем. Незначительная масса и относительная простота реализации (например, путём термического или электронно-лучевого испарения вещества в вакууме, осаждение покрытий из растворов или паров плёнкообразующих соединений и др.), позволяют широко применять интерференционные покрытия.

Существует несколько способов нанесения оптических покрытий - физические (вакуумные), химические и механические. К химическим можно отнести: нанесение покрытия из раствора, травлением, электролизом. К физическим: испарением в вакууме, с помощью газовой фазы, катодным (термическим) распылением, испарением с помощью электронного нагрева, кистью, пульверизатором или центрифугированием и.

Наряду с традиционным методом термического испарения, который применяется для получения пленок сульфидов и фторидов металла, широкое применение получил метод электронно-лучевого испарения, который позволяет получать пленки тугоплавких окислов металлов и полупроводников.

Многие испаряемые окислы металлов и полупроводников, используемые при электронно-лучевом испарении, поставляются на производство не в виде готовых таблеток оксидов, а в виде металлических пластин, которые требуют окисления при испарении. Для того чтобы получить оксид металла при ионно-лучевом испарении используются так называемые системы ассистирования, которые подают определённое количество кислорода или аргона на протяжении всего технологического процесса в вакуумную камеру. Инертные газы поступают на производство в баллонах, в сжатом виде, что требует от работников еще большей осведомленности для обеспечения безопасности. Все работы ведутся согласно Правилам по обеспечению безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, утверждённых Постановлением МЧС Республики Беларусь от 28.01.2016 №7. Всегда необходимо помнить, что газы в баллоне под огромным давлением, поэтому нужно предостерегать их от падения, нагрева, также концентрированный кислород-это сильнейший окислитель, который в контакте с другими веществами образует горючие и взрывоопасные смеси. Для предотвращения взрыва баллонов также всегда необходимо проверять давление на манометрах на предмет утечки газа. Нельзя использовать баллоны рядом с источником огня, что также приведет к неизбежному взрыву.

При выполнении технологического процесса по нанесению интерференционных покрытий на вакуумной установке Ortus-700 соблюдаются следующие требования охраны труда: к эксплуатации, обслуживанию и ремонту вакуумно-технологического оборудования (далее – ВТО) допускаются лица, достигнувшие 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, аттестованные ООО "Изовак" по программе обучения эксплуатации и обслуживанию данного вида оборудования и изучившие весь комплект эксплуатационной документации на ВТО, входящие в "Ведомость эксплуатационных документов". Персонал освоил и прошёл аттестацию по курсам "Устройство и правило эксплуатации вакуумных установок", "Правила

техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей".

Во время эксплуатации ВТО персонал может подвергаться следующим опасным и вредным воздействиям:

- поражение электрическим током;
- механические повреждения;
- магнитное и электромагнитное излучение;
- ожоги при работе с нагревателями, механическим насосом;
- обморожение при работе с креосистемой;
- опасность взрыва и пожара;
- повышенный уровень шума и вибрации.

В связи с этим предъявлены высокие эргономические требования к оборудованию. Планировка размещения ВТО на вакуумном участке (далее – ВУ) обеспечивает беспрепятственный доступ ко всем узлам и блокам.

Для защиты от поражения электрическим током на составных частях вакуумной установки Ortus-700 предусмотрены заземляющие устройства и защитные экраны. Нельзя использовать ВТО при снятых защитных кожухах и щитах. Ключ для снятия блокировок всегда находится у человека, подготовленного к использованию и ремонту ВТО, ответственного за его обслуживание. При ремонте ВТО и его настройке вывешиваются предупреждающие и запрещающие знаки. Персонал неукоснительно соблюдает правила техники безопасности, такие как: не включать высокое напряжение при снятых высоковольтных кабелях, так же, как и оставлять без наблюдения ВТО, подключенное к системе электроснабжения. Периодически проверяется заземление ВТО. Сопротивление должно составлять порядка 0,1 Ом.

Все работы по эксплуатации, обслуживанию и ремонту ВТО ведутся, как минимум, двумя лицами, имеющим право работать на ВТО.

Также стоит отметить, что комплект эксплуатационной документации и паспорт на ВТО хранятся в определенном месте, известном персоналу.

При эксплуатации ВТО соблюдаются все требования ГОСТ 12.3.043. - 90 «Процессы производственные нанесения оптических покрытий на детали. Общие требования безопасности».

Прекращается эксплуатация ВТО при:

- 1) поврежденных элементах системы охлаждения (фитингах, трубках охлаждения, пробках);
- 2) повреждении высоковольтного провода, со следами окисления или коррозии, а также при повреждении, окислении или коррозии заземляющего провода;
- 3) отключенных блокировках.

Общие требования безопасности при подготовке ВТО к эксплуатации соответствуют ГОСТ 12.3.002-2014 «Системы стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности.», ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования»; общие требования по электробезопасности - ГОСТ 12.1.019 и ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования».

По способу защиты от поражения электрическим током ВТО относится к классу 01 по ГОСТ 12.2.007.0 «Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», согласно данному стандарту к классу 01 относятся изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию и элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания.

При работе с ВТО следует ознакомиться с предупреждающими знаками в соответствии с ГОСТ 14.4.026 «Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики», которые нанесены на составные части и предупреждают о той или опасности.

Также важно помнить об опасных производственных факторах во время выполнения технологического процесса по нанесению оптических покрытий. Для большей безопасности оператора у установки помещается резиновый электроизоляционный коврик. Во время технологического процесса составные части ВУ, а также механический и турбомолекулярный насосы нагреваются до высоких температур, что может стать причиной термических ожогов. Во избежание этого необходимо дать нагретым поверхностям остыть до температуры, не превышающей 45°C, согласно санитарным нормам и правилам «Требования к микроклимату рабочих мест в производственные и офисные помещения» и гигиеническому нормативу «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений», утвержденных постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30.04.2013г. № 33. Также, операторы, в обязательном порядке, пользуются защитными тканевыми перчатками.

Очистка вакуумной камеры, а также внутрикамерной оснастки - подложкодержателя, заслонки окна передней двери, заслонки электронно-лучевых испарителей от налёта осаждаемых материалов - производится одновременно двумя сотрудниками под вытяжной вентиляцией, выполненной согласно СН 4.02.03-2019 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», либо с использованием пылесоса или других подручных средств. При выполнении очистки, а также при завершении технологического процесса в камере могут накапливаться газы, которые образуются при испарении веществ, поэтому при открывании вакуумной камеры операторам необходимо пользоваться респираторами типов ШБ-1 «Лепесток» и РПГ-67А.

По окончании работы перекрываются магистрали подачи технологических газов во избежание взрыва баллонов, также операторы отсоединяют от сети вакуумную установку и все дополнительные системы.

Работники, имеющие заболевания сердечнососудистой системы и находящиеся на вакуумном участке с кардиостимуляторами и подобной медицинской аппаратурой, вживлённой в организм, предупреждены о наличии магнитного излучения и им рекомендовано держаться от оборудования на безопасном расстоянии.

При испарении осаждаемых материалов возникает опасность УФ и рентгеновского излучения. Для минимизации воздействия его на оператора при наблюдении через смотровое окно за технологическим процессом предусмотрено специальное защитное стекло марки ТФ 5. ТФ переводится как тяжёлый флинт и относится к одному из основных типов оптических стекол – флинтам. Основой флинтов является тройная система из оксидов кремния, свинца и калия, также в состав входят оксид бора алюминия и бария. Благодаря определённому сочетанию данных элементов стекла марки ТФ: ТФ5 и ТФ105, характеристики которых регламентированы согласно ГОСТ 13659-78 «Стекло оптическое бесцветное. Физико-химические характеристики. Основные параметры», поглощает ионизирующее излучение. С целью безопасности на вакуумной установке есть средства сигнализации: визуальная и звуковая, которые информируют о нарушениях нормальной работы установки, для экстренной остановки системы на передней двери располагается кнопка аварийной установки.

Таким образом, требования промышленной безопасности и гигиены труда на вакуумном участке при выполнении технологического процесса по нанесению интерференционных покрытий на вакуумной установке Ortus-700 предполагают создание таких условий труда для работающих, которые оградили бы их от чрезмерной утомляемости, производственного травматизма, исключили бы вероятность отравлений, ранений, ожогов, поражений электрическим током.

Особенности обеспечения безопасности при выполнении земляных работ

Батяновская И.А., Вершеня Е.Г.
Белорусский национальный технический университет

Земляные работы выполняются как в производственной, так и в непроизводственной сферах деятельности, а также в быту. Обеспечение безопасных и здоровых условий труда при выполнении этих видов работ стоит на первом месте, так как их производство осуществляется с применением землеройно-транспортных машин (бульдозеров, скреперов, грейдеров, экскаваторов), разнообразных инструментов, оснастки, кроме того, работы могут выполняться в охранных зонах (зоны расположения подземных коммуникаций: электрокабели, газопроводы). К земляным работам относятся все работы, связанные с вскрытием и планировкой грунта при ремонте, новом строительстве зданий и сооружений, производстве ремонтов подземных коммуникаций.

При производстве земляных работ возможно воздействие на работающих следующих вредных и опасных производственных факторов:

- обрушение грунта, падение предметов (работающего) с высоты; движущиеся машины и механизмы;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; образование взрыво- и пожароопасных сред;
- пониженная или повышенная температура воздуха рабочей зоны; повышенная или пониженная влажность и подвижность воздуха;
- повышенные уровни шума, вибрации;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях инструментов и оборудования;
- патогенные микроорганизмы.

Одной из основных причин несчастных случаев при производстве земляных работ является обрушение грунтовых масс в процессе их разработки и при последующих работах в котлованах и траншеях, например, при устройстве фундаментов, укладке труб. Обрушение грунта происходит из-за превышения глубины разработки без креплений, неустойчивости откосов, большой их крутизны, недостаточной прочности крепления грунта, неправильной разработки креплений. Как правило, это несчастные случаи со смертельным исходом или с тяжелыми последствиями. По статистике в строительной отрасли примерно 10 % всех несчастных случаев с тяжелым исходом связано с выполнением земляных работ. Получение травм работниками возможно также при эксплуатации средств малой механизации, используемых на земляных работах. Травмирование может произойти из-за: потери машинами устойчивости; самопроизвольного перемещение машин и их подвижных частей; неисправного состояния машин, их деталей; недостаточной квалификации работников.

Анализ документов специальных расследований несчастных случаев показал, что причины травматизма при производстве земляных работ распределяются таким образом: около 30% от общего числа причин – невыполнение руководителями и специалистами обязанностей по охране труда; около 20% - отсутствие, некачественная разработка, нарушение требований проектной документации; около 10 % - нарушение трудовой и производственной дисциплины, инструкций по охране труда; около 7 % - отсутствие или несоответствие требованиям безопасности технологического оборудования.

Не стоит забывать и о вредных факторах, действующих на работников при выполнении земляных работ. Особенно это касается машинистов строительной техники. Из-за особенностей методов работ строительных машин, на машинистов оказывают воздействие следующие

вредные производственные факторы: повышенная или пониженная температура воздуха (в летний период до 30 – 35 °С, в зимний до 4 – 12 °С), запыленность рабочей зоны, недостаточная освещенность, шум, вибрация, нервно-психические перегрузки. Распределение профессиональных заболеваний машинистов строительной техники выглядит следующим образом: на первом месте болезни костно-мышечной системы и опорно-двигательного аппарата (48,0 %), т.к. поза машиниста характеризуется статическими нагрузками, вынужденным положением тела, на втором месте нейро-сенсорная тугоухость (22,2 %), на третьем месте вибрационная болезнь (16,2 %), доля пневмокониозов составляет (7 %).

Обеспечение безопасности земляных работ и защита работников от воздействия вредных производственных факторов обеспечивается выполнением требований, установленных в следующих документах:

- Правила по охране труда при выполнении строительных работ, утвержденные постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь 31.05.2019 № 24/33.

- Типовая инструкция по охране труда при выполнении земляных работ, утвержденная постановлением Минтруда и соцзащиты РБ от 30.09.2016 № 53.

- Санитарные нормы и правила «Требования к организациям, осуществляющим строительную деятельность, и организациям по производству строительных материалов, изделий и конструкций», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 30.12.2014 № 120.

Решения вопросов по охране труда приводятся в организационно-технологической документации - проектах производства работ (ППР), технологических картах. К таким решениям относятся:

- определение безопасной крутизны незакрепленных откосов котлованов и траншей с учетом нагрузок от машин и грунта;

- определение конструкции крепления стенок выемок;

- выбор типов машин, применяемых для разработки грунта, и мест их установки;

- дополнительные мероприятия по контролю и обеспечению устойчивости откосов в связи с сезонными изменениями;

- определение мест установки и типов ограждений выемок, а также лестниц для спуска работников к месту производства работ.

Все особенности производства земляных работ должны быть увязаны между собой в проекте, который согласуется с соответствующими организациями. Земляные работы в охранной зоне расположения подземных коммуникаций выполняются только после получения письменного разрешения организации, ответственной за эксплуатацию этих коммуникаций и согласования с ней мероприятий по обеспечению сохранности коммуникаций и безопасности работ. Физические лица предоставляют проект производства работ в соответствующие организации для получения разрешения на выполнение этих работ. До начала производства земляных работ уточняется расположение коммуникаций на местности и эти места обозначаются соответствующими знаками или надписями. Сами работы в зонах действующих кабельных линий или газопровода осуществляются под непосредственным руководством лица, ответственного за безопасное производство работ, при наличии наряда-допуска, определяющего безопасные условия работ, и под наблюдением работников организаций, эксплуатирующих эти коммуникации. Если в процессе производства работ обнаруживаются коммуникации, подземные сооружения, не указанные в проекте, или взрывоопасные материалы, земляные работы приостанавливаются до получения указаний от соответствующих органов.

Земляные работы имеют право выполнять только лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, вводный и первичный на рабочем месте инструктажи по охране труда, проверку знаний требований охраны труда. Работающие должны быть обеспечены спецодеждой, спецобувью, каской и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с действующими нормами.

В местах производства земляных работ до их начала обеспечивается отвод поверхностных и подземных вод для исключения размыва грунта, образования оползней, обрушения стенок выемок. При напластовании различных видов грунта крутизну откосов для всех пластов принимают по наиболее слабому виду грунта. Откосы земляных сооружений в несвязанных грунтах устраивают с углами естественного откоса. Нарушение устойчивости земляных масс часто сопровождается значительными разрушениями зданий и сооружений, а иногда и человеческими жертвами. К основным мерам по увеличению устойчивости массивов грунта относятся: уменьшение внешней нагрузки на бровку котлованов или траншей; устройство поверхностного водоотлива, применение дренажей. Разработка грунта в непосредственной близости от действующих подземных коммуникаций производится только при помощи лопат, без применения ударных инструментов. Для прохода к месту работы в выемки устанавливаются трапы или маршевые лестницы шириной не менее 0,6 м с ограждениями или приставные лестницы. Колодцы, шурфы и другие выемки должны быть закрыты крышками, щитами или ограждены. В темное время суток ограждения должны быть освещены сигнальными светильниками напряжением не выше 25 В. Там, где требуется пребывание работников, устраиваются крепления стенок или разрабатываются откосы. При механическом ударном рыхлении мерзлого грунта опасные от разлета осколков зоны обозначаются сигнальным ограждением на расстоянии не менее 15 м от места рыхления. При появлении вредных газов работы должны быть немедленно прекращены, а работники должны покинуть опасную зону.

Таким образом, не смотря на наличие большого количества опасностей и вредностей, воздействующих на работников, при проведении земляных работ, можно добиться если не полного, то значительного снижения их воздействия выполнением требований, установленных в действующих ТНПА, что, в свою очередь, приведет к уменьшению количества несчастных случаев и профессиональных заболеваний.

Ушакова И.Н., Батяновская И.А.
Белорусский национальный технический университет

Шансы пострадать при пожаре у людей, работающих или живущих в высотных зданиях, значительно выше чем, у людей, находящихся в малоэтажных домах, так как затрудняется эвакуация, а также возрастает сложность борьбы с пожарами.

Для высотных зданий характерны быстрое развитие пожара по вертикали и большая сложность обеспечения эвакуации и спасательных работ. Продукты горения заполняют эвакуационные выходы, лифтовые шахты, лестничные клетки. Скорость распространения дыма и ядовитых газов по вертикали может достигать нескольких десятков метров в минуту. За считанные минуты здание оказывается полностью задымлено, а нахождение людей в помещениях без средств защиты органов дыхания невозможно. Наиболее интенсивно происходит задымление верхних этажей, где разведка пожара, спасение людей и подача средств тушения весьма затруднены. Помимо того, при пожаре часто выходит из строя лифтовое оборудование и системы противопожарной защиты и оповещения. Поэтому к обеспечению пожарной безопасности высотных зданий необходимо подходить с полной ответственностью, учитывая не только все факторы и риски в условиях пожара, но и возможность быстрой его ликвидации с минимальными последствиями для людей.

Факторами быстрого развития пожара являются:

- низкая огнестойкость строительных конструкций и инженерного оборудования, особенно металлических балок и ферм;
- наличие больших внутренних объемов, неразделенных противопожарными преградами;
- небольшое количество лестничных клеток и небольшая ширина лестниц для эвакуации;
- наличие многочисленных проходов в стенах и перекрытиях для кондиционирования, электрооборудования и других технологических нужд;
- отсутствие эвакуационных планов при авариях и пожарах.

Эти факторы, а также многоэтажность помещений, вынуждают относить высотные многофункциональные здания к объектам повышенного внимания со стороны проектировщиков и надзорных органов.

Основными нормативными документами, обеспечивающими пожарную безопасность высотных зданий, являются:

1. СН 3.02.08-2020 Высотные здания.
2. СН 2.02.03-2019 Пожарная автоматика зданий и сооружений.
3. СН 2.02.05-2020 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
4. ТКП 45-4.02-273-2012 Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре.

Системы вентиляции. Строительные нормы и правила проектирования.

5. СН 2.02.01-2019 Здания и сооружения. Отсеки пожарные.
6. ТР ТС 011/2011 Безопасность лифтов.

Приоритетным направлением при обеспечении пожарной безопасности высотных зданий является наличие специальных помещений-убежищ (зоны безопасности). Зона безопасности - это часть здания, сооружения, пожарного отсека, которая выделяется противопожарными перекрытиями и противопожарными стенами с пределом огнестойкости REI 180, для защиты людей от опасных факторов пожара с момента возникновения пожара до завершения спасательных работ. Они могут быть защищены слоями железобетона и листовых огнеупорных покрытий. Их стены способны выдерживать пожар в течение не менее 3 часов. Каждая безопасная зона оборудована специальной системой вентиляции. Герметичные огнеупорные двери предотвращают проникновение дыма.

В безопасные зоны люди могут укрываться до тех пор, пока аварийные службы не возьмут ситуацию под контроль или не подойдет их очередь для эвакуации. Пожарный лифт должен охватывать все этажи здания. Так в Дубае, в здании «Бурдж-Халифа» безопасные зоны расположены приблизительно через каждые 30 этажей, что делает их относительно легкодоступными.

Большое значение имеет система раннего предупреждения, которая работает непрерывно 24 часа в сутки. Высотные здания оборудуются адресной системой пожарной сигнализации. Адресные пожарные извещатели должны быть установлены во всех помещениях здания, кроме помещений с мокрыми процессами, лестничных клеток, тамбуров. Тип адресных пожарных извещателей, их количество и размещение определяется требованиями СН 2.02.03. Кроме того, помещения высотных зданий (кроме квартир и гостиничных номеров) необходимо оборудовать водяными автоматическими установками пожаротушения, а технические помещения (электрощитовые, трансформаторные и т. п.) – установками газового или порошкового пожаротушения. Система внутреннего противопожарного водопровода разбивается на зоны по высоте здания. Для этой системы предусматриваются отдельные насосы, не используемые для систем автоматического пожаротушения и хозяйственных нужд. Для подключения к передвижной пожарной технике как системы автоматического пожаротушения, так и системы внутреннего противопожарного водопровода, снаружи здания должны быть установлены два патрубка с соединительными головками. Как только срабатывает детектор дыма, термодатчик или автоматический водный огнетушитель, в действие вступает система мощных вентиляторов. Они нагнетают чистый прохладный воздух в задние по огнеупорным воздуховодам. Свежий воздух вытесняет дым из лестничных шахт, гарантируя безопасность путей эвакуации. Спецперсонал сможет проводить людей в случае необходимости по безопасному маршруту до лифта или безопасной зоны. Самое высокое здание в мире «Бурдж» также оснащен 38 пожарными и дымостойкими эвакуационными лифтами. Благодаря наличию многочисленных датчиков, которые связаны с ЖК-дисплеями, расположенными в зонах-убежищах и жилых помещениях по всему зданию, автоматизированная система может отслеживать и отображать информацию о чрезвычайной ситуации. Кроме того, установлена система голосовой сигнализации.

Для предотвращения дымозадымления в высотных зданиях выполняются следующие требования:

- лестничные клетки не находятся в сплошной шахте;
- дополнительные комплексы дверей размещают между жилыми башнями, лифтовыми шахтами и вестибюлями;
- двери имеют регулируемые дверные уплотнители;
- основные воздушные системы имеют различные скорости. Это позволяет им реагировать в диапазоне условий давления;
- системы впуска и выпуска наружного воздуха имеют системы для дополнительного контроля;
- система дымоудаления служит для сброса давления во избежание избыточного давления;
- оборудование систем противодымной вентиляции предусматривается самостоятельным для каждого отсека и размещается в отдельных помещениях.

Для того, чтобы пожарная аварийно-спасательная техника могла беспрепятственно проехать к проектируемому комплексу, необходимы круговые проезды шириной не менее 6 м с твердым покрытием на расстоянии 8 – 10 м от наружных стен. При этом радиусы поворотов проездов для пожарных машин должны быть не менее 18 м, а тупиковые проезды должны заканчиваться разворотными площадками с островками диаметром не менее 16 м для разворота автолестниц и автоподъемников.

На прилегающей к жилому комплексу высотных зданий на территории следует предусмотреть площадку для посадки пожарного вертолета либо высадки людей из спасательной

кабины. Высотные здания до 100 м следует проектировать I степени огнестойкости согласно СН 3.02.08-2020. Высотные здания до 100 м не более чем через 16 этажей (или 50 м по высоте) должны делиться на отсеки противопожарными перекрытиями 1-го типа или техническим этажом. Теплоизоляция наружных стен, отделка стен, заполнение подвесных потолков, покрытие полов предусматриваются из негорючих материалов. Стоянки автомобилей, общественные помещения на первом этаже должны иметь самостоятельные эвакуационные выходы.

Сигнал о срабатывании установок пожарной автоматики в высотных зданиях поступает на пульт диспетчеризации Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Одним из основных требований для системы оповещения является принцип зональности многоэтажных зданий и предварительное оповещение персонала здания. Зона оповещения представляет собой часть здания или сооружения, где проводится одновременное и одинаковое по содержанию оповещение людей о пожаре. Разбиение здания на зоны осуществляется на основе его архитектурных и функциональных особенностей. Для каждого типа систем оповещения оговаривается очередность оповещения, связь с диспетчерской и способы оповещения.

Система оповещения должна, прежде всего, оповещать персонал здания, чтобы служащие могли спланировать свои действия по эвакуации людей. Система оповещения о пожаре может функционировать как автономно, так и входить в более сложную систему как одна из ее составных частей. Важной характеристикой системы оповещения является максимальное количество зон оповещения. Кроме того, системы оповещения различаются по гибкости программирования логики событий и наличию возможности компьютерного управления.

Для того, чтобы избежать жертв при пожаре, необходимо не только выполнять основные требования при проектировании и строительстве высотных сооружений, использовать системы оповещения и автоматического пожаротушения, но и отрабатывать основные сценарии возникновения пожаров с целью моделирования динамики развития опасных факторов пожара.

Действия персонала по предупреждению и ликвидации аварий на энергетических объектах

Филянович Л.П.¹, Молош Т.В.²

¹Белорусский национальный технический университет

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

В аварийных ситуациях на энергетических объектах происходят процессы нескольких категорий. Во-первых, это короткие замыкания, которые протекают быстро, составляют доли секунды и одновременно с ними проявляются электромагнитные изменения. Во-вторых, могут быть механические изменения, связанные с нарушением работы автоматических регуляторов в турбинном отделении. Третий вид повреждений – это переходные процессы.

В таких ситуациях персонал, обслуживающий энергетический объект, сложное энергетическое оборудование, должен быстро сделать анализ состояния объекта, а также оценить какими будут последствия нарушений. Персонал должен представлять общую картину аварийной ситуации, а также: где и какое оборудование отключено; предвидеть опасность для работающих и для объекта в целом. Его действия основываются на информации по приборам сигнализации, систем защиты, автоматики, а также по сведению персонала, работающего на местах.

Одновременно с оценкой состояния аварийного режима, персонал принимает меры по устранению возможной опасности для работающих и обслуживаемого оборудования. При этом вся информация постоянно поступает вышестоящему персоналу.

Далее персонал принимает решение при необходимости об эвакуации работающих, а также об отключении оборудования, на котором могут произойти несчастные случаи или это оборудование является угрозой безопасности работающих. При этом персонал, управляющий режимами работы оборудования, обязан произвести отключение всех видов оборудования в случае угрозы его повреждения или опасности для людей. При срабатывании систем автоматики, дежурные не имеют права управлять этими процессами.

Действия диспетчера направляются на локализацию аварийной ситуации и выполняют следующее:

- выполняет управляющее действие на электрических станциях;
- выполняет управляющее действие на электрические сети;
- выполняет управляющее действие на потребителей;

В случае аварийной ситуации оперативный персонал выполняет те действия, которые непосредственно входят в его обязанности. Руководящий персонал может привлекать любого работника энергетического объекта для участия в ликвидации аварии.

Руководство процессами ликвидации аварийной ситуации, как правило, выполняет начальник смены станции или предприятия электрических сетей.

В процессе регулирования перетоков мощности и токовых нагрузок они не должны превышать максимальных или допустимых значений. Если произошла перегрузка электрической сети, это значит в схеме произошли какие-то изменения, произошло аварийное снижение генерируемой мощности; возможно произошло аварийное разделение электрической сети на отдельные части.

Если произошла перегрузка электрической сети, она представляет опасность по нескольким причинам:

- электрическая сеть может потерять устойчивость;
- на линиях может произойти перегрев проводов;
- может произойти перегрузка аппаратов входящих в состав электрической сети, например выключателей, разъединителей и т.д.

О возникновении перегрузок сообщается диспетчерам, которые оперативно управляют режимами работы энергетического объекта. Если время допустимой перегрузки истекло, то персонал энергетического объекта должен произвести его отключение.

Поскольку в электрических сетях аварийные ситуации могут быть разнообразными, то персонал, управляющий режимами работы, должен обладать определенными знаниями, как для условий нормальной эксплуатации, так и для условий аварийных ситуаций.

При этом весьма важным является в процессе предотвращения и ликвидации последствий аварийных ситуаций на энергетических объектах наличие навыков у оперативного персонала грамотно и квалифицированно действовать в стрессовых ситуациях. Для их приобретения в энергетической системе используются различные методы обучения и технические средства, а также приемы проведения противоаварийных тренировок. Такие мероприятия проводятся для работников всех подразделений энергосистемы. Тренировки, обеспечивающие приобретение навыков для ликвидации аварийных ситуаций, являются основной формой обучения персонала. В процессе тренировок работники должны показать способность самостоятельно быстро, без ошибок, принимать правильные решения и точно действовать в аварийных случаях.

Каждый случай аварии требует от работников высокую эмоциональную готовность, психическую устойчивость, способность взять на себя ответственность для принятия серьезных решений, от которых зависит безопасность людей и энергетического оборудования.

Для проведения таких тренировок составляются графики, где предусмотрено, что каждый оперативный работник проходит их не менее 4 раз в год. При этом обучение персонала может производиться:

- на рабочем месте, при имитации аварийного состояния оборудования;
- в специализированных классах, на специальных тренажерах, предназначенных для всесторонней подготовки персонала.

По окончании тренировок внимательно изучаются все действия работника с указанием ошибок, нарушений каких-либо инструкций, дается оценка каждому работнику. При этом используется числовая оценочная система.

Журавков Н.М., Савкова Е.Н., Чжан Ю.
Белорусский национальный технический университет

Развитие светотехнических изделий стимулирует исследования положительных и отрицательных влияний их оптических параметров на организм человека, окружающую среду и функционирование технических систем. Отрицательные влияния минимизируются путем разработки и актуализации системы управления рисками организации, предусматривающей их классификацию, идентификацию и оценку возможного ущерба. Документ [1] устанавливает понятия частных и глобальных рисков производителя («ложная браковка») и потребителя («ложная приемка»). Частный риск производителя – вероятность того, что конкретный забракованный объект окажется соответствующим. Согласно данному документу частный риск потребителя – вероятность того, что конкретный принятый объект окажется несоответствующим. Глобальный риск производителя – вероятность того, что на основании полученного в будущем результата измерения соответствующий объект будет забракован. Глобальный риск потребителя – вероятность того, что на основании полученного в будущем результата измерения несоответствующий объект будет принят как годный [1]. Таким образом, частные риски характеризуют принятие решений при контроле параметров светотехнической продукции в режиме «здесь и сейчас», глобальные же риски относятся к будущим последствиям. В данной работе внимание сконцентрировано на систематизации рисков, связанных с эксплуатацией светотехнических изделий и их минимизации.

Свойства оптического излучения

Оптическое излучение включает ультрафиолетовый, инфракрасный и видимый диапазоны длин волн и может оказывать положительные и отрицательные воздействия на организм человека и окружающую среду. Краткие сведения о диапазонах, источниках и отрицательных влияниях оптического излучения приведены в таблице 1 [2-4].

Таблица 1 – Систематизация сведений об источниках оптического излучения

Поддиапазон, нм	Источник	Отрицательное воздействие
Ультрафиолетовое излучение		
А: от 315 до 400	электрическая дуга, автогенная сварка, плазменная резка и напыление, лазерные установки, газоразрядные лампы, ртутно-кварцевые лампы, ртутные выпрямители	флюоресценция органических соединений, авитаминоз, нарушения фосфорно-кальциевого обмена и костеобразования, снижение защитных свойств организма, возбуждение флюоресценции органических соединений,
В: от 280 до 315	ультрафиолетовые люминесцентные лампы	головная боль, тошнота, головокружение, повышенные утомляемость и температура тела, нервное возбуждение, электроофтальмия, светобоязнь, поражение роговицы, влияние на тканевые белки и липиды, дерматит, повышение температуры, озноб, гиперпигментация и шелушение, солнечный эластоз, развитие кератоза, атрофии эпидермиса, изменение газового состава атмосферного воздуха вследствие его

		ионизации, образование озона и оксидов азота
С: от 1 до 280	коротковолновые ультрафиолетовые лампы (253.7 нм, 185 нм), ультрафиолетовые лазеры (126 нм), настраиваемые вакуумные ультрафиолетовые источники (100–200 нм)	Проявляется только в вакууме
Видимое излучение		
360-до 460 нм	светодиоды голубого и зеленого цвета, видеотерминалы, видеостены	провоцирование онкологических заболеваний при экспозиции в темное время суток, нарушение циркадных ритмов и др.
от 600 до 780 нм	габаритные огни автомобилей, светодиоды, световозвращатели	ослепление
«Белое»	лампы дневного света и т.д.	нарушение циркадных ритмов, утомляемость, мерцание, стробоскопический эффект
Инфракрасное излучение		
А: от 0,78 до 1,4 мкм	твердотельный светодиод, полупроводниковый лазер	уменьшение температуры легких, головного мозга, почек и т.п., «солнечный удар», головная боль, головокружение, учащение пульса и дыхания, потемнение в глазах, нарушение координации движений, потерю сознания, заболевание глаз и др.
В: от 1,4 до 3 мкм	лампы накаливания	переполнение кровеносных сосудов, усиление обмена веществ, снижение числа лейкоцитов и тромбоцитов, изменения в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах, (конъюнктивит, помутнение роговицы, ожог сетчатки и др.
С: от 3 мк до 1 мм	лампы накаливания	повышается температура поверхности тела, тахикардия и др.

К положительным воздействиям ультрафиолетового излучения относятся стимулирование основных биологических процессов, гемолиз и антирахитическое действие, выведение химических веществ (марганца, ртути, свинца) из организма и уменьшение их токсичного действия, сопротивляемость организма, иммунитет к простудным заболеваниям, устойчивость к охлаждению, снижение утомляемости, повышение работоспособности. Благоприятное воздействие оптического излучения видимого диапазона – повышение работоспособности человека, стимулирование роста человека, растений, микроорганизмов, рыб и животных, восстановление циркадных ритмов, улучшение работы нервной системы, повышение внимательности и др. Положительные влияния инфракрасного излучения - усиление обмена веществ, повышение температуры в помещении. Воздействия излучения могут быть общими и локальными, а также различаться по продолжительности экспозиции.

Спецификации рисков

Частные риски в оценке соответствия определяются степенью перекрытия результатов измерений (интервалов охвата) с интервалами недопустимых (допустимых) значений. Реше-

ние о том, принимать ли объект как соответствующий техническим требованиям или отклонять как несоответствующий, основывается на измеренном значении свойства объекта и зависит от установленного правила принятия решения, которое определяет роль неопределенности измерений при формулировании приемочного критерия. Частный риск описывается вероятностью несоответствия объекта установленным требованиям составляет [1]:

$$\bar{p}_c = 1 - p_c \quad , \quad (1)$$

где p_c – вероятность соответствия установленным требованиям:

$$p_c = \int_{T_L}^{T_U} g(x) dx \quad (2)$$

где T_L и T_U – верхняя и нижняя границы интервала допуска на измеряемый параметр оптического излучения светотехнического изделия;

$g(x)$ – функция распределения измеряемого параметра.

Глобальные риски предлагается разделить на следующие группы:

1) технологические, оцениваемые по отношению к функционированию светотехнических систем и изделий определяемые, например, на основе теории надежности:

$$R_T = 1 - \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_L}^{T_U} G(y)g(x) dy dx \quad (3)$$

где T_L и T_U – верхняя и нижняя границы временного интервала, характеризующего работоспособность светотехнического изделия по данному параметру.

2) фотобиологические риски, оцениваемые по отношению к негативному воздействию на организм человека (животных, растения и т.д.), и изделий определяемые путем интегрирования на основе теории вероятностей:

$$R_B = 1 - \int_{\mathcal{L}} \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_L}^{T_U} W(\psi)G(y)g(x) d\psi dy dx \quad (4)$$

где \mathcal{L} – область, характеризующая благоприятное воздействие параметров оптического излучения светотехнического изделия.

Учитывая, что часто оптическое излучение светотехнических изделий предполагает перекрытие поддиапазонов, а также «накопительный эффект» влияния экспозиций на биологические восприятия во времени проблема оценки глобальных рисков может быть решена на основе накопления статистики из прошлых периодов или прогнозирования путем применения численных методов компьютерного моделирования.

Литература

1. GUIDE OIML G 19 Edition 2017 (E) The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology. International Organization of Legal Metrology – 72 p.
2. CIE 117:1995. Discomfort Glare in Interior Lighting. CIE, Vienna.
3. CIE 190:2010. Calculation and Presentation of Unified Glare Rating Tables for Indoor Lighting Luminaires. CIE, Vienna.
4. CIE 147:2002. Glare from Small, Large and Complex Sources. CIE, Vienna.

Оценка условий труда производственного персонала Минской ТЭЦ-4

Кот Т.П., Абметко О.В., Шрубенко Т.П.
Белорусский национальный технический университет

В целях комплексной оценки условий труда работников Минской ТЭЦ-4 в установленные сроки проводится аттестация рабочих мест по условиям труда. Последняя аттестация проводилась в 2018 году. Основная задача данной процедуры, помимо установления соответствующих компенсаций за работу во вредных и опасных условиях труда, разработка и реализация мероприятий, направленных на непрерывное повышение безопасности и улучшение условий труда.

Деятельность производственного оперативного персонала ТЭЦ-4, осуществляющего процессы управления и обслуживания тепло- и энергооборудования, связана с профессиональными рисками, обусловленными воздействием опасных и вредных производственных факторов, среди которых следует выделить:

- падение, в том числе с высоты, во время передвижения по лестницам и скользким поверхностям, в колодцы, ямы и т.п.;
- травмирование при падении предметов;
- воздействие движущихся механических частей оборудования;
- воздействие дверей, люков и других запирающихся устройств;
- травмирование при работе с инструментом;
- воздействие разлетающихся осколков, механических частей и т.п.;
- поражение электрическим током;
- воздействие экстремальных температур;
- воздействие повышенных уровней шума и вибрации;
- воздействие повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны;
- взрывы;
- пожары.

При среднесписочной численности работников ТЭЦ-4 – 866 человек (по состоянию на 2018 г.) согласно результатам аттестации рабочих мест по условиям труда во вредных условиях работало 98,04% оперативных работников, из них в условиях труда, относящихся к классу:

- 3.1 – 199 чел. (22,98%);
- 3.2 – 647 чел. (74, 71%);
- 3.3 – 3 чел. (0,35%).

В таблице 1 представлено распределение по классам условий труда управляющего и оперативного состава подразделений ТЭЦ-4.

Таблица 1 – Распределение персонала ТЭЦ-4 по классам условий труда

Название подразделения	Численный состав работников по классам условий труда, чел.			
	2.0	3.1	3.2	3.3
1	2	3	4	5
Руководство ТЭЦ	–	2	6	–
Топливный цех	–	25	17	–
Котлотурбинный цех №1	–	3	72	–
Котлотурбинный цех №2	–	2	101	–
Электрический цех	1	32	119	–
Цех тепловой автоматики и измерений	10	10	92	
Цех наладки и испытаний оборудования	–	–	14	–
Химический цех	1	41	43	–
Цех централизованного ремонта	1	27	134	3
Ремонтно-строительный цех	–	6	20	–

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Транспортный цех	–	38	22	–
Отдел надежности, охраны труда, пожарной и промышленной безопасности	1	4	–	–
Производственно-технический отдел	1	–	–	–
Отдел материально-технического снабжения	–	3	–	–
Санитарная лаборатория	–	2	5	–
Лаборатория металлов	–	3	2	–
Хозяйственный отдел	2	1	–	–

Наибольшее количество работников, условия труда которых можно идентифицировать как вредные, задействовано в цехе централизованного ремонта. В условиях труда, относящихся к классу 3.2, работали 134 человека. Три человека по профессии слесарь по ремонту парогазотурбинного оборудования 5 разряда (код проф. 18538) работали в условиях труда, относящихся к классу 3.3. При оценке факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса для данной профессии на конкретных рабочих местах в ходе аттестации были выявлены отклонения от установленных нормативов по следующим показателям:

- содержание в воздухе рабочей зоны электрокорунда – 1,1 мг/м³ (при ПДК = 6,0 мг/м³);
- уровень шума – 93 дБА (при ПДУ = 80 дБА);
- микроклимат: превышение допустимых значений температуры – на +7,9 °С; интенсивность теплового облучения – 401 Вт/м² (при допустимом значении – 140 Вт/м²);
- пребывание в вынужденной позе (на коленях, на корточках) – 27,9 % (при допустимом значении до 10% времени смены);
- длительность сосредоточенного наблюдения – 62,8 % от времени смены.

Была проведена оценка уровней рисков для данной профессии с использованием метода вероятности возникновения опасности и серьезных последствий воздействия [1, 2].

Вероятность возникновения риска оценивалась зависимостью:

$$P = B * Z,$$

где P – риск,

B – возможность (вероятность) появления опасности;

Z – значимость последствий воздействия опасности.

Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Производственные риски для профессии слесарь по ремонту парогазотурбинного оборудования 5 разряда

Опасность	Значимость, Z	Вероятность, B	Статистический коэффициент, C	Коэффициент давности, D	Риск, P
1	2	3	4	5	6
Воздействие экстремальных температур	2,6	9	1,5	2,8	97
Падение во время передвижения по ровной поверхности	2,4	8	1,2	2,5	57
Воздействие разлетающихся осколков, механических частей, деталей и т.п.	2,5	9	1,2	2	55
ДТП на транспорте организации по вине персонала	3,0	7	1	2,5	53
Падение с лестниц	3,3	5	1,2	2,5	50
Падение во время передвижения по загроможденным проходам и рабочим местам	2,4	6	1,2	2,5	44

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Падение во время передвижения по скользкой поверхности	2,4	7	1,2	2	40
Воздействие движущихся механических частей оборудования	2,8	8	1,2	1,5	40
Нанесение травмы другим лицом	2,7	6	1	2	32
Падение в колодцы, ямы, траншеи, емкости и т.п.	2,5	7	1,2	1,5	31
Падение во время передвижения по стационарным лестницам	3,0	4	1	2,5	30
Контакт с острыми, выступающими частями оборудования или материалов	2,2	7	1,2	1,5	28
Падение с конструкций, оборудования	1,9	6	1,2	2	27
ДТП на транспорте организации не по вине персонала	2,6	4	1	2,5	26
Травмирование при работе с инструментом	1,2	7	1,2	2,5	25
Воздействие повышенных уровней шума, вибрации	5,0	3	1	1,5	23
Воздействие повышенной запыленности, загазованности	5,0	3	1	1,5	23
Падение, обрушение конструкций зданий и сооружений, обвалы предметов, материалов, грунта и т.п.	2,1	6	1,2	1,5	23
Воздействие вредных веществ, приведшее к несчастному случаю	2,1	5	1,2	1,5	19
Наезд транспортного средства	3,0	6	1	1	18
Поражение электрическим током неэлектротехнического персонала	3,0	3	1,5	1	14
Падение перемещаемых предметов	2,1	5	1,2	1	13
Падение неустойчивых предметов при выполнении погрузочно-разгрузочных работ вручную	2,6	4	1,2	1	12
Взрыв	2,3	3	1	1,5	11
Пожар	2,3	3	1	1,5	11
Воздействие дверей люков и др. запирающих устройств	2,0	3	1	1	6

Наиболее значимыми с точки зрения последствий воздействия определены следующие опасности (риски):

- воздействие экстремальных температур;
- падение во время передвижения;
- воздействие разлетающихся осколков, механических частей, деталей;
- воздействие движущихся механических частей оборудования;
- контакт с острыми, выступающими частями оборудования или материалов.

Литература

1. Методы оценки профессионального риска и их практическое применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://otb.by/articles/metody-otsenki-professionalnogo-riska-i-ikh-prakticheskoe-primeneniye/> (дата обращения: 30.03.2021).
2. Методы оценки профессиональных рисков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pgc-expert.ru/metody-ocenki-professionalnyh-riskov/> (дата обращения: 30.03.2021).

Молош Т.В., Корчик С.А.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Современное овощехранилище — это специализированный склад, оснащенный системой микроклимата с контролем температуры и влажности продукта, параметров камеры хранения, уровня концентрации углекислого газа, имеющий несколько уровней защиты от повреждения овощей холодным воздухом, а также системы звукового оповещения при пожаре.

Во время погрузки-выгрузки овощей в склад выполняют разгрузку, отбивку, отборку, калибровку, транспортировку (принятая и отсортированная продукция загружается на место хранения). Для выполнения всей цепочки технологических операций зону приёмки комплектуют набором специального оборудования. В современных овощехранилищах используют хранение навалым способом и контейнерным.

Перед закладкой продукции в хранилище необходимо очистить его от мусора (земли, остатков клубней, овощей). Затем помещение необходимо просушить и продезинфицировать — обработать от болезней и вредителей; выполнить дезинфекцию вентиляционного и складского оборудования. Таким образом, выполняемые в овощехранилищах технологические процессы имеют свои особенности, определяемые уровнем механизации отдельных операций.

При выполнении производственных процессов в овощехранилищах возможно воздействие на работающих следующих опасных и вредных факторов: движущиеся машины и механизмы, незащищенные подвижные элементы производственного оборудования, транспорт; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; пониженная температура поверхностей оборудования, коммуникаций; пониженная температура воздуха рабочей зоны; повышенный уровень шума на рабочих местах; повышенная или пониженная подвижность воздуха; опасное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; отсутствие или недостаток естественного освещения; недостаточная освещенность рабочей зоны; повышенный уровень статического электричества; общетоксические и раздражающие вещества, действующие через дыхательные пути, через пищеварительную систему, через кожный покров; физические перегрузки - статические и динамические; нервно-психические перегрузки - монотонность труда.

В процессе доработке корнеклубнеплодов в помещениях овощехранилищ работающие дышат воздухом с содержанием в нем пыли до 22 мг/м^3 при ПДК - 9 мг/м^3 , на долю заболеваний органов дыхания приходится свыше 40% от общего числа заболеваний по всем нозологическим формам. Для эффективного подавления пыли мелкодисперсной жидкостью возникает необходимость определенных условий, при которых частицы почвенной пыли должны соответствовать размерам капель жидкости. Пылеобразование зависит от многих факторов, основными из которых являются размеры, форма и масса почвенных частиц. При известной толщине слоя корнеклубнеплодов и их удельной массе определяется удельный расход и продолжительность подачи мелкодисперсной жидкости. Основное влияние на содержание почвенной пыли в воздухе оказывает не только время подачи мелкодисперсной жидкости, но и влажность почвы, содержащейся в корнеклубнеплодах. Для снижения запыленности воздуха в помещениях овощехранилища при доработке корнеклубнеплодов необходимо использовать системы гидроподавления, которая обеспечивает эффективное снижение запыленности воздуха рабочей зоны в овощехранилище при доработке корнеклубнеплодов до нормативных требований, что ведет к улучшению условий труда и снижению травматизма и профзаболеваемости.

Для обеспечения безопасных условий труда при хранении плодоовощной продукции должны выполняться организационно-технические мероприятия: обучение и инструктирова-

ние по вопросам охраны труда, контроль знаний; обеспечение работников надежными средствами коллективной и индивидуальной защиты, осуществление контроля за их правильным применением; обеспечение контрольно-измерительными приборами и сигнализаторами опасных и вредных производственных факторов; обеспечение надлежащей герметизации производственного оборудования; оснащение технологических процессов устройствами обеспечивающими своевременное получение информации о возникновении опасных и вредных производственных факторов на отдельных технологических операциях и аварийное отключение производственного оборудования; осуществление мер по предупреждению пожаров и взрывов, а также загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ.

Одним из важнейших направлений является совершенствование конструкций, сооружений и технологических процессов, повышение уровня механизации, автоматизации и дистанционного управления. Автоматизация хранилища – это использование современного оборудования для мониторинга процессов вентиляции, охлаждения, нагревания, увлажнения и дезинфекции воздуха, слежение за системами загрузки, сортировки, упаковки и переработки овощей. В зависимости от задач, автоматические системы могут быть различными. В одних случаях достаточно включения и выключения системы вентиляции, в других случаях необходимо искусственное изменение температуры, влажности, проведение дезинфекции по отдельности для разных культур, а если под контролем находится несколько овощехранилищ, то организуется централизованное управление ими. Контейнерный способ хранения плодоовощной продукции имеет основное преимущество - маневренность контейнеров. С помощью спецтехники контейнер можно быстро переместить в любое место овощехранилища. При этом одновременно можно хранить разные сорта клубней в одном помещении. При необходимости, определенные контейнеры могут быть доставлены в специально отведенное помещение с повышенной температурой или в зону предпродажной подготовки. Характерной особенностью организации рабочего процесса в таких овощехранилищах является высокая степень механизации труда.

Для безопасности труда в процессе хранения плодоовощного сырья должно обеспечиваться безотказное действие технологического оборудования и средств защиты работников в течение сроков, определяемых нормативными правовыми актами; предотвращение возможных газо- и пылевывделений; равномерный ритм работы при загрузке технологического оборудования; предупреждение загораний, пожаров.

Литература

1. Обоснование параметров и режимов работы оборудования для гидроподавления почвенной пыли на линиях предреализационной доработки корнеплодов/В.С. Шкрабак, А.А. Попов, С.В. Данилова, В.Ф. Богатырев // Безопасность жизнедеятельности - М.: Новые технологии, 2016. - № 7. - С. 12-16.
2. Попов, А.А. Теоретическое обоснование использования мелкодисперсной жидкости для подавления почвенной пыли на линиях послеуборочной доработки корнеплодов / А.А. Попов, В.С. Шкрабак, С.В. Данилова // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. - 2015. - № 9. - С. 50-56.

Повышение безопасности труда при выполнении производственных процессов в условиях защищенного грунта

Молош Т.В.¹, Филянович Л.П.²

¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

² Белорусский национальный технический университет

Овощеводство в условиях защищенного грунта относится к одной из важных и сложных отраслей сельского хозяйства. Оно дает исключительно ценные продукты питания, спрос на которые постоянно растет и позволяет обеспечивать потребителей продукцией практически круглый год. Тепличное производство отличается от других отраслей спецификой ведения технологических процессов, характеризуется конструкционным разнообразием культивационных сооружений и особыми условиями труда.

Площади отдельных современных тепличных комбинатов достигают десятков и сотен гектаров с числом работающих до тысячи и более человек, причем подавляющее большинство из них (более 75%) – женщины. Особенностью трудовых процессов, присущих для тепличного производства, является значительная физическая нагрузка, которую выполняют работающие в сочетании с интенсивной мышечной деятельностью. Более 85% из 40 видов работ в теплицах женщины выполняют вручную, из которых около 50% относятся к категории средних и тяжелой степеней тяжести.

При этом организм работающих подвергается воздействию комплекса неблагоприятных производственных факторов: повышенная влажность воздуха; интенсивная инсоляция и высокие температуры воздуха; загрязненность воздуха рабочей зоны вредными химическими веществами и бактериальной микрофлорой; физические и нагрузки при выполнении операций и переноске тяжестей вручную; неудобные и вынужденные позы и частые наклоны корпуса; длительная работа на ногах. Особенно опасны различные ядохимикаты, компоненты биологических препаратов, в том числе споры грибов, органическая пыль, а также другие факторы, воздействие которых на фоне высокой температуры и влажности испытывают работники теплиц. В результате использования минеральных удобрений и воздушной подкормки растений газами в воздухе теплиц могут содержаться вредные вещества: аммиак, окислы азота, фосфорный ангидрид, окись углерода, фтористый водород, сернистый ангидрид.

Наиболее трудоемкой операцией, занимающей до 65 % всего технологического цикла выращивания овощей, является сбор продукции. Эта работа связана с поддержанием неудобных рабочих поз: длительным нахождением в положении стоя с наклоном корпуса вперед, а при сборе продукции, растущей выше человеческого роста, стоя на тележке в неудобной позе с неустойчивой и ограниченной опорой для ног. Частые смены положений тела, наклоны приводят к перенапряжению мышц корпуса и нижних конечностей, негативным изменениям в функциональном состоянии основных систем организма, и в первую очередь, в сердечно-сосудистой и нервно-мышечной. Воздействие комплекса неблагоприятных производственных факторов тепличных комбинатов при отсутствии надлежащих мер профилактики приводят к изменениям в состоянии здоровья работающих, проявляющимся как клинически выраженной патологией, так и латентно текущими изменениями в различных функциональных системах организма.

При условии соблюдения агротехнических приемов производственные факторы не могут быть источником ухудшения состояния здоровья. Однако в результате нарушения санитарно-гигиенических регламентов и технологических схем выращивания сельскохозяйственных культур увеличивается степень риска нарушения здоровья и может сказываться на трудоспособности работающих.

Таким образом, выращивание овощных культур в парнике – это сложный и трудоемкий процесс. Получить большой урожай овощей с высокими товарными и вкусовыми характеристиками в теплице можно лишь при контроле климата внутри парника. Повышенная температура воздуха может погубить рассаду и негативно сказаться на самочувствии работников теплиц, вызывая переутомление и тепловой удар.

С целью профилактики перегрева организма работающих температурный режим в теплицах должен поддерживаться на уровнях, рекомендуемых агротехническими нормами. Тепличные двери в больших и длинных парниках часто плохо справляются с качественной аэрацией: проветривается только та часть парника, которая располагается ближе к двери, при этом, рассада в середине или конце теплицы страдает от перегрева. Кроме того, использование для проветривания дверей дает резкий перепад температур, что может негативно сказаться на растениях.

Наиболее простым и действенным способом регулирования температуры и уровня влажности в теплице является установка автоматической форточки, которая совершает открытие и закрытие в зависимости от температуры в теплице, тем самым может облегчить труд тепличных работников. В настоящее время разработаны различные по принципу действия автономные установки. Их выбор зависит от финансовых возможностей руководителя тепличного комбината, площади теплицы, материала из которого изготовлен парник. Автоматическая форточка – это наиболее простой и доступный способ регулирования [микроклимата в теплицах](#) из стекла и поликарбоната. Главная задача форточки – это теплообмен: температура воздуха в парнике в жаркие дни может достигать 40 °С. Автоматическая форточка защищает и работников, и растения от перегрева, регулирует влажность в теплице путем теплообмена. Применение системы автоматического управления микроклиматом по нескольким параметрам может быть на примере установки ОРМ-1, предназначенной для автоматического управления микроклиматом (температурой и влажностью) в теплицах.

Профилактика профессиональных заболеваний на тепличных комбинатах должны проводиться выполнением мероприятий, включающих действия по устранению недостатков, выявленных при проведении оценки рабочих мест. Следует проводить технические усовершенствования в целях преодоления профессиональных факторов вредности, например модернизацию систем вентиляции для максимального приближения реальных параметров микроклимата рабочих помещений и теплиц к допустимым для персонала за счет улучшения воздухообмена.

Необходимы также оздоровительные мероприятия для предупреждения физических перегрузок, производственно обусловленных и профессиональных заболеваний работников теплиц — на основе повышения уровня механизации и автоматизации трудовой деятельности. Автоматизация технологических операций в сооружениях защищенного грунта может давать существенный эффект: увеличивается производительность и улучшаются условия труда, экономится топливо и электроэнергия, повышается урожайность и сокращаются сроки созревания растений и овощей.

Соблюдение мер безопасности при работе на тепличных комбинатах является необходимым условием, поэтому работающие в теплицах обязаны соблюдать требования по охране труда, использовать и правильно применять предоставленные им средства индивидуальной защиты. Кроме общих положений мероприятиями должны быть предусмотрены меры безопасности перед началом, во время и по окончании работы. Особое внимание должно уделяться охране труда при работе с пестицидами, электрооборудованием и на транспортных средствах.

Улучшение охраны труда в условиях защищенного грунта должно основываться на системном подходе к вопросам безопасности. Для определения производственных факторов, влияющих на здоровье работающих, необходимо проводить анализ системы Человек-Машина-Среда. Она устанавливает: уровень и длительность воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов; наличие и эффективность систем коллективной и индиви-

дуальной защиты работников от их воздействия. Следует разрабатывать мероприятия, которые способствуют предотвращению негативных воздействий на жизнь и здоровье работников тепличных комбинатов, улучшению условий труда, повышению работоспособности и производительности труда, снижению заболеваемости, сохранению трудовых ресурсов.

Литература

1. Об утверждении Правил по охране труда при производстве и послеуборочной обработке продукции растениеводства: постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 15 апреля 2008 г., № 36 // Нац. правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. Центр правовой информ. Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 14.03.2020.
2. Федорчук, А. И. Снижение производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в АПК: монография / А. И. Федорчук, В. Г. Андруш. – Минск: БГАТУ, 2012. – 244 с.

2021 год – Год безопасного труда в энергетике

Мордик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

При проведении работ в электроустановках возможны различные виды травм. При неосторожном обращении с инструментом в процессе монтажных работ, как и при использовании неисправного инструмента, возможны ушибы. Порезы рук случаются при удалении изоляции с проводов и кабелей, при раскатке и перемещении бронированного кабеля. В случае падения тяжелых предметов или оборудования возможны переломы кистей рук и стоп. Тяжелые переломы костей бедра, ключицы, позвоночника возникают при падении с высоты при выполнении работ на опорах. При неосторожном обращении с растворами щелочей и кислот, применяемых в аккумуляторном хозяйстве, возможны химические ожоги рук и лица. Также ожоги могут вызвать растворители лаков, отвердители эпоксидных смол и другие жидкости, применяемые при ремонтных работах в электроустановках. Тепловые ожоги возможны при попадании на открытые участки тела разогретых мастик и компаундов, при заливке кабельных муфт. Ультрафиолетовое излучение при горении электрической дуги может вызвать поражение слизистой и роговой оболочки глаз. Но наиболее частой причиной травм в электроустановках становится поражение электрическим током.

Государственной программой «Рынок труда и содействие занятости», утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2020 г. № 777, предусмотрено проведение Года безопасного труда в энергетике в 2021 году.

Для снижения уровня травмирования работников и их профессиональной заболеваемости следует улучшать условия труда, внедряя различные мероприятия по их профилактике и предупреждению.

Планирование мероприятий по улучшению условий труда, предупреждению травматизма и заболеваемости на производстве является одной из функций управления охраной труда на предприятии. Для разработки таких мероприятий необходимо располагать объективной информацией, которая содержится в документах о санитарно-техническом состоянии и аттестации рабочих мест по условиям труда, предписаниях органов надзора и контроля, актах о расследовании несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, отчетах подразделений об условиях труда и прочих документах.

В плане мероприятий по проведению Года безопасного труда в энергетике в текущем году предусматривается проведение анализа состояния охраны труда и производственного травматизма в организациях Минэнерго за 2020 год, проверки знаний и внеочередной проверки знаний в организациях, где произошли групповые, тяжелые и несчастные случаи со смертельным исходом, по результатам расследования которых установлена вина должностных лиц нанимателя, организация и проведение Дней и Недель охраны труда. Также в течение года запланировано повышение квалификации руководителей, специалистов и работников организаций Минэнерго по актуальным вопросам охраны труда, сокращение количества рабочих мест с вредными и опасными условиями труда, переработка и актуализация основных нормативных документов, определяющих безопасную работу в электроустановках - ТКП 427 - 2012 «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок» и ТКП 290 - 2010 «Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках».

Одним из пунктов плана мероприятий является внедрение Концепции нулевого травматизма в организациях Минэнерго, что является новым подходом к снижению и профилактике травматизма. Концепция «Vision Zero» или «Нулевой травматизм» включает в себя семь «золотых» правил:

1. Стать лидером – показать приверженность принципам.

Каждый руководитель ответственен за охрану труда на предприятии. Он осознает, что на нем лежит ответственность за охрану труда работников, охрана труда всегда стоит первым пунктом в повестке дня всех совещаний. Руководитель понимает, что служит примером для

остальных, поэтому следует правилам. Обнаружив нарушения техники безопасности со стороны работника, немедленно реагирует и проводит с ним беседу. Руководитель поощряет соблюдение дисциплины и постоянно борется с нарушениями, не допускает беспорядка и халатности на рабочем месте. Работники знают о своём праве и обязанности остановить работу, если её нельзя выполнить в безопасных условиях.

2. Выявлять угрозы – контролировать риски.

Оценка рисков позволяет выработать меры, предупреждающие аварии и травмы на производстве. Она включает в себя сбор информации о производственных авариях, предаварийных ситуациях, тщательное их расследование, ведение статистической отчетности для установления причин и принятия предупреждающих мер.

3. Определять цели – разрабатывать программы.

Безопасный труд и охрана здоровья работников являются одной из приоритетных целей предприятия. Для достижения цели определяются виды деятельности, программы по охране труда и дополнительные меры, направленные на содействие достижению цели, также составляется план-график. Исходя из числа производственных аварий, отпусков по болезни, безаварийных дней и процента здоровых работников оценивается ход достижения поставленных целей. При необходимости планы и программы корректируются.

4. Создать систему безопасности и гигиены труда – достичь высокого уровня организации.

Если на предприятии создана высокоорганизованная система охраны труда, то оно функционирует без сбоев, так как уменьшается количество неисправностей, простоев оборудования и проблем с качеством продукции.

5. Обеспечивать безопасность и гигиену на рабочих местах при работе со станками и оборудованием.

При установке станков и оборудования проверяется их соответствие стандартам требований техники безопасности, особое внимание уделяется наличию и исправному функционированию защитных устройств. Также принимаются меры, чтобы станки, оборудование и производственные помещения не оказывали отрицательного воздействия на здоровье работников либо чтобы такое воздействие было минимальным.

6. Повышать квалификацию – развивать профессиональные навыки.

Очень важным для предприятия является наличие высококвалифицированного и хорошо подготовленного персонала. Обязательными условиями являются повышение квалификации и постоянное обучение работников. Непрерывное обучение необходимо для поддержания высокого уровня охраны труда.

7. Инвестировать в кадры – мотивировать посредством участия.

Задачей руководителя является стимулирование сотрудников к соблюдению правил техники безопасности путем поощрения и создания мотиваций. Например, если с работником советуется при оценке рисков или разработке рабочих инструкций, он сам активнее стремится следовать правилам. Повышению мотивации способствует регулярное проведение различных мероприятий и информационных дней, в ходе которых можно поделиться знаниями и приобрести практический опыт по охране труда.

Благодаря своей универсальности и гибкости концепция «Vision Zero» может быть внедрена во всех организациях Министерства энергетики, что позволит сократить количество аварийных ситуаций, несчастных случаев и заболеваний работников.

Безопасность труда работников мясоперерабатывающих комплексов

Журавков Н.М., Вершеня Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Характерной особенностью мясоперерабатывающих комплексов является применение на одном предприятии, в цехе, а часто и на производственном участке самых разнообразных технологических процессов, сложных по своей физико-химической основе, реализуемых на современном высокопроизводительном оборудовании с использованием широкой номенклатуры технологических материалов.

Комплексные исследования и оценка параметров условий с целью аттестации рабочих мест по классам опасности проводились сотрудниками Испытательной лаборатории кафедры «Охрана труда» Белорусского национального технического университета в рамках хозяйственных работ на Слуцком, Брестском и Пинском мясокомбинатах Республики Беларусь.

Детально изучались как санитарно-гигиенические, так и психофизиологические параметры условий труда персонала основных и вспомогательных производств (мясожировые, мясоперерабатывающие и колбасные, холодильные цеха, цеха технических фабрикатов; сырьевые и жировые участки, ливерные и пельменные отделения; ремонтные службы, котельные; лаборатории, столовые, прачечные, подсобные хозяйства, ремонтно-строительные цеха и др.).

Основными аттестуемыми профессиями являлись: бойцы скота (по операциям), проботорборщики, дезинфекторы, обработчики мясных туш, сборщики эндокринно-ферментного сырья, аппаратчики обработчики крови, аппаратчики производства альбумина, аппаратчики производства пищевых жиров, обработчики волоса, шерсти и щетины, жиловщики мяса и субпродуктов, обвальщики, составители фарша, формовщики колбасных изделий, операторы автоматических линий производства вареных колбас и сосисок, засольщики мяса и мясопродуктов, аппаратчики термической обработки мясопродуктов, обработчики шкур, тузлуковщики, машинисты компрессорных установок, операторы котельных, ветврачи, повары, маляры и др.

Исследованиями установлено, что основными вредными санитарно-гигиеническими факторами рабочих зон указанных аттестуемых профессий являются: повышенные уровни шума (на 2 – 14 дБА больше ПДУ), вибрации (на 1 – 2 дБ больше ПДУ), характерные для мясожировых и мясоперерабатывающих и компрессорных цехов с работающим технологическим оборудованием (вакуум-гидравлические и пневматические установки, моечные машины, конвейеры, дробилки, пилы, кутеры, массажеры, автоматические линии производства колбас, сосисок, пельменей, межцеховой транспорт, воздухоохладительные компрессоры, насосы, паровые котлы, ГРП, центрифуги, вентсистемы, кухонное оборудование, пилорама, тестомесильные машины и др.).

Аномальные параметры микроклимата (повышенные и пониженные температуры воздуха) рабочей зоны, которые обусловлены установленным технологическим регламентом мясоперерабатывающие цеха (+ 12 °С), сырьевые и упаковочные отделения (~ 2 ÷ +4 °С), холодильные камеры (~ 0 ÷ + 8 °С), холодильники (+4 °С), кладовые (+8 °С).

Поскольку во время трудового процесса постоянно проводится влажная уборка, практически во всех производственных помещениях отмечено повышенная влажность воздуха (78 ÷ 98 % при ПДУ ~ 75 %).

Работа практически всего персонала основных производственных подразделений сопряжена с наличием в воздухе рабочей зоны паров дезинфицирующих компонентов (хлора, едких щелочей) и, отдельно, для подгонщиков скота и кормачей (сероводорода и аммиака), для кладовщиков складов специй (пылей растительного и животного происхождения), для термических отделений (оксида углерода), для сотрудников химических лабораторий (пары серной кислоты, водорода, хлорида, щелочей едких, формальдегида). Во всех случаях содержание вредных веществ не превышало ПДК.

Во время регламентированных перерывов и после рабочей смены осуществляется дезинфекция ультра-фиолетовыми кварцевыми источниками.

Оценка условий труда по биологическому фактору осуществлялась по каждой отдельной их группе. В производстве мяса и мясных продуктов, дубления и отделки кожи на всех производственных стадиях до вынесения заключения о санитарно-эпидемиологической безопасности сырья и материалов, это работы по отбору, упаковке (исследованию), транспортировке проб биокомпонентов, биотканей условно здорового организма животных.

По показателям тяжести трудового процесса наиболее характерными являются: региональные физические и динамические нагрузки с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса на расстоянии до 1 м до 7000 и более кгм; масса поднимаемого груза вручную, кг : до и более 35 кг (до 2 раз в час); стереотипные движения за смену при работе на конвейерах, статическая нагрузка при удержании груза и др. Работа персонала проходит в неудобной позе до 50 % и более времени смены в течение смены; стоя более 60 % времени смены, с вынужденными наклонами до 300 и более раз за смену и т.д.

В качестве нервно-эмоциональных нагрузок следует отметить: эстетический дискомфорт, связанный с убоем и разделкой туш животных, постоянный контакт с животным сырьем, специфический запах, необходимость работы в средствах индивидуальной защиты, посменная работа с ночной сменой.

Характерной особенностью мясоперерабатывающих производств, создающей дополнительный глобальный риск, является тот факт, что подавляющее большинство рабочих помещений и участков относится по классификации к помещениям с особой опасностью поражения электрическим током по одновременному наличию 2-х причин (наличие повышенной влажности более 75 % и керамических полов), что создает постоянную работу персонала в средствах индивидуальной защиты, а также применение средств коллективной электрозащиты технологического оборудования.

Анализ результатов проведенных исследований санитарно-гигиенических факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, организационно-технического уровня рабочих мест работников названных мясоперерабатывающих предприятий позволил определить право работников на льготное пенсионное обеспечение (по Списку № 2), дополнительный отпуск, а также доплаты за вредные и опасные условия труда.

Проведенная идентификация и классификация производственных опасностей в процессе обнаружения и установления качественных, временных, пространственных и иных характеристик, необходимых и достаточных для их профилактики окажется весьма востребованной к созданию на указанных предприятиях менеджмента управления рисками.

Использование технологии BIM при проектировании систем пожарной безопасности

Мордик Е.В.¹, Журавков А.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ООО «Белпрограммпроект по проектированию систем пожарной сигнализации»

Современные экономические условия требуют скорейшего перехода проектирования систем пожарной безопасности на технологию информационного моделирования зданий (BIM-технологии) для сокращения времени на подготовку оценочной и сметной стоимости проекта, уменьшения количества ошибок и количества изменений в проекте, снижение финансовых затрат и сроков строительства, получения изображений в 3D, что позволяет совершенствовать сферу проектирования и монтажа систем пожарной безопасности.

Сначала нужно принять во внимание, что BIM-модель (building information model) - объектно-ориентированная параметрическая 3D-модель, представляющая в цифровом виде физические, функциональные и прочие характеристики объекта (или его отдельных частей) как совокупность информационно насыщенных элементов. BIM-модель, будучи цифровым аналогом реального объекта строительства, представляет собой совокупность семейств, сбранных по определенным правилам. Семейства – это группа схожих элементов, которая характеризуется общим набором свойств и связанных с ними графических представлений. В контексте проектирования систем пожарной сигнализации (СПС) - BIM-модель представляет собой цифровой аналог реальной системы СПС, а совокупность семейств – это цифровые копии оборудования, такого, как: извещатели, приемно-контрольные приборы, различные модули контроля/управления и прочие элементы.

На сегодняшний день одним из самых популярных программных комплексов для реализации технологии BIM является Autodesk Revit. При этом надо учитывать, что для того, чтобы обеспечить полноценное BIM-проектирование в среде Autodesk Revit, а также использовать все преимущества и возможности BIM – технологии необходимо предварительно сформировать так называемую «около проектную среду», состоящую из следующих компонентов:

- адаптированных семейств для использования в специализированном шаблоне;
- наличие правильно конфигурированного специализированного шаблона;
- использование системы управления семействами и модулей автоматизации для BIM-проектирования систем пожарной безопасности.

Далее остановимся более подробно на каждом компоненте, формирующем «около проектную среду».

Семейства в BIM-модели систем пожарной безопасности являются основополагающим элементом «около проектной среды». Поэтому от качества их разработки максимально зависит эффективность процесса проектирования, а именно: скорость построения BIM – модели и формирования рабочих чертежей; качество BIM – модели, а соответственно и возможность ее дальнейшего использования при строительстве системы и ее дальнейшей эксплуатации. Соответственно, для быстрого и качественного построения систем пожарной безопасности с применением BIM - технологии у проектировщика в наличии должны быть библиотеки семейств, на основе которых можно построить BIM – модель системы. На сегодняшний день существует множество библиотек моделей для BIM-проектирования систем пожарной безопасности, обладающих следующим функционалом:

1. Наличие стандартного условно графического изображения с возможностью перемещения относительно точки вставки семейства.
2. Наличие всех необходимых параметров, что предоставляет возможность для отображения необходимой информации о семействах в спецификации оборудования, таблицах с расчетами, иных отчетных таблицах, для маркирования на планах и т.п.

3. Наличие параметров, позволяющих отображать различные зоны отчуждения, граничные расстояния как на планах (2D видах), так и на 3D видах. Обеспечивает возможность визуальной оценки правильности размещения оборудования с учетом требований ТНПА.

4. Наличие типоразмеров, отвечающих за различные варианты комплектации и визуализации оборудования в BIM-модели. Предоставляет возможность значительно ускорить и повысить качество процесса BIM-проектирования за счет уменьшения трудоемкости и учета дополнительных компонентов для различных комплектаций оборудования.

Шаблон содержит все необходимые настройки для быстрого начала работы и предназначен для разработки BIM модели и выпуска проектной документации. Шаблон должен быть адаптирован под используемые библиотеки семейств, что в итоге позволит проектировщикам посредством обычной вставки семейства в проект получить всю информацию о семействе, отраженную во всех спецификациях. Основные возможности шаблона:

1. Минимизация необходимости доработки чертежей и ведомостей «вручную», сокращение трудоемкости за счет максимального использования возможностей автоматизации;
2. Максимальное соответствие элементов шаблона (марки, штампы, форматы и т.п.) требованиям ГОСТ ЕСКД/СПДС;
3. Быстрое получение заполненных отчетных таблиц;
4. Удобное представление диспетчера проекта, позволяющее быстро переключаться между видами и дающее представление о назначении видов;
5. Наличие в шаблоне предварительно загруженных аннотационных семейств марок, штампов, форматов и т.п. Что позволит быстро создавать листы, входящие в состав проектной документации: общие данные, планы этажей, схемы, расчеты, спецификации, задания заказчику и т.п.

Использование системы управления семействами и модулей автоматизации позволяет объединить функционал семейств и шаблона проекта в единую «около проектную среду» и организовать соответствующую коммуникацию. При этом система управления семействами, включающая единую базу данных семейств (оборудования, представленного на рынке) даст возможность получения оперативной информации по семействам и полноценно встраивается в ПО Autodesk Revit. Различные модули автоматизации позволят значительно оптимизировать рутинные задачи BIM-проектирования (например – маркирование цепей, расстановка оборудования и т.п.).

В результате всего вышперечисленного можно сделать вывод о том, что применение BIM – технологии в процессе проектирования систем пожарной безопасности обеспечивает качественно новый уровень и подходы в работе отрасли безопасности в целом, при условии наличия предварительно сформированной «около проектной» среды.

Сравнительный анализ систем государственного управления в сфере охраны труда в Республике Беларусь и за рубежом

Пантелеенко Е.Ф.

Белорусский национальный технический университет

История зарождения и развития охраны труда, как сферы деятельности относительно непродолжительна. Несмотря на то, что о безопасности рабочих-горняков в своих трудах середины XVII писал еще М.В. Ломоносов, более пристальное внимание вопросам сохранения здоровья и жизни работников государство начало уделять лишь в начале XIX века, что было обусловлено интенсивным развитием промышленности. Так в Великобритании в 1802 году начали регулировать режим работы детей и подростков на хлопковых фабриках, затем обратили внимание на условия труда женщин, а к середине XIX века уже были созданы специальные фабричная инспекция и инспекция шахт и угольных шахт, которые контролировали условия труда всех работников. В 1883 году Отто фон Бисмарк впервые в Европе вводит в действие закон о социальном страховании, а в 1884 – закон о компенсациях рабочим. [1] В Российской Империи с небольшим отставанием вводится закон о надзоре за работами (1818), а в 1859 создается специальная комиссия по оценке условий труда на заводах. Стоит отметить, что значительные сдвиги в формировании и развитии данной сферы деятельности были во многом обеспечены позицией самих работников, которые устраивали стачки, выдвигали требования по улучшению условий труда. Интересным является тот факт, что в США первый Закон об охране труда был принят лишь в 1970. Тем не менее, и до этого проводились научные исследования, направленные на изучение и улучшение условий труда, велся учет профзаболеваний и несчастных случаев, рабочие через суд могли добиться компенсаций от работодателя.

В данной работе рассмотрим и особенности систем управления в сфере охраны труда в Беларуси и других странах, которые формировались в первую очередь благодаря геополитическому положению страны и особенностям развития промышленной сферы, проведем сравнительный анализ управленческой структуры и правоотношений в данной сфере.

В Республике Беларусь существует ряд законодательных и нормативных документов, которые разрабатываются и утверждаются органами государственного управления. Профсоюзы могут вносить предложения об отмене, изменении или принятии новых законов и норм. Таким образом, законодательная функция принадлежит государству. Контролирующая (исполнительная) функция возложена на ряд государственных органов надзора и контроля, действующих в разных сферах народного хозяйства. Системе охраны труда в современном виде Республика Беларусь во многом обязана СССР, в период существования которого и произошли основные процессы формирования правоотношений в данной сфере деятельности и ее структуры. Поэтому на постсоветском пространстве охрана труда имеет ряд общих черт, что обусловлено существованием ее в рамках одного государства на протяжении почти 70 лет. Так, подобная система существует и в Российской Федерации.

В Европе странах выделяют три группы стран, имеющих различные подходы к законодательству, регулированию и стимулированию его соблюдения. Первая группа - осуществляет финансирование мероприятий охраны труда за счет госбюджета; вторая - проводит налоговое стимулирование субъектов хозяйствования, чтобы те вкладывали собственные средства в развитие охраны труда; третья – применяет систему скидок на страхование от несчастных случаев для тех организаций, где добились высоких показателей по охране труда. В рамках Евросоюза действует децентрализованный орган - Европейское агентство по безопасности и гигиене труда (European Agency for Safety and Health at Work, EU-OSHA), который собирает, анализирует и распространяет информацию, касающуюся безопасности и гигиены труда. Агентство осуществляет анализ и исследования, профилактику, проведение кампаний и повышение осведомленности в сфере охраны труда. Данный орган практикует трехстороннюю связь между

правительствами, работодателями и представителями работников при проведении своих кампаний. Конечно, в каждой стране существует свое законодательство, но рекомендации данного органа оказывают влияние на формирование текущей законодательной базы стран-участниц Евросоюза.

В Австралии действует Закон Содружества о безопасности и гигиене труда, однако в каждом из штатов остаются свои особенности в плане законодательства и регулирования правоотношений в сфере охраны труда.

В Канаде главным государственным органом является Канадский центр по охране труда и технике безопасности (Canadian Centre for Occupational Health and Safety, CCOHS). Орган занимается преимущественно сбором и распространением информации по охране труда, обеспечению безопасных условий труда, консультированием. Примечательно, что на работников, в зависимости от сферы занятости, распространяются разные законы: работники горнодобывающей, транспортной и федеральной сферы попадают под действие Трудового кодекса, а все остальные – под действие законодательства о безопасности и охраны здоровья той провинции, где они работают.

В Великобритании вопросы охраны труда долгое время курировали вневедомственные государственные органы: Управление здравоохранения и безопасности (Health and Safety Executive, HSE) - примечательным является то, что данный орган спонсируется Департаментом труда и пенсионного обеспечения и занимается расследованием несчастных случаев и аварий; Комиссия по охране здоровья и безопасности (Health and Safety Commission, HSC) - вневедомственный орган, который проводит исследования с целью улучшения условий труда, публикацию, пропаганду и консультирование в сфере охраны труда. С 2008 года оба этих органа объединены в один, который называется Управление здравоохранения и безопасности, и сейчас в его составе работают следующие подразделения: научный отдел - Лаборатория здоровья и безопасности, Королевская инспекция по шахтам, Реестр консультантов по охране труда (обязательна аккредитация). Интересным является то, что охрану труда на железнодорожном транспорте выполняет отдельная организация, а охраной труда в сфере ядерной энергетики, а также энергетической безопасности на море осуществляет Управление ядерного регулирования (Office for Nuclear Regulation, ONR). Исполнительную функцию (контроль за соблюдением законодательства по охране труда) несут местные органы управления. Следует также отметить, что к работе данной организации существует множество претензий (не подотчетность, недемократичность), которые публично обсуждаются в прессе.

В США существуют два основных федеральных (государственных) органа: первый - Национальный институт охраны труда (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH), который входит в состав Министерства здравоохранения и социальных служб и занимается исследовательской деятельностью, направленной на предотвращение профзаболеваний и несчастных случаев; второй – Управление по охране труда (Occupational Safety and Health Administration, OSHA), которое занимается разработкой стандартов по охране труда и контролирует их исполнение, то есть выполняет и законодательную функцию, и исполнительную. Однако, существуют профессии и сферы деятельности, не подконтрольные указанным органам: добыча полезных ископаемых, экипажи летательных аппаратов, почтовые служащие, надомные работники и др. Их деятельность курируют отдельные специальные организации. [2]

В условиях глобализации вопросы охраны труда и трудовых отношений выходят на международный уровень. Для их регулирования и управления была создана Международная организация труда (International Labour Organization, ILO), входящая в состав ООН, в которую входят 187 из 193 государств, и которая занимается разработкой международных стандартов по охране труда. Конвенции, разработанные данной организацией должны ратифицироваться странами-участниками, но считаются международными стандартами независимо от ратификации.

Также существует Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO), в которую входят 164 страны мира, и которая занимается

разработкой стандартов практически во всех областях деятельности. Последняя разработка данной организации в области охраны труда - это стандарт ISO 45001 для систем менеджмента профессионального здоровья и безопасности, целью которого является сокращение производственных травм и заболеваний, включая укрепление и защиту здоровья. Стандарт вступает в силу в сентябре 2021 года.

Стоит отметить, что во всем мире непосредственным представителем интересов трудящихся являются профсоюзы, функции которых одинаковы, независимо от страны.

Таким образом, проанализировав системы управления в сфере охраны труда в развитых странах мира и в Республике Беларусь, приходим к выводу, что во всех рассмотренных странах вопросы охраны труда регулируются государством посредством создания специальных органов. В условиях глобализации существуют международные организации, разрабатывающие рекомендации и стандарты, в том числе в сфере охраны труда, которые ратифицируются и внедряются во многих странах. Однако можно выделить следующие отличительные особенности в структурах управления данной сферы, сформированные вследствие особенностей исторического развития:

1. Распределение законодательной и исполнительной функции (в РБ эти функции выполняют разные органы, в некоторых странах один и тот же государственный орган может их совмещать. Так, в США Управление по охране труда разрабатывает стандарты и контролирует их исполнение);

2. Органы, выполняющие исполнительную функцию (в РБ исполнительную функцию выполняют органы государственного надзора и контроля, а, например, в Великобритании – местные органы власти);

3. Сферы распространения законодательных и нормативных актов (в РБ законодательные акты едины для всех работников, а в США, Канаде, Великобритании на работников разных сфер деятельности могут действовать различные законодательные нормы, кроме того, в различных областях страны нормы также могут различаться);

4. Источники финансирования мероприятий по охране труда (в РБ это средства госбюджета или нанимателя, в европейских странах государство может поощрять вложение собственных средств нанимателя посредством налоговых льгот).

Литература

1. Abrams, Herbert K. (2001). «A Short History of Occupational Health». *Journal of Public Health Policy*. 22 (1): 34–80. doi:10.2307/3343553. Retrieved 9 August 2012.
2. Reflections on OSHA history. [U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration](http://www.osha-slc.gov/history). January, 2009. Electronic resource.
3. https://www.webcitation.org/6Gj9Wuk57?url=http://www.osha.gov/history/OSHA_HISTORY_3360s.pdf

Особенности литейной гидравлики

Скворцов А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одной из основных особенностей литейного производства является заполнение форм расплавленным металлом. Для расчетов технологических процессов, связанных с течением металла, могут быть использованы основные положения гидравлики. При расчете литейных процессов дополнительно должны быть учтены специфические свойства металлического расплава и формы. Таким образом, литейная гидравлика – это прикладная техническая дисциплина, являющаяся разделом технологии литейного производства.

Литейную гидравлику вообще и литниковых систем в частности отличают следующие главные особенности:

1. Расплав в одних случаях должен рассматриваться как гомогенная система (состав и физические свойства системы во всех частях одинаковы или меняются непрерывно, без скачков, а между частями системы нет поверхностей раздела), а в других случаях как гетерогенная жидкость.

2. В литейном производстве стенки каналов выполняются из формовочных материалов, обладающих газопроницаемостью и газотворностью. По этой причине напорный поток сообщается с атмосферой и газовой средой, образующейся в стенках формы

3. В тепловом отношении процесс течения расплава в форме является неустановившемся, вследствие изменения температуры металла и стенок литниковых каналов во времени – от начала до конца заливки.

4. Неустановившийся тепловой процесс обуславливает неустановившийся характер течения расплава в гидравлическом смысле, вследствие возможного влияния изменения температурного режима на скорость и расход. Изменение скорости потока определяется зависимостью вязкости расплава и свойств стенок формы от температуры. Расход может быть переменным, как вследствие изменения скорости, так и проходного сечения литникового канала. В процессе течения он может кристаллизоваться на стенках формы, изменяя их шероховатость. По этой причине может изменяться проходное сечение литникового канала.

Защитные цинксодержащие покрытия: зависимость свойств от декоративности

Астрейко Л.А.

Белорусский национальный технический университет

Метод антикоррозионной защиты путем оцинковывания изделий является одним из активно применяемых в производстве. Номенклатура обрабатываемых изделий охватывает самые различные области деятельности человека. Поэтому вопрос внешнего вида продукции постоянно присутствует у производителей. При этом важным условием является то, что декоративность изделия не должна снижать комплекс антикоррозионных свойств, а по возможности и улучшать их.

Известно, что коррозия – это процесс разрушения металлических конструкций при взаимодействии с окружающей средой. В зависимости от большого количества факторов коррозия может развиваться с различной скоростью и иметь разную природу. Цинковое покрытие представляет собой сочетание двух способов защиты: катодной и изоляции поверхности материала (создание барьера) от агрессивной среды.

В соответствии с механизмом формирования защитные цинковые покрытия можно разделить на две большие группы: диффузионные и не диффузионные покрытия. Это влияет на сцепление антикоррозионного покрытия со стальной подложкой: адгезия диффузионного цинкового покрытия превосходит степень сцепления цинковых покрытий, наносимых гальваническим или другими известными методами, что сказывается на сроке службы изделия.

Диффузионными, могут быть не только покрытия, полученные методом шерардизации, но и полученные с использованием *дополнительной термической обработки цинковых покрытий*. Например, способ «гальванилинг»: оцинкованные изделия подвергаются диффузионному отжигу (термической обработке) в электрических или газовых печах при соответствующей температуре. Такое покрытие состоит не из нескольких интерметаллидных фаз, а полностью из железоцинкового сплава. Поверхность таких изделий серебристо-серая, изделия хорошо окрашивается и подвергается другим видам декоративной обработки. Сложная конфигурация изделий не является препятствием для такого вида обработки: покрытие на поверхности гладкое, равномерное по толщине, структурно однородное. Прочность сцепления со стальной основой возрастает.

Большой практический интерес представляет термическая обработка легированных горячецинковых покрытий. На поверхности легированных диффузионных цинковых покрытий в эксплуатационных условиях образуется защитная пленка сложного состава. Защитные свойства у них значительно повышаются. Для диффузионных легированных цинковых покрытий особенно ярко выражено затухание коррозии во времени. Для таких покрытий можно получить различные по насыщенности оттенки серого цвета /1/

В процессе эксплуатации на поверхности оцинкованных изделий появляются продукты коррозии, т.н. «белая ржавчина». Их присутствие ухудшает внешний вид, а со временем, при удалении этих соединений с поверхности в процессе эксплуатации может снизиться и защитная способность покрытия. Для увеличения срока эксплуатации изделий до момента появления «белой ржавчины» используют хромирование, фосфатирование, иногда промасливание изделий. Такая дополнительная обработка позволяет увеличить срок эксплуатации изделий в большинстве сред на 30 %.

В тех случаях, когда шерардизированные изделия предназначаются для работы в очень жестких коррозионных условиях, рекомендуется производить *пассивацию* /1/. Эта операция исключает образование цинковых солей на поверхности. После этой операции на покрытии образуется пленка из стабилизированных солей цинка, которая препятствует воздействию влаги или конденсата на цинк покрытия.

Еще один способ придания декоративности – это вибровыглаживание. Такая дополнительная операция финишной обработки изделий в вибраторах, куда детали загружаются вместе с абразивом (обычно керамические, пластиковые чипсы), придает изделиям полуматовый блеск, снижает шероховатость поверхности (Научно – производственный центр НПЦ ЭГО, РФ). Часто фирмы используют оба способа (пассивацию и вибровыглаживание) чтобы обеспечить более широкую номенклатуру предлагаемых изделий достаточным комплексом свойств. Например, в зависимости от требований к внешнему виду деталей могут проводить либо финишную обработку в ваннах (пассивацию): покрытие - серое, шероховатое, матовое; либо проводить финишную обработку (пассивацию) в вибровыглаживающей установке: покрытие - серое, гладкое, с легким блеском.

Комбинированные покрытия получают дополнительным нанесением лакокрасочного или полимерного покрытия на уже оцинкованные изделия. Такое покрытие обеспечивает как дополнительную защиту, так и обеспечение самого широкого спектра декоративных характеристик. На диффузионные покрытия краска или полимерное покрытие наносится хорошо, при этом не требуется специальной химической обработки, которую необходимо проводить при покраске горячеоцинкованных изделий. Цинк присутствующий в покрытии обеспечивает заживление дефектов. Для покрытий, нанесенных

методами гальваники, напыления, следует иметь в виду, что качество сцепления покрытий с основным изделием происходит за счет адгезии, а не за счет присутствия интерметаллических фаз. Поэтому декоративность таких покрытий достигается составами рабочих растворов, что не всегда приводит к увеличению срока эксплуатации готового изделия.

Таким образом, дополнительная декоративная обработка на оцинкованной поверхности позволяет обеспечить увеличение срока эксплуатации изделий при улучшении внешнего вида изделий и расширении областей применения защитных цинксодержащих покрытий.

Литература

1. Защитные цинковые покрытия: сопоставительный анализ свойств, рациональные области применения/ Е.Проскуркин, ГП «НИТИ», Украина. // Оборудование - №3, 4. – 2005.

**Повышение надежности культиваторных лап
за счет упрочнения рабочих поверхностей на основе бионического подхода**

Ткаченко Г.А.¹, Синчук О.В.¹, Голдыбан В.В.², Ковальчук А.В.³

¹Белорусский государственный университет

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

³Белорусский национальный технический университет

Важнейшим направлением совершенствования эксплуатационного уровня почвообрабатывающих машин является повышение ресурса их рабочих органов.

Номинальный пахотный фонд Беларуси составляет около 6 миллионов гектар. Основную часть пахотного фонда страны составляют тяжелые супеси (34 % от общей площади пахотных земель), легкие суглинки (25 %) и средние суглинки (27 %). Супесчаные почвы являются при этом наиболее изнашивающими, их коэффициент изнашивающей способности равен 1,7-2,2. Коэффициент изнашивающей способности легких суглинков составляет 1,4-2,0, для средних суглинков – 0,8-1,6 [1-3]. Поэтому почвообрабатывающие агрегаты работают в условиях интенсивного абразивного изнашивания, особенно: лапа культиватора, лемех плуга, долото и др. Например, средняя наработка на отказ долотообразных лемехов колеблется от 5 до 20 га, лап культиваторов – от 7 до 18 га [1, 2].

В настоящее время для того, чтобы повысить износостойкость рабочих органов почвообрабатывающих машин применяют: термическое упрочнение; наплавку с тыльной стороны лезвия износостойкими материалами (керамические и металлокерамические материалы, сормайт, ПГ-С27, ФБХ6-2 и др.) для реализации эффекта самозатачивания; совершенствование конструкции (изготовления дополнительных элементов быстро изнашиваемых элементов стрелчатых лап); комбинированные методы [3].

С учетом того, что культиваторные лапы почвообрабатывающей техники относятся к расходным элементам, необходимо для создания конкурентоспособной технологии повышения их долговечности сохранить минимальную себестоимость изготовления и упрочнения.

Лапы культиваторов изготавливают в основном из стали 65Г. Их ресурс, в зависимости от механического состава почвы, сравнительно не велик и составляет от 7 до 18 га [1, 2], средняя же рыночная цена достигает 45 рублей. Традиционно лапы культиваторов изготавливают из рессорно-пружинных сталей, подвергая объемной термической обработке на твердость 35-45 HRC. В современных условиях это не обеспечивает должного уровня надежности и долговечности, поэтому ресурс оказывается ниже западных аналогов в 1,5-2 раза и, как правило, не соответствует требованиям СТБ 1388-2003.

Технологию наплавки (газотермический метод, нагревом ТВЧ, наварка электродом и др.) с тыльной стороны лезвия износостойкими материалами для реализации эффекта самозатачивания можно охарактеризовать следующим.

Стоимость наплавочных материалов, как правило, повышает стоимость изделий в 1,2-1,5 раза. Следовательно, для сохранения конкурентной цены на деталь, необходимо в 1,8-2,2 раза повысить сопротивление поверхностей изделий абразивному изнашиванию, увеличить прочность и ударную вязкость. В работах [3-6] отмечено положительное влияние на повышение ресурса работы стрелчатых лап, упрочненных наплавкой. Однако такой способ упрочнения отличается непостоянством характеристик износостойкости на разных типах почв. При верхней наплавке – самозатачивание проявляется только на суглинистых, чернозёмных почвах. При наработке на почвах средней влажности – самозатачивание наблюдается только на песчаных и супесчаных почвах.

Совершенствование конструкции. В работе [4] на основании анализа существующих форм культиваторных лап была предложена модернизированная конструкция. Стрелчатая лапа культиватора выполнена сборно-разборной и состоит из носа, закрепленного к основе

лапы болтами крепления к стойке и двух лезвий, которые вставлены в пазы основы лапы и закреплены болтами крепления лезвий в основе лапы, рисунок 1. Накладные элементы изготовлены из стали 45, с твердостью 45-48 HRC.



Рисунок 1 [4]– Стрельчатая лапа с накладным элементом

Модернизированные изделия с накладной носовой частью после испытаний показали, что износ крыльев по ширине не значителен и составил в среднем 0,8-1,7 мм. Благодаря использованию накладной носовой части уменьшена нагрузка на крылья и их износ обусловлен только подрезанием сорных растений.

В последнее время в области земледельческой механики сформировалось новое научное направление, заключающееся в бионическом подходе к созданию сельскохозяйственных машин и рабочих органов.

Бионика – это научное направление, включающее биологию, физику, математику технические науки. Бионика ставит своей задачей использование принципов организации и функциональных схем биологических систем разного уровня при решении инженерно-технических задач (биоинспирирование).

На основании бионических моделей австрийская компания в 2019 году представила культиваторные лапы, в которых применена инновационная конструкция с эффектом «зуба бобра». Данное конструктивное решение позволяет за счет различной твердости на поверхности и внутренней кромке частей рабочих органов обеспечивать условие самозатачивания с сохранением оптимальной формы режущих элементов конечностей. Срок службы биоинспирированные культиваторных лап Boehlerit в пять раз превышает срок службы рабочих органов-аналогов [<https://www.boehlerit.com>].

В работах [5, 6] отмечено, что лезвия лемехов, упрочненные с использованием принципов бионики, обладают износостойкостью в 1,4-2,0 раза выше на многих типах почв по сравнению с наплавленными сормайттом, при этом удельное тяговое сопротивление плугов снижается до 30 %.

В работе [7] применен бионический подход к конструированию поверхности сверла для отбора горных пород. Поверхности сверла, рисунок 2, спроектировали с учетом особенностей головы почвенного животного, такого как навозный жук. Рабочие поверхности 1, скользящие по горной породе, представляли собой ямочную конструкцию, а поверхности 2 – представляли собой сферические выступы. Неровная поверхность сверла необходима, так как при движении жука в почве твердые частички не скользят, а катятся по куполу головы жука, что помогает уменьшить воздействие и истирание поверхности. При движении жука сферические выступы на поверхности уменьшают давление почвы. Благодаря такой неровной поверхности минимизируется площадь контакта абразивных частиц, что снижает силу трения и предотвращает застревание твердых частиц в верхнем слое покрытия.

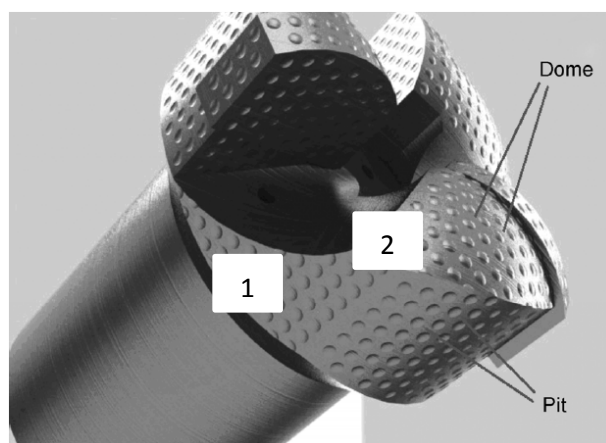


Рисунок 2 [7] – Вид сверла для обработки горных пород

Результаты экспериментов показывают, что бионическая конструкция сверла предотвращает залипание и значительно повышает износостойкость, при этом средняя скорость сверления увеличивается на 45%, а средняя скорость износа снижается на 23%.

Таким образом, бионический подход в конструировании поверхностей почвообрабатывающих инструментов и других изделий достаточно эффективен для снижения интенсивности истирания рабочих поверхностей при воздействии абразивных частиц.

На основании изложенного можно утверждать, что для создания новой прогрессивной технологии изготовления и упрочнения лап культиваторов следует в конструкции почвообрабатывающего органа предусмотреть накладные элементы (снизит нагрузку на крылья лап), руководствуясь бионическим подходом для формирования особого рельефа на поверхности трения (снижение трения в зоне контакта с почвой). Для повышения прочности, ударной вязкости и твердости рабочих органов почвообрабатывающих машин использовать термическую обработку.

Литература

1. Голдыбан, В.В. К разработке на основе элементов бионики антиадгезионных и антифрикционных поверхностей почвообрабатывающих машин / В.В. Голдыбан // Научно-технический прогресс в сельско-хоз. производстве: матер. Между нар. науч.-практ. конф., Минск, 18-20 октября 2017 г. / РУП «Научн.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механиз. сельского хоз-ва»; редкол.: П.П. Казакевич,- Минск, 2017.-С. 298-306.
2. Константинов, В.М. Комплексное повышение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга / В.М. Константинов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. - №12. – С. 12-19.
3. Макаренко А.Н. Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии в 21 веке». – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – 265-269 С.
4. Михальченко А.М., Феськов С.А., Якушенко Н.А. Восстановление стрелчатых лап // Сельский механизатор. -2014-С.36-37.
5. Лебедев А.Т., Износостойкость рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] /Лебедев А.Т., Магомедов Р.А./ Сельский механизатор. 2011. № 10. С. 34-35.
6. Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК : сборник научных статей / под общей редакцией А.Т. Лебедева. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского государственного аграрного университета, 2015. – 368 с.
7. Bionic surface design of cemented carbide drill bit SCIENCE CHINA Technological Sciences January 2016 Vol.59 No.1: 175–182

Долгий Л.П., Слущкий А.Г., Касперович И.А.
Белорусский национальный технический университет

Научно-технический прогресс (НТП) в различных областях техники резко повышает требования к качеству потребляемой металлопродукции, что вызывает необходимость разработки процессов и оборудования, обеспечивающих производство особо чистых металлических материалов, свободных от вредных примесей, неметаллических включений и обладающих заданными механическими свойствами. Эти процессы получили название специальной металлургии. К ним можно отнести в том числе плавку металлов и сплавов в вакуумных индукционных печах (ВИП).

Общим преимуществом плавки в вакуумных печах является пониженное содержание газов и неметаллических включений (НВ) в полученном металле. Под вакуумом понимают любое состояние газовой среды с давлением ниже атмосферного. В вакуумных индукционных печах используют обычно средний вакуум от $1 \cdot 10^{-4}$ мм.рт.ст.

Известно, что при плавке в вакууме ряд физико-химических процессов имеет специфические особенности, а именно: интенсивно выделяются газы из металла, заметно испаряются как основные компоненты сплава, так и их примеси с высокой упругостью пара. При этом становится возможным глубокое раскисление металла углеродом, восстанавливаются и удаляются неметаллические включения, идут активные процессы между металлом и футеровкой.

Основными физико-химическими процессами, протекающими в вакууме, являются:

1. Дегазация металла от водорода и азота. Например, для получения содержания водорода в металле $1 \text{ см}^3/100 \text{ г.}$ достаточно, чтобы остаточное давление при 1600°C составляло около 1 мм.рт.ст. Азот имеет более низкий коэффициент диффузии, чем водород, в результате чего он удаляется при вакуумной плавке значительно труднее.

2. Испарение компонентов жидкого металла, которое зависит от упругости пара и скорости испарения при данных значениях температуры и от давления газовой фазы над расплавом. Наиболее высокой упругостью пара в условиях плавки в вакууме обладают такие основные компоненты как Mn и в меньшей степени Cr и Si. Из примесей известных металлов наиболее благоприятные условия для удаления испарением имеют Sn и Cu. Заметные потери хрома путем испарения наблюдаются при повышенном его содержании. Молибден и вольфрам не испаряется в жидкой стали. Потери этих элементов могут иметь место при повышенном содержании в стали кислорода, при этом окислы Mo и W весьма летучи. Такие элементы как титан и алюминий также испаряются при вакуумной плавке, но весьма легко окисляются и всплывают на поверхность ванны.

3. Раскисление металла. Наиболее благоприятные условия для раскисления металла в вакууме создаются в том случае, когда продукты раскисления образуются в виде газа, например при раскислении углеродом, которые непрерывно удаляются из объема печи.

Однако в действительности раскислительная способность углерода резко падает и даже при снижении давления до $1 \cdot 10^{-4}$ мм.рт.ст. Объясняется это тем, что в газовых пузырьках CO, которые образуются на шероховатых поверхностях футеровки гораздо более высокое парциальное давление CO, чем в расплаве. В результате этого затрудняется агрегация CO.

Более глубокое раскисление стали может быть выполнено дополнительным введением Al и Ce. При раскислении Al количество кислорода снижается до 0,002-0,003% для Fe-C и до 0,004-0,005% для Fe-Cr сплавов. Еще меньше содержание при раскислении Al и Ce.

Введение в сталь Si и Mn практически не изменяет содержание кислорода в стали.

4. Восстановление и удаление неметаллических включений.

Термодинамические расчеты показывают [1], что в условиях вакуума углерод, находящийся в расплаве, способен восстанавливать Mn и Cr из оксидов (MnO, Cr₂O₃) и в меньшей

степени Si из SiO₂. При этом уменьшается количество крупных НМВ (неметаллических включений). Для возможности восстановления тугоплавких окислов таких элементов как Ti, Al, V, Se плавку ведут при повышенной температуре. Уменьшение количества НМВ объясняется не только более успешным восстановлением и более интенсивным всплыванием их вместе с пузырьками газа CO, но и самостоятельно в результате снижения вязкости металла и его перемешиванием.

5. Диссоциация компонентов огнеупорной футеровки и ее взаимодействие с жидким металлом.

При вакуумной плавке металла происходит разрушение футеровки в результате механического воздействия жидкого металла, повышенной диссоциации в вакууме некоторых компонентов, а также восстановление отдельных компонентов футеровки при химическом взаимодействии с элементами, находящимися в составе металла.

К увеличению потерь приводит повышенное содержание SiO₂ в футеровочных материалах. Поэтому из-за недостаточной стойкости SiO₂ в условиях вакуума кислая футеровка в таких плавильных печах не применяется. Наиболее часто в индукционных вакуумных печах применяют магнезитовую футеровку.

Взаимодействие между компонентами футеровки и углеродом происходит и в том случае, когда она выполнена преимущественно из Al₂O₃ или ZrO₂. Химическое взаимодействие металла с компонентами футеровки усиливается при повышенном содержании в металле Cr, Al и других активных элементов.

Таким образом, преимуществом плавки в индукционных вакуумных печах является глубокая дегазация металла, возможность удаления примесей ряда цветных металлов и возможность выплавки сталей и высокотемпературных сплавов практически любого состава.

К недостаткам технологии ВЭП можно отнести повышенное взаимодействие расплава с компонентами футеровки, что снижает ее стойкость и обычно составляет несколько десятков плавов. Данная технология имеет худшие ТЭП по сравнению с обычными индукционными печами. Кроме этого конструкция комплекса предполагает наличие ряда вспомогательного оборудования (вакуумные насосы, гидро- или пневмопривод и др.), что увеличивает его габариты и усложняет технологический процесс плавки и обслуживание вакуумной установки.

Литература

1. Е.Б. Качанов Методы спецметаллургии – основа производства высококачественных сталей и сплавов. – с. 81-83.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Урбанович Н.И., Барановский К.Э., Розенберг Е.В., Карпенкин А.А. Изучение коррозионной стойкости цинксодержащих покрытий, полученных на основе отходов производства горячего цинкования (Белорусский национальный технический университет)	4
2	Комаров О.С. ¹ , Розенберг Е.В. ¹ , Барановский К.Э. ¹ , Скуратович А.З. ² Модифицирование легированных железоуглеродистых сплавов (¹ Белорусский национальный технический университет, ² Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы)	7
3	Комаров О.С., Урбанович Н.И., Розенберг Е.В., Волосатиков В.И. Современные направления использования отходов производств в качестве вторичных ресурсов (Белорусский национальный технический университет)	10
4	Караминадик И. Демченко Е.Б. Методика исследования процесса контактной точечной сварки соединений материалов «алюминий-сталь» (Белорусский национальный технический университет)	12
5	Караминадик И. Демченко Е.Б. Расчёт и выбор режимов контактной точечной сварки соединений из разнородных материалов (Белорусский национальный технический университет)	15
6	Сидоров В.А., Пантелеенко Ф.И. Оперативная диагностика механических свойств изделий (Белорусский национальный технический университет)	18
7	Ушеренко С.М., Чигринов В.Е., Бычек А.Б. Изменения структуры и свойств сварного инструмента на основе марганцовистой стали (Белорусский национальный технический университет)	21
8	Дашкевич В.Г., Судников М.А. Плетенев И.В. Формирование многофункциональных поверхностных слоев на конструкционных сталях с использованием термодиффузионной обработки в порошковых средах (Белорусский национальный технический университет)	23
9	Дашкевич В.Г., Судников М.А. Структурно-фазовые особенности формирования боридного термодиффузионного слоя и его концентрационного профиля через полупроницаемые покрытия (Белорусский национальный технический университет)	26
10	Константинов В.М., Булойчик И.А. Влияние пассивационной обработки на эксплуатационные свойства цинковых диффузионных слоев (Белорусский национальный технический университет)	29
11	Плетенев И.В. Исследование особенностей окисления и разрушения термодиффузионных жаростойких слоев на меди (Белорусский национальный технический университет)	32
12	Ситкевич М.В. ¹ , Курилович М.Н. ² Сравнительный анализ структуры и свойств поверхностных слоев сталей 40Х и 40ХМФА после ионного и газового азотирования в условиях ОАО «БЕЛАЗ» (¹ Белорусский национальный технический университет, ² ОАО «БЕЛАЗ»)	35
13	Багаев С.И., Смягликов И.П., Паршута А.А., Климова Е.А. Формирование биосовместимых покрытий двух типов на винтах транспедикулярного фиксатора позвоночника (Физико-технический институт НАН Беларуси)	38
14	Стефанович В.А., Мельниченко В.В., Стефанович А.В. Структура цементованного слоя на хромоникелевых сталях (Белорусский национальный технический университет)	41
15	Мельниченко В.В., Стефанович В.А. Применение метода линейаризации для генерации регрессионных моделей в материаловедении (Белорусский национальный технический университет)	43

16	Кохнюк В.Н., Изюмов А.А., Селифанов С.О., Мочайло Е.В., Дениженко А.Г., Смягликов И.П. Вакуумно-дуговое осаждение металлов на текстильные материалы (Физико-технический институт НАН Беларуси)	45
17	Паршуту А.А., Багаев С.И., Климова Е.А., Степанова-Паршуту Е.А. Исследование влияния технологических параметров анодирования алюминия на получение темных оксидных покрытий (Физико-технический институт НАН Беларуси)	48
18	Позняк И.Г. Применение количественной фрактографии для установления причин разрушения деталей (Белорусский национальный технический университет)	51
19	Кохнюк В.Н., Изюмов А.А., Селифанов С.О., Мочайло Е.В., Дениженко А.Г. Увеличение ресурса металлообрабатывающего инструмента посредством нанесения износостойких наноструктурных покрытий на основе карбидов и оксидов титана (Физико-технический институт НАН Беларуси)	53
20	Кукареко В.А., Кушнеров А.В. Влияние отжига покрытий TiCrN на их когезионное растрескивание (Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси)	56
21	Астрашав Е.В., Григорчик А.Н. Коррозионная стойкость газотермических покрытий на основе Fe-Al в водном растворе NaCl (Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси)	59
22	Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Будницкий А.С. Формирование оксидных покрытий на поверхности вентильных металлов с применением высокочастотного импульсного микродугового оксидирования (Белорусский национальный технический университет)	62
23	Королёв А.Ю., Нисс В.С., Паршуту А.Э., Сорока Е.В. Разработка импульсной электролитно-плазменной технологии размерной и финишной обработки металлических материалов (Белорусский национальный технический университет)	64
24	Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Будницкий А.С., Сенченко Г.М. Модифицирование поверхности титана с применением электролитно-плазменного нагрева (Белорусский национальный технический университет)	67
25	Алексеев Ю.Г., Нисс В.С., Паршуту А.Э., Сенченко Г.М. Получение светопоглощающих покрытий на поверхностях изделий из алюминиевых и титановых сплавов на основе микродугового оксидирования (Белорусский национальный технический университет)	69
26	Нисс В.С., Гавриленко В.В. Разработка технологии получения коронарных стентов лазерной резкой и электрохимической полировкой (Белорусский национальный технический университет)	71
27	Асташинский В.М. ¹ , Иванов А.И. ¹ , Углов В.В. ² , Черенда Н.Н. ² Одновременное легирование поверхностного слоя углеродистой стали Ст3 атомами Mo-Cr под воздействием компрессионного плазменного потока (¹ Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, ² Белорусский государственный университет)	75
28	Ровин С.Л. ¹ , Насевич И.С. ² Влияние примесей и легирующих элементов на физико-механические свойства сурьмянистых и кальциевых свинцовых сплавов (¹ Белорусский национальный технический университет, ² УП «Технолит» (г.Минск))	76
29	Гуминский Ю.Ю., Одиночко В.Ф. Влияние ультрадисперсного модификатора на угол смачивания жидкостекольного связующего материала (Белорусский национальный технический университет)	79

30	Иванов И.А. Повешение эксплуатационных свойств ионно-плазменных покрытий нитрида и карбо-нитрида титана введением легирующих добавок (Белорусский национальный технический университет)	80
31	Иванов И.А. Условия формирования плазмы дугового разряда в вакууме и её использование для упрочнения поверхности сталей и сплавов (Белорусский национальный технический университет)	81
32	Ровин С.Л. ¹ , Ровин Л.Е. ² Закономерности нагрева дисперсных материалов в ротационных печах (¹ Белорусский национальный технический университет, ² Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого)	82
33	Рудницкий Ф.И., Куликов С.А., Шумигой В.А. Перспективы применения ультрадисперсных частиц для модифицирования высокотемпературных расплавов (Белорусский национальный технический университет)	85
34	Фасевич Ю.Н. Практическая реализация применения алгоритма проектирования для управления процессом структурообразования отливок (Белорусский национальный технический университет)	87
35	Корнеев С.В. Сравнение показателей электроплавки металла при использовании различных видов тарифов на электрическую энергию (Белорусский национальный технический университет)	88
36	Корнеев С.В. Конструктивные исполнения прессов для брикетирования железосодержащих пылевидных материалов (Белорусский национальный технический университет)	91
37	Корнеев С.В. Технологии переработки пылей газоочисток электродуговых печей, содержащих соединения цинка (Белорусский национальный технический университет)	94
38	Трибушевский Л.В., Немененок Б.М., Румянцева Г.А., Шейнерт В.А. Использование алюминиевых отвальных шлаков для внепечной обработки стали (Белорусский национальный технический университет)	97
39	Бежок А.П., Шейнерт В.А., Касперович И.А. Оптимизация фракционного состава порошка силицида для изготовления катодов мишеней вакуумных ионно-плазменных источников (Белорусский национальный технический университет)	99
40	Лущик П.Е., Рафальский И.В. Процессы получения и особенности структурообразования функционально-градиентных материалов (Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»)	102
41	Неменёнок Б.М. ¹ , Рафальский И.В. ² , Лущик П.Е. ² , Радченко А.А. ³ , Бубен Д.В. ³ , Адепу Кумар ⁴ Моделирование процессов получения соединений листовых материалов на основе сплавов титана и алюминия способом сварки трением с перемешиванием (¹ Белорусский национальный технический университет, ² Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ³ ОХП «Институт сварки и защитных покрытий» ГНУ «ИПМ НАН Беларуси», ⁴ Национальный технологический институт (г.Варангаль, Индия))	104
42	Покровский А.И. ¹ (), Лущик П.Е. ² , Рафальский И.В. ² Комплексная обработка высокопрочного чугуна, полученного с использованием методов литья, деформации и изотермической закалки (¹ Физико-технический институт НАН Беларуси, ² Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»)	107
43	Рафальский И.В. ¹ , Лущик П.Е. ¹ , Руленков А.Д. ² , Довнар Г.В. ² Получение порошков с высоким содержанием алюмооксидных фаз с использованием методов металлургической обработки алюмоматричных композиций для	109

	газотермического напыления (¹ Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ² Белорусский национальный технический университет)	
44	Рудницкий Ф.И. ¹ , Лущик П.Е. ² , Рафальский И.В. ² , Покровский А.И. ³ Микроструктурный анализ слоистых композитов после деформации листовых материалов на основе железа и алюминия (¹ Белорусский национальный технический университет, ² Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ³ Физико-технический институт НАНБ)	112
45	Автушко Г.Л. ¹ , Богданович Д.А. ² , Мандик Н.С. ² Требования по охране труда при выполнении технологического процесса по нанесению интерференционных покрытий на вакуумной установке Ortus-700 (¹ Белорусский национальный технический университет, ² ОАО «Пеленг»)	115
46	Батяновская И.А., Вершеня Е.Г. Особенности обеспечения безопасности при выполнении земляных работ (Белорусский национальный технический университет)	118
47	Ушакова И.Н., Батяновская И.А. Обеспечение пожарной безопасности высотных зданий (Белорусский национальный технический университет)	121
48	Филянович Л.П. ¹ , Молош Т.В. ² Действия персонала по предупреждению и ликвидации аварий на энергетических объектах (¹ Белорусский национальный технический университет, ² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»)	124
49	Журавков Н.М., Савкова Е.Н., Чжан Ю. Частные и глобальные риски при эксплуатации светотехнических изделий (Белорусский национальный технический университет)	126
50	Кот Т.П., Абметко О.В., Шрубенко Т.П. Оценка условий труда производственного персонала Минской ТЭЦ-4 (Белорусский национальный технический университет)	129
51	Молош Т.В., Корчик С.А. Улучшение условий труда при выполнении работ в овощехранилище (УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»)	132
52	Молош Т.В. ¹ , Филянович Л.П. ² Повышение безопасности труда при выполнении производственных процессов в условиях защищенного грунта (¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», ² Белорусский национальный технический университет)	134
53	Мордик Е.В. 2021 год – Год безопасного труда в энергетике (Белорусский национальный технический университет)	137
54	Журавков Н.М., Вершеня Е.Г. Безопасность труда работников мясоперерабатывающих комплексов (Белорусский национальный технический университет)	139
55	Мордик Е.В. ¹ , Журавков А.Н. ² Использование технологии BIM при проектировании систем пожарной безопасности (¹ Белорусский национальный технический университет, ² ООО «Белпрограммпроект по проектированию систем пожарной сигнализации»)	141
56	Пантелеенко Е.Ф. Сравнительный анализ систем государственного управления в сфере охраны труда в Республике Беларусь и за рубежом (Белорусский национальный технический университет)	143
57	Скворцов А.А. Особенности литейной гидравлики (Белорусский национальный технический университет)	146
58	Астрейко Л.А. Защитные цинксодержащие покрытия: зависимость свойств от декоративности (Белорусский национальный технический университет)	147

59	Ткаченко Г.А. ¹ , Синчук О.В. ¹ , Голдыбан В.В. ² , Ковальчук А.В. ³ Повышение надежности культиваторных лап за счет упрочнения рабочих поверхностей на основе бионического подхода (¹ Белорусский государственный университет, ² РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», ³ Белорусский национальный технический университет)	149
60	Долгий Л.П., Слуцкий А.Г., Касперович И.А. Технологические особенности процессов при вакуумной индукционной плавке (Белорусский национальный технический университет)	152