

Министерство образования
и науки Российской Федерации



СВАРКА РЕНОВАЦИЯ ТРИБОТЕХНИКА

Тезисы докладов
VIII Уральской научно-практической конференции

Рекомендовано Учебно-методическим советом Нижнетагильского технологического института (филиала) УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина в качестве материалов научно-практической конференции для студентов всех направлений и специальностей

Нижний Тагил
2017

ББК Ч21
С24

Ответственные редакторы:
д-р техн. наук, проф. В. А. Коротков
д-р техн. наук, проф. В. Ф. Пегашкин

СВАРКА. РЕНОВАЦИЯ. ТРИБОТЕХНИКА : тезисы докладов VIII Урал. на-
уч.-практ. конф. / отв. ред. В. А. Коротков, В. Ф. Пегашкин; М-во образования и науки
РФ ; ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил.
технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2017. – 133 с.
ISBN 978-5-9544-0076-2

Представлены тезисы докладов научно-практической конференции НТИ (фи-
лиал) УрФУ, затрагивающие актуальные вопросы сварочного производства, вос-
становления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей.

Материалы могут быть полезны специалистам промышленных предприятий и
организаций, студентам и аспирантам, а также использованы при проведении рабо-
ты по профессиональной ориентации.

Материалы опубликованы в авторской редакции.

ББК Ч21

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

<i>Коротков В. А.</i>	
Предисловие.....	6
<i>Пегашкин В. Ф.</i>	
К 95-летию со дня рождения проф. Разикова М. И.	8
<i>Потанин В. В.</i>	
Инженерное образование в условиях Индустрии 4.0.....	10
<i>Ананьев С. П., Мысков А. А., Лебедева Е. А.</i>	
Проблемы инновационного развития и интеллектуальной собственности	13

СВАРКА

<i>Моторин К. В, Короткова Г. М.</i>	
Сварка точками 3-фазной сжатой дугой.....	16
<i>Беляев А. В., Галимов Э. Р.</i>	
Расчетно-экспериментальные методы определения температуры при сварке	20
<i>Анахов С. В., Пыкин Ю. А.</i>	
Новые плазмотроны и их применение для чистовой резки металлов под сварку.....	23
<i>Чудинова Я. Н., Смолина А. С.</i>	
Снижение негативного воздействия на здоровье человека при ремонтно-сварочных работах.....	27
<i>Сидоров В. П., Мельзитдинова А. В.</i>	
Математическое моделирование размеров шва стыковых соединений при аргонодуговой сварке.....	30
<i>Сидоров В. П.</i>	
Расчет площади провара основного металла при сварке плавящимся электродом.....	36
<i>Трух С. Ф., Плаксина Л. Т.</i>	
Аппараты ПАРС для сварки.....	40
<i>Раков Ю. В., Игнатов М. Н.</i>	
Определение оптимального состава сплава в качестве объекта излучения спектра с заданными длинами волн при взаимодействии со сварочной дугой, для ускорения лечения заболеваний.....	44
<i>Карташев М. Ф., Наумов С. В.</i>	
Газы и сера в расплавах сварочных флюсов из петруггического сырья Урала	49

РЕНОВАЦИЯ

<i>Громов С. В.</i>	
Применение реновации на Высокогорском ГОКе.....	55
<i>Михайлов И. Д.</i>	
Восстановление и упрочнение гидравлического оборудования.....	57
<i>Шекуров А. В.</i>	
Восстановление методом ЭИЛ муфты резьбонарезного станка.....	59
<i>Агафонов Э. Ж.</i>	
Ремонтная сварка шлаковозных чаш.....	61
<i>Веснин А. М., Воронин С. В.</i>	
Исследование эффективности футеровки кузовов карьерных автосамосвалов	62
<i>Лошаков С. А., Плаксина Л. Т.</i>	
Заварка дефектов литой станины ротора.....	64
<i>Голенков В. Н.</i>	
Восстановление отверстий в корпусах оборудования.....	67

ТРИБОТЕХНИКА И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<i>Красников М. В.</i>	
Плазменная закалка низкоуглеродистой стали 15Л.....	69
<i>Козлов В. В.</i>	
О промышленном применении лазерной и плазменной закалки.....	71
<i>Пыстогов А. А.</i>	
Плазменная поверхностная закалка и ЭИЛ стали ОХНЗМФА.....	74
<i>Итальяев Р. А., Неулыбин С. Д.</i>	
Исследование технологических вариантов поверхностной закалки стали	
38Х2Н2МА.....	77
<i>Пинаев Д. В., Леушин И. А.</i>	
Практическое применение карбонитрации.....	81
<i>Сильвестров С. А., Гумеров К. М.</i>	
Изменение механических свойств металла труб в водородосодержащих средах	85
<i>Гумеров К. М., Сильвестров С. А.</i>	
Особенности взаимодействия асмола с металлом труб.....	91
<i>Ибатуллин В. И., Максимов В. К.</i>	
Комбинированное упрочнение штамповой оснастки.....	96
<i>Нефедьев С. П., Дема Р. Р.</i>	
Влияние азота на структуру и износостойкость плазменных покрытий.....	98
<i>Еремин Е. Н., Лосев А. С., Бородихин С. А.</i>	
Исследование свойств металла 20Х13, полученного наплавкой в различных	
защитных газовых средах.....	

	105
<i>Коробов Ю. С., Шумяков В. И.</i>	
Упрочнение покрытий, полученных методом активированной дуговой металлизации.....	108
<i>Леонтьев Л. Б., Шапкин Н. П.</i>	
Упрочнение трибомодификацией вермикулитом.....	112
<i>Байнов А. А., Фирстов С. В.</i>	
РВС-ИПИ для безразборного ремонта оборудования.....	116
<i>Ромашев А. Р., Кудинова Т. Н.</i>	
Применение червячных фрез с покрытием.....	120
<i>Королев О. А., Ильиных С. А.</i>	
Автоматизация и модернизация испытательного оборудования для исследования процессов абразивного изнашивания и ударной вязкости	124
<i>Грузман В. М.</i>	
Эрозия песчаных литейных форм.....	127
<i>Пегашкин В. Ф., Медисон В. В.</i>	
Модифицирование поверхности деталей из титановых сплавов.....	129

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

УДК 68-05+621.791.9

ПРЕДИСЛОВИЕ

Коротков В. А.

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, Россия

vk@udgz.ru

Аннотация. В статье дана информация о 8-й Уральской научно-практической конференции «Сварка, реновация, триботехника», которая прошла 2–3 февраля 2017г. в Нижнетагильском филиале УрФУ.

Ключевые слова: конференция, люди науки.

Восьмая Уральская научно-практическая конференция «Сварка. Реновация. Триботехника – 2017» была организована Нижнетагильским филиалом УрФУ, АО «НПК «Уралвагонзавод», ООО «Композит» и проходила 2–3 февраля 2017г. Она так же была приурочена к круглой дате – 95-летию со дня рождения проф. Уральского политехнического института Разикова Михаила Ивановича. Его новаторский вклад в техническую науку в том, что одновременно с западом, где учредили новую дисциплину «Трибология», им на Урале в 60-е годы была открыта «Отраслевая лаборатория наплавки», в которой трибологические проблемы износостойкости решались параллельно с восстановлением изношенных деталей, что делало внедрение разработок особенно эффективным.



Группа участников конференции СРТ-2017 при посещении производственных участков плазменной закалки, наплавки, карбонитрации

В конференции участвовало более 80 специалистов из городов Свердловской области, а также Москвы, Уфы, Перми, Тюмени, Омска, Челябинска, Магнитогорска. Среди них заместители директоров, главные механики, доктора и кандидаты наук, что сделало конференцию представительной как по географическому, так и по квалификационному признаку. В первый день участники заслушали мультимедийный доклад о Нижнетагильских заводах XVIII века, посетили музей бронетанковой техники, производственные участки поверхностного упрочнения деталей в ООО «Композит» и ЗАО «Машпром»; во второй день было заслушано более 30 докладов.

Настоящая конференция имеет второе название – «Омолаживающие ремонты». Принято считать, что отремонтированное оборудование уступает новому. Напротив, ремонт позволяет увидеть недостатки, заложенные конструкторами и производителями, устранение которых делает отремонтированное оборудование лучше нового. Именно эта тема была одной из основных на прошедшей конференции.

Президент В. В. Путин настойчиво призывает к обеспечению роста производительности труда, для достижения которого не редко прибегают к сокращению персонала без технического сопровождения, одновременно увеличивая эксплуатацию рабочей силы. Омолаживающие ремонты уменьшают простои оборудования, что увеличивает его выработку и дает рост производительности труда, не усиливая эксплуатацию трудящихся. Вероятно поэтому, многие предприятия направили на конференцию не только докладчиков, но и слушателей для повышения квалификации.

К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФ. М. И. РАЗИКОВА

Пегашкин В. Ф.

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, Россия

v.f.pegashkin@urfu.ru

Аннотация. *Статья посвящена основателю научного направления по восстановлению и упрочнению быстроизнашивающихся деталей и инструмента на Урале.*

Ключевые слова: *люди науки, наплавка.*

Профессор кафедры сварки Уральского политехнического института д.т.н. Разиков Михаил Иванович жил и работал в то время, когда осознали, что причиной большей части (80 %) отказов машин является износ. В связи с этим в Англии учредили новую дисциплину – трибологию, профессор же М. И. Разиков создал «Отраслевую лабораторию наплавки» на Урале. Основное внимание в ней уделялось подбору наплавочных материалов в соответствии с условиями изнашивания. Это позволяет считать проф. Разикова не только ученым в области сварки, но и в области трибологии. В исследованиях широко использовались, появившиеся тогда принципиально новые материалы: аустенитно-нестабильные, дисперсионно-твердеющие, мартенситно-стареющие. Это дало существенный рост сроков службы ответственных деталей и инструмента, а также стало основой для защиты более 20 диссертаций.

В развитие исследований проф. Разикова его бывший аспирант – доцент И. А. Толстов – в 70-х годах организовал исследования в Нижнетагильском филиале УПИ. Выработанные решения по упрочнению бурильных труб и импортных прокатных валков были отмечены медалью ВДНХ и Госпремией СССР. Новаторским стало применение плазменной дуги для поверхностной закалки. Это направление в Нижнем Тагиле получило особое развитие. Важным результатом стала разработка ручной закалочной установки УДГЗ-200, которая прошла сертификацию и более 10 лет остается единственной в своем роде на рынке термического оборудования в РФ и ближнем зарубежье.

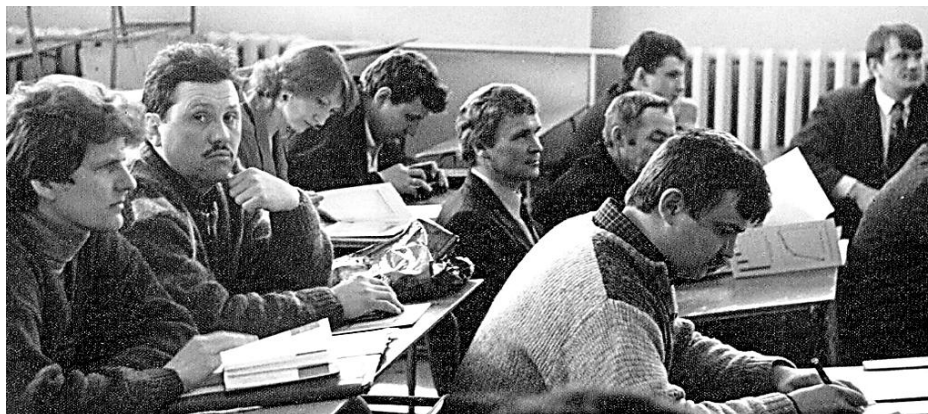
Согласно правилу проф. Разикова, разработка должна внедряться в производство, в 1990 г. в Нижнетагильском филиале УПИ была создана хозрасчетная Лаборатория наплавки, которая в 90-х развилась в самостоятельное предприятие ООО «Композит». Дело профессора Разикова сегодня



Профессор
М. И. Разиков
1922–1975 гг.

продолжают ЗАО «Завод сварочных материалов», г. Березовский, ООО «НПП ТСП», г. Екатеринбург.

Успехи в Нижнетагильских исследованиях побудили к проведению в 80–90-х гг. научно-практических семинаров инженеров-механиков, которые затем переросли в конференции «Сварка, реновация, триботехника», прошедшие в 2001, 2004, 2007, 2009, 2011, 2013 и 2015 годах [1, 2].



На семинаре механиков в 1996 г.



На конференции «Сварка. Реновация. Триботехника» в 2015 г.

Литература

1. Коротков В. А. Уральская конференция «Сварка-Реновация-Триботехника» // Сварочное производство. 2007. № 5. С. 51–52.
2. Коротков В. А. На 7-й Уральской научно-практической конференции «Сварка. Реновация. Триботехника» // Ремонт, восстановление, модернизация. 2015. № 6. С. 39–40.

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0

Потанин В. В.

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, Россия

v.v.potandin@urfu.ru

***Аннотация.** Рассмотрены этапы эволюции высшего образования в зависимости от модернизации и развития промышленности. Ставится задача по системному инжинирингу, имеющему сетевую форму реализации, мульти- и междисциплинарный подход, возможность постоянного обновления и перенастройки.*

***Ключевые слова:** высшее образование, индустриализация.*

С точки зрения Индустрии 4.0, первой промышленной революцией была механизация производства с использованием воды и мощности пара. За ней последовала вторая промышленная революция, когда в массовое производство поступила электроэнергия, а затем и цифровая, которая началась с использования электроники и информационных технологий для дальнейшей автоматизации производства. И четвертая революция, когда произошло внедрение киберфизических систем и персонализированного производства.

Американский Институт стандартов и технологий (NIST) определяет киберфизические системы как «умные, охватывающие вычислительные (т. е. аппаратное и программное обеспечение) и эффективно интегрируемые физические компоненты, которые тесно взаимодействуют между собой, чтобы чувствовать изменения состояния реального мира» [1]. В качестве примеров киберфизических систем NIST приводит: роботов, интеллектуальные здания, медицинские имплантаты, самоуправляемые автомобили и беспилотные самолеты.

Профессор Вольфганг Вальстер, один из ведущих в мире экспертов в области искусственного интеллекта, раскрывает некоторые представления о производственных процессах будущего. В мире «Индустрия 4.0» машины будут способны понимать свое окружение и общаться между собой по Интернет-протоколу. Предполагается, что первые предприятия новой промышленной революции начнут функционировать уже через пять лет.

Институт будущего (The Institute for the Future – IFTF) в совместной работе с научно-исследовательским институтом Феникса (The Phoenix Research Institute) опубликовал статью «Навыки Будущего» (Future Work Skills) [2], рассказывающую о требуемых способностях, которые будут необходимы для того, чтобы получить престижную работу в 2020 году.

Существует шесть ключевых факторов, изменяющих перспективу получения работы:

- чрезвычайное долголетие;

- улучшение интеллектуальных машин и систем;
- мир вычислений;
- новые средства массовой информации;
- суперструктурированные организации;
- глобально связанный мир.

Всеобщая вовлеченность, умные машины и инновационные средства массовой информации – это лишь некоторая часть направлений, которые изменят наше мышление о работе, а именно о том, что представляет собой работа будущего и какие навыки нам потребуются, чтобы стать востребованной персоной в 2020 году.

Новая индустрия требует нового качества кадрового обеспечения. Современные инженеры должны быть готовы к работе в условиях возрастающей сложности технологических процессов и оборудования, быстро меняющихся требований к конкурентоспособной продукции, необходимости постоянного повышения эффективности производства.

Не исчезает и важность подготовки и переподготовки технически-грамотных специалистов для существующих высокотехнологичных производств и инфраструктурных объектов, показателем эффективности их работы является рост производительности труда.

Идея создания системы непрерывного технического образования, включающей уровни общего, среднего профессионального, высшего и дополнительного профессионального образования, положенная в основу программы возрождения и развития НТИ, задает содержание и технологии обучения программ совершенствования профессионального мастерства инженерно-технических кадров.

Как показывает лучший отечественный и зарубежный опыт, успешным направлением подготовки умеющих самостоятельно мыслить, генерировать конструктивные идеи, принимать решения и добиваться их исполнения технических специалистов является практико-ориентированное обучение, основанное на регулярном выполнении обучающимися технических проектов нарастающей сложности.

Обучаясь в этой идеологии, слушатели приобретают необходимый на производстве опыт командной работы, практику представления и защиты собственных идей, ответственности за принятые решения.

Удовлетворение текущих потребностей промышленных предприятий в квалифицированных, подготовленных «под заказ» специалистах не снимает проблему подготовки специалистов на будущее, «на вырост» нашей промышленности. Необходимо формировать компетенции системной инженерии, которую отличает целостный подход к восприятию инженерных про-

блем, способностей к командной работе в формируемых под заказ развивающихся прорывных технологических направлениях инжиниринговых команд. Должна решаться задача подготовки технической элиты, специалистов мирового уровня, в том числе способных управлять крупными техническими проектами.

Такой подход может быть реализован в модульных программах по системному инжинирингу, имеющих сетевую форму их реализации с привлечением потенциала ряда ведущих, в том числе и зарубежных университетов и R&D-центров. Отличительными особенностями программ является выраженный мульти- и междисциплинарный подход, возможность их постоянного обновления и перенастройки.

Литература

1. Spimes, кибер-физические системы и Промышленность 4.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.centric.eu/NL/Default/Innovatie/Blogs.aspx/2013/06/27/Spimes-Cyber-Physical-Systems-and-Industrie-40-%5B1%5D>, свободный.

2. Навыки будущего: какие способности будут требоваться при поиске работы в 2020 году? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://yvek.ru/%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5/%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D1%8B%D0%BA%D0%B8-%D0%B1%D1%83%D0%B4%D1%83%D1%89%D0%B5%D0%B3%D0%BE-%D1%87%D1%82%D0%BE-%D0%BD%D1%83%D0%B6%D0%BD%D0%BE-%D1%83%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%8C/>, свободный.

ПРОБЛЕМЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Ананьев С. П., Мысков А. А., Лебедева Е. А.

АО «НПК «Уралвагонзавод», г. Нижний Тагил, Россия

asp-nt@bk.ru

Аннотация. *Статья посвящена проблемам использования нематериальных, интеллектуальных ресурсов, включающих знания и опыт применения интеллектуальных продуктов.*

Ключевые слова: *инновации, интеллектуальная собственность*

Условия развития АО НПК «Уралвагонзавод» на современном этапе определяются способностью находить и наращивать стратегические и конкурентные преимущества. Одним из конкурентных преимуществ предприятия на сегодняшний день является интеллектуальный потенциал. Каждый работник АО НПК «Уралвагонзавод», в свою очередь, является неотъемлемой частью интеллектуального потенциала. Систематичность действий администрации предприятия по развитию творческого потенциала работников, формирование новых подходов к решению технических, экономических и социальных задач призвано создавать необходимые условия и возможности приобретения организацией стратегических конкурентных преимуществ, как в настоящем, так и в будущем. Ключевую роль в этом направлении играет эффективность проведения инновационной деятельности, которая, напрямую зависит от степени развития интеллектуального потенциала наших сотрудников. Целью управления данным процессом является формирование эффективной системы, соединяющей знания, умения, опыт сотрудников предприятия с их способностью к выявлению причинно-следственных связей и умением взаимодействовать в процессе анализа и синтеза при выработке решений, обеспечивающих организации достижение стратегических и конкурентных преимуществ.

Как известно, в деятельности коммерческих организаций благоприятные периоды сменяются стагнацией, и в независимости от того, какой наступает период, Общество все время находится в поступательном движении, что обеспечивается за счет того же интеллектуального потенциала организации: его своевременное и правильное использование является одной из форм адаптации к постоянно меняющимся условиям рынка.

Уралвагозавод, как и другие ведущие предприятия Российской Федерации, одним из приоритетных направлений своего развития считает непре-

рывное освоение новых технологий, постоянное поддержание на высоком уровне доли интеллектуального капитала в суммарном показателе капитализации, таким образом, ещё раз доказывая, что персонал предприятия является одним из главных факторов увеличения прибыли Корпорации.

Успех стратегии развития предприятия во многом определяется наличием серьезной базы, которой в сегодняшних условиях динамично развивающегося рынка, может выступать интеллектуальный потенциал Уралвагонзавода как корпорации.

Уралвагонзавод активно коммерциализирует результаты своей интеллектуальной деятельности. Кризис внёс коррективы в нашу работу, но в 2016 году произошли положительные изменения; по сравнению с 2015 годом увеличилось число заключенных договоров по трансферу технической документации, в результате чего соответственно в 2 раза возросла выручка.

Необходимо учитывать, что требования к качеству, к особенности технологии производства таковы, что в большинстве подразделений могут работать только специалисты, подготовленные и обученные на предприятии. В связи с таким положением дел особую значимость приобретают внутрипроизводственная система подготовки персонала. Необходимо обучать инженерно-технических работников основам патентного дела, развивать у работников инициативу, любознательность, так как именно эти качества смогут обеспечить успех в работе исследователя.

При этом необходима подготовка тех, кто в наибольшей степени способен выдвигать новые идеи и работать в новых условиях, так как для работника наукоемкого производства необходимы не просто знания в области фундаментальной или прикладной науки, знания должны обладать определенными характеристиками качества, которыми являются: объем, глубина, прочность, осмысленность, актуальность, профессиональная направленность. Что же касается умений и навыков, то они должны характеризоваться актуальностью, прочностью, возможностью совершенствования. Таким образом, управление технологиями и инновациями является социальным процессом, поэтому развитие интеллектуального потенциала должно опираться на развитие личности каждого отдельного работника.

Это обусловлено следующим:

- ✓ Любое нововведение уникально и является результатом индивидуального творческого труда.
- ✓ Требования потребителя к качеству новой продукции настолько высоки, что их коммерциализация требует разнообразных знаний.

- ✓ Научно-исследовательский персонал выступает, как генератор идей, является исходным импульсом появления инноваций.
- ✓ Творческие способности работников нуждаются в стимулировании и развитии.

Стоит обратить внимание, что нематериальные стимулы для развития и накопления интеллектуального потенциала сотрудников коммерческой организации имеют особое значение, так как именно они оказывают особое влияние на результативность творческого развития личности сотрудника.

Деятельность ВОИС и ВОИР больше направлена на защиту интересов авторов, соответственно с их стороны вопросы коммерциализации и остаются нереализованными. Таким образом, трансфер и коммерциализации технологий ложатся на плечи разработчиков или правообладателей.

При этом новый технологический уклад предусматривающий внедрение западных lean-технологий: бережливое производство и др. приводит к тому, что мы начинаем уходить от таких традиционных понятий как научная организация труда и рационализаторство. Такое положение дел не дает эффектов, а только усиливает стагнацию в развитии творческих инициатив.

Активизация творческого потенциала требует комплексной работы предприятия в целом, для обеспечения особой среды, способствующей развитию инновационных технологий и ввода их на рынок посредством коммерциализации при непосредственной заинтересованности руководства.

Для выработки по принципу разумной достаточности в рамках предприятий необходимо проводить различные конференции и семинары в области инновационного и интеллектуального развития, выявление проблем в данных областях и соответственно совместный поиск решения этих проблем путем ведения дискуссий и обмена информацией участников. Частое проведение таких мероприятий будет положительно сказываться на активизации творческого потенциала, будет вносить положительную тенденцию в области инноваций и интеллектуальной собственности, как для участников, так и для предприятий в целом.

Уралвагонзавод как флагман транспортного машиностроения придерживается данного направления и именно поэтому одной из значимых инициатив является поддержание организацией ежегодной конференции по интеллектуальной собственности. Состоявшаяся в 2016 году третья ежегодная конференция «Изобретатели и рационализаторы: традиции УВЗ и перспективы» на тему «Вектор развития интеллектуального потенциала в тандеме: Работник – предприятие» собрала значительное количество специалистов из различных регионов РФ. В ходе проведения данной конференции было озвучено большое количество вопросов, в том числе одним из важнейших вопросов был именно вопрос «стимулирования к творчеству», впоследствии вызвавший многочисленные дебаты на конференции.

СВАРКА

УДК 621.791.75

СВАРКА ТОЧКАМИ 3-ФАЗНОЙ СЖАТОЙ ДУГОЙ

Моторин К. В., Короткова Г. М.

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия

Motorin_K.V.@tltsu.ru

Аннотация. Предложена сварка точками 3-фазной сжатой дугой нахлесточных соединений из сплавов алюминия во всех пространственных положениях.

Ключевые слова: сварка точками, 3-фазная сжатая дуга, нахлесточное соединение, сварка в нижнем, вертикальном, потолочном положении, Al сплавы

Широкое применение алюминиевых сплавов в машиностроении предполагает совершенствование технологических процессов сварки. В настоящее время освоен выпуск железнодорожных вагонов из алюминиевых сплавов, где применяется технология сварки точками в различных пространственных положениях.

В промышленности используются различные способы сварки точками: контактная сварка, сварка однофазной и трехфазной свободной и сжатой дугами. Известны работы, в которых приведены исследования для однофазной и трехфазной сжатой дуги [1, 2, 3].

Использование для сварки нахлесточных соединений дуги переменного тока позволяет решить проблему распыления оксидной пленки с поверхности дальнего элемента за счет расплавления и временного раскрытия верхнего элемента. После слияния расплавов ближнего и дальнего элементов образуется сварная точка.

Проведенные исследования по сварке точками однофазной сжатой дугой переменного тока на современных конструкциях плазмотронов, показали, что качественные точки удается получить в нижнем положении для толщин 2+2мм, 2+3мм, 2+6мм из сплавов алюминия [4, 5, 7].

В вертикальном и потолочном положении, когда силы поверхностного натяжения расплавленного металла становятся меньше сил тяжести расплавленного металла, который стекая, не позволяет формировать сварное соединение. Однофазная сжатая дуга, при использовании конструкции плазмотрона ГСД-1М (РПКО «Электромеханика») с отдельной подачей плазмообразующего и защитного газов, горит стабильно при расходе плазмообразующего газа 7-8 л/мин, защитного газа - 18-20л/мин. Изменение расхода газов в сторону уменьшения или увеличения приводит к нарушению процесса сварки. В вертикальном и потолочном положениях качественное соединение

получить не удалось. Применение 3-фазной сжатой дуги для сварки точками сдерживалось отсутствием специальных конструкций плазмотронов. Цель проводимых исследований – расширить область применения 3-фазной сжатой дуги.

Исследования по сварке 3-фазной сжатой дугой нахлесточных соединений точками толщиной 2+2мм, 2+3мм, 2+6мм проведены на образцах размером 140×40 мм.

Сварка производится в нижнем, вертикальном и потолочном положениях.

Способ сварки – РДС 3-фазной дугой неплавящимися электродами в защитной среде Ar.

В качестве инструмента используется плазмотрон специальной конструкции. На рис.1 приведен внешний вид специального плазмотрона для ручной сварки сжатой 3-х фазной дугой неплавящимися электродами в защитной среде. Расстояние между электродами (рис.2а) $a = 2\text{мм}$, диаметр электрода $d_w = 4\text{мм}$, длина дугового промежутка $l_s = 2\text{мм}$, диаметр сопла $D_c = 4\text{мм}$.

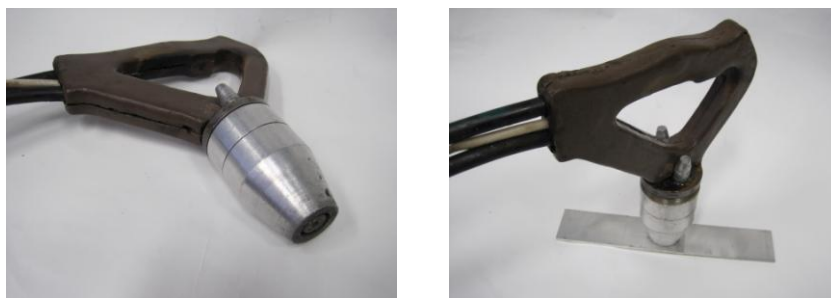


Рис.1. Плазмотрон для ручной сварки 3-х фазной сжатой дугой

Источник питания 3-фазной сжатой дуги УДГТ- 150 У2 работает при несимметричной схеме включения обмоток трансформатора, что позволяет создать ток в изделии $I_c = 1,73 \times I_a$ (рис.2а, б) [3, 5, 6].

При сварке контролируются следующие параметры процесса: $I_A, I_B, I_C, U_{AB}, U_{BC}, U_{AC}, Q_{Ar}$; перед сваркой устанавливаются параметры: a, D_c, l_s . Для контроля электрических параметров используются приборы и регистраторы: амперметры, вольтметры цифровые; регистратор S-Recorder-2-16bit фирмы ADClab с датчиком тока ДИТ-500-Н и напряжения ДНХ-01. Расход защитного газа контролируется – ротаметром EN FLOW 1.3-30 «Linde».

Специально для ручной сварки 3-фазной дугой произведена доработка плазмотрона. В конструкцию введено опорное сопло, которое крепится

на корпусе плазмотрона резьбовым соединением, позволяющим регулировать расстояние между рабочим соплом плазмотрона и изделием. На боковой поверхности опорного сопла выполнено два отверстия диаметром 10 мм для выхода избыточного давления из зоны сварки и возможности наблюдения за процессом плавления.

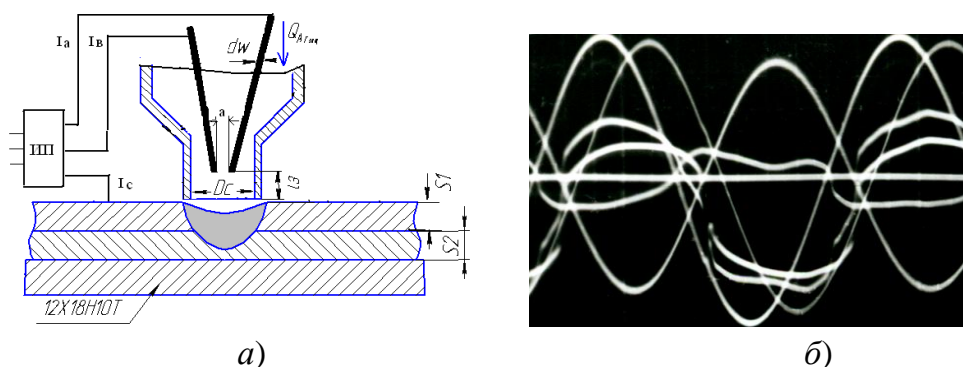


Рис.2. Схема плазмотрона для сварки сжатой дугой (а) и зависимости $i_d(t)$, $u_d(t)$ (б)

Проведенные исследования по сварке точками трехфазной сжатой дугой, показали, что качественные точки удается получить во всех пространственных положениях (рис.3).

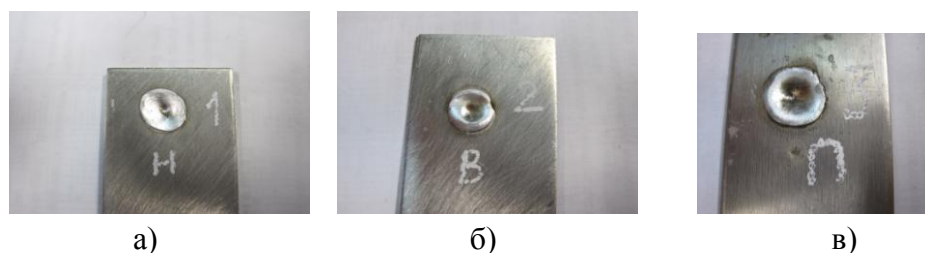


Рис.3. Внешний вид сварной точки в различных пространственных положениях:
а) нижнее, б) вертикальное, в) потолочное положение

Регулируя величину тока в электродах и время сварки, удастся обеспечить полное проплавление двух пластин или на $2/3$ толщины нижней пластины. Следует отметить, что расход плазмообразующего газа составляет 1-2 л/мин, что значительно меньше, чем при сварке однофазной сжатой дугой. В конструкции плазмотрона для сварки трехфазной сжатой дугой плазмообразующий и защитный газ подаются через один канал [4, 5]. Ориентировочные режимы при ручной сварке 3-фазной сжатой дугой приведены в табл. 1.

Режим сварки 3-фазной сжатой дугой

S_1+S_2 , мм	$I_A=I_B$, А	I_C , А	$U_{AC}=U_{BC}$, В	U_{AB} , В	Q_{Ag} , л/мин	$D_c=d$ мм	l_3 , мм	a , мм
2+2	80	130	19	7	1-2	4	2	2

Сварные точки получены на одном режиме для всех трех положений. Эксперименты показывают, что внешний вид и размеры точек не зависят при ручной сварке сжатой 3-фазной дугой от положения в пространстве. Минимальный диаметр сварной точки нахлесточного соединения на верхнем листе составляет 11,4мм для сплава АМг-6 толщиной 2+2мм. Усадочная раковина при сварке 3-фазной сжатой по глубине в 1,5 раза меньше, чем при сварке сжатой однофазной дугой.

Выводы:

1. Усовершенствована конструкция плазмотрона для ручной сварки 3-фазной сжатой дугой.
2. Определены параметры режима ручной сварки точками 3-фазной сжатой дугой во всех пространственных положениях из сплава АМг-6.
3. Установлено, что точечное соединение во всех пространственных положениях при ручной сварке 3-фазной сжатой дугой удается получить на одном режиме.
4. Выявлено, что глубина усадочной раковины при сварке точек 3-фазной сжатой дугой меньше, чем при сварке однофазной дугой.

Литература

1. Вайнбом, Д. И. Автоматическая дуговая точечная сварка. – Л. : Машиностроение, 1966.- 200с.
2. Лозовский В. П., Дуговая точечная сварка тонколистовых конструкций из алюминиевых сплавов // Лозовский В.П., Тимошенко А.Н. Актуальные проблемы сварки цветных металлов. Докл. II Всесоюз. конф. - Киев: Наук. Думка, 1985. – с. 109-112.
3. Михайлов Г. П. Сварка трехфазной дугой. – М. ; Свердловск : Машгиз, 1956.- 240 с.
4. Сидоров В. П. Научные основы проектирования технологических процессов и оборудования для обработки алюминиевых сплавов трехфазной сжатой дугой. [Текст]: дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. - Тольятти, 1999. – 399 с.

5. Сидоров В.П., Короткова Г.М., Моторин К.В. и др. Точечная плазменная сварка алюминиевых сплавов // Сварочное производство. – 2012.- № 6.- С. 26-29.
6. Короткова Г.М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография. - Тольятти : ТГУ, 2009. - 335 с.
7. Сидоров В. П., Троицкий В. А. Влияние давления неподвижной дуги на формирование прожога [Текст] // Материалы докл. 24 начн.-техн. конф. сварщиков Урала и Сибири «Сварка и контроль». – Челябинск, 2005. – С. 156.

УДК 621.791

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ СВАРКЕ

Беляев А. В., Галимов Э. Р.

ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия

alexey-beljaev@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены методы определения температуры при сварке и возможность применения для этого аппаратных средств типа «Arduino».

Ключевые слова: сварка, температура, средства, измерение.

К основным процессам, которые происходят при сварке, можно отнести протекание электрического тока, перенос металла при дуговых способах сварки, металлургические, а также тепловые процессы при сварке. При исследованиях тепловых процессов используются уравнения и формулы, основанные на общем уравнении теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = a \nabla^2 T,$$

где $\nabla^2 T$ – оператор Лапласа; $a = \lambda/c\rho$ – коэффициент температуропроводности.

В расчетах тепловых процессов, известных по работам Фролова В.В., Петрова Г.Л., Багрянского К.В., Неровного В.М. и др., весьма эффективно применение ПЭВМ в задачах оптимизации параметров режима сварки. Наиболее точные расчеты выполняются с учетом зависимости теплофизических характеристик металла от температуры [1,3]. В современных расчетных комплексах (ANSYS, SYSWELD, Mathcad и др.) моделирование выполняется с применением с применением трехмерной графики, метода конечных элемен-

тов и разностей. Анализ распределения температуры в различные моменты времени при сварке позволяет прогнозировать изменение структуры металла сварного соединения, выбрать оптимальные параметры режима, назначить, при необходимости, термическую обработку для улучшения служебных свойств. Наряду с расчетными, используются экспериментальные методы, которые могут быть успешно применены для измерения температуры [2]. Однако, правильным следует считать подход, при котором используются оба метода, в зависимости от постановки тепловой задачи.

Применение пирометров актуально в отсутствии механического контакта с поверхностью. Также они удобны как датчики обратной связи при слежении за зоной сварки и ванной расплавленного металла. Регистрация измеренных температур при использовании термопар (таблица) обычно осуществляется путем преобразования сигнала с последующей обработкой на ПЭВМ. Термо-ЭДС термопар могут быть преобразованы аналого-цифровыми преобразователями (АЦП), в том числе многоканальными. Отметим, что в комплексе современные термопары и АЦП высокого разрешения обеспечивают прецизионное измерение температуры при сварке. В настоящее время при измерении термопарами достигается точность $\pm 0,1$ °С в широком диапазоне температур от -270 до $+1750$ °С.

Таблица

Свойства материалов, применяемых для изготовления термопар

Материал	Термо-ЭДС, мкВ/К	Мах температура, К	Плавление, К
Алюмель	$-(10,1 \dots 13,8)$	1300/1550	1723
Копель	$-40,0$	900/1100	1523
Платинородий	$+6,4$	1600/1900	н.д.
Хромель	$+(27,1 \dots 31,3)$	1300/1550	1723

Все большую популярность для обработки аналогового сигнала, полученного с различных датчиков температуры (рис. 1), находят платформы типа «Arduino» (рис. 2). Максимальная частота дискретизации подобных устройств составляет 10 кГц, что вполне достаточно при количественной оценке изменения температуры для большинства способов сварки. Функция «analogRead» может быть использована для 6 каналов у большинства плат «Arduino». Для записи значений температуры используется монитор порта. При автономной работе может быть задействована функция сохранения данных на карту памяти формата MicroSD, которые впоследствии обрабатываются в программе MS Excel и др. В этом случае экспериментальные данные представляют собой таблицу с номером (временем) опроса и значением температуры.

Для измерения температуры окружающей среды применяются аналоговые линейные датчики, стационарные инфракрасные датчики, калибруемые измерительные преобразователи температуры со степенью защиты IP54. Здесь также возможно использование различной периферии через проводной и беспроводной Ethernet, Wi-Fi, GSM, например, для удаленного мониторинга температуры; графические индикаторы и ЖК-модули, и др.

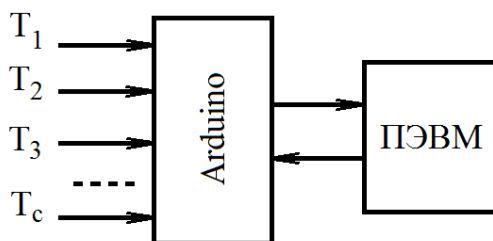


Рис. 1. Схема измерения температуры:

T_1, T_2, T_3 – входные сигналы с термопар, T_c – температура окружающей среды

В качестве программы для взаимодействия платы «Arduino» и персонального компьютера используется программная оболочка (IDE) на Java, которая содержит текстовый редактор, менеджер проектов, препроцессор, компилятор и инструменты загрузки программы в микроконтроллер.

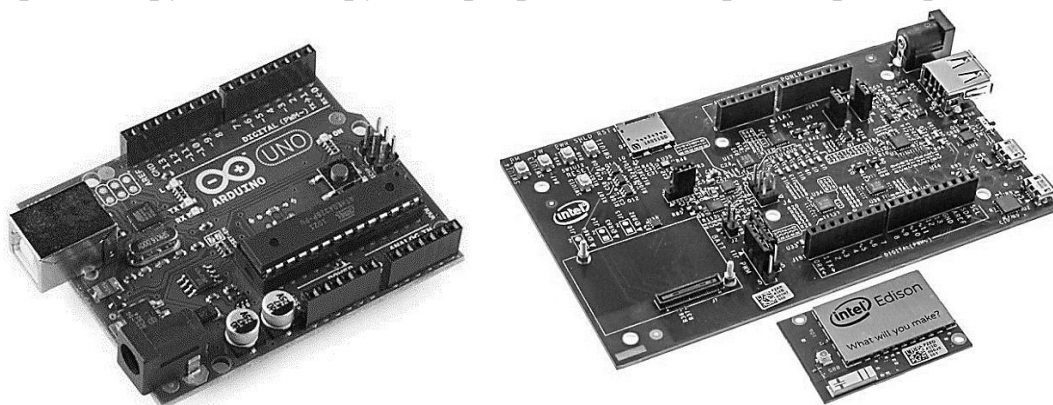


Рис. 2. Внешний вид аппаратного средства «Arduino» и «Arduino»-совместимой платы от «Intel» (слева направо).

Для измерения температуры в промышленном производстве [4] могут быть использованы цифровые, высокоточные и компактные измерители температуры, в том числе и взрывозащищенные [5], поддерживающие различные протоколы передачи данных.

Вывод. При решении тепловых задач различной сложности широко используются уравнения и формулы. Для подтверждения полученных данных используются экспериментальные методы, среди которых как простые и быстрые, так и сложные системы, построенные на основе многоразрядных АЦП и специализированных компьютеров. Проведение экспериментальных иссле-

дований для определения температуры при сварке возможно с применением программно-аппаратных средств типа «Arduino».

Литература

1. Теория сварочных процессов : учеб. для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва» / под ред. В.В. Фролова. – М. : Высш. шк., 1988. – 559 с.
2. Shveyov A.I., Shafigullin L.N., Ganiev M.M., Shveyov I.A., Galimov E.R., Belyaev A.V. and Syrotkina L.V. Temperature Change Calculation at Welding Products. World Applied Sciences Journal 30 (10): 1438-1441, 2014.
3. Теория сварочных процессов : учебник для вузов / под ред. В.М. Неровного. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
4. Способ измерения температуры : патент на изобретение № 2389985 / Пасечник Н.В., Сивак Б.А., Новицкий А.Ф., Крюков Г.М., Маслов В.Н. - Опубл. 30.04.2009.
5. Измерение температуры в шве при сварке металлов взрывом под действием ультразвука / Пай В.В., Гулевич М.А., Яковлев И.В., Кузьмин С.В., Пеев А.П., Лысак В.И., Кузьмин Е.В., Дородников А.Н. // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2016. - № 10 (189). - С. 5-10.

УДК 620.18:621.791,533, 534

НОВЫЕ ПЛАЗМОТРОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ЧИСТОВОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ ПОД СВАРКУ

Анахов С. В.¹, Пыкин Ю. А.²

¹РГППУ, ²УГЛТУ, Екатеринбург, Россия

sergej.anahov@rsvpu.ru, yappoligon@mail.ru

Аннотация. Показана эффективность новых, разработанных авторами плазмотронов, для чистовой резки металлов при производстве сварных соединений.

Ключевые слова: плазмотрон, акустическая безопасность, чистовая резка.

Существующие регламенты по производству сварных работ на трубопроводном транспорте, машиностроительных и металлургических производствах, как правило, заставляют производителей прибегать к механической обработке свариваемых кромок. Это делает процесс получения сварных соединений более длительным и менее экономичным. Отдельные случаи отказа от подобных операций, как правило, основаны на частной инициативе и не подкреплены научным обоснованием. Проведенные в 70...80-е годы XX века исследования плазменной резки требуют корректировки с учетом новых плазмотронов, позволяющих минимизировать размер зоны термического влияния.

Качество и эффективность работы производимых в России плазматронов для резки стали уступать показателям, достигаемым зарубежными производителями. При одинаковых электрических мощностях и газовых расходах стойкость сопловых узлов на 10-15% хуже аналогичных показателей импортных плазматронов. Уступают отечественные плазматроны и по показателям скорости, производительности, энергопотребления и качества реза. Второстепенное внимание уделяется и безопасности работы, из-за чего уровень звуковой мощности большинства плазматронов для резки превышает нормируемые значения на 15-30 дБ. В результате рынок плазморезательного и вспомогательного оборудования в России на 90% заполнен продукцией импортного производства, а вводимые в последние годы новые машиностроительные и металлургические производства используют только зарубежные плазменные технологии.

В рамках решения задачи импортозамещения авторами были разработаны новые плазматроны для высокоточной резки металлов, включая чистовую (финишную) резку под сварку. В основу проектирования были положены методы, сформулированные авторами в процессе исследования влияния газодинамических характеристик плазмообразующего газа и конструктивных особенностей газоздушного тракта плазматрона на эффективность и безопасность его работы. Анализ был проведен путем моделирования течения газа по каналам в среде SolidWorks в приложении Flow simulation с учетом геометрии модели и параметров газового потока, скорректированных в процессе дополнительного численного анализа газодинамических потерь в зависимости от профиля газового тракта плазматрона. Проблема акустической безопасности исследовалась экспериментально методом резонансных частот турбулентных пульсаций газового потока в тракте плазматрона и обусловленной ими интенсивности шумоизлучения. Для оценки надежности исследуемых конструкций применялись методы теплофизического анализа, основанные на расчете баланса энергии.

В результате проведенного на базе ООО НПО «Полигон» и ООО «ТЕРУС» проектирования было предложено несколько конструкций режущих плазматронов. В плазматроне ПМВР-2М, основанном на однопоточной системе подачи плазмообразующего газа, была применена новая запатентованная схема стабилизации [1], использующая систему газодинамических фильтров. Она позволило увеличить коэффициент равномерности распределения скоростей газового потока по его сечению, улучшив производительность и качество резки. В плазматронах ПМВР-5 была применена технология узко струйной плазмы, аналогичная технологии

«сжатой» или «точной» плазмы западных производителей. В них предусмотрено два потока: главный (плазмообразующий) и вспомогательный (стабилизирующий) для обжигания плазмообразующего газа потоком тангенциально закрученного вторичного газа на выходе из сопла плазмотрона. Вспомогательный поток может выполнять и защитную функцию в случае подачи через него защитного газа, а также экранировать шум основной плазменной струи.

Проверке были подвергнуты плазмотрон ПМВР-2М и 2 модели узко струйного плазмотрона – ПМВР-5.2 и ПМВР-5.3 (рис.1). Сравнение проводилось с плазмотронами Kjellberg PV-S-45W (Германия) и ПМВР-М (Россия). Для чистовой резки под сварку была выбрана сталь 09Г2С толщиной 10 мм – один из основных материалов в производстве трубного проката. В лаборатории микромеханики ИМАШ УрО РАН были исследованы образцы, полученные после плазменной резки при разных углах наклона плазмотрона.

Установлено, что применение узко струйного плазмотрона для резки металла толщиной 10 мм происходит при существенно меньшем энергопотреблении (12,5 кВт против 15÷20 кВт), а также со значительно более высокой скоростью резки (1,1 против 0,54 м/мин), чем при резке с использованием традиционных плазмотронов с однопоточной схемой подачи газа.



Рис.1.Новые металлорежущие плазмотроны.

Замеры твердости показали, что небольшое отклонение от требований СТО Газпром 2-2.4-083 ($HV \leq 300$ для ЗТВ) наблюдается лишь в слое менее 150 мкм, который при последующей сварке полностью переплавляется. Это позволяет операцию по механическому удалению металла с кромок не производить.

Исследования микроструктуры показали существенное снижении толщины зоны перегрева в сравнении с плазмотронами ПМВР-М с однопоточной подачей газа. Микроструктурный анализ позволил также предсказать достаточно высокие прочностные свойства, особенно ударной вязкости и трещиностойкости, которые могут быть достигнуты на швах, полученных после разделки новыми плазмотронами ПМВР-5.3 и ПМВР-2М. Данные выводы были подтверждены результатами сравнительных исследований свар-

ных швов, полученных после разделки под сварку листов из стали 09Г2С с применением плазмотронов различных модификаций без удаления зон термического влияния (ЗТВ), проведенных в лабораториях ИМАШ УрО РАН и ЦЗЛ Уралмашзавода. Было показано соответствие всех исследованных сварных швов по показателям ударной вязкости и статического изгиба нормативным требованиям на низколегированную сталь по ГОСТ 19282-73 и ПБ 03-576-03. Результаты измерений других характеристик (временного сопротивления разрыву σ_B и места разрушения образца, пределов текучести $\sigma_{ТВ}$, $\sigma_{ТН}$ и σ_{02} , относительного удлинения δ_5) также показали, что механические свойства сварных соединений, полученных после подготовки кромок под сварку новыми плазмотронами, не уступают свойствам листовой стали 09Г2С и сопоставимы с высокими прочностными и пластическими показателями, достигаемыми после механической резки стали. Указанные преимущества наблюдаются не только по сравнению с резкой традиционными отечественными плазмотронами и механической разделкой, но и по сравнению с исследованным плазмотроном Kjellberg PB-S-45W, что свидетельствует об эффективности новых конструктивных решений, примененных при их проектировании.

Следует также отметить повышение эффективности проектирования по акустическим критериям, достигнутое при совершенствовании опытных моделей узкоструйного плазмотрона. В модели ПМВР-5.3 за счет улучшения газодинамики струйного истечения удалось снизить уровень звуковой мощности шумоизлучения на 3-4 дБА в звуковой и на 5-6 дБ в ультразвуковой областях по сравнению с моделью ПМВР-5.2 и получить на 3-5 дБ лучшие показатели, чем у широко используемого плазмотрона Kjellberg PB-S-45W. Представленные результаты свидетельствуют об эффективности проектирования узкоструйного плазмотрона ПМВР-5.3 по критериям акустической безопасности. Данный плазмотрон имеет пониженное шумоизлучение по сравнению с другими плазмотронами для резки металлов, что расширяет допустимый диапазон времени работы плазморезчика (на 1-2 часа за смену по сравнению с PB-S-45W и на 2-4 часа по сравнению с ПМВР-М). Достигнутые преимущества во многом объясняются улучшенной газодинамикой плазмотрона, обеспечивающей резку металла сравнимой толщины плазменной дугой меньшего диаметра при сопоставимых скоростях истечения и меньшем энергопотреблении. Повышенная акустическая безопасность – дополнительный эффект применения плазмотрона ПМВР-5.3, обеспечивающего высокое качество, производительность (возможность резки металла сопоставимой

толщины на скоростях в 2-4 раза более высоких, чем для других плазмотронов) и энергоэффективность узкоструйной плазморезательной технологии.

Оценка экономического эффекта при отказе от механической обработки разделочных швов для крупного предприятия трубного металлопроката показывает возможность годовой экономии до 3 млн. руб. (в расчете на одну установку резки) за счет экономии металла, энерго- и трудозатрат и повышения производительности процесса. Особый вклад может дать их внедрение в технологии заготовки и производства сварных работ на трубопроводном транспорте и сопутствующих производствах в условиях Сибири, Арктики и Дальнего Востока. Последнее обстоятельство связано с невозможностью воздушной транспортировки газовых баллонов для производства газопламенных и сварочных работ и необходимостью использования эффективных технологий воздушной плазменной резки.

Литература

1. Пыкин Ю.А., Анахов С.В., Матушкин А.В. Патент на изобретение «Плазмотрон» № 2584367 от 11.03.2015 (опубликовано 20.05.2016)

УДК 57.011

СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА ПРИ РЕМОНТНО-СВАРОЧНЫХ РАБОТАХ

Чудинова Я. Н., аспирант 1 курса; Смолина А. С., магистр 1 курса

ПНИПУ, Пермь, Россия

chudo yana97@gmail.com, A2n7n@yandex.ru

Аннотация. *Сварочный процесс сопровождается факторами, опасными для здоровья человека. В статье рассмотрены правила работы сварщика по снижению негативного влияния опасных факторов на здоровье.*

Ключевые слова: *сварка, здоровье, сварщик.*

Сварочный процесс сопровождается рядом факторов, представляющих опасность, как для здоровья сварщика, так и для людей, находящихся непосредственно вблизи этого процесса. Это ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, ослепляющая яркость видимого света, искры и брызги расплавленного металла, сварочный аэрозоль (СА). Интенсивность испарения металлического и шлакового расплавов, образующихся при плавлении электрода и

основного металла, зависит от режимов, техники и пространственного положения сварки, составов электродного покрытия, основного металлов.

Для ремонта стальных изделий применяют разнообразные способы сварки: автоматическая, механизированная в углекислом газе и другие. Ручная сварка (РДС), благодаря своей простоте и гибкости, является наиболее распространенным способом термического соединения металлов. Но она допускает нестабильность режима, что увеличивает концентрацию СА в рабочей зоне. Известно, что для уменьшения влияния вредных факторов на здоровье при сварке имеется несколько направлений.

➤ Первое направление – технологическое: заключается в снижении уровня выделения СА в воздух путем совершенствования процесса сварки, выбора вида и марки сварочного материала, защитного газа, режима сварки.

➤ Второе направление – санитарно-техническое: состоит в локализации и нейтрализации СА путем применения современных эффективных средств местной вентиляции.

➤ Третье направление – применение СИЗОД нового поколения, позволяющих защищать органы дыхания сварщиков в различных производственных условиях [1].

Реализация первого направления возможна на основе изучения процессов образования сварочных аэрозолей. Для двух остальных эти сведения также являются исходными при определении соответствующих методов и разработке средств нейтрализации сварочных аэрозолей.

Сварочные аэрозоли (СА) представляют собой смесь газа - газовая составляющая сварочных аэрозолей (ГССА), и мельчайших твердых частиц - твердая составляющая сварочных аэрозолей (ТССА). Медицинские исследования указывают, что СА являются одной из основных причин развития профессиональных заболеваний, таких как пневмокониоз сварщика, а также ряда других опасных поражений организма, сокращающих продолжительность жизни [2, 3]. С точки зрения промышленной безопасности предельно допустимая концентрация вредных веществ, входящих в состав ТССА, в воздухе рабочей зоны сварочных работ нормирована для каждого элемента или его оксида [4].

Для снижения негативного воздействия необходимо выполнять следующие правила:

- правильный подъем тяжестей;
- регулярная смена позиций;
- выполнение работы в удобной позиции;

- кратковременные перерывы для отдыха и разминки;
- удобное расположение приспособлений и материалов на рабочем месте;
- уменьшение вибраций.

Для представления об опасности, которую влечет образование аэрозоля, важно знать удельные валовые выделения пыли и токсичных ее компонентов, выражающиеся в миллиграммах на килограмм израсходованных сварочных материалов [5]. Анализ данных [6] показывает, что при сварке электродами с рутиловым, кислым и ильменитовым покрытием образуются СА, близкие по химическому составу. Наиболее вредными веществами, которые входят в состав СА, образующихся при сварке углеродистых и низколегированных сталей с покрытием основного типа, являются соединения фтора (особенно газообразные), а при использовании электродов с покрытиями рутилового, кислого и целлюлозного типов – марганец. По данным Института гигиены труда и профзаболеваний АМН, удельное количество пыли (твердая фаза аэрозоля), образующейся при сжигании различных электродов представлено в таблице 1. Из нее видно, что наиболее благоприятными в гигиеническом отношении являются электроды с покрытием рутилового типа. А вот для электродов с целлюлозным покрытием характерны наибольшие выделения аэрозоля. Высокий уровень сварочного аэрозоля в данном случае обусловлен большим количеством выделяемых газов: CO, CO₂, H₂. При сварке электродами с основным покрытием высокий уровень выделения сварочного аэрозоля обусловлен наличием летучих соединений фтора (CaF₂, Na₂SiF₆) и высокой основностью шлаковой фазы, способствующей более интенсивному поступлению в сварочный аэрозоль соединений щелочных металлов.

Таблица 1

Удельное количество пыли при сжигании электрода

Покрyтия электрода	Содержание пыли
Электроды с покрытием рудокислого типа	18,6 - 36,5 г/кг
Электроды основного типа	11,3 - 13,5 г/кг
Электроды с рутиловым покрытием	7,1 - 15,3 г/кг.

При различных видах сварки сварочный аэрозоль негативно влияет на здоровье человека, вследствие чего развиваются профессиональные болезни. Для снижения влияния необходимо улучшать условия труда сварщика, соблюдая все правила проведения ремонтно-сварочных работ.

Литература

1. Артамонова В. Г. Актуальные проблемы диагностики и профилактики профессиональных заболеваний // Медицина труда и промышленная экология. - 1996. № 5. С. 4-6.
2. Гришагин В. М. Сварочные аэрозоли: образование, исследование, локализация, применение : монография. – Томск : Изд-во Томск, политехи, ун-та, 2011. - 213 с.
3. Игнатова А. М., Игнатов М. Н. Оценка морфологии, дисперсности, структуры и химического состава твердой составляющей сварочных аэрозолей посредством современных методов исследований // Научно-технический вестник Поволжья. - 2012. - № 3. - С. 133-138.
4. Исследование физико-химических характеристик твердой составляющей сварочных аэрозолей / Д.А. Кузнецов, А.Л. Симонович, С.В. Наумов, А.М. Игнатова // Аэрозоли Сибири: сб. тез. докл. XIX Рабочей группы конф. Ин-т оптики атмосферы Сиб. отд-я РАН. - Томск, 2012. - С. 78.
5. Нестеров О. Ю. Лекция: «Санитарно-гигиеническая характеристика процессов сварки» // Мариуполь, ПГТУ, 2005
6. Мазель А. Г. Технологические свойства электросварочной дуги. – М. : Машиностроение, 1969. – 178 с.

УДК 621. 791.75

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ШВА СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ

Сидоров В. П., Мельзитдинова А. В.

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия

vladimir.sidorov.2012@list.ru,

Аннотация. Приведена методика определения теплофизических коэффициентов для расчета размеров шва при действии нормально-кругового источника тепла. Определение коэффициентов позволяет с достаточной для инженерной практики точностью устанавливать требования к точности поддержания параметров сварки.

Ключевые слова: источник тепла, теплофизические коэффициенты, размеры шва, точность параметров сварки.

Автоматическая сварка сравнительно небольших толщин, не требующих разделки кромок, в общем объеме сварочных работ занимает существенное место. Поэтому вопросы оптимизации режимов сварки, повышения качества таких соединений актуально. Наиболее перспективным представляется решение возникающих задач с помощью математических методов, доступных в инженерной практике.

В данной работе рассмотрены перспективы применения одного из классических методов расчетов тепловых процессов для совершенствования технологии аргонодуговой сварки. Такой представляется расчетная схема нормально-кругового источника тепла (НКИ) на поверхности плоского слоя [1,2]. Рассматривалась возможность адекватного описания экспериментальных данных по размерам шва, приведенных в работе [3], с помощью этой схемы. В работе [3] проводилась сварка стыковых соединений из стали 12Х18Н9Т с толщиной 1,5, 2, 3 мм на медной подкладке с канавкой. В качестве основы для анализа использовались результаты для толщины $\delta=3$ мм с длиной дуги $L_d=2$ мм. Измерялись лицевая ширина шва $E1$ и ширина обратного валика $E2$. Несмотря на тщательное выполнение экспериментов, наблюдался значительный интервал варьирования результатов, достигающий до 10% от средних значений. Такую нестабильность можно объяснить влиянием поверхностных явлений при растекании металла сварочной ванны на границе шва. Опыты в работе [3] проводились при изменении скорости сварки V_c для нескольких токов дуг I_d .

Нами было установлено, что зависимости ширины шва от скорости сварки представляют гиперболы. Поэтому данные работы [3] были обработаны с помощью известной компьютерной программы [4] и определены коэффициенты гиперболических зависимостей. Каждая зависимость относится к одному значению тока и длины дуги. Оказалось, что средние по абсолютной величине относительные отклонения аппроксимированных данных для лицевой ширины шва $E1$ не превышают 1%. Для ширины обратного валика $E2$ отклонения несколько выше, но не превышают 4%. Пример аппроксимирующих зависимостей приведен на рис.1. Эти кривые позволяют использовать для анализа не только опытные значения, но и любые промежуточные.

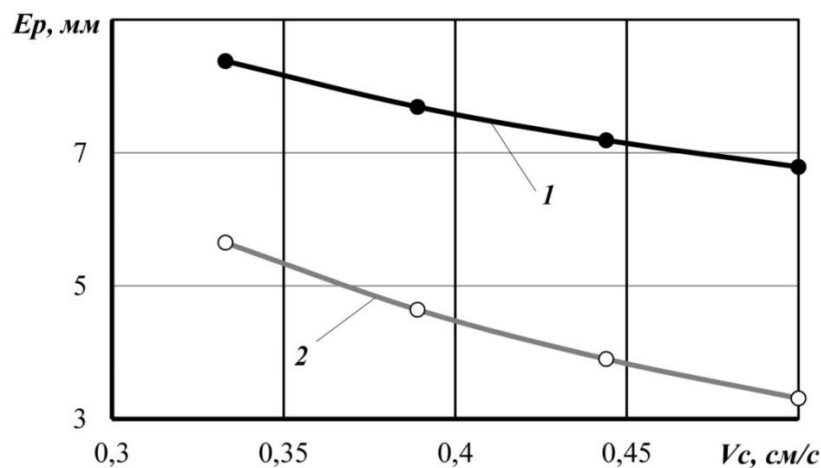


Рис.1. Расчетные данные ширины шва на основе точек из опыта
1. Для E1; 2. Для E2. $I_d=190$ А. $l_d=2$ мм

Естественно предположить, что аппроксимирующие данные, усредняющие всю совокупность опытов, в целом лучше описывают реальные зависимости, чем экспериментальные точки. Поэтому в дальнейшем для анализа использовались аппроксимирующие данные.

В работе [3] расчет параметров шва был выполнен численным методом с учетом изменения теплофизических коэффициентов от температуры и разбиении источника тепла на два источника – НКИ и линейный при соотношении их мощностей 0,8/0,3-0,8/0,2. По данным, приведенным в [1], рассчитывали изменение коэффициента температуропроводности a от температуры. Результаты расчета приведены на рис.2.

Для расчетов ширины шва в нашем случае была разработана компьютерная программа на языке Бейсик. Время достижения установившегося состояния при расчете выбиралось 20 с, одна секунда разбивалась на 50 отрезков. В качестве численного метода использовался метод дихотомии [4]. Определение ширины шва вдоль оси X осуществлялось с шагом 1мм, с точностью 0,01 мм.

Предварительный расчетный анализ формулы для НКИ показал, что наименьшее влияние на ширину шва оказывает осевой тепловой поток q_o , в отношении которого может быть принята гипотеза о его независимости от режимов дуги. В работе [2] показано, что может быть принято $q_o=4200$ Вт/см². Также из выражения для температур от НКИ следует, что отношение эффективной мощности q_n и объемной теплоемкости c_p может служить в нем в качестве одного параметра $Q = q_n / c_p$. В дальнейшем исследовали влияние q_n и температуропроводности на размеры шва, приняв $c_p = 4,5$ Дж/(см³°С). Строились зависимости двух опытных значений размеров шва E1 и E2 от q_n для нескольких значений a , которые варьировались в пределах зависимости

на рис. 2. Значения $E1$ и $E2$ были выбраны для среднего значения интервала изменения V_c . Пример таких зависимостей для $E1$ приведен на рис. 3.

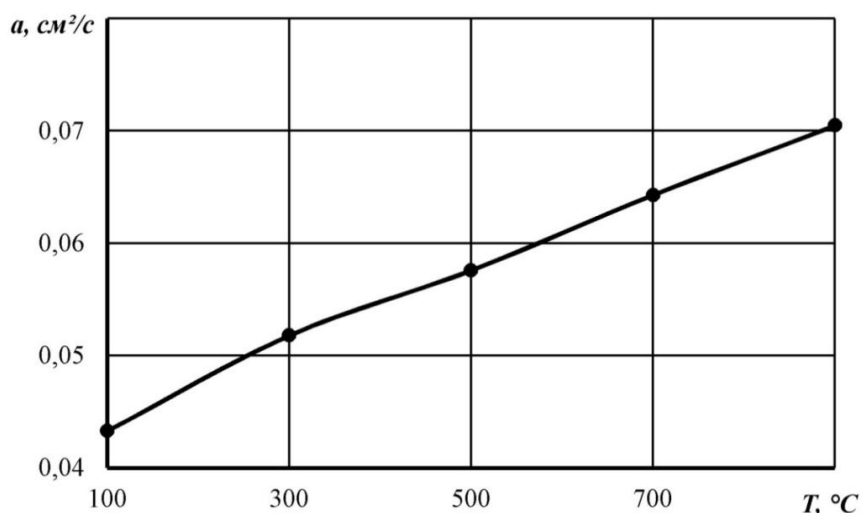


Рис.2. Зависимость коэффициента a от температуры для стали 12X18H9T

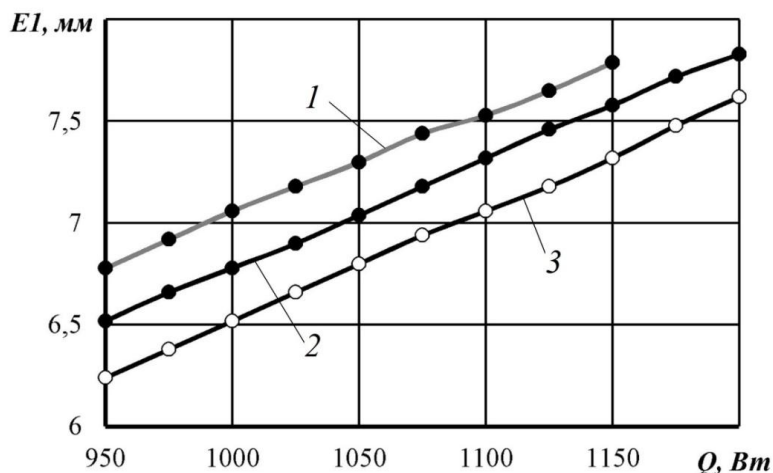


Рис.3. Серия зависимостей ширины $E1$ от эффективной мощности
 1. $a = 0,04 \text{ cm}^2/\text{c}$; 2. $a = 0,05 \text{ cm}^2/\text{c}$; 3. $a = 0,06 \text{ cm}^2/\text{c}$.

По этим зависимостям, задаваясь опытным значением ширины шва $E1$, $E2$ получали изолинии « $q_{\text{и}}$ – температуропроводность a » для двух размеров шва (рис.4). С помощью изолиний, в связи с отсутствием точки их пересечения, за оптимальные значения параметров принимали средние значения координат отрезка минимального расстояния между изолиниями. Для рис. 3 значение $q_{\text{и}} = 1125 \text{ Вт}$, $a = 0,059 \text{ cm}^2/\text{c}$.

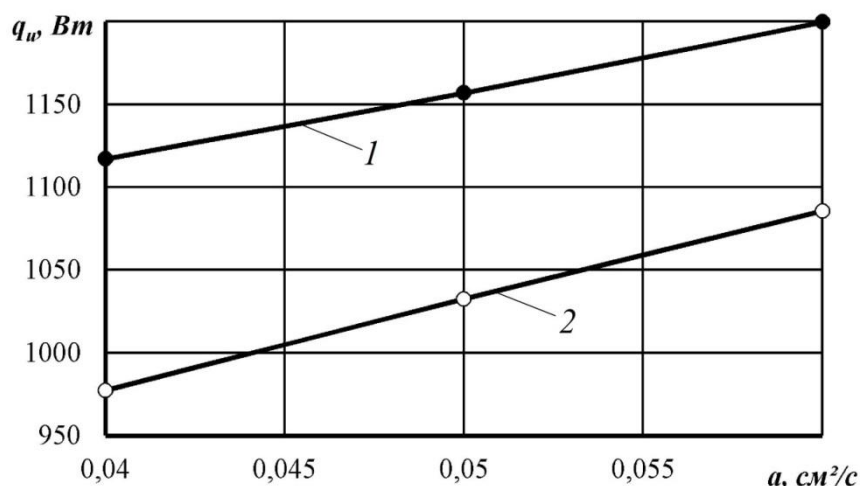


Рис.4. Изолинии для размеров шва $E1$ и $E2$

По этим значениям рассчитывали размеры шва на номинальном режиме $I_d=190$ А, $V_c=0,4$ см/с. Получили значения $E1=7,2$ мм, $E2=5,0$ мм. Относительные отклонения в % от значений из опыта для $\Delta E1/E1=-4,0\%$, для $\Delta E2/E2=+11,1\%$. Среднее по абсолютной величине относительное отклонение составляет 7,5%. Такая погрешность примерно соответствует разбросу опытных данных.

Абсолютные и относительные отклонения для граничных значений V_c из рис.1 приведены в таблице.

Таблица

Ширина шва, отклонение	$V_{\min}=0,33$ см/с		$V_{\max}=0,50$ см/с	
	Опыт	Расчет	Опыт	Расчет
$E1$, мм	8,3	8,1	6,8	6,3
$\Delta E1/E1$, %	-2,4		-7,3	
$E2$, мм	5,5	6,3	3,2	1,9
$\Delta E2/E2$, %	+14,5		-40,0	

Данные таблицы показывает, что полученные значения q_w и a хорошо описывают ширину лицевого валика в широком диапазоне скоростей сварки, в отличие от ширины обратного валика. По-видимому, это связано с тем, что сварка выполнялась на медной подкладке и на результате сказывается интенсивный теплоотвод от обратной плоскости пластины. Возможно также несоответствие модели НКИ при увеличении скорости сварки, что связано с отставанием анодного пятна дуги.

В связи с этим, по-видимому, использования методики в более широком зоне диапазоне режимов необходимо совместное определение и осевого теплового потока.

Выводы.

1. Разработана методика определения двух коэффициентов математической модели НКИ тепла по двум значениям ширины шва. Этими коэффициентами являются отношение эффективной мощности к объемной теплоемкости деталей и коэффициент температуропроводности.
2. Методика пригодна для определения коэффициентов передачи параметров сварки и требований к точности их поддержания в рабочей точке параметров режима в пределах $\pm 8\%$ от номинального значения.

Литература

1. Денисов П.В., Мирлин Г.А. Расчет температуры нагрева тонколистового металла нормально распределенным источником при точечной сварке импульсной дугой // Сварочное производство. – 1974. №1. – С. 3-6.
2. Сидоров В.П., Хурин С.А. Моделирование провара при дуговой сварке стыковых соединений без разделки кромок // Сварка и диагностика. 2011. № 6. С. 36-40.
3. Никифоров, Р.В. Совершенствование технологии автоматической аргонодуговой сварки неплавящимся электродом стыковых соединений из коррозионно-стойких сталей с учетом термомеханических процессов в изделии. Дисс. канд. техн. наук. Уфа, 2014, 181 с.
4. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ. - М.: Наука, 1987 - 240 с.

РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ ПРОВАРА ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Сидоров В. П.

Тольяттинский государственный университет, г.Тольятти, РФ

vladimir.sidorov.2012@list.ru

Аннотация. Обоснована необходимость учета влияния полярности дуги на проплавление основного металла. Предлагается вести расчет, вычитая из полной эффективной мощности часть, передаваемую сварочной ванне электродным металлом. Сравнение расчетных данных с опытными показало перспективность такого подхода.

Ключевые слова: *плавящийся электрод, полярность дуги, расчет проплавления.*

Известно, что проплавление основного металла при сварке под флюсом зависит от полярности дуги [1]. Но этому факту не придавалось особого значения, т.к. сварку плавящимся электродом ведут преимущественно на обратной полярности. В последнее время появилась возможность применения прямой полярности, от источников с прямоугольными импульсами переменного тока [2]. Обозначился интерес к выяснению причин различий проплавляющей способности дуги в зависимости от полярности [2,3]. В работе [2] связали это различие с толщиной жидкой прослойки в сварочной ванне, а в работе [4] - с мощностью приэлектродных областей дуги.

Известная методика расчета размеров шва основывается на схеме точечного источника тепла быстро движущегося по поверхности полубесконечного тела [1]. Она не учитывает влияния полярности дуги. В работе [5] предложена методика учета влияния электродного металла на проплавление путем задания постоянного соотношения между сечением основного и наплавленного металлов. Однако такое соотношение исследовано только для обратной полярности дуги и одного диаметра электрода.

Предлагаемая методика расчета площади проплавления основного металла заключается в следующем. Из полной эффективной мощности дуги необходимо вычесть мощность, передаваемую сварочной ванне электродным металлом. Для проверки этой методики использовали данные эксперимента по определению провара при сварке под флюсом, приведенные в работе [6]. При расчетах термических циклов с использованием метода эквивалентного источника тепла в работе [6] использовали объемную теплоемкость $c_p = 4,5$ Дж/(см³°C), теплопроводность $\lambda = 0,32$ Вт/(см °C), что дает коэффициент температуропроводности $a = 0,071$ см²/с. На данном режиме получено поперечное сечение провара по макрошлифу с шириной шва $B = 20$ мм и проваром h

=9,5 мм. С помощью современного программного обеспечения были замерены площади проплавления основного металла $F_O = 1,17 \text{ см}^2$ и наплавленного металла $F_H = 0,52 \text{ см}^2$.

Эффективную мощность определяли, приняв эффективный КПД дуги под флюсом при одинаковом режиме $\eta_{\text{и}}=0,829$ по данным работы [7]

$$q_{\text{и}} = 0,829 \cdot 22784 = 18888 \text{ Вт.}$$

С помощью формулы для нормально-кругового источника тепла [8] сначала определяли площадь проплавления основного металла по известной методике, используя полную эффективную мощность дуги. Для этого с помощью специальной компьютерной программы на языке Бейсик рассчитывали максимальную ширину сварочной ванны в сечениях по толщине пластины с шагом 1 мм. По полученным размерам строили поперечный профиль проплавления основного металла.

По значению эффективной мощности $q_{\text{и}}$ и экспериментальному значению провара был определен диаметр пятна нагрева нормально-кругового источника тепла $D_H=1,34$ см. При этом осевой тепловой поток составил $q_M=40000 \text{ Вт/см}^2$, коэффициент сосредоточенности теплового потока $k=6,63 \text{ см}^{-2}$. Максимальный расчетный провар при $y=0$ составил $H_M=9,43$ мм, что отличается от опытного значения всего на 0,07 мм. Большая величина q_M соответствует полученным в работе [9] данным и обусловлена погружением дуги в сварочную ванну под действием давления дуги.

На рис. 1 (кривая 1) представлен полный расчетный профиль проплавления основного металла. По нему средний провар составил $H_{\text{ср}} = 0,66$ см, расчетная площадь проплавления основного металла $F_O = 146 \text{ мм}^2$. Отклонение расчетного значения площади от опытного $146-117 = 29 \text{ мм}^2$, что составляет 25%.

Аналогично определяли площадь проплавления основного металла по предлагаемой методике для обратной полярности дуги. Определили мощность $q_{\text{э}}$, передаваемую шву электродным металлом-анодом.

По данным работы [7] вольтов эквивалент электродной мощности анода с учетом нагрева вылета $U_{\text{э}}=5,3 \text{ Вт/А}$. Тогда

$$q_{\text{э}} = 5,3 \cdot 712 = 3774 \text{ Вт.}$$

Мощность для использования при расчете проплавления основного металла

$$q_O = q_{\text{и}} - q_{\text{э}} = 18888 - 3774 = 15114 \text{ Вт.}$$

При расчете провара основного металла сохраняли диаметр пятна нагрева $D_H=1,34$ см. Для данной эффективной мощности получили осевой тепловой поток $q_M=32000 \text{ Вт/см}^2$, коэффициент сосредоточенности $k=6,63 \text{ см}^{-2}$. Максимальный расчетный провар при $y=0$ составил $H_M=8,18$ мм, средний

провар $H_{CP} = 0,57$ см, площадь поперечного сечения основного металла $F_0=113$ мм² (кривая 2 на рис.1). Отклонение от опытного значения площади $113-117= 4$ мм², что составляет -3,4%. Это примерно в 7 раз точнее, чем по известной методике.

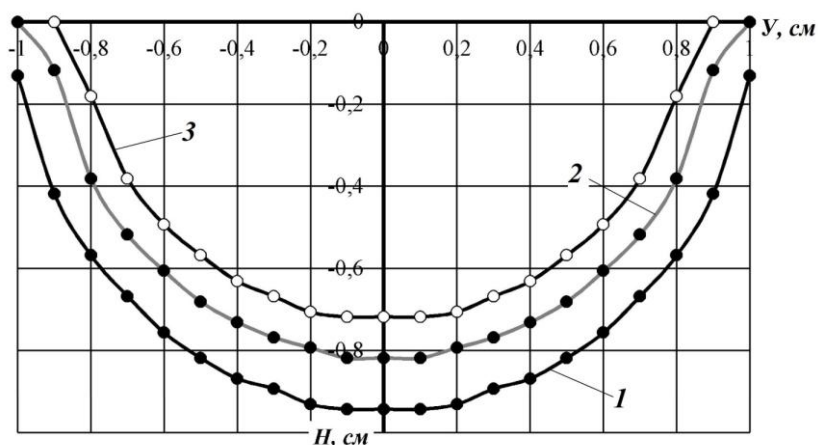


Рис.1. Расчетные профили провара:

1. Без учета полярности. 2. Обратная полярность. 3. Прямая полярность.

Аналогично определяли площадь проплавления основного металла по предлагаемой методике для прямой полярности дуги. Определили мощность $q_{Э}$, передаваемую шву электродным металлом- катодом.

По данным работы [7] вольтов эквивалент электродной мощности катода с учетом нагрева вылета $U_{Э} = 9,3$ Вт/А. Тогда мощность, передаваемая электродным металлом шву

$$q_{Э} = 9,3 \cdot 712 = 6622 \text{ Вт.}$$

Мощность для использования в расчете проплавления основного металла

$$q_0 = q_{и} - q_{н} = 18888 - 6622 = 12266 \text{ Вт.}$$

При расчете провара основного металла сохраняли диаметр пятна нагрева $D_H=1,34$ см. Для данной эффективной мощности получили осевой тепловой поток $q_M=25000$ Вт/см². Максимальный расчетный провар при $y=0$ составил $H_M=7,18$ мм, средний провар $H_{CP} = 0,50$ см, расчетная площадь проплавления основного металла $F_0 = 91$ мм² (кривая 3 на рис.1). Отклонение от опытного значения площади, полученное на обратной полярности $91-117= -26$ мм², что составляет -22%.

Соотношение полученных площадей провара основного металла соответствует приведенным в работе [1] соотношениям проваров в зависимости от полярности дуги.

Выводы

1. Известные методики расчета проплавления основного металла при сварке плавящимся электродом не учитывают особенностей влияния на процесс электродной мощности.

2. Такой расчет следует вести, уменьшая эффективную мощность на мощность, передаваемую в сварочную ванну электродным металлом.

Литература

1. Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977.- 432 с.
2. Коберник, Н.В. Влияние рода и полярности тока на плавление электродного и основного металла при сварке под флюсом / Н.В. Коберник, Г.Г. Чернышов, П.П. Гвоздев и др. // Сварка и диагностика. 2011, № 5, С. 24-27.
3. Федосов, С.А. К вопросу о влиянии полярности на глубину проплавления и скорость сварки / С.А. Федосов // Современные проблемы повышения эффективности сварочного производства : сб. материалов Всероссийской науч.-техн. конф. (Тольятти, 25-28 октября 2011 г.). – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2011, С.97-98.
4. Сидоров, В.П. Вклад в проплавление изделия мощности электродного металла при сварке под флюсом. / В.П. Сидоров, Н.А. Борисов // Пайка - 2013: сборник материалов международной научно-технической конференции (Тольятти, 10-12 сентября 2013 года). Изд-во ТГУ, 2013, С. 232-239.
5. Зайцев, Н.Л. Расчетно-экспериментальная методика оценка конфигурации сварных швов / Н.Л. Зайцев, А.М. Осипов, Д.В. Гладковский, И.А. Ильин // Современные проблемы сварочного производства : сборник научных трудов / под ред. М.А. Иванова, И.А. Ильина.- Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016, С. 161- 169.
6. Цвелев, Р.А. Оценка погрешностей воспроизведения температурного поля при сварке под флюсом на основе эквивалентного источника теплоты / Р.А. Цвелев // Сварочное производство, 2013, № 6.- С.11-15.
7. Цвелев, Р.В. и др. Физико-математическое моделирование процесса дуговой сварки под флюсом / Р.В. Цвелев, Д.В. Слезкин, В.А. Судник и др. // В сб. докладов 6 -й межд. конф. Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах 29.05–1.06.2012. Киев, 2012, С. 156-163.
8. Денисов, П.В. Расчёт температуры нагрева тонколистового металла нормально-распределённым источником при точечной сварке импульсной дугой / П.В. Денисов, Г.А. Мирлин // Сварочное пр-во. - 1974. - № 1. - С. 3-6.

9. Березовский, Б.М. Расчёт параметров распределения теплового потока поверхностной сварочной дуги / Б.М. Березовский, В.А. Стихин // Сварочное пр-во. - 1980. - № 2. - С. 1-4.

УДК 621.791.75.03

АППАРАТЫ ПАРС ДЛЯ СВАРКИ

Трух С. Ф.¹ (*trsf@mail.ru*); Плаксина Л. Т.² (*plt2006@yandex.ru*)

¹ООО «АПС РАДИС», г. Москва,

²ФГАОУ ВО «РГППУ», Екатеринбург

Аннотация. Приведены данные сварочного оборудования: выпрямителя с радиоуправлением для ручной дуговой сварки, полуавтомата для сварки в среде защитных газов с синергетической системой управления, автомата для сварки под флюсом с цифровым управлением.

Ключевые слова: импортозамещение, сварка, наплавка, радиоуправление.

Россия после обострения отношений с Европой и США провозгласила курс на импортозамещение. Кроме того, отечественное сварочное оборудование, в частности от «АПС РАДИС», имеет существенное ценовое преимущество по сравнению с его западными аналогами [1, 2].

Аппарат Ф-302 (инверторный) промышленного применения предназначен для ручной электродуговой сварки штучными плавящимися электродами любой марки диаметром от 1,6 до 5,0 мм (режим «ММА») [3]. При наличии аксессуаров аппарат может использоваться для аргонодуговой сварки постоянным током неплавящимися вольфрамовыми электродами в среде инертных газов с применением присадочной проволоки деталей из титана, нержавеющей стали и медных сплавов (режим «TIG»). Регулировка тока (20..315А с шагом 1А) в обоих случаях производится регулятором на панели аппарата или на пульте дистанционного управления управляемого по радио (РПДУ). Технические характеристики в таблице 1.

Пульт управления хранит для 10 режимов. Для устойчивого поджига дуги рекомендуется использовать функцию «форсаж» дуги. Время действия в диапазоне 0,0...2,0 сек с шагом 0,1 сек. В это время ток источника питания устанавливается в % от максимального. Например, 50% для выпрямителя Ф-302 соответствуют току порядка 170А. Реализован дополнительный параметр «Импульсный режим». При этом форсаж дуги выполняется без импульсов, а затем включается импульсный режим. Используется при аргонодуговой сварке и стабилизации дуги на электродах с плохим горением. Устанавливаются: длительность импульса тока 0,05 ... 2,0 сек через 0,05 сек; длительность

ность паузы тока от 0,05 до 2,0 сек через 0,05 сек; ток паузы в диапазоне от 15 до 315А.

Таблица 1

Технические характеристики сварочного аппарата Ф-302

Характеристика	Значение
Напряжение сети, В	380
Электрическая мощность, потребляемая от сети, кВт·А	не более 17
Напряжение холостого хода, В	80
Максимальное выходное напряжение, В	не менее 30*
Ток короткого замыкания, А	440 ⁺⁶⁰ / ₋₄₀
Напряжение питания внешних потребителей, В	24±4
Время переключения на безопасное напряжение ХХ,	не более 0,6
Максимальный сварочный ток, А 315+10 *	315
Минимальный сварочный ток, А	20
Габаритные размеры аппарата, мм,	не более 640x274x381
Масса аппарата, кг	19,3±1,4
Срок службы, лет,	не менее 6



Рис. 1. Сварочное оборудование ПАРС:
 а - сварочный аппарат Ф-302; б – сварочный полуавтомат Н-511;
 в - сварочный автомат АДФ-1002Ц

Полуавтомат сварочный типа ПАРС Н-511 (рисунок 1, б) предназначен для дуговой сварки (MIG/MAG) и наплавки порошковыми проволоками (диаметром до 3,2 мм) [3]. Полуавтомат оснащен цифровой системой управления, выполненной в виде 3-х отдельных блоков. Управление производится с единого пульта (ПУ-501). Система управления позволяет тестирование пе-

ред сваркой, запоминание 10 вариантов режимов сварки, измерение тока и напряжения в процессе сварки. Полуавтомат может располагаться от источника питания на расстоянии до 80 м. Основные технические характеристики приведены в таблице 2.

Полуавтомат включает инверторные выпрямители (Ф-320И, Ф-500И) и трансформаторные (ВДУ-516, ВД-500), горелку сварочную, переносной механизм подачи проволоки (БПП-511), пульт управления (ПУ-501), силовые и сигнальные кабели. Выпрямители на токи до 500А могут оснащаться жидкостной системой охлаждения горелки. Пульт управления полуавтоматом ПАРС Н-511 позволяет осуществить следующие функции: способ настройки (синергетический или ручной), выбор способа сварки; выбор материала, защитного газа и диаметра сварочной проволоки, настройку параметров режима сварки, выбор и изменение параметров меню (номер режима) и т.д. В режиме сварки происходит индикация измеренного тока и напряжения, регуляторами на пульте управления можно производить коррекцию скорости подачи проволоки и сварочного напряжения.

При использовании выпрямителя ВДУ-516 вольтамперная характеристика настраивается на пульте управления. Инверторные выпрямители Р-320И, Р-502И оснащены системой управляемого переноса металла, что позволяет использовать их для сварки ответственных конструкций во всех пространственных положениях. Они имеют настройки из меню механизма подачи проволоки по сети с удаленностью до 120 м.

Таблица 2

Основные технические характеристики ПАРС Н-511

Наименование параметра	Величина
Номинальное напряжение питающей сети, В	340...400
Потребляемая мощность, кВа (не более)	15
Номинальный сварочный ток при ПВ=80%, А.	300/500
Длительность цикла, мин.	5
Диаметр электродной проволоки, мм	0,8 ... 3,2
Количество ведущих роликов	4
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин.	1-20
Точность поддержания скорости подачи, % (не менее)	1,0
Габариты механизма подачи (ВхШхД)	280x305x545
Габариты источника питания (ВхШхД)	470x360x380
Масса механизма подачи без электродной проволоки, кг.	11,5

Сварочный автомат типа АДФ (рис. 1, в) предназначен для сварки под слоем флюса. По требованию заказчика автомат комплектуется устройством для сварки (наплавки) ленточным электродом. Автомат (табл. 3) поставляется в комплекте с выпрямителем ВДУ-1216 [3]. Цифровое управление работает при удалении от выпрямителя до 100 м; и позволяет выбирать режимы из банка данных; сократить количество проводов в кабеле управления до 3-х; управлять статическими и динамическими характеристиками дуги; стабилизировать параметры режима, плавно изменять напряжение на дуге. Автоматы АДФ-1002Ц, АДФ-1002-1Ц изготавливаются в двух исполнениях: УЗ и О4. Автоматы АДФ изготавливаются в климатическом исполнении УЗ. Связь с ВДУ-1216 производится по последовательному каналу с использованием помехозащищенной сети PARS-net. Реализована тестовая система с сообщением оператору о причине неисправности. Оборудование рассчитано на подключение к заводской информационной сети.

Таблица 3

Технические характеристики автоматов

Параметр	АДФ			
	1002Ц	1002-1Ц	1002-2Ц	1002-4Ц
Номинальный сварочный ток (А)	1000			
Номинальный режим работы, ПВ,%	100			
Диаметр сплошной проволоки, мм	2...5			
Скорость подачи проволоки (м/ч)	60-362			
Скорость сварки (м/ч)	12-120			
Угол наклона головки к шву, град	До 45			
Масса проволоки в кассете (кг)	6			
Масса ленточного электрода в кассете, кг		15		
Емкость бункера для флюса (дм ³)	6			
Средний срок службы (лет)	5			
Ресурс до капитального ремонта (ч)	7500			
Габаритные размеры (мм):				
Длина	716	850	716	850
Ширина	346	370	346	370
Высота	526	526	526	730
Масса автомата (кг)	45	52	45	52

Полуавтоматы, автоматы, выпрямители ПАРС, реализующие цифровые технологии, успешно работают более чем на 50 предприятиях РФ, Украины, Узбекистана.

Литература

1. Сварочное оборудование Фрониус. (<https://www.fronius.ru> – Дата обращения 14.01.2017).
2. Сварочное оборудование IWM. (<https://www.eurolux-russia.ru> – Дата обращения 14.01.2017).
3. Плаксина Л.Т., Сорокин В.Н., Трух С.Ф. Оборудование ПАРС для дуговой сварки и наплавки. Механическое оборудование металлургических заводов. №2 (5). 2015, С. 53-63.

УДК 621.791

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА СПЛАВА В КАЧЕСТВЕ ОБЪЕКТА ИЗЛУЧЕНИЯ СПЕКТРА С ЗАДАННЫМИ ДЛИНАМИ ВОЛН ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СО СВАРОЧНОЙ ДУГОЙ, ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ЛЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Раков Ю. В., Игнатов М. Н.

ПНИПУ, г. Пермь, РФ

rakov-yv@mail.ru, iampstu@gmail.com

Аннотация. В работе приведена классификация ультрафиолетового излучения в зависимости от длины волны. Показана зависимость интенсивности ультрафиолетового излучения от химического состава сплавов во всем спектре длин волн; представлены достоинства и недостатки выбранных составов; описан способ получения количественной оценки излучения.

Ключевые слова: сварка, ультрафиолетовое излучение, спектр, длина волны.

В медицине известно применение электромагнитных излучений, в частности инфракрасного и ультрафиолетового, в лечебных целях [1], например, при борьбе с кожными заболеваниями. В последние годы, популярны исследования по использованию электромагнитных излучений в хирургии для воздействия на инфицированные раны. Однако, развитие исследований по выявлению характера воздействия электромагнитного излучения на различные биологические ткани и субстанции, а также внедрение уже известных положительных результатов в практику осложняется потребностью в большом количестве дорогостоящих источников излучений для генерации волн с различной длиной. Поэтому поиск решений, позволяющих получать широкий спектр излучений с разной длиной волны в одном устройстве [3] - является

актуальным. Авторами проведена работа по поиску сплавов, в том числе, содержащих редкоземельные металлы, обеспечивающих различные спектры излучения и исследования, оценивающие влияние электромагнитного излучения с различной длиной волны на фагоцитарную активность [4] нейтрофилов крови животных и человека.

Целью работы является исследование возможности использования сварочной дуги и сплавов железа в качестве источника электромагнитных излучений интегрального спектра для воздействия на биологические ткани.

Как известно, сварочная дуга является источником вредного для организма человека, ультрафиолетового излучения (УФИ), которое заключается в денатурации, т.е. разрушением биологических тканей и клеток организма. Однако в ряде случаев, ультрафиолетовое излучение может оказывать положительное влияние на ход протекания заболевания, сокращать время выздоровления пациента. Чтобы добиться такого результата, необходимо комплексно исследовать взаимодействие УФИ с биологическими тканями на всем интервале длин волн, и выбрать такие параметры излучения (интенсивность, длина волны излучения), которые покажут положительную динамику в ходе выздоровления человека.

По длине волны УФИ подразделяется на 3 группы [2] УФ - А (длинный ультрафиолет 315-400нм), УФ - В (средний ультрафиолет 280-315нм), УФ-С (короткий ультрафиолет 200-280нм). Наиболее опасным для здоровья человека является УФИ группы УФ-С, влияющий на слизистую оболочку органов, а также на кожу человека, поэтому воздействие УФИ с заданными характеристиками на биологические ткани нуждается в более детальном исследовании.

Известно множество искусственных источников ультрафиолетового излучения, таких как: лазерные источники, ртутно-кварцевые лампы, люминесцентные лампы, эксилампы и т.д., однако только сварочная дуга [5], наряду с видимым и инфракрасным спектром излучения, дает ультрафиолетовое излучение во всем диапазоне длин волн, что позволяет использовать ее в качестве универсального источника ультрафиолетового излучения.

В качестве способа определения интенсивности излучения различными химическими элементами, использовался количественный спектральный анализ, который основан на том, что интенсивность спектральных линий элементов зависит от концентрации в пробе этих элементов. Из всего множества химических элементов были выбраны те, которые наравне с железом дают большое количество спектральных линий: ванадий(V), вольфрам(W), кобальт(Co), церий(Ce), цезий(Cz), титан(Ti), молибден(Mo), марганец(Mn) и ниобий(Nb). В чистом виде эти элементы очень дорогие и редкие, поэтому их

рассматривают в качестве компонента в сплаве с железом. Самыми распространенными сплавами с железом из этих элементов являются ферромарганец и ферроцерий.

Для анализа ферромарганцевого сплава был выбран низкоуглеродистый ферромарганец марки ФМн 0,5 92, состав которого примем равным 85%Mn и 15%Fe, т.к. количество остальных элементов мало и не способно повлиять на общий результат анализа. В качестве ферроцериевого сплава был выбран следующий состав: 45%Ce, 25%La, 10%Nd, 5%Pr, 15%Fe. Количество спектральных линий, излучаемых лантаном, празеодимом и неодимом примем равными линиям церия, т.к. они все относятся к редкоземельным элементам лантаноидной подгруппы, имеющие схожие химические и физические свойства.

Количество спектральных линий в диапазоне УФИ для железа, марганца и церия представлены в табл. 1.

Таблица 1

Количество спектральных линий химических элементов в диапазоне УФИ

Длина волны/ Элементы	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
Железо	3	113	102	87	184	245	143	228	178	185
Марганец	8	7	8	26	25	49	55	54	67	47
Церий	0	0	0	0	0	68	154	223	233	223
Длина вол- ны/Элементы	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
Железо	147	200	147	125	129	159	183	140	126	123
Марганец	52	30	36	22	21	27	29	20	32	37
Церий	187	212	241	255	337	253	227	267	238	259

Гистограмма полученных результатов табл. 1 изображена на рис. 1.

По полученной гистограмме видно, что церий дает большое количество спектральных линий в области среднего и длинного ультрафиолета, и что самое главное, практически отсутствует в области «вредного» короткого ультрафиолета, что существенно повышает его шансы быть использованным в качестве элемента сплава для взаимодействия со сварочной дугой.

На рис.2 и рис.3 представлены гистограммы спектральных линий в диапазоне УФИ, которые дают ферромарганцевый и ферроцериевый сплавы с заданным химическим составом.

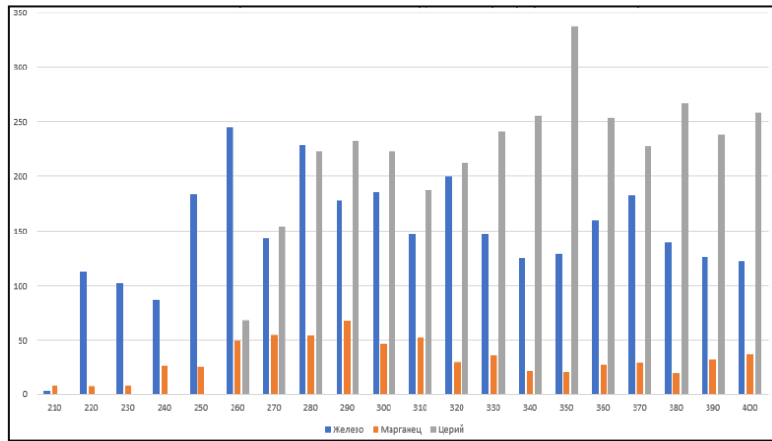


Рис.1. Количество спектральных линий элементов из табл. 1

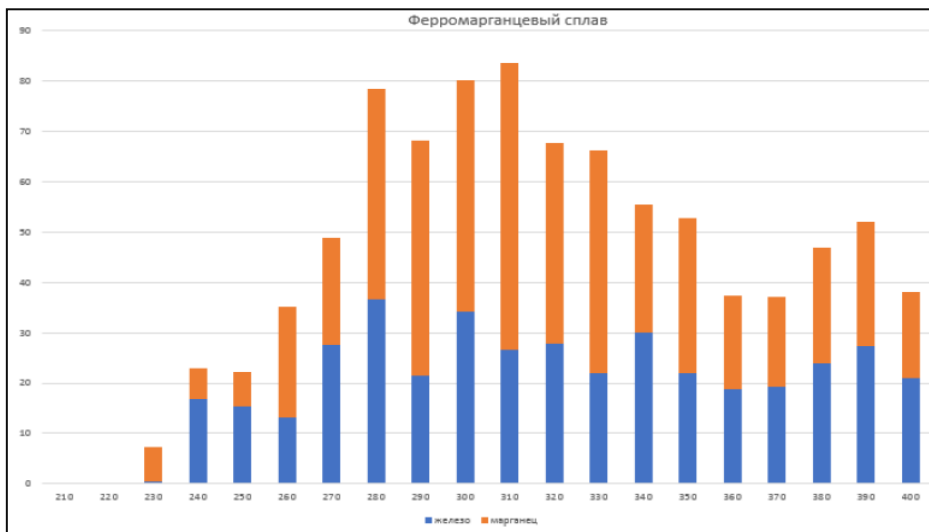


Рис.2 Количество спектральных линий ферромарганцевого сплава

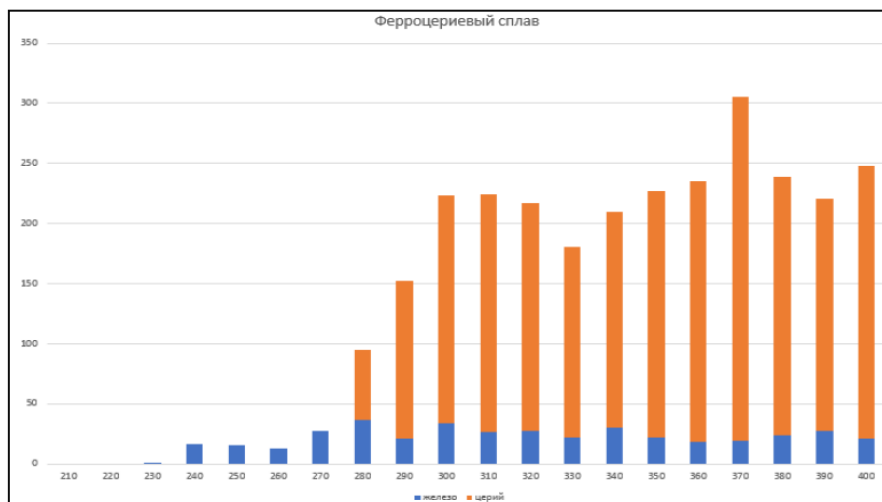


Рис.3 Количество спектральных линий ферроцириевого сплава

Выводы

1. Элемент церий дает значительный прирост интенсивности излучения сплава в области среднего и длинного ультрафиолета 280-400нМ от 60 до 90% излучения сплава.

2. Марганец, в отличие от церия, не дает такую интенсивность излучения от 30 до 65% сплава, однако количество спектральных линий более равномерное во всем спектре. Излучение марганцем в области УФ-С позволяет применять ферромарганцевый сплав для получения небольшой интенсивности короткого ультрафиолета.

3. Ферроцериевый сплав имеет более мощную и относительно ровную интенсивность излучения в области среднего и длинного ультрафиолета по сравнению с ферромарганцевым сплавом, который дает интенсивность в 3-4 раза слабее, однако наличие спектральных линий в области короткого ультрафиолета позволяет ферромарганцевому сплаву быть более универсальным источником УФИ.

Таким образом, были показаны основные достоинства и недостатки выбранных сплавов. Оказалось, что ферромарганцевый сплав является более универсальным, т.к. спектральные линии присутствуют на всем интервале УФИ, однако его интенсивность не такая большая по сравнению с ферроцериевым сплавом, который в свою очередь имеет значительное число спектральных линий в области среднего и длинного ультрафиолета, который безопасен для здоровья человека. Потому в качестве промежуточного результата в выборе сплава для УФИ выбираем ферроцериевый сплав с составом: 45%Ce, 25%La, 10%Nd, 5%Pr, 15%Fe. Полученные результаты нуждаются в дальнейших исследованиях, для выявления более универсальных и дешевых сплавов.

Литература

1. Способ облучения биологических объектов излучением электрической дуги / М. Н. Игнатов, М. М. Игнатова, В. А. Черешнев, Е. И. Самоделкин // Повышение качества изготовления и эксплуатационных характеристик деталей машин технологическими методами : тез. докл. - 1998. - С. 110.
2. Устройство для облучения световыми инфракрасными и ультрафиолетовыми лучами/ Ю. Д. Щицын, М. М. Игнатова, В. А. Черешнев, Е. И. Самоделкин // Повышение качества изготовления и эксплуатационных характеристик деталей машин технологическими методами : тез. докл. - Пермь : ПГТУ, 1998. - С. 109.
3. Устройство для светотерапии / М. Н. Игнатов, М. М. Игнатова, В. А. Черешнев, Е. И. Самоделкин // Повышение качества изготовления и эксплуатационных характеристик деталей машин технологическими методами : тез. докл. - Пермь: ПГТУ, 1998. - С. 37.

4. Изменение фагоцитарной активности нейтрофилов при воздействии электромагнитным излучением сварочной дуги / В. А. Черешнев, Е. И. Самоделкин, М. Н. Игнатов, М. М. Игнатова // Пермский медицинский журнал. - 2004. - Т.21, №4. - С. 101-104. - Библиогр.: с. 104 (6 назв.).
5. Игнатова А.М., Субботин В.М., Зинец С.И., Игнатов М.Н. Использование электрической дуги в качестве источника электромагнитных излучений интегрального спектра для воздействия на биологические ткани // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине : сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – с. 159.

УДК 621.791.048.3

ГАЗЫ И СЕРА В РАСПЛАВАХ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ ИЗ ПЕТРУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ УРАЛА

Карташев М. Ф. (goncharsk@mail.ru);

Наумов С. В. naumovstanislav@ya.ru)

ПНИПУ, г. Пермь, РФ

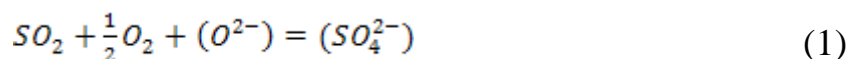
***Аннотация.** Исследовано влияние летучести кислорода и серы на растворимость серы в силикатных расплавах. Выдвинута гипотеза о влиянии концентрации серы на полимеризованность силикатных расплавов. Приведены схемы растворения серы в окислительных и восстановительных условиях. Предложены методы борьбы с порообразованием в результате выделения паров серы в шлаках.*

***Ключевые слова:** сварочный флюс, газы серы, пористость.*

Требования импортозамещения сварочных материалов формируют потребность в поиске альтернативного сырья для сварочных флюсов. Исследования [1] показали возможность использования для этого техногенного петругигического сырья на территории Пермского Края. Однако требуются исследования, по определению в нем вредных примесей, в т. ч. серы, и механизмов ее удаления. Целью данной работы является анализ научных работ, связанных с растворением серы в силикатных расплавах.

Сера в силикатных стеклах и расплавах может состоять в различных окисленных состояниях. В свою очередь, окисленное состояние серы влияет на её растворимость и механизмы растворения и, в конечном счете, на ее влияние на свойства расплава [2-4].

Исследования [2] показали, что в окислительных условиях (при $p_{O_2} > 10^{3 \div 10^{-4}}$ ат) двуокись серы растворяется в соответствии со схемой:



и образованием в шлаках сульфат-иона (SO_4^{2-}).

В восстановительных условиях (при $p_{O_2} < 10^{-6}$ ат) сера растворяется в шлаках с образованием сульфидного аниона (S^{2-}) в соответствии со схемой:



а равновесное содержание суммарной серы в шлаке проходит через минимум в интервале $p_{O_2} = 10^{-4} \div 10^{-6}$ ат для 1500° С. Это позволяет предполагать, что двуокись серы растворяется в указанном диапазоне окислительного потенциала и в меньших, чем SO_3 , количествах. Процесс растворения SO_2 запишется как



В этом случае образуется в основном сульфитная сера в шлаках. Устойчивость сульфит-иона (SO_3^{2-}) меньше, чем сульфат-иона (SO_4^{2-}), поэтому растворение чистой SO_2 в расплавах окислов может быть реализовано лишь в сравнительно узкой области p_{O_2} ($10^{-4} \div 10^{-6}$). Поэтому, с практической точки зрения наиболее значимым случаем является процесс (1).

Взаимодействие между окисленной серой и расплавами, как функция соотношения металл/кремний в расплаве было рассмотрено через уравнивание расплавов Na_2O-SiO_2 с газовыми смесями $SO_2 + 1/2O_2 + N_2$ [5].

Если предположить, что уравнение



описывает механизмы растворения окисленной серы в расплавах, то растворимость серы выражается, как SO_3 . Тогда:

$$\log(\text{mol \% } SO_3) = \log[P_{SO_2} + (P_{O_2})^{0.5}] + \log Y. \quad (5)$$

Переменная Y содержит влияние окислительной активности в переходе от масс. % серы до мол. % SO_3 . P_{SO_2} и P_{O_2} являются парциальными давлениями SO_2 и O_2 соответственно.

Растворимость SO_3 зависит от соотношения Na/Si в расплаве (рис. 1). Наклон кривых предполагает, что сера действительно растворяется как группы SO_4^{2-} , а не как более полимеризованные соединения, содержащие $S-O$ [5].

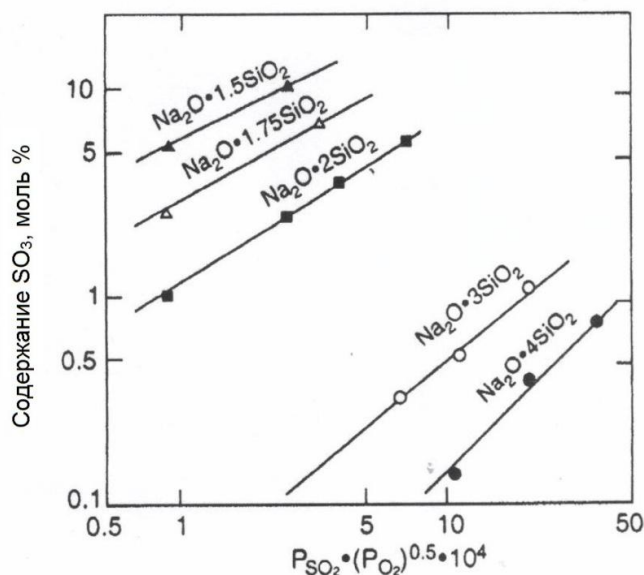


Рис. 1. Зависимость между содержанием SO_3 в расплаве Na_2O-SiO_2 и газовым давлением [5].

Летучесть кислорода влияет на растворимость серы в силикатных расплавах из-за возможного снижения содержания сульфатов и сульфидов [3, 4]. Минимальное содержание серы, как функция от летучести кислорода для насыщенных серой расплавов на соединениях металла с диоксидом кремния показано на рис. 2.

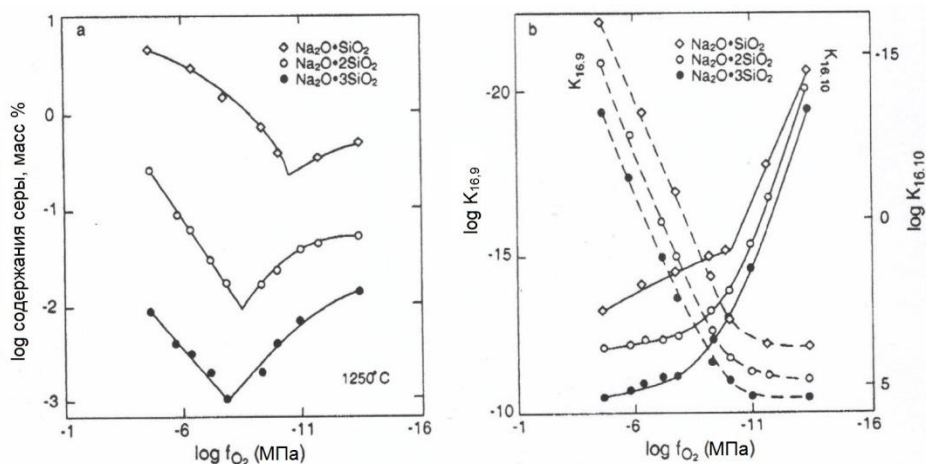


Рис. 2. (а) Растворимость серы, как функция от fO_2 при $1200^\circ C$ и давлении окружающей среды. (б) Константы равновесия как функция от fO_2 [3].

Растворимость серы также изменяется в зависимости от летучести серы [2, 6]. Оно увеличивается с повышением f_{S_2} и понижением f_{O_2} (рис. 3).

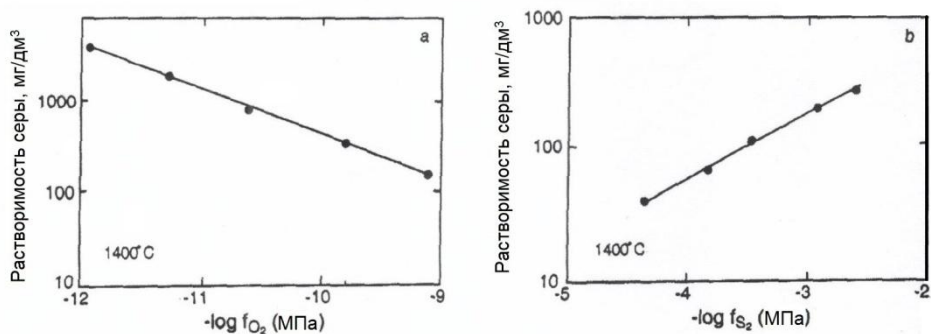


Рис. 3. Растворимость серы в расплавах при 1400°C и давлении окружающей среды в системе $CaO-MgO-Al_2O_3$ (a) как функция от f_{O_2} при $\log f_{S_2} = -1,91$, и (b) как функция от f_{S_2} при $\log f_{S_2} = -10,28$ [4].

Предположение, что сера может заменять кислород в некоторой части расплава:

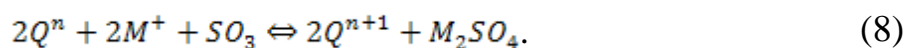


дало основание для разработки концепции емкости серы, C_s :

$$C_s = W_{t_i} \left(\frac{f_{O_2}}{f_{S_2}} \right). \quad (7)$$

В уравнении (7) W_{t_i} - это массовая доля данного кислорода, i , а f_{S_2} и f_{O_2} - это летучести серы и кислорода, соответственно. Влияние концентрации кислорода на емкость серы может быть разительным, возможно, отражая различное сродство S^{2-} со специфическими катионами в расплаве, скорее такими как Fe^{2+} , чем Ca^{2+} .

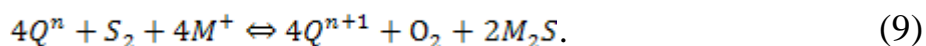
Растворение окисленной серы для формирования групп SO_4^{2-} включает перенос кислорода из силикатных соединений в серные. Можно описать реакции серы с помощью упрощенного выражения, используя одновалентные катионы металлов, M^+ :



где M_2SO_4 представляет соединения сульфатов, а Q^n и Q^{n+1} - соединения кремния. Уравнение (8) подразумевает, что растворение окисленной серы в силикатных расплавах для формирования соединений сульфатов дает, как следствие, полимеризацию силикатных сетей.

Можно написать аналогичные реакции для соединений сульфидов в силикатных расплавах. Вновь, кислород будет перенесен из соединений кремния в соединения сульфидов. Если, по аналогии с уравнением (8), предполагается формирования сульфидного комплекса с одновалентными метал-

лами, M^+ , то реакция формализованной серы происходит следующим образом:



В результате, механизмы растворения сульфидов дают, как следствие, полимеризацию силикатных сетей точно также, как и растворение сульфатов. Следовательно, чем выше содержание серы, неважно, окисленной или восстановленной, тем более полимеризованны силикатные сети.

В работе [7] рассмотрены особенности выделения сернистых газов из доменных шлаков. Пористость последних, используемых в дорожном строительстве, является нежелательной. Показано, что основным механизмом порообразования доменных шлаков является выделение из них при остывании сернистого ангидрида (SO_2) и паров серы. Выделение серы и SO_2 происходит из-за окисления шлаковых расплавов воздухом. Пористость почти полностью может быть устранена в результате присадок раскислителей в шлак. Наибольший эффект при этом достигается при добавках 0,5% Al или 1,0% порошка ферросилиция. Пористость снижается так же введением в шлак веществ, содержащих Fe_2O_3 для десульфации шлаков перед их разливкой. Пористость снижается также путем разливки шлака тонким слоем (2-6 см), что обеспечивает достаточно быстрое его охлаждение и подавление тем самым процессов порообразования.

Выводы. Сера находится в силикатном расплаве, как окисленной, так и в восстановленной форме. Поэтому, ее растворимость зависит и от летучести кислорода, и от летучести серы. Растворимость серы положительно коррелирует с деполимеризацией расплава. Взаимодействие серы с кремнием включает обмен с кислородом и равнодействующей полимеризации расплава. С повышением основности силикатного расплава растет растворимость в нем серы. Эффективными методами борьбы с пористостью являются введение в расплав раскислителей и веществ, содержащих Fe_2O_3 , а также путем разливки шлака тонким слоем. С практической точки зрения, наиболее значимым является процесс растворения серы в окислительных условиях.

Литература

1. Наумов С. В. Разработка шлаковой основы для сварочных материалов из минерального сырья Урала : автореф. дис. канд. техн. наук. - Екатеринбург: УРФУ, 2014. - 17 с.
2. Richardson F.D. and Fincham C.J.B. (1956) Sulfur and silicate in aluminate slags. J. Iron Steel Inst. 178, 4-15.

3. Nagashima S. and Katsura T. (1973) The solubility of sulfur in $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ melts under various oxygen partial pressures at 1100°C, 1250°C, and 1300°C. Bull. Chem. Soc. Japan 46, 3099-3103.
4. O'Neil H.S.C. and Mavrogenes J.A. (2002) The sulfide capacity and sulfur content at sulfide saturation of silicate melts at 1400°C and 1 bar. J. Petrol. 43, 1049-1087.
5. Holmquist S. (1966) Oxygen ion activity and solubility of sulfur trioxide in sodium silicate melts. J. Amer. Ceram. Soc. 49, 467-473.
6. Abraham K.P., Davis M.W., and Richardson F.D. (1960) Sulphide capacities of silicate melts. J. Iron Steel Inst. 196, 309-312.
7. Ende H., Grebe K., Hofmann E.E., "Stahl und Eisen", 1964, Bd.84, № 23, S. 1511 -1522.

РЕНОВАЦИЯ

УДК 658.588.8 + 621.791.92 + 621.785.5

ПРИМЕНЕНИЕ РЕНОВАЦИИ НА ВЫСОКОГОРСКОМ ГОКе

Громов С. В.

ООО «Высокогорский ГОК», г. Нижний Тагил

zr@udgz.ru

Аннотация. Рассмотрены различные технологии восстановления и упрочнения дорогостоящего, металлоемкого горного оборудования сварочными методами.

Ключевые слова: сварка, наплавка, экономия.

Износом и трещинами при эксплуатации повреждаются лишь небольшая часть массы металлоемкого горного оборудования. Поэтому восстановление его работоспособности сваркой и наплавкой получило широкое распространение. Вместе с тем специфика новых конструкций и применяемых материалов ставит задачи по совершенствованию известных технологий и адаптации их к конкретным условиям.

Импортные мельницы типа Sandvik H6800, не смотря на высокую стоимость, не имеют упрочнения их разъемных поверхностей. Чтобы не допускать их быстрого износа производитель ввел трудновыполнимые ограничения на размер фракции входящей горной массы. В результате, мельницы Высокогорского ГОКа стали нуждаться в частых ремонтах.

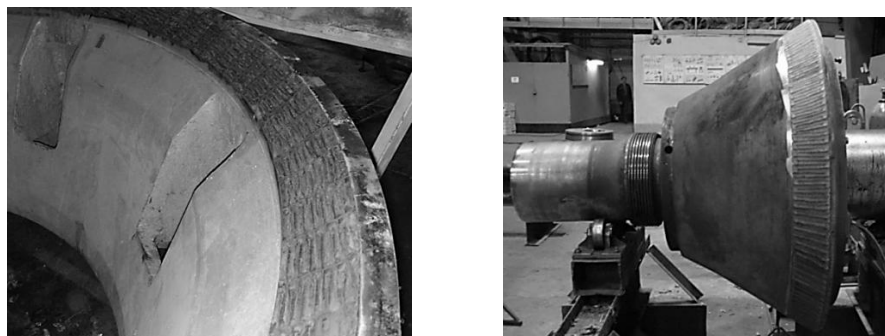


Рис.1. Поверхность разъема чаши (слева) и контактный пояс конуса (справа) дробилки Sandvik H6800, упрочненные установкой УДГЗ-200.

Для замедления износа целесообразна наплавка твердыми материалами, но она из-за образования трещин при наплавке и трудности ее механообработки оказалась не приемлемой. Поэтому использовали принцип из работы [1]: наплавка выполняется материалом низкой твердости, с последующей закалкой установкой УДГЗ-200 до твердости HB350-450. Следуя ему, восстанавливаются валы и чаши дробилок Sandvik H6800, рис.1.

Предупреждение поломок восстановленных сваркой (наплавкой) деталей является важной задачей, ибо сварка вносит изменения, способствующие хрупким и усталостным разрушениям. Поэтому одновременно с заваркой трещин разрабатываются меры по предупреждению их повторного появления. В основе лежит принцип рассредоточения рабочих усилий по площади конструкции, устранение скопления концентраторов напряжений, снижение остаточных напряжений, примеры использования которого изложены в работах [2-4].

Из-за склонности к поломкам на ВГОКе прекращали наплаку натяжных осей экскаваторов ЭКГ-5А, рис.2.а. Однако большая масса оси (~1,5т) и высокая ее стоимость, побуждали к корректировке технологии наплавки, в результате чего поломки наплавленных осей были ликвидированы.

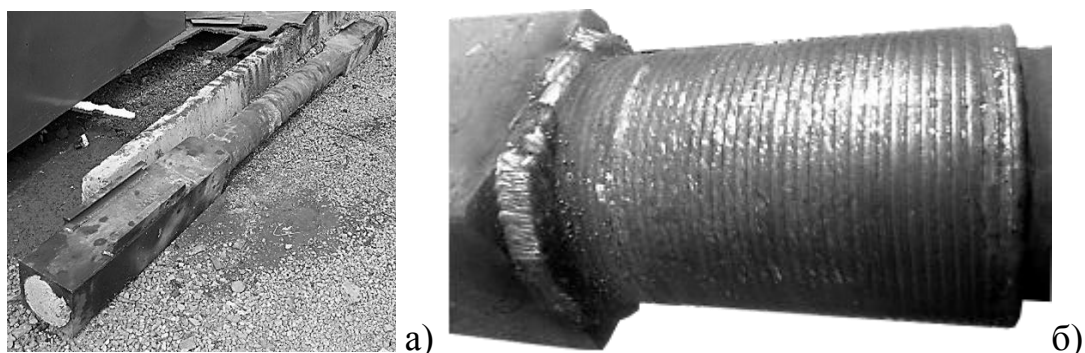


Рис.2. Поломка наплавленной оси (а) и вид наплавки по скорректированной технологии (б).

В 2016г для ВГОКа было восстановлено деталей общей массой 50 тонн на сумму 17,5 млн.руб (50х350 тыс.руб / т). При затратах на реновацию (3,5млн. руб) экономия составила 14млн. руб.

Литература

- 1 Коротков В. А. Плазменная закалка слоя наплавки 30ХГСА. // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2015. №5. С. 19-21.
- 2 Из опыта ремонтов горно-обогатительного оборудования. / Коротков В.А., Замотин В.А., Петрунин Н.Е., Петров С.Н. // Ремонт, восстановление, модернизация, 2005. – № 9. – С. 37-41.
- 3 Совершенствование технологий ремонта ковша и рукояти экскаватора ЭКГ-5А. / Гаев А.С., Коротков В.А. // Технология машиностроения, 2010. №10. С.47-50.
- 4 Коротков В.А. Проактивные ремонты в металлургической отрасли. // Известия вузов: Черная металлургия, 2014. № 8. С. 18-24.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Михайлов И. Д.

ООО «Композит», г. Нижний Тагил

st@udgz.ru

Аннотация. *Исследован опыт реновации цилиндров и плунжеров гидравлических прессов, плунжеров и корпусов насосов высокого давления.*

Ключевые слова: *сварка, наплавка, гидравлическое оборудование.*

Цилиндры прессов выполняются из среднеуглеродистой или легированной стали типа 35Л, 40ХН2МА и др. При ремонтной сварке (наплавке) целесообразно применение подогрева и облицовки кромок низкоуглеродистыми электродами с малым проплавлением основного металла. Ее производят универсальными способами: покрытыми электродами или сварочными полуавтоматами, но в последнем случае обеспечивается более высокая (в 3-5 раз) производительность [1, 2].

Износу подвержены внутренние поверхности под уплотнения и под бронзовые «груд-буksы», так же наружные места контакта с траверсой. Наличие воды и высоких давлений усиливает механическое изнашивание кавитационно-коррозионными явлениями, поэтому при восстановлении целесообразно использовать нестабильно-аустенитного материалы (X20H9Г7Т и X14Г14H4Т). Их наплавка не вызывает трещин, а способность к деформационному γ - α превращению обеспечивает в ходе обточки и эксплуатации увеличение твердости от HRC25 до HRC45 [3].



Рис. Наплавленная внутренняя поверхность цилиндра гидравлического пресса, наплавка корпуса насоса высокого давления и наплавленный плунжер гидравлического пресса (слева направо).

По окончании ремонтной сварки и наплавки производится отпуск в печи (если она имеется) или локальный подогрев места сварки с последующим замедленным остыванием под термоизоляционным одеялом. Кроме того, для понижения концентрации напряжений шлифуются места перехода наплавленного металла к основному металлу.

На рис. показана внутренняя поверхность цилиндра гидравлического пресса, наплавленная сварочным полуавтоматом нестабильно-аустенитной сталью.

Таблица

Количество (шт) деталей для гидравлических насосов и прессов наплавленных в ООО Композит за последние 10 лет

Плунжеры насосов: Г-301, Г-305, УНБТ-950, TWS-2000 (250,400,600) и др.		~4500
Плунжеры прессов	$D < 500\text{мм}$	~140
	$D \geq 500\text{мм}$	~90
Гидроцилиндры прессов		~80
Корпуса насосов и клапанные коробки		~300

В ООО «Композит» ежегодно наплавляются плунжера для различных насосов высокого давления и для различных прессов, а также корпуса насосов и клапанных коробок (см. рис. и табл.). Для придания им износостойкости производят наплавку с повышенным (более 12 – 13 %) содержанием хрома. Плунжера прессов наплавляют сталью с твердостью HRC35-45 [4]. Для наплавки плунжеров насосов высокого давления используются материалы с более высокой твердостью HRC55-60 [5, 6]. При этом расчетно-экспериментальными методами решены проблемы предупреждения и правки искривления плунжеров в результате наплавки [7-9]. При наплавке корпусов насосов, как при наплавке цилиндров прессов используется нестабильно-аустенитная сталь.

Литература

1. Сварка в действующем производстве / Коротков В.А., Агафонов Э.Ж., Михайлов И.Д., Веснин А.М. // Ремонт, восстановление, модернизация, 2008. № 12. С. 2-7.
2. Коротков В.А. Опыт применения сварочных полуавтоматов на предприятиях Уральского региона. //Сварочное производство, 2004. №3. С.32-36.
3. Коротков В.А. Наплавка в промышленности. // Тяжелое машиностроение, 2001. № 2. С. 8-13.

4. Реновационные работы в прессовом производстве. Коротков В.А., Михайлов И.Д. / Кузнечно-штамповое производство. Обработка материалов давлением, 2011. - №8. – С. 39-42.
5. Наплавка плунжеров насосов высокого давления. / Коротков В.А., Михайлов И.Д. // Сварочное производство, 2012. - №4.– С.34-38.
6. Коротков В.А. Исследование хромистой наплавочной проволоки . // Технология машиностроения, 2015. №11. С.5-9.
7. Влияние сварочных напряжений на искривление наплавленных деталей при обточке. / Коротков В.А. Трошин О.В., Евдокимов А.А. // Тяжелое машиностроение, 2000. №11. С.31-38.
8. Коротков В.А. Термическое деформирование деталей. // Тяжелое машиностроение, 2002. № 7. С. 8-11.
9. Правка длинномерных цилиндрических деталей термопластическим деформированием. / Коротков В.А., Пыстогов А.А // Вестник машиностроения, 2015. № 4. С. 52-54.

УДК 621.791.92

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕТОДОМ ЭИЛ МУФТЫ РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО СТАНКА

Шекуров А. В.

ООО «Композит», г. Нижний Тагил

zp@udgz.ru

Аннотация. Рассмотрено применение электроискрового легирования для восстановления поверхностей, испытывающих высокие контактные нагрузки.

Ключевые слова: наплавка, электроискровое легирование.

Станок VSC-4DUO предназначен для нарезки резьбы в муфтах обсадных и насосно-компрессорных труб. В патрон станка «комплект» устанавливаются «поворотная часть» (1 шт) и «поршень» (2шт). При эксплуатации их контактные поверхности изнашиваются с увеличением зазора до 0,1...0,4 мм.

В октябре 2015 года все импортные (германские) комплекты получили износ более 0,1 мм, а собственное производство не успевало изготавливать необходимое количество новых комплектов. План выпуска муфт оказался под угрозой срыва.

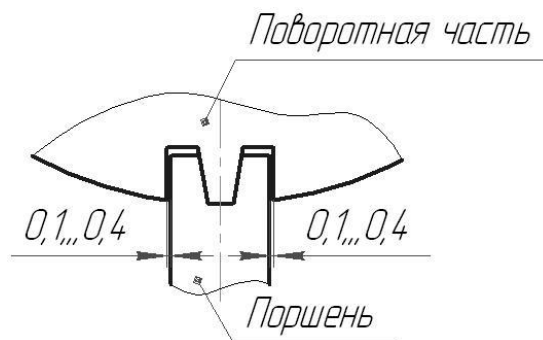


Рис. Схема восстанавливаемого соединения

Для выхода из положения на основании имеющегося опыта [1, 2] применили восстановление изношенных комплектов методом ЭИЛ. Восстановленные комплекты после износа до 0,4 мм восстанавливались повторно. Средняя стойкость восстановленного комплекта составляет 70% от стойкости нового комплекта собственного изготовления. План производства, благодаря восстановлению, был выполнен.

С октября 2015 года по март 2016 восстановлено ~ 100 комплектов, каждый из которых восстанавливался до 8 раз. Стоимость восстановления комплекта составляет 2тыс. руб, а стоимость изготовления около 200тыс. руб. Таким образом, экономия от одного восстановления с учетом 705 стойкости составляет:

$$(200 \text{ т. руб} - 2 \text{ т. руб}) \times 0,7 \sim 138 \text{ тыс. руб.}$$

Эффективность затрат на восстановление муфт составляет:

$$138 \text{ т. руб} / 2 \text{ т. руб} = 68 \text{ руб. экономии на один руб. затрат.}$$

Литература

1. Коротков В.А. Электроискровое упрочнение и восстановление деталей. // Главный механик, 2012. №1. С.43-47.
2. Восстановление тяжелых валов методом электроискрового легирования. Коротков В.А., Агафонов Э.Ж., Шекуров А.В., Ячменев Э.В. // Горный журнал, 2006. - №2. – С. 59-61.

РЕМОНТНАЯ СВАРКА ШЛАКОВОЗНЫХ ЧАШ

Агафонов Э. Ж.

ООО «Композит», Нижний Тагил, РФ

st@udgz.ru

Аннотация. Изложен опыт ремонтной сварки шлаковозных чаш.

Ключевые слова: ремонт, сварка, шлаковозные чаши.

Шлаковозные чаши изготавливаются литьем из стали 25Л...35Л и имеют стенки толщиной до 100мм. Они используются для транспортировки жидкого шлака из доменного цеха к месту складирования. В результате многократных циклов нагрева-охлаждения в них образуются трещины. Кроме того, возможен износ потоками жидкого шлака, с уменьшением толщины стенки. Основные трудности при ремонтной сварке чаш заключаются в следующем:

- ✓ разветвленность трещин и рыхлость металла в местах их расположения;
- ✓ склонность к образованию сварочных трещин при сварке больших толщин,
- ✓ создание временных рабочих мест для сварочных работ.

Основные решения, применяющиеся при ремонтной сварке чаш, заключаются в разделке трещин, применении скоростной сварки, минимизации объема наплавки, контроллинге теплового режима, предупреждение концентрации напряжений [1-3].

Наиболее распространенными дефектами, устраняемыми ремонтной сваркой (рис.) и наплавкой являются: трещины, сетка трещин разгара, промывы. Обширные промывы, сетки разгара и деформации устраняются их вырезкой с последующей приваркой «заплат».

Ремонтная сварка по опыту эксплуатации отремонтированных чаш на ЧМК, НТМК, ЧЭМК увеличивает наработку чаш на 80% по отношению к имеющейся наработке, при затратах на сварку менее 15% от стоимости новой чаши. Трещины в отремонтированных чашах возникают преимущественно в новых местах. Имеется опыт повторного ремонта чаш, но в этом случае их второй послеремонтный срок сокращается примерно вдвое.

Литература

1. Коротков В.А. Наплавка в промышленности // Тяжелое машиностроение, 2001. №2. С. 8-13.
2. Коротков В.А. Опыт применения сварочных полуавтоматов на предприятиях Уральского региона. //Сварочное производство, 2004. №3. С.32-36.

3. Сварка в действующем производстве / Коротков В.А., Агафонов Э.Ж., Михайлов И.Д., Веснин А.М. // Ремонт, восстановление, модернизация, 2008. № 12. С. 2-7.

УДК 621.791.92 + 629.356

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУТЕРОВКИ КУЗОВОВ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Веснин А. М.¹ (st@udgz.ru), Воронин С. В.²

¹ООО «Композит», г. Нижний Тагил;

²АО «ЕВРАЗ КГОК», г. Качканар

Аннотация. Проведен анализ эффективности применения износостойкой наплавки футеровки кузовов карьерных самосвалов грузоподъемностью 45 т, 55 т и 130 т и ее сравнение с футеровкой листами Hardok-450.

Ключевые слова: наплавка, износостойкость, кузов самосвала.

В 90-х годах на Качканарском ГОКе применялись карьерные самосвалы БелАЗ-548 грузоподъемностью до 45т. Листовая обшивка кузовов, выполненная из стали 14Х2ГМ, за год эксплуатации получала износ, деформировалась, что увеличивало нагрузки на несущие балки. В свою очередь балки, имеющие коробчатое сечение подвергались коррозии выхлопными газами дизеля, подаваемыми для обогрева кузова и предупреждения намерзания на него руды в зимнее время. Ослабленный износом и коррозией кузов делался не пригодным для ремонта и подлежал замене новым.

С целью продления срока службы кузовов их начали футеровать (облицовывать) стальными листами. Футеровочные листы (сталь Ст.3, 20, 09Г2С), изнашивались неравномерно, и в местах сквозного износа между ними и листами кузова попадала, сыпаемая из кузова. Своим движением она отрывала футеровочные листы, которые транспортируясь вместе с рудой попадали в дробилки, и становились причиной их аварийных остановок.

Тогда для замедления износа кузовов вместо их футеровки было решено опробовать износостойкую наплавку, которая назначена с учетом имеющегося опыта наплавки других изделий [1, 2]. В октябре 1995г на полу нового кузова сварочным полуавтоматом была выполнена опытная твердая (~HRC55) наплавка «сеткой». Через год эксплуатации наплавленный слой сохранился, листы пола заметного износа не получили. За это же время на контрольном самосвале футеровочный лист из стали Ст.3 толщиной 30мм получил износ на всю свою толщину, а находящийся под ним лист пола кузова - на глубину 5 мм.

Полученный результат дал основание перейти от наплавки кузова к наплавке футеровочных листов. В 1998 г. выполнили наплавку футеровочных листов на одной половине кузова самосвала БелАЗ-548; футеровочные листы на другой половине кузова (для сравнения) остались не наплавленными. Через месяц эксплуатации не наплавленные листы получили износ 2 мм, тогда как наплавленные оставались без износа. Чтобы избежать преждевременного выхода из строя опытного кузова из-за быстрого износа не наплавленных листов, произвели их наплавку. Кузов с наплавленной футеровкой отработал два года, т.е. вдвое больше обычного, что стало основанием к постоянному применению наплавки.

Поскольку наплавка существенно замедлила износ, то толщину футеровочных листов, подлежащих наплавке, уменьшили от 30мм до 12мм. Так же применили дифференцированное изменение размера ячейки наплавливаемой сетки, в зависимости от интенсивности изнашивания конкретного места кузова.

Кроме наплавки футеровки пола кузова выполнялась наплавка футеровки дымоходов и бортов. Важным результатом ее применения на автосамосвалах БелАЗ-548 явилось:

- ✓ уменьшение на 3,7 т массы футеровки,
- ✓ двукратное сокращение расхода кузовов,
- ✓ устранение аварий на дробилках от попадания в них футеровочных листов.

В 2003 г. самосвалы БелАЗ-548 (грузоподъемность 45т) стали заменяться самосвалами более высокой грузоподъемности БелАЗ-7555 (55т). Анализ результатов наплавки футеровки на 18 кузовах самосвалов БелАЗ-7555 показал, что ее наработка оказалась не ниже, чем на самосвалах БелАЗ-548.

В 2011 г. в результате закупа БелАЗов-75131 грузоподъемность самосвалов более чем удвоилась (130 т). Марка стали их кузовов (17ГС), как и на предыдущих самосвалах, не обладает высокой износостойкостью при абразивном изнашивании, поэтому было решено продолжать футеровку. Однако существенно возросшая масса загружаемой руды стала вызывать быстрые повреждения тонких (12 мм) футеровочных листов, поэтому их толщину увеличили до 20 мм. Нарботка футерованных кузовов с наплавкой составляет 19-22 мес., т.е. не смотря на более чем двукратное увеличение грузоподъемности, сохранилась на высоком уровне.

По предложению Поставщика БелАЗ-75131 некоторые кузова были футерованы листами сплава Hardox-450 без дополнительной износостойкой наплавки. Сравнение затрат на футеровку листами Hardox-450 и листами

из стали 09Г2С с износостойкой наплавкой показали, что последняя при равной наработке кузовов дает экономию около 350 тыс. руб. на один кузов. Окончательное решение о методике футеровки кузовов самосвалов БелАЗ-75131 будет принято после определения срока службы кузовов с футеровкой листами Hardox-450.

Литература

1. Коротков В.А. Исследование износостойкости твердых наплавочных материалов в производственных условиях // Известия ВУЗов: Черная металлургия, 2013. № 1. С. 44-51.
2. Коротков В.А. Проактивные ремонты в металлургической отрасли // Известия ВУЗов: Черная металлургия, 2014. №8. С.18-24.

УДК 621.791.75

ЗАВАРКА ДЕФЕКТОВ ЛИТОЙ СТАНИНЫ РОТОРА

Лошаков С. А., Плаксина Л. Т. (plt2006@yandex.ru)

РГППУ, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Представлена технология заварки дефектов литой станины ротора из стали 35Л.

Ключевые слова: заварка дефектов, ротор станины, ручная дуговая сварка.

В настоящее время на предприятии филиала ООО «Уралмаш НГО Холдинг», г. Екатеринбург, нередко возникает потребность в ремонтной сварке, в частности, станин роторов. Ротор является одним из важнейших узлов установок для бурения скважин нефтяных и газовых скважин. Используется для вращения бурового инструмента и поддержания колонны бурильных труб. Роторы изготавливаются трех типоразмеров, включая ротор Р-1260, спроектированный для бурения на шельфе.

Ротор состоит из станины с расточкой для стакана со смонтированным приводным валом. На столе и станине ротора расположены кольцевые проточки. Они образуют лабиринтные уплотнения для защиты масляной ванны от попадания в нее раствора. В станине так же установлен упорный подшипник, а снизу - вспомогательный подшипник. Вспомогательный подшипник ротора предназначен для центрирования стола ротора и восприятия, направленных вверх нагрузок. Снизу установлено специальное лабиринтное колесо, предохраняющее попадание раствора в масляную ванну.

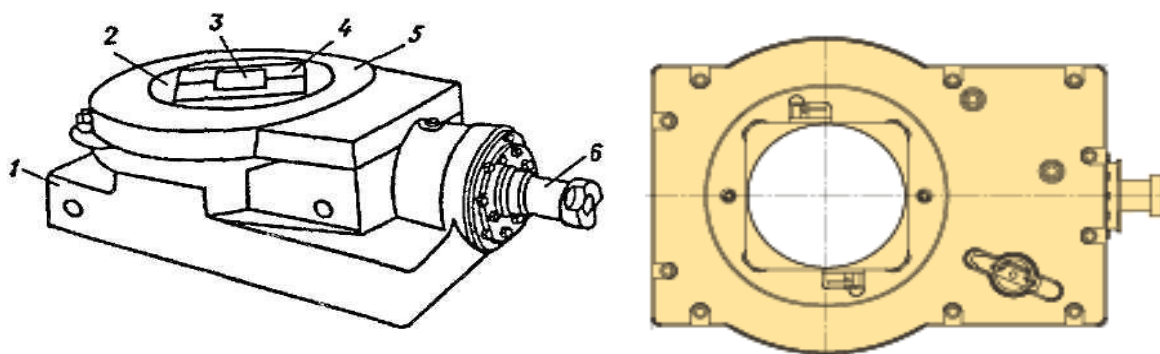


Рис. 1. Ротор Р-1260 и его станина (справа): 1 - станина; 2 - стол с укрепленным зубчатым венцом; 3 - зажимы; 4 - вкладыши; 5 - кожух; 6 - вал

Литая станина ротора приспособлена для установки и крепления пневматического клиньевого захвата. Это позволяет механизировать захват и освободить колонны бурильных и обсадных труб при выполнении спуско-подъемных операций.

Станина ротора изготавливается из стали марки 35Л и работает при отрицательных температурах до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сталь 35Л (табл. 1) перлитного класса, требующая подогрева при сварке [1].

Таблица 1

Химический состав в % стали 35Л ГОСТ 977 – 88 [1]

С	Si	Mn	S	P
0,34	0,33	0,65	0,023	0,021

После чистовой механической обработки детали, в станине ротора обнаружены трещины длиной 60 мм, 50 мм, 28 мм и 35 мм.

Существующий стандарт предприятия (СТП 50.00 – 2007) «Свариваемость сталей. Классификация» предлагает три следующих способа заварки дефектов деталей для данной марки стали: ручная дуговая сварка, механизированная сварка в среде защитных газов и автоматическая сварка под флюсом [2].

Автоматическая сварка под флюсом была исключена в силу конструктивных особенностей детали и расположения дефектов (трещин). Из двух других способов сварки, с учетом квалификации сварщиков предприятия, выбрана ручная дуговая покрытыми электродами.



Рис. 3. Дефекты в станине ротора

В соответствии с анализом СТП 50.00 – 2007 рассмотрены марки электродов: АНО – 11; УОНИ 13/55; ОЗЛ – 6. Электроды марки ОЗЛ-6 в соответствии с СТП 50.00 – 2007 применять не рекомендуется, так как они назначаются с использованием последующей термической обработки [2]. Сравнение механических свойств электродов двух других марок указало на преимущество марки УОНИ 13/55. Кроме того, электроды УОНИ 13/55 обеспечивают получение металла шва с высокой стойкостью к образованию трещин и рекомендованы для сварки при низких температурах (в том числе, в условиях Арктики). С участием сотрудников отдела Главного сварщика (ОГС) Военковой Е.Б. и Потаповой В.В. была разработана следующая технология заварки дефектов станины ротора (табл. 2).

Таблица 2

Карта ремонтной сварки станины ротора

№ п/п	Содержание операции
1.	Засверлить концы трещин. Трещины разделить механически
2.	Провести магнитопорошковую дефектоскопию (МПД) на полноту удаления дефектов
3.	Места сварки очистить от загрязнений
4.	Окончательно обработанные поверхности, прилегающие к месту сварки, укрыть от брызг асбестовым полотном
5.	Выполнить предварительный подогрев до $T = 150-180^{\circ}\text{C}$. Температуру контролировать пирометром ST 25
6.	Перед сваркой электроды прокалить при температуре $T = 250^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ в течении одного часа
7.	Заварить разделки трещин электродами УОНИ 13/55 диаметром 4 мм на постоянном токе обратной полярности, короткой дугой.

	Во избежание стекания сварочной ванны по краям разделок, выходящих на торец, наплавить валик высотой 4-5 мм. Заполнять разделки не допуская перегрева. Первый слой наплавлять на токе $I_{св} = 110-140$ А, а последующие слои $I_{св} = 140-80$ А. Валики накладывать с перекрытием на 1/3 ширины предыдущего
8.	Тщательная послойная зачистка от шлака
9.	Укрыть места сварки асбестовым полотном до полного остывания
10.	Зачистить поверхности сварки и прилегающие к ним от шлака и брызг
11.	Качество сварки проверить МПД

Анализ технологической наследственности брака деталей подобных конструкций выявил возможность использования данной технологии в качестве типовой для ремонтной сварки литых деталей.

Литература

1. ГОСТ 977 - 88. Отливки стальные. Общие технические условия [Текст]. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. - 2 с.
2. СТП 50.00 – 2007. Свариваемость сталей. Классификация [Текст]. - Екатеринбург : Стандарт предприятия ЗАО «УРБО», 2008.

УДК 621.791.92

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В КОРПУСАХ ОБОРУДОВАНИЯ

Голенков В. Н.

ООО «Композит», Нижний Тагил

st@udgz.ru

Аннотация. Показано, что восстановление отверстий в корпусах оборудования сварочной проволокой уменьшает твердость и снижает работоспособность. Разработана и применяется технология восстановления отверстий с повышенной твердостью.

Ключевые слова: наплавка, восстановление, износостойкость.

В промышленности получили распространение универсальные аппараты «Суперкомбината» для расточки изношенных отверстий по месту эксплуатации оборудования, наплавки и окончательной механообработки. С их помощью избегается трудоемкая разборка оборудования, транспортировка его частей на заводы для восстановления, возврат и новая сборка.

Применяемая для наплавки сварочная проволока дает наплавленному металлу небольшую твердость, что благоприятствует его последующей обработке резцом. Но низкая твердость наплавки НВ120, которая ниже твердости основного металла НВ180, уменьшает сопротивление изнашиванию, и, как следствие, восстановление отверстий становится причиной последующих частых ремонтов. Во избежание этого применили наплавку с твердостью НВ220. Это значение твердости выше, чем у основного металла, но не настолько, чтобы вызвать затруднения с механообработкой. После механообра-

ботки производится плазменная закалка установкой УДГЗ-200 [1] до твердости HB350 (табл.), которая является финишной операцией, поэтому не вызывает существенного удорожания процесса восстановления отверстий. Восстановленные с плазменной закалкой отверстия существенно увеличивают износостойкость [2]. Восстановление отверстий «Суперкомбинатой» в ООО «Композит» производится с 2010г, а применение упрочняющей наплавки и плазменной закалки при восстановлении – с 2015 г.

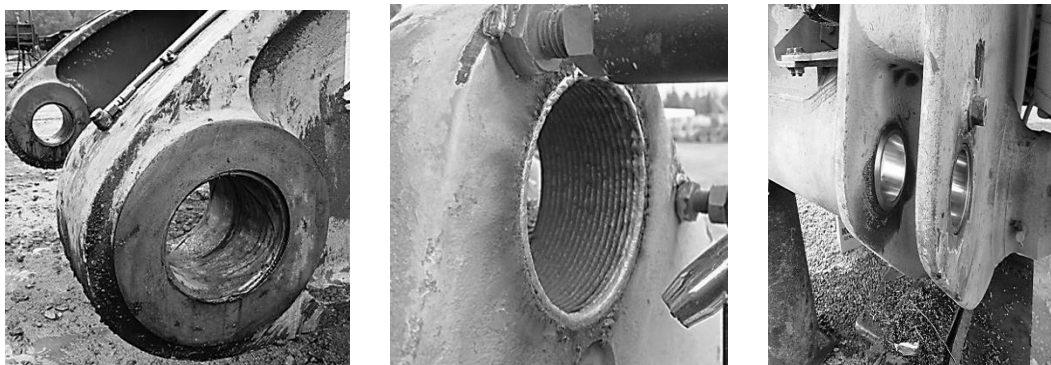


Рис. Проушины (слева направо): изношенные, наплавленная, после восстановления.

Таблица

Твердость поверхности отверстий в различном состоянии

Сталь 35Л	Типовая наплавка сварочной проволокой	Наплавка по технологии ООО «Композит»
HB180	HB120	HB220 – после наплавки HB350 – после плазменной закалки

Изношенные отверстия восстановлены в корпусах следующего оборудования. Экскаваторы ЭКГ-5А, KOMATSU PC-2000 и PC-1250 (поворотная платформа, рукоять, редуктор привода, ковш). Шахтная буровая установка «Бумер» и шахтные погрузочно-доставочные машины ПДМ ST 1030 и МО-А3. Самосвал KOMATSU HD 785-5 (передняя и задняя подвеска), прокатный стан ТПА-140, лесовалочная машина Харвестер 1270Е и др.

Литература

1. Коротков В.А. Плазменная закалка деталей металлургического оборудования. // Металлург, 2014. № 8. С. 96-100.
2. Исследование износостойкости углеродистых сталей, упрочненных плазменной закалкой. / Коротков В.А., Злоказов М.В. //Трение и износ, 2014. Том 35. № 2. С. 178-182.

УДК 621.785.5+621.791

ПЛАЗМЕННАЯ ЗАКАЛКА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 15Л

Красников М. В.

ООО «УПЭК-ТРЕЙДИНГ», г. Харьков, Украина

krasnikov@upec-trading.com

Аннотация. Исследованы твердость и износостойкость стали 15Л после плазменной закалки установкой УДГЗ-200. Показана целесообразность проведения плазменной закалки корпуса буксы грузового вагона.

Ключевые слова: низкоуглеродистая сталь, закалка плазменной дугой, износостойкость.

Современные подшипниковые узлы в буксовых узлах железнодорожных вагонов имеют межремонтный пробег до 8 лет или 800 тыс. км пробега. Вместе с тем ремонт корпуса буксы производится после 370 тыс. км пробега. С целью сокращения частоты ремонтов буксового узла целесообразно добиваться увеличения стойкости корпуса буксы до уровня стойкости подшипника.

Эффективным средством снижения износа является поверхностная закалка [1]. Ее проведение на корпусах буксы возможно с помощью плазменной установки УДГЗ-200 [2, 3], которая эффективно увеличивает износостойкость, в том числе и низкоуглеродистой стали 20ГЛ [4].

Целью настоящей работы является исследование влияния плазменной закалки установкой УДГЗ-200 на твердость и износостойкость стали 15Л, используемой для изготовления корпуса буксы железнодорожного вагона.

Использовались образцы (по 4 образца в каждой группе) из корпусов буксы в состоянии: а) поставки, б) наплавленные порошковой проволокой ПП-Велтек-Н290, которая может применяться при восстановлении износа изношенных букс, в) упрочненные плазменной закалкой установкой УДГЗ-200.

Измерения твердости образцов выполнены прибором Бринелля. После исключения 2х крайних значений вычислялась средняя твердость для каждой группы образцов.

Испытания образцов сухим возвратно-поступательным трением по стальной пластине проводилось опорной площадью 100 кв. мм, с силой прижатия 142 Н, частотой перемещения 22,4 мин⁻¹, амплитудой 110 мм, в течение 36 тыс. циклов. При этом температура в зоне трения не превышала 48,5

град. С. Износ измерялся в потерях толщины образцов. После исключения двух крайних значений вычислялся средний износ для каждой группы образцов.

Результаты измерений представлены в таблице, по которой можно отметить следующее. Наплавка вдвое увеличила твердость, но износостойкость уменьшилась примерно на 25%. Это связано с интенсификацией явлений «схватывания» между поверхностями трения, о чем свидетельствовало образование более грубых бороздок на наплавленных образцах. Вероятными причинами усиления «схватывания» является изменением структуры и химического состава поверхности трения, внесенные наплавкой.

Плазменная закалка в среднем увеличила твердость от HB150 до HB200 (на 60%), а износостойкость - на 52%. При этом явления «схватывания» в меньшей мере повреждали поверхность закаленных образцов, нежели образцов с наплавкой.

Таблица

Износ по толщине (мм) образцов

Состояние образцов	Средняя твердость, HB	Средний износ, мм	Коэффициент износостойкости
Без упрочнения	HB150	3,12	1,0
С наплавкой ПП-Велтек-Н290	HB300	3,89	0,75
С плазменной закалкой установкой УДГЗ-200	HB200	1,49	1,52

Модификация стали 15Л плазменной установкой УДГЗ-200, позволила стали оказать большое сопротивление истиранию, в среднем на 52 % меньше, чем у образцов без упрочнения. В начале проведения испытаний закаленный поверхностный слой оказывает значительное сопротивление. Данная технология приемлема как для выполнения ремонтных работ корпуса буксы, так и при изготовлении новых корпусов.

Литература

1. Гаркунов Д. Н. Триботехника. – М. : Машиностроение, 1999. – 336 с.
2. Коротков В.А. Свойства и промышленное применение ручной плазменной закалки. // Металловедение и термическая обработка металлов, 2016. № 8. С. 3-9.
3. <http://1m63.ru/katalog-stankov/UDGZ200>
4. Исследование изменения поверхностного слоя стали 20ГЛ при плазменной закалке. / Шур В.Я., Коротков ВА, Шишкина Е.В. // Вопросы материаловедения, 2013. №3 (75). С.15-20.

О ПРОМЫШЛЕННОМ ПРИМЕНЕНИИ ЛАЗЕРНОЙ И ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ

Козлов В. В.

АО «НПК «Уралвагонзавод»

tnt10@uvz.ru

Аннотация. Детали, упрочненные лазерной и плазменной закалками, многократно продлевают срок службы. Лазерная закалка отличается от плазменной более высокой стоимостью оборудования, поэтому предпочтительна в условиях крупносерийного производства. Плазменной установкой УДГЗ-200, благодаря ручному ведению, имеется возможность закаливать поверхности недоступные другим способам упрочнения. Это в совокупности с невысокой стоимостью оборудования, делает ее рентабельной в условиях и единичного, и мелкосерийного производства.

Ключевые слова: поверхностная закалка, износостойкость, лазер, плазма.

Возможность закалки (без плавления поверхности) лазерным лучом по свето-поглощающему покрытию была установлена 60-х годах. Современные лазеры позволяют вести закалку без покрытий, что способствует их применению в промышленности [1]. В начале 2-х тысячных годов была разработана установка УДГЗ-200, сделавшая поверхностную плазменную закалку доступной ручному применению, что позволило закаливать поверхности, недоступные другим способам [2]. При выполнении лазерной и плазменной закалки на поверхности создаются закаленные полосы (шириной ~ 10мм, глубиной ~ 1мм), которые располагаются с некоторым взаимным перекрытием. Небольшие размеры закаленных полос дают пренебрежимо малые деформации, что позволяет многие закаленные детали направлять в эксплуатацию без финишной трудоемкой механообработки закаленных поверхностей, получая при этом уменьшение себестоимости и трудоемкости процесса изготовления.

Анализ износостойкости дисков показал, что они в результате плазменной и лазерной закалок примерно равноценно (в десятки раз) увеличивают износостойкость сталей [3-4]. Рост износостойкости закаленных дисков сопровождается несколько меньшим, но существенным ростом износостойкости сопряженных незакаленных колодок. Отсюда следует, что, расхожее в среде механиков мнение, что упрочнение одной детали неизбежно вызывает ускоренный рост сопряженной, по меньшей мере, не всегда справедливо.

В таблице приведено сравнение технических характеристик оборудования лазерного и плазменного оборудования. По ней можно отметить сле-

дующее. Производительность лазерной закалки (225мм^2) примерно в 3 раза превышает производительность плазменной (70мм^2), но у нее в ~ 4 раза выше потребление энергии, а масса оборудования (более 1 т) столь значительная, что не предполагает использование в передвижных постах.

Таблица

Комплектация постов поверхностной закалки

	Лазерная закалка	Плазменная закалка
Состав оборудования	1. Дисконный лазер TruDisk 4001. 2. Робот KUKA KR60. 3. Стол KUKA DKP 400.1	Установка УДГЗ-200*
Совокупная потребляемая мощность, кВт	~ 36	~ 8
Совокупная масса, кг	> 1000	~ 40
Производительность закалки, $\text{мм}^2 / \text{с}$	~ 225	~ 70
* Поставляется в 2-х вариантах: в однокорпусном исполнении для стационарных постов, и в двухкорпусном исполнении для передвижных постов.		

Из материалов, предоставленным некоммерческим партнерством «Вятский лазерный инновационно-технологический центр», следует, что преимущественное применение лазерная закалка получила в крупносерийном производстве. На фирме General Motors (США) 15 лазерных установок обрабатывают картеры рулевого управления с увеличением их срока службы в 5 раз. Устранение деформаций и последующего шлифования дало сокращение расходов на 80%. Фирма «Авко Эверетт» (США) для увеличения усталостной прочности производит 100% лазерную закалку галтелей коленчатых валов тракторов. Фирма «Комацу Сэйсакусе» (Япония) с целью снижения себестоимости коленчатых валов азотирование их шеек заменила лазерной закалкой.

Лазерная закалка не возможна без автоматизации или роботизации процесса, что наряду с высокой стоимостью оборудования, затрудняет внедрение ее в мелкосерийном производстве, для которого более подходит плазменная закалка установкой УДГЗ-200. Предприятием ООО «Композит» (г. Нижний Тагил) их выпущено более 100шт., которые реализованы в России, Украине, Беларуси, Казахстане, Киргизии, Азербайджане. Ручное ведение плазменной закалки дает возможность закалывать поверхности недос-

тупные или труднодоступные для других способов, что расширяет сферу применения установки УДГЗ-200 и обеспечивает загруженность ее работой. Закалка чаще всего происходит без подачи воды на деталь, за счет теплоотвода в ее тело [5]. Это позволяет создавать рабочие места не только в специальных термических цехах, но и на механических или сборочных участках, что уменьшает капитальные вложения и сокращает логистику техпроцессов изготовления деталей. Применение плазменной закалки на Уралвагонзаводе началось в 2003г. Число закаливаемых в год запасных частей для механического оборудования достигло 370 шт. Проводится плазменная закалка вырубных штампов, со снижением их расхода в 2,5 раза.

Заключение

Лазерная и плазменная закалка не вызывает существенного ухудшения шероховатости и не приводят к значительным деформациям, благодаря чему многие закаленные детали без финишной механообработки сразу отправляются на сборку, что сокращает логистику и себестоимость изготовления. Плазменная и лазерная закалки в десятки раз, увеличивают износостойкость сталей. Вместе с закаленными дисками, износостойкость на машине трения увеличивают сопряженные с ними незакаленные колодки.

Лазерная закалка производится автоматически или с применением роботов, что в совокупности с высокой стоимостью самих лазеров, обуславливает значительные капитальные вложения, поэтому ее применение является предпочтительным в условиях крупносерийного производства. Оборудование для плазменной закалки (~400 тыс. руб.) существенно дешевле лазерного. При этом благодаря возможности ручного ведения (автоматизация не исключается), могут закаливаться поверхности недоступные или труднодоступные для других способов, что увеличивает охват деталей поверхностным упрочнением. Применение плазменной закалки установкой УДГЗ-200 рентабельно в условиях, не только крупного, но единичного и мелкосерийного производства.

Литература

1. Лазерное упрочнение зубьев шестерен мощным волоконным лазером / Н.В. Грезев, И.А. Бегунов, Е.М. Шамов // Сварочное производство, 2015. № 11. С. 25-28.
2. Korotkov V. A. Surface hardening equipment // Chemical and Petroleum Engineering, 2013. Vol. 48. Numb. 11-12. P. 705-708.
3. Исследование термоупрочнения и износостойкости стали 45, обработанной излучением мощного многолучевого CO₂ лазера. / Козлов Г.И., Кузнецов А.В.,

- Сокуренок А.Д., Гриницкий О.Р. // ПОВЕРХНОСТЬ. Физика, химия, механика, 1987. №1. С. 68-73.
4. Исследование износостойкости углеродистых сталей, упрочненных плазменной закалкой. / Коротков В.А., Злоказов М.В. // Трение и износ, 2014. Том 35. №2. С.178-182.
 5. Investigation of The Effect of The Cooling Rate on the Quality of the Surface Layer in Plasma Quenching. / Korotkov V.A., Anan'ev S.P., Shekurov A.V. // Welding International, 2013. Т. 27. № 5. Р. 407-410.

УДК 621.793 + 621.785.5

ПЛАЗМЕННАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА И ЭИЛ СТАЛИ ОХНЗМФА¹

Пыстогов А. А.

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, РФ

nocnt@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты комбинированного упрочнения плазменной поверхностной закалкой и электроискровым легированием.

Ключевые слова: плазменная закалка, электроискровое легирование.

Методы поверхностного упрочнения, начавшие разрабатываться в начале XX века (цементация, газопламенная закалка, азотирование и др.), продолжают вызывать интерес исследователей. Среди них в последнюю четверть века получила развитие поверхностная плазменная закалка, наблюдается новый интерес и к электроискровому легированию (ЭИЛ) [1-3].

В настоящей работе исследовано влияние плазменной закалки и ЭИЛ на свойства стали ОХНЗМФА. Упрочнению подвергались отрезки труб внутренним диаметром 30мм и 125мм. Из них вырезались темплеты и готовились шлифы. Исследования последних проводились на микротвердомере Future Tech FM-300 при нагрузке 50г и 100г в течение 5 с алмазной пирамидкой Виккерса по трассе с шагом 0,25мм. Значения твердости после плазменного упрочнения наружной поверхности трубки Ø30мм представлены на диаграмме рис. 1.

¹ С участием Трекина Г. Е. и Астафьева Г. И.

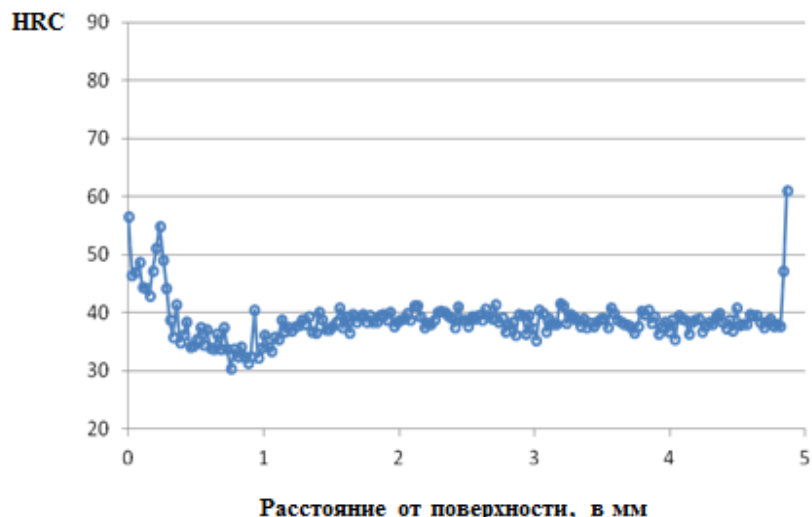


Рис. 1. Твердость трубки Ø30мм после плазменной закалки

Несмотря на малую массу закаливаемых труб, был получен удовлетворительный результат без организации принудительного охлаждения. Твердость в поверхностном слое (до 0,45мм) поднялась в среднем на HV120. Кроме того, на графике виден результат химико-термической обработки трубки на внутренней поверхности.

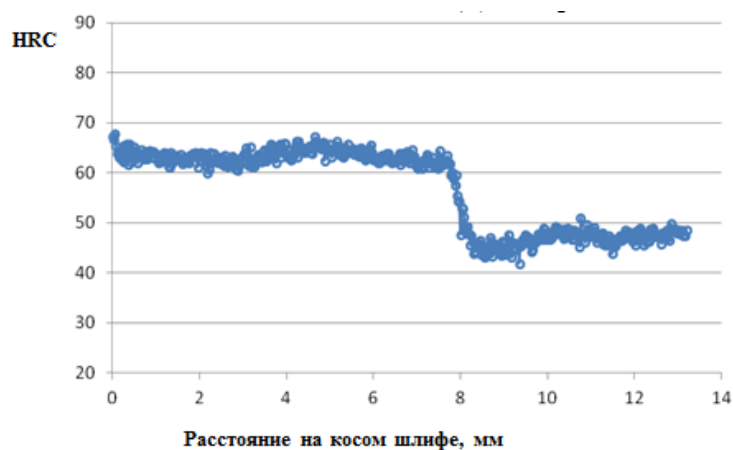


Рис. 2. Твердость после закалки торцевой поверхности трубки Ø125мм

Труба Ø125мм достаточно массивная, и поэтому процесс плазменной закалки протекает с более быстрым охлаждением в результате теплоотвода в глубинные слои материала. Глубина закалки от поверхности, соответствующая указанному значению на косом шлифе, 1,2 мм, рис. 2.

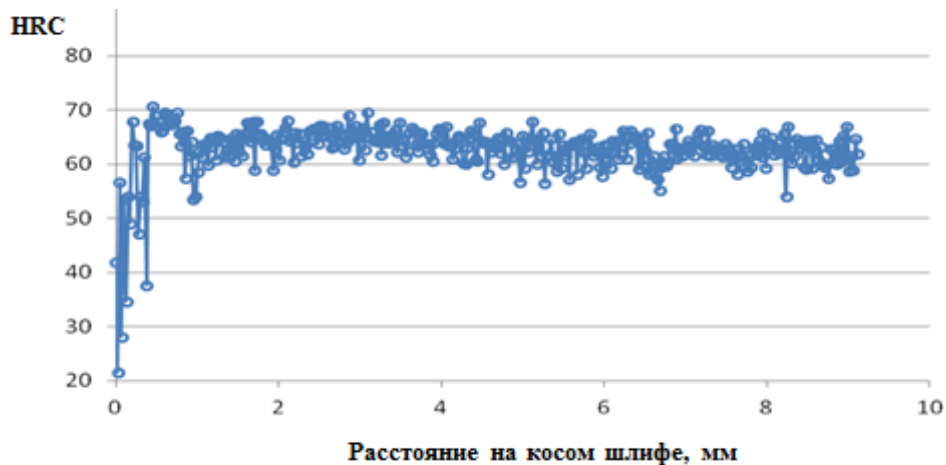


Рис. 3. Твердость трубы Ø125мм на торцевой поверхности после комбинированной обработки «плазменная закалка + ЭИЛ»

Проведенная комбинированная обработка «плазменная закалка + ЭИЛ» на торцевой поверхности трубы Ø125мм показала высокий разброс значений твердости. Применение одного ЭИЛ дает также значительную неравномерность твердости покрытия, связанную с особенностями данной технологии.

Определение стойкости упрочненной поверхности к истиранию производилось на опытной установке с автоматическим циклом путем трения упрочненной поверхности образца 10×10×10 мм по абразивной бумаге 12Н14АСФЖУ1С ГОСТ 13344-79 в сравнении с неупрочненной поверхностью. Длина пути трения 30м при нагрузке 3кг.

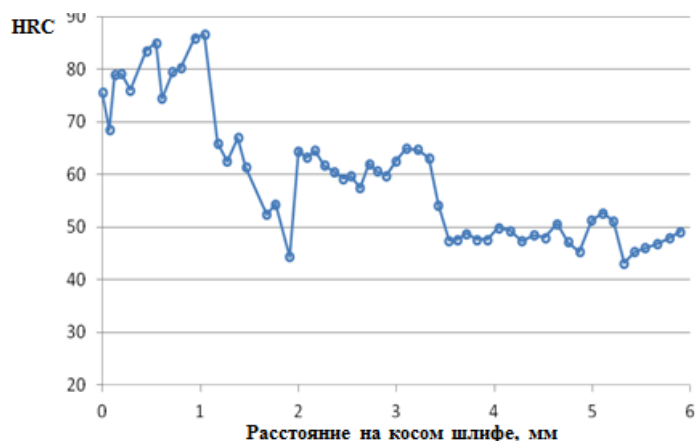


Рис. 4. Твердость трубки Ø125мм на торцевой поверхности после ЭИЛ

Усредненные результаты испытаний приведены в таблице, из которой видно, что ЭИЛ и плазменная закалка увеличивают износостойкость на 50% и 23%, соответственно. Но суммирующего эффекта от их совместного применения не получено, увеличение стойкости составило 35%, что является промежуточным значением между плазменной закалкой и ЭИЛ.

Результаты испытаний на трение

№ п/п	Вид упрочнения	Толщина упрочнения	Повышение стойкости, %
1	Без упрочнения	–	–
2	ЭИЛ	0,1	50
3	Плазменная закалка	0,6	23
4	Плазменная закалка + ЭИЛ	0,7	35

Литература

1. Коротков В.А. Свойства и промышленное применение ручной плазменной закали // Металловедение и термическая обработка, 2016. № 8 (734). С. 3-9.
2. Плазменная закалка деталей малой массы / Сафонов Е.Н., Пыстогов А.А. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 7 (139). С. 30-33.
3. Коротков В.А. Электроискровое упрочнение и восстановление деталей // Главный механик, 2012. №1. С. 43-47.

УДК 621.785.545

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ СТАЛИ 38Х2Н2МА¹

Итальяев Р. А. (eitalev@yandex.ru), Неулыбин С. Д. (Sn-1991@mail.ru)

ПНИПУ, г. Пермь, Россия

Аннотация. Рассмотрена возможность получения упрочненных слоев изделий из стали 38Х2Н2МА методами плазменной и аргонно-дуговой закалки поверхности. Проведены исследования макро- и микроструктуры упрочненного слоя, представлены их описание и прочностные характеристики.

Ключевые слова: поверхностная закалка, твердость, микроструктура, плазмотрон, обратная полярность тока.

Использование высококонцентрированного источника энергии – плазменной дуги прямого действия для локального нагрева заданных участков поверхности является перспективным способом повышения эксплуатационных свойств сталей. Можно выделить следующие варианты упрочнения: без оплавления и с оплавлением поверхности детали; с зазором между упрочненными зонами (ЗТВ), без перекрытия ЗТВ и с перекрытием ЗТВ; упрочнение в сочетании с другими способами термической обработки [1-3].

¹ В работе участвовал Терентьев С. А. serg150189@mail.ru

Целью работы было исследование возможностей применения поверхностной закалки аргонно-дуговым (АДЗ) и плазменным (ПЗ) способом на токе обратной полярности (табл.) применительно к стали 38Х2Н2МА.

Данная сталь применяется в улучшенном состоянии для изготовления ответственных тяжело нагруженных деталей сложной конфигурации (валов, шатунов, болтов, шпилек). Для металлографического исследования (микроскоп Axiovert 40 MAT) были изготовлены образцы и приготовлены микрошлифы. Травление проводилось 4% раствором азотной кислоты в спирте. Структура основного материала представляет собой феррито-перлитную смесь, полученную путем отжига [4]. Микротвердость (HV) – 2700...3000 МПа.

На основании металлографического исследования установлено следующее. Аргонно-дуговое и плазменное упрочнение дают схожую микроструктуру, состоящую из зоны оплавления (у образцов с оплавлением), ЗТВ и основного металла.

Таблица

Режимы закалки

Вид закалки	Ток, А	Расход газа, л/мин		Кол-во проходов
		защитного	плазмообразующего	
ПЗ с оплавлением (образец 1)	140	2	4	2
ПЗ без оплавления (образец 2)	80			
АДЗ с оплавлением (образец 3)	140	6,5	-	4
АДЗ без оплавления (образец 4)	85			3

Структура закристаллизовавшегося слоя мартенситного типа с выделениями карбидной сетки в осях дендритов. В ЗТВ - структура бейнитного типа. При плазменной закалке распределение слоев разных фаз относительно поверхности упрочнения происходит более равномерно (см. рис. 1).

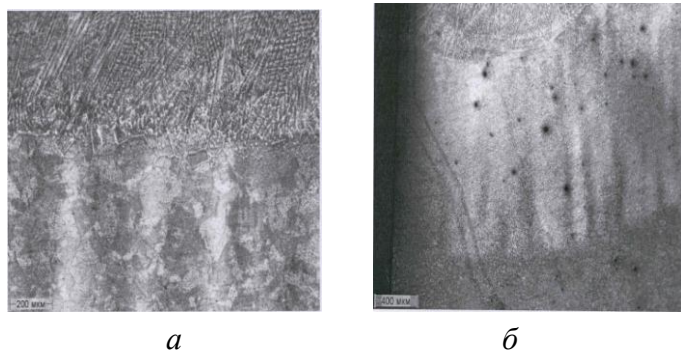


Рис. 1. Микроструктуры образцов: *a* – 1; *б* – 3

Для образца, полученного по первому варианту, глубина упрочненного слоя составила 3,0...3,5 мм с плавным переходом к твердости необработанного металла (см. рис. 2). Для образца, полученного по второму варианту, упрочнение оказалось минимальным, микротвердость поверхностного слоя близка к микротвердости основного металла (см. рис. 2). Глубина упрочнения образца полученного по третьему варианту также как и для образца 1 составляет 3-3,5 мм, однако максимальное значение твердости в этом случае оказалось меньше (см. рис. 3). Для образца, полученного по варианту 4, глубина упрочнения составила 0,2 мм, после чего происходит резкий спад твердости до величины необработанного металла (см. рис. 3). На основании полученных результатов можно заключить, что более эффективным способом закалки является плазменная с оплавлением, позволяющая получить глубокий закаленный слой и равномерное распределение твердости. Закалка без оплавления возможна на готовых деталях (без дальнейшей механической обработки), и обеспечивает слой с мелкодисперсной структурой (рис. 4). Технология плазменного упрочнения за счет большей концентрации источника тепла является более производительной.

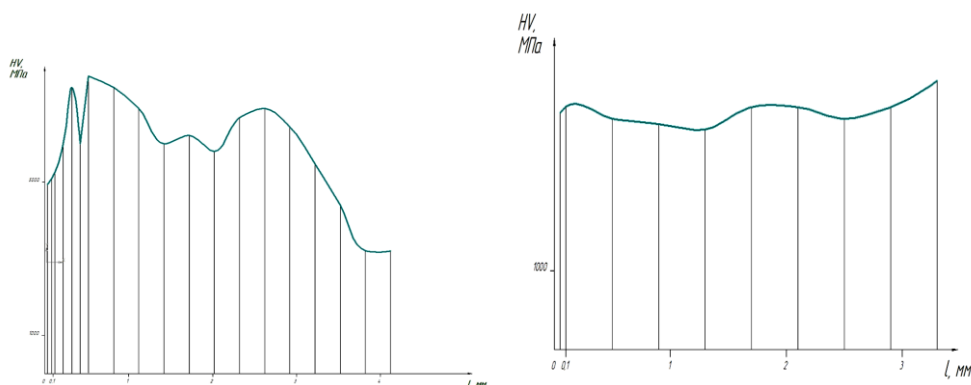


Рис. 2. Распределение микротвердости образца 1 и 2 (слева направо).

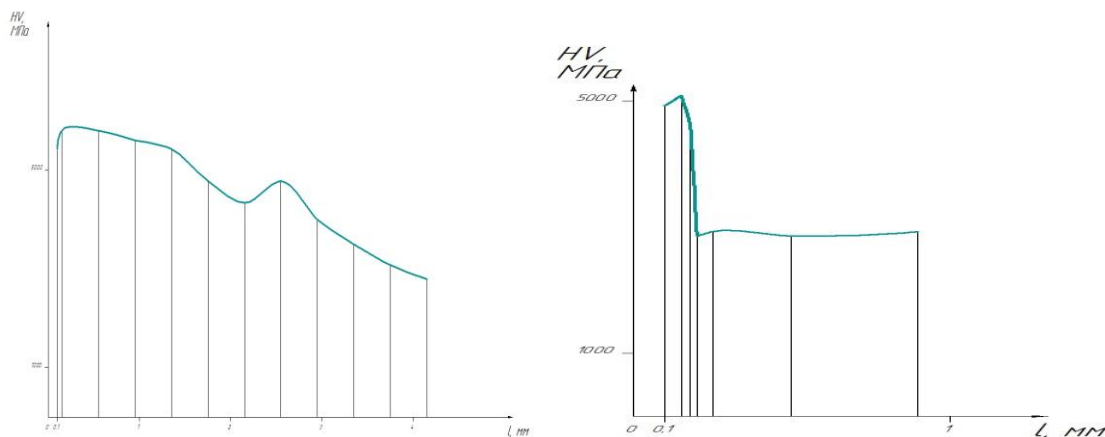


Рис. 3. Распределение микротвердости образцов 3 и 4 (слева направо)

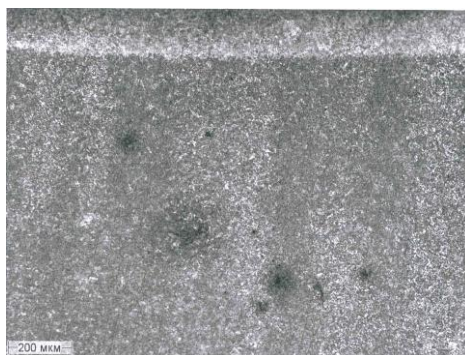


Рис. 4. Микроструктура образца 2

Литература

1. Плазменные процессы в сварочном производстве / В. А. Малаховский // Москва «Высшая школа», 1988. – 72 с.
2. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский [и др.]. – Киев: Техника, 1990. – 109 с.
3. Плазменные технологии в сварочном производстве / Щицын Ю. Д. // Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2004. – Ч.1. – 72с.
4. Сафонов Е. Н. Новые материалы и технологические процессы для продления ресурса прокатных валков // Е.Н. Сафонов. – Нижний Тагил: НТИ (ф) УГТУ-УПИ, 2005. – 212 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КАРБОНИТРАЦИИ*Пинаев Д. В., Леушин И. А.*

ООО «Композит», г. Нижний Тагил

st@udgz.ru

Аннотация. Показано, что карбонитрации деталей существенно замедляет износ, не вызывая существенного удорожания деталей, способствует сокращению ремонтных простоев, увеличению объемов производства.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, ремонты.

Карбонитрация (разновидность химико-термической обработки), разработанная проф. Прокошкиным Д.А. (а.с. 576350) в начале 70-х годов в СССР, проводится в расплаве цианата калия при температуре ~ 570град.С. Она создает на поверхности стальных и чугунных деталей тонкий ~10мкм, но твердый (до HV800 и более) слой карбонитрида (химическое соединение азота с углеродом и железом), под которым располагается зона (~0,3мм) твердого раствора азота в железе с уменьшающейся твердостью по мере удаления от поверхности [1].

Испытания на трение показали существенное увеличение износостойкости различных материалов в результате карбонитрации [1-3]. Появление в промышленности в 90-х годах 20-го века переносных ультразвуковых твердомеров сделало контроль качества карбонитрации экономичным и быстрым, что благоприятствовало расширению ее применения [4], табл. 1.

Таблица 1.

Твердость карбонитрированных сталей, измеренная прибором УЗИТ-3

Сталь	20	40	40X	65Г	30X13	X18H10	Чугун серый
HRC	35	45	50	60	65	65	50

Карбонитрация применяется в качестве финишной технологии, что сокращает трудоемкость изготовления за счет исключения механообработки твердого закаленного слоя, табл. 2.

Сравнение технологических процессов изготовления деталей

Типовое изготовление деталей	Изготовления деталей с карбонитрацией
1. Черновая механообработка детали.	1. Черновая и чистовая механообработка детали
2. Перевозка на термический участок (цех, завод) для проведения закалки ТВЧ или цементации или улучшения.	2. Перевозка на термический участок (цех, завод) для карбонитрации
3. Проведение термической обработки.	3. Проведение карбонитрации
4. Перевозка на участок (цех, завод) для чистовой механообработки.	Отсутствует
5. Чистовая механообработка (правка, шлифовка)	Отсутствует

Удешевление продукции является дополнительным стимулом к применению карбонитрации в дополнении к увеличению ее износостойкости, о чем можно судить по результатам испытаниям на трение [5]. На рис.1 видно, что если трудоемкая закалка с отпуском легированной стали 30ХГСА в несколько раз снижает износ по отношению к углеродистой стали 45 в неупрочненном состоянии, то карбонитрация – в несколько десятков раз.

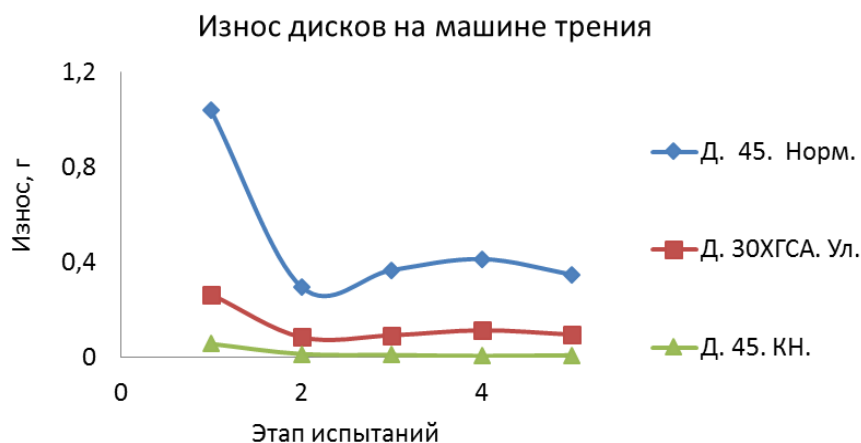


Рис. 1. Износ дисков из сталей 45 и 30ХГСА с различным упрочнением:
 Норм. – в нормализованном состоянии (без упрочнения),
 Ул. – в улучшенном состоянии (закалка + отпуск),
 КН – в карбонитрированном состоянии.

Подвесы бортов думпкара 2ВС-105 относятся к быстро изнашиваемым узлам трения, износ которых может становиться причиной вывода думпкаров из эксплуатации. Замена подвесов – процесс трудоемкий, что увеличивает ремонтные простои и ремонтные затраты. Изготовление втулок и валиков подвеса производится прямо в ремонтном депо и не предполагает упрочнения. Все перечисленное стало основанием к применению их карбонитрации, которая дала сначала визуальное снижение износа (рис.2), а затем сокращение годового потребления деталей подвеса, табл. 3.



Рис.2. Износ упрочненного (слева) и неупрочненного (справа) узла подвеса борта думпкара 2ВС-105 за равный период эксплуатации

Таблица 3

Расход деталей подвеса за 2012–2016 гг.

Год	2013	2014	2015	2016	Сокращение
Втулки	4424	3126	2374	1780	60%
Валики	2068	1260	1088	920	56%



Рис. 3. Валы-шестерни редуктора бурового станка СБШ-250

На рис.3 показан вал-шестерня редуктора перемещения карьерного бурового станка СБШ-250. Его упрочнение закалкой ТВЧ не обеспечивало наработки до очередного (ежегодного) капитального ремонта, поэтому замену (ежеквартально) проводили прямо в карьере.

Применение карбонитрации замедлило износ, что существенно, примерно в 5-7 раз, сократило годовой расход валов-шестерней и устранило внеплановые ежеквартальные ремонтные простои буровых станков. Благодаря этому был обеспечен рост объем бурения, необходимый для увеличения добычи руды на 10-15%, при сокращении число занятых в работе станков, рис. 4.

Заключение: применение карбонитрации способствует не только сокращению расхода запасных частей, но уменьшению ремонтных простоев оборудования, увеличению его годовой выработки, в конечном счете – росту производительности труда.

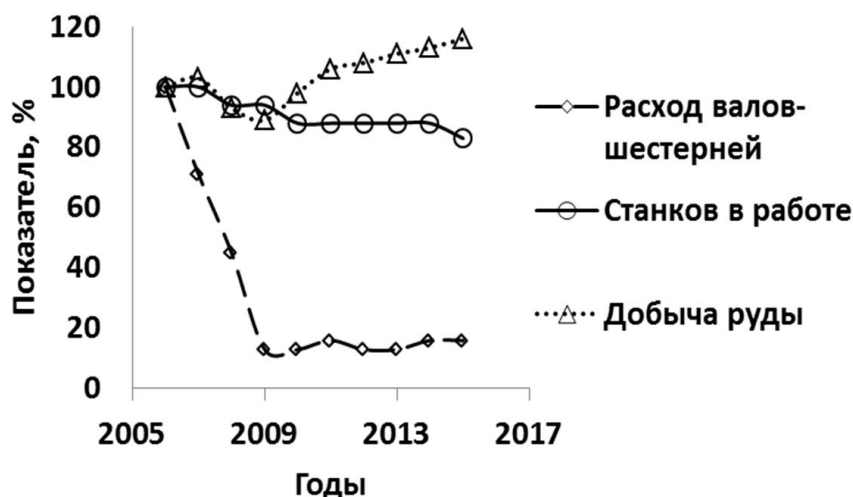


Рис. 4. Изменение годового потребления валов-шестерней бурового станка, числа занятых в бурении станков и добычи руды

Литература

- 1 Прокошкин Д.А. Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация. М.: Машиностроение – Металлургия, 1984. – 240с.
- 2 Коротков В.А. Исследование износостойкости карбонитрированных деталей. //Трение и износ, 2013. Том 34. № 1. С.37-42.
- 3 Коротков В.А. Износостойкость углеродистых сталей с различными видами упрочнения. // Трение и износ, 2015. № 2. С. 196-200.
- 4 Коротков В.А. Исследование процесса карбонитрации. // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2014. № 8. С.11-14.
- 5 Коротков В.А. Сокращение частоты ремонтов и ремонтных затрат применением плазменной закалки и карбонитрации. // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 6 (115). С. 30-33.

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ТРУБ В ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ

Сильвестров С. А.¹ (aAstra@mail.ru), Гумеров К. М.² (K.M.Gumerov@mail.ru)

¹ООО «Астрапроект», г. Казань, РФ;

²Филиал НИИСПТнефть, г. Уфа, РФ

***Аннотация.** Рассмотрены механизмы изменения механических свойств металлов трубопроводов под воздействием водорода. Показаны наиболее важные источники атомарного водорода: электролизные процессы на поверхности подземного трубопровода в условиях электрохимической защиты; химические реакции металла с сероводородом, содержащимся в продуктах перекачки.*

***Ключевые слова:** трубопроводы, металл труб, изменения свойств, наводороживание, охрупчивание, растрескивание, водород.*

Водород входит практически во все продукты, перекачиваемые по трубопроводу: нефть, газ, нефтепродукты, другие углеводороды. Он содержится в атмосфере в виде молекул водорода и влаги. Сероводород сопровождает многие месторождения нефти и газа. На таких месторождениях оборудование и трубопроводы претерпевают сероводородное растрескивание. Это явление хорошо известно при эксплуатации аппаратов нефтеперерабатывающих предприятий [1].

На магистральных газопроводах широко известно коррозионное растрескивание под напряжением, которое является причиной около половины происходящих аварий. Здесь источником водорода является грунтовая вода.

Водород встречается в нескольких состояниях. Наиболее устойчивыми являются нейтральные молекулы, например, воды H_2O , метана CH_4 , сероводорода H_2S , собственно водорода H_2 и т.д. Менее неустойчивы ионы в водных растворах солей, кислот и щелочей, например, H^+ , OH^- , которые существуют в виде комплексов, окружённых полярными молекулами воды $(H^+) \cdot n(H_2O)$ и $(OH^-) \cdot m(H_2O)$.

Водород входит в состав металлов в виде примесных атомов и молекул. Нейтральные молекулы в металле, включающие в свой состав атомы водорода, в основном находятся в устойчивом состоянии. Они могут располагаться внутри кристаллов (в узлах или междоузлиях кристаллической решётки), тем самым привести к искажению решётки и внутренним напряжениям. Они могут накапливаться на границах зерен кристаллов, тем самым влияют на механические свойства металла. Поскольку все неподвижные искажения кристал-

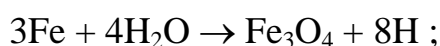
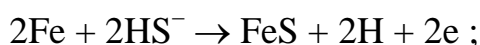
лической решётки затрудняют движение дислокаций, они (примесные молекулы) понижают пластичность металла.

Отдельные атомы водорода, оказавшиеся внутри кристаллической решётки, неустойчивы и подвижны. Это объясняется тем, что единственный валентный электрон атома водорода входит в общее электронное облако кристаллической решётки металла. Оставшись без электрона, атом водорода фактически становится протоном, то есть элементарной частицей. Как известно, подвижность элементарных частиц намного выше, чем нейтральных атомов и молекул. Поэтому атомы водорода (то есть их ядра – протоны) могут практически свободно перемещаться в пределах кристаллической решетки. Выскочить за пределы металла они могут, если только их энергия достаточна для преодоления энергетического барьера, образованного действием электронного облака. В обратном направлении – извне в металл протоны будут переходить “более охотно“, поскольку это энергетически выгодно.

Интересно поведение водорода на поверхности металла.

Если на поверхности металла появится нейтральная молекула водорода (H_2), то она при нормальной температуре не может проникнуть в металл. Во всяком случае, это энергетически невыгодно. Если температура высокая, то молекула водорода может распасться на два отдельных атома ($H_2 \rightarrow H + H$). Такие высокие температуры не характерны для трубопроводов нефтегазового комплекса, но характерны для теплоэнергетического оборудования.

Атомарный водород на поверхности трубопроводов может образоваться по другим механизмам, например, в результате химических реакций [2]:



Весьма вероятен процесс восстановления на поверхности трубопровода катионов водорода, находящихся в грунтовой воде ($H^+ + e^- \rightarrow H$). Данной реакции способствует отрицательный потенциал, наведённый системой электрохимической защиты (ЭХЗ).

Таким образом, существует много механизмов образования атомарного водорода на поверхности металла трубы (если, конечно, поверхность не изолирована от внешней среды). Атомарный водород на поверхности металла неустойчив. Вероятно объединение атомов водорода в нейтральные молекулы водорода ($H + H \rightarrow H_2$), которые затем будут выделяться в виде газовых пузырей. Однако более вероятен следующий процесс. Единственный элек-

трон атома водорода, находящегося на поверхности металла, входит в общее электронное поле металла. При этом атом «оголяется» до состояния протона и приобретает большую подвижность и проникающую способность. Поскольку общее силовое поле для протона направлено в сторону металла, то более вероятно его проникновение в металл, чем удаление от него. Если металл заряжен отрицательно (за счёт катодной защиты), то проникновение атомарного водорода (протона) в металл становится ещё более выгодным энергетически.

Проникающий в металл водород накапливается в дислокациях, микропорах, микротрещинах. Он может объединиться с другим таким же атомом и образовать молекулу водорода, которая затем становится устойчивой и неподвижной и искажает кристаллическую решётку, создавая внутреннее напряжение и превращаясь в препятствие для движения других дислокаций.

Он также легко соединяется с углеродом карбидной составляющей стали и приводит к следующим явлениям:

- обезуглероживание металла (блокировка атомов углерода проникшими атомами водорода) по схеме $Fe_3C + 4H = 3Fe + CH_4$;
- блокировка дислокаций и охрупчивание металла (снижение ударной вязкости);
- накопление метана по границам зерен и растрескивание под действием внутреннего давления (межкристаллитное растрескивание);
- рост внутренних напряжений и растрескивание металла;
- объединение микротрещин, образование и рост макротрещин в направлениях, перпендикулярных растягивающим напряжениям.

Явления коррозионного растрескивания стали при участии водорода имеют разные определения:

- а) водородное растрескивание – блистеринг (blister – вздутие);
- б) коррозионное растрескивание под напряжением, обозначаемое SSCC (Stress Corrosion Cracking – стресс-коррозия).

Скорость процессов определяется внешними и внутренними факторами.

Внешние факторы определяют скорость первого этапа процесса – выделения атомарного водорода на поверхности металла. К ним относятся состояние изоляционного покрытия (повреждения, снижение адгезии, расслоение), разность потенциалов «труба – земля», состав и концентрация химических веществ у поверхности металла, состояние поверхности металла, pH среды (кислотность), влажность.

Внутренние факторы определяют скорость второго и третьего этапов процесса – проникновения водорода в металл и процессов, происходящих

внутри металла. К ним относятся химический состав и структура металла, а также напряженное состояние. Причём, играют свою роль как напряжения от внешних воздействий, остаточные технологические напряжения, а также внутренние, в том числе действующие на уровне зерен, кристаллов, дислокаций.

Некоторые факторы, например, температура, относятся как к внешним, так и внутренним факторам, поскольку оказывают влияние на все процессы, происходящие как вне металла, так и внутри него.

В отличие от других видов коррозии (например, хлоридного) коррозионное растрескивание сталей может начаться внутри металла.

Различают два типа коррозионного растрескивания сталей, вызываемого наводороживанием металла.

Первый тип растрескивания возникает под воздействием растягивающих напряжений, возникающих от внешних нагрузок или остаточных напряжений. При этом трещина распространяется перпендикулярно наибольшей из компонент напряжений. Растрескивание этого вида называют коррозионным растрескиванием под напряжением. Это – частое явление на магистральных газопроводах.

Второй тип растрескивания состоит в том, что трещины и пузыри образуются внутри металла, преимущественно в направлении прокатки, даже в отсутствие внешних напряжений. Иногда водородные трещины распространяются ступеньками. Это явление называют водородным растрескиванием, водородным расслоением, водородно-индуцированным растрескиванием.

Водородному растрескиванию подвергаются стали с пределом прочности от 300 до 800 МПа. В этот диапазон попадают практически все стальные трубопроводы, в том числе магистральные нефте- и газопроводы.

Коррозионное растрескивание под напряжением часто наблюдается на сталях с высоким пределом текучести, до 600 МПа и выше. Приложенные извне напряжения приводят к объединению параллельных внутренних микротрещин в магистральные трещины, перпендикулярные растягивающей нагрузке. Растрескиванию подвергаются сварные соединения, где сказывается роль остаточных напряжений от сварки.

Водородные расслоения переходят в водородные пузыри (отдулины) с размерами от еле заметных невооруженным глазом до 50 мм в высоту и 250 мм в диаметре. Пузыри в большинстве случаев образуются на той поверхности, где происходит выделение атомарного водорода. Иногда в районе пузырей появляются трещины. Исследования показали, что извлекаемый из пузырей газ состоит на 99,5 % из водорода, а давление в пузырях достигает 20 МПа.

Водородно-индуцированное растрескивание сталей невысокой прочности обычно начинается в плоскости листа проката металла, имеющего повышенное содержание примесей, легирующих элементов или аномальных структур. В отличие от расслоений металлургического происхождения, водородно-индуцированное растрескивание обычно имеет развитый рельеф. Участки, которые в начальный период развития выглядят как плоские расслоения, затем становятся трёхмерными (Г- или Т-образными в поперечном сечении). Трёхмерные структуры могут образовываться в вершинах «расслоений» или между ними, например, вдоль оси симметрии.

Коррозионное растрескивание под напряжением характерно для сталей аустенитного и аустенитно-мартенситного класса. Водород в этих сталях облегчает протекание мартенситного превращения и зарождение трещин.

В нефтяной и газовой промышленности известны случаи растрескивания металла за время эксплуатации от 2-3 месяцев до 2-3 лет труб теплообменников, трубопроводов для перекачки продуктов, стенок сварных емкостей, резервуаров и колонн, змеевиков и греющих камер, выпарных аппаратов, деталей запорной арматуры и т.д.

Иногда коррозионное растрескивание наблюдается в зонах термического влияния сварного шва (рис. 1). Наиболее благоприятными для этого условиями являются: рН водной фазы <5 ; температура 30–40 °С; напряжения близки к пределу текучести металла. Склонность к растрескиванию определяется также особенностями структуры самого металла: наличием структурных неоднородностей, количеством и распределением неметаллических включений, химическим составом.

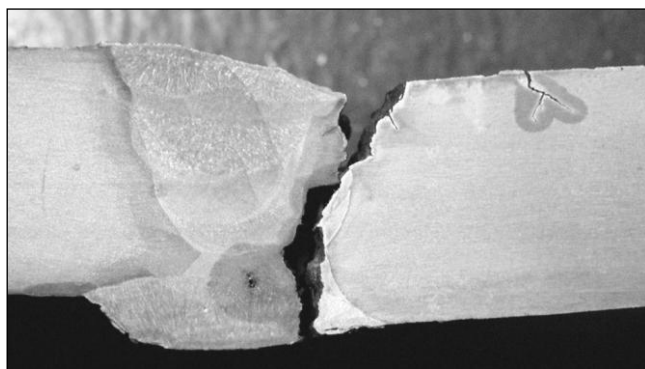


Рис. 4. Макроструктура разрушенного кольцевого сварного шва

Характерной особенностью коррозионного растрескивания под воздействием водорода является то, что часть выделяющихся при этом атомы водорода не соединяется в молекулы, а проникает в металл, вызывая наводорожи-

вание и водородную хрупкость, а также обезуглероживание (отбор углерода для образования молекул типа CH_4) и рост зерна.

На поверхности металла, как правило, мало затронутой общей коррозией, возникают разветвлённые или неразветвлённые трещины, иногда видимые невооружённым глазом (рис. 1), а чаще видимые только при осмотре с оптическим увеличением от 2–3 до 25–50 раз, или выявляемые металлографическим, физическим (ультразвуковым, вихретоковым, цветным и др.) методами, или механическими испытаниями образцов.

Растрескивание металла в сероводородсодержащих средах известно давно [1]. Растрескивание подземных стальных трубопроводов, перекачивающих очищенные от всяких примесей продукты (нефть, газ, нефтепродукты), обнаружилось сравнительно недавно (последние 10–15 лет). Исследования аварий от растрескивания металла показали, что источником атомарного водорода является грунтовая вода, проникающая к поверхности металла из-за изношенности изоляционного покрытия. Как оказалось, электрохимическая защита при этом вовсе не защищает от коррозионного растрескивания, а совсем даже наоборот, инициирует и ускоряет явление, создавая благоприятные условия для выделения атомарного водорода [3].

Как известно, на опасных производственных объектах, какими являются магистральные нефте- и газопроводы, существует определённая исполнительная дисциплина. Она заключается в том, что все работы по обслуживанию и ремонту регламентируются. Если в регламентах не указаны действия по исключению растрескивания труб, то эти действия не будут выполнены. Однако в нормативных документах по проектированию, строительству, эксплуатации, диагностике не нашло отражения такое опасное явление, как коррозионное растрескивание металла труб вследствие наводораживания. Между тем, это явление достаточно полно отражено в нормативной базе нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Литература

1. Надёжность трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды: монография / А.А. Бауэр, В.М. Кушнарченко, А.Е. Пятаев, Ю.А. Чирков, Д.Н. Щепинов – Оренбург: ОренПечать, 2015. – 506 с.
2. Фролова Л.В. Коррозия и наводораживание углеродистых сталей в карбонатно-бикарбонатных средах // Коррозия: материалы, защита. 2004. № 3. С. 22-25.
3. Климов П.В., Гумеров А.К., Кунафин Р.Н. Исследование и разработка методов торможения стресс-коррозии на примере магистральных газопроводов Средняя Азия-Центр // Под. ред. Гумерова К.М. – СПб.: ООО “Недра”, 2011. – 228 с.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АСМОЛА С МЕТАЛЛОМ ТРУБ

Гумеров К. М.¹ (K.M.Gumerov@mail.ru), Сильвестров С. А.² (aAstra@mail.ru)

¹Филиал НИИСПТнефть, г. Уфа;

²ООО «Астрапроект», г. Казань

Аннотация. Выявлена эффективность асмолы как средства защиты трубопроводов от различных видов коррозии, в том числе от стресс-коррозии. Показано, что при взаимодействии с асолом на поверхности металла образуется дополнительная защитная пленка толщиной до 10 микрон, которая имеет химическую природу, обеспечивая высокую адгезию и отличные антикоррозионные свойства.

Ключевые слова: подземный трубопровод, изоляционное покрытие, защитная пленка, асмол, испытания на прочность, химическое средство.

В НИЦ «Поиск» (г. Уфа, руководители предприятия Н. М. Черкасов и И. Ф. Гладких) разработана серия изоляционных материалов на основе асфальтосмолистого олигомера - асмол [1]. Асмол имеет характеристики, близкие к битумам, однако его адгезия к металлу значительно выше, чем битумов и битумных мастик. Это связано с различными механизмами взаимодействия с металлом: адгезия битума осуществляется за счет сил физической природы. За счет химической природы адгезии у асмолы практически отсутствует катодное отслаивание и длительное время сохраняются исходные защитные характеристики.

В молекулах асмолы имеются азотсодержащие полярные группы, которые придают ему ингибирующие свойства, благодаря которым замедляется дальнейшее протекание коррозии. В составе асмолы присутствуют соединения, содержащие сульфокислотные и нейтральные высокодонорные функциональные группы, которые обеспечивают мастике высокую поверхностную активность. Выборочно сорбируясь, они снижают разность потенциалов анодных и катодных участков, замедляя или полностью останавливая электрохимическую коррозию.

Опытным путём установлено, что на участках магистральных газопроводов, изолированных асмольными материалами, практически останавливается коррозионное растрескивание под напряжением (стресс-коррозия).

Несмотря на свои уникальные свойства, асмол и изоляционные материалы на его основе встречают ограничение в практическом использовании. Его причинами могут быть корпоративные интересы, но высказывается мысль (иногда она фигурирует в заключениях подведомственных лабораторий), что асмол может отрицательно повлиять на прочностные свойства металла труб из-за повышенной кислотности. Действительно, кислотность асмолы рН по-

рядка 6. Это связано с наличием в полимолекулах асмола связанных функциональных групп, за счет которых и обеспечивается высокая адгезия. Этими группами молекулы асмола «цепляются» к поверхности металла, не вызывая никаких изменений внутри объема. Тем не менее, чтобы поставить точку на этом вопросе, провели специальные исследования с целью оценить возможное влияние асмола на свойства металла труб при длительной эксплуатации трубопроводов. Исследования состояли из двух частей:

- изучение поверхности металла после длительного воздействия асмола;
- оценка влияния асмола на механические свойства металла.

Вместо чистого асмола в экспериментах использовали его раствор в углеводородном растворителе, который обеспечивает асмолу подвижность и тем самым облегчает обменные процессы при взаимодействии с металлом.

Образцы изготавливали из разных марок сталей. Они не относились к классу легированных и по коррозионной стойкости были не выше трубопроводных.

Эксперимент 1. Изготовили серию шлифованных пластин $100 \times 10 \times 2$ мм из стали 20, и поместили в 40% раствор асмола в углеводородном растворителе на разное время. Затем образцы извлекали из раствора, удаляли асмол промывкой растворителями, высушивали теплым воздухом, измеряли массу каждой пластины, изучали состояние поверхности визуально и с помощью оптического микроскопа. Погрешность измерения массы не более 0,00005 г., что на 2...4 порядка меньше самих измеряемых величин. Получили следующие результаты.

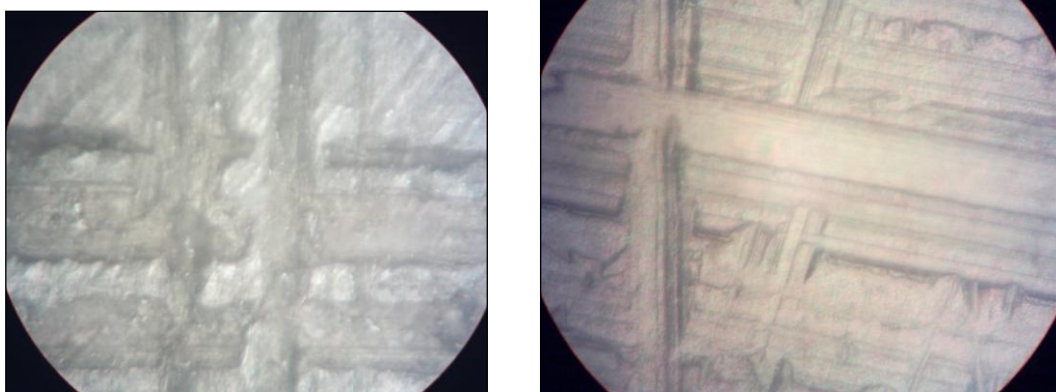


Рис. 1. $\times 1000$. Поверхность образцов после выдержки в асмоле 39 суток. Темные полосы – бороздки шероховатости, на которых концентрируются продукты взаимодействия асмола с металлом

При выдержке образцов в асмоле их поверхность покрывается пленкой серого цвета (рис.1), а масса монотонно увеличивается. Эксперименты повторили с другой серией образцов, изготовленных из стальной фольги толщиной 0,05 мм. Химический состав стали показан в таблице 1. Образцы были

выдержаны в растворе асмола в течение 60 суток, затем взвешены. Статистический анализ результатов показал, что среднее выборочное значение привеса на единицу площади составляет $\Delta m_{cp} = 0,254 \text{ мг/см}^2$, а среднее квадратичное отклонение $s_{\Delta m} = 0,0286 \text{ мг/см}^2$.

Таблица 1

Химический состав стальной фольги, %

С	Si	Mn	Mo	Cr	S	P
0,06	3,20	0,08	0,18	0	0,020	0,016

Опыты подтвердили, что на поверхности металла происходит образование пленки из продукта его взаимодействия с асмолом. Толщина защитной пленки неравномерна из-за шероховатости и неоднородности (механической, структурной, энергетической, химической) поверхности металла. Приблизительную оценку толщины пленки δ_n сделали в предположении, что её плотность такая же, что и асмола $\rho \approx 1 \text{ г/см}^3$, а привес массы на единицу площади за месяц составляет порядка $\Delta m \approx 0,12 \text{ мг/см}^2$.

$$\delta_n = \frac{\Delta m}{\rho} = \frac{0,12 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2}{1 \text{ г/см}^3} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

Итак, толщина поверхностной пленки через месяц выдержки в асмоле составляет около 1,2 микрон, через 145 дней достигает 5...6 микрон.

Эксперимент 2. Оценивали влияние асмола на усталостную прочность и долговечность стали. Для этого изготовили образцы с размерами 300×20×2 мм из низкоуглеродистой листовой стали марки 08. Для ускорения зарождения трещины на образцах выполняли отверстия диаметром 1,8 мм. Испытания проводили по схеме циклического консольного изгиба (рис. 2).

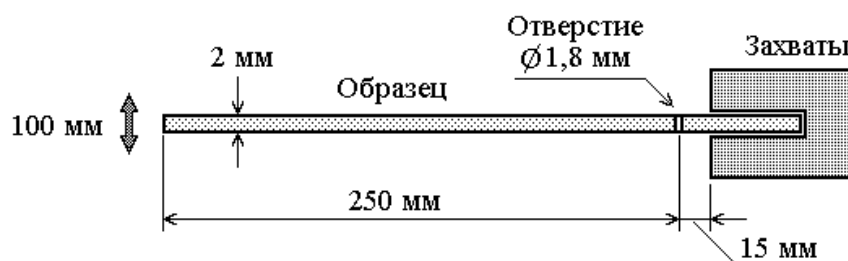


Рис. 2. Схема испытаний плоских образцов на циклический изгиб

Испытывали три серии по пять образцов. Первая серия – образцы без воздействия асмола, вторая – образцы после 33 суток выдержки в асмоле, третья – после 60 суток выдержки. При испытаниях отмечали число циклов нагружения N в определенные моменты развития трещины. В результате испытаний установили следующее.

Рост трещин происходит неравномерно, скачками, поэтому разброс скоростей развития трещины на разных этапах оказался значительным. Моменту появления трещины предшествует локальное потемнение поверхности металла вследствие пластических деформаций и накопления микротрещин. На рис. 3 показана поверхность образца на этапе роста трещины.

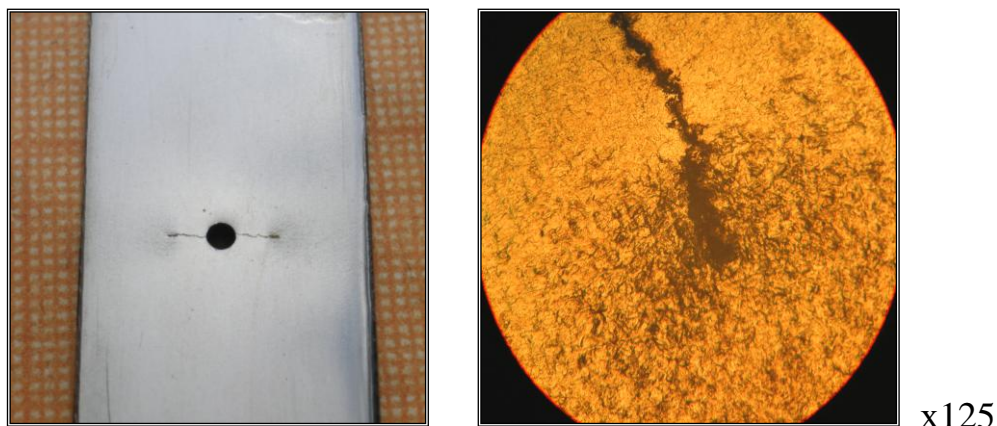


Рис. 3. Рост трещин при усталостных испытаниях

Для анализа выбрали следующие показатели циклической прочности:

N_3 – число циклов до появления (зарождения) видимых под лупой трещин размером по 1 мм в обе стороны от отверстия;

N_p – число циклов, соответствующих росту трещины от 5 мм до 10 мм (область, где влияние краевых эффектов несильное);

N_{II} – полное число циклов до разрушения образца.

Средние значения (N_{cp}) и средние квадратичные отклонения (s_N) этого параметра в пределах каждой серии приведены в таблице 2.

Достоверность результатов оценена по критерию равенства двух совокупностей, основанном на t -распределении Стьюдента [2, 3]. Было установлено, что все образцы вели себя идентично, независимо от времени выдержки в асмоле. Следовательно, асмол на механические свойства металла не влиял. Вероятность ошибки вывода составляет не более 0,01.

Таблица 2

Результаты усталостных испытаний образцов

Этапы испытаний	Исходные образцы	После выдержки 33 сутки	После выдержки 60 суток
-----------------	------------------	-------------------------	-------------------------

Число циклов на этапе зарождения трещин N_3	$N_{cp(3)} = 2983$ $s_{N(3)} = 493,7$	$N_{cp(3)} = 2915$ $s_{N(3)} = 268,5$	$N_{cp(3)} = 2845$ $s_{N(3)} = 264,5$
Число циклов на этапе роста трещин N_p	$N_{cp(p)} = 1503$ $s_{N(p)} = 238,2$	$N_{cp(p)} = 1623$ $s_{N(p)} = 91,7$	$N_{cp(p)} = 1920$ $s_{N(p)} = 147,5$
Полное число циклов до разрушения N_{II}	$N_{cp(II)} = 5645$ $s_{N(II)} = 377,6$	$N_{cp(II)} = 5682$ $s_{N(II)} = 304,9$	$N_{cp(II)} = 5984$ $s_{N(II)} = 153,1$

Эксперимент 3. Образцы (такие же, как в эксперименте 2, но без отверстий) испытывали на растяжение; результаты приведены в таблице 3. Их обработка по критерию Стьюдента привела к выводу, что асмол не повлиял на механические свойства металла.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов на растяжение

Параметр	σ_b , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ , %
Исходные образцы			
Выборочное среднее	31,40	20,00	51,40
Среднее квадратич. откл-ние	0,42	0,35	1,95
Образцы после выдержки 60 суток в асмоле			
Выборочное среднее	32,00	20,30	51,80
Среднее квадратич. откл-ние	0,35	1,57	1,25

Эксперимент 4. На растяжение испытывали образцы из трубной стали 17ГС размерами 130×10×2мм, с отверстием d 2,2 мм. Часть образцов (5 шт.) выдержали в асмоле 60 суток. Анализ результатов испытаний показал – на механические свойства при растяжении образцов с концентратором напряжений, выдержка в асмоле не повлияла.

Выводы.

1. Асмол образует на поверхности металла коррозионностойкую пленку, и она не смывается растворителями органического происхождения. В асвольной среде масса защитной пленки растет со скоростью 0,11...0,13 мг/см² в месяц. Через 145 суток выдержки средняя толщина пленки достигает 5...6 микрон.

2. Асмол не приводит к изменению механических свойств металла труб, хотя и является химически активным по отношению к его поверхности.

Литература

1. Черкасов Н.М., Гладких И.Ф., Гумеров К.М., Субаев И.У. Асмол и новые изоляционные материалы для подземных трубопроводов. - М.: Недра, 2005. –230 с.

2. Степанов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. Справочник. - М.: Машиностроение. 1985. – 232 с.
3. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М. Наука, 1983. 416 с.

УДК 621.73:373.8

КОМБИНИРОВАННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

Ибатуллин В. И. (Vadim.ibatullin@mail.ru),

Максимов В. К. (kuzmichvm@mail.ru)

КАИ им. А. Н. Туполева, г. Казань, Россия

***Аннотация.** Показан способ упрочнения штамповой оснастки комбинированным воздействием электроискрового и лазерного методов. Приведены технологические режимы обработки и указан тип технологического оборудования.*

***Ключевые слова:** штамповая оснастка, электроискровое легирование, лазер, стойкость.*

При производстве медицинских инструментов значительную долю занимают разделительные операции листовых материалов, как металлических, так и не металлических. Основным технологическим оборудованием в этом случае являются вырубные и пробивные штампы. Отличительной особенностью их является получение штампованных заготовок для последующих технологических операций со сложным внешним контуром и большим числом отверстий малого диаметра. Эксплуатационная стойкость такой штамповой оснастки незначительна, а себестоимость изготовления – высокая. Таким образом, повышение стойкости штамповой оснастки при сохранении точности ее геометрических размеров является актуальной задачей.

На сегодняшний день имеется несколько способов упрочнения подобных изделий с целью повышения их стойкости. Как правило они заключаются в повышении твердости режущих кромок и применении специальных сталей [1,2]. Стабильность геометрических размеров, и в особенности размеров малых отверстий при этом не всегда удается обеспечить. Данная задача может быть решена путем снижения сил трения на режущих кромках матрицы и пуансонов. Это достигается локальным легированием этих кромок с целью создания в приповерхностном слое основного материала структур, обладающих повышенной износостойкостью. Наиболее оптимальным технологическим приемом для этой цели является лазерная термообработка, совмещенная с предварительным электроискровым нанесением легирующих элементов

на упрочняемые поверхности. В качестве объекта были выбраны пары матрица-пуансон из стали У12 различных конфигураций и размеров. Подготовка поверхности перед нанесением легирующих элементов заключалась в удалении загрязнений и жировых пленок моющими растворами. Окисные пленки удалялись пескоструйной обработкой с последующей обдувкой очищенным сжатым воздухом. Эти операции необходимы для повышения адгезии легирующих элементов к основному материалу при электроискровой обработке и снижения термического сопротивления между основным материалом и нанесенным подслоем при последующей лазерной обработке. Электроискровая обработка производилась модернизированным аппаратом «Сириус–32». Установка электроискрового легирования имеет электромагнитный вибратор с частотой колебаний электрода от 200 до 1500 Гц. Частота следования электроискровых импульсов совмещена с частотой колебаний электрода. Максимальная ёмкость конденсаторов 200 мкф. Напряжение между электродами от 40 до 100 В. Режим обработки: ёмкость 140 мкф, напряжение между электродами 80 В, частота следования импульсов 600 Гц.

В качестве легирующего материала использовали литые прутки из материала СНГН диаметром от 1,6 до 2,2 мм. Толщина нанесенного слоя оценивалась в пределах от 0,1 до 0,3 мм. Следует особо отметить, что между электроискровой обработкой и подготовкой поверхности промежутки времени не должны превышать 2-3 часов (за это время не успевает вырасти новая окисная пленка). По окончании процесса формирования легирующего подслоя производилась его лазерная переплавка. В качестве источника лазерного излучения применялась лазерная установка Квант-16 с энергией импульса до 30 Дж и длиной волны излучения $\lambda=1,064$ мкм. Режим обработки импульсный с частотой следования импульсов 0,5-0,7 Гц, коэффициент перекрытия 0,5, диаметр пятна 2-2,5 мм. Для исключения образования нежелательных окислов в процессе лазерного нагрева место обработки обдувалось азотом [3,4]. По окончании лазерной обработки пары матрица – пуансон подвергались финишной доводке до требуемых геометрических размеров и помещались в штамповую сборку. Последующая вырубная штамповка листов из материала 20Х13 толщиной 0,5 мм показала возросшую стойкость матрицы и пуансона на 115-137%.

Таким образом, электроискровое нанесение легирующего слоя с последующей лазерной обработкой увеличивает стойкость штамповой оснастки с сохранением точности ее геометрических размеров.

Литература

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-у изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520с., ил.
2. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. – М.: Машиностроение. 1985. – 496с.
3. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение. 1989. – 304с., ил.
4. Процессы лазерной сварки и термообработки. / В.М. Андрияхин. – М.: Наука, 1988. – 176 с. – ISBN 5-02-005979-X.

УДК 621.727.55:620.178.16

ВЛИЯНИЕ АЗОТА НА СТРУКТУРУ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Нефедьев С. П. (sergeynefedyeff@gmail.com),

Дема Р. Р. (demarr78@mail.ru)

ФГБОУ ВО «Магнитогорский ГТУ», г. Магнитогорск, Россия

Аннотация. В статье исследовано изменение структуры и свойств плазменно-наплавленных слоёв на стали 3, при введении в наплавленный металл типа 250X15Г20С азота, как дополнительного легирующего элемента, и варьировании режимом наплавки.

Ключевые слова: плазменно-порошковая наплавка, легирование азотом, ударно-абразивная износостойкость, режимы наплавки, хромомарганцевое покрытие.

Для работы в условиях ударных нагрузок и одновременного абразивного изнашивания рекомендуется сплавы с аустенитной структурой металлической основы [1-3]. При этом для обеспечения способности удерживать частицы упрочняющей фазы в структуре, аустенит должен в процессе изнашивания претерпевать мартенситное или полидеформационное превращение [4]. В связи с этим, целью данной работы являлось исследование влияния легирования азотом наплавленного металла системы Fe-C-Cr-Mn-Si на ударно-абразивную износостойкость и изучение особенностей формирования структуры и свойств, при плазменно-порошковой наплавке.

Исследования проводили на образцах размером 100×30×20 из стали 3; производили наплавку в один слой толщиной 4 мм. Режимы наплавки выбирали исходя из диаграммы, приведенной в [5], обеспечивающие минимальное проплавление металла основы. Наплавку производили плазмотроном на то-

ках 120 А, 180 А, с охлаждением наплавленных образцов на спокойном воздухе или душированием водой. Наплавленные образцы испытывались на ударно-абразивное изнашивание по ГОСТ 23.207-79.

Наплавочную смесь получали смешением базового порошка 250Х15Г20С с порошком азотированного феррохрома в соотношении 19:1. Химический состав используемых порошковых композиций приведён в таблице 1.

При наплавке порошка 250Х15Г20С на токе 80 А не происходит расплавления подложки и образования металлургического сцепления с ней наплавленного металла – покрытие отслаивается.

Таблица 1

Химический состав присадочных порошков

Обозначение	Химический состав, %						
	Fe	C	Cr	Mn	Si	N	Al
250Х15Г20С	60,95	2,50	15,10	20,30	1,15		
(FeCr)N	23,65	0,15	65		1	10	0,2
240Х17Г19АС	59,17	2,39	17,48	19,33	1,14	0,48	0,01

Повышение силы тока до 120 А приводит к формированию правильных валиков наплавленного металла, однако покрытие обладает значительной пористостью. Поры имеют неправильную форму и рваные края (рис. 1, а), располагаясь на границе растущих кристаллов. Они являются естественными концентраторами напряжений и готовыми микротрещинами, способствуя хрупкому разрушению наплавленного металла по межзёренному механизму. Покрытие, обладающее подобной структурой, имеет не высокую ударостойкость [6], и не пригодно для наплавки оборудования испытывающего ударные нагрузки при эксплуатации.

Покрытие типа 250Х15Г20С наплавленное на токе 180 А образует структуру, напоминающую структуру белых чугунов заэвтектического типа (рисунок 1 б). Упрочняющей фазой, как и при наплавке на токе 120 А, являются карбиды типа M_7C_3 , образованные хромом и марганцем [1, 2]. При повышении силы тока со 120 до 180А объёмная доля их понижается с 19,7 % до 14,4 %. Двойная аустенито-хромистокарбидная эвтектика увеличивается в размерах, межпластинчатое расстояние в ней также увеличивается, что вместе со снижением объёмной доли карбидов типа M_7C_3 приводит к незначительному понижению твёрдости с 57,8 HRC до 56,1 HRC. Важно, что повы-

шение силы тока до 180 А привело к формированию плотной структуры наплавленного металла без пор и микротрещин.

По мнению авторов работ [1-3 и др.] в условиях воздействия на металл ударных нагрузок наличие в микроструктуре карбидов хрома типа M_7C_3 отрицательно сказывается на его ударно-абразивной износостойкости, приводя к ускоренному износу [7]. К тому же, содержание марганца в наплавочном материале в количестве 20,3 % приводит к высокой концентрации его не только в аустените, но и в карбидах хрома, снижая их микротвердость [1]. Повысить сопротивляемость ударным нагрузкам такого металла возможно дополнительно легировав его элементами, способствующими: повышению растворимости марганца в аустените, облегчению протекания полидеформационного превращения в аустените при воздействии ударных нагрузок, расширению области существования γ -фазы, и способными к образованию собственных твёрдых упрочняющих фаз. Единственным элементом, отвечающим всем предъявляемым требованиям, является азот [4].

С целью легирования наплавленного металла азотом к порошку типа 250X15Г20С подмешивали 5 % масс азотированного феррохрома (таблица 1). При этом получили наплавленный металл типа 240X17Г19АС с содержанием азота 0,49 % масс. В [4] показано, что содержание азота уже в количестве 0,3 % обеспечивает сохранение аустенитной структуры Fe-Cr-Mn сплавов при любых скоростях кристаллизации, а также дестабилизирует его по отношению к $\gamma \rightarrow \varepsilon$ превращению, снижая энергию дефектов упаковки. При этом максимальное количество ε -фазы (упорядоченных и неупорядоченных дефектов упаковки) после деформации приобретают сплавы с содержанием марганца около 20 %. Таким образом введение азота повышает склонность металлической основы наплавленного металла к полидеформационному превращению при воздействии ударных нагрузок и способствует лучшему закреплению карбидных частиц в аустените.

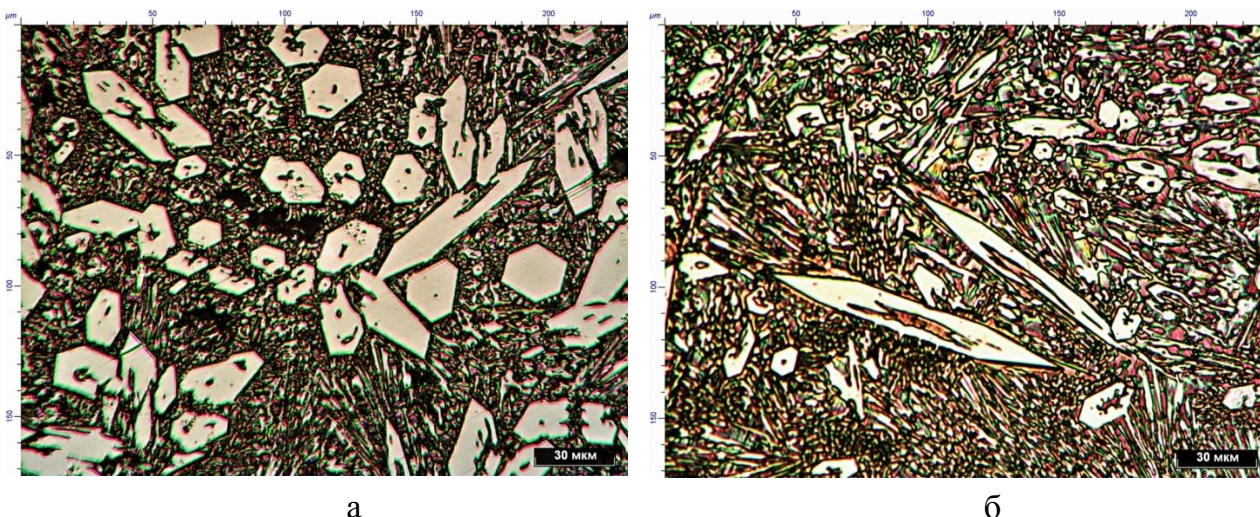


Рисунок 1 – Микроструктура покрытия типа 250X15Г20С, наплавленного на токе:
а – 120А, б – 180А, $\times 500$

Металлографические исследования покрытия типа 240X17Г19АС наплавленного на токах 80, 120 и 180 А, показало, что металлическая основа после травления реактивом Марбле окрашивается в тёмно-коричневый цвет, и может быть идентифицирована как высоколегированный аустенит. Об этом также свидетельствуют данные рентгеноструктурного анализа, приведённые в [8]. Азот не образует собственных упрочняющих фаз и в основном легирует аустенит, хотя смещение интерференционных линий интенсивностей карбида хрома M_7C_3 и некоторое увеличение параметра его решётки, а также повышение микротвердости свидетельствует о некотором его растворении и в карбидной фазе.

Микроструктура покрытия 240X17Г19АС, наплавленного на токах 80, 120, и 180 А с охлаждением на воздухе, а также, на токе 180 А с охлаждением душированием водой, приведена на рисунке 2. Рентгеноструктурным и металлографическим анализом не обнаружено образование мартенсита, даже при кристаллизации с последующим ускоренным охлаждением (рисунок 2 г).

Металлической основой покрытия типа 240X17Г19АС наплавленного на токе 80 А является аустенит, который в основном находится в эвтектике, также в структуре содержится 11,8 % об. карбонитридов $M_7(CN)_3$. Повышение силы тока до 120 А приводит к изменению типа кристаллизации наплавленного металла с заэвтектического на эвтектический. При этом частицы карбонитридов приобретают вытянутое строение, вдоль направлений теплоотвода в сварочной ванне, а эвтектический аустенит кристаллизуется в форме вырожденных дендритов. Подобную структуру можно охарактеризовать как разряжено-эвтектическую (рисунок 2 б).

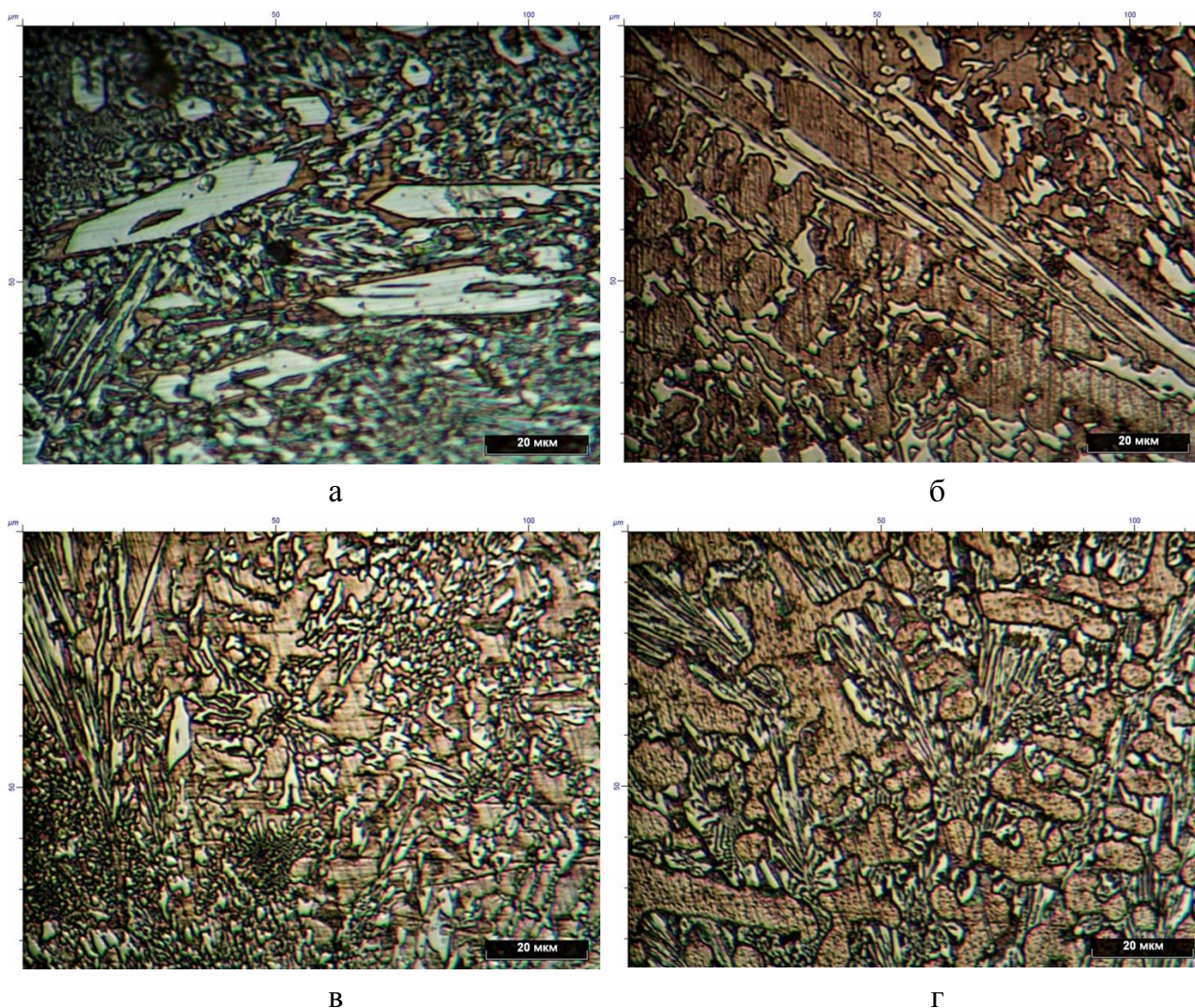


Рисунок 2 – Микроструктура покрытия 240X17Г19АС, наплавленного на токе:
 а – 80А, с охлаждением на воздухе; б – 120А, с охлаждением на воздухе; в – 180А,
 с охлаждением на воздухе; г – 180А, с душированием водой. $\times 1000$

При наплавке на токе 180 А с охлаждением образцов на воздухе в средней части покрытия формируется доэвтектическая структура металла (рисунок 2 в). Дендриты аустенита имеют неправильную форму, без преимущественных направлений роста. В междендритном пространстве расположена аустенито-хромистокарбидная эвтектика зернистого строения на базе карбида M_7C_3 . Повышение скорости охлаждения металла наплавленного на токе 180 А, путем душирования водой наплавленного валика, приводит к формированию правильных дендритных кристаллитов аустенита ориентировано расположенных вдоль направлений теплоотвода. Даже в средней части сварочной ванны (рисунок 2 г) дендриты аустенита имеют правильное строение с максимальной длиной осей первого порядка – 80 мкм, второго – 50 мкм.

При этом с повышением скорости кристаллизации и последующего охлаждения микротвёрдость эвтектики повышается с 530 МПа до 760 МПа.

Зависимость ударно-абразивной износостойкости от твёрдости наплавленного металла приведена на рисунке 3.

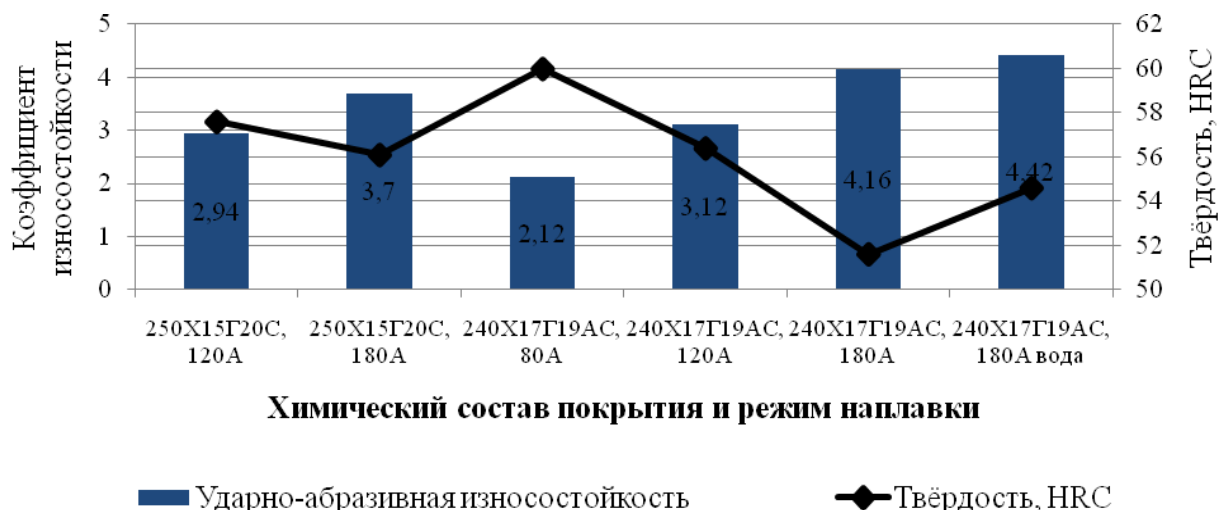


Рисунок 3 – Зависимость ударно-абразивной износостойкости от твёрдости

Наличие азота в количестве около 0,5 % способствует повышению ударно-абразивной износостойкости наплавленного металла, при прочих равных условиях, на 6...10 %, в зависимости от режима наплавки. При этом с повышением силы тока твёрдость падает, как при наплавке с азотом, так и без него. Это связано с тем, что сильнее перегретая сварочная ванна, образующаяся при наплавке на токе 180 А, кристаллизуется с меньшей скоростью, чем ванна, образующаяся при наплавке на токе 120 А, или тем более 80 А, и согласно принципам кристаллизации сложнолегированных сплавов формирование её структуры происходит по тальвегам, смещающим, в этом случае эвтектическую точку в сторону больших содержаний углерода, тем сильнее, чем меньше скорость кристаллизации.

Скорость последующего за кристаллизацией охлаждения также влияет на формирование структуры и свойств наплавленного металла. Ускорение охлаждения способствует образованию правильных дендритных кристаллов, с равномерно расположенными по объёму сварочной ванны структурными составляющими, ориентированными перпендикулярно подложке. Это приводит к повышению твёрдости и значительному росту ударно-абразивной износостойкости.

Таким образом, для работы в условиях ударных нагрузок и одновременного воздействия абразива эффективно дополнительное легирование азотом

хромомарганцевого покрытия. Режим наплавки должен обеспечить низкую скорость кристаллизации сварочной ванны и ускоренное ее последующее охлаждение. Дополнительное легирование азотом и правильно подобранный режим наплавки позволяют повысить ударно-абразивную износостойкость по сравнению с базовым наплавочным материалом на 19 %.

Литература

1. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства М.: Metallurgy, 1973. 176с.
2. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. М.: Машиностроение. 2010. 280с.
3. Нефедьев С.П., Дёма Р.Р., Котенко Д.А. Абразивная и ударно-абразивная износостойкость твёрдых наплавленных покрытий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgy. 2015. Т. 15. № 1. С. 103-106.
4. Банных О.А., Блинов В.М. Дисперсионно-твердеющие немагнитные ванадий содержащие стали. М.: Наука, 1980. 190 с.
5. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. акад. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
6. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Сварка, нанесение покрытий, упрочнение. М.: Машиностроение. 2008. – 406 с.
7. Дёма Р.Р., Ярославцев А.В., Нефедьев С.П. Методы оценки напряженно-деформированного состояния. Методология научных исследований. Основы научных исследований. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова. 2015, 168 с.
8. Нефедьев С.П., Дёма Р.Р., Тютряков Н.Ш., Морозов А.Н., Харченко М.В., Белоцерковский М.А., Леванцевич М.А. Структура зоны сплавления хромомарганцевого покрытия, полученного плазменно-порошковой наплавкой // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2016. № 1. С. 68-72.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА 20Х13,
ПОЛУЧЕННОГО НАПЛАВКОЙ
В РАЗЛИЧНЫХ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕДАХ**

Еремин Е. Н., Лосев А. С., Бородихин С. А. (weld_techn@mail.ru)

ФГБОУ ВО «ОмГТУ», г. Омск, РФ

Аннотация. Установлено, что высокая стабильность твердости и структуры высокохромистой наплавки Св-20Х13 обеспечивается в азотсодержащей среде.

Ключевые слова: защитные газы, наплавленный металл, твердость, нитриды, запорная арматура.

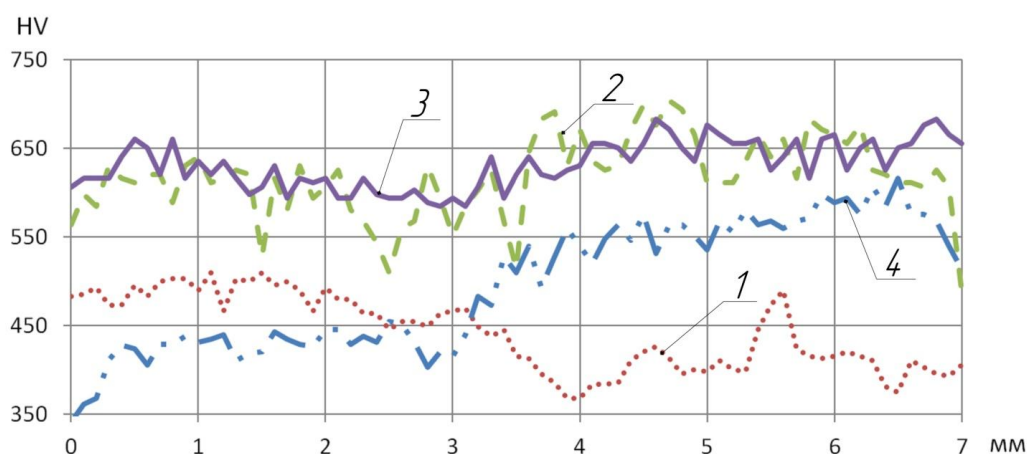
Повышение ресурса уплотнительных поверхностей запорной арматуры является актуальной проблемой. Наибольшее применение при восстановлении и упрочнении ее деталей нашла наплавка в среде защитных газов [1-3]. Твердость уплотнительных поверхностей задвижек должна быть не менее 400 НV, и обладать высокой коррозионной стойкостью [4]. Эти требования обеспечиваются при наплавке Св-20Х13 в среде защитных газов [5, 6]. Чаще всего используют смесь аргона и углекислого газа. Известно, что улучшить характеристики высокохромистых сталей позволяет легирование азотом [6-8]. С этой целью исследовано влияния азотсодержащих защитных сред на структуру и твердость наплавки Св-20Х13.

Наплавка осуществлялась сплошной проволокой диаметром 1,6 мм в 2 слоя на пластины из стали Ст3 размером 200x50x10 мм. Исследовались защитные среды: 100% азот; смесь 80% азота и 20%, углекислого газа; 80% азота и 20% аргона и 80% аргона и 20% углекислого газа. Наплавка выполнялась на режиме: сила тока 190-210 А; напряжение дуги 20-22 В; скорость наплавки 27 м/ч; скорость подачи проволоки 140 м/ч; расход защитного газа 8 л/мин.

Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Carl Zeiss AxioObserver A1m с использованием программной системы анализа фрагментов микроструктур Siam 700. Микроструктура выявлялась химическим травлением в реактивах составов: CuSO_4 – 4 г; HCl – 20 мл; H_2O – 20 мл и 4 %-ым раствором азотной кислоты. ДюрOMETрические испытания проводили твердомером Shimadzu НМV-2 (нагрузка $P = 1,96 \text{ Н}$, шаг 100 мкм).

Распределение микротвердости наплавки в исследуемых средах приведены на рис. 1. Установлено, что при двухслойной наплавке в различных комбинациях защитных газов среднее значение твердости варьируется от НV450 до

HV650. Высокая стабильность твердости достигается в азотсодержащих защитных средах. Так в чистом азоте и смеси азота и аргона наблюдается наивысшие показатели средних значений наплавки, HV620-670 и HV590-640, соответственно. При наплавке в смеси N_2+CO_2 получены невысокие значения средней твердости металла, которые колеблются в пределах HV420-470. При наплавке в смеси аргона и углекислого газа имеет место значительный разброс твердости по наплавленным слоям, который достигает HV130.



1 – N_2 (80%)+ CO_2 (20%); 2 – N_2 (80%)+Ar (20%);
3 – N_2 (100%); 4 – Ar (80%)+ CO_2 (20%)

Рис. 1. Распределение микротвердости по сечению наплавленного слоя, полученного проволокой Св–20Х13 в защитных газах

Для установления причин выявленной картины распределения микротвердости в наплавленном металле проведены металлографические исследования. Выполненные исследования показали, что структуры покрытий, полученных наплавкой в защитных средах азота и азота и аргона, характеризуются троосто-мартенситной смесью с избыточным выделением мелкодисперсных карбонитридных фаз, что обуславливает высокую твердость металла. Металл, наплавленный в смеси азота и углекислого газа, имеет структуру троосто-мартенсита с включениями феррита и неравномерно распределенных карбидов и нитридов, большая часть которых образует эвтектику по границам бывших зерен аустенита, что приводит к снижению показателей твердости.

Выявленные структурные различия, логично объяснить тем что при наличии CO_2 в азотсодержащей смеси, металл при переходе с проволоки в ванну более интенсивнее окисляется, так как он более длительное время находится в области высоких температур. Кроме этого в столбе дуги под действи-

ем высокой температуры образуется окисел NO, растворяющийся в расплавленном металле. При кристаллизации сварочной ванны, вследствие скачкообразного падения растворимости NO из него выделяются азот и кислород, при этом наплавленный металл азотируется за счет образования нитридов, а кислород окисляет его.

При наплавке в безокислительной газовой смеси наличие высокой концентрации азота приводит к интенсивному азотированию металла на стадиях формирования капли и её перехода в сварочную ванну, что обеспечивает более дисперсную и однородную структуру наплавленного металла с включениями нитридов хрома и железа.

Металл, наплавленный в смеси Ar+CO₂ имеет троосто-мартенситную структуру с различным количеством феррита в слоях валика. В процессе наплавки тоже происходит окисление, вызванное наличием углекислого газа, и кроме этого наблюдается более глубокое проплавление основного металла, а следовательно, выше его доля участия в металле наплавки в первом слое. Этим и объясняется разброс твердости между двумя наплавленными слоями.

Таким образом, применение азотсодержащих газовых защит по сравнению с часто используемой смесью Ar+CO₂ повышает твердость наплавки Св-20Х13 в 1,3 раза при стабильном её распределении, и надежность запорной арматуры без дополнительных затрат.

Литература

1. Рябцев, И. А. Наплавка деталей машин и механизмов / И. А. Рябцев. – Киев: Экотехнология, 2004. – 159 с.
2. Eremin, E. N. Wear resistance increase of pipeline valves by overlaying welding flux-cored wire / E. N. Eremin, A. S. Losev // Procedia Engineering. – 2015. – № 113. – pp. 435- 440.
3. Соколов, Г. Н. Способы наплавки и плакирования металлов : учеб. пособие / Г. Н. Соколов. – Волгоград: Изд-во ВолГТУ, 2002. – 80 с.
4. Гладкий, П. В. Плазменная наплавка / П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. – Киев: Экотехнология, 2007. – 291 с.
5. Коротков, В. А. Исследование свойств высоколегированных наплавов / В. А. Коротков // Сварочное производство. – 1997. – № 10. – С. 32-32.
6. Еремин, А. Е. Структура и свойства высокохромистого металла запорной арматуры, наплавленного серийно выпускаемыми сварочными проволоками / А. Е. Еремин, Е. Н. Еремин, Ю. О. Филиппов [и др.] // Омский научный вестник. – 2014. – № 1 (127). – С. 55-58.
7. Костина, М. В. Хромистые коррозионно-стойкие стали, легированные азотом – новый класс конструкционных сталей / М. В. Костина, О. А. Банных, В. М. Блинов // Технология металлов. – 2000. – № 10. – С. 2-12.

8. Блинов, В. М. Структура и механические свойства нержавеющей азотсодержащей мартенситной стали типа 0X16H4AB / В. М. Блинов, О. А. Банных, М. В. Костина [и др.] // *Металлы*. – 2000. – № 3. – С. 64-71.

УДК 621.791

УПРОЧНЕНИЕ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ АКТИВИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Коробов Ю. С.¹ (yukorobov@gmail.com),

Шумяков В. И.² (val29071@yandex.ru)

¹ФГАОУ ВО «УрФУ», Екатеринбург, РФ;

²ООО «Уральский институт сварки», Екатеринбург, РФ

Аннотация. Приведены результаты исследования влияния предварительной (перед эксплуатацией) обкатки шариком поверхности, напыленной методом активированной дуговой металлизацией с использованием порошковой проволоки марки ППМ-6. Показано, что в результате такой обработки в поверхностном слое покрытия увеличивается количество мартенсита за счет его превращения из метастабильного аустенита, и повышается микротвердость покрытия на 25-30%.

Ключевые слова: активированная дуговая металлизация (АДМ), порошковая проволока (ПП), метастабильный аустенит (МСА), газотермические покрытия.

Для повышения ресурса оборудования и машин различного назначения эффективно нанесение газотермических покрытий, стойких против износа и газовой коррозии. Технологии и оборудование для получения покрытий методом активированной дуговой металлизации (АДМ) разработаны в начале 2000-х годов [1]. Для получения износостойких покрытий используют сплошные и порошковые (ПП) проволоки из сталей мартенситного класса (типа 40X13); ПП, в шихту которых введены карбиды бора, вольфрама, хрома; Получение покрытий из порошковых проволок методами активированной дуговой металлизации, отличается высокой технологичностью.

В последние 10 лет масштабы применения АДМ-технологий для получения покрытий, нанесенных на основу деталей машин и оборудования, существенно возросли за счет разработки и использования специальных порошковых проволок [2].

В частности, наиболее широкое применение нашла проволока марки ППМ-6, обеспечивающая получение покрытий со структурой метастабильного аустенита. Эта проволока, защищенная патентом Российской Федерации [3], изготавливается по заявкам ООО «Уральский институт сварки» на ЗАО «Завод сварочных материалов» (г. Березовский) по техническим условиям

[4]¹ и используется более 10 лет на ряде предприятий Российской Федерации и Казахстана.

Известно, что материалы, содержащие углеродистый МСА в качестве структурной составляющей, отличаются экономичностью легирования, показывают высокую стойкость в различных условиях механического изнашивания (абразивного, ударно-абразивного, гидро- и газоабразивного, эрозионного, кавитационного, адгезионного, усталостного и др.). Это обусловлено тем, что при контактном нагружении поверхности энергия внешнего воздействия расходуется в первую очередь на преобразование микрогетерогенной структуры МСА в дисперсный мартенсит. В результате при эксплуатации повышаются как твердость, так и износостойкость таких материалов [5].

В последние годы некоторые потребители проволоки ППМ-6 ставят задачу повышения исходной твердости покрытия (перед установкой деталей в эксплуатацию). В связи с этим нами были проведены специальные исследования².

Ниже представлены результаты исследований фазового состава и структуры покрытий, полученных методом АДМ с помощью порошковой проволоки состава, близкого к 150X8T2. Толщина покрытия 1,0 мм, основа из низкоуглеродистой стали. Травление продольных и поперечных шлифов производилось царской водкой (смесь концентрированных азотной HNO₃ (65–68 % масс.) и соляной HCl (32–35 % масс.) кислот, взятых в соотношении 1:3 по объему); микротвёрдость измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузках 50 и 100 г.

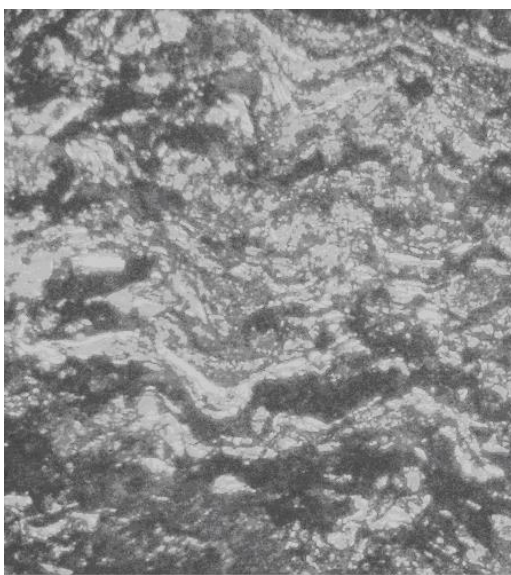


Рис. 1. Структура АДМ-покрытия, полученного из порошковой проволоки

¹ В разработке принимала участие Пименова О. В.

² Исследования выполнены под руководством Филиппова М. А.

Металлографический анализ поперечных шлифов покрытий показал (рисунок 1), что структура покрытия имеет характерный, волнообразный характер расположения структурных составляющих. У покрытия хорошее сцепление (адгезия) с основой, трещин не обнаружено, оксидный слой тонкий, имеются редкие утолщения или пустоты, граница между покрытием и основой имеет зигзагообразную конфигурацию.

Согласно данным рентгеноструктурного анализа, фазовый состав поверхности напыленного покрытия представляет собой совокупность металлической основы, первичных карбидов титана (TiC), карбидов хрома, а также оксидных фаз. Структура металлической основы представляет собой мартенсит и остаточный аустенит, количество последнего составляет около 50%. Микротвёрдость покрытия 620-820 МПа.

Покрытия были подвергнуты 40-кратной накатке шариком d 10 мм из стали ШХ15 при скорости 0,158 м/сек, и нагрузке 10 Н. После этого на поверхности количество остаточного аустенита уменьшилось до 20%, а мартенсита, соответственно, возросло, что указывает на метастабильность аустенита и его способность к мартенситному $\gamma \rightarrow \alpha$ превращению при рабочих нагрузках. Образования трещин, отколов на обкатанной поверхности не обнаружено. Микротвёрдость поверхности (HV_{100}) после обкатки возросла в среднем на 25-30 %, до уровня 800-1100 МПа (рис. 2).

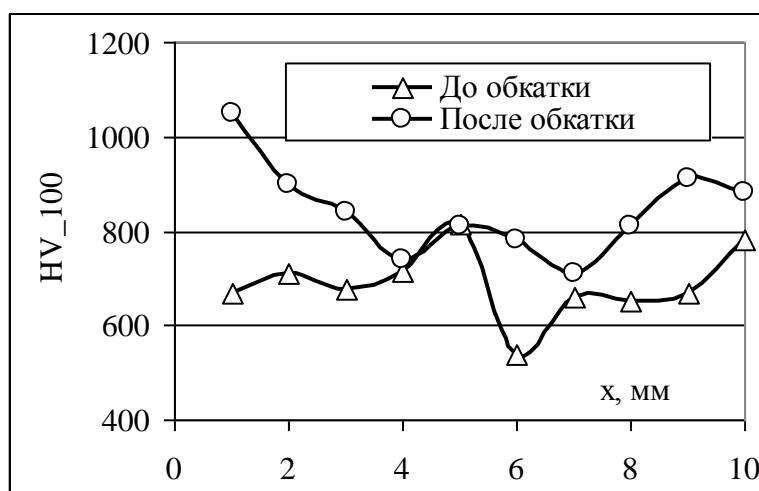


Рис. 2 – Микротвёрдость напыленного покрытия до и после обкатки

Адгезионная прочность составила 40-45 МПа, что соответствует уровню прочности для подслоя из нихрома, типовому материалу для подслоя.

Высокое значение обусловлено, вероятно, повышением температуры капель расплавленного металла за счет тепла экзотермических реакций частичного окисления таких компонентов шихты как алюминий и ферротитан.

Полученные характеристики твердости и адгезионной прочности достаточны для обеспечения надежности покрытий на поверхностях деталей типового применения: шейки валов/осей под подшипники качения и скольжения, рабочие поверхности штоков гидроцилиндров, плоские направляющие. На рисунках 3 (а – в) приведены примеры применения покрытий со структурой МСА, полученных активированной дуговой металлизацией из проволоки ППМ-6.



Рис. 3а. Справа, подшипниковые фланцы электродвигателей $\varnothing 250 - 200$ мм (ООО «Технологии наплавки и металлизации», г. Магнитогорск) и ротор электродвигателя, (ООО «Пермь-Глобалстройсервис», г. Пермь)



Рис. 3б. Опора станка (справа): на поверхности скольжения $\varnothing 500$ мм, покрытие толщиной 5 мм; (ЗАО Научно-производственное предприятие «Машпром», Екатеринбург) и (слева) напыление коленчатого вала двигателя «Камаз» (ООО «Авторемзавод», г. Красноярск).

Литература

- 1 Бороненков В.Н., Коробов Ю.С., Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012.- 268 с.
- 2 Коробов Ю.С., Шумяков В.И., Прядко А.С. Рациональный подход к восстановлению деталей оборудования газотермическим напылением // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2013. - № 3. - С. 17-21.
- 3 Патент № RU 128 853 U1.
- 4 ТУ 1274-001-02069208-2011 Проволока порошковая марки ППМ-6 для металлизации. Технические условия.
- 5 Износостойкие стали для отливок: монография / М. А. Филиппов, А. А. Филиппенков, Г. Н. Плотников. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009, 358 с.

УДК 621.793

УПРОЧНЕНИЕ ТРИБОМОДИФИКАЦИЕЙ ВЕРМИКУЛИТОМ

Леонтьев Л. Б. (*leontyev.l.b@yandex.ru*),

Шапкин Н. П. (*npshapkin@gmail.com*)

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Аннотация. Исследовано влияние на износостойкость пары трения «ролик-колодка» модифицирования ролика композитами на основе вермикулита.

Ключевые слова: вермикулит, модифицирование, износостойкость, структура

Повышение надежности узлов трения может быть достигнуто формированием металлокерамического покрытия. Для этого применяют природные слоистые силикаты (в т.ч. вермикулит) и их композиции [1, 2, 3]. Недостатком силикатов является их абразивность. Ее снижение возможно химическим модифицированием за счет удаления абразивных частиц Al_2O_3 , TiO_2 и др. и последующим плакированием полимерами [2].

Вермикулит (табл. 1) обрабатывали раствором 6–12% соляной кислоты, затем модифицировали полифенилсилоксаном, брутто-формула $[C_6H_5SiO_{1.5}]$. Содержание кремния после обработки вермикулита кислотой увеличивается за счет снижения содержания магния, алюминия и железа (табл. 1). После обработки кислотой размеры частиц уменьшаются от 5 мкм до 6...10 нм, т.е. на два порядка. Вермикулит имеет слоистую структуру с размером «галереи» 5,1 Å [1]. При обработке кислотой происходит его увеличение за счет извлечения ионов алюминия, железа и магния, что позволяет вводить полимерную, структурно близкую молекулу полифенилсилоксана (ПФС), толщиной 4,6–

4,8 Å [4]. При введении ПФС происходит кристаллов эксфолиация вермикулита с появлением на поверхности фенильных радикалов. Прокаливание же приводит к удалению адсорбированной воды.

Таблица 1

Элементный состав вермикулита

№	Образец	Содержание элементов, %						
		SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Следы
1	Исходный вермикулит	44,65	29,76	15,14	5,7	7,85	0,78	0,580
2	Вермикулит+12 % HCl	89,26	6,72	3,64	1,0	0,34	0,17	0,017

Выполнены структурные исследования с помощью сканирующего электронного микроскопа с энергодисперсионным детектором для элементного анализа Hitachi S-3400N (Япония) и оптического микроскопа Leica DM-4000 В «Leica Microsystems Wetzlar GmbH» (Германия).

Трибоиспытания проводили на машине трения УМТВК «АвтоВАЗ» по схеме «ролик – колодка» при скорости скольжения 0,63 м/с. Ролик изготавливали из стали 40Х твердостью 230 НВ, диаметром 45 мм, шириной 10 мм, и полировали до Ra 0,32 мкм. Режимы испытаний приведены в табл. 2. Суммарное время формирования покрытия и испытаний на износ каждой пары трения составляло 1 час.

Таблица 2

Режимы трибоиспытаний

Нагрузка, Н	100	200	400
Время формирования покрытия, мин	5	10	45
Время трибоиспытаний, мин	5	10	45

Колодки были вырезанные из вкладыша «Rillenlager» («Miba» 33), который имеет регулярный микрорельеф в виде винтовой канавки глубиной 16–40 мкм и шагом около 0,15 мм, что обеспечивает высокую усталостную прочность и способность выдерживать высокие удельные нагрузки.

Смазку пары трения вели капельным способом (5–6 капель в минуту), дизельным маслом марки М-14-Д₂(цл 30) ГОСТ 12337-84 с главного судового среднеоборотного дизеля (СОД). Значения характеристик масла и содержание в нем продуктов износа и сгорания соответствовало типичным значениям для СОД, работающих на тяжелых сортах топлива: вязкость при 100 °С – 15,8 сСт, щелочное число – 20,3 мг КОН / г, механические примеси 1,5%, Fe – 8,5 г/т, Al – 6,3 г/т, Cr – 2,6 , г/т, Si – 6,3 , г/т, Pb – 4,3, г/т, Sn – 12,1 г/т, Cu –4,5 г/т.

Износ образцов определяли весовым способом на лабораторных весах с ценой деления 0,1 мг марки A UW 220D фирмы Shimadzu (Япония).

Для модифицирования вермикулит (220-300г) вводят в один литр дизельного топлива и подвергают кавитационному диспергированию. Модифицирование поверхности ролика проводили фрикционно-механическим методом в течение 3 минут при помощи стального индентора твердостью 50HRC, капая смесь триботехнического материала с дизельным топливом в зону трения. Затем формировали покрытие в течение 1 часа стальным индентором, капая в зону трения смазку без триботехнического материала. В результате на поверхности трения стали формировалось металлокерамическое покрытие, которое характеризуется минимальным содержанием железа (всего 8,2%) и большим – углерода, кислорода, кремния и алюминия. Поверхность покрытия неровная (рис. 1), толщина находится в пределах 6,0-7,5 мкм, в среднем 6,7 мкм. На глубине до 0,3 мм наблюдается повышенное содержание легирующих элементов, входящих в состав трибоматериала.

Таблица 3

Скорости изнашивания и коэффициент трения на этапах трибоиспытаний

№ п/п	Триботехнический материал для формирования покрытия	Скорость изнашивания стали, мг/ч			Скорость изнашивания вкладыша, мг/ч	Коэффициент трения при максимальной нагрузке
		при нанесении триботехнического материала	при формировании покрытия	в процессе трибоиспытаний		
1	Сталь 40X без модифицирования	–	–	2,7	10,5	0,079
2	Вермикулит + 9%ПФС	60	0,1	0,4	2,2	0,022
3	Вермикулит + HCl + 9% ПФС	16	1,4	0,6	1,2	0,014
4	Вермикулит + HCl + 9% ПФС + ТО	8	1,4	0,1	1,9	0,007

Примечание. ТО – термообработка (прокаливание при температуре 600–700 °С в течение 1 часа).

Трибоиспытания пары трения в условиях граничной смазки позволили установить (табл. 3), что упрочнение стали композитами на основе вермику-

лита улучшает все триботехнические характеристики. В том числе снижает скорость изнашивания в 3,7 раза. Наиболее значительный триботехнический эффект дает использование композита вермикулит + HCl + ПФС + ТО: минимальная скорость изнашивания стали, а также коэффициент трения по сравнению с упрочнением составом вермикулит + HCl + ПФС без последующей термообработки. Однако скорость изнашивания антифрикционного покрытия вкладыша минимальная при использовании вермикулита, модифицированного кислотой и ПФС.

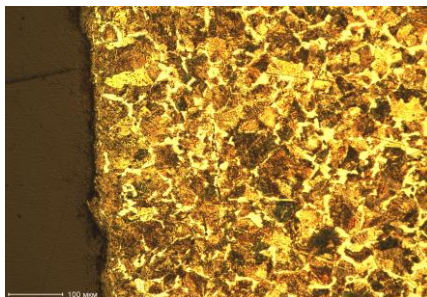


Рис. 1. Микроструктура антифрикционного покрытия на основе вермикулита на стали 40Х

Вывод.

Применение композита на основе вермикулита последовательно модифицированного соляной кислотой и полифенилсилоксаном для упрочнения стали путем трибомодификации позволяет получить на поверхности трения металлокерамическое покрытие толщиной около 7 мкм, обладающее при граничной смазке низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью. При этом уменьшается скорость изнашивания сопряженной поверхности. Трибомодификация рекомендуется для упрочнения шеек коленчатых валов судовых среднеоборотных дизелей.

Литература

1. Погодаев Л.И. Влияние геомодификаторов трения на работоспособность трибосопряжений // Проблемы машиностроения и надежности машин, 2005, № 1. – С. 58–66.
2. Леонтьев Л.Б., Шапкин Н.П., Леонтьев А.Л., Макаров В.Н. Особенности формирования износостойкого металлокерамического покрытия на поверхностях трения стальных деталей // Металлообработка. 2014, №6(84). С. 41–51.
4. Sinha Ray S., Bousmina M. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites // Progress Mater. Sci. 2005, V. 50, P. 962.

5. Шапкин Н. П., Кульчин Ю. Н., Разов В. И. и др. Исследование поливинилполифенилсилсесквиоксанов методами рентгеновской дифрактометрии, позитронной диагностики, спектроскопии ЯМР Si^{29} и изучение пленок на их основе // Изв. АН РФ. Сер. Химия. – 2011. – № 8. – С. 1614–1620.

УДК 629.3.014.2.017

РВС-ИПИ ДЛЯ БЕЗРАЗБОРНОГО РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ

Байнов А. А. (abainov@mail.ru), Фирстов С. В.

ОАО «Святогор НТ», Екатеринбург, РФ

***Аннотация.** Рассмотрено применение ремонтно-восстановительного состава - интеллектуального-поверхностного изоморфа (РВС-ИПИ) на предприятиях различных отраслей промышленности.*

***Ключевые слова:** трение, износ, ресурс, трибология.*

Для промышленных предприятий вопрос продления ресурсов трущихся металлических поверхностей в механизмах и машинах является актуальным, а восстановление геометрии узлов трения до номинального состояния в порядке текущей эксплуатации без вывода в капитальный ремонт еще и очень эффективным.

В конце 80-х годов был разработан метод обработки стальных деталей и целых узлов с использованием направленной диффузии, в корне меняющий традиционное понятие ремонта [1]. В основе метода лежит способность триботехнических составов при определенных условиях диффундировать в глубину поверхностного слоя металлов, вызывая восстановление износа и упрочнение. Основой этих составов на тот момент являлись дорогостоящие синтетические порошки оксидов металлов. В начале 90-х годов во время бурения на Кольском полуострове обнаружили, что при прохождении бура через определенные горные породы его режущие поверхности не только не изнашивались, а упрочнялись и восстанавливались [2]. С этого началась работа по поиску и подбору минеральных триботехнических составов. В результате многолетних исследований российскими учеными Никитиным И. В. и Ермаковым В. И. в 1994-1999 годах были запатентованы составы, имеющие защищенное наименование «РВС-технология» (Ремонтно-восстановительный состав), (патент РФ № 2135638 от 27.08.99, приоритет от 26.11.98 г., патент Украины №2442А от 22.04.97}. Сегодня многие компании на рынке России и зарубежья представляют составы, основанные на этих научных разработках.

В 2009г. была создана компания «Святогор-НТ», которая занимается методами восстановления изношенных поверхностей металлов на основе технологии РВС-ИПИ. Патент РФ №2377340 от 27.12.2009 г. Обработка узлов и механизмов ремонтно-восстановительными составами нашего производства соответствует ТУ-2111-001-0151257833-2008 и дает возможность избирательной компенсации износа трущихся поверхностей за счет образования нового модифицированного поверхностного слоя металлов с рядом добавленных характеристик.

Технология «РВС-ИПИ» использует геомодификатор трения из природных материалов (оливинов). Она позволяет, используя энергию трения, частично восстанавливать поверхности (от 100 до 300 мкм) изношенных механических узлов, а также придавать поверхностям трения высокие антифрикционные и противоизносные свойства.

Область применения РВС-ИПИ: ДВС, коробки передач, редукторы, маслостанции, компрессоры, насосы (все виды), турбины, гидравлические цилиндры и гидросистемы, нагруженные передачи (кроме сцепления), все типы подшипников качения, валки прокатных станков, шнековые и червячные приводы, буровое оборудование и штанги, клапанные механизмы ДВС, скрытые детали трения, салазки станков, ползуны, оружейные стволы, и т.д.

РВС-ИПИ технология открыла механизм управления барьерным эффектом приповерхностного градиента плотности дислокаций (debris-слоем). Он позволяет управлять прочностью материала по сравнению с его исходным состоянием. Поверхностные источники дислокаций вступают в действие первыми и генерируют большее количество дислокаций, чем объемные источники (внутри металла). Дислокации от поверхностных источников перемещаются на большее расстояние, чем от объемных. Действие указанных факторов, как правило, приводит к большему упрочнению поверхностных слоев кристалла металла. Данный процесс имеет гетерогенный тип. Управление зарождением дислокаций, их размножением, перемещением приповерхностного слоя повышенной плотности дислокаций и есть основа РВС-ИПИ технологии.

РВС-ИПИ заданным образом увеличивает количество вакансий и искусственно заполняет их легирующими или примесными элементами (для данного типа кристалла металла), что значительно увеличивает количество винтовых дислокаций. Дислокации вступают в конкурентную борьбу на своих границах, это существенно влияет на пластичность и упругость поверхности кристалла металла. Кроме того, если приповерхностный градиент плотности дислокаций рассматривать как одну из форм неоднородности микропластической деформации, приводящей к хрупкому, усталостному и другим

видам разрушений, то вполне естественно, что, зная кинетику и закономерности формирования такой неоднородности, можно ею управлять и прогнозировать эффект.

Использование данной технологии позволяет увеличить твердость поверхности, износостойкость, понизить коэффициент трения, восстановить первоначальную геометрию деталей, оптимизировать процессы трения и восстановления поверхностей, подверженных износу.

На рис. 1 и 2. показаны спектрограммы виброускорений до и после обработки РВС-ИПИ, полученные лабораторией ООО «ЭМАШ» УрФУ. В заключении лаборатории сделан вывод о целесообразности применения РВС-ИПИ, который позволяет снизить механические потери и уровень вибрации в подшипниковых узлах больших машин.

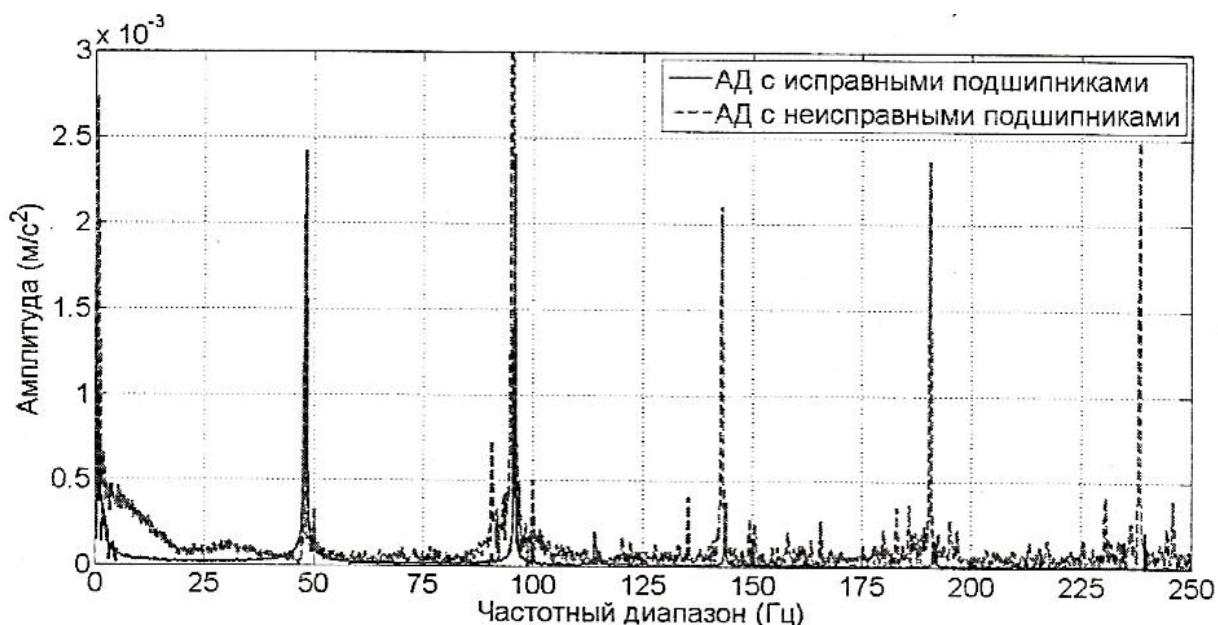


Рисунок 1 – Спектрограмма виброускорений при работе АД с исправными и неисправными подшипниками

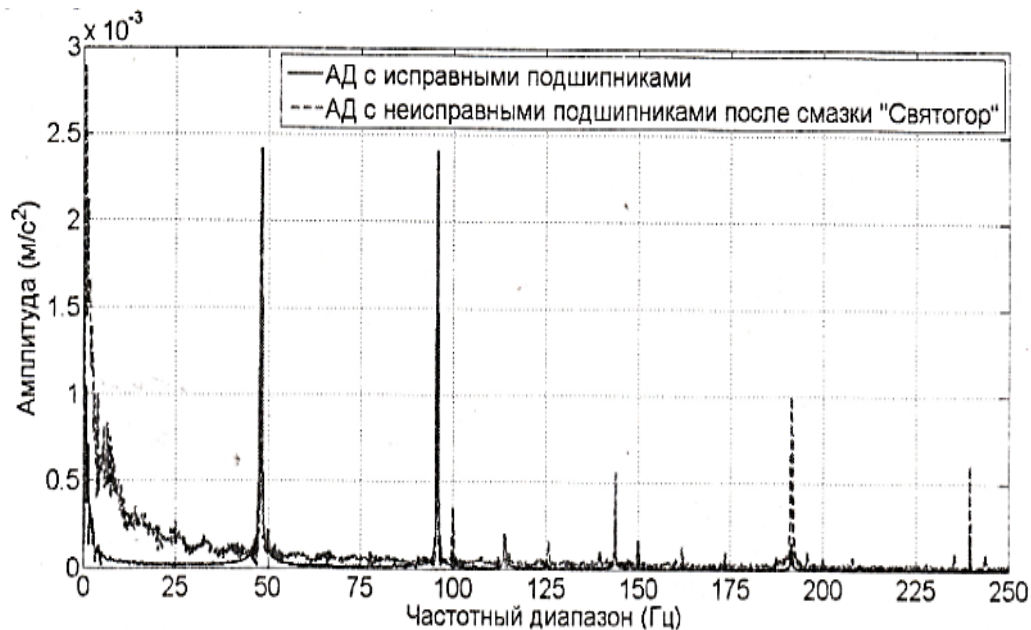
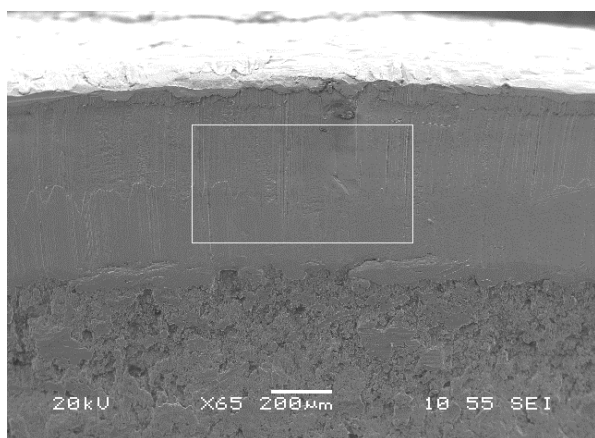
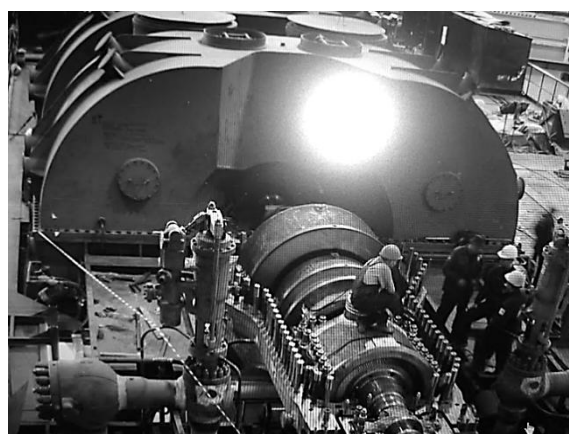


Рисунок 2 – Спектрограмма виброускорений при работе АД с исправными и неисправными подшипниками (после использования триботехнической композиции на основе литола и серпентинитов)

На рис. 3а приведена микроструктура слоя от применения РВС-ИПИ. Видно, нанесение на поверхность слоя вещества, под которым сформировалась диффузионная упрочненная зона. Таким образом, восстановление и упрочнение поверхностей трения, происходит в режиме штатной эксплуатации. Стоимость ремонта снижается в разы. Увеличивается многократно ресурс обработанных узлов и механизмов, повышается время работы в аварийных режимах при выходе из строя системы смазки. Снижаются эксплуатационные затраты (горючего, электроэнергии) в связи с малым количеством триботехнической композиции и тонкости фракции максимально снижена опасность засорения внутренних каналов и фильтров. За счет оптимизации поверхности качения подшипниковых узлов снижаются шум, вибрации и нагрев.



а)



б)

Рис.3 Структура поверхности, обработанной РВС ИПИ (а) и тепловая турбина (б)

Применение РВС-ИПИ позволило восстановить подшипники скольжения и пружинные муфты тепловых турбин (рис. 3б), винтовые компрессоры, упрочнить прокатные валки и многое другое. Выявленные противопоказания к применению: значительные механические повреждения узлов трения, одновременное применение с другими присадками, кондиционерами, смазками из-за возможной химической несовместимости.

Литература

1. Мур Д. Основы применения трибоники / пер. с англ. к.ф.-м.н. С.А.Харламова ; под ред. д.т.н., проф. И.В. Крагельского и к.т.н. Г.И. Троянской. – М. : Мир, 1978. - 483 с.
 2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М. : Машиностроение, 1977. - 526 с.
- 621.9.025.6

ПРИМЕНЕНИЕ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ С ПОКРЫТИЕМ

Ромашев А. Р., Кудинова Т. Н. (ntmt-ntiustu@mail.ru)

Нижнетагильский машиностроительный техникум УрФУ НТИ (ф),
г. Нижний Тагил, Россия

***Аннотация.** Исследована экономическая целесообразность обработки детали «Сателлит» червячными модульными фрезами с износостойкими покрытиями.*

***Ключевые слова:** Фреза, покрытие, экономика.*

Обработка деталей резанием из новых материалов, на высокопроизводительном оборудовании предъявляет высокие требования к свойствам режущего инструмента. Для их повышения применяют нанесение тонких (1–5 мкм) износостойких покрытий обеспечивающих повышение производительности обработки резанием на 20–200% с увеличением срока службы самого инструмента до 1,5–10 раз [1]. Целью работы является исследование целесообразности применения износостойкого покрытия на червячной модульной фрезе для обработки детали «Сателлит».

В процессе нанесения износостойкого покрытия на инструментальном материале создается твердый слой, который создает своего рода барьер между инструментальным и обрабатываемым материалом. Снижается трение между стружкой и передней поверхностью, что существенно сокращает абразивный износ, уменьшается нагрев инструментального материала. Уменьше-

ние температуры и создание барьера практически полностью предотвращает диффузию инструментального и обрабатываемого материала и связанный с ней диффузионный износ. Таким образом, наличие покрытия замедляет все основные процессы износа инструментального материала.

Традиционное покрытие TiCN (карбонитрид титана) отличается от покрытия TiN более высокой твердостью. Высокая твердость в сочетании с низким коэффициентом трения определяет широкую область применения данного покрытия как в качестве твердого покрытия на инструмент, так и в качестве снижающего трение покрытия деталей машин. При использовании инструментов с покрытием TiCN обязательно применяется СОЖ (из-за низкой температурной стойкости покрытия).

Доля покрытий (TiAl)N в общем объеме износостойких покрытий последние годы постоянно увеличивается. Их преимущество в высокой стойкости к окислению при очень высокой твердости и низкой теплопроводности. Покрытие создает тепловой барьер, практически изолирующий инструментальный материал от воздействия тепла, образующегося при резании.

Как следствие, областью применения инструментов с покрытием (TiAl)N является обработка с большими термическими нагрузками на инструмент, т.е. в условиях «сухое резания».

Существуют два основных метода нанесения покрытия на режущий инструмент – методом химического осаждения (CVD) и методом физического осаждения (PVD). Покрытия на инструмент из быстрорежущей стали наносятся только с использованием PVD-метода (физического осаждения).

При использовании PVD-метода в подавляющем большинстве случаев применяется один из трёх способов: испарение электронным пучком; испарение электрической дугой; распыление ионной бомбардировкой.

На рис.1 приведена схема нанесения многослойных покрытий дуговым распылением.

Для этого зажигается электрическая дуга и перемещается по поверхности мишени, установленной в медном охлаждаемом катоде. Катод устанавливается вертикально на стенки камеры, и к нему подводится отрицательное напряжение. В момент розжига дуги на поверхности мишени возникает оплавление и начинается испарение металла мишени в камеру.

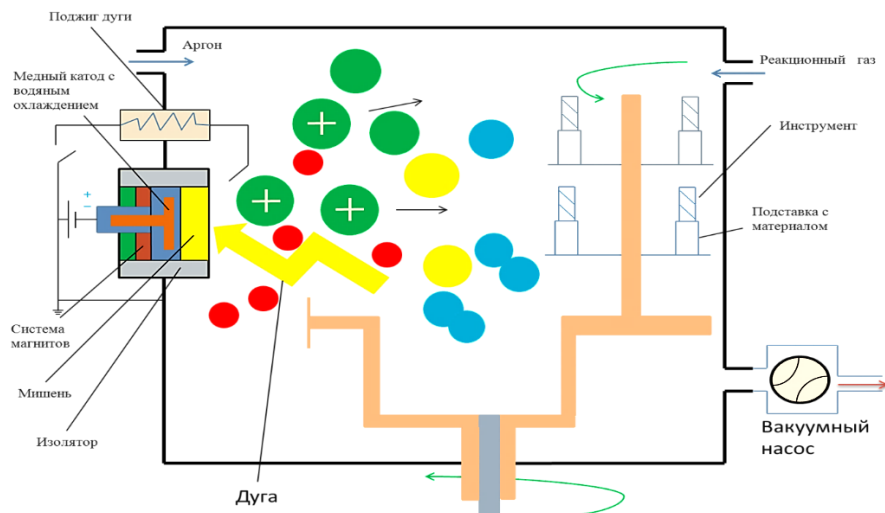


Рис.1. Дуговая установка (схема)



Рис. 2. Модульная фреза

Для обработки детали «Сателлит» применяется червячная модульная фреза (рис. 2) представляющая собой сложный и дорогостоящий инструмент.

Увеличение производительности обработки (частота вращения, подача, величина срезаемого слоя) при ее использовании, повышение стойкости самой фрезы, представляют собой актуальные задачи. Их решение осуществимо нанесением на фрезу упрочняющих покрытий.

Экономический эффект при замене модульной фрезы без покрытия на фрезу с покрытием достигается за счёт снижения следующих показателей [2–4]:

- количества оборудования, численности рабочих, заработной платы
- расхода технологической энергии

Экономические показатели базового и предлагаемого вариантов

Показатель	Ед. измер.	Зубофрезерная операция		Разность базового и предлагаемого вариантов
		фреза без покрытия	фреза с покрытием	
Средний период стойкости инструмента (для заданных условий)	мин.	240	360	120
Трудоемкость зубофрезерной операции	мин.	28,71	13,37	15,34
Количество оборудования	шт.	2	1	1
Процент загрузки оборудования	%	98	91	
Численность рабочих	чел.	4	2	2
Потребляемое количество электроэнергии	кВт.	33987	7913	26074
Стоимость энергии на выполнение программы	руб.	81568,5	18993	62575,5
Сдельная заработная плата на программу	руб.	606000	282000	424000

Кроме приведенных выше показателей экономический эффект выражается в уменьшении закупа режущего инструмента; сокращения заточных операций и расхода шлифовального инструмента;

Нарезание зубчатого венца детали Сателлит модульной фрезой с износостойким покрытием позволяет сократить время обработки на 55,7% и штучное время на 46%, что значительно повышает производительность труда.

Литература

1. Справочник технолога-машиностроителя Т1;2 / Под редакцией Косиловой А.Г. Мещерякова Р.К. - М.: Машиностроение, 1985.
2. Грибов В.Д. Экономика предприятий: Учебник для среднего профессионального образования и ВУЗов. Практикум. – М.: Финансы и статистика, 2005.
3. ГОСТ 3924-80 Фрезы червячные однозаходные для цилиндрических зубчатых колёс с эвольвентным профилем. Технические условия.
4. Справочник нормировщика / Под общей ред. А.В. Ахумова. – Ленинград: Машиностроение, 1987.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕРНИЗАЦИЯ
ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ И УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ¹**

Королев О. А., Ильиных С. А. (9030821087@mail.ru)

Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

***Аннотация.** Для модернизации машины трения 2070 СМТ-1 и маятникового копра КМ-5 разработаны программно-аппаратурные диагностические комплексы, позволяющие измерять трибологические и прочностные свойства металлов в цифровом виде. Значительно повышена точность и скорость измерений, а также увеличено количество измеряемых параметров.*

***Ключевые слова:** триботехнические и прочностные характеристики, аналоговые и цифровые измерения.*

Машина трения 2070 СМТ-1

Известно, что в машинах трения типа СМТ-1, предназначенных для исследования абразивного изнашивания, устройства регистрации параметров не отвечают современным требованиям, т.к. являются аналоговыми. Это влечет за собой низкую скорость и точность обработки сигналов и соответственно результатов исследования. Поэтому их модернизация является весьма актуальной.

При испытаниях материалов и узлов на любом оборудовании возникает задача сбора информации с регистрирующих устройств, которую успешно можно решить с помощью программного и аппаратного оборудования. При испытаниях на трение и износ используют в основном следующие типы измерительных устройств: датчик момента, тензодатчики различной конфигурации (датчики сжатия), фотодатчик импульсный, индуктивный датчик перемещения, инфракрасный датчик температуры. Выходные сигналы с датчиков – аналоговые.

В состав нового комплекса входят две составные части: механическая (собственно машина СМТ-1) и электротехническая – блок управления (БУ). Блок управления БУ питается от трехфазной сети переменного тока. Внутри блока установлены вторичные источники питания, обеспечивающие работу всех его устройств. Блок сопряжения (БС) преобразует сигналы, поступающие от датчиков, установленных на машине СМТ-1 в нормированные сигналы, которые соответствуют требованиям устройства ввода – вывода. Расши-

¹ С участием ведущего инженера ИМЕТ УрО РАН - В. В. Кирюхина.

ритель ввода – вывода (К) собирает и преобразует нормированные сигналы блока сопряжения в цифровую форму для передачи их в преобразователь интерфейса (ПИ), который в свою очередь преобразует цифровой сигнал в протокол USB для дальнейшей передачи его в ПК.

Управление электроприводом машины СМТ-1М производится компьютером в обратном порядке. Сигнал задания скорости вращения образца поступает от ПК через преобразователь интерфейса (ПИ) в расширитель (К) и далее на вход электропривода (ЭП), который управляет скоростью вращения вала электродвигателя СМТ-1.

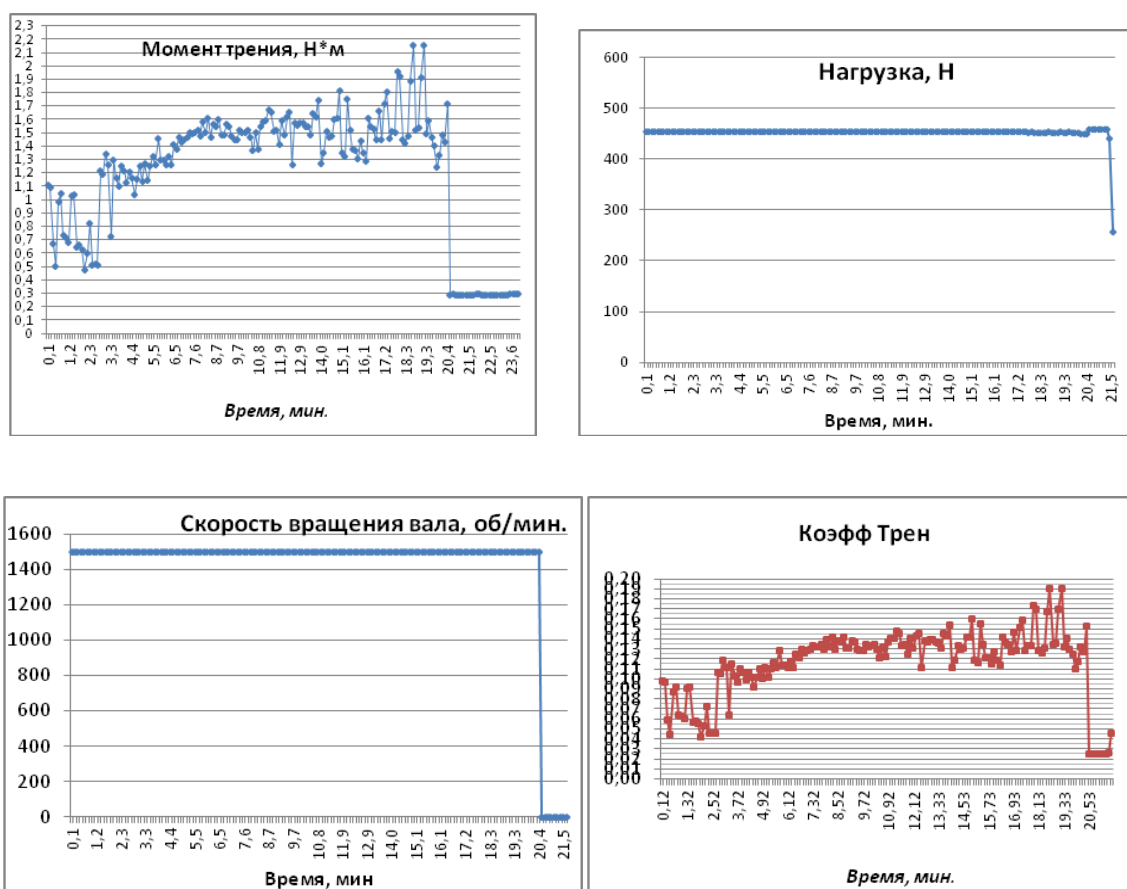


Рис. Пример зависимостей параметров эксперимента, выводимых на монитор сразу после остановки ведущего вала СМТ-1М и сохранения данных

Программное обеспечение системы позволяет компьютеру производить сбор показаний датчиков в процессе испытаний и их предварительную обработку. Сформированная база данных в дальнейшем позволяет производить обработку результатов экспериментов программой «Excel» на любом компьютере. Пример вывода данных на монитор ноутбука в одном из экспериментов показано на рис.

В таблице приведены сравнительные погрешность и точность измерений машины трения СМТ-1 серийной и модернизированной.

Таблица

№ п/п	Параметр	Единицы измерения	СМТ-1 серийная	СМТ-1М модернизированная	Точность измерений
1	Наименьший разряд счетчика оборотов	обор.	10	1	–
2	Погрешность измерителя частоты вращения вала	%	3	0,3	–
3	Предел погрешности нагрузки	%	1	0,5	1Н
4	Линейное перемещение	мм	–	0–2	0,3 %
5	Температура, предел погрешности	%	–	1	0,1 °С

Автоматизация и модернизация копра маятникового КМ-5

Определение ударной вязкости является основным практическим методом оценки склонности стали к хрупкому разрушению. Испытания образцов проводятся на маятниковых копрах типа МК по ГОСТ 10708-63. На копре КМ-5 измерительным элементом является шкала и металлическая стрелка. Измерение проводится визуально после удара молота по образцу и остановки стрелки на соответствующем угле шкалы. Модернизация копра заключалась в замене шкалы на прецизионный датчик вращения и создание электронного блока обработки результатов. Определение исходного угла и угла взлета маятника в модернизированном копре КМ-5М производится с помощью блока измерения и индикации.

Блок измерения и индикации имеет два канала измерения угла отклонения молота. Первый канал измеряет и индицирует угол α начального отклонения молота. Второй канал предназначен для фиксации угла β , на который отклоняется молот после разрушения образца.

Блок измерения позволяет производить запись временной диаграммы траектории движения молота во время разлома образца на запоминающий осциллограф. Чувствительность измерительного оборудования позволяет проследить момент зарождения трещины и общий характер разрушения образца. Погрешность датчика измерения угла составляет 0,5%.

ЭРОЗИЯ ПЕСЧАНЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

Грузман В. М.

Нижнетагильский филиал УрФУ, г. Нижний Тагил

vgruzman@mail.ru

***Аннотация.** Излагается новый взгляд на механизм эрозионного разрушения поверхности песчаной литейной формы. Обоснована необходимость изменения методов контроля прочности формовочной смеси. Приведены результаты успешных экспериментов с покрытием предупреждающем эрозию формы.*

***Ключевые слова:** эрозия, размыв, засор, прочность, тепловой удар, осыпаемость.*

В настоящее время фасонное литейное производство является основной заготовительной базой машиностроения. Оно позволяет получать детали сложной конфигурации с наименьшими затратами труда и энергии. Однако эта возможность далеко не полностью реализуется из-за повышенной дефектности отливок. Порядка 80–85 % отливок получают в песчаных формах [1], прочность которых намного меньше силового воздействия кинетической энергии потока расплава, заполняющего форму. Неизбежна эрозия поверхностного слоя, причём плоды эрозии - многочисленные песчинки не выносятся согласно расхожим представлениям поднимающимся расплавом в прибыль, а остаются на поверхности отливки. Первые потоки расплава, обогащенные в литниковой системе продуктами эрозии, соприкасаясь с «холодной» поверхностью формы и удаляясь от питателей, теряют «жидкотекучесть» и обгоняются новыми поступлениями металла. Расплав заполняет лабиринт форм фасонной отливки не как вода и не как, заливаемый сверху широко раскрытый горшок «Трефа» для получения образцов материала отливки, испытываемых на механические и деформационные свойства. Металловеды, опираясь на показания этих образцов, добились высоких характеристик прочностных свойств литейных сплавов. Однако достаточно нескольким песчинкам попасть в нагруженную зону детали работающего механизма, как здесь создаётся концентрация напряжений, которой не сможет противостоять самый превосходный материал. «Засор» – главный дефект отливок при литье в песчаные формы, а эрозия (лат. *erosio* – разъедание) главный его источник.

Считается, что формовочные смеси готовят на «земледелке». Но это не верно, там к «земле» просто добавляют воду. В 19-м веке каждое лето рабочие уходили на покосы, а техники и лаборанты – на поиски подходящей для формовки «земли» (песков с высоким содержанием глины.) Разумеется, ее залежи вокруг заводов истощались, поэтому в XIX веке, вместо природной смеси песка и глины начали применять «бентониты» – синтетические формовочные смеси [2]. Они в отличие от каолиновых глин в естественных формовочных смесях обладают большей связующей способностью. Для получения одинаковой сырой прочности формовочной массы их требуется меньше в два и более раз. Применение бентонита позволило существенно повысить

прочность сырых песчано-глинистых форм. Их прочность обычно вычисляют путем деления усилия разрушения на площадь сечения образца. Введение прочного бентонита увеличивает «каркасную» прочность литейных форм, но не гарантирует охвата связующим каждой песчинки. В результате все песчинки в форме разделяются на песчинки, закрепленные связующим бентонитом, и на незакрепленные песчинки. Разумеется, последние приобретают повышенную способность к отделению, а форма уменьшает эрозионную стойкость. Прочность бентонитовой формы на порядок больше прочности сырой песчано-глинистой формы, но брак по «засору» на предприятии, заменившем песчано-глинистые формы, не уменьшился, а вырос на новой формовочной линии с использованием бентонита.

В Нижнетагильском филиале УрФУ разработано новое покрытие, предупреждающее эрозию сырых бентонитовых форм, о чем свидетельствуют результаты, приведенные в табл. и на рис.

Таблица 1

Осыпаемость формы при тепловым ударе 1000 ° С

№ опыта	Смеси КРЗ, %		Смеси УВЗ для импульсной формовки, %	
	без покрытия	с покрытием	без покрытия	с покрытием
1	55	1,3	50	3,7
2	52	2.0	44	7,5



a

б

Рис. 1. Образцы после испытаний:

a – с покрытием, осыпаемость 3,7%; *б* – без покрытия, осыпаемость 50 %

Литература

1. Технология литейного производства : учебник / под ред. Б. С. Чуркина. – Екатеринбург : Изд-во УГПТУ, 2000. – 662 с.
2. Болдин А. Н. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия / А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Жуковский. – М. : Машиностроение, 2006. – 507 с.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Пегашкин В. Ф., Медисон В.В.

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил, Россия

v.f.pegashkin@urfu.ru

Аннотация. Рассмотрены процессы взаимодействия титана с кислородом при термическом оксидировании. Отмечено, что на поверхности сплавов происходит образование различных фаз химических соединений и твердых растворов, что приводит к существенному электрическому сопротивлению поверхностных слоев и приближает свойства оксидной пленки к диэлектрическим.

Ключевые слова: титан, модифицирование, электросопротивление.

Титановые сплавы находят широкое применение в современном машиностроении (авиационно-космическом, химическом, энергетическом). При комнатной температуре титан весьма устойчив против окисления. Взаимодействие металла с кислородом и азотом начинается при повышенной температуре. Титан обладает высокой коррозионной стойкостью на воздухе, в морской воде и во многих агрессивных средах. Это объясняется образованием на поверхности металла плотной защитной окисной пленки.

При взаимодействии титана с кислородом происходит образование различных фаз химических соединений и твердых растворов [1].

До сих пор исследования оксидных слоёв на поверхности титановых сплавов велись в основном в ключе изучения их негативного влияния, и поиска способов их устранения на поверхности полуфабрикатов. Однако последние исследования показывают, что оксидный слой на поверхности готовых изделий из титановых сплавов не только не имеет столь выраженного отрицательного влияния на их технологические и эксплуатационные свойства, но даже и повышает коррозионную стойкость, жаростойкость и твердость поверхности [2].

Использовались образцы из титановых сплавов: 4Al-1.5Mn, 6Al-4.5V, 6.3Al-2.5Mo-1.5Cr-0.5Fe-0.3Si, 5Al-5Mo-5V-3Cr.

Образцы из исследуемых титановых сплавов закаливали в воду, зачищали и обезжиривали. Обезжиривали погружением в ванну с водным раствором 2% соляной кислоты и 0,08% азотной кислоты. После этого измеряли исходную величину электросопротивления на приборе марки MIC-1000 (фирмы Sonel, Польша) при напряжении постоянного тока, равном 50 В.

Затем образцы подвергали термическому оксидированию в печи марки ПВК-1,4-17 при температурах 650, 700, 750 и 800 °С и времени выдержки со-

ответственно 8, 7, 6 и 5 часов и проводили повторное измерение электрического сопротивления образцов.

Результаты исследования электрического сопротивления, твердости, толщины оксидной пленки и прироста массы образцов из титановых сплавов различных марок приведены на рис. 1 – 3 и в табл. 1 и 2.

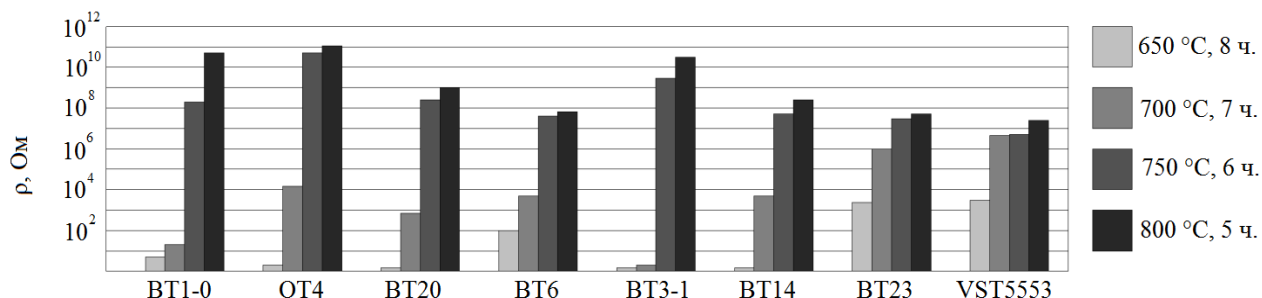


Рис. 1. Результаты измерения электрического сопротивления образцов после термического оксидирования на приборе Sonel MIC-1000

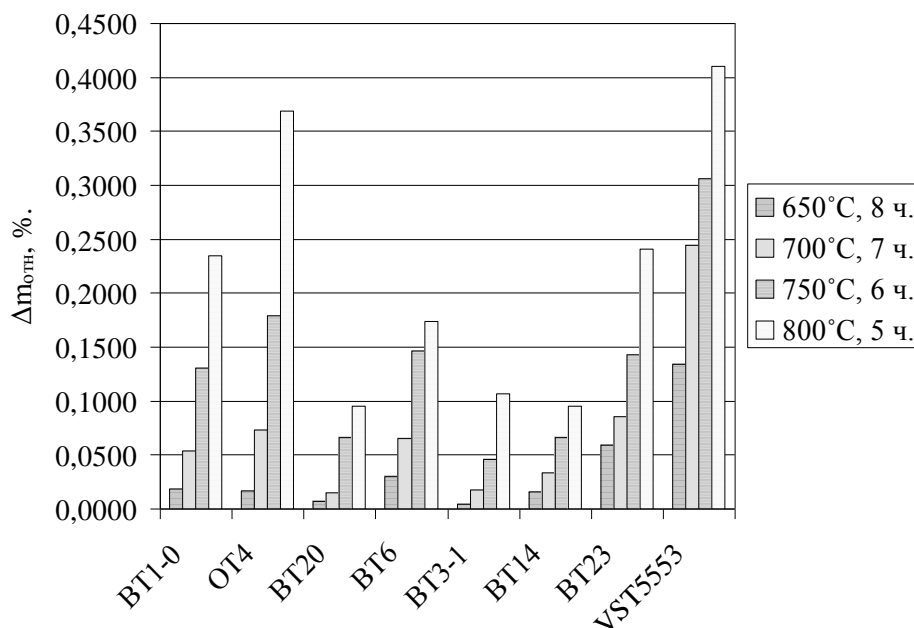


Рис. 2. Гистограммы относительного привеса образцов

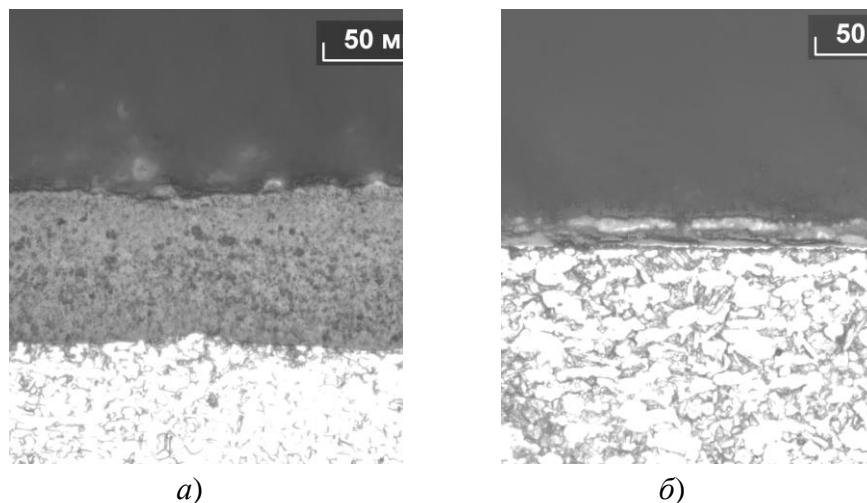


Рис. 3. Микроструктура после термического оксидирования при температуре 750 °С в течение 6 часов:
a - сплава ОТ4; *б* - сплава ВТ3-1

Таблица 1

Результаты исследования твердости образцов

Марка сплава	НВ, 10 ⁻¹ МПа				
	После закали	После старения			
		650 °С, 8 ч	700 °С, 7 ч	750 °С, 6 ч	800 °С, 5 ч
ВТ1-0	201	201	207	201	201
ОТ4	207	207	217	207	201
ВТ20	285	293	277	255	255
ВТ6	321	341	331	321	302
ВТ3-1	302	352	321	321	293
ВТ14	285	293	311	277	255
ВТ23	285	331	321	285	277
VST 5553	262	352	331	302	262

Видно, что наибольшее удельное электрическое сопротивление наблюдается у сплавов, в составе которых отсутствует ванадий, что может свидетельствовать о его негативном влиянии на удельное электрическое сопротивление.

Из таб. 2 видно, что основной оксид пленки на поверхности титанового сплава – это рутил (TiO₂), присутствующий в каждом из сплавов. TiO и Ti₆O – переходные оксиды, которые часто встречаются в оксидной пленке на титановых сплавах. Их удельное электросопротивление значительно ниже.

Как и предполагалось, оксиды, имеющие электрическое сопротивление, близкое к диэлектрику, присутствуют на оксидных пленках титановых сплавов всех марок – в виде TiO₂ и на сплавах ОТ4, ВТ6, ВТ3-1 – в виде Al₂O₃. Было обнаружено, что оксидные пленки, образующиеся на поверхно-

сти при нагреве, могут иметь существенное электрическое сопротивление, что приближает свойства оксидной пленки к диэлектрическим.

Таблица 2

Состав оксидной пленки титановых сплавов.

Сплав	Температура отжига, °С	Оксид	Содержание, %	Тип решетки
BT1-0	800	TiO ₂	95,2	Тетрагональная
		TiO ₂	0,6	Моноклинная
		Ti ₆ O	0,9	Гексагональная
		TiO _{0,857}	3,3	Кубическая
BT1-0	900	TiO ₂	100	Тетрагональная
OT4	800	TiO ₂	95,1	Тетрагональная
		Al ₂ O ₃	4,6	Ромбическая
		Ti ₆ O	0,3	Гексагональная
BT6	800	TiO ₂	94,9	Тетрагональная
		Al ₂ O ₃	5,1	Ромбическая
BT3-1	800	TiO ₂	90,5	Тетрагональная
		Al ₂ O ₃	4,6	Ромбическая
		Ti ₆ O	5,0	Гексагональная
VST 5553	750	TiO ₂	95,5	Тетрагональная
		Ti ₆ O	4,2	Гексагональная
		TiO	0,3	Тетрагональная

В то же время, сплавы, в составе которых присутствует ванадий, не обладают таким высоким электрическим сопротивлением.

Результаты данной работы можно использовать в качестве базиса для проведения дальнейших исследований физических свойств оксидированных титановых сплавов. Кроме того оксидированные титановые сплавы можно использовать в качестве изоляторов в различных технических устройствах.

Список литературы:

1. James C. Williams and Gerd Lütjering // TITANIUM. Engineering Materials and Processes, 2007. Pp 175-201.
2. F. Borigoli, E. Galvanetto, F. Ioselli, G. Pradelli. Improvement of wear resistance of Ti-6Al-4V alloy by means of thermal oxidation // Materials Letters – Volume 59, Issue 17 – 2005 – Pp. 2159 – 2162

Научное издание

СВАРКА. РЕНОВАЦИЯ. ТРИБОТЕХНИКА

Тезисы докладов
VIII Уральской научно-практической конференции

Ответственные редакторы:

В. А. Коротков

В. Ф. Пегашкин

Верстка *А. В. Кочурина*

Лаборатория электронных изданий
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого президента России Б.Н.Ельцина»
Нижнетагильский технологический институт (филиал)
622031, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59