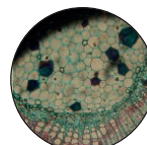
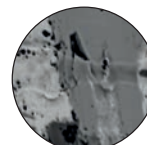
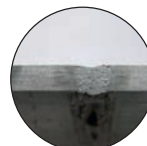


СОДЕРЖАНИЕ

Новости техники и технологий	4
Технологии и оборудование для АЭС	
Совершенствование автоматической орбитальной сварки трубных элементов спиралей подогревателей высокого давления атомных электростанций. <i>Л.М. Лобанов, Н.М. Махлин, В.Е. Попов, В.Е. Водолазский, В.Ю. Буряк, Д.С. Олияненко, С.И. Лавров, А.В. Ковалюк, А.А. Кириленко</i>	6
Технологии ремонтной электрошлаковой наплавки	
Восстановление изношенных грунтозацепов башмаков гусеничных машин электрошлаковой наплавкой. <i>С.М. Козулин, И.И. Лычко, А.А. Фомакин, И.В. Несина, Г.С. Подыма</i>	14
Технологии и материалы для плазменно-порошковой наплавки	
Экономнолегированный порошок на основе железа и никеля для плазменной наплавки нефтегазовой арматуры, которая эксплуатируется в коррозионной среде. <i>И.А. Рябцев, Е.Ф. Переpletчиков, М.А. Хома, В.А. Винар</i>	18
Оборудование и способы анализа микроструктуры наплавленного металла	
Способы оцифровки и анализа изображений микроструктуры наплавленного металла, полученных с использованием модернизированных оптических микроскопов. <i>А.А. Бабинев, И.А. Рябцев, И.П. Лентюгов</i>	22
Газопламенная резка и термическая правка	
Газокислородная резка сталей больших толщин (опыт Уралмашзавода). Особенности резки металла большой толщины (часть 1). <i>В.И. Панов, С.В. Кандаков</i>	26
Оборудование для производства	
Резак РГКМ-1600 для кислородной резки металлических заготовок толщиной до 1600 мм. <i>В.М. Литвинов, Ю.Н. Лысенко, С.А. Чумаков</i>	31
Технологии ремонта в судоремонтном производстве	
Ильичевский судоремонтный завод: технологические решения бюро сварки при проведении ремонта деталей и узлов из меди и медных сплавов. <i>В.К. Пустомельник, С.М. Хачик, В.Г. Левицкий, О.В. Игнатенков</i>	37



News of technique and technologies 4

Technologies and equipment for nuclear power plants

- Improvement of automatic orbital welding of pipe elements of spirals of high-pressure heaters of nuclear power plants.

L.M. Lobanov, N.M. Makhlin, V.E. Popov, V.E. Vodolazskiy,

V.Yu. Buryak, D.S. Oliyanenko, S.I. Lavrov, A.V. Kovalyuk,

A.A. Kirilenko 6

Technologies for repair electrosag surfacing

- Restoration of worn lugs of tracks of caterpillar machines by electrosag surfacing. *S.M. Kozulin, I.I. Lychko, A.A. Fomakin,*

I.V. Nesina, G.S. Podyma 14

Technologies and materials for plasma-powder surfacing

- An economically alloyed powder based on iron and nickel for plasma surfacing of oil and gas fittings, which is operated in a corrosive environment.

I.A. Ryabtsev, E.F. Pereplechikov, M.A. Homa, V.A. Vinar 18

Equipment and methods for microstructure analysis of deposited metal

- Methods of digitizing and analyzing images of the deposited metal microstructure obtained using modernized optical

microscopes. *A.A. Babinets, I.A. Ryabtsev, I.P. Lentiugov 22*

Gas-flame cutting and thermal fixing

- Oxy-fuel cutting of large thickness steels (experience of Ural-mashzavod). Features of cutting metal of large thickness (part 1).

V.I. Panov, C.V. Kandalov 26

Equipment for the production

- RGKM-1600 cutter for oxygen cutting of metal workpieces up to 1600 mm thick.

V.M. Litvinov, Yu.N. Lysenko, S.A. Chumak 31

Repair technologies in ship repair production

- Illichivsk Shipyard: technological solutions of the welding bureau during the repair of parts and assemblies made of copper

and copper alloys. *V.K. Pustomelnik, C.M. Khachik, V.G. Levitskiy,*

O.V. Ignatenkov 37

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-24185 от 25.04.2006, выдано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

Издатель ООО «Центр трансфера технологий Института электросварки им. Е. О. Патона»,
ООО «Специальные сварочные технологии»

Тел. моб. +7 903 795 18 49

E-mail ctt94@mail.ru

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

Редактор В. Г. Абрамишвили

Верстка и дизайн В. Г. Абрамишвили

За достоверность информации и содержание рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели. Мнение авторов статей не всегда совпадает с позицией редакции.

Рукописи не рецензируются и не возвращаются. Редакция оставляет за собой право редактировать и сокращать статьи. Переписка с читателями — только на страницах журнала.

При использовании материалов в любой форме ссылка на «Сварщик в России» обязательна.

Подписано в печать хх.хх.2020. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC.

Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8».

Заказ № xxxx от хх.хх.2020. Тираж 1000 экз.

Издание выходит при содействии производственно-технического журнала «Сварщик»

Учредители Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ,
ООО «Технопарк ИЭС им. Е.О. Патона»

Издатель НТК «ИЭС им. Е.О. Патона» НАНУ

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

Редакционная коллегия В. А. Белинский, Ю. К. Бондаренко, А. В. Вавилов, Ю. В. Демченко, В. М. Илюшенко, Г. И. Лашенко, О. Г. Левченко, В. М. Литвинов, Л. М. Лобанов, А. А. Мазур, В. И. Панов, П. П. Проценко, С. В. Пустовойт, И. А. Рябцев, А. А. Сливинский

Адрес редакции 03150, Киев, а/я 337

Тел./факс +380 44 200 80 14

E-mail welder.kiev@gmail.com

URL http://www.welder.stc-paton.com

Подписка-2020

Подписной индекс **20994**
в каталоге «Пресса России»

Подписной индекс **E20994**
в каталоге Агентства «Книга-Сервис»

Подписной индекс **K0103**
в каталоге российской прессы
«Почта России» — персональная подписка

Совершенствование автоматической орбитальной сварки трубных элементов спиралей подогревателей высокого давления атомных электростанций.

Л.М. Лобанов, Н.М. Махлин, В.Е. Попов, В.Е. Водолазский, В.Ю. Буряк, Д.С. Олияненко, С.И. Лавров, А.В. Ковалюк, А.А. Кириленко

Рассмотрена возможность применения для получения сварных соединений трубных элементов спиралей подогревателей высокого давления (ПВД) автоматической орбитальной гелиодуговой или плазменной сварки вместо используемой ручной аргонодуговой сварки с подачей вручную присадочной проволоки. Приведены результаты отработки технологии автоматической орбитальной сварки сжатой дугой и оптимальные режимы выполнения неповоротных сварных соединений спиралей ПВД. Описаны технические предложения по созданию сварочного оборудования для реализации предложенных технологий. Показано, что применение разработанных технологий сварки сжатой дугой с использованием отечественного оборудования позволяет значительно повысить производительность сварки и стабильность качества сварных соединений спиралей ПВД, существенно упростить и удешевить технологическое оборудование для получения сварных соединений трубных элементов спиралей ПВД энергоблоков АЭС.

Восстановление изношенных грунтозацепов башмаков гусеничных машин электрошлаковой наплавкой.

С.М. Козулин, И.И. Лычко, А.А. Фомакин, И.В. Несина, Г.С. Подыма

Изложена технология, описана установка для восстановления изношенных и поломанных грунтозацепов башмаков гусеничных машин электрошлаковой наплавкой (ЭШН) без их механической обработки, разработанные на базе экспериментальных исследований и конструкторских разработок, выполненных в ИЭС им. Е.О. Патона. ЭШН осуществляли с использованием серийного аппарата А-535 УХЛ4 и источника питания переменного тока ТШС 3000-3 на сварочном флюсе АН-8, наплавочными электродными проволоками Ø 3 мм. Разработанная технология реализована на одном из ремонтно-механических заводов горнодобывающей отрасли. Разработанное оборудование может быть также использовано для восстановления ЭШН деталей типа стоек рыхлителей, звёздочек, электрошлаковой сварки натяжных балок шагающих экскаваторов и др. деталей толщиной 30–350 мм.

Экономнолегированный порошок на основе железа и никеля для плазменной наплавки нефтегазовой арматуры, которая эксплуатируется в коррозионной среде.

И.А. Рябцев, Е.Ф. Переpletчиков, М.А. Хома, В.А. Винар

Проведены сравнительные исследования эксплуатационных свойств и микроструктуры металла, наплавленного плазменным методом стандартным порошком ПР-ХН80СР3 на основе никеля и опытным экономнолегированным порошком на основе железа (35%) и никеля (35%). Установлено, что по трибологическим и коррозионным свойствам экономнолегированный наплавленный металл не уступает наплавленному металлу на основе никеля. По результатам исследований порошок сплава на основе железа и никеля рекомендован для плазменной наплавки деталей нефтехимической арматуры, которая эксплуатируется в коррозионных средах.

Газокислородная резка сталей больших толщин (опыт Уралмашзавода). Особенности резки металла большой толщины (ч. 1).

В.И. Панов, С.В. Кандалов

Теория газокислородной резки металла ограничивается в основном средней толщиной (до 300 мм), а в отечественном и зарубежном машиностроении применяются разные технологические процессы газопламенной резки большой толщины, которые слабо отражены в учебниках, методичках и др. изданиях. В статье показано более полное понимание и обобщение физико-химических явлений, связанных с газопламенной резкой металла большой толщины, технологическими особенностями, тепловыми процессами при разделительной резке. Рассматривается нестационарное тепловое состояние металла разрезаемого массивного изделия в трехмерном тепловом поле.

Резак РГКМ-1600 для кислородной резки металлических заготовок толщиной до 1600 мм.

В.М. Литвинов, Ю.Н. Лысенко, С.А. Чумак

Разработан резак РГКМ-1600, расширивший технологические возможности машин газовой резки и увеличивший потолок толщин разрезаемой заготовки без увеличения расхода режущего кислорода; он заменил устаревший резак РГМ-9 и внедрен в состав модернизированных и новых машин газовой резки металлов больших толщин. Приведены технические характеристики резака, описаны его устройство и работа, представлены чертежи основных узлов и деталей, имеющих расчетные каналы. Показана работа резака при разделке крупного лома толщиной до 1600 мм на габаритные куски. Приведены примеры кислородной резки чугунных заготовок толщиной 1500 мм в стационарных условиях и толщиной 2400 мм в полевых условиях на ЧАО «НМЗ». Качество поверхности реза проиллюстрировано фотографиями.



В Кремле вручили госпремию за создание основ индустрии нанотрубок

На церемонии вручения Госпремий РФ в Кремле награждены ученые Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН академики Михаил Предтеченский и Дмитрий Маркович, профессор Владимир Меледин. Они стали лауреатами Госпремии РФ 2019 г. за выдающиеся достижения в области науки и технологий. Премия присуждена за создание основ мировой индустрии одностенных углеродных нанотрубок и научное обоснование новых методов диагностики неравновесных систем и управления ими.

Фундаментальные и прикладные исследования физических неравновесных систем молекулярных кластеров выполнялись учеными в Институте теплофизики СО РАН много лет. Они легли в основу единственной в мире масштабируемой технологии промышленного синтеза одностенных углеродных или графеновых нанотрубок. Ее создателем стал академик М. Предтеченский, а на практике реализовать его идею получилось благодаря основанию компании OCSiAl.

Выступая на церемонии в присутствии Президента РФ Владимира Путина, профессор, д.т.н., сотрудник OCSiAl В. Меледин озвучил обращение научного руководителя OCSiAl, М. Предтеченского, который не смог присутствовать на церемонии очно: «Мы взяли за проект по нанотрубкам когда поняли, что если нам удастся создать промышленную технологию их синтеза - то это даст миру новые материалы, результатом использования которых могут быть прорывные фундаментальные изменения в материаловедении. И очень хотелось в очередной раз продемонстрировать, что в России не только автоматы Калашникова умеют создавать. Сейчас можно утверждать, что нам это удалось. Компания OCSiAl является абсолютным научно-технологическим лидером в области получения и использования одностенных углеродных нанотрубок, на много лет опережает мировой уровень. К 2020 г. капитализация OCSiAl достигла 1,5 млрд \$, она стала первым отечественным "единорогом", т.е. новой компанией, чья капитализация превысила 1,5 млрд \$. Это позволило западным экспертам включить OCSiAl в Global Unicorn Club. Наши нанотрубки покупают в России и во всем мире. Мы наращиваем объем производства, продолжая непрерывно совершенствовать технологию». - Присуждение госпремии является для меня подтверждением правильности вектора наших усилий и высочайшей оценкой нашей работы».

РОСНАНО стало первым из внешних инвесторов, поверивших в российскую команду основателей OCSiAl и их технологию графеновых нанотрубок. В совокупности РОСНАНО вложило в проект более 20 млн \$, начав с финансирования первой установки синтеза в Новосибирске.

Графеновые или одностенные углеродные нанотрубки представляют собой свернутые в цилиндр плоскости графена. Они обладают уникальными физическими свойствами - невероятной прочностью, гибкостью, высокой электро- и теплопроводностью, устойчивостью к высоким температурам, рекордным соотношением длины к диаметру и большой площадью поверхности, а также химической инертностью - совместимы практически со всеми материалами. При внесении в матрицу материала графеновые нанотрубки создают трехмерную сеть, которая придает материалам проводящие и армирующие свойства. Эти уникальные свойства делают графеновые нанотрубки единственным универсальным аддитивом, улучшающим удельные свойства большинства известных материалов. Нанотрубки позволяют создавать ранее невозможные материалы и продукты, которые изменят многие отраслевые стандарты и облик современного мира. Для этого достаточно крайне низкой концентрации трубок в общей массе материала - от 0,01%. Проводники из нанотрубок в 5 раз легче медных, при этом в 100 раз прочнее стали и обеспечивают необходимый уровень электропроводности при концентрации 0,015% - 1%. При добавлении графеновых нанотрубок в алюминий и полимерные материалы из них могут быть сделаны детали, равнопрочные стальным, но гораздо более легкие. Например, новые литий-ионные аккумуляторы, изготовленные с использованием графеновых нанотрубок, по мощности, запасу энергии и жизненному циклу оставляют далеко позади существующие. Это дает мощный импульс развитию электротранспорта и альтернативной энергетики.

nsc.ru, www.rusnano.com

● #1242



Ученые ЦНИИТМАШ предложили новый коррозионностойкий материал для оборудования АЭС «Эль-Дабба»

Ученые ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ» (входит в машиностроительный дивизион «Росатома» - АО «Атомэнергомаш»), разработали рекомендации по методам защиты от коррозии оборудования и трубопроводов систем технического водоснабжения АЭС «Эль-Дабба». Работа выполнена по заказу АО «Атомпроект».

В связи со строительством АЭС «Эль-Дабба» перед Госкорпорацией «Росатом» встала задача подобрать конструкционный материал, способный обеспечить высокий уровень коррозионной стойкости в воде Средиземного моря при температуре 50 °C - в таких условиях предстоит работать первой египетской станции. Для решения данной задачи Атомпроект обратился в ЦНИИТМАШ.

Проведя целый спектр исследований, ученые ЦНИИТМАШ установили, что критически важными для объекта характеристиками (высокой стойкостью к питтинговой и межкристаллитной коррозии, стойкостью против хлоридного растрескивания под напряжением и вы-

сокими прочностными свойствами), помимо титановых сплавов, обладают только duplexные нержавеющие стали определенного химического состава. Чтобы это выяснить, группа ученых оценивала стойкость к общей и локальным видам коррозии, механические характеристики, технологичность и экономическую целесообразность применения конструкционных материалов различных классов и уровня легирования, способных обеспечить проектный ресурс работы оборудования и трубопроводов систем технического водоснабжения АЭС. Среди них были титановые сплавы, нержавеющие и углеродистые стали, полиэтилены и стеклопластики, применявшиеся для изготовления гидромеха-



нического оборудования, насосов, арматуры, фильтров, теплообменных аппаратов и трубопроводов систем технического водоснабжения Ленинградской, Тайваньской АЭС, АЭС Куданкулам и Аккую.

«Мы провели анализ и разработали рекомендации по применению конструкционных материалов, контактирующих с морской водой и воздухом, выдвинули предложения по методам сварки и контроля элементов трубопроводов, защиты материалов от коррозии в соленой воде. Опираясь на все эти исследования и обширный опыт ЦНИИТМАШ в области материаловедения и металлургии, мы можем заявить, что институт способен в кратчайшие сроки разработать новую отечественную дуплексную нержавеющую сталь с уровнем легирования, обеспечивающим стойкость к локальным видам коррозии в морской воде и освоить производство полуфабрикатов из этой стали для элементов оборудования систем технического водоснабжения АЭС «Эль-Дабба», – говорит Сергей Логашов, замдиректора ЦНИИТМАШ по проектному управлению.

В работе даны рекомендации по возможности применения методов протекторной защиты элементов оборудо-

вания систем технического водоснабжения АЭС, изготовленных из нержавеющей стали. Предложена методика выбора системы покрытия-основа в обеспечении эксплуатации оборудования на проектный срок службы (с учетом технологий нанесения, экономической целесообразности и экологической безопасности). Даны рекомендации по технологиям сварки дуплексных нержавеющей сталей необходимого химического состава, способных обеспечить долговечность эксплуатации оборудования, контактирующего с морской водой, стойкость к локальным видам коррозии как основного металла, так и сварных соединений. На основании всех этих данных ЦНИИТМАШ готов разработать рекомендации по конкретным конструкционным материалам и методам защиты от коррозии для каждого из элементов оборудования систем технического водоснабжения АЭС «Эль-Дабба».

www.cniitmash.ru

●#1243

ESAB и КРАНЭКС: эффективная резка для лидера машиностроения

Компания ESAB, один из лидеров в области производства оборудования и расходных материалов для сварки и резки, объявила о завершении проекта по поставке умного цеха резки на завод ОАО «МК КРАНЭКС». КРАНЭКС – машиностроительное предприятие в г. Иваново, работающее с 1932 г. Сегодня КРАНЭКС является одним из крупнейших предприятий России по производству экскаваторов, запчастей и комплектующих изделий, навесного оборудования. Предприятие оказывает и услуги по сервисному обслуживанию и ремонту экскаваторов. Масштабный проект, начатый ОАО «МК КРАНЭКС» в связи с необходимостью в обновлении оборудования и повышении качества процессов резки, завершился успешным внедрением в июне 2020 г. комплекса передовых решений ESAB в этой области. Основой умного цеха резки ESAB стала комбинированная порталная машина термической резки металла с числовым программным обеспечением ESAB SUPRAREX 8000, которая вместе с комплектом программных онлайн инструментов умного производства призвана обеспечить предприятию управляемую и эффективную систему, способную увеличить производительность и выполнять больше заказов.

Машина SUPRAREX 8000 предназначена для резки листов из низкоуглеродистой стали при помощи 2-х плазматронов и 2-х газокислородной резакот. Данная комплектация, за счет возможности обработки стальных листов толщиной 5 - 200 мм 2-я инструментами одновременно, позволит повысить производительность цеха резки в 2 раза. В ходе процесса подготовки к реализации проекта были проведены испытания по резке деталей на данной машине в ТЦ ESAB в Красногорске и произведен анализ стоимости 1 м реза для различных толщин (при плазменной и газовой резке), рассчитаны затраты на электричество, расход газов и расходные детали.

Помимо машины резки на завод было поставлено современное ПО ESAB Columbus III и CutCloud, что вместе с уже имеющимся ПО позволит специалистам создавать чертежи будущих деталей, обрабатывать их и переносить с ПК на машину резки SUPRAREX 8000 по сети. При помощи инструментов умного производства ProductionData и CutCloud, работники предприятия смогут быстро получать обратную связь от машины и пе-

редавать ее в отдел технологов и проектировщиков, которые в режиме онлайн смогут анализировать какие детали были изготовлены, сколько проработала машина в течение суток и на каких режимах.

В дополнение, в состав поставки вошла фильтровентиляционная установка (ФВУ) для обеспечения отвода дыма. ФВУ способствует созданию благоприятных условий в цеху в процессе резки для операторов машины и персонала, а также позволяет экономить затраты на энергоресурсы зимой, т.к. очищенный воздух выбрасывается в атмосферу цеха и нет необходимости подавать и подогревать воздух с улицы.

«Масштабное производство и обширный ассортимент продукции нашей компании влекут за собой потребность в высоком качестве процесса резки, потому в числе ключевых критериев, которые мы учитывали при выборе оборудования – его качество и сервисные услуги компании-поставщика. Не менее важна для нас доступность запасных частей и расходных деталей, поскольку мы хотим быть уверены, что в случае поломки, сможем оперативно получить помощь и найти необходимую деталь, чтобы избежать дорогостоящих простоев оборудования» - подчеркивает Абалдов О.Ф., директор ОАО «МК КРАНЭКС».

«Одним из преимуществ компании ESAB всегда была и остается комплексность подхода. Мы предлагаем заказчикам не только оборудование, но и эффективные решения, охватывающие все процессы в области сварки и резки - от планирования и анализа целесообразности внедрения оборудования до фактического измерения результатов его работы. Надеемся, что продукты ESAB позволят специалистам предприятия достичь всех поставленных задач, а наше сотрудничество будет развиваться и в дальнейшем» - отмечает Дмитрий Куракса, управляющий директор ООО «ЭСАБ» в России и СНГ.

●#1244



Совершенствование автоматической орбитальной сварки трубных элементов спиралей подогревателей высокого давления атомных электростанций

Л.М. Лобанов, акад. НАНУ, д.т.н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, **Н.М. Махлин, В.Е. Попов, В.Е. Водолазский, В.Ю. Буряк, Д.С. Олияненко**, ГП «НИЦ СКАЭ ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ» (Киев), **С.И. Лавров, А.В. Ковалюк, А.А. Кириленко**, ОП «Атомэнергомаш» ГП «НАЭК «Энергоатом» (Энергодар, Запорожская обл.)

Трубные элементы спиралей подогревателей высокого давления (ПВД), представляющие собой одноплоскостные или двухплоскостные трубные конструкции из стали перлитного класса (преимущественно стали 20), необходимые и важные элементы технологических цепочек второго контура энергоблоков атомных электростанций (АЭС). До настоящего времени все сварные соединения этих спиралей, при их изготовлении и восстановительном ремонте в отечественной практике (и за рубежом), выполняются вручную, в основном, многопроходной аргонодуговой сваркой с подачей присадочной проволоки. Это существенно ограничивает производительность труда и стабильность требуемого уровня качества сварки, для достижения которого необходимы длительная подготовка и привлечение электросварщиков высокой квалификации. Целью настоящей статьи является представление результатов развития исследований, разработок и экспериментально-технологических работ, выполненных в ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ совместно с ГП «Научно – инженерный центр сварки и контроля в отрасли атомной энергетики Украины ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ» (НИЦ СКАЭ) и с Обособленным подразделением «Атомэнергомаш» ГП «Национальная атомная энергогенерирующая компания «Энергоатом» (ОП «Атомэнергомаш» ГП «НАЭК «Энергоатом»), направленных на увеличение производительности сварки, обеспечение стабильности и поддержания качества сварных соединений спиралей ПВД при их изготовлении и восстановительном ремонте. В статье рассмотрена возможность применения для получения сварных соединений спиралей ПВД автоматической орбитальной гелиодуговой и плазменной сварки в среде инертных газов. Приведены результаты отработки этой технологии и оптимальные режимы выполнения неповоротных сварных соединений спиралей ПВД. Описаны технические предложения по созданию сварочного оборудования для реализации предложенной технологии. Показано, что применение разработанной технологии с использованием отечественного оборудования позволяет значительно повысить производительность сварки.

Трубопроводы энергоблоков АЭС, как правило, эксплуатируются в условиях одновременного воздействия на них высоких температур, повышенного давления, значительных масс воды и/или водяного пара, а также радиационного влияния тепловых нейтронов [1, 2]. Например, характерные особенности спиралей ПВД, являющихся важными и ответственными составляющими второго контура реакторов ВВЭР, заключаются в наличии сварных соединений трубных элементов спиралей и их хвостовиков, а также в параметрах среды (питательной воды), подаваемой при номинальном давлении 12,0 МПа (120 кгс/см²) в спираль, где питательная вода нагревается до температуры +235°С, вследствие чего в процессе эксплуатации ПВД сварные соединения их спиралей подвергаются коррозионно-эрозионному износу. Поэтому проектирование, изготовление и восстановительный ремонт спиралей ПВД имеют свою специфику [3-5], определяющую технические требования к материалу, конструкции и сварным соединениям ПВД. Из ПВД подогретая питательная вода подается в теплообменник – парогенератор, в котором она превращается в пар, поступающий на турбину, приводящую в действие электрогенератор энергоблока АЭС [1, 2].

Наибольшее распространение получили одноплоскостные спирали ПВД, конструкция которых состоит из трех трубных элементов, соединенных между собой двумя сварными стыковыми швами. Заготовками для этих элементов служат длинномерные отрезки трубы с номинальными диаметром 32 мм и толщиной стенки 4,0 мм из стали 20. Длина одного из прямых отрезков («центрального»), используемых в качестве заготовок для трубных элементов спирали ПВД, составляет 7000 мм, двух других прямых отрезков – 5980 и 5403 мм. Кроме того, заготовка центрального отрезка имеет участок с выполняемым до сварки S – образным изгибом и, таким образом, два участка с различным пространственным положением продольных осей. Согласно с имеющейся на сегодня технологией, все указан-

ные отрезки со стороны своих торцов имеют V-образную разделку 1-24-1 (С-24-1), которая формируется с помощью предшествующей обработки (на станке). После выполнения сварных соединений трубных элементов, их термообработки и неразрушающего контроля из полученной трубной плети с помощью специального приспособления формируют собственно спиральную конструкцию. К прямым входному и выходному участкам этой конструкции приваривают хвостовики и осуществляют неразрушающий контроль их сварных соединений, которые, как показал многолетний опыт, при эксплуатации ПВД наиболее подвержены коррозионно-эрозионным повреждениям. С учетом этого, при проведении восстановительного ремонта спиралей ПВД производят замену вышедших из строя хвостовиков из стали 20 на хвостовики из хромоникелевой стали аустенитного класса (преимущественно стали 12Х18Н10Т).

До настоящего времени при изготовлении и восстановительном ремонте спиралей ПВД даже в заводских условиях для выполнения сварных соединений этих спиралей в отечественной практике применяют исключительно способы ручной многопроходной аргонодуговой сварки (TIG), основными проблемами которых являются недостаточная производительность сварки, невозможность поддержания стабильности качества сварных соединений из-за его зависимости от «человеческого» фактора, необходимость подготовки опытных высококвалифицированных сварщиков. Поэтому увеличение производительности сварки и обеспечение стабильности качества сварных соединений спиралей ПВД при их изготовлении и восстановительном ремонте на отечественных предприятиях с помощью применения автоматической либо механизированной сварки представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Для решения поставленной задачи исследовались и анализировались возможности применения различных способов дуговой сварки, в т. ч. автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов (GTAW), ручной и автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов с активными флюсами (ATIG и GTAW-A соответственно) и механизированной (автоматической) сварки плавящимся электродом в среде защитных газов.

Согласно ПН АЭ и другим действующим в Украине нормативным документам, сварные соединения трубных элементов спиралей ПВД в состоянии прямых отрезков труб с номинальным диаметром 32 мм и толщиной стенки 4,0 мм, и разделкой кромок 1-24-1 (С-24-1) из стали 20 должны выполняться с полным проваром с предельным усилением ($2,0 \pm 1,0$) мм и выпуклостью корневого сварного шва не более 1,5 мм или его вогнутостью, не

превышающей 0,6 мм. При этом смещения кромок трубных элементов спиралей ПВД должны не превышать 0,4 мм, а сварные соединения этих трубных элементов могут быть отнесены к категории III (подкатегория III с) по ПН АЭ Г-7-010-89.

В соответствии с действующей конструкторской документацией (КД) на ПВД, сварные соединения трубных элементов их спиралей подлежат 100 % неразрушающему и выборочно – разрушающему контролю.

Среди неразрушающих методов контроля предусматривается применение визуально-инструментального контроля (ВИК) и радиографического контроля (РГК) [6]. При выборочном разрушающем контроле сварных соединений трубных элементов спиралей ПВД, соответствующем требованиям действующих производственно-технической документацией (ПТД) и КД на эти изделия, осуществляются проверка химического состава металла сварного шва и определение механических свойств сварных соединений, а также проводятся металлографические исследования.

Исходя из этого, при проведении экспериментальных и технологических исследований применялись именно такие неразрушающие и разрушающие методы контроля, при этом для выполнения контроля методами ВИК и РГК, металлографических исследований, механических испытаний и определения химического состава металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ) привлекался персонал отдела главного сварщика и службы контроля металлов ОП «Атомэнергомаш» ГП «НАЭК «Энергоатом» и имеющиеся у них аттестованные стандартные средства контроля.

При выполнении исследований, экспериментальных и технологических работ использовались образцы - имитаторы трубных элементов спиралей ПВД из стали 20 с номинальными внешним диаметром 32 мм и толщиной стенки 4,0 мм, кромки которых были механически обработаны в соответствии с требованиями ПН АЭ Г-7-009-89, ПН АЭ Г-7-010-89 и ОСТ 24.125.02-89.

В ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ совместно с НИЦ СКАЭ были проведены исследования по определению возможности использования GTAW методами автоопрессовки или последовательного проплавления, разработанными в Научно-исследовательском и конструкторском институте монтажных технологий (НИКИМТ) в 1970 – 1980 гг. [7, 8].

Несмотря на известные достоинства этих методов, исследования, проведенные в НИЦ СКАЭ путем многочисленных опытных сварок образцов – имитаторов трубных элементов спиралей ПВД из стали 20 с использованием отечественного оборудования (автомата АДЦ 625 УЗ.1 для GTAW) [9], показали, что достигнуть стабильного требуемого качества сварных соединений спиралей ПВД с помо-

щью GTAW методами автоопрессовки или последовательного проплавления не представляется возможным из-за ряда физических свойств материала трубы спирали ПВД и ее геометрических размеров.

Даже при допустимом уменьшении толщины стенки труб до 3,6 мм проплавление стенки по всему ее периметру было во всех случаях неравномерным, а его глубина не превышала 0,8 от номинальной толщины. Это объясняется тем, что, во-первых, углеродистые стали (в частности сталь 20) по сравнению со сталями аустенитного класса имеют значительно более низкий коэффициент линейного расширения и существенно более высокую теплопроводность, а это не позволяет обеспечить достаточные сжимающие усилия для необходимых термопластических деформаций. Во-вторых, номинальная толщина стенки трубопровода спирали ПВД составляет 4,0 мм, а отношение толщины стенки S к номинальному внешнему диаметру трубопровода $D_{тр}$ составляет всего 0,125, т.е. близко к нижнему пределу применимости GTAW методами автоопрессовки или последовательного проплавления. Экспериментальным путем установлено, что совокупность этих факторов в сочетании с реальными условиями теплоотвода при сварке не позволяет в случае применения GTAW обеспечивать ни регламентированное нормативной и конструкторской документацией полное проплавление сварных соединений спиралей ПВД, ни стабильность качества формирования их сварных швов.

Анализ предложенных ранее технических решений и практика убедительно доказали, что осуществление механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в среде смеси защитных газов поворотных сварных соединений спиралей ПВД - достаточно сложная и в большинстве случаев трудновыполнимая задача, т. к. она требует для своей реализации сложного и дорогого технологического оборудования, одной из важнейших основных составляющих частей которого является многостоечный инновационный горизонтальный вращатель [9].

Поэтому, в ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ совместно с НИЦ СКАЭ были проведены дополнительные исследования по определению возможности применения способов сварки сжатой дугой для автоматической орбитальной сварки неповоротных стыков с использованием методов автоопрессовки или последовательного проплавления.

Способ гелиодуговой сварки является разновидностью сварки неплавящимся электродом и имеет много общего с аргонодуговой сваркой неплавящимся (вольфрамовым) электродом (TIG). Основным недостатком аргонодуговой сварки TIG, и, следовательно, GTAW, свободно горящая дуга, для которой (особенно на малых токах) характерны низкая стабильность во времени и пространстве, и низкая плотность тока в анодном пятне. С

увеличением тока возрастает диаметр столба свободно горящей дуги, и снижается концентрация тепловой мощности на свариваемом изделии, что вызывает увеличение ширины сварного шва и ЗТВ. Кроме этого, по мере удаления от вольфрамового электрода температура столба свободно горящей дуги резко снижается и потому ее проплавающая способность заметно уменьшается [9, 10-12]. Именно из-за этого в случае TIG, а, следовательно, и GTAW, для достижения стабильности качества сварных швов необходимо четко поддерживать неизменными заранее заданные значения длины сварочной дуги, что обуславливает обязательное наличие в конструкции сварочных головок для GTAW устройств и механизмов или механических систем стабилизации длины (СДД) или электронных устройств и механизмов, обеспечивающих автоматическое регулирование напряжения дуги (АРНД).

Указанные недостатки свободно горящей аргоновой дуги исключаются при интенсивном сжатии (контракции) сварочной дуги, что может быть достигнуто различными способами. Наиболее распространенными среди них являются использование в качестве защитного газа гелия, имеющего по сравнению с аргоновой дугой в 1,5- 2,0 раза более высокий потенциал ионизации и, в силу этого, более высокое напряжение столба дуги (а значит и влияющего на глубину проплавления значения погонной энергии) или специальной горелки – плазмотрона с отдельной подачей плазмообразующего и защитного газов, и обязательным наличием горячей между электродом и соплом плазмотрона маломощной вспомогательной («дежурной») дуги [11, 12]. Процесс сварки сжатой с помощью плазмотрона дугой получил название «плазменная сварка». Столб сжатой плазменной дуги имеет температуру 20 000 °K и более жестко стабилизирован по оси неплавящегося электрода. Высокая концентрация теплового потока этого столба на свариваемом изделии позволяет получать сварное соединение с глубоким проплавлением, относительно небольшой шириной сварного шва и ЗТВ при повышении скорости сварки, вследствие чего возрастает качество сварных соединений. Повышение в несколько раз гарантированной глубины проплавления, в сравнении со свободно горящей дугой, позволяет за один проход соединять металлы толщиной до 30 мм (при определенных значениях тока основной дуги и расходах плазмообразующего и защитного газов), а значительно большая, чем у свободно горящей дуги, пространственная устойчивость сжатой дуги, упростила оборудование для автоматической сварки, т. к. в случае сжатой дуги исключается обязательность наличия устройств и механизмов, поддерживающих в процессе сварки неизменными заданные значения длины или напряжения дуги - СДД или АРНД [11, 12].

Раздельная подача плазмообразующего и защитного газов предоставляет возможность использовать при сварке разнообразные смеси газов (в т. ч. с обогащенными химически активными газами, что исключено в случае свободно горящей дуги).

Использование маломощной вспомогательной («дежурной») дуги обеспечивает устойчивость процесса сварки в чрезвычайно широком диапазоне сварочных токов, вместе с их достаточно малыми значениями - до $\approx 0,1$ А, что позволяет осуществлять сварку металлов таких малых толщин, которые недостижимы при TIG, до толщин $\approx 0,01$ мм.

В большинстве случаев гелиодуговая и плазменная сварка выполняются дугой прямой полярности («минус» на электроде) в непрерывном или импульсном режимах, или режиме модуляции сварочного тока, горящей между вольфрамовым электродом горелки для TIG или GTAW, или плазмотрона и свариваемым изделием (при плазменной сварке - в струе плазмообразующего газа - как правило, аргона). В зависимости от физико-химических свойств свариваемого

металла в случае плазменной сварки, во избежание взаимодействия расплавленной ванны жидкого металла и околошовной зоны с атмосферой, по периферии дуги подают защитный газ: аргон, гелий, CO_2 , смеси аргона с водородом, аргона с гелием, аргона с азотом и др. смеси [11, 12]. В качестве источника тока основной (сварочной) дуги используется регулируемый выпрямитель инверторного или тиристорного типа с крутопадающими (желательно с «вертикальными») внешними вольтамперными характеристиками (ВАХ) и управлением способом широтно-импульсной модуляции (ШИМ), а в качестве источника тока маломощной вспомогательной («дежурной») дуги, как правило, маломощный выпрямитель, который не регулируется либо регулируется ступенчато (также с крутопадающими ВАХ), выполненный в виде диодного выпрямителя или преобразователя - типа AC - DC или типа DC - DC - мощностью (250 - 500) В $\times$ А.

Последовательность стадий цикла автоматической орбитальной гелиодуговой или плазменной сварки, изображенная на рис. 1, следующая.

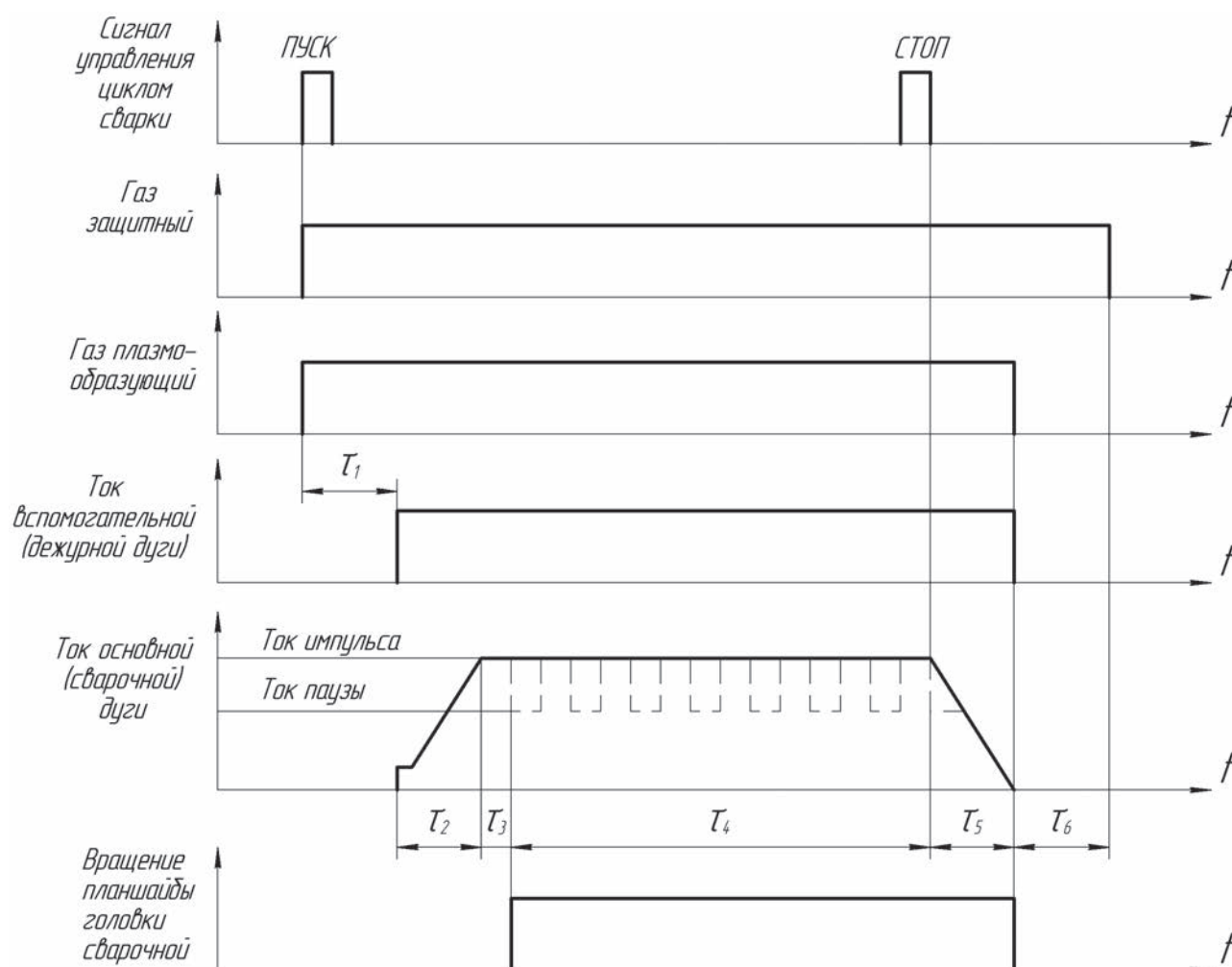


Рис. 1. Циклограмма процесса автоматической орбитальной гелиодуговой или плазменной сварки неповоротных стыков трубных элементов спиралей ПВД энергоблоков АЭС: τ_1 - интервал времени «газ до сварки» («pregas»); τ_2 - интервал времени «плавное нарастание» тока основной (сварочной) дуги; τ_3 - интервал времени «прогрев»; τ_4 - интервал времени, в течение которого происходит сварка; τ_5 - интервал времени «плавное гашение»; τ_6 - интервал времени «газ после сварки» («postgas»)

Цикл этих способов сварки, при установленной и зафиксированной на свариваемом изделии сварочной головке автомата для орбитальной гелиодуговой или плазменной сварки, по сигналу ПУСК начинается с интервала времени «газ до сварки» («pregas»), в течение которого обеспечивается подача в горелку для гелиодуговой сварки защитного газа или подача в плазмотрон плазмообразующего и защитного газов, и их свободное ламинарное течение из них.

По окончании указанного интервала времени с помощью специального устройства (возбудителя) осуществляется бесконтактный поджиг основной дуги (для гелиодуговой сварки) или вспомогательной («дежурной») дуги (для плазменной сварки), горящей между неплавящимся (вольфрамовым) электродом и соплом плазмотрона (с возникновением этих дуг, т. е. с момента установления устойчивого дугового разряда, возбудитель автоматически выключается), что вызывает либо возбуждение основной дуги (для гелиодуговой сварки) либо выдувание из плазмотрона плазменного факела. Одновременно с этим в установке для плазменной сварки включается напряжение холостого хода источника тока основной (сварочной) дуги, которая возбуждается при наименьшем значении диапазона регулирования сварочного тока при касании поверхности свариваемого изделия, факелом, выдуваемым из плазмотрона.

В течение интервала времени «плавное нарастание» сварочный ток плавно возрастает от наименьшего значения диапазона регулирования до его заранее установленного рабочего значения, что исключает электродинамический удар на неплавящийся электрод горелки для гелиодуговой сварки или плазмотрона («шок» электрода). В момент завершения интервала времени «плавное нарастание» начинается интервал времени «прогрев», в течение которого обеспечивается образование расплавленной ванны жидкого металла на свариваемом изделии, причем длительность этого интервала времени заметно меньше в сравнении со свободно горящей дугой. В момент завершения интервала времени «прогрев» на электропривод вращателя сварочной головки автомата поступает сигнал разрешения и планшайба этой головки с закрепленными на ней горелкой или плазмотроном начинает с заранее заданной и стабилизированной скоростью (сварки) вращаться вокруг неповоротного стыка трубных элементов спирали ПВД, при этом сварочный ток либо остается неизменным либо изменяется в соответствии с заранее заданным импульсным режимом, причем в последнем случае в момент окончания интервала времени «прогрев» начинается пауза сварочного тока.

В момент окончания процесса сварки автоматически (или вручную) подается сигнал СТОП и на-

чинается плавный спад сварочного тока от рабочего до нулевого значения в течение интервала времени «плавное гашение», при этом, если предусмотрен импульсный режим или режим с модуляцией сварочного тока, то начиная с момента достижения равенства значений сварочного тока в импульсе и паузе сварочный ток будет спадать синхронно. При этом обеспечиваются как заварка кратера, так и «перекрытие» начального участка сварки, а в момент окончания интервала времени «плавное гашение» при плазменной сварке автоматически выключается и ток вспомогательной («дежурной») дуги, а также прекращается вращение планшайбы сварочной головки и подача в плазмотрон плазмообразующего газа. Помимо этого, начинается интервал времени «газ после сварки» («postgas»), в течение которого зона сварки обдувается защитным газом. В момент окончания этого интервала времени цикл сварки полностью завершается.

Функциональная блочная схема установки для автоматической орбитальной плазменной сварки, разработанной в НИЦ СКАЭ, приведена на рис. 2. Установка создана на основе ранее разработанных в ИЭС им. Е.О. Патона совместно с НИЦ СКАЭ отечественных автоматов АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 628

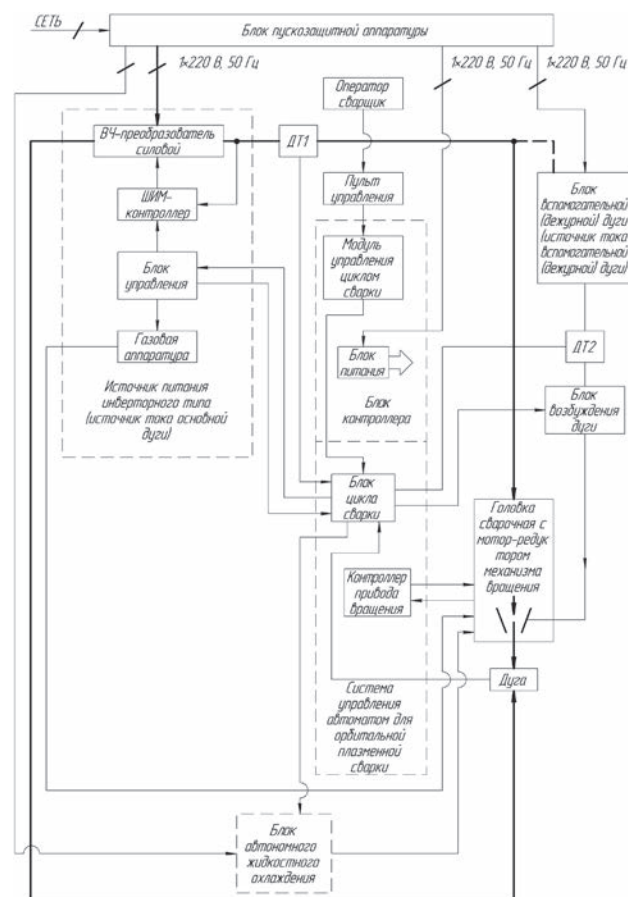


Рис. 2. Функциональная блочная схема разработанной в НИЦ СКАЭ установки для автоматической орбитальной плазменной сварки неповоротных стыков трубопроводов высокого давления энергоблоков АЭС

УХЛ4 для GTAW. Функциональная блочная схема аппаратно – программного комплекса для автоматической орбитальной гелиодуговой сварки приведена в [13] и не отличается от схемы комплекса для автоматической орбитальной аргонодуговой сварки.

При проведении в ИЭС им. Е.О. Патона совместно с НИЦ СКАЭ дополнительных исследований по определению возможности применения для сварки сжатой дугой неповоротных стыков трубных элементов спиралей ПВД энергоблоков АЭС использовались образцы – имитаторы трубных элементов спиралей ПВД из стали 20 с номинальным внешним диаметром 32,0 мм и толщиной стенки 4,0 мм, торцы которых были обработаны в соответствии с требованиями к сварным соединениям типа 1 - 21 - 1 (С - 21 - 1) и 1 - 21 (С-39), регламентированным ПН АЭ Г - 009 - 89, ПН АЭ Г - 010 - 89 и ОСТ 24.125.02 - 89.

Для проведения исследований на образцах – имитаторах трубных элементов спиралей ПВД (32,0×4,0) мм был создан натурный макет экспериментальной установки, содержащей в своем составе модернизированный опытный образец автомата АДЦ 625 УЗ.1 для GTAW, блок автономного охлаждения опытного образца автомата АДЦ 628 УХЛ4 для GTAW, опытно-экспериментальный образец установки УМПДС - 0605 УХЛ4 для дуговой и микроплазменной сварки неплавящимся электродом и два датчика тока - основной и вспомогательной («дежурной») дуги, базирующиеся на эффекте Холла. При этом модернизации подверглись силовая часть источника питания основной (сварочной)

дуги, сварочная головка АДЦ625.03.00.000 (где в случае плазменной сварки вместо штатной горелки для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов был установлен опытный образец плазмотрона Ю7М3.045.011 - 01 с жидкостным (водяным) охлаждением), система управления опытного образца автомата АДЦ 625 УЗ.1 для GTAW и опытный образец блока автономного охлаждения БВА-02. Основные параметры автомата АДЦ 625 УЗ.1 для GTAW приведены в [13].

Подготовленные к опытным сваркам в соответствии с требованиями нормативных документов торцы образцов – имитаторов трубных элементов спиралей ПВД из стали 20 подвергали автоматической орбитальной гелиодуговой и плазменной сварке методами автоопрессовки или последовательного проплавления. Предварительно способом TIG выполняли две – три прихватки для каждого шва, для чего использовали опытный образец источника питания ИЦ 617 УЗ.1 для GTAW или TIG. Для опытных сварок неповоротных стыков образцов – имитаторов трубных элементов спиралей ПВД (32,0×4,0) мм использовали модернизированные опытные образцы установки УМПДС - 0605 УХЛ4 и источника питания ИЦ 617 УЗ.1, а также автоматов АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 для GTAW, систем управления этих устройств и опытного образца плазмотрона Ю7М3.045.011 - 01.

По результатам выполнения нескольких серий опытных сварок установлено:

- стыковые сварные соединения образцов – имитаторов трубных элементов спиралей ПВД энер-



Рис. 3. Макроструктура сварного соединения образца – имитатора трубных элементов спирали ПВД (неповоротных стыков), полученного с помощью автоматической орбитальной гелиодуговой сварки методом автоопрессовки, где слева представлен шов, который сформирован за один проход автоматической орбитальной гелиодуговой сваркой методом автоопрессовки, а справа – шов, сформированный автоматической орбитальной аргонодуговой сваркой тем же методом

глобков АЭС с реакторами типа ВВЭР, которые выполнялись способом автоматической орбитальной гелиодуговой или плазменной сварки, обеспечивают необходимую глубину провара (рис. 3) независимо от пространственного положения сварного шва и практически не имеют недопустимых дефектов, при этом отсутствуют разбрызгивание и забрызгивание свариваемого изделия, что позволяет не только существенно (как минимум, в 6-8 раз) повысить производительность труда (в сравнении с существующей технологией), но и значительно упростить и удешевить как подготовку к сварке, так и технологическое оборудование для получения упомянутых выше сварных соединений (в сравнении с технологическим оборудованием для механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в среде смеси защитных газов), причем сварка сжатой дугой полностью соответствует требованиям ПН АЭ Г- 009 – 89, ПН АЭ Г- 010 – 89 и ОСТ 24.125.02 – 89;

- применение автоматической орбитальной гелиодуговой или плазменной сварки для выполнения сварных соединений трубных элементов спиралей ПВД энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР является энергосберегающим процессом, т. к. для реализации упомянутых выше способов сварки необходим сварочный ток (основной дуги) в 1,3 – 2,0 раза меньший, чем при сварке свободно горящей аргоновой дугой;
- для получения качественных сварных соединений трубных элементов спиралей ПВД энергоблоков АЭС с помощью автоматической орбитальной гелиодуговой или плазменной сварки методами автоопрессовки или пословательного проплавления оптимальная область режимов сварки должна иметь следующие значения параметров: в случае сварки неповоротных стыков трубных элементов спиралей ПВД (32 × 4) ток основной дуги (сварочный ток) должен быть в пределах от 65 до 80 А, ток вспомогательной («дежурной») дуги при плазменной сварке – в пределах от 3 до 7 А, напряжение на дуге – в пределах от 14 до 17 В при гелиодуговой сварке и от 9 до 11 В при плазменной сварке, длина основной дуги – в пределах от 0,5 до 1,1 мм при гелиодуговой сварке и от 3 до 6 мм при плазменной сварке, скорость вращения планшайбы сварочной головки – от 7 до 10 об/мин, количество полнокольцевых проходов – (1 – 2). В состав установки (комплекса) для автоматической орбитальной гелиодуговой сварки, по меньшей мере, должны входить: источник тока основной дуги (предпочтительно инверторного типа) с крутопадающими (желательно «вертикальными») ВАХ, горелка, и закрепленная на планшайбе сварочной го-

ловки, модернизированная сварочная головка АДЦ625.03.00.000 (со своим вращателем и его контроллером), блок управления циклом сварки (БУЦС) для управления процессом сварки, циклограмма которого приведена на рис. 1, блок интерфейса (контроллера) для связи со всеми другими составляющими автоматов для орбитальной сварки и блок пуско-защитной аппаратуры (БПЗА), предоставляющий возможность осуществления «АВАРИЙНЫЙ СТОП» по команде оператора или автоматически с практически мгновенным и полным обесточиванием всех без исключения составляющих аппаратно-программного комплекса для автоматической орбитальной сварки и введения их дополнительной защиты от длительной перегрузки по току потребления и от устойчивого короткого замыкания, а в случае автоматической орбитальной плазменной сварки - встроенный или отдельный блок вспомогательной («дежурной») дуги с крутопадающими ВАХ и блоком ее возбуждения, и плазмотрон, рассчитанный на наибольшее значения тока основной дуги, блок автономного охлаждения плазмотрона, БУЦС, блок интерфейса (контроллера) и БПЗА [14];

- в процессе автоматической орбитальной сварки неповоротных соединений трубных элементов спиралей ПВД энергоблоков АЭС должна обеспечиваться стабильность с точностью не хуже $\pm 5\%$, таких параметров, как ток основной дуги (сварочный ток) при ее длине до 1,5 мм в случае гелиодуговой и от 3 до 8 мм при плазменной сварке, а также скорость вращения планшайбы сварочной головки (скорость сварки); а длительность стадий, из которых складывается цикл сварки, должна обеспечиваться с точностью не хуже $\pm 10\%$, причем необходимость применения предварительных прихваток исключается;
- длительность цикла сварки при гелиодуговой или плазменной сварке составляет (максимально) от 4-х до 5-и мин., тогда как эта длительность при существующей технологии ручной аргонодуговой сварки с подачей присадочной проволоки равна 30 – 32 мин.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Автоматическая орбитальная гелиодуговая или плазменная сварка неповоротных стыков трубных элементов спиралей ПВД (32×4) являются перспективными и экономически наиболее эффективными способами сварки при изготовлении и восстановительном ремонте этих сварных конструкций.

2. Применение автоматической орбитальной гелиодуговой или плазменной сварки неповоротных стыков трубных элементов спиралей ПВД энергоблоков АЭС позволяет не только существенно -

как минимум, в 6-8 раз - повысить производительность сварки (в сравнении с существующей технологией) и значительно улучшить качество сварных соединений упомянутых трубных элементов, но и значительно упростить и удешевить как подготовку к сварке, так и технологическое оборудование для получения указанных выше сварных соединений (по сравнению с технологическим оборудованием для механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в среде смеси защитных газов).

3. Оборудование для автоматической орбитальной гелиодуговой сварки имеет более простую структуру в сравнении с оборудованием для автоматической орбитальной плазменной сварки, поэтому автоматическая орбитальная гелиодуговая сварка более рациональна.

4. Разработаны технические предложения относительно построения установок (комплексов) для автоматической орбитальной гелиодуговой и плазменной сварки неповоротных стыков трубных элементов спиралей ПВД энергоблоков АЭС.

5. Определена область основных оптимизированных параметров режимов автоматической орбитальной гелиодуговой и плазменной сварки соединений трубных элементов спиралей ПВД.

6. Установлено, что значения параметров режимов автоматической орбитальной гелиодуговой или плазменной сварки (таких, как ток основной дуги (сварочный ток) при ее длине до 1,5 мм в случае гелиодуговой и от 3 до 8 мм при плазменной сварке, а также скорость сварки - скорость вращения планшайбы сварочной головки), соответствующих областям основных оптимизированных параметров режимов автоматической орбитальной гелиодуговой или плазменной сварки соединений трубных элементов спиралей ПВД с номинальным внешним диаметром 32 мм и толщиной стенки 4,0 мм неплавящимся (вольфрамовым) электродом $\varnothing$ 2,0 мм должны в процессе сварки поддерживаться неизменными с точностью не хуже $\pm 5\%$, а длительность стадий, из которых складывается цикл сварки, с точностью не хуже $\pm 10\%$.

Литература

1. Єфімов О.В., Пилипенко М.М., Потаніна Т.В. та ін. Реактори і парогенератори енергоблоків АЕС: схеми, процеси, матеріали, конструкції, моделі. / За ред. О.В. Єфімова. – Харків: ТОВ «В справі», 2017. – 420 с.
2. Buongiorno J. PWR Description. Massachusetts Institute of Technology, 2010.
3. Воронин Л.М. Особенности проектирования и сооружения АЭС. - М.: Атомиздат, 1980. – 192 с.
4. НП – 045 – 03. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды для объектов использования атомной энергии. / Утверждены Постановлением Госатомнадзора

ра России № 3 и Госгортехнадзора России № 100 от 19.06.2003 г. – М.: НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2003. – 49 с.

5. Марушкин В.М., Иващенко С.С., Вакуленко Б.Ф. Подогреватели высокого давления турбоустановок ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 136 с.

6. Троицкий В.А. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. – К.: Феникс, 2006. – 320 с.

7. Букаров В.А. Технология дуговой автоматической сварки в защитных газах. / Сварка в атомной промышленности и энергетике. Труды НИКИМТ. – М.: Издат. АТ, 2002. – Т.1. – С.149 – 210.

8. Ищенко Ю.С. Физико-технологические основы формирования швов в процессе дуговой сварки. / Там же. – Т.2. – С. 204 – 240.

9. Патент України UA № 120649. Горизонтальний обертач для дугового зварювання трубних конструкцій. / Лобанов Л.М., Водолазський В.Є., Махлін Н.М., Коротинський О.Є., Жерносеков А.М., Попов В.Є., Скопюк М.І. Опубл. 10.01. 2020 р. Бюл. №1.

10. Кривцун І.В., Демченко В.Ф., Крикент І.В., Коваленко Д.В., Коваленко І.В. Влияние тока и длины дуги на характеристики дугового разряда при сварке неплавящимся электродом. // Автомат. сварка. – 2019. – № 5. – С. 6 – 17.

11. Бои У., Кривцун І.В. Процеси сварки неплавящимся электродом с модуляцией сварочного тока. Ч. 1. Особенности горения дуги нестационарных дуг с тугоплавким катодом. // Там же. – 2019. - № 11. - С. 29 - 39.

12. Патон Б.Е., Григоренко Г.М., Шейко И.В. и др. Плазменные технологии и оборудование в металлургии и литейном производстве. – К.: Наукова думка, 2013. – 488 с.

13. Махлін Н.М., Коротинський О.Є., Свириденко А.О. Апаратно – програмні комплекси для автоматичного зварювання неповоротних стиків трубопроводів атомних електростанцій. // Наука та інновації. – 2013. – Т.9. - № 6. – С. 31 – 45.

14. Заявка на винахід № а 2019 11965 від 17.10.2019 р. Спосіб автоматичного орбітального плазмового зварювання трубних конструкцій та пристрій для його реалізації. / Лобанов Л.М., Махлін Н.М., Попов В.Є., Водолазський В.Є., Оліяненко Д.С., Буряк В.Ю., Коротинський О.Є., Скопюк М.І.

●#1245

Восстановление изношенных грунтозацепов башмаков гусеничных машин электрошлаковой наплавкой

С.М. Козулин, к. т. н., И.И. Лычко, к. т. н., А.А. Фомакин, И.В. Несина, ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, Г.С. Подыма, НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского» (Киев)

Изложены основные положения технологии, описана специализированная установка для восстановления изношенных и поломанных грунтозацепов башмаков гусеничных машин электрошлаковой наплавкой (ЭШН) без их предварительной и последующей механической обработки, разработанные на базе экспериментальных исследований и конструкторских разработок, выполненных в ИЭС им. Е.О. Патона. Отработку режимов и техники выполнения наплавки осуществляли с использованием серийного аппарата А-535 УХЛ4 и источника питания переменного тока ТПС 3000-3 на сварочном флюсе АН-8, наплавочными электродными проволоками Ø 3 мм. Разработанная технология реализована на специализированном участке одного из ремонтно-механических заводов горнодобывающей отрасли. Оборудование участка может быть также использовано для восстановления ЭШН деталей типа стоек рыхлителей, звёздочек, а также электрошлаковой сварки натяжных балок шагающих экскаваторов и других деталей толщиной 30 - 350 мм.

Восстановление изношенных деталей машин обеспечивает экономию высококачественного металла, энергетических и трудовых ресурсов, а также рациональное использование природных ресурсов и охрану окружающей среды [1, 2]. Экономическая эффективность ремонтных работ обеспечивается тем, что для восстановления работоспособности изношенных деталей требуется в 5-8 раз меньше технологических операций по сравнению с изготовлением новых деталей. Применение ремонтных технологий с использованием сварочных процессов позволяет не только продлить ресурс эксплуатации многих дорогостоящих деталей машин, но и высвободить оборудование, необходимое для изготовления новых деталей.

К таким деталям относятся башмаки (траки), являющиеся одними из составных частей гусеничного полотна ходовой части бульдозеров, экскаваторов, тракторов, асфальтоукладчиков, трубоукладчиков и др. машин [3]. Башмаки для гусениц из стальных про-

филей являются одними из наиболее популярных видов траков. Башмаки из стальных профилей применяются в гусеницах для тракторов Т-130, Т-170, ЧЕТРА, Shantui, Komatsu и многих др. Гусеничное полотно – важный исполнительный механизм, с помощью которого осуществляется передвижение техники по трудно преодолимой поверхности карьеров, строительных, сырьевых и заготовительных площадок. Ресурс гусеничной техники напрямую зависит от работоспособности ходовой части машин. Детали ходовой части этих машин воспринимают значительные динамические нагрузки и эксплуатируются преимущественно в абразивной среде, в результате чего подвергаются значительному износу, особенно при работе на скальных грунтах в условиях сухого трения. Наибольшему износу подвергаются грунтозацепы башмаков (рис. 1). Величина их износа достигает 30-80 мм по высоте гребня (рис. 1, в). Известны также случаи поломки грунтозацепов, что приводит к аварийному состоянию машин. Отправлять в металлолом башмаки, которые отбракованы в результате износа лишь одного элемента экономически нецелесообразно. В связи с этим поиск эффективных методов восстановления одних из самых дорогостоящих и быстроизнашивающихся деталей гусеничной техники с использованием сварочных процессов является весьма актуальной задачей.

Восстановление изношенных грунтозацепов башмаков с применением существующих методов многослойной электродуговой наплавки не нашло широкого применения из-за низкой производительности, невысокого качества сплавления присадочного материала с металлом изношенной части грунтозацепов и формирования наплавленного металла.

В настоящее время для восстановления грунтозацепов башмаков на большинстве ремонтных предприятий используют метод компенсационных элементов. На машиностроительных заводах из марганцовистой стали изготавливают компенсационные элементы (планки грунтозацепов) требуе-

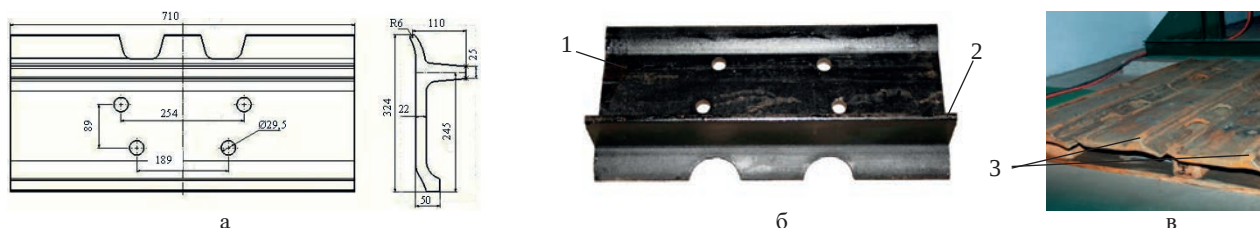


Рис. 1. Конструкция (а), внешний вид нового (б) и изношенных башмаков гусеничного полотна трактора Komatsu (в): 1 – корпус башмака; 2 – грунтозацеп; 3 – изношенные грунтозацепы

мых размеров, в основании которых предусмотрены скошенные кромки, которые при сборке с изношенным башмаком образуют V – образные разделки кромок под электродугую сварку [4].

Геометрические размеры указанных элементов определяются конструкцией башмака и величиной износа грунтозацепа. Затем планки стыкуют с изношенными основаниями грунтозацепов, а образовавшиеся разделки заваривают многопроходной электродуговой сваркой покрытыми электродами, механизированной в защитном газе или автоматической под слоем флюса (рис. 2).

Недостатками указанного метода являются:

- необходимость изготовления большой номенклатуры компенсационных элементов из легированной стали, размеры которых зависят от степени износа грунтозацепов, что приводит к значительным материальным затратам;
- для электродуговой сварки указанных элементов требуется предварительная обработка изношенных грунтозацепов с применением газо-пламенной резки;
- невысокая производительность процесса их приварки к изношенным основаниям;
- отсутствие гарантии обеспечения качества сварных соединений и др.

Существенно большими возможностями повышения производительности и качества ремонтных работ обладает способ электрошлаковой наплавки (ЭШН), нашедший применение при восстановлении крупногабаритных деталей машин, эксплуатирующихся в тяжёлой, металлургической энергетической, цементной и др. областях промышленности [5, 6]. Неоспоримым преимуществом ЭШН является возможность выполнять наплавку слоёв металла практически неограниченной толщины за один проход без предварительной обработки наплавляемых кромок. Кроме того, процесс позволяет широко использовать различную технологическую оснастку и приспособления, применение которых обеспечивает получение требуемых размеров и форм восстанавливаемых деталей без их последующей механической обработки.

В последнее время появилась информация о попытках применения ЭШН для восстановления

гребней грунтозацепов башмаков гусеничной цепи [7, 8]. К сожалению, в указанных публикациях отсутствуют данные о практической реализации указанных разработок.

Целью настоящей работы является разработка высокопроизводительной промышленной технологии и оборудования для восстановления методом ЭШН грунтозацепов башмаков гусеничной техники с любой степенью износа профиля за один проход без их предварительной и последующей механической обработки.

Методика выполнения работ включала:

а) проектирование, разработку и изготовление конструкций технологической оснастки и приспособлений для формирования наплавляемого металла, а также поворотного стенда для крепления восстанавливаемого башмака и его перемещения в зону наплавки;

б) расчет и определение оптимальных режимов ЭШН;

в) определение и подбор расчетного состава наплавляемого металла с учетом серийных сварочных материалов;

г) проведение экспериментальных исследований с целью обеспечения приемлемого качества формирования наплавленного металла и его гарантированного сплавления с основным методом ЭШН натурных образцов, а также изучение качества наплавленного соединения на поперечных и продольных макрошлифах;

д) адаптация серийного аппарата А-535 УХЛ4 и источника питания переменного тока ТШС 3000-3 для выполнения исследований, согласно выбранной методике с использованием сварочного флюса АН-8 и наплавочных электродных проволок Ø 3 мм;

е) отработка техники наплавки с надежным «скоростным» началом процесса ЭШН путём использования метода «жидкий старт».

Для достижения поставленной цели были разработаны чертежи конструкций узлов технологической оснастки и приспособлений: водоохлаждаемого формирующего устройства [9] и наплавочного стенда, служащего для крепления изношенных башмаков на формирующем устройстве и их перемещения в зону наплавки. При проектировании технологической оснастки использован положительный опыт разработки системы охлаждения устройств, применяемых для восстановления зубьев крупномодульных шестерен ЭШН [6, 10].

Отработку режимов и техники выполнения ЭШН осуществляли с использованием опытного водоохлаждаемого формирующего устройства на натурных образцах, имитирующих размеры и форму изношенных или поломанных грунтозацепов (рис. 3). Конструкцию плавящихся мундштуков 3 (рис. 3) определяли расчётно-экспериментальным путём с учётом величины h изношенной части грунтозацепа.

Для ускорения старта процесса ЭШН и гарантированного сплавления присадочного металла с основным в начальном участке образца в технологический карман заливали определённую порцию жидкого флюса («жидкий старт»), расплавление которого предварительно осуществляли в графито-

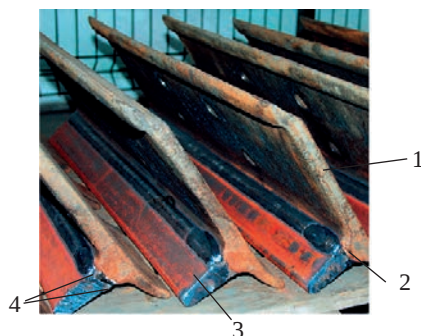


Рис. 2. Внешний вид траков гусеничной цепи, восстановленных путём двухсторонней приварки компенсационных элементов электродуговой сваркой: 1 – корпус башмака, 2 – изношенное основание грунтозацепа, 3 – компенсационный элемент, 4 – сварные швы

вом тигле с использованием графитового электрода. Этот прием позволяет с самого начала обеспечивать стабильный электрошлаковый процесс на выбранных параметрах режима наплавки.

Анализ результатов экспериментальных работ показал, что основными критериями качественного восстановления грунтозацепов башмаков служат:

а) обеспечение гарантированного сплавления присадочного металла с основным, особенно в галтелях ножки изношенной части грунтозацепов (рис. 3, 4);

б) геометрическая форма и качество формирования рабочей поверхности восстанавливаемого профиля (рис. 4).

Изучение энергетических взаимосвязей параметров режимов наплавки и формы наплавленного металла показало, что качественное сплавление и формирование наплавленного металла зависят преимущественно от величины удельной погонной энергии процесса ($E_{св}$), выделяемой в зоне наплавки и уровня отбора тепловой энергии в формирующее устройство. Расчётно-экспериментальные путём определены значения, зафиксированные в опытных наплавках. Установлено, что для данной конструкции грунтозацепов величину $E_{св} = 76$ кДж/см² можно принять за оптимальную. Она обеспечивается выбранными параметрами режима наплавки и режимом рационального охлаж-

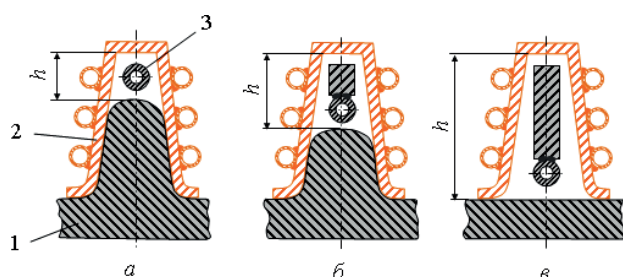


Рис. 3. Схема выполнения ЭШН образцов грунтозацепов башмаков: h – высота изношенной части грунтозацепа; а) $h = 30 - 40$ мм, б) $h = 55 - 65$ мм, в) $h = 75 - 85$ мм; 1 – опытные образцы-имитаторы башмака с изношенными (а, б) и поломанным грунтозацепами (в), 2 – водоохлаждаемое формирующее устройство, 3 – плавящийся мунштук

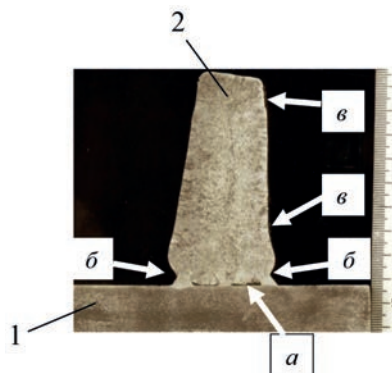


Рис. 4. Поперечный макрошлиф опытного образца с дефектами: 1 – основной металл, 2 – наплавленный металл; стрелками показаны места несплошностей: некачественного формирования галтелей (б) и рабочей поверхности наплавленного металла (в)

дения узлов формирующего устройства, который контролировался замерами температуры воды на её входе и выходе из узлов устройства.

В результате проведённых исследований определены оптимальные режимы ЭШН и разработана техника наплавки грунтозацепов за один проход (скорость наплавки $V_c = 0,8 - 1,0$ м/ч), обеспечивающие качественное сплавление и формирование наплавленного металла (рис. 5). Изучение макрошлифов показало, что структура наплавленного металла плотная, дефекты в виде трещин, пор, непроваров, шлаковых включений и др. отсутствуют. Твёрдость наплавленного металла составила 195-210 НВ, что соответствует требованиям ГОСТ 4543-71 для стали типа 40Г, из аналога которой изготовлены башмаки.

На базе разработанной технологии, специальной технологической оснастки и техники выполнения ЭШН создана специализированная установка для восстановления изношенных и поломанных грунтозацепов башмаков гусеничных машин (рис. 6). На базе Сусуманского РМЗ (г. Сусуман, РФ) организован участок восстановления изношенных и поломанных грунтозацепов башмаков гусеничных цепей тракторов Komatsu (рис. 7, а). В этой работе принимали участие И.А. Имшенецкий, Б.В. Цибуленко, И.М. Коваль, Ю.И. Кулик.

Технология восстановления грунтозацепов башмаков включает следующие основные операции:

- изношенный башмак 8 (рис. 6) закрепляют на формирующем устройстве 7 при горизонтальном положении поворотного стола 9, используя инвентарные отверстия в корпусе башмака (рис. 1) и быстросъёмный крепёж;
- производят поворот и фиксацию формирующего устройства с башмаком в вертикальном положении;
- на кокиле формирующего устройства закрепляют входную и выходную водоохлаждаемые технологические планки, к нижнему торцу прижимают водоохлаждаемый поддон, на котором устанавливают сифонную воронку (рис. 6);
- в наплавляемую полость вводят плавящийся мунштук 6 (рис. 6) и закрепляют его в специальном мунштукке аппарата А-535 УХЛ4;

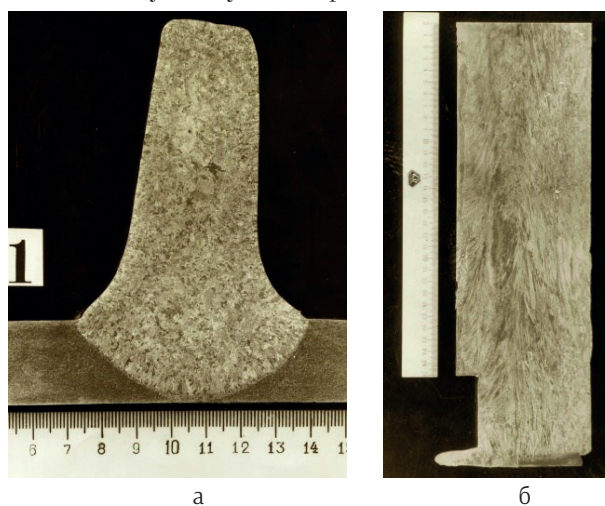


Рис. 5. Поперечный (а) и продольный (б) макрошлифы опытных образцов наплавленных грунтозацепов.

- включают подачу охлаждающей воды в узлы формирующего устройства;
- выполняют заливку необходимой порции жидкого флюса во входной карман, используя сифонную воронку;
- выполняют ЭШН грунтозацепа (время наплавки – 40-50 мин);
- отодвигают поддон, демонтируют сифонную воронку и технологические планки;
- возвращают формирующее устройство в горизонтальное положение, демонтируют восстановленный башмак, а на его место устанавливают изношенный башмак.

После удаления прибыльных участков и проведения последующей термической обработки, восстановленные башмаки отправляют в эксплуатацию без последующей механической обработки. Эксплуатационные испытания восстановленных башмаков в гусеничных цепях тракторов Komatsu показали, что износостойкость их грунтозацепов не уступает оригинальным запчастям, поставляемым заводом-изготовителем.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Разработана высокоэффективная промышленная технология, технологическая оснастка и оборудование для восстановления изношенных и поломанных грунтозацепов башмаков гусеничных машин электрошлаковой наплавкой.

2. Технология обеспечивает качественное восстановление грунтозацепов башмаков с любой степенью износа профиля за один проход без их предварительной и последующей механической обработки.

3. Организованный участок ремонта может быть также использован для восстановления деталей типа стоек рыхлителей, звёздочек, сварки натяжных балок шагающих экскаваторов и др. деталей толщиной 30-350 мм.

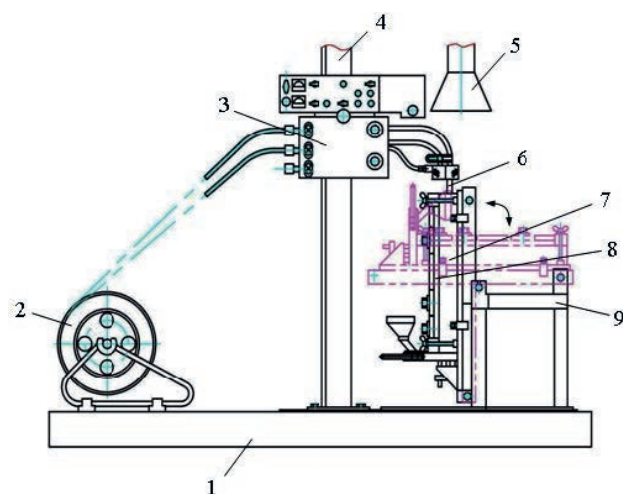


Рис. 6. Схема установки УД-509 для восстановления изношенных и поломанных грунтозацепов башмаков гусеничных машин с применением ЭШН: 1 – плитный настил, 2 – катушки с электродной проволокой, 3 – аппарат А-535, 4 – рельсовый путь, 5 – колпак газоотсоса системы вентиляции, 6 – плавающий мундштук, 7 – формирующее устройство, 8 – восстанавливаемый башмак, 9 – поворотный стол

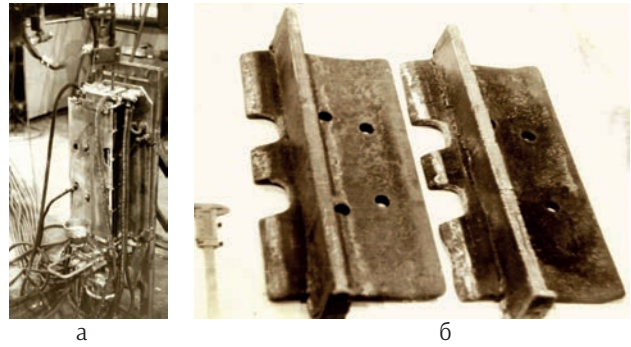


Рис. 7. Фрагмент ЭШН изношенного грунтозацепа башмака гусеничной цепи трактора Komatsu (а) и внешний вид восстановленных башмаков (б)

Литература.

1. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин. Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.

2. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М. Восстановление деталей машин: Справочник /под. ред. В.П. Иванова/. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.

3. Шарипов В.М., Щетинин Ю.С., Эглит И.М. Ходовая система гусеничного трактора. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 64 с.

4. www.sumitec.com.ua/service/vosstanovleniye_khodovoy_chasti/

5. Патон Б.Е. (ред.). Электрошлаковая сварка и наплавка. – Москва: Машиностроение, 1980. – 511 с.

6. Сушук-Слюсаренко И.И., Лычко И.И., Козулин М.Г., Семенов В.М. Электрошлаковая сварка и наплавка в ремонтных работах. – Киев: Наукова думка, 1989. – 112 с.

7. Королёв Н.В., Платонов А.Г., Брусов Р.Н., Курков А.А. Наплавка деталей ходовой части бульдозеров. // Сварочное производство. – 1990. – № 7. – С. 27-28.

8. Кагарманов И.И., Лопачев Б.Е. Использование метода горизонтальной ЭШН плоских поверхностей с постоянной шлаковой ванной для восстановления изношенных гребней башмаков трактора. /Материалы V регион. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы современной науки» (Омск, 15.04.2016 г.)/ Минобрнауки России, ОмГТУ, каф. «Физика». /редкол.: А.И. Блесман, В.К. Волкова, О.В. Малий/. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016. – С. 22-25.

9. Козулин С.М., Фомакин А.А., Подыма Г.С. Формирующее устройство для восстановления изношенных грунтозацепов башмаков гусеничных машин ЭШН. /Материалы VIII Всеукр. научно-практич. конф. студент., аспирант. и молод. ученых «Прикладная геометрия, дизайн, объекты интеллект. собств. и инновац. деятельность студентов и молодых ученых», Вып. 8. – К.: Действие, 2019. – С. 23-27.

10. Лычко И.И., Козулин С.М. Электрошлаковая наплавка – эффективный способ восстановления крупномодульных шестерен. – Киев: Общество «Знание», 1988. – 19 с.

●#1246

Экономнолегированный порошок на основе железа и никеля для плазменной наплавки нефтегазовой арматуры, которая эксплуатируется в коррозионной среде

И.А. Рябцев, д.т.н., **Е.Ф. Переплетчиков**, к.т.н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев),
М.А. Хома, д.т.н., **В.А. Винар**, к.т.н., ФМИ им. Г.В. Карпенко НАНУ (Львов)

Проведены сравнительные исследования эксплуатационных свойств и микроструктуры металла, наплавленного плазменным методом стандартным порошком ПР-ХН80СРЗ на основе никеля и опытным экономнолегированным порошком на основе железа (35%) и никеля (35%). Установлено, что по трибологическим и коррозионным свойствам экономнолегированный наплавленный металл не уступает наплавленному металлу на основе никеля. По результатам исследований порошок сплава на основе железа и никеля рекомендован для плазменной наплавки деталей нефтехимической арматуры, которая эксплуатируется в коррозионных средах.

В нефтегазовой отрасли наиболее распространена запорная арматура, выполненная в виде задвижек различной конструкции. Основная функция задвижек - перекрытие потока рабочей среды. Эффективность работы задвижек достигается за счет изготовления их основных деталей - тарелок, шибберов и седел с наплавленными уплотнительными поверхностями. Нефтехимическая и нефтегазовая арматура эксплуатируется при относительно невысоких температурах и давлениях, но в агрессивной рабочей среде. Так, детали затвора нефтегазовых шибберных задвижек подвергаются воздействию коррозионных сред с содержанием сероводорода и углекислого газа до 25 % при давлениях до 70 МПа и температурах среды от -60 °С до +45 °С.

Для наплавки деталей нефтегазовой арматуры применяются дорогие сплавы на основе никеля и кобальта, а также, в некоторых случаях, трудно свариваемые сплавы на основе железа [1]. В ИЭС им. Е.О. Патона для плазменно-порошковой наплавки таких деталей предложен экономнолегированный сплав, содержащий по 35% железа и никеля.

Целью данной статьи было исследование структуры предложенного сплава, его износостойкости и коррозионной стойкости в различных средах. Для сравнения одновременно проводилось исследование металла, наплавленного порошком на основе никеля ПР-ХН80СРЗ (табл. 1). Образцы для исследований были наплавлены плазменно-порошковым методом.

Для исследования структуры и физико-механических свойств слоев, наплавленных плазменно-порошковым методом, был использован прибор «Микрон-гамма», предназначенный для исследования поверхностных слоев материалов методами непрерывного вдавливания индентора, сканирования, металлографии и топографии [2, 3].

На рис. 1, а приведена микроструктура наплавленного металла на основе никеля ХН80СРЗ. Сплавы для наплавки на основе никеля, содержащие 8-20 % Cr и 1,5-4,5% В, имеют, в основном, трехфазную структуру $\gamma + \theta + \epsilon$. Углерод в этих сплавах находится преимущественно в виде карбидов типа M_7C_3 и $M_{23}C_6$, а также карбоборидов [1].

Микроструктура металла опытного состава состоит из аустенитной основы, небольшого количества эвтектической составляющей и карбидов (рис. 1, б).

Исследования износостойкости наплавленных образцов проводили на установке трения с возвратно-поступательным движением индентора по схеме шарик-плоскость. Образцы для исследований полировали до шероховатости $R_z = 2,5$ мкм. Контртело - керамический шарик (Al_2O_3) диаметром 9 мм. Приложенная нормальная нагрузка $P = 10$ Н, длина дорожки трения - 16 мм, скорость перемещения индентора - 0,003 м/с. Кинетику изменения параметров регистрировали с помощью ПК с шагом измерений 0,25 с [4].

Таблица 1. Химический состав порошков на основе никеля, а также железа и никеля

Марка Порошка	Массовая доля элементов, %						
	C	Cr	Si	Mn	Ni	Fe	B
ПР-ХН80СРЗ	0,6-0,9	15-17	2,7-3,7	-	Основа	≤5,0	2,3-3,0
Опытный	0,7-0,9	17-19	3,0-4,0	≤ 1,0	35,0	35,0	2,0-3,0

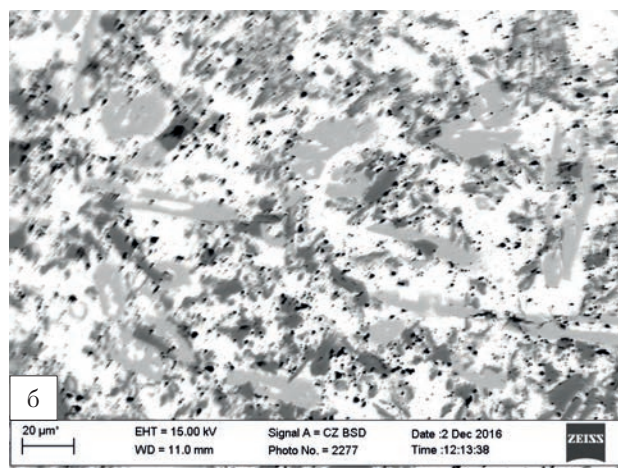
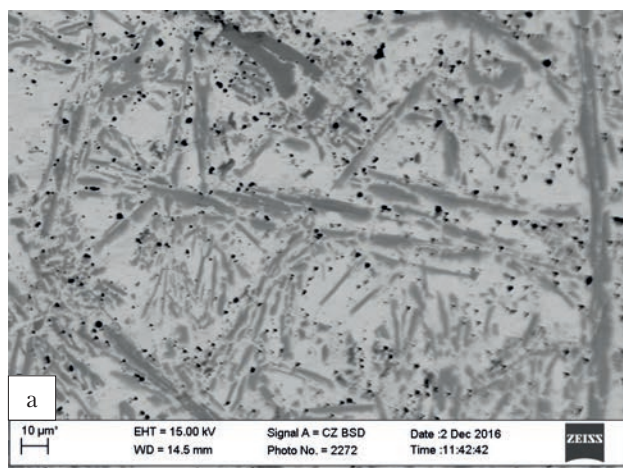


Рис. 1. Микроструктура металла, наплавленного порошками на основе никеля (а), и на основе никеля и железа (б), $\times 500$

Микроструктуру поверхности изнашивания изучали на сканирующем электронном микроскопе EVO 40XVP с системой микрорентгеноспектрального анализа с использованием энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY 350.

Микроструктура металла, наплавленного порошком ПР-ХН80СР3, с царапинами от индентора на поверхности изнашивания, приведена на рис. 2, а, а наплавленного опытным порошком - на рис. 2, б.

Рентгенофазовым анализом (табл. 2) установлено, что в наплавленном металле на основе никеля фаза серого цвета, вероятно, содержит твердый раствор железа и никеля в хроме, а также карбиды Cr_3C_2 . Ее микротвердость меняется от 7 до 8,5 ГПа. В фазе темно-серого цвета этого сплава с микротвердостью ~ 15 ГПа обнаружено высокое содержание бора. В микроструктуре наплавленного слоя выявлены также многочисленные мелкие ($1 - 2$ мкм) включения с концентрацией углерода более 50 %. Матрица сплава белого цвета состоит из никеля ($\sim 66\%$), железа ($\sim 25\%$) и хрома ($\sim 5\%$). Твердость этой фазы составляет $6 - 7$ ГПа.

Ширина царапины от индентора на поверхности никелевой матрицы втрое больше, чем на вклю-

чениях с высоким содержанием хрома. Зафиксировано пластическое деформирование никельсодержащей фазы и хрупкое - у фазы, обогащенной хромом. Вследствие существенного различия механических свойств фазовых составляющих, значение коэффициента трения меняются скачкообразно от 0,2 до 0,4. Дорожка трения достаточно широкая и достигает 260 мкм.

В табл. 2 приведен также химический состав структурных фаз металла, наплавленного порошком опытного сплава на основе никеля и железа. В фазе светло-серого цвета этого сплава содержится: $\sim 70\%$ никеля, $\sim 18\%$ железа и $\sim 6\%$ кремния. В темно-серой составляющей содержится: $\sim 64\%$ хрома, $\sim 29\%$ железа и $\sim 7\%$ никеля. Черные включения содержат: углерод ($\sim 48\%$), железо ($\sim 14\%$) и никель ($\sim 31,8\%$). Микротвердость светло-серой фазы составляет $\sim 7 - 7,75$ ГПа, темно-серой - $\sim 12,2$ ГПа.

Анализ микроструктуры царапин от индентора показал, что аустенитная фаза наплавленного металла на основе никеля и железа более пластична. Ширина царапины на ней вдвое больше, чем на поверхности более темной составляющей.

Сплав, который был наплавлен порошком на

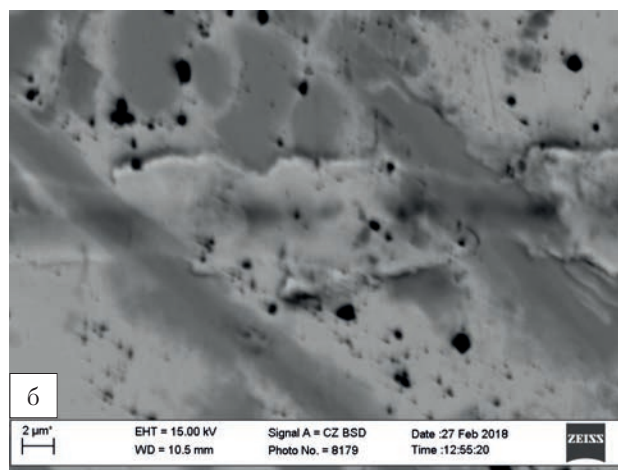
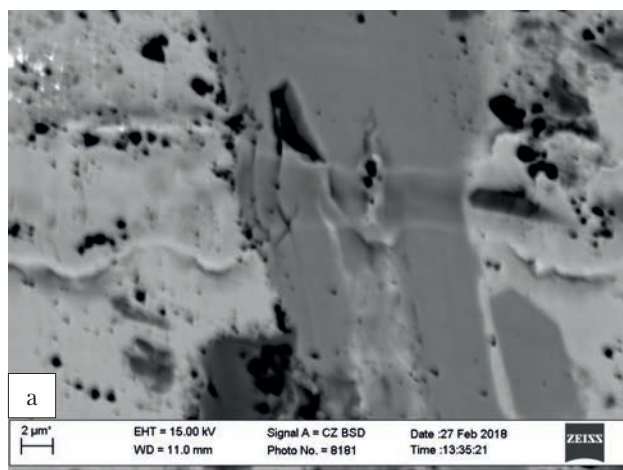


Рис. 2. Микроструктура металла с царапинами от индентора на поверхности изнашивания: а - наплавка порошком ПР-ХН80СР3; б - наплавка опытным порошком

Таблица 2. Химический состав структурных фаз металла, наплавленного порошками на основе никеля, а также железа и никеля

Элемент	Содержание элементов в фазах, масс. %				
	Наплавленный металл на основе Ni			Наплавленный металл на основе Fe и Ni	
	Белая фаза	Серая фаза	Темно-серая фаза	Светло-серая фаза	Темно-серая фаза
Si K	0,42	-	-	6,22	-
B K	-	0,00	20,14	-	-
C K	2,53	7,52	-	2,66	-
Cr K	4,78	67,33	77,00	2,63	64,56
Fe K	25,85	18,06	2,86	18,06	28,54
Ni K	66,42	7,09	-	69,35	6,90
Mn K	-	-	-	1,07	-

основе железа и никеля, имеет лучшие трибологические характеристики, чем сплав на основе никеля. Коэффициент трения первого сплава стабильный и низкий в течение всего времени испытаний - 0,15. Ширина дорожки трения достигает 160 мкм, что значительно уже, чем у сплава на основе никеля. Микроструктура поверхности трения практически не меняется, на ней видны лишь отдельные вырывы размером несколько микрометров.

Было также проведено исследование коррозионной стойкости наплавленного металла двух типов при повышенных температурах (жаростойкости) в водяном паре. Испытания проводили на лабораторной установке в проточном водяном паре при атмосферном давлении. Во время исследований проникновение кислорода воздуха в рабочий объем установки было исключено. Кинетические зависимости определяли путем испытания образцов при 700 °С в течение 100, 250, 500, 1000 и 2000 ч, температурные зависимости - по результатам испытаний длительностью 500 ч при 650, 700, 750 и 800 °С. Заданная температура поддерживалась с точностью ± 5 °С. В качестве основной характеристики стойкости использовали удельную потерю массы, представляющую собой отношение потери массы образца, очищенного от оксидов, к площади его поверхности. Оксиды, образовавшиеся на поверхно-

сти образцов при выдержке в водяном паре, удаляли в ванне с расплавленным натрием при пропускании через него аммиака. Оценивали также глубину коррозии сплавов в условиях длительной эксплуатации (рис. 3, а, б).

Как было показано выше, металл, наплавленный плазменным способом порошком на основе железа (35%) и никеля (35%), имеет близкие к оптимальным служебные свойства и экономические показатели. Этот материал был выбран для исследования коррозионных свойств в средах, содержащих хлориды, аммиак и сероводород [5]. Электродные потенциалы исследуемых образцов, которые были рабочими электродами, измеряли относительно насыщенного хлоридсеребряного электрода сравнения. Вспомогательный электрод - платиновый.

Для определения коррозионной стойкости сплава исследовали его электрохимические характеристики в свободно аэрированном 3 % растворе NaCl, pH 7, 3% растворе NaCl + 0,025% (NH₄OH), pH 9-10; 3% растворе NaCl + H₂S (насыщ.), pH 4 (рис. 4). Характер анодных кривых свидетельствует об образовании неплотных пассивных пленок, которые обеспечивают частичное торможение анодных процессов [5, 6].

Анализ поляризационных кривых показывает, что скорость коррозии наплавленного металла в этих сре-

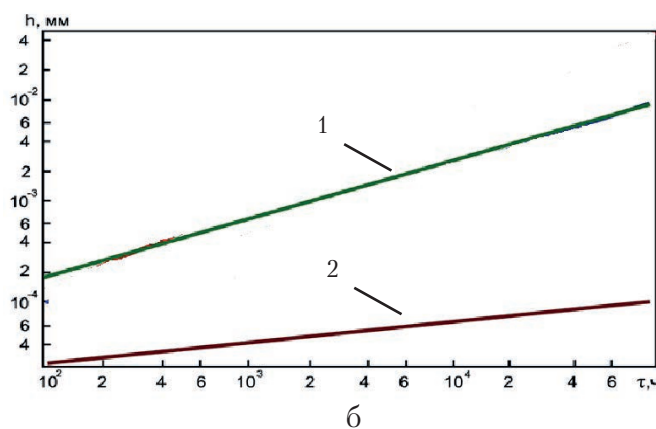
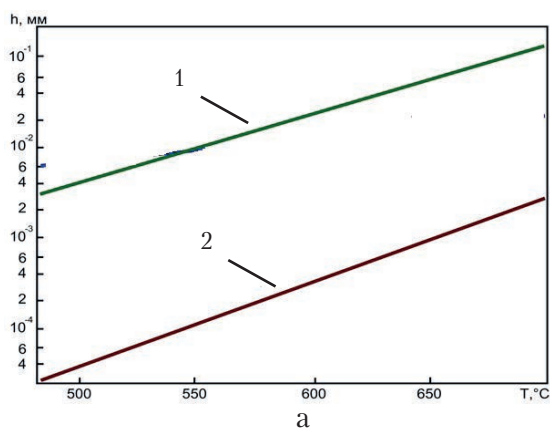


Рис. 3. Глубина коррозии (h) наплавленного металла в водяном паре в зависимости от: температуры за 105 ч испытаний (а), длительности выдержки при 545 °С (б): 1 - наплавленный металл на основе Ni, 2 - наплавленный металл на основе Fe и Ni

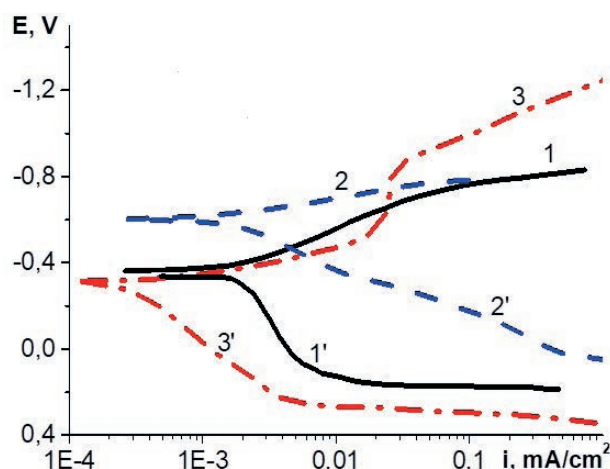


Рис. 4. Поляризационные кривые наплавленного металла на основе железа и никеля в коррозионных средах: 1, 1' – в 3% NaCl; 2, 2' – в 3% NaCl+H₂S; 3, 3' – в 3% NaCl+NH₃.

дах определяют катодные реакции (табл. 3).

Низкие значения катодных токов отмечены в среде, насыщенной аммиаком, в сероводородной и свободно аэрированной средах они значительно выше (табл. 3).

На основании приведенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Металл, наплавленный порошком экономнолегированного сплава на основе железа и никеля, имеет лучшие трибологические характеристики, чем металл, наплавленный порошком сплава на основе никеля. Коэффициент трения наплавленного металла на основе железа и никеля стабильный и составляет 0,15, на основе Ni – 0,20-0,40, ширина дорожки трения 160 и 260 мкм, соответственно.

2. Скорость коррозии наплавленного металла на основе железа и никеля в исследованных коррозионных средах определяют катодные реакции. Минимальные значения катодных токов отмечены в среде, насыщенной аммиаком, максимальные – в свободно аэрированной среде. Характер анодных кривых свидетельствует об образовании неплотных пассивных пленок, которые обеспечивают частичное торможение анодных процессов.

3. В целом, коррозия поверхности образцов наплавленного металла на основе железа и никеля в различных растворах незначительна и носит избирательный характер, что связано с гетерогенностью структуры и возникновением локальных гальванопар между ее элементами. Микроэлектрохимическая гетерогенность сплава в целом не превышает

Таблица 3. Характеристика катодных и анодных процессов на поверхности образцов наплавленного металла на основе железа и никеля в разных средах [5, 6]

Коррозионная среда	$i_{\text{анод}}^*$, мА/см ²	$i_{\text{катод}}^*$, мА/см ²
3% NaCl	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
3% NaCl+H ₂ S	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
3% NaCl+NH ₃	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$

ет 0,20 – 0,075 В, хотя в отдельных точках достигает 0,265 В.

4. Порошок экономнолегированного сплава на основе железа и никеля может быть рекомендован для плазменной наплавки деталей нефтехимической арматуры, которая эксплуатируется в коррозионных средах.

Литература

1. Гладкий П.В., Переpletчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменная наплавка. – Киев: Экотехнология, 2007. – 296 с.

2. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. – М.: Металлургия, 1991. – 158 с.

3. Игнатович С.Р., Закиев И.М. Универсальный микронаноиндентор «Микрон-гамма». // Заводская лаборатория. – 2011. – т. 77. – № 1. – С. 61-67.

4. Переpletчиков Е.Ф., Василов Х.Б., Винар В.А. и др. Повышение износостойкости низколегированной конструкционной стали плазменно-порошковой наплавкой сплавами на основе железа, хрома и никеля. // Физико-химическая механика материалов. – 2018. – т. 54. – № 3. – С. 81-89.

5. Хома М.С., Переpletчиков Е.Ф., Василов Х.Б., Рябцев И.А. и др. Коррозионные и трибокоррозионные свойства плазменных покрытий на основе железа, никеля и хрома в средах, содержащих сероводород, хлориды и аммиак. // Научные заметки. – 2019. – № 66. – С. 356-361.

6. Хома М.С., Рябцев И.А., Винар В.А. и др. Коррозионное и трибокоррозионное поведение плазменно-порошковых покрытий. / Материалы X международной научно-технической конференции «Теоретические и практические проблемы в обработке давлением и качества профессионального образования». // 3-7 июня 2019 г., гг. Киев – Херсон. – С. 162-166.

●#1247

Способы оцифровки и анализа изображений микроструктуры наплавленного металла, полученных с использованием модернизированных оптических микроскопов

А.А. Бабинец, канд. техн. наук, **И.А. Рябцев**, док. техн. наук, **И.П. Лентюгов**, канд. техн. наук, ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

В статье проведен анализ способов оцифровки изображений микроструктуры наплавленного металла, полученных с помощью оптических металлографических микроскопов, и методов их последующего анализа при проведении металлографических исследований. Рассмотрено два основных способа получения цифровых изображений – с помощью зеркального фотоаппарата, который закрепляется на тубусе окуляра микроскопа с использованием специального адаптера и с помощью видеоокуляра, который устанавливается вместо штатного окуляра микроскопа. Отмечены основные преимущества и недостатки каждого способа. Приведены примеры и основные возможности специального программного обеспечения для обработки цифровых изображений микроструктур. На примере фото микроструктуры зоны сплавления наплавленного металла типа инструментальной стали 25Х5ФМС и стали 40Х показано, что использование специального программного обеспечения, позволяет накладывать специальные фильтры, выделять нужные области, делать различные измерения и т.д., что значительно расширяет возможности обычных оптических металлографических микроскопов.

Во многих современных металлографических научно-исследовательских лабораториях используются специальные микроскопы, у которых изображение, полученное оптической системой прибора, передается непосредственно на специальную цифровую камеру высокой четкости, что позволяет проводить его дальнейшую компьютерную обработку [1]. Наиболее часто наблюдение исследуемого объекта ведется через встроенный экран или экран ноутбука, или персонального компьютера, к которому подключен данный микроскоп. Это значительно упрощает предварительный поиск и исследование объектов по сравнению с необходимостью постоянно смотреть в окуляр.

Кроме того, имея цифровое изображение исследуемых объектов можно в любой момент с помощью программного обеспечения проводить различ-

ные исследования, что значительно расширяет возможности стандартного металлографического анализа и позволяет снизить затраты времени и трудоемкость на его проведение [2]. Также, используя метод получения цифровых изображений и программное обеспечение, можно значительно ускорить проведение рутинных, однотипных манипуляций, например, при измерении геометрических размеров наплавленных валиков, глубины проплавления и т.д. по снимкам макрошлифов.

Вместе с тем, некоторые исследовательские лаборатории все еще оборудованы оптическими микроскопами типа МИМ, МЕТАМ, ММУ и др. моделей, в которых оптическая система позволяет получать четкое изображение с увеличением до 1000 раз, однако отсутствует возможность получения цифровых изображений исследуемых объектов.

Целью настоящей статьи является анализ способов оцифровки изображений, полученных с помощью оптических металлографических микроскопов, и методов упрощения их последующего анализа при проведении металлографических исследований.

Учитывая высокую стоимость современных микроскопов, а также комплексной профессиональной модернизации оптических микроскопов (цена которой может превышать стоимость такого микроскопа), некоторые исследователи стараются самостоятельно модернизировать имеющееся в наличии оборудование. Для этого используются цифровые фотоаппараты или же специальные цифровые видео-окуляры.

В первом случае задача решается относительно просто, если микроскоп ранее был оборудован штатной системой для фотографирования на фотопленку. В таком случае для подсоединения к микроскопу цифрового фотоаппарата необходимо иметь соответствующий переходник.

Если же таких возможностей нет, то фотографирование можно вести непосредственно через окуляр микроскопа, однако такой способ имеет следующие недостатки [3, 4]:

- необходимость обеспечения жесткого закрепления между окуляром и фотоаппаратом, и соосности их оптических систем;
- необходимость обеспечения защиты от боковых засветок;
- дополнительная оптика (объектив фотоаппарата) часто ухудшает качество изображения, снижая его резкость и уменьшая яркость.

Для устранения этих недостатков съемку через окуляр микроскопа можно выполнять фотоаппаратом вообще без его объектива, вместо которого непосредственно используется оптика микроскопа [3, 4]. В этом случае возможны две схемы работы: съемка через объектив и окуляр микроскопа или только через объектив микроскопа (рис. 1). В обоих случаях фокусировка изображения осуществляется только микровинтом микроскопа по изображению на экране фотоаппарата.

Однако, как показывает опыт использования таких схем [5], наиболее качественные снимки удастся получить при небольших увеличениях (до $\times 100$) или же с применением дополнительного специального оборудования. Например, в работе [5] показаны возможности подобной модернизации микроскопа Ломо МЕТАМ Р-1 путем установки вместо окуляра микроскопа - цифровой зеркальной фотокамеры Canon 650D с матрицей 18 мегапикселей (далее - Мрх). Изображение проецировалось на матрицу без использования окуляра микроскопа и объектива фотоаппарата - по схеме, приведенной на рис. 1, б. Внешний вид модернизированного таким способом микроскопа приведен на рис. 2.

С помощью такого оборудования авторами [5] были получены цифровые изображения при увеличениях до $\times 40$ (рис. 3). Из рис. 3 видно, что при увеличении $\times 40$ качество изображения уже неудовлетворительное - штатного освещения недостаточно. Таким образом, использование схемы, изображенной на

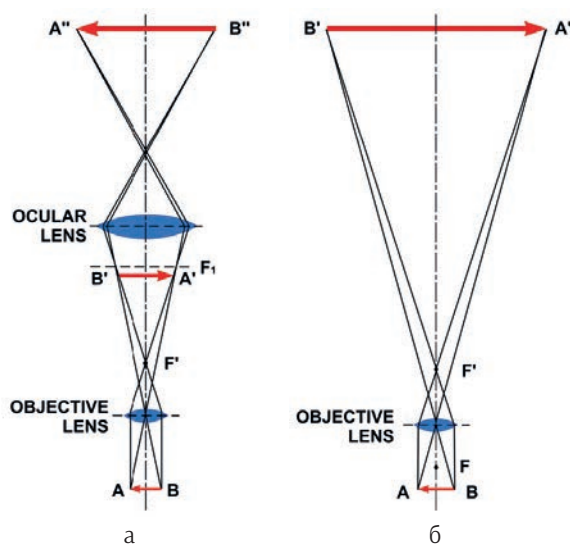


Рис. 1. Ход лучей при фотографировании через объектив и окуляр микроскопа (а), и через объектив микроскопа (б) [3]

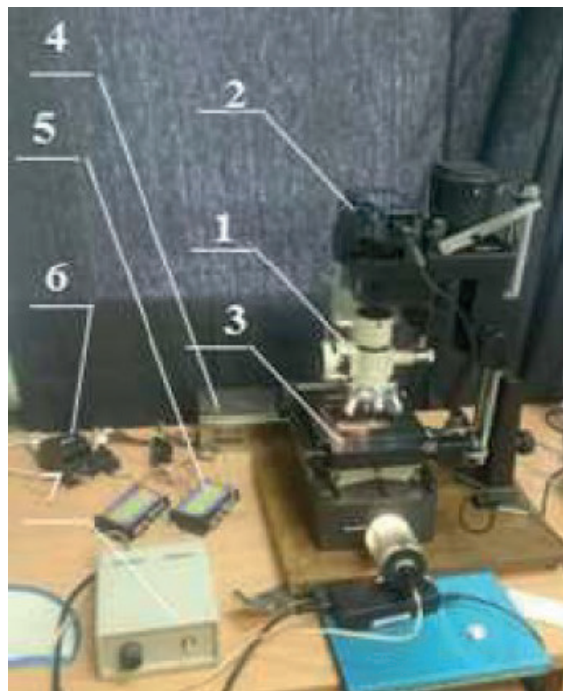


Рис. 2. Модернизированный оптический микроскоп МЕТАМ Р-1 [5]: 1 - микроскоп; 2 - фотоаппарат; 3 - предметный столик; 4 - блок питания; 5 - контроллер перемещений предметного столика; 6 - преобразователь RS-485/RS-232; 7 - осветитель

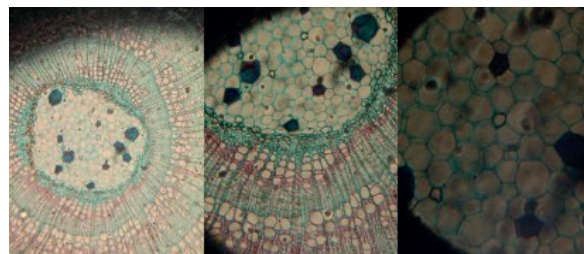


Рис. 3. Цифровое изображение объекта при использовании объективов с увеличением: $\times 10$ (а), $\times 20$ (б) и $\times 40$ (в) [5]

рис. 1, б, значительно ограничивает возможности исследователя, т. к. суммарное увеличение микроскопа в этом случае будет обеспечиваться лишь собственным увеличением используемых объективов микроскопа (чаще всего не более $\times 90$) и возможностями цифрового масштабирования фотоаппарата. Кроме того, само изображение при всех увеличениях «засорено» черной окантовкой тубуса микроскопа.

К преимуществам использования цифрового фотоаппарата вместе с оптическим микроскопом можно отнести [6-8]:

- высокую светочувствительность матрицы;
- возможность длительных выдержек;
- возможность применения фотоаппарата отдельно от микроскопа.

Вместе с тем данному способу присущи следующие недостатки [6, 7]:

- большая разрешающая способность матрицы фотоаппарата может привести к ухудшению качества снимков;
- отсутствие программного обеспечения для даль-

нейшей работы с полученными снимками, которое позволяет проводить калибровку системы, необходимую для проведения геометрических измерений и количественного анализа;

- трудности в поиске или изготовлении специальных переходников, т. к. на сегодняшний день ведущие производители микроскопов сняли с производства оригинальные адаптеры для цифровых фотокамер.

Подытоживая вышеизложенное, более перспективно выглядит использование специальных цифровых видео-окуляров, которые позволяют работать с цифровыми изображениями в режиме реального времени непосредственно на экране компьютера. Преимуществом данного оборудования является простота его установки вместо «родного» окуляра, а также соответствие разрешающей способности видео-окуляра к необходимому увеличению, что позволяет получать изображение с максимальной детализацией без посторонних «шумов», и значительно повышает точность и воспроизводимость результатов измерений [7, 9, 10].

Так, в работе [9] исследования проводились на микроскопе МИМ-8, вместо окуляра которого была установлен видео-окуляр марки Score Tek DEM35 0,3 Мрх, что позволило получить качественные изображения микроструктуры чугунов марок СЧ15 и ВЧ400-12, и провести дальнейший металлографический анализ этих изображений.

В работе [10] для исследования микроструктуры использовали металлографический микроскоп МЕТАМ ЛВ-42 при увеличении до $\times 1000$ вместе с цифровым видео-окуляром САМ V200 1,3 Мрх. На *рис. 4* в качестве примера приведено изображение, полученное с использованием такой системы, по которому можно сделать вывод о достаточной детализации и четкости получаемых цифровых изображений.

Стоимость цифровых видео-окуляров определяется, прежде всего, разрешающей способностью получаемого изображения, а также наличием специального оптического блока (гомала) с определенным увеличением (чаще всего $\times 10$), который влияет на величину суммарного увеличения получаемого цифрового изображения и его четкость.



Рис. 4. Микроструктура образца углепластика [10]:
1 – макропоры; 2 – филаменты; 3 – микропоры; 4 – клей

На стоимость таких видео-окуляров также влияет удобство, проработанность и количество измерительных инструментов в программном обеспечении, которое поставляется вместе с окуляром [11].

Использование такого программного обеспечения при последующей обработке и анализе цифровых изображений позволяет частично автоматизировать этот процесс, значительно снизить затраты времени и трудоемкость при проведении, в частности, металлографического анализа, а также повысить точность полученных результатов [2, 12]. Примерами такого программного обеспечения могут служить платные программы Thixomet и ZEISS Axiovision и бесплатные программы Imagej, Osirix, Jmicrovision [13-15]. В частности, программа Jmicrovision отмечена многими исследователями как наиболее удобная из бесплатных программ, и позволяющая проводить широкий круг измерений и вычислений, начиная от линейных размеров отдельных включений на изображении и заканчивая подсчетом количества определенных фаз и т.д. [9, 16 и др.].

В качестве примера, который раскрывает возможности таких программ, в данной работе приведен анализ размеров зерна, выполненный в программе Jmicrovision по цифровым изображениям микрошлифов образцов, полученных дуговой наплавкой порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС на сталь 40Х без подслоя и с подслоем, наплавленным проволокой Св-08А (*рис. 5*) [17].

Расчеты среднего размера зерна выполняли, используя известное соотношение, которое устанавливает пропорциональность между плотностью линий границ зерен на плоскости шлифа и плотностью точек их следов на случайной секущей линии [18]:

$$d_i = \frac{L}{m_i},$$

где m_i - число пересечений границ зерен с секущей, длина которой равна L .

Цифровое изображение загружали в программу Jmicrovision, затем выполняли ее калибровку по известному расстоянию между рисками объекта-микрометра, потом с помощью инструмента «1D Measurement» проводили ряд секущих произвольной длины и под произвольными углами, после чего, зная их длину, которую высчитывала программа, определяли количество зерен, пересеченных каждой секущей (*рис. 6*). Такой метод до-

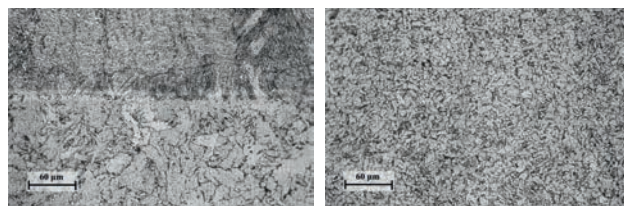


Рис. 5. Микроструктура [17]: а - переходной зоны ПП-Нп-25Х5ФМС + Св-08А; б - наплавленного подслоя Св-08А, $\times 320$

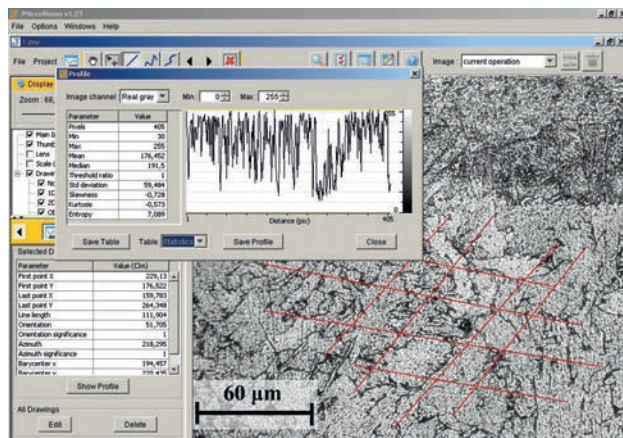


Рис. 6. Интерфейс программы Jmicrovision при использовании инструмента для измерения линейных объектов

вольно легко позволил определить средние размеры зерна в переходной зоне ($\approx 27,9$ мкм) и подслое ($\approx 6,5$ мкм), что согласовывается с результатами, полученными в работе [17].

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Для модернизации оптических металлографических микроскопов с целью получения цифровых изображений микроструктуры, существует несколько различных способов, целесообразность применения которых зависит от конкретных целей исследования и характеристик имеющегося оборудования.

2. Из рассмотренных способов модернизации оптических металлографических микроскопов, наиболее качественное цифровое изображение позволяют получить специальные цифровые видео-окуляры, которые непосредственно устанавливаются в тубус микроскопа без дополнительных манипуляций.

3. Значительно ускорить и упростить измерения линейных размеров отдельных включений, подсчетом количества определенных фаз и т.д. при проведении металлографических исследований можно с помощью специальных программ обработки цифровых изображений, ознакомиться с основными функциональными возможностями которых можно на примере бесплатных программ Imagej, Osirix, Jmicrovision и др.

Литература

- Литовченко С.В., Малыхина Т.В., Шпагина Л.О. Автоматизация анализа металлографических структур. // Вестник Харьковского национального университета. – 2011. – № 960. – С. 215-223.
- Пантелеев В.Г., Егорова О.В., Клыкова Е.И. Компьютерная микроскопия. – Москва: Техносфера, 2005. – 304 с.
- Транковский С.Д. Как работает микроскоп. // Наука и жизнь. – 2014. – № 2, С. 101-104.
- Hawkins A., Avon D. Photography: The guide to technique. – London: Book Club Associates, 1980. – 256 p.

5. Гужов В.И., Ильтимиров Д.В., Хайдуков Д.С., Чернов О.В., Полубинский С.Л. Модификация оптических микроскопов. // Автоматика и программная инженерия. – 2016. – № 2. – С. 71-76.

6. Установка цифровой зеркальной камеры на микроскоп. Эл. ресурс: <http://dmicro.ru/articles/dslr-microscope/>

7. Зеркальная цифровая камера на микроскоп и камера для микроскопии: плюсы и минусы. Эл. ресурс: <http://mikromir.com/novosti/dslrvsmicroscopecameras.html>

8. Цифровые камеры для микроскопа. Выбор цифровой камеры. Подбор адаптера. Эл. ресурс: <http://mikromir.com/novosti/Tsifrovye kamery dlyamikroskopa.html>

9. Лутай А.М., Клімчук О.С., Ключинський В.Б. Автоматизація аналізу металографічних мікроструктур. // Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 121-123.

10. Глухова К.Л., Долгодворов А.В. Исследование микроструктуры композиционного конструкционного материала на этапе получения углепластика. // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2014. – № 2. – С. 222-235.

11. Камери SIGETA для мікроскопів. Эл. ресурс: <http://sigeta.com.ua/>

12. Терновых А.М., Тронза Е.И., Юдин Г.А., Дальская Г.Ю. ELEMENTIZER – программный модуль микроструктурного анализа. // Вестник МПГУПИИ. Серия: приборостроение и информационные технологии. – 2013. – № 44, С. 106-114.

13. Официальный сайт анализатора изображений Trixomet Standard. Эл. ресурс: <http://www.thixomet.com>

14. ZEISS AxioVision – Microscope Software for Materials Microscopy & Industrial Applications. Эл. ресурс: <http://www.zeiss.com/microscopy/int/products/microscope-software/axiovision.html>

15. Программа для анализа цифровых изображений JMicroVision. Эл. ресурс: <https://jmicrovision.github.io>

16. Зубко Ю.Ю., Фролов Я.В., Бобух А.С. Влияние МНРКУП на микроструктуру АД0. // Обработка материалов давлением. – 2017. – № 2. – С. 93-100.

17. Рябцев И.А., Бабинцев А.А., Рябцев И.И., Гордань Г.Н., Кайда Т.В., Еремеева Л.Т. Структура многослойных образцов, имитирующих наплавленные инструменты для горячего деформирования металлов. // Автоматическая сварка. – 2013. – № 9. – С. 43-47.

18. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – Москва: Металлургия, 1986. – 270 с.

●#1248

Газокислородная резка сталей больших толщин (опыт Уралмашзавода). Особенности резки металла большой толщины (часть 1)

В.И. Панов, УрФУ им. Б.Н. Ельцина, С.В. Кандалов, ПАО «Уралмашзавод» (Екатеринбург)

По существующей классификации сталями большой толщины при кислородной резке считаются стали, имеющие толщину от 300 мм и более [1, 2]. Газокислородная резка сталей больших толщин является одним из звеньев обработки металлов в высокотехнологичных металлургических, металлообрабатывающих и сварочных производствах [3]. Процесс газокислородной резки металла большой толщины имеет свои физико-химические особенности, что вызывает определенные затруднения. Выбор оптимальной технологии, которая имеет наилучшие технические параметры процесса в сочетании с экономическими показателями и обеспечением устойчивого процесса, является крайне важным.

Настоящая статья состоит из двух частей. В первой части показана физическая модель газокислородной резки металла большой толщины, во второй части - ее тепловая модель.

В принципе кислородная резка состоит из следующих процессов [1 – 3]:

- подогрева металла;
- сжигания металла струей кислорода;
- удаления расплавленных шлака и металла из полости реза.

Обобщенного физического образа газопламенной резки деталей большой толщины, определяющую роль в которой играют гидродинамические, химические, диффузионные процессы, которые формируют протекание теплообмена, в отечественной и зарубежной литературе детально не сформулировано.

В практике Уралмашзавода производятся различные виды разделительной газокислородной резки металла большой толщины, среди них:

- при обрезке «лишнего» металла для уменьшения его объема, снимаемого при механической обработке (рис. 1), поскольку процесс кислородной резки по своей экономичности превосходит процессы механической обработки;
- при подготовке к завершению кольцевого шва при сварке ЭШС цилиндрических изделий большой толщины.

Кислородно - копьевая резка (рис. 2) по целому ряду причин применяется в единичных случаях.

Поверхностную резку (газопламенную, воздушную – дуговую и др.) используют для выплавки дефектов наследственного характера в толстостенных отливках, поковках, сварных соединениях, а также для удаления эксплуатационных повреждений толстостенных базовых деталей (например, станин, архитравов мощных прессов и прочих базовых деталей тяжело нагруженного оборудования).

Особенно широко применяется газокислородная резка металла большой толщины при ремонтной сварке.

Способность стали поддаваться газокислородной резке оценивают по химическому составу разрезаемой стали, подсчитывая химический эквивалент по углероду, пользуясь следующими формулами:

для низкоуглеродистых низколегированных сталей [4, 5]:

$$C_3 = C + 0.155(Cr + Mo) + 0.14(Mn + Si) + 0.11Si + 0.045(Ni + Cu),$$

и для сталей, содержащих углерод более 0,3%, по формуле:

$$C_3 = C + 0.4Mn + 0.3(Si + Mo) + 0.4Cr + 0.2V + 0.06Ni$$

При вертикальном расположении резака перед на-

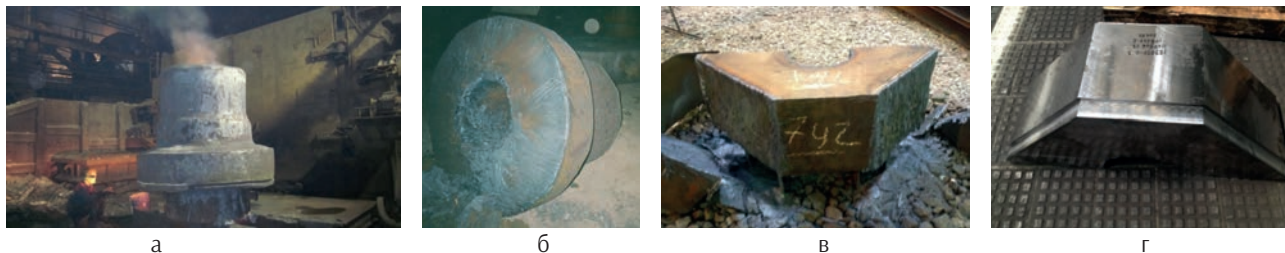


Рис. 1. Газокислородная обрезка заготовок для уменьшения объема механической обработки: а – стальной поковки заготовки вала – шестерни мощной дробилки (сталь 38ХГН); а – рабочий момент; б – внешний вид обрезанной поковки; в - толстостенная заготовка (поковка) после газокислородной резки (сталь 35Л); г – эта же деталь после механической обработки



Рис. 2. Кислородно - копьевая резка на Уралмашзаводе при резке металла большой толщины

чалом работ при разделительной резке, для свободного вытекания расплавленного металла и шлака из полости реза и для устранения подпора удаляемых газов, под разрезаемой деталью должно быть пространство высотой 300 – 500 мм (приямок).

Разрезаемое тело по линии реза очищают от окалины, ржавчины, грязи. Номера наружного (подогревающего пламени) и внутреннего (для режущего кислорода) мундштуков резака подбирают в зависимости от толщины разрезаемого металла.

До начала процесса резки стали металл должен быть нагрет до температуры начала интенсивного окисления и воспламенения железа в кислороде (1050 – 1200 °С). Нагрев металла обусловлен теплообменом между подогревающим пламенем и омываемым им участком поверхности разрезаемой детали, форма которого в зависимости от места реза может быть деформированной (начало резки – край заготовки) или свободной (начало резки - вне края заготовки).

Газокислородную разделительную резку обычно начинают с кромки разрезаемого тела. Время начального подогрева (при работе на ацетилене) металла составляет более 15 сек. Если же нужно начинать этот процесс с другого места заготовки (например, при вырезке фланцев), то сначала в изделии прожигают отверстие (или его сверлят), а затем вырезают нужную фигуру. Время на подогрев при этом увеличивается в 3 – 4 раза.

Для образования горючей смеси подогревающего пламени применяют ацетилен или газ - заменитель ацетилена (природный, пропан - бутановую смесь и др.). Применение газов - заменителей предпочтительнее по ряду причин. При сгорании они образуют более длинный факел, чем у ацетилена. Техника резки на этих газах не отличается от техники реза на ацетилене, но их применение влияет на производительность труда (замедленный нагрев разрезаемого тела и др.).

Расход горючего газа определяется с учетом коэффициентов, учитывающих состояние разрезаемой поверхности (отливки, поковки, проката), исходной температуры металла, замены ацетилена на газ-заменитель. Принимаются во внимание и дру-

гие показатели (химический состав разрезаемого тела, положение резака – вертикальное или горизонтальное и др.) [1].

При резке металла большой толщины подогревающему пламени придают науглероживающий характер, что позволяет увеличивать длину факела. Это позволяет отказаться от необходимости дополнительного введения в полость реза горючего газа (упрощается конструкция резака). Но наличие науглероживающего подогревающего пламени способствует усилению такого явления, как науглероживание кромок реза, что снижает температуру воспламенения металла и снижает вязкость шлака.

Увеличение содержания углерода в разрезаемом металле приводит к тому, что снижается температура плавления, при этом металл не горит, процесс окисления переходит в процесс плавления (диаграмма Железо – углерод). Неравномерное распределение углерода и легирующих элементов по толщине изделия способствует образованию одиночных или групповых выхватов и др.

Чистота подогревающего и режущего кислорода (ГОСТ 5583 – 78) предполагает широкий выбор для технолога, поскольку она влияет на скорость резки и чистоту поверхности реза. Обычно стали толщиной до 100 мм режут на чистоте кислорода 99,7 % (1-й сорт), при толщинах от 100 до 300 мм допускается снижение чистоты до 99,5 % (2-й сорт). При резке больших толщин допускается чистота 99,2 %. Практикой установлено, что использование кислорода чистотой ниже 97 % неприемлемо, ибо нарушается нормальное протекание процесса окисления, резко уменьшается скорость резки, снижается качество реза.

Расход кислорода подогревающего пламени и режущего кислорода можно подсчитать по соответствующим формулам [1].

Выражение требуемой теплоты газокислородной резки (Q_p) имеет вид:

$$Q_p = Q_{\text{пп}} + Q_{\text{омпп}}, \quad (1)$$

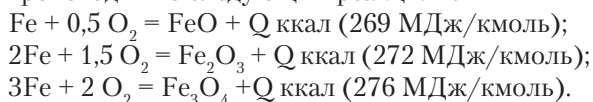
где $Q_{\text{пп}}$ – тепло, вносимое подогревающим пламенем; $Q_{\text{омпп}}$ – тепло, возникающее при окислении разрезаемого металла и примесей.

По мере увеличения разрезаемой толщины роль подогревающего пламени резака снижается и в конечном итоге составляет не более 8 %, при этом возрастает роль теплоты окисления. Рассчитать количество окисленного металла можно по уравнению, приведенному в [6].

Описать механизм окисления такого сплава, как сталь, очень трудно, т. к. могут оказать влияние легирующие элементы [7, 8].

Из теории газокислородной резки [1] известно, что температура плавления окислов должна быть ниже температуры плавления металла (для сравнения отметим, что температура воспламенения железа в кислороде равна ~1050 °С (~1323 К), а темпе-

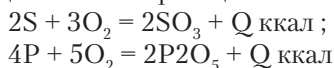
ратура плавления составляет ~ 1540 °С (~1813 К)). Воспламенение и интенсивное окисление чистого Fe происходит по следующим реакциям:



В литературе идет спор, какие именно окислы образуются при газокислородной резке металла большой толщины. По нашим понятиям, образуется, в основном, конгломерат двух окислов FeO и Fe₂O₃, эти окислы имеют температуру плавления ниже, чем температура плавления стали. Однако определить, какие именно окислы образуются, сложно по целому ряду причин. В частности, согласно системе Железо – углерод (кривые Шодрона), известные окислы образуют твердые и жидкие растворы между собой и с железом, при этом происходит поглощение кислорода. К этому следует добавить недостаточность информации о взаимной растворимости упомянутых окислов.

Но, кроме реакции окисления, должна быть и реакция восстановления железа, тем более, что в продуктах сгорания есть элементы, способствующие этому явлению (CO₂, H₂). Но пока эти знания остаются уделом специалистов доменного производства [7, 8].

В любой марки стали имеются неизбежные примеси серы и фосфора [9], окисление которых происходит согласно реакциям:



Расход режущего кислорода должен быть достаточным не только для окисления железа и примесей в разрезаемом металле, но и для удаления расплава из полости реза, который должен быть достаточно жидкотекучим, иначе он не будет выдуваться. Процесс резки прекращается (прерывается) при малой теплоте образования оксида, а значительная вязкость расплава уменьшает выделение теплоты и затрудняет его удаление из полости реза.

Характеристики струи режущего кислорода оказывают решающее влияние на газомеханические (процесс окисления стали, формирование полости реза, перемещение и удаление образующихся расплавленных оксидов, шлака и не окисленного металла и др.) и газодинамические характеристики. Последние, в свою очередь, определяются условиями ее истечения, которые зависят от размеров и конфигурации сопла мундштука, давления и расхода газа.

При газовой резке металла большой толщины технологической особенностью являются недостаточный нагрев металла нижних слоев, снижение химической активности режущего кислорода в нижних слоях вследствие его перемешивания с продуктами горения и окружающим воздухом, вследствие чего наблюдается неодинаковая ширина реза («косина реза»), увеличивающаяся к низу.

К тому же при содержании в разрезаемой стали углерода более 0,27 % возможна подкалка поверхности реза. Температуру начала образования мартенсита можно определить по формуле Ценера [10].

Сравнение резки на низком и высоком давлении кислорода показало, что, чем больше давление, тем большее количество чистого кислорода сможет поступать в разрез и тем лучше условия окисления металла по глубине разреза, т. к. повышение давления способствует увеличению соприкосновения кислорода с жидким металлом и улучшаются условия контакта с ним. При низком давлении затруднено выдувание жидкого металла из полости реза.

При резке стали большой толщины давление режущего кислорода должно быть около 14 кгс/см². Но при повышении давления режущего кислорода увеличивается плотность его струи и возникает эффект дросселирования, вызывающий снижение окружающей температуры. Дальнейшее повышение давления рабочих газов требует увеличения условного прохода шлангов, которые становятся жестче и тяжелее, что не совсем удобно для работы, а также возникает необходимость их бронирования. Цилиндрическая форма режущего кислорода приобретает расширяющуюся конусовидность.

Расстояние от среза мундштука до поверхности разрезаемого металла составляет от 70 мм (при разрезаемой толщине до 600 мм) до 100 мм (при разрезаемой толщине 1 000 мм и более).

Содержание не окисленного железа уменьшается по мере увеличения толщины разрезаемого тела.

Скорость перемещения режущего сопла мундштука резака по толщине изделия и вдоль линии реза должна соответствовать скорости окисления металла по толщине разрезаемого тела, а также скорости удаления жидкого расплава из полости реза.

Для убыстрения процесса резки рекомендуется перед резкой стали, не подверженной закалке, подогреть заготовку ~ не свыше 100 °С.

При газокислородной резке металла большой толщины режущий кислород играет не только окислительную роль. Помимо воздействия его струи на расплав жидкий металл при вертикальном резе удаляется и под собственным весом. По этой же причине горизонтальный рез выполняют под небольшим углом по отношению к разрезаемой поверхности. Однако, в последнем случае большая часть удаляемого металла все равно остается на поверхности разрезаемого тела.

Падение температуры в месте выполнения реза происходит по ряду причин. Вытекающий металл совместно с удаляемыми газами уносит тепло. После сгорания нагретого металла необходимо продолжать нагревать следующий очередной участок, иначе разрезаемая поверхность (в т. ч. и лобовая) не прогревается до температуры воспламене-

ния металла в кислороде, процесс резки прерывается. Для повышения температуры разрезаемого тела в разрез вводится резак с непогашенным подогревающим пламенем. Этот дополнительный источник теплоты постепенно перемещается вниз, пока не будет полностью разрезано тело по толщине. Поэтому процесс газопламенной резки металла большой толщины носит волновой характер.

Особого разговора заслуживает шлак, остающийся на боковых и лобовой поверхностях реза. В литературе упоминается диффузия углерода и кислорода внутри шлака. Применительно к резке металла большой толщины этот вопрос изучен явно недостаточно.

В процессе резки жидкий расплав (не окисленный металл и шлак) образует на нижней поверхности разрезаемого тела так называемый грат, на увеличение количества которого влияет и чистота режущего кислорода. Грат приваривается к нижней поверхности разрезаемого тела, вызывает дополнительный нагрев места реза и произвольно не отстает, его удаление снижает производительность труда.

В зависимости от марки разрезаемой стали может быть науглероживание кромок, а может быть и обезуглероживание. В первом случае возможно явление подкалки, что вызывает затруднение последующей механической обработки. Обезуглероживание вызывает пониженные прочностные характеристики.

Характерна и структура литого участка, зависящая от химического состава разрезаемой стали.

В зависимости от толщины разрезаемого металла протяженность ЗТВ на нижней его плоскости имеет большую протяженность, чем на верхней плоскости. Это связано, прежде всего, с наличием грата, который резко замедляет скорость охлаждения металла, на этот показатель оказывают также влияние вид резки (ручная или машинная), форма реза (прямолинейный или фигурный), теплофизические свойства и др. Протяженность ЗТВ может достигать до 10 – 12 мм.

При газопламенной резке металла большой толщины по разным причинам требуется расход горючего газа и кислорода выше на 10 – 15 %, чем получается по расчету. Увеличивается влияние подогревающего пламени на режущий кислород и, в частности, подогревающее пламя может вызвать некоторый нагрев режущего кислорода. По мере распространения реза по толщине струя режущего кислорода захватывает воздух, вследствие чего вокруг зоны реза образуется турбулентный пограничный слой.

При резке металла большой толщины происходят трудно учитываемые потери O_2 . Согласно существующим гипотезам кислород активно диффундирует в кристаллические объемы, обедненные углеродом, и не внедряется в участки, обогащенные углеродом, которые расплавляются и вы-

мываются из разрезаемого металла без сгорания (ввиду низкой температуры плавления). В слое шлака происходит избирательное окисление железа с внедрением в поверхностный слой кислорода и оттеснением углерода в пленку расплавленного металла на границе раздела между шлаковой фазой и твердым металлом.

Сочетание длительного воздействия шлака (рассредоточенного неподвижного источника) и возможно отражаемой температуры от кромок разрезаемого тела приводит к росту зерна, вплоть до образования обезуглероженной (ферритной) структуры металла, прилегающего к нижней кромке разрезаемого изделия.

Под влиянием грата на нижней поверхности разрезаемого тела и при длительном пребывании металла его нижней поверхности в нагретом состоянии (под влиянием шлака, находящегося в приямке) может также привести к образованию феррита.

В данной статье не рассматриваются вопросы ламинарного и турбулентного движений жидкого металла.

Газокислородная резка металла большой толщины имеет свои достоинства и недостатки.

Основное достоинство этого технологического процесса заключается в том, что он практически не вызывает деформации изделия (серповидность, волнистость и др.).

К недостаткам газопламенной обработки следует отнести высокие взрыво- и пожарную опасности и др. [11]. При резке металла большой толщины существуют опасные, вредные, психофизиологические факторы, поэтому следует использовать средства индивидуальной защиты (ГОСТы 12.2.008 и др.). Выполнение резки должно предусматривать и пожарную безопасность (обязательное наличие газовых огнетушителей, асбестового покрывала, ящика с песком), работники должны участвовать в тушении пожаров. В обязанности рабочих входит умение оказывать первую доврачебную помощь пострадавшим. Отрезанные части металла не должны падать на людей и пр.

Стандарт ГОСТ 5191–79 не распространяется на резаки для резки металла большой толщины. При выполнении этого технологического процесса надо учитывать состояние металла, особенно, при ремонтной сварке. Подвергаются раздельной и поверхностной резке не только низкоуглеродистые нелегированные и низколегированные стали, но и углеродистые стали (отливки и поковки из сталей марок 34ХН1М, 34ХН3М, 38Х2Н3М, 75ХМ, 9Х2 и т. п.), в которых, как показала практика выполнения ремонтных работ на различных металлургических комбинатах, содержание углерода может колебаться не только в пределах марочного содержания, но и в пределах одного сечения, что вызывает повышение темпера-

туры воспламенения металла и снижение температур ликвидус и солидус. Чем больше содержание С, тем ниже значение Мн, тем выше уровень структурных напряжений. Процесс резки превращается в процесс расплавления и удаления этого расплава из зоны реакции кислородной струей.

На состав шлаков и их вязкость сильное влияние оказывает наличие легирующих примесей (Si, Cr и др. элементов), поскольку в слое жидкого металла, выдуваемого из реза кислородной струей, образуются тугоплавкие оксиды. Они уменьшают жидкотекучесть расплава и препятствуют интенсивному теплообмену между расплавом и кислородом режущей струи. Элементы, расположенные за железом в ряду химической активности по отношению к кислороду, снижают активность окисления расплава.

Определение вероятности появления малопластичной структуры производится с использованием диаграмм термокинетических превращений переохлажденного аустенита, приведенные в справочнике термиста [12].

В конструкторской документации (чертежах) обычно говорится, что высота «пенька» после резки металла большой толщины должна быть ~ 20 мм, т. е. — это припуск на механическую обработку, в которую также входят устранение бороздок (в т.ч. и глубоких), вырывов, восстановление перпендикулярности разрезаемых кромок (устранение «косины реза»).

С учетом приведенного выше аппарата для резки металла большой толщины отличается от аппарата для резки металла малой и средней толщины [13 – 18]. Поэтому на Уралмашзаводе разработан универсальный ручной резак (режим работы тяжелый) длиной от 700 до 1 300 мм, в котором приняты все меры безопасности и охраны труда с учетом антропологических данных газорезчиков. Резак инжекторного типа содержит смесительную камеру, 2 трубки (одна — для подачи горючей смеси подогревающего пламени, другая — для подачи режущего кислорода), головку с мундштуками (наружный — для подогревающего пламени, внутренний — для режущего кислорода), запорно — пусковой механизм, ниппели подсоединения к источникам кислорода и горючего газа. Конструкция резака обеспечивает легкость его сборки и высокую ремонтнопригодность.

Продолжение (часть 2) в следующем номере журнала

Литература

1. Полевой Г.В. Сухинин Г.К. Газопламенная обработка металлов: учебн. — М.: Машиностроение, 2005. — 333 с.
2. Полевой Г.В. Газопламенная обработка металлов: учебник для вузов. — М.: Академия, 2010. — 333 с.

3. Руге Ю. Техника сварки. Справочник в двух частях. / пер. с нем. Г.Н. Клебанова. Часть 2. Процессы и подготовка производства. — М.: Металлургия, 1984. — 552 с.

4. Рыжков Н.И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. Организация и производство. — М.: Машиностроение, 1970. — 341 с.

5. Рыжков Н.И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. Организация и технология. 2-е изд., перер. и дополн. — М.: Машиностроение, 1980. — 375 с.

6. Королев Н.В. Расчеты тепловых процессов при сварке, наплавке и термической резке: учебн. пособие. — Екатеринбург: УГТУ, 1996. — 196 с.

7. Зверев И.Н., Смирнов Н.Н. Газодинамика горения. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. — 307 с.

8. Шаповалов А.Н. Теория металлургических процессов: Учебно-методическое пособие. — Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2015. — 91 с.

9. Марочник сталей и сплавов./ под ред. В.Г. Соколова. — М.: Машиностроение, 1989. — 639 с.

10. Сефериан Д. Металлургия сварки. /пер. с фр. И.Н. Ворновицкого, В.Д. Тарлинского. — М.: Машгиз., 1963. — 347 с.

11. Межотраслевые правила по охране труда при производстве ацетилена, кислорода, процессе напыления и газопламенной обработке металлов. ПОТР. — М — 019, 2001. — 48 с.

12. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. / Справочник термиста. — М.: Металлургия, 1965. — 496 с.

13. Государственная публичная научно-техническая библиотека: <http://www.gpntb.ru>

14. Российская национальная библиотека: <http://www.rsl.ru>

15. Публичная электронная библиотека: <http://www.gpntb.ru>

16. Библиотека нормативно-технической литературы: <http://www.tehlit.ru>

17. Электронная библиотека нормативно-технической документации: <http://www.technormativ.ru>

18. Библиотека им. В.Г. Белинского: <http://book.uraic.ru>

●#1249

Резак РГКМ-1600 для кислородной резки металлических заготовок толщиной до 1600 мм

В.М. Литвинов, Ю.Н. Лысенко, С.А. Чумак, ООО «НИИПТмаш-Опытный завод» (Краматорск)

Внедренные ранее машины газовой резки прибылей, литья, слитков, поковок и крупногабаритного металлолома, проработав 30 – 40 лет, физически износились и морально устарели. В начале 2000-х гг. был выполнен ряд работ по капитальному ремонту этих машин (НТЗ им. К. Либкнехта, г.Днепр, ЭМСС и НКМЗ, г.Краматорск) и созданию новых (УЗТМ, г.Екатеринбург, МК им. Серова, г.Серов, Азовэлектросталь, г.Мариуполь) [1]. Резак РГКМ-1600, расширивший технологические возможности машин газовой резки и увеличивший потолок толщин разрезаемой заготовки без увеличения расхода режущего кислорода, разработан для замены устаревшего резака РГМ-9 и внедрен в составе модернизированных и новых машин газовой резки металлов больших толщин.

Резак РГКМ-1600 имеет моноблочное исполнение мундштука. Каналы для режущего и подогревающего кислорода, и горючего газа в нем рассчитаны и расположены таким образом, что герметичность с жесткой фиксацией положения деталей необходимо обеспечить только между каналами для горючего газа и окружающей атмосферой по одной контактной поверхности.

Рабочая часть резака РГКМ-1600 включает головку и моноблочный мундштук. При подготовке оборудования для резки заготовки заданной толщины достаточно выкрутить один мундштук и на его место вкрутить другой, нужного типоразмера. Это легко сделать прямо на машине и требует немного (2-3 мин.) времени. Оператор МГР получает возможность при резке заготовок различной толщины постоянно использовать мундштуки, обеспечивающие оптимальный расход энергоносителей, ширина реза при этом неизменно получается минимальной для данной толщины.

Резак РГКМ-1600 был разработан для осуществления способа кислородной резки металлов больших толщин [2]. Этот способ заключается в том, что в сплошном потоке горючего газа в одном направлении с ним перемещается кислород основной режущей струи, вокруг которой расположены несколько дополнительных режущих струй. Кислород дополнительных струй перемещается в том же потоке и имеет скорость до 10 % меньшую, чем скорость кислорода основной режущей струи.

Сплошной поток горючего газа заполняет все пространство между основным и вспомогательными по-

токами режущего кислорода, а также образует внешнюю оболочку. Поскольку горючий газ перемещается в одном направлении с потоками режущего кислорода и имеет плотность в несколько раз ниже, чем плотность окружающего воздуха, он позволяет сохранить скорость и чистоту, т.е. режущие свойства кислорода на значительном расстоянии от торца мундштука.

При использовании ранее известных способов кислородной резки металлов больших толщин имеет место три фактора, снижающие эффективность процесса резки:

1 - режущая струя кислорода постоянно надвигается на переднюю кромку реза, которая деформируется и возмущает эту струю, снижая ее режущие свойства;

2 - кислород режущей струи вступает в реакцию горения металла сразу на верхней кромке реза, здесь он загрязняется продуктами горения и начинает терять свою скорость;

3 - недостаточное количество перегретого шлака, образующегося в верхней части полости реза, и незначительная часть факела подогревающего пламени, попадающего в полость реза; они слабо прогревают глубинные слои металла и нижнюю часть полости реза.

Использование способа кислородной резки металлов больших толщин по патенту [2], когда фронтальную и боковые поверхности реза на верхней части заготовки образуют вспомогательные режущие струи и в образовавшуюся полость (воронку) попадает основная режущая струя, не касаясь заготовки ни с фронта, ни по бокам - позволяет избежать воздействия 1-го фактора.

В верхней части заготовки в реакцию горения с металлом вступает кислород вспомогательных режущих струй, сохраняя чистоту и скорость кислорода основной режущей струи, затем, по мере ослабления вспомогательных струй, в реакцию горения металла вступает кислород основной режущей струи в глубинных слоях заготовки.

При этом количество перегретого шлака, уносимого из полости реза, вполне достаточное для прогрева заготовки в нижней части полости реза. В данном случае 2-й и 3-й факторы, тормозящие процесс резки, также отсутствуют.

Резак РГКМ-1600 в составе машин газовой резки предназначен для газо-кислородной резки

прибылей литья, поковок, слитков и крупного металлолома из углеродистых, легированных, высоколегированных сталей и чугуна толщиной до 1600 мм. Его конструкция защищена патентом [3].

Технические характеристики резака приведены в табл. 1.

Параметры, указанные в табл. 1, относятся к чистоте кислорода не менее 99,5 %; к стальным заготовкам с чистой поверхностью без раковин, ликваций и др. дефектов, из углеродистых сталей с содер-

Таблица 1. Технические характеристики резака РГКМ-1600

Толщина разрезаемого металла, мм	1200	1400	1600
Давление перед резаком, МПа: основного кислорода	0,35 - 0,45		
вспомогательного кислорода			
природного газа			
Расходы, не более, м³/ч: основного кислорода	200	240	260
вспомогательного кислорода	30	40	50
природного газа	40	50	60
Длина резака, мм	1350		
Диаметр кожуха, мм	68		
Масса резака, кг	13		

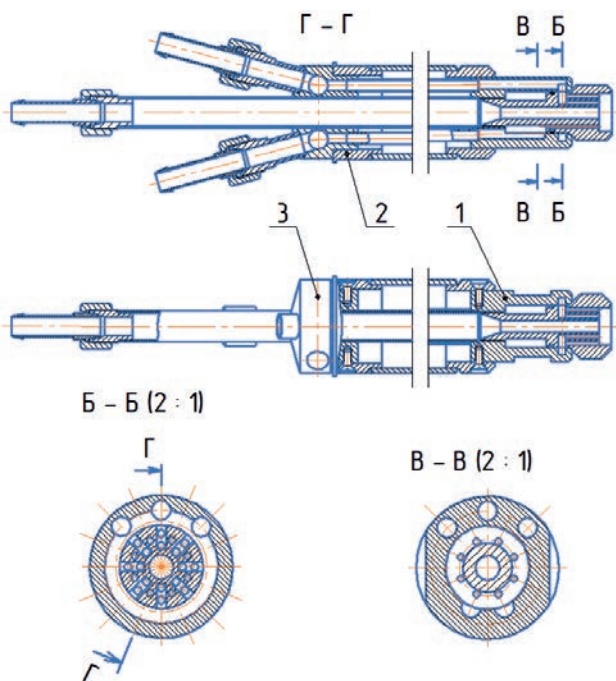


Рис. 1. Газокислородный резак РГКМ-1600

жанием углерода до 0,3 %. При кислородной резке высоколегированных сталей и чугуна давление и расход энергоносителей подбираются по месту для конкретной заготовки.

Регулирование расходов кислорода и горючего газа осуществляется вентилями на газовом пульте управления газорезательной машины.

Горючий газ через подводящую трубку поступает в головку резака и в кольцевую щель между головкой и мундштуком, затем через специальные дозирующие отверстия попадает в форкамеру мундштука.

Вспомогательный кислород поступает в кольцевую камеру головки и через специальные дозирующие отверстия мундштука также попадает в форкамеру мундштука, где частично смешивается с горючим газом.

Подача основного кислорода осуществляется вентилем основного кислорода на газовом пульте машины, далее через трубку наконечника и головку кислород поступает в центральный канал мундштука.

Резак РГКМ-1600 состоит из трех узлов: головки в сборе 1, кожуха 2 и ствола 3 (рис. 1).

Подробнее устройство резака рассмотрено ниже при описании его узлов.

Головка в сборе (рис. 2) состоит из корпуса 1, мундштука 2 (№ 1, 2, 3) и уплотнительного кольца 3. Расчетные значения диаметров ($D_{кр}$, $d_{кп}$ и $d_{гр}$) каналов мундштуков №№ 1, 2 и 3 и их суммарные площади поперечного сечения приведены в табл. 2.

Проверка резака, выполненного по патентам [2, 3], на работоспособность осуществляется по формулам 1 и 2:

$$\frac{F_{кр}}{F_{кп}} = 1,5 \quad (1)$$

$$\frac{F_{гр}}{F_{кп}} = 2,0 \quad (2)$$

Чертеж корпуса головки представлен на рис. 3, чертежи мундштуков – на рис. 4 – 6.

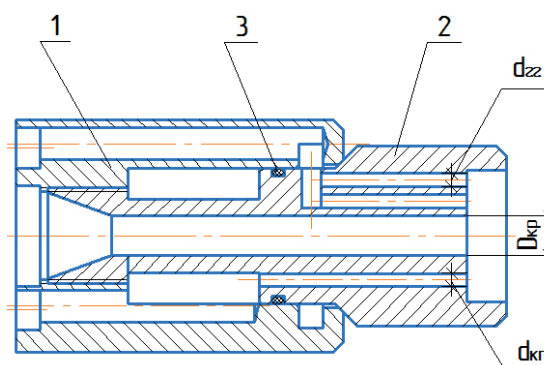


Рис. 2. Головка резака РГКМ-1600 в сборе

Таблица 2. Расчетные значения диаметров и площадей поперечного сечения каналов в мундштуках № 1, № 2 и № 3

Позиция на рис. 2	Номер мундштука	Кислород						Горючий газ		
		основной			вспомогательный					
		n	$D_{кр}$	$F_{кр}$	n	$d_{кп}$	$F_{кп}$	n	$d_{гр}$	$F_{гр}$
2	1	1	5,5	23,8	5	2,0	15,7	10	2,0	31,4
	2	1	7,5	44,2	6	2,5	29,5	12	2,5	58,9
	3	1	10	78,5	6	3,2	48,2	12	3,2	96,4

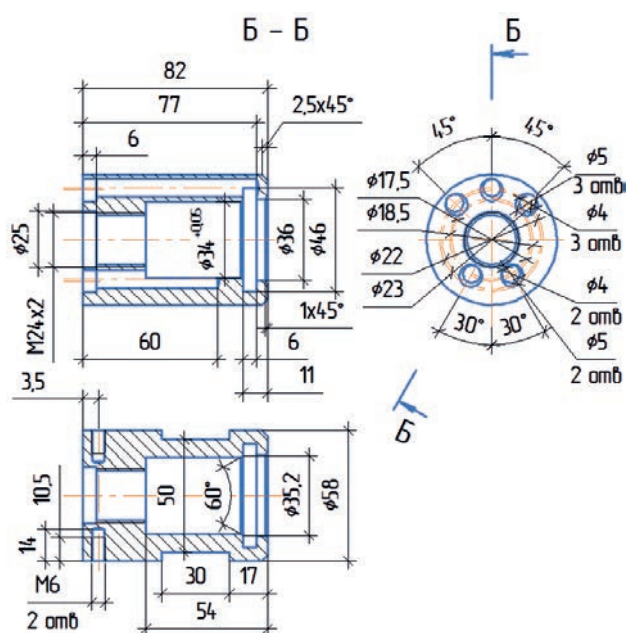


Рис. 3. Корпус головки резака РГКМ-1600

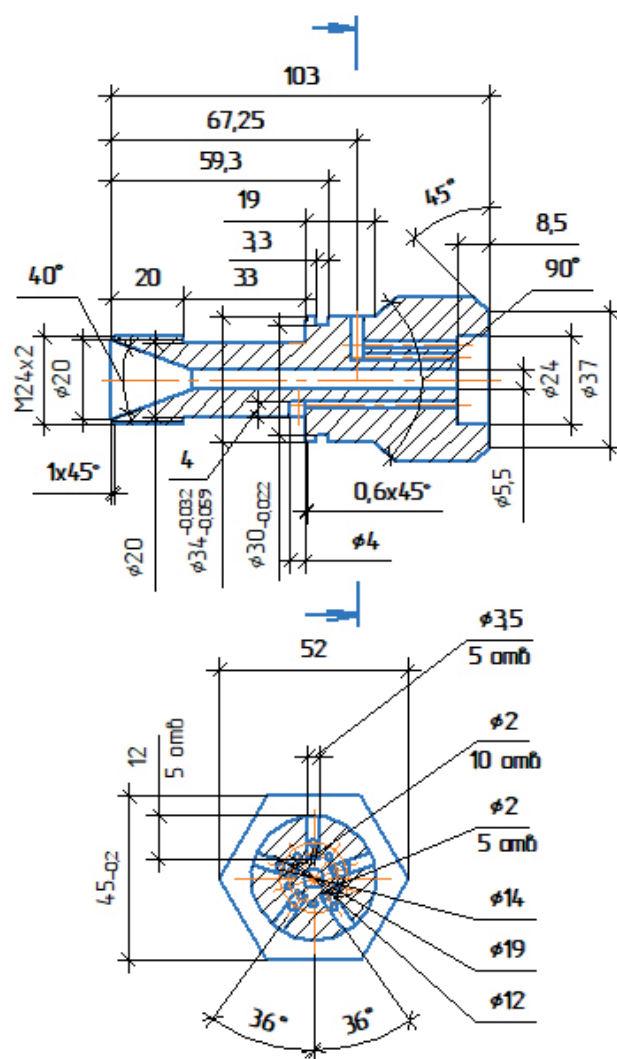


Рис. 4. Мундштук № 1

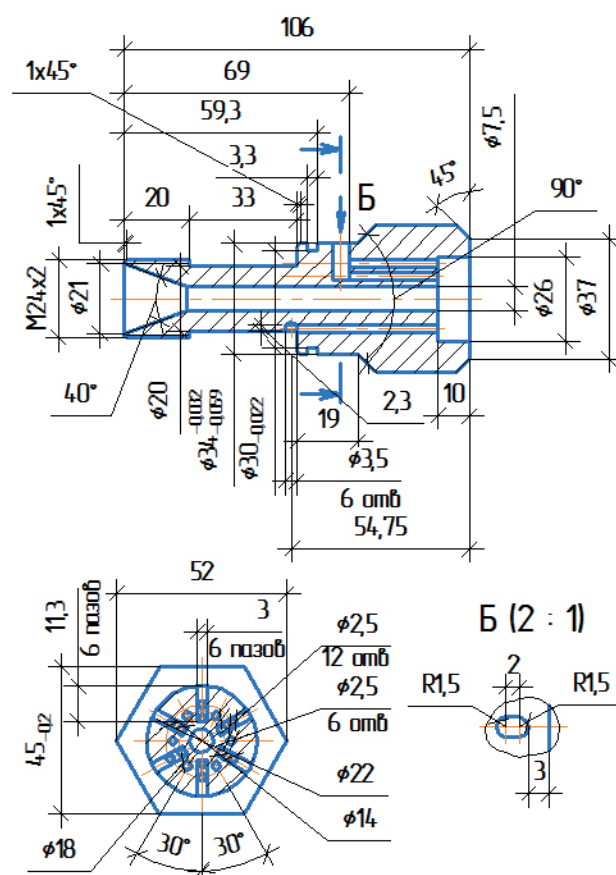


Рис. 5. Мундштук № 2

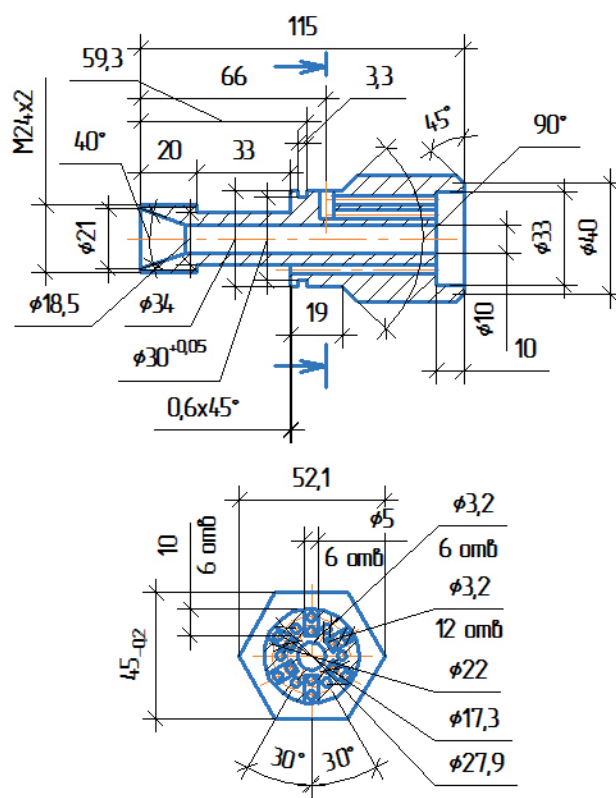


Рис. 6. Мундштук № 3

Кожух резака РГКМ-1600 предназначен для защиты газоподводящих трубок от механических воздействий, а также крепления его в суппорте машины газовой резки. Кожух (рис. 7) состоит из трубы 2, к торцам которой приварены втулки задняя 1 и передняя 3. Кожух надевается на ствол резака через головку и фиксируется двумя винтами М6 на коллекторе ствола и двумя винтами М6 – на головке.

Поскольку резак РГКМ-1600 не требует принудительного охлаждения, герметичность соединений кожуха с коллектором ствола и головкой не предусмотрена.

Ствол резака РГКМ-1600 предназначен для подвода рабочих газов к головке и фиксации кожуха резака. К ниппелям ствола крепятся резиноканевые рукава. В состав ствола (рис. 8) входят две трубки для подвода подогревающего кислорода 1, одна трубка для подвода режущего кислорода 2 и три трубки для подвода горючего газа 3, собранные в один узел коллектором 4 с двумя заглушками 11.

С противоположной стороны от трубок к коллектору припаяны штуцер подогревающего кислорода 5 с накидной гайкой 7 и ниппелем 9, и штуцер горючего газа 6 с накидной гайкой 8 и ниппелем 9. Трубка для подвода режущего кислорода 2 проходит сквозь коллектор 4 по его оси и припаяна к нему для жесткости. К свободному концу этой трубки припаян штуцер режущего кислорода 10 с накидной гайкой 7 и ниппелем 9.

На МК «Азовэлектросталь», г. Мариуполь, производится разделка слитков на габаритные куски для 60-ти т электропечи. Толщина слитка по линии реза 1200 мм.

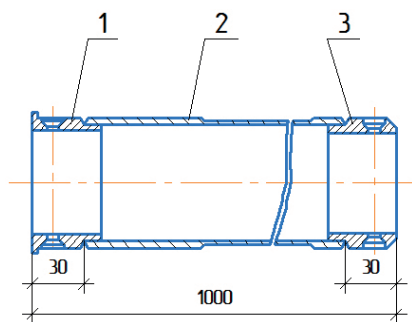


Рис. 7. Кожух резака РГКМ-1600

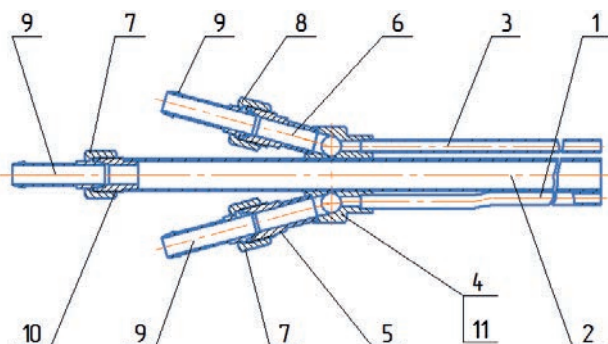


Рис. 8. Ствол резака РГКМ-1600

Процесс кислородной резки передельного слитка толщиной 1200 мм на МК «Азовэлектросталь» вдоль его продольной оси показан на рис. 9. Поверхность реза на габаритном куске передельного слитка толщиной 1200 мм показана на рис. 10.



Рис. 9. Процесс кислородной резки передельного слитка вдоль его продольной оси. Толщина 1200 мм. Начало резки с донной части слитка



Рис. 10. Кислородная резка передельного слитка поперек его продольной оси. Толщина 1200 мм. Поверхность реза

Во время капитального ремонта машины газовой резки «Стрела» в копровом цехе НТЗ им. К. Либкнехта был внедрен газокислородный резак РГКМ-1600. Для его испытания была выбрана скрапина (остатки металла и шлака с мусором, вылитые в земляную яму) толщиной 1100 мм.

Кислородная резка скрапины показана на рис. 11, 12. Отображены важные моменты резки: пробивка отверстия в «юбке» из шлака, врезание в тело заготовки, процесс резки, полость реза во время резки, поведение шлаковой дорожки.

Кислородная резка на металлургическом комбинате в г. Серов (Северный Урал) пучков арматуры и слитков толщиной 800 мм представлена на



Рис. 11. Кислородная резка скрапины толщиной 1100 мм



Рис. 12. Кислородная резка скрапины толщиной 1100 мм. Корона отраженного пламени и поток шлака

рис. 13 – 15. На рисунках отображены врезание, процесс резки и поверхность реза.

Газокислородный резак РГКМ-1600, внедренный в копровом цехе ЧАО «НKMЗ», расширил технологические возможности машин газовой резки УОПП-1 и «Стрела». Увеличилась максимальная толщина заготовок, подлежащих кислородной резке, до 1600 мм и стало возможным резать заготовки из высоколегированных сталей и чугуна без применения флюсопитателей и железного порошка.



Рис. 13. Резка пучков арматуры



Рис. 14. Резка слитков толщиной 800 мм



Рис. 15. Резка передельных слитков. Поверхность реза

Процесс резки поковки на габаритные куски показан на рис. 16. Резка производится горизонтальным резаком снизу – вверх: окончание резки.



Рис. 16. Процесс резки поковки на габаритные куски. Резка горизонтальным резаком снизу – вверх. Окончание резки

Процесс кислородной резки недоливка толщиной 1600 мм на диски толщиной 1000 мм для дальнейшей переработки на габаритные куски представлен на рис. 17. Резка диска толщиной 1000 мм, отрезанного от недоливка, показана на рис. 18. Разделанный на габаритные куски недоликов показан на рис. 19.



Рис. 17. Резка недоливка толщиной 1600 мм на габаритные куски. Резка горизонтальным резаком снизу – вверх. Процесс резки



Рис. 18. Резка диска толщиной 1000 мм, отрезанного от недоливка. Перемещение резака слева - направо. Процесс резки и полость реза



Рис. 19. Разделанный на габаритные куски диск толщиной 1000 мм недоливка диаметром 1600 мм



Рис. 20. Кислородная резка чугуна «козла» диаметром 1500 мм и длиной 2000 мм. Резка горизонтальным резаком слева – направо

Резка чугуна «козла» (рис. 20) производилась горизонтально ориентированным резаком слева - направо. Чугунный «козел» (чугун, застывший в разливочном ковше или в полезном объеме доменной печи) диаметром 1500 мм и длиной 2000 мм обычно разделяют на габаритные куски с помощью кислородного копья вручную. При машинной кислородной резке последовательность операций была следующей: с торца заготовки рабочим перемещением машины по рельсам делались три надреза, затем в специальном прямке с помощью подъемного крана образовавшиеся пластины отбивались от тела «козла», после чего его возвращали к МГР и дорезали остаток.

Кислородная резка чугуна «козла» диаметром 2400 мм в полевых условиях с помощью переносной машины УОПП-1 представлена на рис. 21.

Резак РГКМ-1600 внедрен в копровом цехе УЗТМ, г.Екатеринбург, в составе машины газовой резки «Комета-1К».

Процесс резки шейки прокатного валка вертикальным резаком при движении его к машине показан на рис. 22.

Кислородная резка слитка толщиной 1000 мм горизонтально ориентированным резаком при движении его сверху - вниз показана на рис. 23.

Процесс резки прибыльной части слитка толщиной 1200 мм вертикальным резаком при движении его от машины газовой резки показан на рис. 24.

Широкий диапазон работы резака РГКМ-1600 на ОАО «Азовэлектросталь», г.Мариуполь, НТЗ им. К. Либкнехта, г.Днепр, МК им. Серова, г.Серов, ПАО «НКМЗ», г.Краматорск, и УЗТМ, г.Екатеринбург, рассмотренные в настоящей статье, доказал его универсальность.

В примерах использования резака РГКМ-1600 рассмотрены процессы кислородной резки заготовок толщиной до 1600 мм, выполненные с помощью режущего сопла диаметром 10 мм. У резаков



Рис. 21. Кислородная резка чугуна «козла» диаметром 2400 мм в полевых условиях с помощью переносной машины УОПП-1



Рис. 22. Процесс резки шейки прокатного валка вертикальным резаком при движении его к машине



Рис. 23. Процесс резки слитка толщиной 1000 мм горизонтальным резаком при движении его сверху - вниз. Переход через ребро слитка



Рис. 24. Процесс резки прибыльной части слитка толщиной 1200 мм вертикальным резаком при движении его от машины газовой резки

– аналогов с помощью режущего сопла диаметром 10 мм можно осуществлять кислородную резку заготовок толщиной только до 1200 мм. Это доказывает эффективность резака РГКМ-1600.

В настоящей статье рассмотрены примеры кислородной резки заготовок из высоколегированных сталей и чугуна. У резаков – аналогов резка таких заготовок возможна только с применением дополнительного оборудования кислородно – флюсовой резки. Это говорит о широких технологических возможностях резака РГКМ-1600.

Литература.

1. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н. Кислородная резка и внепечной нагрев в тяжелом машиностроении. / Киев: НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» НАНУ, 2017. – 368 с.
2. Патент 92865 UA, МПК F 23 C 7/00. Спосіб кисневого різання металів великих товщин / В.М. Литвинов, О.І. Волошин, К.П. Шаповалов, В.А. Белінський, С.Л. Василенко, О.І. Коровченко. – № u201402889; заявл. 21.03.14; опубл. 10.09.14, Бюл. № 17.
3. Патент 114848 UA, МПК F 23 D 14/42. Газокисневий різак для металів великих товщин. / В.М. Литвинов, В.А. Белінський, О.І. Коровченко, Т.Б. Золотопупова, Р.В. Тимошенко. - № а 2015 11806; заявл. 30.11.2015; опубл. 10.08.2017, Бюл. № 15.

● #1250

Ильичевский судоремонтный завод: технологические решения бюро сварки при проведении ремонта деталей и узлов из меди и медных сплавов

В.К. Пустомельник, глав. инженер, **С.М. Хачик**, нач. судоремонт. пр-ва, **В.Г. Левицкий**, глав. сварщик, **О.В. Игнатенков**, нач. лабор. сварки, ЧАО «ИСПЗ» (Черноморск, Одесская обл.)

Медь – один из первых металлов, хорошо освоенных человеком из-за доступности получения ее из руды и малой температуры плавления. Медь (CUPRUM) – латинское название от названия острова Крит, где было его богатое месторождение. Чистая медь (99,9% Cu) используется в химическом и энергетическом машиностроении, в судостроении ввиду высокой электро- и теплопроводности, высокой коррозионной стойкости в некоторых агрессивных средах. Однако, чистая медь не решает многих проблем в промышленности – там, где нужна прочность, твердость, длительная работоспособность и другие механические свойства, используются сплавы на медной основе.

В судостроении (судоремонте) широко используются сплавы на медной основе в изготовлении гребных винтов, облицовок гребных валов, корпусов насосов, судовых трубопроводов и др.

Основными типами сплавов на основе меди являются латуни и бронзы. Как отличить латунь от бронзы в цеховых условиях без привлечения химической лаборатории «дедовским» способом:

- по цвету: латунь (Cu + 4,0 - 45 % Zn) от розовато-красного к золотисто-желтому тону (чем больше цинка – тем больше цвет напоминает золото);
- бронза оловянная – цвет серебристо белый, если меди более 90% - цвет – коричнево –красный.

По магнетизму: латунь на сильный магнит не реагирует, бронза – с наличием железа и никеля – Бр АЖН 10-5-5 - сильным магнитом «слабо магнитится».

Тест на нагрев металлов газовой горелкой: при нагреве металлов до 600–650 °С, латунь на поверхности образуется налет пепельного цвета (цинк окисляется) и латунь обретает пластичность, в отличие от бронз, металл не выделяет налетов, хрупкость сохраняется.

Тест электродуговой сваркой: при зажигании электрода латунь выделяет белый дым – выгорает цинк, бронза – дыма нет.

При сверлении: латунь – стружка вьется, бронза – стружка мелко сыпучая.

Звук: латунь звонкий, высокочастотный, бронза – звук глухой низкочастотный.

Для правильного выбора технологии сварки,

способа сварки, сварочных материалов необходимо провести химический анализ металла в ЦЗЛ с точными показаниями наличия легирующих элементов в процентах.

В соответствии с ГОСТ 15527-2004 «Сплавы медно-цинковые (латуни) обрабатываемые давлением»; марки:

- двойные, простые латуни: Л96 – медь 96% + цинк; Л 80, Л 60);
- свинцовые латуни: ЛС 64-2 (медь 64% + 2,0% свинец, остальное цинк); ЛС58-3, ЛЖС 58-1-1 (медь 58% + 1% железо + 1% свинец);
- сложнoleгированные латуни: ЛО 90-1 (медь 90% + олово 1% + остальное цинк), ЛАНЖМц 75-2-2.5-0.5-0.5 (медь 75% + алюминий 2,0% + никель 2,5% + кремний 0,5% + марганец 0,5 %);
- бронза – представляет собой сплав меди и цинка (не более 4-5% Zn). Главными легирующими элементами бронз являются: Al, Mn, Si, Be, Sn, Cr.

Бронзы могут иметь и сложный состав при легировании сразу несколькими компонентами:

- бронзы оловянные (содержат до 10% олова - Бр ОФ 6,5-04; Бр ОЦ 4-3; Бр ОЦС4-4-4), наличие в составе бронз фосфора и цинка ухудшает их свариваемость;
- бронзы безоловянные - алюминиевые обладают высокими механическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью в морской воде – применяется в судостроении (содержание алюминия до 11%). Многокомпонентные алюминиевые бронзы содержат железо (БрАж 9-4, марганец Бр АЖМц 10-3-1,5, Бр АМц9-2 - так называемая морская бронза, Бр АЖН 9-4-4);

Из никель-алюминиевых бронз («Никалиум»), марганцевисто-алюминиевых бронз («Новостон» и «Суперстон-70») изготавливаются гребные винты (рис. 1, 3).

Гребные винты классифицируют:

по конструктивному исполнению – на винты фиксированного шага (ВФШ), цельнолитые; винты со съёмными лопастями на фланцевом соединении или установленными на прессовой посадке; винты регулируемого шага (ВРШ).

По количеству лопастей – на трех, четырех,



Рис. 1. Полуавтоматическая сварка в инертном газе (MIG 131). Ремонт бронзового гребного винта (Cu3), т/х «SAIR VAQIF». До ремонта пяти, шести, семи – лопастные.

По применяемым материалам – стальные, стальные – высоколегированные (Н/Ж), латунные, бронзовые и винты из неметаллических материалов.

Сварочной лабораторией бюро сварки «ИСПЗ» выполняются ремонтные работы гребных винтов из сплавов на медной основе (бронза: никель-алюминиевая – «КУНИАЛЬ» «НЕВА-60», марганцовисто-алюминиевая – «НОВОСТОН», «СУПЕР-СТОН-70»), иногда, для сокращения сроков ремонта судов, по согласованию с Заказчиком и Инспекцией Регистра Судоходства, ремонт производится в плавучем доке, без демонтажа винтов. Для обеспечения нормальных условий работы сварщиков и для выполнения требований технологии сварки (защита от атмосферных осадков, сквозняков) изготавливаются временные укрытия – шатер, палатка.

В каждом конкретном случае, инженер-технолог бюро сварки разрабатывает технологию сварки с указанием способа сварки (ручная дуговая свар-



ка покрытыми электродами ММА - 111, механизированная сварка в среде аргона МИГ - 131, аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом ТИГ - 141), сварочные материалы, наличие предварительного, сопутствующего подогрева и послесварочная местная термическая обработка (если требуется).

Ремонту подлежат стальные, бронзовые и латунные винты, дефектные места которых на всем протяжении доступны для выполнения работ и контроля качества: правку лопастей (в холодном и горячем состоянии), приварку наделок, сварку труб (рис. 2), заварку трещин, наплавку поврежденных участков.

Стальные винты из стали марки 25 Л ремонтируются с помощью сварки:

- ручной дуговой сваркой плавящимся электродом ММА-111, марки электродов УОНИ 13/45,
- механизированной сваркой в среде защитных газов МИГ/МАГ 135-136, сварочная проволока Св08Г2С Ø 1,2 - 2,0 мм.

Стальные высоколегированные винты из не-



Рис. 2. Модернизация балластной системы т/х «Поморже». Сварка медно-никелевых труб (TIG 141) диаметром 324x4 мм. Сборочные работы: а), б), в) - до ремонта; г), д) сварочные работы до и после сварки



Рис. 3. Полуавтоматическая сварка в инертном газе (MIG 131). Ремонт бронзового гребного винта. Август 2019 г. Винт диаметром 4580 мм, вес – 3450 кг. После ремонта

ржавеющей стали марки - 1Х14НДЛ ремонтируются с помощью сварки - MMA-111, сварочные электроды марок: ЦЛ-41, ЭА 400/10У.

Сварку гребных винтов из латуни марки ЛМцЖ 55-3-1 выполняют механизированной сваркой в среде защитных газов сварочной проволокой БрАМц 9-2, ЛЖМц 59-1-1.

Сварку гребных винтов из бронз марок Бр АЖН 9-4-4, «Нева-70», «СУПЕРСТОН-70» выполняют: ручной дуговой сваркой покрытыми электродами MMA-111, марка электродов BOCHLER UTP 34N. Режим сварки: ток постоянный, полярность обратная («плюс» на электроде), Ø электрода 2,5 мм, $I_{св} = 50-70$ А, Ø 3,2 мм, $I_{св} = 70-90$ А, Ø 4,0 мм, $I_{св} = 90-110$ А.

Для механизированной сварки в среде защитных газов МИГ-131 применяется сварочная проволока BOHLER - марки BERCOWELD A 300, Ø 1,2 мм; ток постоянный обратной полярности $I_{св} = 120-145$ А, защитный газ – аргон 99,97 %.

Аргондугловая сварка вольфрамовым электродом ТИГ-141: используются прутки для сварки бронз BOCHLER - BERCOWELD B 12, диаметр прутка 2,0 мм; постоянный ток прямой полярности («минус» на электроде), сила тока - $I_{св} = 170-190$ А.

Сварочное оборудование, используемое для выполнения процессов сварки и находящееся на балансе лаборатории сварки: FRONIUS, ECAB, сварочные манипуляторы-кантователи фирмы РЕМАТЕК (Финляндия): РЕМА 1000 г/п - 1000 кг, и РЕМА 2500 г/п - 2500 кг.

В Бюро сварки работают высококвалифицированные газо- и электросварщики не ниже 6-го

разряда с опытом работ по сварке в атомной промышленности, в отраслях нефтяной, газовой и химической промышленности, в судостроении и судоремонте, аттестованные по правилам Регистра Судоходства, по правилам аттестации сварщиков УАКС, НАКС. Каждый сварщик владеет несколькими видами сварки: РЭД - 111, МИГ/МАГ - 135-136, МИГ- 131, автоматической сваркой под слоем флюса -121, газовой сваркой (ацетиленово- и пропан-бутаново – кислородной) – 311.

Сварщики сварочной лаборатории в совершенстве владеют сварочными процессами сварки различных металлов: малоуглеродистые- и низколегированные стали, стали высоколегированные нержавеющие аустенитного и ферритного классов, меди и сплавов на медной основе, алюминия и сплавов на основе алюминия, никеля и сплавов на его основе, титана, чугуна; газовой пайке твердыми припоями, плазменной и газокислородной разделительной резкой.

●#1251

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

Название книги	Цена (руб.)*
В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко. Кислородная резка и внепечной нагрев в тяжелом машиностроении. 2017.— 368 с. 600	
В. И. Лакомский, М. А. Фридман. Плазменно-дуговая сварка углеродных материалов с металлами. 2004.— 196 с. 400	
А. Н. Корниенко. История сварки. под ред. акад. Б. Е. Патона. — 2004 г. — 210 с. 700	
А. А. Кайдалов. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. Издание 2-е, переработанное и дополненное. 2004.— 260 с. 500	
В. Я. Кононенко. Газовая сварка и резка. 2005.— 208 с. 400	
С. Н. Жизняков, З. А. Сидлин. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология. 2006.— 368 с. 500	
А. Я. Ищенко и др. Алюминий и его сплавы в совре- менных сварных конструкциях. 2006.— 112 с. с илл. 400	
П. М. Корольков. Термическая обработка сварных соединений. 3-е изд., перераб. и доп. 2006.— 176 с. 400	
А. Е. Анохов, П. М. Корольков. Сварка и термиче- ская обработка в энергетике. 2006.— 320 с. 500	
Г. И. Лащенко. Способы дуговой сварки стали плавающим электродом. 2006.— 384 с. 500	
А. А. Кайдалов. Современные технологии термической и дистанционной резки конструкционных материалов. 2007.— 456 с. 500	
П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. Плазменная наплавка. 2007.— 292 с. 500	
** А. Г. Потапьевский. Сварка в защитных газах плавающим электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. 2007.— 192 с. 500	
Г. И. Лащенко, Ю. В. Демченко. Энергосберегающие технологии послесварочной обработки металлоконструкций. 2008.— 168 с. 400	
Б. Е. Патон, И. И. Заруба и др. Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги. 2008.— 248 с. 400	
З. А. Сидлин. Производство электродов для ручной дуговой сварки. 2009.— 464 с. 600	
В. Н. Радзиевский, Г. Г. Ткаченко. Высокотемпературная вакуумная пайка в компрессоростроении. 2009.— 400 с. 500	
В. Н. Корж, Ю. С. Попиль. Обработка металлов водородно-кислородным пламенем. 2010.— 194 с. 400	
Нормирование расхода покрытых электродов при ручной дуговой сварке и наплавке. Нормирование расхода сварочных материалов при сварке под флюсом. Справочные пособия. 2008.— 68 – 68 – 40 с. 200	
** Г. И. Лащенко. Современные технологии сварочного производства. 2012.— 720 с. 400	

* Цены на книги указаны без учета стоимости отправки.

** Продается только в электронной версии.

Тарифы на рекламу в 2020 г.

На внутренних страницах		
Площадь	Размер, мм	Стоимость, руб.*
1 полоса	210×295	25000
1/2 полосы	180×125	13000
1/4 полосы	88×125	7000
На страницах основной обложки		
Страница	Размер, мм	Стоимость, руб.
1 (первая)	215×185	50000
4 (последняя)	210×295 (после обрезки 205×285)	36000
2		33000
3		30000

(*все цены в руб. с НДС)

Изготовление оригинал-макета

- 10% стоимости рекламной площади

Статья на правах рекламы

- 1 стр. — 12 000 руб.

Прогрессивная система скидок

Количество подач	2	3	4	5	6
Скидка	5%	10%	13%	17%	20%

Требования к оригинал-макетам

Для макетов «под обрез»: формат издания после обрезки 205×285 мм; до обрезки 210×295 мм; внутренние поля для текста и информативных изображений не менее 15 мм.

Файлы принимаются в форматах: PDF, AI, INDD, TIF, JPG, PSD, EPS, CDR, QXD с прилинкованными изображениями и шрифтами. Изображения должны быть качественными, не менее 300 dpi, цветовая модель CMYK, текст в кривых, если нет шрифтов. Размеры макета должны точно соответствовать указанным редакцией.

Зам. глав. ред., рук. ред., **В. Г. Абрамишвили**, к.ф.-м.н.:
тел./факс: +380 44 200-80-14, моб.: +380 50 413-98-86,
моб.: +380 95 146-06-91
e-mail: welder.kiev@gmail.com
www.welder.stc-paton.com

Подписка-2020 на журнал «Сварщик в России»

Подписной индекс **20994**
в каталоге «Пресса России»

Подписной индекс **E20994**
в каталоге Агентства «Книга-Сервис»

Подписной индекс **K0103**
в каталоге российской прессы
«Почта России» — персональная подписка

На электронную версию журнала можно
подписаться в редакции или на сайте:
www.welder.stc-paton.com (скидка 30 %)