

Альянс сварщиков Санкт-Петербурга и Северо-Западного региона

научно-технический журнал

Мир сварки

Тема номера: Сварка в судостроении

№ 1 (56) 2022

23–27 | 05 | 2022



22-я международная
специализированная
выставка

МЕТАЛЛООБРАБОТКА

«Оборудование,
приборы и инструменты
для металлообрабатывающей
промышленности»



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



www.metobr-expo.ru

12+ Реклама

ЭКСПОЦЕНТР

ОБУЧЕНИЕ И СЕРТИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА



Сварщики по стандарту

EN ISO 9606-1, EN ISO 9606-2

Операторы сварки по стандарту

EN ISO 14732

Подготовка предприятий к сертификационным аудитам

EN 1090, EN ISO 3834

 weldprof.com ▲ +7(812) 4483775

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА:

Главный сварщик АО «ПО»Севмаш» **Аввакумов Ю.В.**

Герой России, д.т.н., почетный гражданин Санкт-Петербурга, Президент Ассоциации судостроителей **Александров В.Л.**

Президент Российского союза выставок и ярмарок, Член Совета Санкт-Петербургской ТПП **Алексеев С.П.**

Главный сварщик НИЦ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей», д.т.н. наук **Горбач В.Д.**

Профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Политех), д.т.н. **Кархин В.А.**

Директор департамента технического развития АО «ОСК» **Ляшенко С.М.**

Зав. кафедрой «Теория и технология сварки», профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Политех), д.т.н. **Паршин С.Г.**

ИЗДАТЕЛЬ: «ИТЦ «Альянс сварщиков Санкт-Петербурга и Северо-Западного региона»

РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор **Рубцова Н.Н.**

Заместитель главного редактора **Кляровский А.В.**

Верстка **Корниенко О.И.**

Адрес редакции: Санкт-Петербург, ул Софийская,66

Тел.: (812) 3090368,4483775 www.welding.spb.ru

Редакция не несет ответственности за неточности в материалах, предоставленных авторами.

ОТДЕЛ РЕКЛАМЫ:

Вронская Н.А. тел.(812) 3090368

E-mail:ac@welding.spb.ru

СВИДЕТЕЛЬСТВО О РЕГИСТРАЦИИ

ПИ №ФС28428 от 26 декабря 2006 г.

Тираж 3000 экз.

НОВОСТИ И ОТЧЕТЫ



Решение 12й международной конференции «Инновационные сварочные технологии в судостроении, производств морской техники и строительстве морских объектов- 2021» 2

Полированная проволока фирмы DEKA 6



Сотрудничество ООО «ЦТС Выборг» с судостроительными техникумами, колледжами и учебными центрами в рамках проектов WorldSkills 8

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ



Сварочное производство в судостроении 10

Передовые тренды в металлургии и свариваемости хладостойких и криогенных сталей для Арктики и водородной энергетики 13



Состояние и перспективы развития электронно-лучевых технологий 19

Разработки в области создания технологического оборудования для сварочного производства и перспективы его внедрения 20



Научно- технологическая конференция “Нева 2021”

Освоение сварочных порошковых проволок отечественного производства при изготовлении опорного основания ледостойкой стационарной платформы ЛСП “А” для обустройства газового месторождения “Каменномысское море” 25

Актуализация нормирования сварочных материалов для автоматической сварки при техническом проектировании в судостроении 28

Обучение и оценка квалификации сварочного персонала в области судостроения и судоремонта 36

СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Требования к производству сварочных работ на опасных производственных объектах в Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности 39



ИСТОРИЯ

Фейерверк из глубин океана. Операция «Бегемот» глазами участников событий 40

ОТ РЕДАКТОРА

Дорогие коллеги!

Начиная новую страницу в своей профессиональной деятельности, мы учитывая опыт прошлых лет строим программу действий и надеемся на положительный результат .

В новом выпуске журнала публикуем «Решение» и материалы конференции «Инновационные сварочные технологии в судостроении, производств морской техники и строительстве береговых объектов». Радует активная позиция специалистов участников конференции, интерес к мероприятиям выставки и материалам докладчиков.

Став частью сильного делового сообщества, мы воодушевлены и намерены принимать активное участие в процессах развития и совершенствования сварочного производства – расширять и открывать новые возможности для наших партнеров.

Коллектив редакции журнала



РЕШЕНИЕ

12й МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИННОВАЦИОННЫЕ СВАРОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СУДОСТРОЕНИИ, ПРОИЗВОДСТВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ И СТРОИТЕЛЬСТВ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ- 2021»

12.09.2021

Важным событием сентября стала судостроительная выставка Нева-21. В рамках этой выставки был организован раздел по сварочной тематике. Традиционно 12.09.21г. прошла 12 –ая конференция «Инновационные сварочные технологии в судостроении, производств морской техники и строительстве морских объектов»

В конференции приняло участие 65 предприятий в основном судостроительного профиля из разных регионов нашей страны. Было заслушено 24 доклада, материалы которых мы публикуем в нашем журнале. После выступлений спикеров и обсуждения вопросов, которые поднимали выступающие, оргкомитет конференции сформировал «Решение», которое мы публикуем в этом номере.

РЕШЕНИЕ 12-ой Международной научно-практической конференции

Заслушав и обсудив доклады, в соответствии с программой 12й международной конференции «Инновационные технологии в судостроении, производстве морской техники и строительстве морских объектов», прошедшей в рамках выставки «НЕВА-2021», конференция отмечает: 1. В отечественном судостроении сохраняется ещё достаточно высокий уровень сварочного производства, который оценивается как один из наиболее высоких среди других отраслей промышленности.

В судостроении в настоящее время работает около 5000 сварщиков и специалистов смежных специальностей и более 1000 научно-технических работников и специалистов в области контроля качества сварных соединений.

При кажущемся большом наличии производственного персонала в сварочном производстве, предприятия испытывают большую нехватку высокопрофессиональных специалистов в указанных направлениях. И эта проблема в настоящее время, как и в других видах производств (корпусообработывающее, корпусостроительное и др.) становится фактически определяющей в вопросе оценки состоятельности судостроительных предприятий по реализации производственной программы, внедрению передовых технологий и освоению современного технологического оборудования.

Технический уровень сварочного производства любого предприятия определяется в основном составом технологического сварочного оборудования, уровнем механизации и автоматизации процессов сварки и смежных технологий, а также видами применяемых технологий. Наиболее высокий технический уровень сварочного производства достигнут в таких высокотехнологичных отраслях промышленности, как судостроение, энергетическое машиностроение, авиационно-космическая промышленность и др., в которых, наряду с традиционными

технологиями и оборудованием, всё шире внедряются современные эффективные технологии автоматической сварки, в том числе с ЧПУ и робототехнические комплексы, современные технологии и оборудование для диагностики сварных конструкций. Расширяется применение лазерно-дуговых технологий сварки и наплавки, начинается использование аддитивных технологий и др. Несмотря на последний тезис, современное состояние сварочного производства в стране, в том числе на предприятиях судостроения, характеризуется значительным снижением его технического уровня. Это очевидно, хотя бы из того, что к 1990 г. в основных отраслях промышленности уровень механизации и автоматизации труда сварщиков доходил до 70-80% по объёму наплавленного металла, в судостроении объём применения механизированных видов сварки доходил до 90% и более. За последние 25 лет доля ручного труда возросла в 2-3 раза и более, резко упал уровень технологической дисциплины в связи с чем уровень брака увеличился в разы.

Предприятия скрывают эти издержки производства за счёт многократных исправлений, что в большинстве случаев, особенно при сварке ответственных конструкций, не допустимо. Эти издержки производства увеличивают трудоёмкость и себестоимость продукции, снижают её качество.

Более точную оценку технического уровня сварочного производства предприятий отрасли в настоящее время осуществить почти невозможно, так как с начала 90-х годов прошлого века в системе государственной статистической отчетности отменена отчетность по форме «1НТ-Сварка», в соответствии с которой, Госкомстат и Госкомитет по науке и технике СССР ежегодно получали отчетные данные от предприятий промышленности, что позволяло по определенной методике производить расчеты и оценивать технический уровень сварочного



производства и далее осуществлять прогнозирование, контроль и управление его развитием (более подробно см. научно-технический журнал «Мир сварки», №1(53), 2019г.). Необходимость такого анализа и возможность использования статических данных о состоянии сварочных производств предприятий отрасли целесообразно рассмотреть и принять соответствующее решение, хотя бы на корпоративном уровне в АО «ОСК», что позволит кроме решения указанных целей, осуществлять единую экономическую, маркетинговую и закупочную политику при решении вопросов технического перевооружения сварочных производств, поставке комплектующих изделий и техническом обслуживании сварочной техники, особенно, в условиях импорта замещения, поставке материалов, специального инструмента, спецодежды и т.д. Техническое перевооружение сварочных производств судостроительных предприятий последние годы осуществлялось, в основном, за счет закупок сварочного оборудования (источников питания, полуавтоматов, сварочных автоматов, в т.ч. с ЧПУ и др.) по импорту у ведущих мировых производителей, таких как «ESAB» (Швеция), Lincoln (США), «Kemppi» (Финляндия) и др. Ряд предприятий, входящих в АО «ОСК» оснастились роботизированными комплексами по изготовлению плоских секций, микро панелей и обработки профиля (ОАО «Адмиралтейские верфи», АО «Балтийский завод», АО «Красное Сормово», АО «ПО «Севмаш» и др.).

При строительстве новой верфи в г. Большой Камень (АО ССК «Звезда») сварочное производство оснащено новейшими автоматизированными и роботизированными линиями по изготовлению плоских секций и таврового набора.

Комплексы позволяют изготавливать полотнища из широкоформатного листа размером 4,5 на 23,0 м, и соответственно крупногабаритные секции.

В настоящее время на верфи идёт подготовка по обеспечению строительства атомного ледокола проекта 10510 «Лидер» (ЛК-120), в том числе предусматривается разработка и внедрение комплекса технологий по сварке и резке высокопрочных и высоколегированных сталей, алюминиевых сплавов и сплавов на медной основе, разработка необходимого документации по контролю качества сварочных материалов и сварных соединений, решение других технических вопросов, касающихся развития сварочного производства верфи. Только для технического дооснащения верфи предусматривается закупка более 1 000 единиц сварочного оборудования для 2-ой очереди строительства верфи в т.ч. «сухого дока и достроечных набережных».

Новый состав сварочного оборудования в обязательном порядке должен иметь возможность работать в программно-аппаратном комплексе (далее ПАК). Функционально ПАК должен обеспечивать сбор, хранение, передачу, отражение данных, систематизацию и обработку информации, а также возможность подключения и работу сварочного оборудования для различных видов сварки, т.е. надо понимать, что верфь начала работы по цифровой трансформации сварочного производства.

Судостроительная промышленность, также за последние 25-30 лет существенно оснастилась импортным технологическим оборудованием для сварки и резки, особенно те предприятия, у которых имелись солидные валютные резервы. Сложнее оценить положение дел (что будет и какие потребуются затраты), когда пона-

добится осуществлять поставки комплектующих для ремонта этого оборудования, особенно: электроники, приводов и т.д. Поэтому проблема импортозамещения в этом секторе сварочного производства, по оценке экспертов, будет в дальнейшем усиливаться.

Технологическое сварочное оборудование у отечественных производителей, таких как ЗАО «НПФ «ИТС» (г. Санкт-Петербург), ООО «Уралтермо-свар» (г. Екатеринбург), ООО «Технотрон» (г. Чебоксары) и др. закупалось в существенно меньших количествах, что связано в первую очередь, не столько с технологическими возможностями отечественного оборудования и худшими потребительскими свойствами, сколько с нехваткой производственных мощностей наших фирм и высокой конкуренцией мощнейших мировых компаний - производителей сварочной техники.

Вместе с тем, отечественные компании могут успешно конкурировать на отечественном рынке, так ЗАО «Научно-производственная фирма «Инженерный и технологический сервис» (ЗАО «НПФ «ИТС») г. Санкт-Петербург, поставила предприятиям судостроительной промышленности около 2,5 тысяч единиц различных видов сварочной техники (источники питания, сварочные автоматы и полуавтоматы, установки для ручной дуговой сварки, сварочные балластные реостаты и др.)

К основным сварочным материалам, применяемым в судостроении, относятся: электроды для ручной дуговой сварки, сварочные проволоки сплошного сечения для автоматической сварки в защитных газах и под флюсами; сварочные проволоки сплошного сечения для полуавтоматической сварки в защитных газах; порошковые сварочные проволоки и сварочные флюсы общего и специального назначения. Примерные ежегодные объемы потребления сварочных материалов в отрасли составляют 7000-8000 тонн.

В судостроении только к основным маркам сварочных материалов относится более 50 марок электродов, сварочных проволок и флюсов, потребление которых составляет десятки и сотни тонн, но ещё не менее этого же количества наименований, применение которых составляет десятки и сотни килограмм. Так в судовом атомном энергомашиностроении применяется около 30 марок сварочных материалов, годовой объём потребления которых составляет от 100 кг до 40 тонн (флюсы).

Такое многообразие марок сварочных материалов и большие объемы их применения вызывают у предприятий отрасли значительные затруднения в проведении закупочной работы и оценке качества поставляемых сварочных материалов.

Надо отметить, что предприятия отрасли, руководство АО «Объединенная судостроительная корпорация», серьёзно озабочены проблемами повышения качества производства, поставок и использования сварочных ма-



териалов в судостроении. В связи с этим, на базе НИЦ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей» создан отраслевой центр сертификации (аттестации) сварочных материалов.

В судостроительной промышленности действует более 150 научно-технических документов (это ГОСТы, ОСТы, основные положения и другие отраслевые НТД) в области сварки и родственных технологий. В основном это документация, выпущена в советское время НИЦ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей» и АО «ЦТСС». В 2019-2020 г.г. были пересмотрены и в этом году готовятся к изданию 10 первых национальных государственных стандартов в основном в области контроля качества сварных соединений. Работы в отрасли по актуализации отраслевой НТД должны быть продолжены и дальше и завершены в 2025 г., как это предусматривает Федеральный закон «О стандартизации в РФ» №162-ФЗ от 29.06.2015 г. В 2019 г. вышло Постановление Правительства РФ «О реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

В свете этих задач ряд компаний РФ уже ведут работы в этой области по созданию и выпуску сварочного оборудования с цифровым управлением для оснащения сварочных производств, в т.ч. НПФ «ИТС», завод технологических источников (г. Санкт-Петербург), ООО «Технотрон» (г. Чебоксары), фирма «Сварог» и другие. О планах развития таких технологий на АО «ССК «Звезда» уже сказано выше.

В 2020 г. НИЦ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей» и центром цифровых технологий «Мёбиус» при СПбГУМТ разработаны перечень предложений и концеп-

ция применения (интеграции) цифровых технологий по сварочному производству в CAD/CAE системах.

Проблемы по цифровой трансформации сварочного производства в судостроении целесообразно рассмотреть на одном из ближайших заседаний Совета главных сварщиков группы предприятий АО «ОСК» и подготовить соответствующие доклады и предложения для Департамента судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга РФ и руководства АО «ОСК».

С целью дальнейшей оценки и принятия оптимальных решений по основным направлениям научно-технического и экономического развития сварочного производства на предприятиях отрасли, необходимо продолжить и завершить формирование комплексного отраслевого плана на 2022-2030 гг., повышение его эффективности. Указанная работа была начата Советом главных сварщиков группы предприятий АО «ОСК» в 2018 году и не завершена.

Конференция решает :

1. Считать целесообразным распространить деятельность Совета главных сварщиков группы предприятий АО «ОСК» на все предприятия судостроительной промышленности.

2. Рекомендовать Совету главных сварщиков группы предприятий АО «ОСК» (или отраслевому Совету) в 2021-2022гг.:

Выполнить следующие мероприятия в обеспечение комплексного решения проблем по дальнейшему повышению технического уровня и эффективности сварочного производства предприятий отрасли. Провести рассмотрение соответствующих предложений и мероприятий на заседания Совета главных сварщиков и подготовить необходимые рекомендации для Департамента судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга РФ и АО «ОСК»:

2.1. Разработать предложения и план мероприятий по совершенствованию целевой подготовки и переподготовки специалистов с высшим и специальным профессиональным образованием для работы в сварочном производстве, а также созданию отраслевого центра (центров) по подготовке рабочих сварочных специальностей, в том числе, с учетом разработки и внедрения профессиональных стандартов для специалистов отрасли, работающих по указанному профилю.

2.2. Рассмотреть вопросы оценки технического уровня сварочного производства предприятий отрасли и предложения по повышению эффективности его управления.

2.3. Решением АО «ОСК» создать рабочую группу



и разработать концепцию цифровой трансформации сварочного производства в отрасли.

2.4. Разработать и утвердить в Департаменте судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга РФ и в АО «ОСК» план НИОКР и мероприятий по повышению технического уровня сварочного производства на предприятиях судостроительной промышленности на 2022-2030гг.

2.5. Рассмотреть вопросы аттестации специалистов сварочного производства, рабочих сварщиков и смежных специальностей в отрасли и разработать предложения по совершенствованию системы аттестации в рамках действующего законодательства РФ.

2.6. Продолжить работу по актуализации отраслевой НТД в области сварки и смежных технологий в соответствии с Федеральным законом от 20.06.2015г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

2.7. Продолжить совместную работу с «Альянсом сварщиков СПб» по формированию сварочного раздела на выставках: «Нева» Санкт-Петербург, «Сварка» Санкт-Петербург, «Металлообработка» Москва. Деловую программу – конференции, круглые столы, использовать, как «Школу» повышения квалификации специалистов сварочного производства.

От имени участников конференции :
 Список участников прилагается Приложение 1
 Председатель Конференции Главный сварщик
 НИЦ «Курчатовский институт»-
 ЦНИИ КМ «Прометей» В.Д.Горбач

Секретарь Конференции
 Директор Альянса сварщиков
 Санкт-Петербурга и Северо-Западного региона
 Н.Н.Рубцова

ПОЛИРОВАННАЯ ПРОВОЛОКА ФИРМЫ ДЕКА

В марте 2021 года в Санкт-Петербурге начал работу завод по производству сварочной проволоки ООО «ЗСМ «ДЕКА». Завод входит в группу компаний ДЕКА, широко известную на рынке сварочных материалов, и стал логическим продолжением в стратегии развития компании: до открытия завода компания занималась импортом продукции под собственным брендом.

Основная продукция завода ООО «ЗСМ «ДЕКА» - полированная сварочная проволока СВ-08Г2С, плановая производственная мощность 10 000 тонн в год.

Классификация

ГОСТ 2246-70

ТУ 24.34.13-001-05498157-2021

Применение

Полированная сварочная проволока ДЕКА СВ-08Г2С – это сварочная проволока сплошного сечения, поверхность которой полируется высокотехнологичным оборудованием и обрабатывается специальным смазочным материалом. Специальное покрытие защищает проволоку от коррозии, обеспечивает равномерную подачу, стабильное горение дуги и отсутствие разбрызгивания. Специальный смазочный материал позволяет значительно увеличить срок службы контактного наконечника. Полировка поверхности проволоки специальным химическим составом повышает токопроводимость проволоки, снижает затраты энергии, необходимой для сварки, и улучшает механические характеристики сварных швов. Полированная проволока не содержит медного покрытия, что позволяет избежать засорения подающего шланга сварочного аппарата частицами медного покрытия, тем самым обеспечивает плавную подачу проволоки. Многоступенчатая система контроля качества, внедренная на предприятии, позволяет производить надежный и востребованный на рынке продукт. Полированная сварочная проволока ДЕКА СВ-08Г2С сертифицирована Национальным Агентством Контроля Сварки (НАКС) и может применяться для сварочных работ в следующих областях:

- Подъемно-транспортное оборудование
- Котельное оборудование
- Газовое оборудование



- Нефтегазодобывающее оборудование
- Metallургическое оборудование
- Оборудование химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих и взрывопожароопасных производств
- Горнодобывающее оборудование
- Оборудование для транспортировки опасных грузов
- Строительные конструкции
- Конструкции стальных мостов

Преимущества использования полированной сварочной проволоки ДЕКА.

Технологические:

- Отсутствует осыпание, которое приводит к засорению подающих механизмов.
- Нет дополнительных замыканий при работе на больших токах, уменьшается износ наконечников.

Экономические:

- Стоимость ниже омедненной проволоки.
- Расходные элементы сварочной горелки служат дольше.

Экологические:

- Снижение вредного воздействия на организм сварщика за счет отсутствия омеднения.

Универсальные :

- Применяется практически при любых видах сварки.
- Имеет широкий температурный диапазон использования.
- Сварочные положения и рекомендуемые режимы сварки
- Может применяться во всех пространственных положениях.
- Защитный газ: C1 (CO₂ 100%); M21 (CO₂ (>15-25%) + Ar-основа); I1 (100%Ar).



Адрес производства.

Завод по производству полированной проволоки ДЕКА находится в поселке Металлострой, Санкт-Петербург.

Ваш выбор в пользу сварочных столов «Старк-профи»

Благодаря высокому качеству наших сварочных столов, вы приобретаете инструмент благодаря которому работа становится удобной, увеличивается производительность труда, сокращается количество брака.

⚙️ Характеристики:

- 1 Стол выполнен из конструкционной и высокопрочной холодноформированной стали компании SSAB по европейским стандартам
- 2 Толщина рабочей поверхности 8/10/12
- 3 Сварочный стол имеет горизонтальные и вертикальные расположение отверстий на основной рабочей поверхности с шагом 50 мм
- 4 Диаметр отверстий 16 мм
- 5 Стол усилен ребрами жесткости, что обеспечивает большую стабильность и прочность конструкции
- 6 Для удобства на поверхность стола нанесены линии координатной сетки. По всему краю стола сделана кромка безопасности, что снижает риск повреждения задействованных деталей и элементов
- 7 Стандартные габариты столов от 1200x800 до 3000x1500
- 8 Высота боковой стенки 100 мм
- 9 Стол имеет максимальную нагрузку до 2 тонн

ВАША ЭКОНОМИЯ

(примерный расчет)

Предположительные затраты на оплату труда рабочего в год: 1 000 000 Р

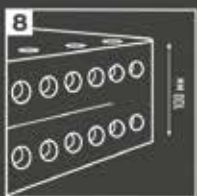
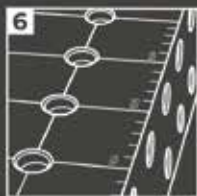
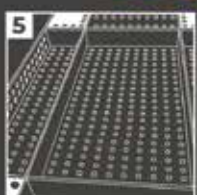
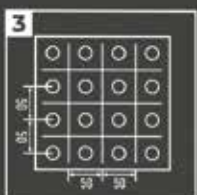
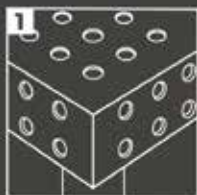
При изготовлении продукции на нашем столе потенциальная экономия составляет:

40% (400 000 Р)

ВЫГОДА

4 000 000 Р

за 10 лет службы стола



СОТРУДНИЧЕСТВО ООО «ЦТС ВЫБОРГ» С СУДОСТРОИТЕЛЬНЫМИ ТЕХНИКУМАМИ, КОЛЛЕДЖАМИ И УЧЕБНЫМИ ЦЕНТРАМИ В РАМКАХ ПРОЕКТОВ WORLDSKILLS

Широко известная в мире сварки финская фирма «Кетрри», была основана молодым предпринимателем, инженером-электриком Мартти Кемппи в 1949 году. Вначале фирма «Кетрри» производила простые электросварочные выпрямители, но постепенно, собрав команду грамотных специалистов и развивая собственную конструкторско-технологическую базу, «Кетрри» одной из первых в мире создала инверторный источник, что произошло в конце 70-х гг. прошлого века

Примерно с этого же времени начались поставки сварочного оборудования «Кетрри» в СССР. Советская судостроительная промышленность столкнулась с проблемой сварки тонколистового алюминия при освоении нового класса судовэкранопланов, а отечественная промышленность не была обеспечена таким высокопроизводительным оборудованием. Для обеспечения безотказной работы сварочного оборудования, поставляемого на предприятия различных отраслей СССР, в 1984 году фирма Кетрри организовала в г. Выборге (исторической родине Мартти Кемппи) «Центр Технического Сервиса» (ЦТС). В 1989 году в соответствии с новыми задачами «Центр технического сервиса» стал именоваться «Центр торговли и сервиса Выборг» (ООО «ЦТС Выборг»). Удобное расположение Выборга, в 45 км от границы с Финляндией, способствовало оптимальному решению вопросов технического сервиса и оперативным поставкам оборудования и запасных частей на предприятия страны.

С развалом Советского Союза, несмотря на последующий за этим заметный спад промышленности, отношения с финской стороной не разорвались. На предприятиях работали аппараты Кетрри. При этом более 70% заказов ООО «ЦТС Выборг» на оборудование Кетрри приходилось от судостроительных и судоремонтных предприятий.

А вот ситуация по подготовке кадров в постсоветском пространстве была сложнее. В 1990-е многие образовательные учреждения утратили связь с промышленными предприятиями. Выпускники приобретали абстрактные навыки для абстрактного будущего, часто из давно ушедшего прошлого. В результате, поступив на работу, вынуждены были переучиваться. И только в последнее десятилетие в этой области стали происходить изменения. В целях повышения производительности труда для опережающей подготовки профессиональных кадров в 2012 году Россия официально вступила в международное движение «WorldSkills».

Компания «Кемппи» одной из первых вошла в про-

грамму WorldSkills Russia и с 2015 года является официальным партнером в компетенции «Сварочные технологии» (в последние годы количество компетенций по этой программе расширилось). Ежегодные соревнования по международным стандартам WorldSkills популяризируют профессию сварщика, призваны поднимать уровень обучения и обучаемых. Студентов готовят к соревнованиям на самом современном оборудовании.

Для учебных заведений сотрудничество с предприятием-изготовителем позволяет добиться наилучшего овладения и последующего применения всего функционала современного сварочного оборудования «Кемппи», а также оснастить свою материальную базу «под ключ». Для предприятий судостроительной отрасли – это возможность решить вопрос проблемы кадров, получив уже готовых специалистов для работы на таком же оборудовании используемом на заводах.

Являясь Генеральным представителем «Кемппи» в Северо-Западном и Дальневосточном Федеральных округах, ООО «ЦТС Выборг» активно участвует в программе сотрудничества с WorldSkills Russia по оснащению средне-специальных и высших учебных заведений. Более того, сотрудники ООО «ЦТС Выборг» регулярно выступают в качестве экспертов на региональных чемпионатах Ленинградской области и Санкт-Петербурга. К 2021 году по программе WorldSkills Russia ООО «ЦТС Выборг» оснастило более 25 учебных заведений, поставило более 200 единиц сварочного оборудования, подписало более 20 новых соглашений о сотрудничестве. Компания реализует комплексные поставки в учебные заведения: оказывает консультационную поддержку в подготовке технической документации и технических заданий, осуществляет поставку полностью комплектованных сварочных кабин, включая сварочные аппараты и комплектующие Кетрри, вытяжное оборудование и сварочные столы фирмы СовПлим и 3D Weld, а также их последующее гарантийное и послегарантийное обслуживание.



В последние годы сотрудничество «Кемппи» и «ЦТС Выборг» по проектам WorldSkills Russia значительно расширилось. Это теперь не только такие компетенции, как «Сварочные технологии», «Производство металлоконструкций», «Обработка листового металла», но и «Сборка корпусов металлических судов», «Роботизированная Сварка», «Командная работа на производстве» и другие компетенции, что позволяет учебным заведениям подготовить для предприятий страны не только высококвалифицированных сварщиков, но и технологов.

Головной офис ООО «ЦТС Выборг» находится в г. Выборге, Ленинградской области, где расположены: офисное здание, сервисно-ремонтное здание, склады, транспортная площадка. Дополнительный офис находится в Санкт-Петербурге, где работают менеджеры и сервисный инженер. Учитывая удаленность Дальневосточного федерального округа, было создано обособленное подразделение в г. Владивосток. Менеджеры и наладчики ООО «ЦТС Выборг» регулярно выезжают на предприятия для демонстрации оборудования в условиях действующего производства, проводят обучение ремонтного персонала предприятий-заказчиков, проводят диагностику оборудования, гарантийное и

послегарантийное обслуживание, обеспечение запасными частями и быстроизнашивающимися деталями. Отгрузка оборудования и запасных частей осуществляется в течение 3-5 дней со склада в г. Выборге и 30-35 дней со склада в Финляндии.

Сотрудничество учебных заведений с инженеринговыми компаниями в направлении сварочного оборудования позволяет добиться наилучшего овладения и последующего применения всех технологических возможностей. Фирма «Кемппи» намерена и дальше следовать тенденциям современного рынка, ориентируясь на потребности своих клиентов, сохраняя традиции и высокое качество финского оборудования.

Учитывая современные тенденции по локализации производства в России, фирма «Кемппи» начала сборку, а затем и изготовление частей самых востребованных аппаратов. На первом этапе это будут полуавтоматы, затем аппараты MMA и TIG-сварки.

Производство развернуто на одном из российско-шведских предприятий калининградской области. Весь производственный процесс производится под жестким контролем финских специалистов, что обеспечивает высокое качество оборудования.

СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО В СУДОСТРОЕНИИ

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Горбач В.Д. д.т.н., главный сварщик НИЦ «Курчатовский институт» «ЦНИИ КМ «Прометей»

Сварочное производство – совокупность участников, материалов, оборудования, норм, правил, методов, условий, критериев и процедур, в рамках которых осуществляется деятельность с применением сварочных и родственных процессов по изготовлению, реконструкции, монтажу, строительству и ремонту технических устройств и изделий для объектов, эксплуатирующихся в различных отраслях промышленности

Судостроительная промышленность является одной из базовых отраслей в РФ, и технический уровень сварочных производств на наших предприятиях оценивается как один из наиболее высоких среди других отраслей промышленности.

Общая трудоёмкость работ, выполняемых в сварочном производстве, составляет 12-15 % от всей трудоёмкости постройки судна или корабля. В судостроении в настоящее время работает около 5 000 сварщиков и специалистов смежных специальностей и более 1 000 специалистов в области диагностики и контроля качества, ИТР и ремонтников сварочной и другой техники.

При кажущемся большом наличии производственного персонала в сварочном производстве, предприятия испытывают большую нехватку высокопрофессиональных специалистов в указанных направлениях. И эта проблема в настоящее время, как и в других видах производств (корпусообработывающее, корпусостроительное и др.) становится фактически определяющей в вопросе оценки состоятельности судостроительных предприятий по реализации производственной программы, внедрению передовых технологий и освоению современного технологического оборудования.

По словам главного сварщика АО «ПО «Севмаш» Аввакумова Ю.В.: «приближается то время, когда на заводе будет всё хорошо – и хорошее сва-



рочное оборудование, и технологии, и сварочные материалы, если не отечественные, то можно купить, а вот работать будет кому...». В недавнем прошлом «Севмаш» провёл отбор около 1 000 сварщиков, приглашённых со всей страны и даже ближнего зарубежья, и только около сотни были допущены к сварке.

Совет главных сварщиков группы предприятий АО «ОСК» дважды пытался рассмотреть этот вопрос на своих заседаниях с повесткой дня: «Предложения в план мероприятий по организации целевой подготовки и переподготовки специалистов с высшим и средним профессиональным образованием для работы в сварочном производстве, а также создании отраслевого центра по подготовке рабочих сварочных спе-

циальностей, в т.ч. с учётом разработки и внедрения профессиональных стандартов для специалистов отрасли, работающих по указанному профилю». Пытались привлечь СПбГУМТ и департамент по кадровой политике АО «ОСК», но не получилось. В ближайшее время вопрос о необходимости изменения государственной политики в области вузовского образования и профессиональной подготовки специалистов для сварочного производства будет одним из основных в программе общероссийского совещания сварщиков, которое должно состояться на Международной выставке «Weldex-2021» в октябре в Москве.

После чего целесообразно провести заседание Совета главных сварщиков группы предприятий АО «ОСК»,

на котором рассмотреть проблемы судостроительной промышленности в этом плане.

Технический уровень сварочного производства любого предприятия определяется в основном составом технологического сварочного оборудования, уровнем механизации и автоматизации процессов сварки и смежных технологий, а также видами применяемых технологий.

Наиболее высокий технический уровень сварочного производства достигнут в таких высокотехнологичных отраслях промышленности, как судостроение, энергетическое машиностроение, авиационно-космическая промышленность и др., в которых, наряду с традиционными технологиями и оборудованием, всё шире внедряются современные эффективные технологии автоматической сварки, в том числе с ЧПУ и робототехнические комплексы, современные технологии и оборудование для диагностики сварных конструкций. Расширяется применение лазерно-дуговых технологий сварки и наплавки, начинается использование аддитивных технологий и др.

Несмотря на последний тезис, современное состояние сварочного производства в стране, в том числе на предприятиях судостроения, характеризуется значительным снижением его технического уровня. Это очевидно, хотя бы из того, что к 1990 г. в основных отраслях промышленности уровень механизации и автоматизации труда сварщиков доходил до 70-80 % по объёму наплавленного металла, в судостроении объём применения механизированных видов сварки доходил до 90 % и более. За последние 25 лет доля ручного труда возросла в 2-3 раза и более, резко упал уровень технологической дисциплины в связи с чем уровень брака увеличился в разы. Предприятия издают эти издержки производства за счёт многократных исправлений, что в большинстве случаев, особенно при сварке от-

ветственных конструкций, не допустимо. Эти издержки производства увеличивают трудоёмкость и себестоимость продукции, снижают её качество. В немалой степени эта ситуация возникла из-за некачественной продукции предприятий 2-го и 3-го уровня кооперации, т.е. поставщиков сварочных материалов, оборудования, комплектующих изделий и т.д.

Техническое перевооружение сварочных производств судостроительных предприятий последние годы осуществлялось, в основном, за счет закупок сварочного оборудования (источников питания, полуавтоматов, сварочных автоматов, в т.ч. с ЧПУ и др.) по импорту у ведущих мировых производителей, таких как «ESAB» (Швеция), Lincoln (США), «Kemppi» (Финляндия) и др. Ряд предприятий, входящих в АО «ОСК» оснастили роботизированными комплексами по изготовлению плоских секций, микропанелей и обработки профиля (АО «Адмиралтейские верфи», АО «Балтийский завод», АО «Красное Сормово», АО «ПО «Севмаш» и др.).

При строительстве новой верфи в г. Большой Камень (АО ССК «Звезда») сварочное производство оснащено новейшими автоматизированными и роботизированными линиями по изготовлению плоских секций и таврового набора.

Комплексы позволяют изготавливать полотнища из широкоформатного листа размером 4,5 на 23,0 м, и соответственно крупногабаритные секции.

В настоящее время на верфи идёт подготовка по обеспечению строительства атомного ледокола проекта 10510 «Лидер» (ЛК-120), в том числе предусматривается разработка и внедрение комплекса технологий по сварке и резке высокопрочных и высоколегированных сталей, алюминиевых сплавов и сплавов на медной основе, разработка необходимой документации по контролю качества

сварочных материалов и сварных соединений, решение других технических вопросов, касающихся развития сварочного производства верфи. Только для технического дооснащения верфи предусматривается закупки более 1 000 единиц сварочного оборудования для 2-ой очереди строительства верфи в т.ч. «сухого дока и достроечных набережных».

Новый состав сварочного оборудования в обязательном порядке должен иметь возможность работать в программно-аппаратном комплексе (далее ПАК). Функционально ПАК должен обеспечивать сбор, хранение, передачу, отражение данных, систематизацию и обработку информации, а также возможность подключения и работы сварочного оборудования для различных видов сварки, т.е. надо понимать, что верфь начала работы по цифровой трансформации сварочного производства.

Существенное переоснащение произведено в корпусообработывающем производстве предприятий отрасли машинами тепловой резки с ЧПУ, тоже в основном импортного производства.

Следует отметить, что судостроительная промышленность за последние 25-30 лет существенно оснастилась импортным технологическим оборудованием для сварки и резки, особенно те предприятия, у которых имелись солидные валютные резервы. Сложнее оценить положение дел (что будет и какие потребуются затраты), когда понадобится осуществлять поставки комплектующих для ремонта этого оборудования, особенно: электроники, приводов и т.д. Поэтому проблема импортозамещения в этом секторе сварочного производства, по оценке экспертов, будет в дальнейшем усиливаться.

Технологическое сварочное оборудование у отечественных производителей, таких как ЗАО «НПФ «ИТС» (г.Санкт-Петербург),

ООО «Уралтермо-свар» (г. Екатеринбург), ООО «ТехноТрон» (г. Чебоксары) и др. закупались в существенно меньших количествах, что связано в первую очередь, не столько с технологическими возможностями отечественного оборудования и худшими потребительскими свойствами, сколько с нехваткой производственных мощностей наших фирм и высокой конкуренцией мощнейших мировых компаний производителей сварочной техники.

Вместе с тем, отечественные компании могут успешно конкурировать на отечественном рынке, что видно из таблицы №1, на которой представлены данные по поставкам сварочного оборудования предприятиям судостроения фирмой ЗАО «Научно-производственная фирма «Инженерный и технологический сервис» (ЗАО «НПФ «ИТС») г. Санкт-Петербург.

К основным сварочным материалам, применяемым в судостроении, относятся: электроды для ручной дуговой сварки, сварочные проволоки сплошного сечения для автоматической сварки в защитных газах и под флюсами; сварочные проволоки сплошного сечения для полуавтоматической сварки в защитных газах; порошковые сварочные проволоки и сварочные флюсы общего и специального назначения. Примерные ежегодные объемы потребления сварочных материалов представлены в таблице №2.

Следует обратить внимание на тот факт, что в судостроении только к основным маркам сварочных материалов относится более 50 марок электродов, сварочных проволок и флюсов, потребление которых составляет десятки и сотни тонн, но ещё не менее этого же количества наименований, применение которых составляет десятки и сотни килограмм. Так в судовом атомном энергомашиностроении применяется около 30 марок сварочных материалов, годовой объём потре-

бления которых составляет от 100 кг до 40 тонн (флюсы).

Такое многообразие марок сварочных материалов и большие объемы их применения вызывают у предприятий отрасли значительные затруднения в проведении закупочной работы и оценке качества поставляемых сварочных материалов.

Надо отметить, что предприятия отрасли, руководство АО «Объединенная судостроительная корпорация, серьёзно озабочены проблемами повышения качества производства, поставок и использования сварочных материалов в судостроении. В связи с этим на базе НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» создан отраслевой центр сертификации (аттестации) сварочных материалов. Обобщённые сведения о деятельности ОЦССМ за 2020 г. представлены в таблице №3.

В судостроительной промышленности действует более 150 научно-технических документов (это ГОСТы, ОСТы, основные положения и другие отраслевые НТД) в области сварки и родственных технологий. В основном это документация, выпущена в советское время НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» и АО «ЦТСС».

В 2019-2020 г.г. были пересмотрены и в этом году готовятся к изданию 10 первых национальных государственных стандартов в основном в области контроля качества сварных соединений. На эту тему будет соответствующий доклад во второй половине дня. Работы в отрасли по актуализации отраслевой НТД должны быть продолжены и дальше и завершены в 2025 г., как это предусматривается Федеральным законом о стандартизации №162-ФЗ от 29.06.2015 г.

В 2019 г. вышло Постановление Правительства РФ «О реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». В свете этих задач ряд компаний РФ уже ведут работы в этой области по созданию и выпуску сварочного

оборудования с цифровым управлением для оснащения сварочных производств, в т.ч. НПФ «ИТС», завод технологических источников (г. Санкт-Петербург), ООО «ТехноТрон» (г. Чебоксары), фирма «Сварог» и др. О планах развития таких технологий на АО «ССК «Звезда» уже сказано выше.

В 2020 г. НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» и центром цифровых технологий «Мёбиус» при СПбГУМТ разработаны перечень предложений и концепция применения (интеграции) цифровых технологий по сварочному производству в CAD/CAE системах.

По программе нашей конференции предусмотрены ещё доклады с информацией в этой области: генерального директора ООО «КУМППИ Россия» Дмитриевой Е.Н. «Внедрение инструментов 4.0 в судостроении. Трансформация сварочного производства» и директора НТФ «Судотехнология» АО «ЦТСС» о последних разработках для сварочного производства.

Проблемы по цифровой трансформации сварочного производства в судостроении целесообразно рассмотреть на одном из ближайших заседаний Совета главных сварщиков группы предприятий АО «ОСК» и подготовить соответствующие доклады и предложения для Департамента судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга и руководства АО «ОСК».

И последнее. Как один из важных аспектов повышения эффективности и технического уровня сварочного производства на предприятиях судостроительной промышленности Совету главных сварщиков надо завершить работу по формированию развития сварочного производства отрасли, включая вопросы цифровизации этого производства и представить необходимые материалы в выше указанные руководящие органы (инстанции). Это предусматривалось соответствующими решениями СГС, но не выполнено.

ПЕРЕДОВЫЕ ТРЕНДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ И СВАРИВАЕМОСТИ ХЛАДОСТОЙКИХ И КРИОГЕННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ АРКТИКИ И ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Академик РАН Рудской А.И., д.т.н. Паршин С.Г.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

1. Введение

Высокопрочные хладостойкие и криогенные стали широко используются для судов ледового класса, в добыче и транспортировке углеводородов, водородной энергетике, для изготовления ветрогенераторов, оффшорных платформ, грузовой спецтехники, вездеходов, железнодорожного и автомобильного транспорта. Металлургия традиционных высокопрочных сталей успешно развивается с создания низкоуглеродистых до 0,2 % С и низколегированных кремнемарганцовистых феррито-перлитных сталей. С использованием микролегирования V, Nb, Ti и контролируемой термомеханической обработки (КТМО) [1–3] удалось достичь мелкозернистой структуры, повысить прочность и вязкость при снижении углерода до 0,15 %.

Последующее развитие контролируемой прокатки и внедрение режимов ускоренного охлаждения с отпуском в 1980-х годах позволило добиться феррито-бейнитной и феррито-мартенситной микроструктуры сталей мелкодисперсной морфологии высокой вязкости с дисперсными карбидами и карбонитридами при снижении углерода до 0,1 %. С 1990-х годов развитие высокопрочных сталей основано на микролегировании, усовершенствовании КТМО, измельчении микроструктуры, дисперсионном упрочнении, рафинировании, устранении анизотропии проката на основе бейнитной, бейнитно-мартенситной, мартенситно-бейнитной и мартенситной микроструктуры со снижением углерода до 0,05–0,02%. Развитие высокопрочных сталей тесно связано с металлургической свариваемостью, поскольку основной операцией при изготовлении стальных конструкций является сварка.

Исследования в области создания и совершенствования высокопрочных сталей активно развиваются во всем мире, основными трендами являются увеличение прочности и вязкости сталей, улучшение качества, снижение затрат на легирование и металлургические процессы [4–7]. Среди перспективных высокопрочных сталей для применения в Арктике и в водородной энергетике следует выделить около 14 групп различных низко- и высоколегированных сталей, рис. 1.

2. Характеристика высокопрочных сталей

2.1. Высокопрочные низколегированные стали (High-strength low-alloy steel – HSLA-steel) имеют 0,04–0,25% углерода, 1–2% марганца, а также до 0,5% легирование элементами: Si, Ni, N, Cr, Mo, Ca, Al, PЗМ, Zr. Для дисперсионного упрочнения ферритной матрицы через образование интерметаллидов, карбидов и карбонитридов вводят Cu, Ti, V, Nb. Уменьшение размеров зерна увеличивает ударную вязкость при сохранении высокого пре-

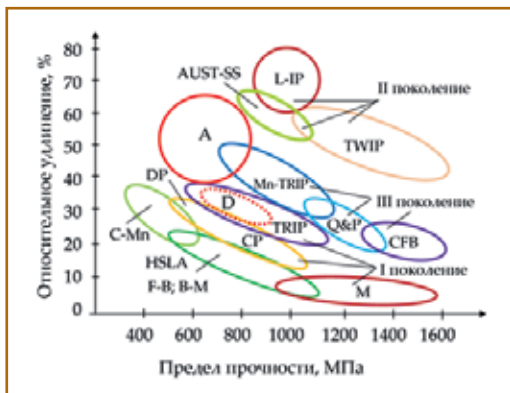


Рис. 1. Механические свойства классических и передовых высокопрочных сталей: C-Mn – перлитные; HSLA – низколегированные; F-B – феррито-бейнитные; B-M – бейнитно-мартенситные; DP – двухфазные; CP – мультифазные; D – дуплексные; TRIP – метастабильные с наведенной пластичностью (Transformation-Induced Plasticity); Mn-TRIP – среднемарганцовистые; Q&P – мартенситно-аустенитные (Quenching and Partitining – Third Generation of AHSS); CFB – бескарбидные бейнитные; A – аустенитные; AUST-SS – супераустенитные; L-IP – легкие стали с наведенной пластичностью; M – мартенситные.

дела текучести – более 460 МПа. Основным способом производства этих сталей является контролируемая термомеханическая прокатка [1].

Высокопрочные стали разделяются на 6 категорий [8,9]: атмосферостойкие с легированием фосфором и медью; микролегированные феррито-перлитные стали с содержанием менее 0,1 % карбидов и карбонитридов Nb, Ti, Ti для дисперсионного упрочнения, модификации

зерна, изменения температуры превращения; низколегированные стали контролируемой прокатки перлитных С-Mn-сталей; низкоуглеродистые низколегированные бейнитные стали с игольчатым ферритом [10]; двухфазные мартенситно-ферритные стали с высокой ударной вязкостью; стали с контролируемой формой неметаллических включений с введением Ca, PЗМ, Zr, Ti, рис. 2.

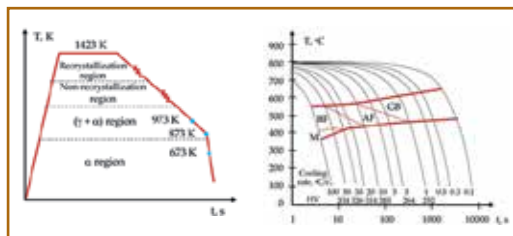


Рис. 2. Схема КТМО HSLA-стали, %: 0,07C; 0,25Si; 1,9Mn; 0,5Ni; 0,6Cr; 0,25Mo; 0,06Nb; 0,03V; 0,015Ti с прочностью 980–1050 МПа и KV-70 50 Дж. Адаптировано из [11] CCT-диаграмма типичной боросодержащей HSLA-стали, %: 0,05C; 0,25Si; 1,92Mn; 0,067Nb+Ti; 1,1(Mo+Cr+Ni): BF – бейнитный феррит; AF – игольчатый феррит; GB – зернограничный феррит; M – мартенсит. Адаптировано из [9]

Согласно ГОСТ Р 52927-2015 высокопрочные хладостойкие низколегированные стали марок E, F, D 420–500 с индексом Arc имеют прочность 530–770 МПа при энергии удара KV-60 не менее 80 Дж. Для изготовления хладостойких сталей используется термомеханическая обработка с ускоренным охлаждением, закалка и отпуск. Стали имеют химический состав, %: 0,008–0,12C; 0,45–1,6 Mn; 0,1–0,4 Si; до 1,3 Cr; до 0,65 Cu; 0,55–2,15 Ni; до 0,18 Mo; до 0,005 S; до 0,1 P, а также микролегирующие элементы: Al, Ti, V, Nb. В зависимости от технологии производства эти стали имеют бейнитно-мартенситную структуру с мелкодисперсными карбидами Mo, Nb, V, наличием речного, отпущенного мартенсита, нижнего, верхнего и гранулярного бейнита. Однородность микроструктуры по толщине проката достигается за счет комплексного легирования до 5 %. Среди более прочных необходимо отметить сталь F690 с с индексом Arc с пределом текучести не менее 690 МПа и KV-60 не менее 80 Дж. К высокопрочным сталям относится мартенситно-бейнитная сталь для тяжелого транспортного машиностроения 12ХГН2МА с пределом текучести 690 МПа и KV-70 не менее 50 Дж, дисперсные мартенситные стали 18ХГНМФР с пределом текучести 950 МПа и KV-40 не менее 30 Дж. Высокопрочные стали для трубной промышленности класса прочности Х70–120 с KV-40 не менее 70 Дж имеют бейнитную и бейнитно-мартенситную структуру, достигаемую через термомеханическую обработку и легирование элементами Mn, Cr, Ni, V, Nb.

2.2. Рельсовые стали

Согласно ГОСТ Р 51685-2013 высокопрочные высокоуглеродистые низколегированные рельсовые стали выпускаются 13 категорий и 6 марок с прочностью не менее 900–1280 МПа при KCU-60 15–25 Дж/см². Для изготовления хладостойких сталей используется термомеханическая обработка с ускоренным охлаждением, закалка и отпуск. Стали имеют химический состав, %: 0,71–0,95C; 0,75–1,25 Mn; 0,25–0,6Si; 0,03–0,15V; 0,2–1,25Cr; 0,01–0,02N; до 0,02S; до 0,02P; до 0,004Al, а также элементы: Cu, Ni, Ti. Оптимальная концентрация кислорода ограничивается 20 ppm, водорода 2,5 ppm. В зависимости от технологии производства эти стали имеют перлитную структуру с участками бейнита и мартенсита, наличием неметаллических включений. Для улучшения свойств и вязкости рельсовых перлитных сталей применяют микролегирование, измельчение зерна, регулирование морфологии микроструктурных составляющих, рафинирование [12,13].

Второе направление развивается в бейнитных рельсовых сталях контролируемой термомеханической обработки [14,15]. Низколегированные бейнитные рельсовые стали имеют химический состав, %: 0,04–0,5C; 0,35–2Mn; 0,25–1,98Si; 0,1–2,98Cr; 0,25–0,8Mo; до 0,003B; до 0,1Nb; до 4Ni; до 0,12Cu; до 0,03 Al и Ti [16], рис. 3.

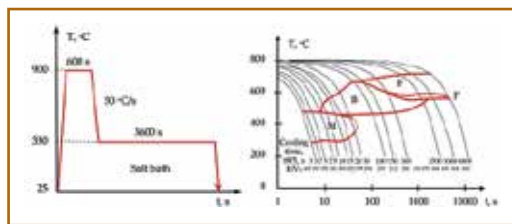


Рис. 3. Схема КТМО бейнитной рельсовой стали B360-HT, %: 0,269C; 0,51Cr; 1,547Mn; 1,36Si; 0,033V; 0,148Mo; 0,006N с прочностью 1879 МПа. Адаптировано из [17] CCT-диаграмма микролегированной бейнитной рельсовой стали Q345C для высококоростных железных дорог КНР, %: 0,138C; 0,292Si; 1,333Mn; 0,006P; 0,001S; 0,005Cu 0,006Ni; 0,012Cr; 0,002V; 0,013Nb; 0,022Al; 0,011Ti. Адаптировано из [18]

2.3. Дуплексные стали классифицируют на 2 группы: с низким 0,01–0,08% и высоким 0,3–0,5% содержанием углерода, с содержанием, %: до 2Mn; до 2Si; 18–28Cr; 2,5–8Ni; 1–4Mo; 0,05–0,32N; до 2,5Cu [19]. Легирование дуплексных сталей является сбалансированным для достижения равных объемных долей феррита и аустенита, что обеспечивает высокое сопротивление межкристаллитной коррозии и коррозии под напряжением при более высокой прочности и вязкости по сравнению с аустенитными, ферритными и мартенситными сталями. Прочность достигает 620–1000 МПа, относительное уд-

линии не менее 15–30% при сохранении вязкости до -45–70 °С.

По виду охрупчивания в дулексных сталях можно выделить: охрупчивание из-за карбидной сетки, особенно в аустените и в сплавах с высоким содержанием углерода; охрупчивание из-за выделения альфа-штрих-фазы. Исследование супердулексной стали 2510 SDSS, %: 0,02C; 0,44Si; 0,37Mn; 25,3Cr; 9,9Ni; 4Mo; 0,018P; 0,001S; 0,275N показало существенное влияние Cr, Mo, W, Si на ТТТ и процесс выпадения дисперсионных фаз: M7C3, M23C6, Cr2N, CrN, δ -, σ -, χ -, γ_2 -, ϵ -, α' -фазы [20]. Дулексные стали показывают хорошие механические свойства при низких температурах.

2.4. Высокомарганцевые криогенные стали имеют исключительные механические свойства при низких температурах. Свариваемость зависит от термического цикла и состояния микроструктуры и границ зерен. Моделирование сварочных циклов для Mn-стали, %: 0,43C; 0,2Si; 23,8Mn; 4,2(Cu+Cr) с прочностью 810 МПа, удлинением 45 % и KV-196 201 Дж, показали, что сталь сохраняет высокие вязкие свойства с энергией удара KV-196 – 163–2041 Дж [21]. Для сталей, %: 20Mn; 4Al; 0,3C и 27Mn; 4Al; 0,3C прочность составляет 660–1196 МПа, при удлинении 49–77% и энергии удара KV-196 – 100–180 Дж [22]. Введение 0,3–0,6 % V в сталь, %: 0,58C; 0,5i; 23Mn; 1,9Al [23] при температуре +20 °С приводит к изменению прочности с 804 до 867 МПа, удлинения с 62 до 57%. При температуре испытаний -196 °С прочность изменяется с 1409 до 1527 МПа, удлинение с 75 до 60 %, энергия удара KV-196 с 155 до 121 Дж. Введение 1% никеля или меди в 22Mn-0,45C-1Al-сталь при температуре испытаний -196 °С приводит к небольшому снижению прочности с 1375 до 1322 МПа, к росту удлинения с 79 до 87 % и к увеличению энергии удара KV-196 с 118 до 133 Дж. [24].

2.5. Высокоэнтропийные и среднеэнтропийные сплавы (ВЭС) обладают наиболее высокой пластичностью и вязкостью при низких температурах и относятся к криогенным сплавам высокой прочности. Теория ВЭС развивается на основе термодинамического моделирования, а результаты показывают перспективность этих мультикомпонентных сплавов, энтропия которых увеличивается с ростом количества компонентов в эквивалентной концентрации. ВЭС различаются на однофазные, мультифазные и аморфные с низкой и высокой плотностью 2,6–6,7 г/см³ с максимальной прочностью до 1500 МПа и удлинением до 75 % [25, 26]. По механическим свойствам ВЭС превосходят криогенные никелевые сплавы и аустенитные стали [27].

2.6. Передовые высокопрочные стали

Металлургические инновационные решения реализуются при разработке и производстве передовых высокопрочных сталей (Advanced high strength steels – AHSS)

для которых особое важное значение имеют технологии термомеханической обработки. Модели и технологии для AHSS направлены на производство автомобилей и стали имеют небольшую толщину до 4 мм. Однако, физико-механические, термодинамические модели и металлургические технологии AHSS могут быть применимы для разработки сталей нового поколения повышенной толщины.

Передовые высокопрочные стали имеют прочность более 500 МПа и комплексную микроструктуру из феррита, мартенсита, бейнита и остаточного аустенита. Первое поколение этой группы включает двухфазные F-M до 1000 МПа (DP), мультифазные F-B + P-M-A (CP) до 1000 МПа, мартенситные (M) до 1600 МПа и стали с наведенной пластичностью при мартенситном превращении остаточного аустенита при пластической деформации (TRIP) с микроструктурой F-M/B+A до 1000 МПа. Второе поколение включает аустенитные высокомарганцевистые стали с наведенной пластичностью через двойникование (TWIP) до 1650 МПа, легкие стали с наведенной пластичностью (L-IP) до 1150 МПа, и супераустенитные высокомарганцевистые стали (AUST SS) до 1150 МПа и относительным удлинением до 60 %.

3. Проблема низкотемпературного и водородного охрупчивания сталей

Основными задачами при создании сварных конструкций специального назначения является повышение надежности и работоспособности, сокращение металлоёмкости и стоимости. Основной металлургической проблемой является повышение вязкопластических свойств сталей, снижение чувствительности к охрупчиванию и повышение циклической выносливости и трещиностойкости при низких температурах.

Влияние температуры на ударную вязкость разрушения часто определяется на образцах Шарпи. С понижением температуры наблюдается охрупчивание стали, при этом при критической температуре разрушение металла из вязкого становится хрупким, рис. 4.

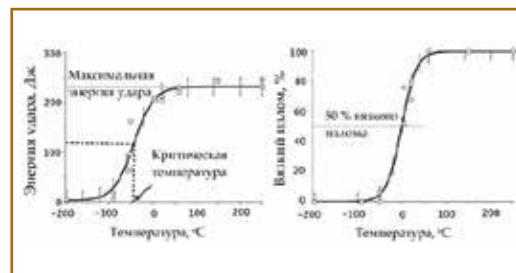


Рис. 4. Критическая температура вязко-хрупкого перехода и доля вязкой составляющей при испытаниях корпусной низколегированной стали SA508 Gr.3 при низких температурах. Адаптировано из [28]

Во всех механизмах разрушения важным является микроструктурный фактор, который учитывает объем, размер и характер распределения дисперсионных фаз, наличие примесей и насыщения газами, диффузионные процессы, а также фазовые превращения во время деформации, сварки и термической обработки. Большинство разрушений сталей происходит путем образования и распространения трещин в местах концентраций напряжений, скоплений дислокаций у межзеренных и межфазовых границ, например у неметаллических включений [29]. Хрупкое разрушение с малыми затратами энергии происходит путем расщепления (скола) при распространении трещины через атомную плоскость. Вязкое разрушение предполагает образование микропористой коалесценции, при которой инициаторами разрушения являются дисперсные включения и карбиды, распределенные в пластичной матрице. В микромеханике разрушений разработано значительное количество моделей [30].

Под термином «водородное охрупчивание» понимают резкое снижение пластичности и вязкости материалов под влиянием водорода. Трещины, поддерживаемые (иницируемые) водородом возникают после превышения в микроструктуре критического уровня локального напряжения текучести, которое резко снижается при насыщении диффузионным водородом. Поэтому, при рассмотрении механизма возникновения трещин, поддерживаемых водородом, рассматривают взаимное воздействие трёх факторов: локальная концентрация водорода, локальное напряжение и локальная микроструктура. Одним из первых адсорбционных механизмов водородной хрупкости был разработан в 1928 году академиком АН СССР П.А. Ребиндером.

Все конструкции в Арктике подвергаются водородо-содержащей коррозии, а сварные швы дополнительно насыщаются водородом из-за влаги в покрытиях электродов, сердечниках порошковых проволок, сварочном флюсе, в загрязнениях, оксидных плёнках и окружающей атмосфере. Во время сварки вода и молекулярный водород диссоциируют в плазме на атомы, которые активно поглощаются (адсорбируются) сварочной ванной. После кристаллизации водород абсорбируется металлом, образуя при растворении твёрдые растворы внедрения с кристаллической решёткой матрицы и способен диффундировать через кристаллическую структуру, поскольку имеет малый атомный радиус.

Характерным признаком водородного охрупчивания является уменьшение относительного удлинения и сужения при растяжении гладких образцов. Важно отметить, что охрупчивание не выявляется при испытаниях проб Шарпи на ударный изгиб, поскольку механизм охрупчивания активируется при определенном соответствии скоростей диффузии водорода и перемещения дислокаций.

4. Пути улучшения вязкопластических свойств сварных соединений

Теоретические основы повышения вязкопластических свойств сталей заложены в трудах академиков АН СССР Байкова А.А., Самарина А.М., Лякишева Н.П., Горынина И.В. Сварные конструкции в Арктике эксплуатируются в условиях низких температур, часто в водородосодержащих и агрессивных средах. Свариваемость сталей осложняется из-за роста зерна, водородного охрупчивания, появления холодных трещин, поддерживаемых диффузионным водородом, а также из-за снижения ударной вязкости при низких температурах [31, 32]. Основным способом сварки указанных сталей является MIG-, MAG- сварка со сплошной проволокой, поскольку обеспечивает минимальный уровень диффузионного водорода в швах [33]. Применение гибридной лазерно-дуговой сварки сталей толщиной более 40 мм позволяет получить высокую ударную вязкость при температуре до минус 50 °С [34].

Микроструктурное состояние шва и зоны термического влияния является наиболее важным фактором в механизме водородного охрупчивания, образования трещин и снижения ударной вязкости [35]. Благоприятная мелкозернистая микроструктура при сварке достигается через оптимальный термический цикл нагрева и охлаждения и через снижение содержания примесей, сегрегаций на основе рафинирования границ зерен [36].

Другим эффективным металлургическим решением является измельчение микроструктуры через механизм гетерогенного зарождения неметаллических включений и игольчатого феррита при образовании тугоплавких оксидов, сульфидов и нитридов. Наиболее эффективным методом измельчения и рафинирования микроструктуры является разработка специальных сварочных проволок и введение редкоземельных металлов [36–38].

Тугоплавкие оксиды и сульфиды РЗМ типа РЗМ2О3, РЗМ2S3 являются неметаллическими включениями со сферической формой и имеют высокие температуры плавления. Поэтому образование этих соединений в сварочной ванне увеличивает количество центров кристаллизации, что способствует измельчению и рафинированию микроструктуры, а также зарождению игольчатого феррита [37].

Важное значение в металлургии сварки имеет образование свободного фтора при диссоциации фторидов, который уменьшает содержание диффузионного водорода за счет реакций с образованием фтористого водорода HF [39]. Высокая эффективность фтора и фторидов по удалению водорода объясняется металлургической активностью фтора и фторидов в реакциях с атомом Н, молекулой Н2 и водяным паром Н2О как в жидком шлаке, так и в плазме сварочной дуги [38, 40, 41].

(Продолжение в следующем номере)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.Б. Вихман, к.т.н., АО «ЦНИИ Материалов», info@cniim.com

А.Н.Козлов, ООО «Термовак», nikolaevich24@inbox.ru

(Продолжение. Начало в номере Мир сварки №1 (55) 2021)

Аддитивные технологии. Бурное развитие трёхмерной печати началось с развитием технологий проектирования (CAD), расчётов и моделирования (CAE) и механической обработки (CAM). С помощью 3D-принтеров изготавливаются детали самолётов, космических аппаратов, подлодок, инструменты, протезы и импланты, ювелирные изделия и др. Аддитивная технология в ближайшее время станет приоритетной технологией машиностроения.

Ведущие страны мира активно включились в 3D-гонку. Так в 2012 г. в Янгстоуне (Огайо, США) открылся национальный инновационный институт аддитивного производства NAMII – первый центр аддитивных технологий из пятнадцати, создаваемых в США. В 2015 г. в этом институте насчитывалось 10 аддитивных установок, 3 из которых были самыми на то время современными для производства металлических деталей.

ASTM International (American Society for Testing and Materials) — американская международная организация, разрабатывающая и издающая добровольные стандарты (поддерживает около 1200 стандартов), разделяет 3D-технологии на 7 категорий, две из которых касаются металлических материалов:

- плавка материала (порошка) в заранее сформированном слое используется в SLS (селективном лазерном спекании) или SLM (селективном лазерном плавлении), применяющих в качестве источника энергии лазер, в меньшей степени – электронный луч (EBM);

- прямое подведение энергии и материала в точку построения, когда в качестве источника энергии используется луч лазера (APKAM, POM, Optomec) или электронный луч (Sciaky).

Рынок аддитивных технологий (AT) в динамике развития опережает остальные отрасли производства. Его ежегодный рост оценивается

в 27 % по оценке компании IDS и к 2019 г. должен был составить 26,7 млрд. долларов США по сравнению с 11 млрд. в 2015 г. Применение AT в авиации позволит снизить расход затрачиваемых на изготовление деталей материалов в 10 раз. Ожидается, что компания GE Aviation, будет печатать ежегодно 40 тысяч форсунок с улучшенными характеристиками по сравнению с деталями, изготовленными традиционным способом, а компания Airbus в 2018 г. собирается печатать до 30 тонн деталей в месяц. В самолетах этой компании насчитывается 60 тысяч деталей, напечатанных на 3D-принтерах. 3D-технологии используют основные зарубежные

авиастроительные компании: Bell Helicopter, BAE Systems, Bombardier, Boeing, Embraer, Honeywell Aerospace, General Dynamics, Northrop Grumman, Lockheed Martin, Raytheon, Pratt & Whitney, Rolls-Royce и Space X.

Характеристики лазерных и электронно-лучевых технологий представлены в таблице 10. По большинству показателей, за исключением шероховатости поверхности деталей, электронно-лучевая технология имеет преимущества перед лазерными. На рисунке 7 показан общий вид установки Sciaky EBAM 300 для электронно-лучевого плавления.

Характеристики установки Sciaky EBAM 300:

Таблица 9 Технические характеристики установки E-Beam Evaporator

№ п/п	Характеристика, размерность	Значение
1	Ток луча, А	0–1,2 ±0,5%
2	Ускоряющее напряжение, кВ	0–10 ±0,5%
3	Мощность луча, кВт	до 12
4	Отклонение луча, градусы	270
5	Количество тиглей 15 или 4 штуки (в зависимости от емкости), емкость тигля, см ³	15
6	Система автоматического измерения толщины: тип датчика – кварцевый осциллятор, частота, МГц, разрешение, Гц, интервал измерения, с разрешение измерения толщины пленки, Å	6 ±0,028 0,25 0,034
7	Предельный вакуум, торр	5×10 ⁻⁷
8	Блок нагрева подложек: две пары ламповых ИК-нагревателей с максимальной температурой, °С	450

- Размер рабочей камеры – 5791 x1219 x1219 мм;
- Давление в вакуумной камере 1x10⁻⁴ тор;
- Потребляемая мощность до 42 кВт при ускоряющем напряжении 60 кВ;
- Материалы на основе алюминия, титана, тантала, никеля, ниобия, вольфрама, меди, а также стали, в т.ч. – нержавеющей;



Рисунок 7 Установка Sciaky EBAM 300 для электронно-лучевого плавления

- При использовании проволоки наносит слои металла со скоростью до 9 кг в час;
- Цена 250 тысяч долларов США [12]. Конструкционные элементы самолетов, производство которых по традиционным технологиям могло занимать до полугода по данным Sciaky печатается в течение 48 часов.

Технология электронно-лучевой 3D-печати активно осваивается в Китае. Сообщается, что китайская компания Xiang Zhi Rong продемонстрировала первый промышленный 3D-принтер, использующий два механизма подачи проволоки и электронно-лучевую пушку мощностью 15 кВт. На этой установке можно выращивать детали размерами до 1000x600x500 мм [13].

Аддитивные технологии в России

АТ разрабатываются во многих российских ВУЗАх, а также НИИ и КБ с использованием преимущественно импортных 3D-принтеров. Всего в России приобретено только с 2010 по 2015 г.г. 29 импортных 3D-установок, а общая потребность в них составляет 300 шт., в том числе для авиационной отрасли 240 шт. [14.]. Разработки порошков и их опытное производство ведутся в нескольких организациях, прежде всего – в ВИАМ. По оценке Генерального директора ВИАМ академика Е. Каблова потребность в производстве отечественных порошков для 3D-технологий в ближайшее время может составить 20 тонн в год.

Перспективным является разработка электронно-лучевого оборудования для 3D-печати. Это обусловлено пренебрежимо малой инерционностью пучка как объекта управления по каналам мощности (тока), фокусировки

и отклонения, а также тем, что процесс реализуется в вакууме. Данные обстоятельства делают электронный пучок поистине уникальным инструментом. Возможность произвольного выбора траектории перемещения луча в области подачи проволоки при задании различной степени фокусировки позволяет гибко регулировать доли энергии, вводимые в саму проволоку, подложку и формирующийся наплавляемый валик металла [15].

Перспективным является разработка электронно-лучевого оборудования для 3D-печати с использованием не дефицитной и относительно дешевой сварочной проволоки, выпускаемой в РФ. При этом производительность наплавки может составить до 10 кг в час. Выявлено, что доля мощности, пошедшая на нагрев и плавление проволоки, в зависимости от скорости ее подачи, может достигать 78% [16]

Первый отечественный прототип принтера для производства крупногабаритных металлических изделий (аналог

Sciaky EBAM 300), использующий в качестве источника энергии электронный луч, а в качестве расходного материала – проволоку, создан в Томском политехническом университете в сотрудничестве с Институтом физики прочности и материаловедения СО РАН и компанией ТЭТА.

Предельное разрешение для установок электроннолучевой наплавки составляет 1 мм по ширине и 0,3 мм по высоте валика, а реализованные в коммерческих образцах поперечные размеры валиков составляют порядка 10 мм. Для поддержания неизменности фокусировки пучка в области наплавки при регулировании тока наиболее рациональным методом является метод импульсного регулирования, при котором напряжение смещения принимает только две величины - номинальное значение, соответствующее номинальному току луча, и напряжение запираия, при котором ток луча равен нулю. В таком режиме регулирования коррекция фокусировки не требуется, а эквивалентная мощность, выделяемая в жидкой ванне, может регулироваться за счет частоты и длительности импульсов тока луча. Следует иметь в виду, что такой режим регулирования потребует несколько иных подходов к построению стабилизаторов высоковольтных источников питания пушки. Предварительно проведенные экспериментальные исследования показали, что требуемая для технологии скорость

Таблица 10 Характеристики лазерных и электронно-лучевых 3D-технологий

Показатель	Технология		
	SLS	SLM	EBM
Размер порошков, мкм	10 - 50	10 - 50	менее 160 мкм
Толщина обрабатываемого слоя, мкм	60 - 80	60 - 80	До 500
Шероховатость, мкм	3 - 20	3 - 20	До 300
Цена порошков, \$ США/кг	≥ 500	≥ 500	≥ 200
Возможность многолучевого плавления	нет	нет	До 100 точек Ø 200 – 500 мкм в течение 0,001 с
Производительность, см3/час	До 20	До 20	До 85 без расщепления пучка, до 300 при многолучевом плавлении

подачи проволоки значительно ниже значений традиционно применяемых в механизмах сварочных полуавтоматов и составляет порядка 0,001-0,004 м/с. Поэтому в качестве приводного двигателя механизма подачи проволоки следует использовать шаговый или серводвигатель [17].

Производство деталей методом электронно-лучевого плавления из-за большой шероховатости поверхности деталей требует чистовой механической обработки. Использование многолучевой импульсной технологии позволит существенно повысить точность изготовления и уменьшить объем такой обработки. В связи с этим необходимо создать современные энергокомплексы с высокочастотным (до 100 кГц) управлением отклонения луча для электронно-лучевых технологий и обеспечить их серийный выпуск.

Использование многолучевой импульсной технологии позволит существенно повысить точность изготовления и уменьшить объем чистовой механической обработки. В связи с этим необходимо создать современные энергокомплексы с высокочастотным (до 100 кГц) управлением отклонения луча для электронно-лучевых технологий и обеспечить их серийный выпуск.

В Воронежском Конструкторском бюро химавтоматики (КБХА, входит в НПО «Энергомаш») подтверждена возможность применения аддитивных технологий при производстве жидкостных ракетных двигателей. С помощью аддитивных технологий на предприятии уже освоена методика изготовления смесительной головки и сопла двигателя 14Д23. По оценке специалистов КБХА, применение аддитивных технологий сократит трудоемкость производства этого двигателя на 20 %. К примеру, смесительная головка, произведенная по традиционной технологии, состоит из 220 деталей, имеет 124 паяных соединений и 62 сварных шва. А смесительная головка, изготовленная по аддитивной технологии, состоит из

одной цельной детали. Срок ее «выращивания» — 77 часов. Сообщается, что «НПО «Энергомаш» будет использовать аддитивные технологии при производстве жидкостных ракетных двигателей для семейства ракет-носителей «Ангара», «Союз-5» и «Союз-2» [18].

Литература

1. В.П. Пономаренко, А.М. Филачев. *Инфракрасная техника и электронная оптика. Становление научных направлений (1946 - 2006)*. М. Физматгиз, 2008. 338 с.
2. *Principles of Lithography, Third Edition*, SPIE Press, 2011 ISBN 978-0-8194-8324-9
3. *7.4 Electron-beam lithography and mask writers «For two decades, the MEBES systems were the primary beam writers used to make photomasks»*
3. Syed Rizvi, *Handbook of Photomask Manufacturing Technology*, Taylor & Francis, 2005, ISBN 978-0-8247-5374-0. Sergey Babin
3. *Mask Writers: An Overview, 3.1 Introduction. «For decades, the unique features of EBL systems — easily programmable computer control, high accuracy, and relatively high throughput — have positioned these systems as the main tools to fabricate critical masks.»*
4. Сайт «Электротехника». <http://electrono.ru>. Раздел 3.9 Сравнение литографических методов.
5. И.С. Гайдукова, А.М. Филачев. *Анализ состояния и определение перспективных направлений разработки электронно-лучевых устройств для обработки твердотельных материалов. Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. №1, 1996. С. 3—13.*
6. А.Н. Козлов. *Электронно-лучевые установки для микросварки и размерной обработки. Технология и оборудование ЭЛС-2011. Доклады Санкт-Петербургской Международной научно-технической конференции. Издательство политехнического университета 2011. С. 166-173.*
7. D. von Dobreneck. *Elektronenstralschweissen eine Schlüsseltechnologie im Fahrzeugbau fuhr Strasse, Schiene, Wasser, Luft und Weltraum. Pro-beam AG & Co. Eigendruck im Selbstverlag, Germany, 2007, s. 70*
8. D. von Dobreneck., T. Lower, V. Adam. *Elektronenstralschweissen. Das Verfahren und seine industrielle Anwendung fuhr hochste Produktivitat. Moderne Industrie. — Germany, 2001.*
9. С. М. Гуревич и др. *Металлургия и технология сварки титана и его сплавов*. К., Наук. Думка, 1986. — С. 144.
10. Браверман В. Я., Богданов В. В. *Слежение за стыком при ЭЛС разнородных материалов. Вторая международная конференция Электронно-лучевая сварка и смежные технологии». «Национальный Исследовательский Университет «МЭИ» 14-17 ноября 2017 года: Сборник материалов и докладов -М.: Издательство МЭИ, с 142-150, 2017*
11. А. Иванов, Б. Смирнов. *Электронно-лучевое напыление: технология и оборудование. «Наноиндустрия» № 6/36, 2012, с. 28 – 34*
12. *Sciaky EBAM 300*
13. *Китайская промышленность осваивает технологию электронно-лучевой 3D-печати. <http://ariat.ru/news/3d-today>. 31.03.2017 г.*
14. *Аддитивные технологии – индикатор развития государства. Группа «Информайн» 20.09.2016г*
15. *Разработка элементов математической модели процесса электронно-лучевого аддитивного формообразования. Щербаков А.В., Родякина Р.В., Слива А.П., Портнов М.А., Гончаров А.Л., Гапонова Д.А., Кожеченко А.С. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ». 2-я конф. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии, НИУ «МЭИ», 14-17.11.2017, с. 238-249.*
16. *Особенности электронно-лучевой сварки с применением присадочной проволоки. Харитонов И. А., Мартынов В. Н., Щербаков А. В., Драгунов В. К., Гапонова Д. А. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт». 2-я конф. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии, НИУ «МЭИ», 14-17.11.2017, с. 257-265.*
17. *Анализ процесса электронно-лучевого аддитивного формообразования как объекта управления. Гапонова Д.А., Вахмянин Н.М., Щербаков А.В. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2-я конф. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии, НИУ «МЭИ», 14-17.11.2017, с. 250-257.*
18. <http://novosti-kosmonavtiki.ru/news/35810/3-map>, 15:50 2018.

РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ВНЕДРЕНИЯ

В.К. Ханухов, Н.А. Носырев
АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»

Современный этап развития судостроения характеризуется началом внедрения на ведущих предприятиях мира технологий, кардинально меняющих облик этой достаточно консервативной отрасли. Комплексное применение современных цифровых технологий является одним из путей повышения качества и производительности при производстве продукции.

АО «Центр технологии судостроения и судоремонта» (АО «ЦТСС»), являясь одним из ведущих проектно-технологических центров судостроения России с более чем 80 летним опытом, принимает непосредственное участие в разработке концепции развития умного цифрового судостроительного производства, интеллектуального управления и обеспечения ресурсосбережения.

Цифровое производство – это способ организации эффективного, конкурентоспособного производства на основе комплексного применения интегрированных цифровых технологий, средств автоматизации, «цифровых двойников», цифрового моделирования, сбора и обработки информации на всем жизненном цикле изделия. Цифровая трансформация производства обеспечивает переход от принципов «островной автоматизации», характеризующейся внедрением отдельных станков, машин и линий с ЧПУ, к созданию полностью цифровизированных производств; для судостроения, в первую очередь – корпусообработывающего, сборочно-сварочного и трубообработывающего производства.

Цифровое производство характеризуется внедрением ряда новых технологий и процессов. В частности, для сварочного производства необходимо выделить: гибкие автоматизированные и роботизированные технологические процессы, применение методов виртуального моделирования, дополненной и виртуальной реальности,

новых материалов и аддитивного производства, сбора и анализа большого объема информации («BIG DATA»). Производство должно иметь налаженную взаимосвязь в цепи жизненного цикла изделия, начиная с конструирования и материально-технического обеспечения, заканчивая сервисным обслуживанием и поддержкой готового изделия у заказчика.

Модернизация сборочно-сварочного производства требует разработки и внедрения современного автоматизированного и роботизированного технологического оборудования.

В АО «ЦТСС» разработано и успешно внедряется на предприятиях отрасли технологическое оборудование для изготовления корпусных конструкций, изделий судового машиностроения, ответственных и специальных изделий.

В целях повышения качества и производительности изготовления плоских узлов корпусов судов – микропанелей и фундаментов для установки оборудования был разработан роботизированный комплекс сборки и сварки микропанелей (рис.1)

В состав комплекса входят:

- портал с манипулятором для установки и прихватки профилей к полотнищу;
 - сварочный робот с системой лазерного сканирования и фотограмметрирования;
 - плита для сборки микропанелей и кассеты для профиля.
- Применение системы фотограмметрирования с двойной камерой, обеспечивает получение фактических размеров элементов в 3D, позволяет после автоматической обработки результатов сканирования генерировать управляющую программу перемещения сварочного робота для сварки в нижнем и вертикальном положении конструкций, находящихся в зоне сканирования. Комплекс оборудования для сборки и роботизирован-



Рисунок 2 – Роботизированный комплекс сборки и сварки микропанелей



Рисунок 2 – Роботизированная сварка микропанелей

ной сварки микропанелей, благодаря, в том числе, применению современных цифровых решений, позволяет обеспечить повышение производительности изготовления сварных металлоконструкций в 1,5–2 раза, сократить подготовительно-заключительное время выполнения процесса сварки.

Оборудование для сборки и сварки микропанелей было внедрено на АО «Балтийский завод» в 2015 г. (рис.2)

Для изготовления плоских секций АО «ЦТСС» был создан современный комплекс оборудования для автоматизированной обработки (резки и сварки) деталей из листов размером до 3,2х12 м.

Основные рабочие операции на комплексе (рис. 3) осуществляются с применением передовых лазерных технологий: подготовка кромок листов под сварку (лазерная резка и разделка кромок), стыковая сварка (гибридная лазерно-дуговая сварка и дуговой тандем) для укрупнения полотнищ толщиной до 20 мм, а также приварка (двухсторонняя гибридная лазерно-дуговая сварка) набора главного направления к полотнищу.

На комплексе реализован принцип многопостовой эксплуатации лазерного источника за счет применения отечественного волоконного лазера мощностью 16 кВт с четырехканальным оптическим переключателем, позволяющим передавать лазерное излучение на все рабочие позиции по оптоволокну.

Благодаря применению гибридной лазерно-дуговой сварки для выполнения основных операций по изготовлению плоской секции процесс характеризуется значительным сокращением удельной энергоемкости и материалоемкости, как

следствие, позволяет минимизировать остаточные сварочные напряжения и деформации конструкций, обеспечить высокое качество сварных соединений и увеличить производительность процесса сварки в 2 раза и более.

На типовой технологический процесс гибридной лазерно-дуговой сварки полотнищ и набора судовых корпусных конструкций толщиной до 20 мм с интегрированной подготовкой кромок под сварку с использованием лазерной резки АО «ЦТСС» было получено одобрение Российского морского регистра судоходства.

Оборудование линии для установки и приварки набора главного направления готовится к внедрению на АФ СРЗ «Красная кузница».

Учитывая большой опыт в проектировании и изготовлении технологического оборудования для корпусообработывающего и сборочно-сварочного производства, АО «ЦТСС» предлагает комплексные решения для модернизации производств отечественных верфей, такие как: автоматизированные линии изготовления плоских секций, линии сборки и сварки тавровых балок, обрабатывающие участки на базе промышленных роботов.

Для относительно небольших судостроительных предприятий в АО «ЦТСС» разработан вариант линии плоских секций, включающий оборудование для сварки стыков полотнищ с помощью мобильного автомата с цифровым управлением и двух порталов:

- портала для установки набора;

- портала для роботизированной сварки набора.

Сборка и сварка на линии осуществляется параллельно на независимых сборочно-сварочных позициях, что позволяет обеспечить гибкость производства и возможность переналадки исходя из производственной программы предприятия.

Линия с такой конфигурацией рассматривается для внедрения на первой «цифровой верфи» гражданского судостроения на базе АО «ОССЗ».

Для изготовления прямолинейных тавровых балок корпусных конструкций в АО «ЦТСС» разработан комплекс



Рисунок 3 – Комплекс оборудования для изготовления плоских секций



Рисунок 4 – Комплекс для изготовления тавровых балок

оборудования, включающий их автоматизированную сборку, автоматизированную сварку под флюсом и последующую правку для устранения сварочных деформаций (рис.4).

Разработанный комплекс передан для опытно-промышленной эксплуатации в Архангельский филиал «Красная Кузница» АО «ЦС «Звездочка» и позволяет производить сборку и сварку прямолинейных тавровых балок корпусных конструкций длиной до 12 м, с конструктивным непроваром и с полным проваром.

Данный комплекс представляет собой единую технологическую линию, на которой производится сборка и сварка тавровых балок поточно-позиционным методом. К преимуществам комплекса можно отнести применение отечественного сварочного оборудования, обеспечивающего как традиционную сварку под флюсом, так и сварку расщепленной дугой, позволяющую увеличить скорость сварки, уменьшить тепловложение и снизить деформации готового изделия. Комплекс обеспечивает сварку закреплённой балки:

- с полным проваром «в лодочку» с перекантовкой изделия;
- с конструктивным «непроваром» одновременную с двух сторон.



Рисунок 5 – Роботизированный комплекс лазерной резки и сварки

В АО «ЦТСС» разработана технология и оборудование для плазменной сварки алюминиевых сплавов на обратной полярности толщиной от 1,5 до 20 мм. Преимущество плазменной сварки на обратной полярности алюминиевых сплавов заключается в наличии эффекта катодной очистки - разрушение окисной пленки Al_2O_3 , что позволяет вести сварку практически по чистому металлу, происходит хорошее формирование сварного шва, с плавным переходом к основному металлу (без подрезов). В линейке предлагаемого оборудования представлены: автомат для плазменной сварки типа АПС, полуавтомат для плазменной сварки ППН-200 и плазматроны, рассчитанные на сварочные токи от 200 до 700 А.

Для изготовления судостроительных конструкций сложной геометрии в АО «ЦТСС» был разработан роботизированный комплекс лазерной резки и сварки в различных пространственных положениях (рис. 5). Уникальность комплекса заключается в использовании 25-килловатного волоконного лазерного источника ЛС-25 и оптического переключателя, благодаря которому излучение может поочередно передаваться по оптическому волокну к одному из двух лазерных модулей и осуществлять, таким образом, лазерную резку и сварку на одной позиции, без перестановки обрабатываемого изделия. Робот-манипулятор, на который устанавливается сменный лазерный модуль, перемещается по рельсовому пути, что позволяет увеличить зону обработки до 8х3,5 м. При этом благодаря высокой мощности лазера существенно расширяется диапазон толщин свариваемых за один проход материалов. Такой подход в конечном итоге существенно сокращает срок изготовления объемных сварных конструкций.

Для изготовления в минимальных допусках сложных пространственных конструкций судов и средств морской техники разработан мобильный лазерно-дуговой технологический комплекс «Орбита» (рис.6), который

позволяет выполнять сварку стыковых соединений толщиной до 16 мм на поверхностях переменной кривизны в различных положениях.

В связи с тем, что современная техника и технологии требуют подготовки высококвалифицированных кадров, данный опытный образец оборудования в 2020 г. был передан ФГБОУ ВО «СПбГМТУ» для проведения экспериментальных работ и практических занятий студентов ВУЗа.

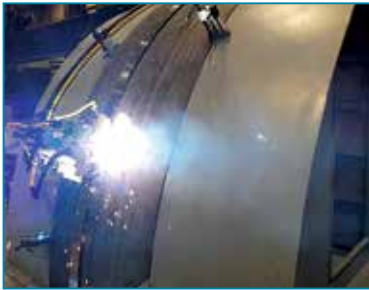


Рис. 6 – Лазерно-дуговой мобильный сварочный комплекс «Орбита»



Рис. 7 – Роботизированный комплекс для сварки сканирующим лучом



Рис. 8 – Роботизированный комплекс лазерной наплавки

Для изготовления изделий судового машиностроения (трубных досок теплообменных аппаратов, узлов двигателей судовых насосов и др.) спроектирован и изготовлен роботизированный программно-управляемый комплекс оборудования для лазерной сварки сканирующим лучом (рис.7). Комплекс обеспечивает высокую точность позиционирования и скорость сварки по заданной геометрической траектории. Лазерная сварка позволяет заменить традиционно применяемую технологию пайки, не обеспечивающую требуемую надежность эксплуатируемых изделий, либо сварку в среде инертных газов, требующую высокой квалификации сварщика. Разработанная технология обеспечивает возможность сварки высоколегированных сталей и сплавов на основе меди. Наряду с повышением производительности и надежности изделий сокращаются эксплуатационные затраты.

На данном комплексе оборудования успешно выполнен комплекс экспериментальных работ, подтвердивший перспективность промышленного внедрения. Рассматривается вопрос о применении результатов на АО «Завод «Буревестник».

Перспективным технологическим процессом для судостроения является лазерная наплавка. Являясь родственным процессом сварки, лазерная наплавка позволяет обеспечить контролируемое проплавление с минимальным перемещиванием основного и наплавляемого материала. В качестве материала может использоваться металлический порошок, либо проволока.

С целью разработки технологических процессов лазерной наплавки для изготовления и ремонта широкой номенклатуры изделий судового машиностроения АО «ЦТСС» создан специализированный роботизированный комплекс (рис.8) с производительностью газопорошковой лазерной наплавки 1,5-2,0 кг/ч.

Перспективной для ряда задач является наплавка с применением проволоки за счет повышенной производительности и коэффициента использования материала. В частности, на данном комплексе оборудования раз-

работана технология формирования антифрикционной поверхности трения крупногабаритных гребных валов с триботехническими характеристиками не ниже существующих, которая обеспечит снижение трудоемкости монтажных работ тяжело нагруженных движительных систем судов арктического плавания.

Внедрение современных образцов технологического оборудования, разработанного в АО «ЦТСС», на судостроительных предприятиях страны – первый шаг к масштабной модернизации отрасли. Вторым шагом, безусловно, является переход к повсеместному использованию цифровых технологий в судостроении, в том числе во внедрении передовых цифровых решений при проектировании, производстве и эксплуатации автоматизированного оборудования.

Необходимо отметить, что для обеспечения цифровизации производства потребуются:

- обеспечение процедуры абсолютной интеграции всех процессов, связанных с передачей данных в цифровом виде между субъектами, осуществляющими проектные работы и непосредственными исполнителями работ;
- внедрение современных цифровых сварочных источников, средств автоматизации, робототехники, лазерных и аддитивных технологий;
- разработка и апробация новых сварочных материалов;
- цифровизация программы испытаний (части работ) и цифровая сертификация;
- разработка цифровых моделей управления производством на базе информации цифровых моделей проектов;
- обеспечение информационной поддержки полного жизненного цикла производимой продукции.

Все перечисленные решения помогут вывести на принципиально новый уровень качество производимой судостроительной продукции, повысить производительность труда, обеспечить импортнезависимость и ускорить переход к новому технологическому укладу.



СВАРКА и РЕЗКА

23-я международная специализированная
выставка оборудования, приборов
и инструментов для сварки и резки

5-8 апреля 2022



ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ. ПОКРЫТИЯ

Международный специализированный салон



МАШИНОСТРОЕНИЕ

Международная специализированная выставка



ЛИТМЕТЭКСПО

Международная специализированная выставка

Беларусь, Минск,
пр-т Победителей, 20/2
Футбольный манеж

Организатор:



МИНСКЭКСПО

Тел.: +375 17 396 98 58

Факс: +375 17 396 98 58

+375 17 374 99 36

E-mail: e_fedorova@minskexpo.com

Генеральный
информационный
партнер:

Сварщик
и Белоруссия

НАУЧНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “НЕВА 2021”

ДОКЛАД

ОСВОЕНИЕ СВАРОЧНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОПОРНОГО ОСНОВАНИЯ ЛЕДОСТОЙКОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАТФОРМЫ ЛСП “А” ДЛЯ ОБУСТРОЙСТВА ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ “КАМЕННОМЫССКОЕ МОРЕ”

Верещагин А.Н., инженер-технолог

Введение. Современное сборочно-сварочное производство в судостроении включает работы по изготовлению узлов, секций, блоков – модулей и формированию корпуса на стапеле. На изготовление корпусных конструкций и корпуса в целом приходится порядка 10% общей трудоемкости постройки, из которых сварочные работы занимают приблизительно 60%.

В связи с этим перед судостроителями всегда стоит проблема выбора сварочных материалов, что особенно актуально при политике импортозамещения, когда при максимальной производительности и механизации процесса сварки технология должна обеспечить требуемое качество металла шва и равнопрочность сварного соединения.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИИ

Ледостойкая стационарная платформа ЛСП “А” (рисунок 1) является объектом нового строительства и входит в комплекс объектов, предусмотренных проектом обустройства газового месторождения “Каменномысское – море”.

Газовое месторождение “Каменномысское – море” расположено в акватории Обской губы Карского моря с глубинами воды 10-12 м в 22-4-44 км от берега. В административном отношении объекты обустройства месторождения расположены в Надымском районе Ямало – Ненецкого автономного округа Тюменской области Российской Федерации.

ЛСП “А” является ледостойкой стационарной платформой погружного типа со свайным креплением к морскому дну, состоящей из двух конструктивных элементов: корпуса платформы (опорного основания) и верхнего строения – конструкций и оборудования, расположенных на верхней палубе опорного основания. Коллективом отдела главного сварщи-

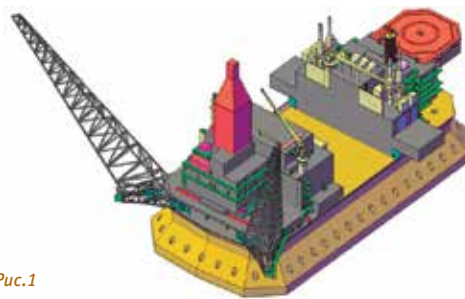


Рис.1

ОСНОВНЫЕ характеристики платформы ЛСП «А»	
Длина наибольшая (со стрелой сжигания), м	200,1
Ширина наибольшая, м	72,5
Высота габаритная от ОП, м	92,2
Масса порожнем, т	40 500
Осадка, при массе порожнем, м	5,5

ка АО “ПО” Севмаш” в ходе конструкторско- технологической проработки проекта были рассмотрены вопросы по сварочному производству при изготовлении секций опорного основания платформы которые включали в себя:

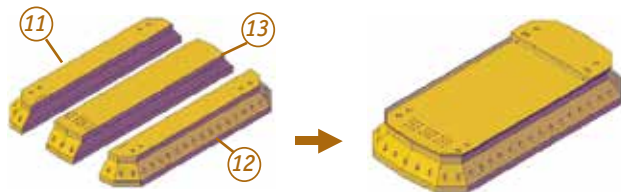
- определение максимально возможного процента механизации сварки;
- проведение анализа рынка сварочных материалов, иностранного и отечественного производства, для

сварки хладостойких сталей применённых на проекте ЛСП “А”;

- определение потенциальных поставщиков сварочных материалов.

Сварочные материалы, предназначенные для сварки буровой платформы, должны обеспечивать, помимо других сварочно-технологических требований, достаточно высокую хладостойкость металла шва. По Правилам Российского Морского

Опорное основание конструктивно разделено на 3 блока: Блок ПрБ – строительно-монтажная единица №11, Блок ЛБ – строительно-монтажная единица №12, Блок ДП – строительно-монтажная единица №13.



№	СМЕ	Габариты LxVxH	Масса, т
11	Блок ПрБ	136,8 x 23 x 17,2	7674
12	Блок ЛБ	146,8 x 23 x 17,2	7605
13	Юлок ДП	139,2 x 23 x 17,2	6674

Основные характеристики ОО ЛСП «А»	
Длина наибольшая, м	139,2
Ширина наибольшая, м	69,0
Высота борта (с дефлектором), м	17,2(19,4)
Высота борта (с палубой бака), м	17,2(21,2)
Масса, т	21242
Осадка, м	2,5

Регистра Судоходства работа ударного изгиба металла шва сварного соединения для сталей с пределом текучести 420МПа и более определяется при температуре на 200С ниже температуры эксплуатации конструкции, а значения требуемой величины работы удара существенно возрастают с увеличением предела текучести её материала. Получение требуемых значений для температур эксплуатации при минус 20 и минус 40°С затруднительно.

В процессе проработки изготовления ЛСП «А», основываясь на опыте изготовления подобных конструк-

ций, основной упор был сделан на механизированную сварку порошковыми проволоками.

Был проведен анализ сварочных порошковых проволок представленных на внутреннем рынке России исходя из требований хладостойкости и прочностных характеристик основного металла различных марок, применённых в проекте платформы, а так же было учтено обязательное требование об аттестации сварочных материалов по правилам РМРС.

Кроме того, согласно совместного Решения Минпромторга России и ООО «Газпром инвест», сварочные мате-

риалы, применяемые для изготовления морских газонефтедобывающих стационарных платформ ледового класса должны иметь Свидетельство об одобрении, выданное Отраслевым Центром сертификации сварочных материалов (ОЦССМ) созданным при НИЦ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей» и должны быть включены в Реестр ОЦССМ.

Всем этим требованиям соответствовал отечественный производитель сварочных порошковых проволок «МАГМАВЭЛД СПб». Были выбраны следующие сварочные материалы:

- сварочная порошковая проволока, диаметром 1,2 мм марки КРОН - ПП 42-20;

- сварочная порошковая проволока, диаметром 1,2 мм марки FCW 140.

Производитель данных марок сварочных порошковых проволок - общество с ограниченной ответственностью «МАГМАВЭЛД СПб», освоило полный производственный цикл изготовления на территории Российской Федерации. Так же необходимо отметить оперативность производителя в плане производства и доставки сварочных материалов.

СВАРОЧНАЯ ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА МАРКИ КРОН - ПП 42-20

Порошковая проволока для дуговой сварки марки КРОН – ПП 42-20, предназначена для механизированной сварки, в составе сочетания проволока / защитный газ (100% CO₂), во всех пространственных положениях (кроме вертикального сверху вниз). В соответствии с Правилами Россий-

Химический состав и механические свойства

Массовая доля элементов, %				
Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
≤0,10	0,3-0,6	1,01-1,5	0,025	0,025
Примечание – Нормы по элементам, не более: меди-0,30%, никеля-0,50%, молибдена-0,20%				

Свойства наплавленного металла при растяжении				Ударная вязкость (КСУ) Дж/ см ²		
Временное сопротивление R _m , МПа	Предел текучести ReL, МПа	Относительное удлинение, A ₅ , %	Относительное сужение Z, %	Температура испытания	Среднее значение для трёх образцов min	Единичное значение на одном образце min
≥530	≥420	≥20	45	-20	≥47	≥47

ского Морского Регистра Судоходства (РМРС) проволока КРОН – ПП 42-20 по механическим свойствам наплавленного металла и сварного соединения соответствует категории ЗУ 40 MS НН. Проволока предназначена для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей нормальной и повышенной прочности, работающих при отрицательных температурах (до -20 °С), таких как D32, D36, D40, E32, E36, E40 и др. Порошковая проволока является шовной по исполнению.

Министерством промышленности и торговли РФ выдано заключение №56042/09 о подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации.

СВАРОЧНАЯ ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА МАРКИ FCW 140

Порошковая проволока для дуговой сварки марки FCW 140, предназначена для механизированной сварки, в составе сочетания проволока / защитный газ (100% CO₂), во всех пространственных положениях (включая вертикального сверху вниз).

В соответствии с Правилами Российского Морского Регистра Судоходства (РМРС) проволока FCW 140 по механическим свойствам наплавленного металла и сварного соединения соответствует категории 4У 40 MS Н5. Проволока предназначена для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей нормальной и повышенной прочности, работающих при отрицательных температурах (до -40 °С), таких как D36, D40, E32, E36, E40, F40 и др.

Министерством промышленности и торговли РФ выдано заключение №55940/09 о подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации.

В процессе испытания данных проволок отмечено следующее:

- Стабильный, устойчивый процесс сварки во всех пространственных положениях
- Минимальное разбрызгивание
- Хорошая отделяемость шлаковой корки
- Минимальная чешуйчатость сварных швов
- Хорошее формирование валиков при сварке во всех положениях;
- Плавный переход сварного шва к основному металлу
- Поверхность валика светлая, глянцевая
- Возможность подбора необходимых параметров режима в широком диапазоне сварочного тока (180-240 А) и напряжения (24-30 В) в зависимости от условий и пространственного положения сварки.

В АО «ПО «Севмаш» порошковые проволоки как отечественного производства, так и импортных поставок проходят исследования, которые позволяют выявить как преимущества, так и отрицательные стороны технологического характера. При этом применяются специальные методики, разработанные специалистами отдела главного сварщика Научно-технологического управления, проверяются соотношения площадей ленты и порошка, ширина

«замка», толщина стенки металлической основы, внутренний диаметр проволоки и др., т.е. те факторы, которые позволяют определить качественные показатели порошковых проволок. Если эти показатели стабильны в различных партиях поставляемых проволок от одного производителя – то это говорит о надежном партнере, у которого на высоком техническом уровне поставлено производство и осуществляется контроль качества выпускаемой продукции. Для примера рассмотрим наших потенциальных поставщиков: ОАО «Электросварки» г. Калининград и ООО «МАГМАВЭЛД СПб» г. Санкт-Петербург.

Выводы.

Общество с ограниченной ответственностью «МАГМАВЭЛД СПб» и изготовленные ими на территории Российской Федерации сварочные материалы марок КРОН ПП 42-20, FCW 140 получили многочисленные признания в области качества, зарекомендовали себя как добросовестные производители и поставщики.

Сварочные порошковые проволоки обладают хорошими сварочно – технологическими свойствами и в полной мере нашли применение при изготовлении конструкций ледостойкой стационарной платформы ЛСП “А” для обустройства газового месторождения “Каменномыское море”.

За период постройки платформы замечаний со стороны сварщиков АО «ПО «Севмаш» по вопросу качества сварочных материалов не поступало.

Химический состав и механические свойства

Массовая доля элементов, %					
Углерод	Кремний	Марганец	Никель	Фосфор	Сера
≤0,12	0,3-0,8	1,0-1,4	0,8-1,1	0,030	0,030
Примечание – Нормы по элементам, не более: меди-0,05%, молибдена-0,05%					

Свойства наплавленного металла при растяжении				Работа удара KV при испытании наплавленного металла на ударный изгиб		
Временное сопротивление R _m , МПа	Предел текучести Re _L , МПа	Относительное удлинение, A ₅ , %	Относительное сужение, Z, %	Температура испытания	Среднее значение для трёх образцов min	Единичное значение на одном образце min
≥530	≥420	≥22	68	-40	≥47	≥47

АКТУАЛИЗАЦИЯ НОРМИРОВАНИЯ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ В СУДОСТРОЕНИИ

Авторы: Воробьев А.Н., Евдокимова Н.С., Горбачева А.А. Россия, Северодвинск, АО «ПО «Севмаш»

Аннотация:

В статье описаны проблемы нормирования расхода сварочных материалов (флюсов) для выполнения автоматической сварки под слоем флюса. Приведены результаты определения коэффициента расхода флюса только на образование шлаковой корки, т.е. полезного расхода флюса на сам процесс сварки, полученные экспериментальным путем. Описаны закономерности расхода сварочных материалов при автоматической сварке под слоем флюса в зависимости от режимов сварки

Основная часть

Норма расхода сварочных материалов – это максимально допустимое плановое их количество на единицу продукции (работы) установленного качества и в планируемых условиях производства. Нормирование расхода материалов проводят с целью установления их планового количества, необходимого для изготовления изделий и обеспечения наиболее рационального и эффективного использования сырья и материалов в производстве [1].

Для автоматической сварки под слоем флюса норма расхода сварочных материалов складывается из двух составляющих – нормы расхода проволоки и нормы расхода флюса, которые предусматривают полезный расход и технологические потери.

Полезным расходом сварочной проволоки является масса наплавленного металла, а к ее технологическим потерям относятся: разбрызгивание и угар при выполнении сварки, остатки проволоки в кассете, обрезка концов проволоки, и т.д. Для флюса полезным расходом является расход флюса на образование шлаковой корки, которая неизбежно образуется в процессе сварки; а к технологическим потерям флюса относится распыление, рассыпание, замена отработанного флюса новым.

При выполнении расчета расхода сварочных материалов, как правило, определяется теоретическая масса наплавленного металла, которая с помощью соответствующих коэффициентов переводится в норму расхода.

Официально утвержденных норм расхода сварочных материалов, обязательных для применения не существует. Так согласно п.1.3.1 ГОСТ 14.322-83: «Нормативы удельных расходов и нормативы удельных отходов и потерь сырья и материалов в производстве по видам производств могут быть: межотраслевыми, отраслевыми и заводскими» [1]. Поэтому, чтобы установить на предприятии нормы расхода материалов, их нужно разработать самостоятельно или обращаться к отраслевым нормам, которые устарели. Все действующие методические указания разработаны в 80-х годах прошлого века.

Другим вариантом является обращения к справочникам или технической, а то и рекламной документации по маркам флюсов, но не у всех производителей сварочных материалов встречается подобная информация. Поэтому предприятия судостроительной отрасли решают проблему нормирования сварочных материалов в индивидуальном порядке. При этом стремятся к самому простому и быстрому решению – использованию укрупненных норм. На стадии технического проектирования, перед изготовлением конструкций, выполняется предварительный расчет расхода сварочных материалов, который производится в соответствии с требованиями руководящего документа РД 5 УЕИА.2585-88 [2]. Данные методические указания являются руководящим документом для всех предприятий и организаций отрасли при определении норм расхода сварочных материалов на стадии технического проектирования. При этом согласно требованиям таблицы 6 РД 5.УЕИА.2585, при выполнении укрупненного расчета норм расхода сварочных материалов для автоматической дуговой сварки под флюсом различных корпусных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей коэффициент перехода от массы наплавленного металла к расходу всех перечисленных сварочных флюсов марок: ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-348А, АН-348АМ, АН-24, АН-42, 48-0Ф-6, 48-0Ф-11, 48-КФ-16, 48-КФ-18, 48-КФ-19, АН-2С, АН-37П и ФИМС-20П, принимается одинаковым и равным 1,35.

Указанные в данном документе коэффициенты перехода от наплавленного металла к расходу флюса не учитывают особенности флюсов, режимы сварки, наличие или отсутствие разделки кромок, толщину основного металла. Все расчеты по данному документу производятся независимо от протяженности и геометрии швов, технологии и режимов выполнения сварки, а только от общей массы конструкции. Однако, в настоящее время документ РД5. УЕИА.2585, разработанный в 1988 году НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» не актуализирован. Данный документ требует срочной проработки, и

приведения норм расхода различных флюсов в соответствии с требованиями времени, добавления актуальных марок сварочных материалов и соответствующих коэффициентов расхода.

Т.к. расчеты по укрупнённым коэффициентам от массы конструкции могут дать только приблизительное представление на раннем этапе разработки проекта, то по мере разработки конструкторской документации возникает необходимость в более точном определении норм расхода. Для этого есть методики, где расчёт наплавленного металла выполняется не от общей массы конструкции, а от геометрических размеров узла сварки и протяжённости швов, которые позволяют достаточно точно определить необходимое количество присадочного материала. Существуют даже целые справочники с таблицами, где для каждого узла сварки и толщины металла приводятся площадь поперечного сечения и масса наплавленного металла. Однако, когда возникает необходимость перейти от массы наплавленного металла к расходу флюса, все равно используется один усреднённый коэффициент, не учитывающий даже толщину, не говоря уже о марке флюса и влиянии режимов сварки на расход флюсов. На практике же коэффициенты расхода флюса могут изменяться в достаточно широком диапазоне и зависят от режимов сварки. При этом расход флюса различных марок при одинаковых условиях также значительно отличается друг от друга. Т.к. разные марки флюсы, схожие по назначению, могут иметь не только разный коэффициент расхода, но и разную стоимость, то более точные расчеты норм расхода позволяют рациональнее подходить к выбору сварочных материалов с экономической точки зрения. Все это приводит к необходимости пересмотра существующих методик расчета или разработке новых.

С целью определения фактического коэффициента расхода флюса в научно-исследовательской лаборатории сварки отдела главного сварщика были проведены опытные работы с плавными флюсами марок АН-47, ОСЦ-45, АН-42А, ФИМС-20П и керамическим (агломерированным) флюсом марки ОК Flux 10.62. Данные флюсы широко применяются на предприятии. Особое внимание в данной работе было уделено флюсам марки АН-47 и ОК Flux 10.62, которые применяются при изготовлении конструкций ледостойкой стационарной платформы ЛСП «А».

Методика проведения испытаний

В лабораторных условиях проблематично смоделировать цеховые условия производства и точно определить сопутствующие этому процессу технологические потери флюса на его распыление, рассыпание в процессе сварки и при замене флюса. Поэтому в рамках данной работы определяется коэффициент расхода флюса только на образование шлаковой корки, т.е. полезный расход флюса на сам процесс сварки.

В данной работе, под коэффициентом расхода флюса

на образование шлаковой корки (далее просто коэффициентом расхода флюса) понимается отношение массы флюса, затраченного на образование шлаковой корки, к массе наплавленного металла:

$$K_{\text{расх. по шл.к.}} = \frac{Q_{\text{флюса}}}{Q_{\text{(н.м.)}}} = \frac{Q_{\text{(шл. к.)}}}{Q_{\text{(св. пров.)}}} \quad (1)$$

где

$K_{\text{расх. по шл.к.}}$ – коэффициент расхода флюса на образование шлаковой корки;

$Q_{\text{флюса}}$ – масса флюса, затраченная на образование шлаковой корки, г;

$Q_{\text{св. пров.}}$ – масса сварочной проволоки, затраченной на выполнение сварки, г;

$Q_{\text{шл.к.}}$ – масса шлаковой корки, г;

$Q_{\text{н.м.}}$ – масса наплавленного металла, г.

Масса флюса ($Q_{\text{флюса}}$), затраченная на образование шлаковой корки, в данном случае равна массе шлаковой корки ($Q_{\text{шл.к.}}$), т.к. в процессе проведения опытных работ замечено, что масса флюса, затраченная на образование шлаковой корки, практически равняется массе шлаковой корки, поэтому незначительными потерями можно пренебречь. Использование для расчетов значения массы шлаковой корки позволяет определить полезный расход флюса без учета его потерь на технологические отходы. Масса сварочной проволоки ($Q_{\text{св. пров.}}$), затраченная на выполнение сварки, в данном случае приравнивается к массе наплавленного металла ($Q_{\text{н.м.}}$), т.к. технологические потери проволоки отсутствуют при проведении опытов.

Результаты опытов по определению фактического коэффициента расхода флюса

В ходе проведения опытов было установлено, что коэффициент расхода флюса на образование шлаковой корки при выполнении автоматической сварки зависит от марки флюса. При этом разные флюсы при выполнении автоматической сварки ведут себя по-разному. Кроме этого на коэффициент расхода флюса также оказывают значительное влияние режимы сварки.

В табл.1 показано, что коэффициенты расхода флюсов марок АН-47 и АН-42А при одинаковых режимах сварки практически равны, а коэффициент расхода флюса ФИМС-20П на этих же режимах сварки заметно меньше. Это объясняется меньшей массой шлаковой корки флюса ФИМС-20, чем у флюсов АН-47 и АН-42А, при одинаковом расходе проволоки. При этом совпадение значений коэффициентов на одних режимах у двух выбранных флюсов может отличаться от значения коэффициентов при других режимах. Так при выполнении наплавки под флюсом марки ОСЦ-45 на тех же режимах, что и при наплавке под флюсом марки АН-47 проволокой Ø3,0 мм, значения коэффициента расхода флюса на малых режимах имеют практически одинаковые значения. Однако по мере увеличения режимов сварки данный коэффициент расхода

Таблица 1 – Сравнение коэффициентов расхода флюсов марки АН-47, АН-42А и ФИМС-20П в зависимости от режимов сварки при применении проволоки диам. 4,0 мм

Режим сварки	Погонная энергия, кДж/см	Тепловая энергия, кДж	Средний расход сварочной проволоки диам. 4,0 мм с марками флюсов, г			Средняя масса шлаковой корки, г			Средний коэффициент расхода флюса на образование шлаковой корки		
			АН-47	АН-42А	ФИМС-20П	АН-47	АН-42А	ФИМС-20П	АН-47	АН-42А	ФИМС-20П
550А/32В/50см/мин	18,02	901,12	205	190	215	325	290	235	1,60	1,53	1,10
750А/36В/50см/мин	27,65	1382,40	295	290	295	360	365	295	1,21	1,26	1,00

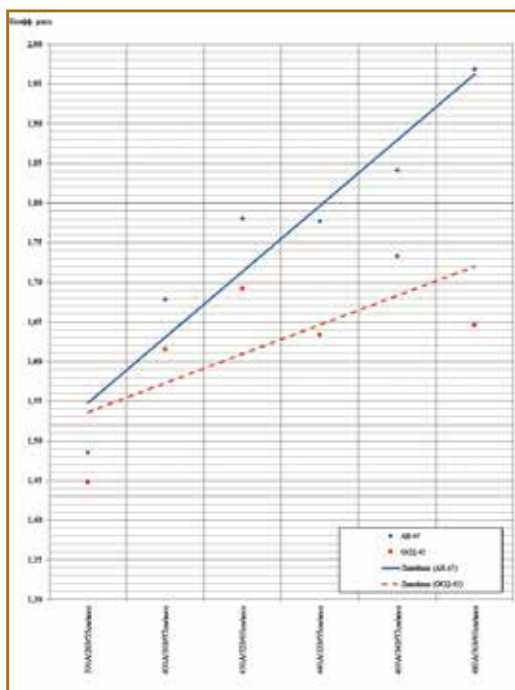


Рисунок 1 – График зависимости коэффициентов расхода флюсов АН-47 и ОСЦ-45 от режимов сварки при использовании проволоки диам. 3,0 мм

Таблица 2 – Сравнение коэффициентов расхода флюсов марки АН-47 и ОСЦ-45 в зависимости от режимов сварки при применении проволоки диам. 3,0 мм

Режим сварки	Погонная энергия, кДж/см	Тепловая энергия, кДж	Средний расход сварочной проволоки диам. 3,0 мм с марками флюсов, г		Средняя масса шлаковой корки, г		Средний коэффициент расхода флюса на образование шлаковой корки	
			АН-47	ОСЦ-45	АН-47	ОСЦ-45	АН-47	ОСЦ-45
390А/28В/55см/мин	10,17	559,10	145	135	215	195	1,49	1,45
400А/30В/57см/мин	10,78	614,40	140	130	235	210	1,68	1,62
410А/32В/60см/мин	11,20	671,74	135	130	240	220	1,78	1,69
440А/32В/55см/мин	13,11	720,90	155	150	275	245	1,78	1,63
460А/34В/57см/мин	14,05	800,77	155	150	285	260	1,84	1,73
480А/36В/60см/мин	14,75	884,74	160	155	315	255	1,97	1,65

флюса ОСЦ-45 возрастает менее интенсивно, чем у флюса АН-47. Наглядно это продемонстрировано в табл. 2 и на рис. 1.

Поскольку расход флюса на образование шлаковой корки напрямую связан с плавлением флюса, можно ожидать некоторой связи между количеством тепловой энергии и количеством расплавленного флюса. В таблице 2 прослеживается связь между погонной энергией и коэффициентом расхода флюса, однако, это объясняется одновременным незначительным увеличением силы тока при сравнительно большом изменении напряжения. Т.к. одно и то же значение погонной энергии может быть получено при разных режимах сварки, были проведены дополнительные опыты с флюсом АН-47, где сила тока, напряжение на дуге и скорость варки менялись независимо друг от друга. Ввиду ограниченности возможностей заводской лаборатории удалось провести небольшое количество опытов, однако проведённого объема работ хватило для определения ряда закономерностей, результаты приведены в табл. 3.

По результатам проведенных опытов явно прослеживается отсутствие взаимосвязи между погонной энергией и коэффициентом расхода. Так при минимальной погонной энергии, которая составляет 14,75 кДж/см, коэффициент расхода флюса составляет 1,93, а при максимальной погонной энергии 27,65 кДж/см – 1,22. Минимальное же значение коэффициента расхода флюса 0,97 получается при значении погонной энергии в 24,58 кДж/см. Опыты, проведенные с керамическим (агломерированным) флю-

Таблица 3 – Фактический расход флюса АН-47 на образование шлаковой корки при наплавке валиков на пластину проволокой марки Св-10ГНА diam. 4,0 мм

Режим сварки	Погонная энергия, кДж/см	Тепловая энергия, кДж	Средняя по режиму масса затраченной проволокой на выполненные сварки, г	Средняя по режиму масса флюса, затраченная для выполнения сварки, г	Средняя по режиму масса шлаковой корки, г	Коэффициент расхода флюса на образование шлаковой корки	
						средн. по режиму	средн. по всем опытам
400А/30В/57см/мин	10,78	614,40	150	380	290	1,93	1,52
570А/32В/70см/мин	13,34	933,89	170	290	300	1,76	
570А/32В/50см/мин	18,68	933,89	205	340	325	1,60	
570А/36В/50см/мин	15,01	1050,62	200	360	355	1,78	
670А/32В/70см/мин	15,68	1097,73	245	370	335	1,37	
770А/34В/65см/мин	20,62	1340,42	290	260	280	0,97	

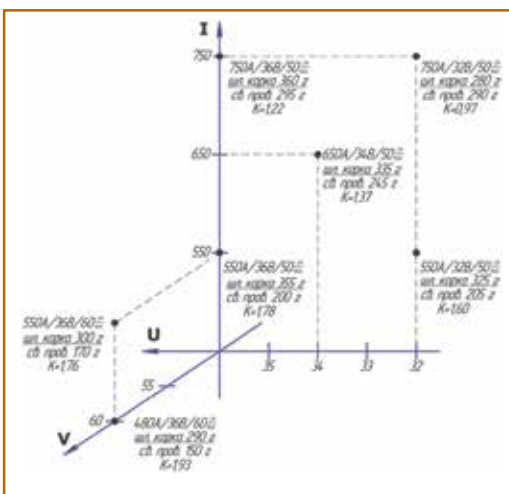


Рисунок 2 – График зависимости массы сварочной проволоки Св-10ГНА diam. 4,0 мм, массы шлаковой корки и коэффициента расхода флюса АН-47 от режимов сварки.

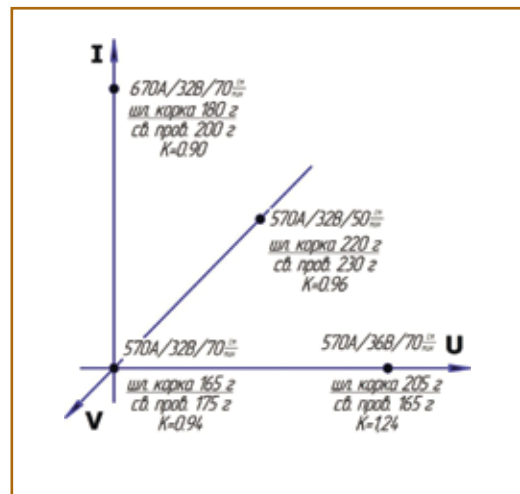


Рисунок 3 – График зависимости расхода сварочной проволоки Св-04Н2ГТА diam. 4,0 мм, массы шлаковой корки, и коэффициента расхода флюса ОК Flux 10.62 от режимов сварки.

сом марки ОК Flux 10.62 также показывают отсутствие взаимосвязи между погонной энергией и коэффициентом расхода флюса.

Как видно из данных табл. 3 и рис. 2 режимы сварки оказывают существенное влияние не только на массу шлаковой корки, но и на расход сварочной проволоки, что в конечном итоге влияет и на коэффициент расхода флюса. Изменение напряжения значительно влияет на массу шлаковой корки и практически не влияет на расход проволоки, что ведет за собой изменение коэффициента расхода флюса. Изменение силы тока незначительно влияет на массу шлаковой корки, но значительно влияет на расход проволоки, что ведет за собой изменение коэффициента расхода флюса. Изменение скорости сварки

в равной степени влияет как на массу шлаковой корки, так и на расход проволоки, что практически не оказывает влияния на коэффициент расхода флюса.

Выявленные с флюсом АН-47 зависимости подтверждаются и опытами, проведенными с флюсом ОК Flux 10.62, результаты которых приведены в табл. 4. Кроме того, в каталоге продукции «ESAB» за 2019 год [3] (см. табл. 5) приводятся значения отношений расхода массы флюса к расходу проволоки в зависимости от напряжения как для флюса марки ОК Flux 10.62, так и для других марок. Например, на рис. 4 [4, 17] наглядно показана различная интенсивность зависимости расхода флюсов ОК Flux 10.40 и ОК Flux 10.80 от напряжения. При этом, неизвестно при каком значении силы тока, скорости сварки и диаметра

Таблица 4 – Фактический расход флюса ОК Flux 10.62 на образование шлаковой корки при наплавке валиков на пластину проволокой марки Св-04Н2ГТА диам. 4,0 мм

Режим сварки	Погонная энергия, кДж/см	Тепловая энергия, кДж	Средняя по режиму масса затраченной проволокой на выполнение сварки, г	Средняя по режиму масса флюса, затраченная для выполнения сварки, г	Средняя по режиму масса шлаковой корки, г	Коэффициент расхода флюса на образование шлаковой корки	
						средн. по режиму	средн. по всем опытам
400А/30В/57см/мин	10,78	614,40	150	170	160	1,07	0,99
570А/32В/70см/мин	13,34	933,89	175	180	165	0,94	
570А/32В/50см/мин	18,68	933,89	230	225	220	0,96	
570А/36В/50см/мин	15,01	1050,62	165	215	205	1,24	
670А/32В/70см/мин	15,68	1097,73	200	180	180	0,90	
770А/34В/65см/мин	20,62	1340,42	250	230	205	0,82	

Таблица 5 – Расход флюса производства фирмы ESAB в зависимости от напряжения дуги

Марка флюса	OK Flux 10.62		OK Flux 10.80		OK Flux 10.40	
	DC+	AC	DC+	AC	DC+	AC
26	0,7	0,6	0,6	0,5	1,0	0,9
30	1,0	0,9	0,9	0,7	1,3	1,2
34	1,3	1,2	1,2	1,0	1,7	1,7
38	1,6	1,4	1,5	1,3	1,9	1,8

проволоки проводились опыты. Также неизвестно, учитывает ли приведенный коэффициент расхода флюса ОК Flux 10.62 расход на технологические потери флюса на расплытие, рассыпание в процессе сварки и при замене флюса.

В своих исследованиях И.И. Фрумин [5, 40–42] приходит к аналогичным выводам, что относительная масса шлака (количество шлака в граммах, приходящегося на 1 г расплавленной электродной проволоки) изменяется в широких пределах. Так при наплавке проволокой из стали диаметром 3,0 мм под флюсом АН-348-А, при обратной полярности и скорости сварки 20 м/час (33 см/мин) она составляет 4,0–4,3 при малом токе и высоком напряжении и всего 0,3 при большом токе и низком напряжении (см. рис. 5). Повышение напряжения дуги весьма значительно увеличивает относительную массу шлака (коэффициент расхода флюса), хотя напряжение вовсе не влияет на температуру столба дуги. Это можно объяснить следующим образом. На внутренней поверхности оболочки, окружающей дугу, флюс нагревается до высоких температур, приближающихся к температуре кипения. При этом вязкость его снижается. Горячий флюс непрерывно стекает вниз, устремляясь на дно сварочной ванны, и вместе с металлом вытесняется из кратера давлением дуги. Непрерывно идет разбавление новыми порциями флюса и энергичное перемешивание, поскольку источник нагрева расположен под флюсом.

Однако, там же он отмечает, что скорость перемещения дуги вызывает увеличение коэффициента расхода флюса. Так при сварке проволокой диаметром 3,0 мм под флюсом марки АН-348-А увеличение скорости с 10 м/час (~16 см/мин) до 40 м/час (~66 см/мин) привело к увеличению с 1,45 до 1,69. Результаты, полученные экспериментальным путем на АО «ПО «Севмаш» расходятся, с результатами, полученными И.И. Фруминым. Изменение скорости в пределах 50 – 70 см/мин не привело к какому либо заметному изменению коэффициента расхода флюса. Также остается под вопросом и влияние диаметра используемой сварочной проволоки, так Фрумин отмечает что: «При прочих равных условиях при наплавке электродом диаметром 3,0 мм относительная масса шлаковой корки (коэффициент расхода флюса) в 1,3–1,8 раза меньше, чем при наплавке электродом диаметром 5,0 мм». Влияние изменения диаметра сварочной проволоки при неизменных режимах сварки на изменение коэффициента расхода флюса в данной работе подробно не рассматривалось. Был проведен один опыт на одинаковых режимах сварки с использованием проволок диаметрами 3,0 и 4,0 мм, при этом существенных различий между данными результатами не обнаружено. Получены значения коэффициентов расхода флюса только на образование шлаковой корки 1,97 и 1,93 соответственно, при этом и масса затраченной проволоки, и масса шлаковой корки получились практически одинаковыми. Отсутствие

Краткая сравнительная характеристика различных марок сварочных порошковых проволок

	ПП-A22/9 (ОАО «Электросварка», г. Калининград)	КРОН-ПП 42-20	FCW-140
Тип кассеты	K200 (5 кг) Пластиковая кассета	K200 (5 кг). Кассета из жесткого пластика черного цвета	K200 (5 кг). Кассета из жесткого пластика черного цвета
Намотка проволоки	Рядная укладка	Рядная укладка	Рядная укладка
Поверхность проволоки	Не омедненная	Не омедненная	Не омедненная
	Гладкая, чистая, без следов смазки	Гладкая, ровная, с следами технологической смазки	Гладкая, ровная, со следами технологической смазки
	Цвет поверхности – серый	Цвет поверхности – серый блестящий	Цвет поверхности – серый
Жесткость проволоки	Трубчатая, не цельнотянутая, с «замком»	Трубчатая, не цельнотянутая, с «замком» без загиба кромок	Трубчатая, не цельнотянутая, с «замком» без загиба кромок
	Жесткая	Мягкая, пластичная (угол загиба ≈220о с образованием надрыва, 90о – при растяжении со стороны замка)	Мягкая, пластичная (угол загиба ≈270о с образованием надрыва, 120о – при растяжении со стороны замка)
Сварочно-технологические свойства:	Отличные свойства	хорошие свойства в С1	хорошие свойства в С1
Разбрызгивание	минимальное	минимальное	незначительное
Шлакоотделяемость	хорошая отделяемость (достаточно плотная шлаковая корка по всему сечению)	хорошая отделяемость (плотная шлаковая корка по всему сечению)	хорошая отделяемость (плотная шлаковая корка по всему сечению)
Формирование	хорошее, равномерное	хорошее, равномерное	хорошее, равномерное
Переход к основному металлу	достаточно плавный переход	плавный переход	плавный переход
Стабильность процесса	стабильный, устойчивый процесс	стабильный, устойчивый процесс	стабильный, устойчивый процесс
- другое	Хорошие СТС, стабильный процесс, небольшое «потрескивание», процесс сварки сопровождается минимальным разбрызгиванием. Поверхность валика светлая, глянцевая. Произвольное отделение (отскакивание) мелких кусочков шлака от поверхности остывающего валика, при формировании валика тонкого по сечению (большая скорость сварки) на его поверхности остаются кусочки шлака, удаление которых затруднено.	Хорошие СТС в С1 – отличная растекаемость наплавленного металла, плавный переход к ОМ, хорошее проплавление, минимальное разбрызгивание, стабильный устойчивый процесс, хорошее равномерное формирование. Поверхность валика светлая, гладкая, глянцевая. Отмечены хорошие сварочно-технологические свойства во всех пространственных положениях, простота подбора режима в достаточно широком диапазоне.	Хорошие СТС в С1 – стабильный и устойчивый процесс сварки с небольшим «потрескиванием», достаточно легкая отделяемость шлака, толщина шлака равномерная и по краям и по центру валика, незначительное разбрызгивание, хорошая растекаемость наплавленного металла, плавный переход к основному металлу. Поверхность валика светлая, глянцевая, с достаточно равномерным формированием. В процессе выполнения сварки отмечена капля на торце проволоки во всем диапазоне режимов сварки, добавление I и II приводит только к увеличению разбрызгивания расплавленного металла.
Ширина «замка» (раскрытие «замка»), мм	раскрытие «замка» - 0,72 – 0,77	раскрытие «замка» - 0,019- 0,042	раскрытие «замка» - 0,027- 0,040
Поперечное сечение проволоки	Дефекты поверхности проволоки при визуальном осмотре	Дефектов металлург. производства не обнаружено. При микроисследованиях выявлены следы загрязнений (волосянистая смазка).	Дефектов металлург. производства не обнаружено. При микроисследованиях выявлены следы загрязнений (волосянистая смазка).

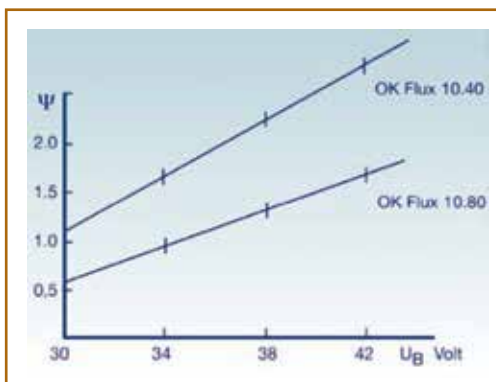


Рисунок 4 – График отношение веса израсходованного флюса к весу расплавленной проволоки в зависимости от напряжения дуги (по данным ESAB)

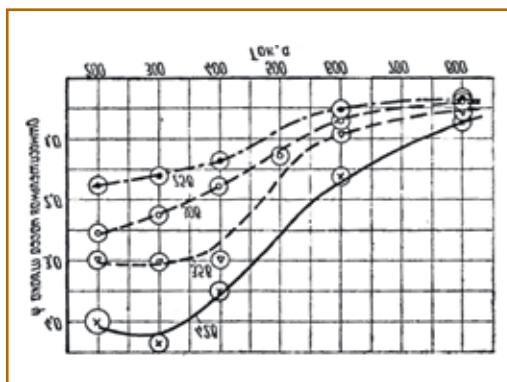


Рисунок 5 – График зависимости относительной массы шлака от режимов сварки под флюсом марки АН-348-А проволокой из стали 70 diam. 3,0 мм, ток обратной полярности, скорость сварки 20 м/час (33см/мин)

существенной разницы в массе наплавленного металла при использовании проволок разного диаметра и при одинаковых режимах сварки можно объяснить тем, что при изменении диаметра сварочной проволоки меняется скорость подачи сварочной проволоки.

Стоит отметить, что на практике режимы сварки, предназначенные для выполнения сварки проволокой диаметром 4,0 мм, не используются при выполнении сварки проволокой диаметром 3,0 мм. При использовании же режимов сварки, характерных для проволоки диаметром 3,0 мм коэффициент расхода флюса только на образование шлаковой корки несколько больше, чем при использовании режимов, характерных для проволоки диаметром 4,0 мм (см. табл. 2 и 3). Это объясняется использованием относительно малых значений силы тока при относительно высоком напряжении для проволоки диаметром 3,0 мм, что приводит к увеличению значения коэффициента расхода флюса.

В рамках данной работы не выявлено какой-либо зависимости между расходом флюсов и их насыпной плотностью, гранулометрическим составом и технологией изготовления. Например, флюс марки ФИМС-20П является плавным стекловидным и имеет аналогичную насыпную плотность и гранулометрический состав, что и флюсы АН-42А, АН-47, ОСЦ-45. Однако масса шлаковой корки при использовании ФИМС-20П несколько меньше массы шлаковых корок образующихся при использовании флюсов АН-42А, АН-47, ОСЦ-45. При этом у схожих по химическому и гранулометрическому составу флюсов АН-47 и АН-42А коэффициенты расхода флюсов на образование шлаковой корки на одинаковых режимах практически равны.

Изучив техническую литературу по данному вопросу, можно предположить, что на расход флюса может оказывать влияние температура его плавления, зависящая от химического состава флюса. Однако у сварочных флюсов

нет точных температур перехода из жидкого состояния в твердое. Флюсы в расплавленном состоянии изменяют вязкость в широком диапазоне температур, поэтому их температуры плавления достаточно условны. Причем под плавлением понимают переход из вязкого состояния в жидкотекучее, а переход из хрупкого состояния в вязкое именуют размягчением [5, 14].

Физические свойства флюса – его теплопроводность, теплоемкость, плотность и зависимость вязкости от температуры также оказывают влияние на процесс плавления флюса. В зависимости от характера изменения вязкости при изменении температуры, встречается разделение флюсов на «длинные» и «короткие». Если вязкость флюса падает полого при повышении температуры, то такой флюс относится к числу «длинных» шлаков и толщина его шлаковой корки несколько увеличивается. Если вязкость флюса резко падает при повышении температуры, то такой флюс относится к числу «коротких» шлаков и толщина его шлаковой корки соответственно уменьшается.

Например, флюс марки АН-348-А является более «длинным», чем флюс марки АН-30. Соответственно относительная масса шлаковой корки при наплавке под флюсом АН-348-А при одинаковых условиях получается больше, чем под флюсом АН-30 [6, 43].

Подобное разделение встречается во многих источниках, однако точной информации о том, какие марки флюсов относятся к числу «длинных» шлаков, а какие к «коротким» не выявлено.

Выводы по определению фактического коэффициента расхода флюса

1. Разные марки флюсов имеют разные коэффициенты расхода флюса, при этом не выявлено какой-либо зависимости между расходом флюсов и их насыпной плотностью, гранулометрическим составом и технологией изготовления, ввиду малого количества опытов.

2. Изменение режимов сварки приводит к изменению коэффициента расхода флюса в достаточно широком диапазоне. Это объясняется тем, что данный коэффициент является отношением двух переменных – массы шлаковой корки к массе затраченной проволоки на выполнение сварки. При этом выявлены следующие закономерности:

- увеличение силы тока уменьшает коэффициент расхода флюса;
- увеличение напряжения увеличивает коэффициент расхода флюса;
- изменение скорости сварки практически не влияет на изменение коэффициента расхода флюса.

3. При этом стоит отметить, что к возможным факторам, которые могут повлиять на данный коэффициент стоит отнести: род тока и его полярность, разделку кромок, угол наклона электродной проволоки, пространственное положение свариваемой поверхности, т.е. сварка «на спуск» и «на подъем».

4. Использование для всех случаев одного фиксированного значения при расчете норм расхода флюса может приводить к ошибочным представлениям о потребности производства в сварочных материалах для автоматической сварки под слоем флюса, т.к. один и тот же объем металла можно наплавить, израсходовав разное количество флюса. Вышеописанное приводит к тому, что для наиболее точного расчета норм расхода флюса необходимо использовать не один усреднённый коэффициент, а целый ряд коэффициентов, показывающих расход флюса в некотором рабочем диапазоне режимов.

5. Если технологические потери можно свести к минимуму путем организационных мероприятий, то потери связанные с процессом сварки можно снизить только использованием других режимов сварки или использованием других материалов, что не всегда целесообразно. Относительно большой расход сварочных материалов не всегда связан с низким уровнем организации производства и сопутствующими излишними потерями, а может объясняться спецификой используемых материалов и особенностями технологического процесса.

6. Разные марки флюсов, схожие по назначению, могут иметь не только разный коэффициент расхода, но и разную стоимость. Это приводит к необходимости более точного расчета норм, которые позволят рациональнее подходить к выбору сварочных материалов с экономической точки зрения.

Заключение

Одним из возможных решений данной проблемы является разработка методики обязательной для всех предприятий судостроительной промышленности, описывающей порядок нормирования как укрупнённых, так и уточнённых норм, но не содержащей обязательных для исполнения самих норм, а только справочные коэффициенты.

Для уточнённого расчета норм расхода сварочных мате-

риалов необходимо производить расчеты от протяженности сварных швов и учитывать максимально возможное количество факторов. Коэффициент расхода флюса на образование шлаковой корки необходимо определять, учитывая марку флюса и режимы сварки. При этом коэффициент расхода флюса должен учитывать только полезный расход флюса на образование шлаковой корки, а технологические потери флюса должны определяться отдельным коэффициентом, учитывающим условия производства.

Предприятия должны иметь возможность самостоятельно устанавливать нормы расхода сварочных материалов, опираясь на единую методику расчета, справочные коэффициенты, собственный опыт и опыт других предприятий отрасли.

Таким образом, все предприятия отрасли будут руководствоваться единой методикой, но не будут строго ограничены в разработке собственных норм, учитывающих специфику отдельного предприятия, технологии, используемых материалов и т.д. Кроме того отсутствие представления предприятия о нормальном расходе при установленной технологии затрудняет сравнение с фактическим расходом материалов, а, соответственно, и оценку эффективности производства.

Общий курс судостроительной промышленности на оптимизацию производственных процессов, их непрерывное совершенствование и внедрение бережливого производства рано или поздно вскроет существующую проблему и приведет к необходимости пересмотра норм расхода сварочных материалов. Поэтому методы нормирования расхода сварочных материалов должны неспешать за достижениями в области техники и технологии, организации производства, новыми материалами, а также за современными способами проектирования. И обеспечивать наиболее рациональное использование и эффективное планирование материалов в условиях конкретного производства.

Список литературы

1. ГОСТ 14.322-83. ЕСТПП. Нормирование расхода материалов. Основные положения.
2. РД 5 УЕИА.2585-88. Сварочные материалы при техническом проектировании в судостроении. Нормирование материалов.
3. «ESAB». Каталог продукции. Сварочные материалы 2019 г. 284 с.
4. «ESAB». Обучение и подготовка. Дуговая сварка под слоем флюса. 31 с.
5. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. – Харьков.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1961 г. 421 с.
6. Потапов Н.Н. Основы выбора флюса при сварке сталей. – М.: Машиностроение, 1979 г. 168 с.

ОБУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА КВАЛИФИКАЦИИ СВАРОЧНОГО ПЕРСОНАЛА В ОБЛАСТИ СУДОСТРОЕНИЯ И СУДОРЕМОНТА

Муллин Александр Васильевич

Руководитель Российского Уполномоченного ИИВ Номинированного органа по сварке, руководитель Международного органа по сертификации сварочного персонала

Обучение и получение квалификации сварщиков на сегодняшний день возможно двумя способами: обучение в системе среднего профессионального образования СПО по специальности 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки)) и обучение в системе дополнительного профессионального образования ДПО в рамках профессиональной переподготовки по программам, необходимым в определенной отрасли.

В результате обучения сварщик получает документ о квалификации, который в соответствии с Федеральным законом от № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», Статья 60 п.10., подтверждает:

1) повышение или присвоение квалификации по результатам дополнительного профессионального образования (подтверждается удостоверением о повышении квалификации или дипломом о профессиональной переподготовке);

2) получение квалификации по профессии рабочего, должности служащего и присвоение (при наличии) квалификационного разряда, класса, категории по результатам профессионального обучения (подтверждается свидетельством о профессии рабочего, должности служащего).

Обучение сварщиков в системе СПО реализуется в образовательных организациях (колледжах) на основе Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) среднего профессионального образования по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки)), утвержденном Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации №50 от 29 января 2016 года. В соответствии с ФГОСом сроки получения СПО по программе подготовки квалифицированных рабочих, служащих по профессии (ППКРС) в очной форме обучения в зависимости от уровня образования, необходимого для приема на обучение по ППКРС, со-

ставляют 10 месяцев для среднего общего образования и 2 года 10 месяцев для основного общего образования. Обязательная часть ППКРС должна составлять около 80 процентов от общего объема времени, отведенного на ее освоение. Вариативная часть (не менее 20 процентов) дает возможность расширения видов деятельности выпускника для обеспечения его конкурентоспособности в соответствии с запросами регионального рынка труда и возможностями образования. Вариативная часть определяется содержанием обязательной части и обеспечивается за счет получения дополнительных профессиональных компетенций, умений и знаний. Дисциплины, междисциплинарные курсы и профессиональные модули вариативной части определяются образовательной организацией.

Таким образом, обучение может быть ориентировано на нужды тех предприятий, которые являются основными потребителями услуг образовательного процесса: сварщиков – выпускников колледжа. Например, колледжи, расположенные в регионах нахождения судостроительных или судоремонтных предприятий, могут специализироваться на обучении сварщиков для судостроения. Так, в Санкт-Петербурге находится Колледж судостроения и прикладных технологий, социальными партнерами которого являются АО «Адмиралтейские верфи», ПАО СЗ «Северная верфь», АО «Балтийский завод» – основные потребители сварщиков.

Российский морской регистр судоходства, который является основным регулятором в области морского судостроения, издал два основополагающих документа в области сварки: «Правила классификации и постройки морских судов, Часть XIV Сварка» и «Правила Технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов. Часть III. Техническое наблюдение за изготовлением материалов». В соответствии с «Правилами классификации...» к выполнению сварочных работ могут быть допущены сварщики, прошедшие испытания в соответствии с международными и/или национальными стандартами (ISO 9606, ASME Sec. IX, ANSI/AWS D1.1), а аттестация и допуск сварщиков-операторов автоматической и роботизированной сварки должен выполняться в соответствии с proceduralными требованиями, аналогичными стандарту ИСО 14732. «Правила Технического наблюдения...» устанавливают, что Аттестационные центры могут создаваться в том числе в учебных заведениях, располагающих квалифицированными специалистами по сварке и необходимой для подготовки и проведения испытаний сварщиков учебно-испытательной базой. Таким образом, вовлечение образовательных организаций СПО в процесс обучения и аттестации сварщиков в судостроительной отрасли вполне возможно в соответствии с документами Российского морского регистра судоходства.

Таблица 1. Международные стандарты, используемые при проведении работ по аттестации сварщиков

Стандарт в документе	Стандарт ISO	Аналог в России (по состоянию на 01.11.2021)
ISO 9606	ISO 9606-1:2012 ISO 9606-2:2004	ГОСТ Р ISO 9606-1-2020 ГОСТ Р 53688-2009 (ISO 9606-2:2004)
ISO 14732	ISO 14732:2013	ГОСТ Р 53525-2009
ISO 4063	ISO 4063:2009	ГОСТ Р ISO 4063-2010
ISO 2560	ISO 2560:2020	ГОСТ Р ISO 2560-2009
ISO 14174	ISO 14174:2019	ГОСТ Р ISO 14171-2021
ISO 17632	ISO 17632:2015	
ISO TR 15608	ISO TR 15608: 2017	ГОСТ ISO/TR 15608-2020
ISO 9017	ISO 9017:2017	
ISO 5817	ISO 5817:2014	ГОСТ Р ISO 5817-2009
ISO 17636	ISO 17636:2013	
ISO 10675-1	ISO 10675-1:2016	
ISO 10675-2	ISO 10675-2:2017	
ISO 17640	ISO 17640:2018	
ISO 23279	ISO 23279:2017	
ISO 11666	ISO 11666:2018	

Вместе с тем «Правила Технического наблюдения...» устанавливают, что обучение сварщиков, контроль и повышение их квалификации и поддержание их компетентности являются ответственностью верфей и предприятий (изготовителей). Т.е. именно предприятия должны быть заинтересованы в получении квалифицированных кадров.

В документе «Правила Технического наблюдения...» упоминаются Международные стандарты, используемые при проведении работ по аттестации сварщиков (Таблица 1). Следовательно, с этими же стандартами должен быть знаком и сам сварщик.

Изучение указанных стандартов возможно в вариативной части ФГОС СПО. Возможный состав вариативной части применительно к судостроению:

- Квалификационные испытания сварщиков (различные части ISO 9606)
- Международные стандарты по квалификации сварочных процедур
- Международные стандарты по сварочным материалам
- Международные стандарты по основным материалам
- Международные стандарты по ис-

пытаниям сварных соединений (не разрушающий контроль, механические испытания и т.д).

- Международная классификация дефектов сварных соединений
- Уровни приемки качества сварных соединений
- Практические занятия по выполнению сварных соединений по стандартам серии ISO 9606 с учетом особенностей судостроительной отрасли
- Практические занятия в условиях ограниченного доступа к сварному соединению.

В соответствии с ФГОС СПО Государственная итоговая аттестация включает защиту выпускной квалификационной работы (выпускная практическая квалификационная работа и письменная экзаменационная работа). Задание на выпускную практическую квалификационную работу может готовиться в соответствии с документом «Правила технического наблюдения ...». Как форма государственной итоговой аттестации выпускников по программам СПО используется Демонстрационный экзамен по стандартам Ворлдскиллс. При этом возможно

проведение первого модуля Демонстрационного экзамена по стандартам серии ISO 9606. В результате выпускник в случае успешной сдачи экзамена по ISO 9606 может получить международный сертификат сварщика. Так, в 2018 г в Чебоксарском электромеханическом колледже был проведен экзамен по стандарту ISO 9606-1:2012 для студентов, участвующих в Демонстрационном экзамене. В результате 6 студентов успешно сдали экзамен и получили международный сертификат сварщика. Работы проводил Научно-учебный центр «Контроль и диагностика», Москва, являющийся аккредитованным в Великобритании (UKAS) Международным органом по сертификации персонала неразрушающего контроля (EN ISO 9712 и EN 4179), сварщиков (EN ISO 9606-1,2), операторов по сварке (EN ISO 14732). Так же НУЦ «Контроль и диагностика» является Уполномоченным Международным институтом сварки (IIW) Органом по квалификации координаторов по сварке IWE, IWT, IWS (ISO 14731) и инспекторов по сварке IWI-B, S, C.

В настоящее время в России развивается программа «Профессионалитет», позволяющая за более короткое время по сравнению с СПО готовить сварщиков. Это программа может привлечь во внимание опыт Международного института сварки (МИС), являющегося законодателем в обучении и квалификации сварочного персонала. МИС разработал модульные программы обучения сварщиков с присвоением квалификации сначала сварщика угловых швов, затем сварщика пластин и как более высокая квалификация сварщик труб. При этом обучение может проходить по разным способам сварки и для разных материалов. Окончательный экзамен проводится по стандарту ISO 9606. Таким образом, сварщик может получить несколько более узких квалификаций, которые нужны ему в данный момент времени на данном предприятии.

RUS WELD

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



24-27.10.22

Международная специализированная выставка
«Оборудование, технологии и материалы
для процессов сварки и резки»

www.rusweld-expo.ru

Организатор



Партнер



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



Под патронажем



Рейтинг 12+



ТРЕБОВАНИЯ К ПРОИЗВОДСТВУ СВАРОЧНЫХ РАБОТ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ В ФЕДЕРАЛЬНЫХ НОРМАХ И ПРАВИЛАХ В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Цукуров О.А., канд. техн. наук.

Ведущий эксперт Russian ANBCC MCS ISO 3834, IIW/EWF

Введение

Настоящая статья является продолжением рассмотрения темы, поднятой в журнале «Мир сварки» №1 (55) за 2020 год под названием «Состояние вопроса о подтверждении соответствия объектов сварочного производства в Российской Федерации и в Евразийском экономическом союзе» в связи с вступлением в силу: - с 1 ноября 2020 г. Федерального закона № 247-ФЗ «Об обязательных требованиях в РФ» и - с 1 января 2021 г. Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Требования к производству сварочных работ на опасных производственных объектах».

1. Целью Федерального закона «Об обязательных требованиях в РФ» (далее – Закон № 247-ФЗ) является систематизация всех обязательных требований к бизнесу и отмены нормативно-правовых актов, которые уже не должны применяться или противоречат другим актам. В соответствии с этим ФЗ, начиная с 2021Аг. при надзоре (в т.ч. Ростехнадзором) не допускается оценка соблюдения обязательных требований, если они вступили в силу до 2020 г. То есть, даже если Правительство не отменит какие-либо акты, то надзорные органы власти при проверках все равно не смогут требовать от предприятий соблюдать обязательные требования, если эти требования начали действовать раньше 2020 г.

С 2021 г. несоблюдение обязательных требований, вступивших в силу до 2020 г., не может являться основанием для привлечения руководства предприятий к административной ответственности.

Отмена актов с обязательными требованиями не означает, что теперь можно ничего не соблюдать. Во-первых, нужно будет соблюдать обязательные требования, если они вступили в силу после 2020 г., либо будут включены Правительством РФ в перечни актов, сохраняющих силу.

В соответствии с упомянутым законом Правительство РФ подготовило объемные перечни нормативно-правовых актов, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при осуществлении надзора, для их отмены.

В их числе подлежит отмене ряд нормативно-правовых актов федеральных органов исполнительной власти (в т.ч. Ростехнадзора), содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении государственного надзора в области промышленной безопасности. (См. Приложение 2 постановления Правительства РФ от 06.08.2020 N 1192).

Среди них отмене подлежит и Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 марта 2014 г. N 102 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Требования к производству сварочных работ на опасных производственных объектах» (далее – ФНП), зарегистрированными Министерством юстиции Российской Федерации 16 мая 2014 г. (рег. N 32308).

Эти ФНП были основным документом, устанавливающим обязательные требования к организации и производству сварочных работ на подведомственных Ростехнадзору объектах, технических устройствах и сооружениях опасных производственных объектов (далее – ОПО).

В ФНП содержались обязательные требования как из области промышленной безопасности (что является основным предназначением ФНП), так и требования к элементам сварочного производства, подпадающим под действие ФЗ РФ «О техническом регулировании» (Далее – ФЗ РФ - 184). И это несмотря на то, что в соответствии со ст. 7 п.1 ФЗ РФ -116 «Обязательные требования к техническим устройствам, применяемым на опасном производственном объекте, и формы оценки их соответствия указанным обязательным требованиям устанавливаются в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании» т.е. ФЗ РФ -184. Пояснение: «технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте, - машины, технологическое оборудование, системы машин и (или) оборудования, агрегаты, аппаратура, механизмы, применяемые при эксплуатации опасного производственного объекта». Ст.1 ФЗ РФ-116.

И эти ФНП действовали до момента их отмены в декабре 2020 года.

(Продолжение статьи в следующем номере)

ФЕЙЕРВЕРК ИЗ ГЛУБИН ОКЕАНА. ОПЕРАЦИЯ «БЕГЕМОТ» ГЛАЗАМИ УЧАСТНИКА СОБЫТИЙ

**Окованцев Александр Николаевич, капитан 1 ранга запаса
кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Секции прикладных проблем
при Президиуме РАН (Санкт-Петербургское отделение)**

С чего все началось...

Затаянная в 1985 г. Михаилом Сергеевичем Горбачевым программа «перестройки» до сих пор вызывает много споров вокруг ее целей и содержания. Результаты, безусловно, печальные. Попытки угодить Западу привели к утрате позиций, в первую очередь, в стратегических областях геополитики и экономики. Взамен не получили ничего, кроме расширения НАТО.



*Как это было... Бегемот 2.
Рисунок автора (бумага, акварель,
карандаш, 2021 г.)*

Гласность и плюрализм дали «прекрасные» всходы на базе начинающего разваливаться под ударами «перестройки» Советского Союза. Не обошло это и Военно-Морской флот. Группой офицеров Главного штаба ВМФ был поднят вопрос о качестве приемки кораблей в состав флота. Источником недовольства явилась цепь событий, связанных с имевшей место «традицией» принятия кораблей от промышленности с частью невыполненных работ (которые потом завершались в пункте базирования), подстегнутой гибелью АПЛ К-278 «Комсомолец» в результате пожара в Норвежском море 7 апреля 1989 г. Были предъявлены претензии к промышленности и Главнокомандованию ВМФ по работе отдельных корабельных систем, главным образом, обеспечивающих борьбу за живучесть оружия и технических средств, а также систем спасения личного состава. Наряду с этим было высказано сомнение в возможности выполнения РПЛ СН ракетной стрельбы полным залпом.

Причем справедливая критика дополнялась заявлениями всякого рода «отщепенцев», которые поносили флот, утверждая, что он ни на что не годится. И лодки не те, и экипажи плохие, и оружие не то...

Как вспоминает адмирал флота Владимир Чернавин, последний Главнокомандующий ВМФ СССР: «У нас некоторые есть такие знатоки Военно-Морского флота, которые особенно в начале перестройки на всех программах говорили, что наши подводные лодки плохие, американские хорошие... Наши лодки не имеют военной значимости, они шумные, экипажи плохие, командиры плохие, высшее руководство ничего не соображает. И поэтому за каждой лодкой цепляется американская лодка и осуществляет ее слежение, бросает ее только при возвращении в базу». С другой стороны, во второй половине 1980-х гг. шли интенсивные советско-американские переговоры о сокращении стратегических наступательных вооружений, результатом которых стал Договор о ликвидации ракет средней и меньшей дальности, подписанный Михаилом Горбачёвым и Рональдом Рейганом 8 декабря 1987 г. Одновременно существовали требования Договора об ограничении стратегических вооружений (ОСВ-1 1972 г. и его продолжение ОСВ-2 1979 г.), который ограничивал количество баллистических ракет и пусковых установок. 31 июля 1991 г. президент США Джордж Буш и его

советский коллега Михаил Горбачев подписали в Москве Договор о сокращении стратегических наступательных вооружений СНВ-1. По его условиям, страны должны были в три этапа (по семь лет) на четверть или треть уменьшить количество самых опасных видов оружия: межконтинентальных баллистических ракет и ракет подводного базирования. Главной стала проблема, какую из составляющих ядерной триады (стратегическая авиация, ракетные войска стратегического назначения, морские стратегические силы) сокращать, в каких пропорциях и количествах.

Таким образом, во второй половине 1980-х гг. наш Военно-Морской Флот был подвергнут давлению с двух сторон. В первую очередь он оказался одной из жертв «гласности», во вторую – сложившейся обстановки во внешней политике. Да и внутренней тоже. Например, указ М. Горбачева об увольнении «студентов» из вооруженных сил нанес чувствительный удар, в частности, и по МСЯС. Автор статьи был в то время флагманским специалистом ракетного оружия дивизии РПЛ СН и остался в одиночестве без личного состава, поскольку ракетные боевые части РПЛ СН, как наиболее «наукоемкие», укомплектовывались в основном из призывных студентов, а взамен, разумеется, никого не прислали.

На фоне заявлений, в том числе и в высших кругах Министерства обороны СССР, о том, что ракетные подво-

дные лодки не в состоянии стопроцентно выполнить основную боевую задачу, наряду с высокой стоимостью их содержания, вырисовывалась очевидная перспектива их сокращения. Возникла острая необходимость подтверждения эффективности морской составляющей ядерной триады в выборе, в какой пропорции производить сокращения компонентов стратегических ядерных сил.

В этой сложной обстановке Главком-



Заместитель главнокомандующего ВМФ по кораблестроению и вооружению (1986–1992) адмирал Федор Иванович Новоселов. Служил в ВМФ более 40 лет. Лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, премии имени В.П. Макеева. До этого с 1972 по 1986 гг. – начальник управления ракетно-артиллерийского вооружения ВМФ. Замечательный человек и мудрый руководитель. Сыграл огромную роль в строительстве великого океанского ракетно-ядерного атомного флота под началом главкома ВМФ адмирала Флота Советского Союза С.Г. Горшкова и адмирала флота В.Н. Чернавина. Именю с его легкой руки операция по проведению залповой стрельбы с РПЛ СН полным боекомплектом баллистических ракет получила шифр ОКР «Бегемот» (фотография из открытых источников). И после увольнения в запас Федор Иванович принимал и принимает активное участие в жизни флота и подготовке офицерского состава.

мату ВМФ удалось на Правительском уровне добиться принятия решения о проведении испытаний по залповой стрельбе с РПЛ СН полным боекомплектом баллистических ракет. И назвали эту программу испытаний кодовым шифром «Бегемот».

Но вернемся к делу. Целью испытаний являлись:

- проверка обеспечения залповой стрельбы полным боекомплектом БР;
 - подтверждение принятых для РПЛ СН технических решений по средствам одержания при залповой стрельбе полным боекомплектом БР.
- Для справки: суммарный вес стартовых ракет, покидающих шахты РПЛ СН – около 688 тонн, вес воды, падающей в шахты после выхода ра-



Адмирал Ф.И. Новоселов на факультете вооружения ВМА им. Адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. Слева от него – начальник факультета капитан 1 ранга В.Л. Тарасов, справа – автор статьи, заместитель начальника факультета по учебной и научной работе капитан 1 ранга А.Н. Окованцев (фотография начала двухтысячных годов из личного архива автора).

кет, – примерно 780 тонн. Скорость лодки на уровне минимально управляемой – около 4 узлов. Стартовый коридор по глубине – 10 метров. Открытие крышек шахт высвобождает около 25 кубометров воздуха, находящегося под полусферами крышек и резко затормаживает движение корабля за счет увеличения гидродинамического сопротивления. Все



Ракетная шахта РПЛ СН 667 БДРМ проекта (фотография из открытых источников).

это оказывает сильное влияние на дифферентовку и управляемость корабля.

Для проведения стрельбы был изготовлен специальный комплект «бросковых» ракет Р29РМБК, в которых большая часть компонентов ракетного топлива замещалась весовыми добавками. Эти ракеты, чтобы не пугать американцев и проч., должны были после старта с ПЛ подниматься на высоту около 4 км с дальнейшей самоликвидацией.

Если вспомнить условия, в которых готовились и проводились испытания, то это был один из самых сложных для ВМФ периодов функционирования. Система технического обеспечения кораблей, которую, наконец, к этому времени удалось сформировать и настроить, встала и начала пробуксовывать из-за отсутствия финансирования и множества других причин. Флот в буквальном смысле «разваливался» под ударами «перестройки». Кроме того, начался отток флотских военных и гражданских специалистов.

И в этих условиях не удивительно, что первая попытка испытаний, которая была осуществлена 5 декабря 1989 г. на подводной лодке К-84 «Екатеринбург», закончилась неудачей. Причиной явился ряд организационно-технических ошибок при подготовке и проведении испытаний, отсутствие должного обеспечения. Из-за технологических неисправностей нескольких ракет Р29РМБК произошла отмена предстартовой подготовки, а в результате поспеш-

ных ошибочных решений комиссии, находившейся на борту, одна ракета была разрушена, и несколько выведено из строя. Этого можно было избежать, если бы после первых признаков неисправностей, как предписывают руководящие документы, подводная лодка вернулась в базу, и комиссия в спокойной обстановке могла бы разобраться в сложившейся ситуации для принятия решения о продолжении испытаний. Но сработал еще один негатив. Стреляли под самую «елочку». Торопились – хотелось встретить Новый год дома.

Несправедливо будет заявить, что к испытаниям на РПЛ СН «К-84» под командованием опытного командира капитана 1 ранга А.Д. Бакуменко готовились несерьезно. Было отработано все, что в тех условиях было возможно и невозможно. Но случилась авария. На этом закончилась операция «Бегемот 1».

Однако же испытания надо было продолжать. После тщательного разбора результатов представителями МОМ, МСП и ВМФ, были сделаны соответствующие выводы, и составлен акт, в котором были отражены организационно-технические мероприятия, которые надо выполнить, назначены ответственные исполнители.

Для продолжения испытаний (уже под кодовым шифром «Бегемот 2») была выбрана РПЛ СН «К-407», которая достраивалась на СМП. Кроме того, стрельба планировалась с акватории Баренцева моря, а не с Белого, как в предыдущий раз.

В конце декабря 1990 г. РПЛ СН «К-407» вошла в состав Северного флота, экипаж был введен в первую линию. В процессе подготовки ракетный комплекс был штатно доработан под РМУ. Также были выполнены некоторые конструктивные доработки системы одержания корабля. В ходе выходов в море на отработку курсовых задач были проведены проверки эф-



Экипаж К-407 (командир – капитан 2 ранга С.В. Егоров, третий слева) (фотография из открытых источников).

фективности выполненных работ по всем доработкам. Результаты проверок показали практическую возможность одержания корабля в заданном коридоре стартовых глубин.

В ходе подготовки испытаний комиссией было принято решение о готовности корабля и экипажа к проведению залповой стрельбы полным боекомплектом, состоящим из 14 бросковых (ракеты Р29РМБК) и двух штатных ракет Р-29РМУ по программе летных испытаний.

Предварительно 14 июня 1991 г. было выполнено успешное контрольно-серийное испытание ракеты Р29РМБК. Проведение испытаний подтвердило правильность принятых конструктивных и технических решений, и партия ракет Р29РМБК была допуще-

на к проведению залповой стрельбы по программе «Бегемот».

31 июля была закончена погрузка всего боекомплекта.

В целом подготовка к испытаниям проводилась согласно штатной организации. Нервотрепки особой не было, если не считать нервотрепкой вообще службу на флоте, особенно в то время. Дополнительных комиссий не привлекалось. Безусловно, экипаж был подвержен повышенным эмоциональным и физическим нагрузкам, как это бывает накануне практической стрельбы. А тут еще и полным боекомплектом! Да и вообще тяжело вводится в первую линию, особенно после относительно спокойной службы на новостройке в Северодвинске. Тем не менее, экипаж под руководством (подчеркиваю) молодого командира – капитана 2 ранга Егорова Сергея Владимировича – с честью справился со всеми задачами.

На готовность к стрельбе корабль был последовательно проверен штабами дивизии, флотилии и управлением боевой подготовки СФ совместно с управлением ракетно-артиллерийского вооружения и техническим управлением СФ. Была и московская комиссия,

которая не особенно вмешивалась в ход событий (что подчеркивает профессионализм офицеров Главного штаба).

В настоящий момент в интернете появилась информация о том, что была негласная установка не допустить корабль к стрельбе. Сегодня это звучит красиво. Они не допускали, а мы все равно выполнили! Однако эта версия, с моей точки зрения, не соответствует истине.

Во-первых, испытания никто не отменял и отменить не мог хотя бы потому, что было израсходовано огромное количество государственных средств и сил личного состава флота и специалистов промышленности. В том числе однозначно встал бы вопрос: что теперь делать с 14-ю ракетами Р29РМБК, которые боевому использованию не подлежат?..

Во-вторых, после неудачи при первом испытании необходимо было во что бы то ни стало успешно завершить программу, иначе мы потеряли бы веру в свое оружие.

В-третьих, командованием флота на автора статьи была возложена задача планирования организационно-технических мероприятий и взаимодействия с органами управления ВМФ, СФ и промышленности, а также контроля подготовки к выполнению испытаний и непосредственного участия в подготовке и испытаниях. Чем он и занимался, регулярно докладывая по команде о состоянии дел. Все шло в рабочем порядке, и кроме нацеливания на успешное выполнение испытаний, никаких вводных ни из каких инстанций не было.

Можно привести и другие доводы.

5 августа после выполнения регламентных проверок ракетного комплекса мы провели последнее заседание комиссии, на котором ответственные исполнители доложили о готовности к работе. Заседание было достаточно коротким и деловым. Дебатов и сомнений не было. Было принято окончательное реше-



Ковалёв Сергей Никитич – Генеральный конструктор советских РПЛ СН. Дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии и Государственной премии СССР, РФ, кавалер четырёх орденов Ленина, кавалер ордена Октябрьской Революции, действительный член РАН, доктор технических наук (фотография из открытых источников).

ние о готовности корабля к выполнению программы. Было отмечено, что подготовка технических средств ПЛ производилась в соответствии со штатной эксплуатационной документацией и по совместному решению МОМ, МСП, ВМФ. Готовность систем оформлена техническими актами и заключениями.

В работе принимало участие военное командование: руководитель учения – контр-адмирал Бескоровайный Владимир Герасимович, председатель комиссии – контр-адмирал Сальникова Леонид Михайлович, помощник руководителя учения – капитан 1 ранга Макеев Владимир Михайлович, помощник руководителя учения на корабле-контролере – капитан 1 ранга Дронов Владимир Николаевич, консультант помощника руководителя учения на корабле-контролере – капитан 1 ранга Кислов Олег Константинович (начальник отдела УРАВ СФ), контролеры ракетной службы: капитан 2 ранга Окованцев Александр Николаевич (отдел главного специалиста по РАО управления боевой подготовки СФ), капитан 2 ранга Мелентьев Юрий Владимирович (УРАВ



Ролин Лев Николаевич – Заместитель генерального конструктора Государственного ракетного центра имени академика В.П. Макеева. Участник разработки и организации серийного производства и эксплуатации трех поколений стратегических морских комплексов. Лауреат Государственной премии СССР. Награжден орденами Ленина, Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, «Знак Почёта», медалями (фотография из открытых источников).

СФ), контролер БЧ-2 капитан 2 ранга Иваненко Сергей Владимирович (флагманский специалист по РО 13 ДИПЛ) и другие. От ЦКБ МТ «Рубин» присутствовал генеральный конструктор Ковалёв Сергей Никитич. От ГРЦ им В.П. Макеева – заместитель генерального конструктора Роллин Лев Николаевич. Оба были и на выходе на стрельбу.

Рано утром 6 августа РПЛ СН «К407» отдала швартовы и, гоня перед собой упругую свинцовую волну, устремилась в район огневых позиций. За ней следовал корабль-контролер. Страха не было. Было только одно желание – выполнить поставленную задачу. Правда, на всякий случай, я протер маску закрепленного за мной ИДА-59 спиртовым тампоном. Это, по идее, надо делать перед каждым выходом в море, а не в первый раз за 16 лет службы на ПЛ.

После погружения мы с Мелентьевым Ю.В. и Иваненко С.В. проинструктировали личный состав, проверили исходное состояние ракетного комплекса, доложили на ГКП о готовно-

сти ракетной боевой части к залповой стрельбе и расписались об этом в вахтенном журнале корабля.

В 20.45 лодка погрузилась на стартовую глубину. После обеспечения нормальных условий старта контролер ГПК дал «добро» на начало предстартовой подготовки. В 21.10 – старт первой ракеты, через несколько секунд – старт второй. Время растянулось в ощущениях. В сознании каждого оператора на ГПК отсчитывались, как в замедленном метрономе, положенные на выполнение предстартовых операции секунды.

Переживания были оправданы. По распоряжению УРАВ ВМФ на ракеты Р29РМБК были установлены приборные отсеки с предельными сроками эксплуатации. Конечно, это было отработано по-хозяйски. Новые приборы должны послужить для других целей. Но очень хотелось избежать дополнительных неприятностей.

Вот отказ резерва по одной ракете, вот еще один... Но наша советская техника надежна, а конструкторы предусмотрительны – дублирование систем уникально. И вот он – сладкий миг победы – доклад командира БЧ-2 капитана 3 ранга Березина: «Есть старт шестнадцатой!». Шестнадцатой по счету, поскольку ракеты стартовали по специальной «змейке» для обеспечения максимально возможной дифферентовки лодки (фактически последней в зале была ракета из шахты №6).

В центральном повисла тишина. А потом радостное – УРА!!!

Пуск ракет прошел успешно. Все «удовольствие» составило полторы минуты. Летите с миром, голубки!

Корабельные системы отработали в штатном автоматическом режиме. За время автоматической предстартовой подготовки лодка четко держала положенную глубину. Первые два пуска были выполнены практическими ракетами. Боевые блоки ракет прибыли на боевое поле «Кура» на Камчатке в район заданных точек прицелива-

ния с оценкой «отлично». Задачи программы испытаний выполнены полностью. Проведённые испытания ракетного комплекса и РПЛ СН проекта 667БДРМ залповой стрельбой полным боекомплектом подтвердили возможность одержания корабля на стартовой глубине. Полученные данные по фактическим возмущениям, действующим на лодку, позволили уточнить методику тренировки личного состава по управлению кораблём в условиях залповой стрельбы, имитируемой общекорабельными системами.

Безусловно, эта дорогостоящая программа оправдала себя по всем статьям. Флот и промышленность приобрели бесценный опыт по анализу реальной работы общекорабельных обеспечивающих систем и ракетного комплекса в процессе залповой стрельбы. Такие процессы практически невозможно заменить натурным или математическим моделированием. Мы вновь поверили в свое оружие, в свои корабли. Теперь у нас есть уверенность: если надо, мы это повторим. Кстати, американцы, считавшие, что с Россией можно уже «не церемониться», поняли, что поторопились с оценкой обстановки. И стали сговорчивее на переговорах по сокращению вооружений.

Можно ли назвать эту работу подвигом? Наверное, можно, если учесть, в какой обстановке она выполнялась. И я в глубине души горжусь, что и моя роль в этом присутствует. Но с другой стороны, это была наша повседневная работа. И в том же 1991 г. только РПЛ СН Северного флота выполнили 11 практических стрельб. В том числе и запуск первого спутника с возвращаемой полезной нагрузкой.

Успех испытаний явился результатом деятельности тысяч специалистов военно-промышленного комплекса, начиная от простого рабочего до мастера и инженера, программиста, конструктора и многих других. Это – результат деятельности наших под-

водников от матроса до адмирала, офицеров штабов и управлений, которые служили не за зарплату.

Оценивая современную ситуацию, представляется, что в мире нет ни одной армии, способной нанести поражение России. Но, как показал исторический опыт, никто к нам в одиночку не приходит. И нам каждый раз приходится воевать с объединенной силой европейских и азиатских государств. И сегодня перевес сил вероятного противника на всех стратегических направлениях кратен.

Однако наличие надежного ракетно-ядерного щита может помножить на ноль желание любого агрессора посягнуть на интересы нашей России. Особо хочется отметить МСЯС, способные наносить удары в кратчайшее время с любого направления при любых метеоусловиях днем и ночью, с чистой воды и из-под льда, обходя системы ПРО вероятного противника. Даже два-три «выживших» РПЛ СН в состоянии причинить неприемлемый ущерб противной стороне.

Хочется сказать большое спасибо блистательным советским и российским ученым и конструкторам, создавшим это замечательное оружие, и, конечно, нашими подводникам, положившим свою жизнь на алтарь Отечества.

Литература

1. Середюк П.В. *Гром над океаном. Научно-популярный сборник статей по истории флота и судостроения «Гангут», 2011. № 63.*
2. Сергеев А. *Генеральная репетиция ядерного апокалипсиса.* <https://spbdeevnik.ru/news/2018-04-23/generalnaya-repetitsiya-yadernogo-apokalipsisa>.
3. *Разоружение в современном мире: договоры, конвенции, результаты* ria.ru 18:32 24.10.2007 (обновлено: 12:53 07.06.2008).
4. Новоселов Ф.И. *100 лет созданию современного ракетно-ядерного флота России.* pvo.ng.ru/history/2010-03-19/14_rockets.html. 2010 г.

ВЕСНА 2023

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ПО СВАРКЕ, РЕЗКЕ
И РОДСТВЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ**

**СВАРКА/
WELDING
2023**



ufi
Approved
Event



WELDING.EXPOFORUM.RU



ISO 3834
EN 1090-1

AJA EUROPE –

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОРГАН
ПО СЕРТИФИКАЦИИ СВАРКИ
И МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

- ✓ Европейская аккредитация (ACCREDIA, UKAS)
- ✓ Российские аудиторы
- ✓ Единственный в РФ и ЕАЭС учебный центр Американского института нефти API
- ✓ Нотификация Еврокомиссии по директиве 305/2011 (CE маркировка)
- ✓ Российское представительство в г. Санкт-Петербурге

КОНТАКТЫ:

+ 7 812 929 76 33

info@ajaregistrars.ru

ajaregistrars.ru

