

УДК 621.791

СВАРОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОТВЕТСТВЕННЫХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В. П. КУЛИКОВ, А. Г. ЛУПАЧЕВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Сварка является ведущим технологическим процессом при изготовлении большинства металлических конструкций. Например, современный легковой автомобиль имеет более 5 тыс. сварных соединений, выполненных различными способами сварки, каждый километр магистрального газопровода имеет около 1,5 км сварных швов, в каждом компьютере, планшете или мобильном телефоне сотни соединений, выполненных лазерной сваркой. Ракета, самолет или подводная лодка – это также сварных конструкции, имеющие огромное количество сварных швов. Сварка широко применяется при сооружении и монтаже промышленных технологических комплексов, производственных зданий и сооружений, объектов энергетики, нефтепереработки, химических производств. От качества сварки во многом зависит прочность, надежность и другие потребительские свойства изделия или конструкции.

В Беларуси сооружается большое количество объектов с применением сварки. Идет постоянная модернизация и выполняются ремонтные работы по продлению ресурса на Мозырском и Новополоцком нефтеперерабатывающих заводах, на Солигорском калийном комбинате, Гродненском объединении «Азот» и др. Сооружаются новые объекты такие как Новолукомольская и Березовская ГРЭС, Добружский бумажный комбинат, Светлогорский химический комбинат отбеленной целлюлозы, Белорусская атомная электростанция и др.

Следует отметить, что в силу объективных причин на территории республики нет научно-исследовательских отраслевых институтов, т. к. НИИхимпром, НИИнефтехим, НИИЭнерготехстрой и др., которые в советские времена курировали технологические работы в своей отрасли. Сейчас предприятия самостоятельно решают вопросы модернизации и ремонта, часто не имея достаточного количества специалистов в таких специфических направлениях как сварка.

Поэтому кафедра «Оборудование и технология сварочного производства» университета постоянно выполняет хоздоговорные работы по разработке технологических процессов сварки тех или иных объектов. Однако, к концу 90-х гг. стало понятно, что проблему качества сварочных работ в республике одними хоздоговорами решить невозможно. Требовался системный подход к качеству сварки и созданию координирующего центра по его реализации. Поэтому головное Государственное ведомство по надзору за безопасным ведением работ в промышленности (Госпромнадзор) в 2000 г.

своим решением назначил Белорусско-Российский университет (в то время МГТУ) в лице кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» головной организацией по сварке на промышленных объектах повышенной опасности и утвердил положение, в соответствии с которым головная организация могла разрабатывать и реализовывать политику в области сварки на данных предприятиях.

Для реализации функций головной организации были изучены стандарты серии ISO 9000 «Системы менеджмента качества», проанализированы причины аварий и разрушений конструкций по сварным швам, произошедшие в республике, обобщен опыт работы крупных организаций, занимающихся сваркой: Промтехмонтаж, Нефтезаводмонтаж, Белэнергоремналадка (БЭРН) и др. На основании анализа определены шесть основных системных факторов, от которых зависит качество сварки и направления, в которых необходимо работать для его улучшения.

1. Качество работы сварщика.
2. Качество работы ИТР, руководящих сварочными работами.
3. Качество сварочного оборудования.
4. Качество сварочных материалов.
5. Качество операций неразрушающего контроля.
6. Качество разработки технологического процесса сварки.

Совместно с такими организациями как Госпромнадзор, Госстандарт, Концерн порошковой металлургии (в лице хозрасчетного подразделения «Институт сварки»), БНТУ, «Стройтехнорм», а в последствие Госатомнадзор первоначально была создана нормативно-правовая документация, позволяющая реализовать на практике работы по улучшению качества по каждому из перечисленных направлений. Были созданы стандарты по аттестации сварщиков и ИТР, по правилам разработки и квалификации технологических процессов сварки, по сертификации сварочного оборудования и материалов, разработаны требования к персоналу и лабораториям неразрушающего контроля и механическим испытаниям. Все документы были гармонизированы с Европейскими нормами и правилами, а стандарты приняты полностью идентичными с Европейскими стандартами серии ISO. К 2008 г. эта работа в основном, была завершена.

Для практической реализации вопросов повышения качества сварки на предприятиях Республики Беларусь в 2008 г. в Белорусско-Российском университете было создано самостоятельное хозрасчетное подразделение «Центр сертификации и испытаний». По перечисленным выше направлениям Центром проведена и проводится следующая работа.

1. По результатам инспекционного контроля Центра представителями четырех различных ведомств получены разрешения на аттестацию сварщиков, работающих на объектах: Госпромнадзора, Госатомнадзора, Министерства строительства и архитектуры. Получена также Государственная аккредитация от Госстандарта на сертификацию сварщиков для всех отраслей промышленности и строительства. Создана и аккредитована в Госстандарте лаборатория механических испытаний

сварных соединений при аттестации и сертификации сварщиков, соответствующая международным требованиям.

2. Совместно с Институтом повышения квалификации университета и кафедрой «Технологии металлов» создана система подготовки и переподготовки ИТР в области сварочного производства. Курсы проводятся по трем направлениям: промышленность, строительство, атомная энергетика. Центром получены ведомственные разрешения на проведение процедур аттестации ИТР, а также аккредитация Госстандарта на право выдачи обучающимся сертификата Государственного образца. Центр является единственной организацией в республике, имеющей подобную аккредитацию.

3. Совместно с кафедрами «Физика» и «Электротехника» созданы и аккредитованы в Госстандарте лаборатории по испытаниям сварочного оборудования и сварочных масок. Лаборатории внесены в реестре таможенного союза. Выдаваемые сертификаты соответствуют регламентам таможенного союза и действуют на всей его территории. Следует отметить, что лаборатории по испытанию сварочных масок всего две на всем пространстве Евразийского союза.

4. В рамках Центра сертификации и испытаний аккредитован Государственный орган по сертификации сварочных материалов и оборудования. Создана и аккредитована лаборатория по испытаниям сварочных электродов и проволоки. Аттестовано оборудование по испытанию принадлежностей для газового хозяйства – баллонные редукторы, предохранительные клапаны, газовые горелки, резаки и др.

5. Лаборатория неразрушающего контроля находится в стадии организации, т. к. требует больших капиталовложений.

6. Важнейшим элементом обеспечения качества сварки является разработка надлежащего технологического процесса сварки. В понятие технологически процесс входит: выбор способа сварки, выбор параметров режима сварки, типа сварного соединения и вида подготовки свариваемых кромок, необходимость назначения предварительного подогрева металла перед сваркой и его режимы, выбор параметров термообработки сварного шва, позволяющих получить необходимую структуру соединения, обеспечение коррозионной стойкости шва и многое другое.

Центр не только имеет разрешение на выполнение этих работ, но и полномочий обязательного утверждения техпроцессов, самостоятельно разработанных предприятиями. Ни одно сварное соединение в республике на ответственных объектах не может быть сварено без утверждения технологии в Центре сертификации и испытаний университета. Для реализации этих полномочий в Центре создана и аккредитована в Госстандарте лаборатория, которая может проводить различные виды механических испытаний, химический анализ металла шва, измерение твердости и микротвердости, исследование макро и микроструктуры шва, испытания на межкристаллитную коррозию, определение количества α -фазы в структуре шва и др. Лаборатория укомплектована современным оборудованием:

разрывной машиной усилием 100 т, спектрометром GNRSCP, микротвердомером AFRI и др.

Наличие современной лаборатории позволяет разрабатывать самые сложные технологические процессы и процедуры сварки.

Для предприятий Республики Беларусь и иностранных инвесторов разработан ряд технологических процессов сварки, выполнены экспертизы технологий сварки и проектов.

Для Новополоцкого ОАО «НАФТАН», ОАО «Нефтезаводмонтаж» разработаны проекты технического перевооружения сварочного производства, что позволило заказчикам приобрести конкурентоспособное сварочное и заготовительное оборудование и создать современное сварочное производство.

Для ОАО «Мозырский НПЗ» разработана технология сварки теплоустойчивой стали 15X5М без последующей термической обработки. Технология позволяет существенно повысить работоспособность сварных соединений разнородных сталей, работающих в водородсодержащих средах при давлении 3,2 МПа и температуре 530 °С. Технология основана на применении сварочного материала, дающего наплавленный металл с энергией зарождения и развития трещин больше чем в основном металле, и специальной разделки кромок, обеспечивающих регулируемое направление распространения трещины (в случае ее зарождения), в место ее искусственной остановки за счет высокой вязкости металла сварного шва.

С целью торможения процессов развития химической неоднородности, в результате взаимной восходящей диффузии химических элементов основного металла и сварного шва, следует вывести углерод из твердого раствора, переведя его в состав стойких карбидов. С этой целью перед наплавкой демпферного слоя концы свариваемых труб подвергают термообработке по режиму перестаривания.

Разработана технология переварки сварных швов установки вакуумной перегонки мазута на ОАО «Мозырский НПЗ». По ряду сложившихся причин технологический трубопровод из стали SA335GrP9 и 15X5М-У был сварен электродами ТМЛ-3У, рекомендуемыми для сталей типа 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 20Х1МФ и др. Трубопровод работает при температуре: $T = 240\text{--}380$ °С, давлении $P = 2,5$ МПа. Среда: мазут, гудрон, металлизированная фракция (температура самовоспламенения 250 °С). Переварку таких сварных соединений по стандартной перлитной технологии выполнять невозможно в виду недопустимости сварки «в натяг». Сварку необходимо выполнять аустенитными электродами системы легирования Cr-Ni-Mo-Nb. Режим сварки корневого шва рассчитывали из условия прогрева оставшейся толщины металла до температуры несколько выше критической точки A_{c3} . Такой режим сварки позволяет выполнить нормализацию литого металла «старого» корня шва. Далее заполнение разделки выполняли по аустенитной технологии.

Разработанная технология позволила практически полностью устранить механическую неоднородность в корне шва. Это подтверждается

результатами измерения микротвердости, которая на линии сплавления различается не более чем на 4 %. Проведенные металлографические исследования показали, что литая структура в корне шва отсутствует, произошла вторичная перекристаллизация. Минимизация теплового воздействия при дальнейшем заполнении разделки позволила устранить кристаллизационную неоднородность на линии сплавления перлитной высокохромистой стали с аустенитным наплавленным металлом.

Для ОАО «Гродно Азот» выполнена экспертиза технологии сварки по причине которой образовался сквозной дефект сварного соединения трубопровода конвертированного газами цеха метанола, произошел выброс водорода. Установлены причины разрушения, их три: структурный, конструктивный, силовой. Трубопровод изготовлен из стали, потенциально склонной к локальным разрушениям сварных соединений при высокотемпературной эксплуатации в сочетании с силовым воздействием. В составе примененной стали содержится титан и достаточно большое количество углерода. В стабилизированной титаном стали основная часть углерода связана в термодинамически устойчивые карбиды титана, которые при сварочном нагреве растворяются, а при последующем охлаждении образуют дисперсные карбиды в теле зерна. Последующая высокотемпературная эксплуатация и рабочие напряжения привели к процессу старения, что проявилось в снижении деформационной способности металла участка околошовной зоны и исчерпания запаса прочности под действием рабочих температур и напряжений. Трещины образовались в результате релаксации напряжений в металле, границы которого разупрочнены выделением вторичных дисперсных фаз. Установлено, что рассмотренный участок трубопровода находится в критическом состоянии и его дальнейшая эксплуатация не рекомендуется. Для надежной эксплуатации трубопровода с рассматриваемыми технологическими параметрами рекомендованы основные и сварочные материалы другой системы легирования.

Выполнены исследования свойств сварных соединений корпуса сгустителя отстойника глинистого шлама, работающего на Белорусском калийном комбинате. Установлено, что изделие выполнено из стали потенциально склонной к коррозионному растрескиванию. Коррозионное растрескивание характерно для хромоникелевых сталей и особенно активизируется под действием растягивающих остаточных сварочных и рабочих напряжений в присутствии раствора хлорида при температуре выше 50 °С. Определено, что ремонт поврежденных коррозионным растрескиванием участков методами сварки и наплавки не даст положительных результатов. Дополнительный наплавленный металл способствует увеличению уровня остаточных сварочных напряжений и интенсифицирует коррозионное растрескивание. Рекомендовано заменить днище. Последующую технологию сварки следует строить с позиции снижения уровня остаточных растягивающих сварочных напряжений путем минимизации режимов сварки, последовательности наложения сварных

швов, проведения термической обработки, однако, это мало эффективное направление.

Радикальное повышение работоспособности сварной конструкции по критерию «коррозионное растрескивание» можно решить путем замены основного металла. Использовать для изготовления днища сгустителя сталь другого структурного класса: например аустенитно-ферритного класса 1-го, 2-го или 3-го поколения. Аустенитно-ферритные стали, в отличие от аустенитных сталей, характеризуются: более высокой прочностью (в 1,5-2 раза); более высокой стойкостью против межкристаллитной коррозии; более высокой стойкостью против коррозионного растрескивания в хлоридных и щелочных средах.

Для компании «Китайская корпорация инжиниринга САМС» разработаны восемьдесят технологических процессов сварки для строительства энергообъектов в г.Белоозерск, г.Новолукомль, комбината отбеленной целлюлозы в г.Светлогорск.

Для компании с ограниченной ответственностью «Корпорация Сюань Юань» (Китай) разработаны семь технологических процессов сварки для строительства объекта по производству отбеленного картона в г.Добруш.

Выполняются работы для Белорусской атомной станции, аттестовано более 100 сварщиков, выполняющих сложные работы, обучено и аттестовано 20 инженеров, осуществляющих руководство сварочными работами на АЭС, проведено более 80 испытаний сварных соединений. По заказу МЧС и Госатомнадзора для Белорусской атомной станции разработана следующая нормативно-техническая документация:

- оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля;
- основные положения по сварке элементов локализирующих систем безопасности атомных электростанций;
- оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения;
- правила контроля сварных соединений элементов локализирующих систем безопасности атомных электростанций.

В 2013 г. объем хоздоговорного финансирования Центра сертификации составил 2,7 млрд р., в 2014 г. – 3 млрд р., в 2015 г. – 3,5 млрд р. За три года выполнено валютных договоров на сумму 150 тыс. долларов.

В целом, Центру сертификации и испытаний удается совмещать научные разработки с требованиями рыночной экономики.