

УДК 629 : [339.137 : 658.589]

Об усложнении сварочных технологий и необходимости качественного управления их эффективностью

Л.С. Баева, Т.Ю. Пашеева

Судомеханический факультет МА МГТУ, кафедра технологии металлов и судоремонта

Аннотация. Статья посвящена возможностям применения соединительных технологий, в частности сварочных. Рассматриваются: условия обеспечения необходимого уровня качества сварных швов, необходимость оценки реального состояния сварных конструкций (изделий) и продления их ресурса, а также создания соответствующих ремонтных технологий. Акцентируется внимание на безопасности сварной конструкции. Предлагается "переход" на спецстали как реальный способ продления срока эксплуатации изделия и снижения затрат на его эксплуатацию.

Abstract. The paper highlights some possibilities of joint technologies, in particular the welding one. Conditions of assurance of weld seams' quality, necessity of evaluation of the welded constructions' real state and prolongation of their resources have been considered. The special attention has been paid to safety of welded constructions. The authors have proposed to use some special kinds of steel as a real way of prolongation of product life duration and reduction of its maintenance costs.

1. Введение

Более 50 % промышленной продукции производится с применением сварки. Практически все металлические конструкции, оборудование и трубопроводы, эксплуатируемые на опасных производственных объектах, изготавливаются и ремонтируются с использованием сварочных технологий.

Важной научно-технической проблемой остается создание экономичных, надежных и долговечных сварных конструкций, работающих на земле, в космосе и под водой при нормальных, высоких и сверхнизких температурах, агрессивных средах, при интенсивном радиационном облучении и в различных экстремальных условиях эксплуатации. Поэтому весьма актуально развитие научно-технических подходов к неразрушающему контролю, оценке и продлению ресурса безопасной, длительной эксплуатации сварных конструкций машин, оборудования и различных сооружений. Такие подходы должны базироваться на комплексном анализе всех стадий жизненного цикла конструкций, охватывать вопросы проектирования, технологии изготовления, эксплуатации и ремонта.

Сварка, в соответствии с определением ISO9000:2005 (п.3.4.1), относится к специальным процессам. Качество сварной продукции не может быть гарантировано только проведением контроля после ее изготовления. Требования к готовой продукции в части характеристик сварных соединений (швов) регламентируются нормативной и проектно-конструкторской документацией, требования к контролю в процессе производства – технологическими и должностными инструкциями, но для гарантированного обеспечения необходимого уровня безопасности сварной продукции необходима также оценка соответствия элементов сварочного производства определенным требованиям, установленным техническим регламентом (Жабин, 2007).

Безопасность продукции сварочного производства обеспечивается соблюдением установленных требований к элементам сварочного производства, а сферой применения технического регламента является производство сварной продукции, для которой разрушение (полное или частичное) сварного соединения при всех разумно предсказуемых условиях эксплуатации и испытаний может привести к человеческим жертвам, нанесению вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений.

Основные условия обеспечения безопасности продукции сварочного производства представлены схематично на рис. 1.

2. Состояние проблемы

В настоящее время возникает необходимость оценки реального состояния ответственных конструкций (изделий, объектов повышенной опасности) и продления их ресурса, а также создание соответствующих ремонтных технологий. Ремонтные технологии ориентированы на продление ресурса ответственных конструкций.

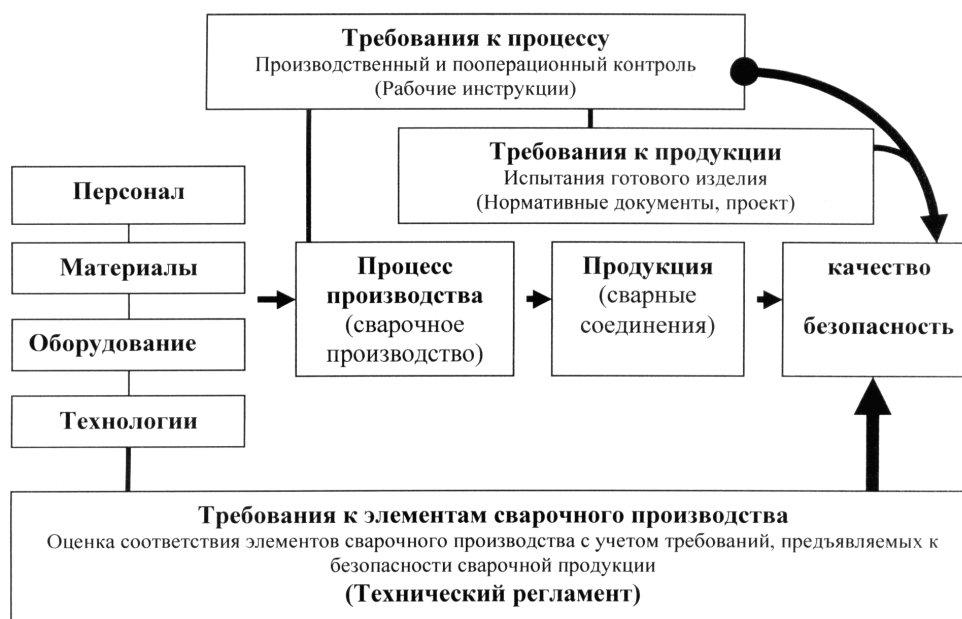


Рис. 1. Основные условия обеспечения безопасности продукции сварочного производства

В России большое количество конструкций в различных отраслях промышленности исчерпало срок эксплуатации, и на повестке дня остро стоят проблемы диагностики состояния конструкций и восстановления их работоспособности. Результаты, полученные при исследовании на прочность, пластичность и сопротивляемость сварных соединений низколегированных сталей хрупкому и усталостному разрушению в зависимости от количества ремонтов, показали, что после 3-4 ремонтов резко изменяются эксплуатационные свойства сталей. Весьма актуальна оценка деградации свойств металлоконструкций при длительной эксплуатации.

Объём и методы ремонта и испытаний должны назначаться таким образом, чтобы в отремонтированных конструкциях корпуса были восстановлены прочность, жёсткость и непроницаемость до уровня, требуемого Правилами РС (*Стандарт предприятия*, 2002).

К примеру, метод ремонта корпуса судна необходимо определять, принимая во внимание следующее:

1. Вид повреждения и его численные параметры.
2. Размеры повреждённого участка конструкции и его расположение в корпусе судна. Повреждённый участок необходимо оценить по степени его важности в конструкции согласно назначению и классификации групп связей по Правилам постройки РС с учётом требований по непроницаемости.
3. Возможные причины, вызвавшие повреждение (ошибки проектирования, внутренние дефекты материала, технологические ошибки и низкое качество изготовления конструкции, ошибки и непредусмотренные случаи эксплуатации).
4. Правильное определение причин повреждения. Устранение этих причин не должно создавать "жёстких точек" и других концентраторов напряжений по всей конструкции.
5. Изменение (улучшение) конструкции, в которой обнаружены дефекты, а не восстановление первоначального варианта.
6. Возможность качественного выполнения конкретных технологических операций, так как при низком качестве ремонта (например, неровные кромки после газовой резки, подрезы сварных швов и т.д.) исходный вариант с конструктивным недостатком может оказаться более надёжным в эксплуатации, чем улучшенная, но недостаточно качественно изготовленная в процессе ремонта конструкция.
7. Целесообразность предварительного напряжения ремонтируемых связей для того, чтобы остаточные напряжения в конструкции были снимающими, то есть варку конструкций в связи корпуса, участвующих в общей продольной прочности корпуса судна, следует производить в условиях, когда эти связи растянуты. Растяжение необходимо создавать посредством принятия балласта.
8. Возраст и продолжительность эксплуатации судна после ремонта.

Для корпуса судна, обновляемого на уровень ISS (first special survey – первый специальный осмотр, соответствует состоянию корпуса при первом очередном освидетельствовании после 5 лет эксплуатации судна с его постройки в установленных условиях) в качестве метода ремонта допускается только замена. Метод подкреплений, включая накладные полосы для восстановления момента

сопротивления поперечного сечения корпуса, не допускается. Ремонт элементов корпуса с деформациями и трещинами допускается методом замены и замены с модернизацией повреждённого участка.

Для корпуса, обновляемого на уровень 2SS (second special survey – второй специальный осмотр, соответствует состоянию корпуса при втором очередном освидетельствовании после 10 лет эксплуатации судна с его постройки в установленных условиях), не допускаются следующие методы ремонта:

- дублирование листов и подкрепление балок набора при износах;
- подкрепление элементов корпуса с деформациями.

Дублирующие листы и подкрепления элементов корпуса с деформациями, установленные в предшествующих ремонтах, должны быть удалены. Накладные полосы, установленные в предшествующих ремонтах, должны быть удалены при обновлении корпуса на уровень 1SS.

Для листов наружной обшивки, обшивок переборок, настилов палуб в районе интенсивной вибрации заменённые участки должны иметь толщины, требуемые Правилами постройки для новых судов.

При местном износе суммарная площадь заменённых не смежных участков не должна превышать 40 % площади листа.

Для элементов корпуса с трещинами рекомендуются следующие методы ремонта:

- замена участка элемента корпуса, если трещина ветвистая, появившаяся впервые или прогрессирующая (растущая);
- замена участка элемента корпуса с модернизацией конструкции, если трещина ветвистая или прогрессирующая, возникающая повторно;
- заварка, если трещина возникла впервые и не имеет ответвлений.

Для элементов корпуса с разрывами ремонт должен быть выполнен методом замены. Элементы корпуса с разрывами, не подверженные усилиям от продольного изгиба корпуса, допускается ремонтировать с помощью накладных листов в качестве временного подкрепления до очередного ремонта. Накладной лист должен перекрывать кромку разрыва на величину $2 \cdot S + 25$ мм, где S – меньшая из толщин соединяемых листов, но не более 50 мм.

Для корпусов судов, находящихся на плаву, вырезка отверстий диаметром более 60-ти толщин обшивки и вварка в них конструкций допускается только по конструктивно-технологической документации, одобренной РС. При этом необходимо учитывать состояние нагрузки и участие вырезаемых конструкций в общей прочности корпуса судна.

Влияние на прочность сварных конструкций оказывают нагрузки, которым подвергаются сварные соединения, а также конструктивные особенности сварных соединений, на которые мы должны обращать особое внимание в процессе неразрушающего контроля, и, конечно, определенные условия эксплуатации. Все эти факторы влияния и методы контроля должны быть согласованы друг с другом.

Сварной шов, как правило, не имеет идеальной геометрии, которую хочет видеть дефектоскопист. Шов следует рассматривать как сложную конструкцию с точки зрения контроля качества.

Повышение качества и работоспособности сварных конструкций непрерывно связано с совершенствованием такого важного и трудоемкого процесса, как неразрушающий контроль качества сварных соединений. Необходимо дальнейшее развитие работ по созданию современной аппаратуры для неразрушающего контроля.

Следует уделять значительное влияние разработке методов повышения сопротивления усталости сварного соединения, а также разработке эффективных технологических средств устранения сварочных напряжений и деформаций.

3. Анализ факторов совершенствования процесса технического контроля

Экспертиза промышленной безопасности содержит три основных блока работ. Первый подразумевает применение инструментальных методов контроля: неразрушающих, полунарушающих и разрушающих. Второй блок базируется на проведении расчетов по возможности дальнейшей эксплуатации конструкций (в первую очередь сварных); третий представляет собой расчет остаточного ресурса объектов повышенной опасности. В большинстве случаев экспертиза проводится на объектах, отработавших назначенный срок службы. На сегодняшний день к ним можно отнести порядка 50 % эксплуатирующихся опасных производственных объектов, и с каждым годом их доля увеличивается.

Основным средством, позволяющим определить техническое состояние объекта и тем самым получить необходимую информацию для определения возможности дальнейшей эксплуатации объекта и расчета его остаточного ресурса, является техническое диагностирование. Общими мероприятиями при проведении технического диагностирования объектов являются:

1. анализ эксплуатационной и технической документации для каждого объекта контроля с установлением величины и типа рабочих и внешних нагрузок наиболее напряженных и потенциально опасных участков, назначенного срока их эксплуатации;

2. проведение визуального и измерительного контроля с применением оптических приборов;
3. измерение дефектов, обнаруженных при наружном и внутреннем осмотре (коррозионных язв, зон коррозионного утонения, забоин, зон пластического деформирования, отклонений от геометрических размеров и т.д.);
4. определение твердости основного металла и сварных соединений с помощью переносных твердомеров;
5. ультразвуковая толщинометрия стенок объекта контроля. Определение уменьшения толщин стенок в районах коррозионных повреждений;
6. определение поверхностных дефектов и расслоений металла, выходящих на поверхность, с помощью капиллярной и магнитопорошковой дефектоскопии;
7. ультразвуковая дефектоскопия сварных соединений и околошовной зоны. Определение конфигурации и основных размеров дефектов с использованием ультразвуковых дефектоскопов и томографов.

Технический контроль производственных процессов является прямым информативным инструментом получения достоверной информации о реальном качестве выпускаемой продукции еще в процессе изготовления.

Испытание продукции также дает достоверную информацию о качестве изделия, но уже на завершающем этапе ее производства, т.е. фактически информирует о полученном качестве изделия или группы изделий. Исходя из этих соображений, в качестве связующего элемента системы метрологического обеспечения предприятия следует использовать именно процесс технического контроля.

На смену традиционной его организации приходит системная организация технического контроля в соответствии с направлениями совершенствования метрологического менеджмента предприятия.

Среди факторов, приводящих к несоответствиям процесса технического контроля, наиболее сложны для анализа и учета в метрологической деятельности научно-методологические факторы, в частности, факторы точности измерений в процессе технического контроля. Сложность их заключается, во-первых, в отсутствии необходимых знаний и методик, соответствующих современным представлениям о техническом контроле и применяемому в производстве оборудованию, во-вторых, в непонимании руководством метрологических служб глубины проблемы. Поэтому данный вопрос требует особого внимания, актуализации и популяризации для специалистов промышленных предприятий.

В соответствии с современной концепцией системы менеджмента качества (СМК), предприятие организует и совершенствует свою деятельность с помощью процессов, постоянно подвергаемых анализу и улучшению. Одними из таких процессов являются процессы технического контроля (ТК) (рис. 2).

Входом ТК являются объекты контроля (материальные потоки в виде заготовок деталей, сборочных единиц, технологические процессы, техническая документация и т.п.), выходом – принятые объекты контроля, а также информация о числе принятых (годных) объектов.

К управляющим воздействиям относится технологическая и другая документация ТК, к ресурсному обеспечению – методы и средства контроля, а также инженерно-технические работники, осуществляющие ТК.

Система ТК представляет собой цепочку взаимосвязанных и взаимодействующих между собой процессов, связанных посредством входов и выходов с другими процессами ТК и СМК предприятия.

Сущность технического контроля заключается в получении информации о фактическом состоянии объекта контроля, его показателях, о соответствии или несоответствии его установленным требованиям, которые зафиксированы в технической документации, стандартах и других документах.

Принятая классификация видов технического контроля приведена в таблице (Горленко, Левин, 2008).

Результаты ТК могут служить основными источниками информации, используемой для принятия решений о необходимости изменения и корректирования производственных процессов.

4. Переход на спецстали как реальный способ продления срока эксплуатации изделия, повышения качества

Свариваемость стали определяется внешними и внутренними факторами. Понятие "свариваемость" включает в себя четыре фактора, которые взаимосвязаны и имеют обратные связи: это фактор материала, конструктивный фактор, необходимые полезные свойства и требуемая безопасность сварной конструкции. Каждый технологический процесс сварки будет предъявлять свои требования к поведению сталей при сварке.

Для ремонта корпусных конструкций судов применяются судостроительные стали:

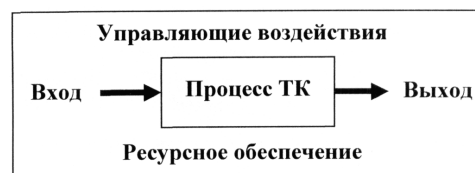


Рис. 2. Схематичное представление процесса технического контроля

Таблица. Классификация видов технического контроля

| Признаки классификации | Вид контроля |
|---|---|
| Объект контроля | Качества продукции. Технологического процесса |
| Стадия создания и существования продукции | Проектирование Производственный Эксплуатационный |
| Этапы процесса | Входной Операционный Приемочный |
| Полнота охвата контролем | Сплошной Выборочный |
| Связь объекта контроля по времени | Летучий Непрерывный Периодический |
| Влияние на возможность последующего использования продукции | Разрушающий Неразрушающий |
| Степень использования средств | Измерительный Регистрационный По контрольному образцу Органолептический Визуальный Технический |
| Проверка эффективности контроля | Инспекционный |
| Исполнитель контроля | Ведомственный Государственный надзор |

а) нормальной прочности (углеродистые) категорий А, В, D, Е, химический состав и механические свойства которых должны соответствовать таблице 3.2.2 – 1 части XIII "Материалы" Правил постройки (*Стандарт предприятия*, 2002);

б) повышенной прочности (низколегированные) категорий А32, D32, E32, А36, D36, E36, А40, D40, E40, химсостав и свойства которых должны удовлетворять требованиям таблицы 3.2.2 – 2 указанного источника.

Технические условия на поставку толстолистового, широкополосного универсального, полосового и фасонного проката из стали нормальной и повышенной прочности для судостроения регламентирует ГОСТ 5521.

В настоящее время спецстали начинают теснить традиционно применяющийся в производстве металл "обычных" марок. Подобное происходит в высокотехнологичных отраслях наподобие авиации, космоса, судостроения и т.п., где потребность в сталях со специальными свойствами всегда была высока.

Спецстали представляют собой прокат, обладающий особыми характеристиками. Основное отличие этих сталей – это не только выборочное легирование различными добавками (титан, никель, молибден и т.п.), но также применение для производства современных методов контролируемой прокатки и термической обработки продукции.

Ранее традиционно считалось, что потребность в сталях со специальными свойствами испытывают в основном оборонный комплекс страны и такие стратегические отрасли, как авиация, космос, судостроение и т.п. Однако сегодня спецстали все больше становятся востребованными не только в производстве военной техники и тяжелом машиностроении. Их все более активно начинают использовать в строительстве, легком машиностроении и т.п. Такое интенсивное наступление этого материала, ранее считавшегося в основном "оборонным" продуктом, в гражданскую сферу вызвано прежде всего особыми свойствами – высокой прочностью, износостойкостью и т.п., что позволяет получать конструкции с меньшим по сравнению с традиционным материалом весом, а также прямой финансовой выгодой. За счет использования в производстве дорогих специальных сталей может значительно сократиться конечная цена изделия – из-за меньшей металлоемкости, габаритов, улучшения прочностных характеристик и т.д. Многие отечественные производители рассматривают переход на спецстали как реальный способ продлить срок эксплуатации изделия и снизить затраты на его эксплуатацию. К примеру, при производстве звеньев цепей эскалаторов Петербургского метрополитена выбор определился тем, что не нашлось российских аналогов финской спецстали RAEX 400

производства Ruukki. Учитывая, что гарантированный пробег цепи эскалатора составляет не менее 350 000 км, была необходима сталь высочайшего качества. Таким высоким требованиям соответствовала только импортная продукция (в данный момент на действующих цепях применяется отечественная сталь марки 40XH) (Гришина, 2008).

RAEX 400 позиционируется производителем как износостойкая закаленная сталь, способная выдерживать давление на поверхность в 1100 Н/мм^2 . За счет высокой твердости и большого сопротивления она обладает достаточной прочностью в условиях абразивного износа. В то же время стали этой линейки с индексом 400 и 500 можно формировать способами свободной гибки и отбортовки, а также сваривать всеми традиционными способами. Причем в процессе сварки производителем допускается использование как нелегированных, так и легированных присадок. Кроме того, одним из решающих параметров при выборе стали стало качество и чистота поверхности листа, что, в свою очередь, позволяет применять для производства деталей современные технологии обработки, такие, как лазерная резка, обеспечивающие высокие скорости производства и точность геометрических размеров.

Современный потребитель спецсталей становится все более требовательным. Если раньше удовлетворял сам факт наличия нужной марки, то сегодня клиент хочет заранее заданных параметров.

Например, распространение лазерной резки, широко применяемой в машиностроении и автомобилестроении, потребовало разработки стали со специальными качествами – высокой плотностью и низкой шероховатостью. Особенность такой стали состоит в том, что после резки этот металл не требует дополнительной обработки.

Особые свойства данного вида сталей вызваны современными технологиями прокатки. Улучшения объясняются обработкой готового листа в холодном состоянии на линии DeadFlat, или корректирующая прокатка, – технологический процесс, который необходим для снятия остаточных напряжений металла и улучшения его плоскостных характеристик. Шероховатость поверхности становится все более низкой, плоскостность увеличивается. Помимо этого, при разработке закладываются такие качества, как хорошая способность к горячему цинкованию (содержание фосфора и кремния в составе металла минимально) и к гибке. Естественно, что этот материал хорошо переносит любые виды обработки – от плазменной сварки до обычной газовой или механической резки. На сегодняшний момент единственная в Европе подобная линия установлена на заводе Ruukki (Горленко, Левин, 2008).

5. Вывод

Сварочные технологии – ключевые технологии для развивающихся рынков. Новые технологии и разработки новых материалов и их комбинаций определяют соединительные технологии будущего.

Соединительные технологии нужно учитывать на всех стадиях производственных циклов: при планировании и изготовлении конструкций, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте конструкций, а также при утилизации.

Ремонт и техническое обслуживание необходимы при эксплуатации изделий, имеющих сварные соединения; и важно, чтобы такие процессы были детально разработаны.

Усложнение сварочных технологий обуславливает необходимость качественного управления их эффективностью. С точки зрения производителей, для последующего развития будут характерны следующие тенденции:

- применение более прочных сортов стали;
- применение точного контроля качества и процесса производства.

Литература

Горленко О.А., Левин Д.К. Технический контроль на машиностроительном предприятии в современных условиях. *Инженерный журнал*, № 7, с.48-51, 2008.

Гришина Е. Рынок спецсталей. В ожидании передела? *Сварка и диагностика*, № 2, с.24-26, 2008.

Жабин А.Н. О проекте технического регламента на продукцию сварочного производства. *Сварка и диагностика*, № 3, с.28-33, 2007.

Стандарт предприятия. Корпуса судов стальные. Типовой технологический процесс ремонта. СТП 023-044-2002. *Мурманск, ОАО "Мурманская судостроительная компания", 73 с., 2002.*