

А.П. Шатов, И.О. Стеклов,  
В.П. Ступников

# **СВАРКА и РЕМОНТ** **металлических** **конструкций** **по противокоррозионным** **покрытиям**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по направлению  
подготовки 150700 «Машиностроение»*

*Издание 2-е, исправленное*



Москва 2014

УДК 621.791:620.197

ББК 34.641

Ш28

Рецензенты:

д-р техн. наук, заведующий отделом экспертизы металлов

ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова» *В.М. Горицкий*

д-р техн. наук, профессор кафедры «МиАСП» Донского  
государственного технического университета *В.А. Ленивкин*

**Шатов А. П.**

Ш28 Сварка и ремонт металлических конструкций по противокоррозионным покрытиям : учеб. пособие / А. П. Шатов, О. И. Стеклов, В. П. Ступников. – 2-е изд., испр. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 148, [4] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3875-4

Рассмотрены механизмы коррозии, вопросы технологии сварки и ремонта металлических конструкций по противокоррозионным покрытиям, составы и способы нанесения противокоррозионных покрытий.

Проанализирован и обобщен большой объем фактического материала, полученного с использованием современных технологических методов и измерительной аппаратуры.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Машиностроение».

УДК 621.791:620.197

ББК 34.641

ISBN 978-5-7038-3875-4

© Шатов А.П., Стеклов О.И.,  
Ступников В.П., 2014

© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Создание сварной конструкции с противокоррозионными покрытиями, полностью отвечающей своему служебному назначению и требованиям эксплуатации, представляет собой комплексную задачу, которая включает в себя проектирование, прочностной расчет и рациональную технологию ее изготовления. В процессе эксплуатации и реновации (ремонта) остро встает проблема коррозии сварных соединений различных конструкций, решение которой связано как с выбором рациональной технологии сварочного процесса, так с выработкой рекомендаций с учетом влияния типа защитного покрытия, его толщины и места расположения относительно свариваемых кромок, оказывающих влияние как на физические и технологические, так и эксплуатационные свойства сварных соединений.

Для защиты несущих сварных конструкций от коррозии применяют различные противокоррозионные покрытия (лакокрасочные, металлические из цинка и алюминия, силикатно-эмалевые и т. п.), однако сложность состоит в том, что в процессе эксплуатации сварной конструкции происходит ее коррозия и старение совместно с защитными покрытиями. В связи с этим остро встает вопрос мониторинга такой сварной конструкции не только на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации, но и последующего ремонта. Решение этой проблемы, например, на нефтегазовых сооружениях является комплексной задачей.

Содержание предлагаемого учебного пособия «вооружает» будущих конструкторов и технологов необходимой информацией и методологией ее использования для решения задач по рациональному выбору антикоррозионного покрытия на свариваемых элементах металлических конструкций. Принципиальным отличием предлагаемого пособия является ориентированность на комплексное решение задач выбора (критерии и правила выбора, обосно-

ванное решение и т. д.) с позиций жизненного цикла эксплуатации изделия в целом.

Пособие может быть использовано студентами конструкторских и технологических специальностей при выполнении курсовых и дипломных работ, связанных с технической подготовкой производства и ремонта металлических конструкций различного функционального назначения.

В пособии рассматривается современное состояние этих задач, однако его материал не исчерпывает всей сложности поставленной проблемы технологии сварки, коррозии и старения сооружений. Представлена разработанная авторами феноменологическая модель влияния антикоррозионных покрытий (лакокрасочных, металлических из цинка и алюминия и силикатно-эмалевых) на процессы сварки таких конструкций и последующей защиты сварного шва, например, на нефтегазовых сооружениях.

Рассмотрены проблемы старения и коррозии нефтегазовых сооружений, сформулированы причины и механизмы отказов, а также основные направления комплексного решения проблемы с позиций физико-химической механики свариваемых материалов и конструкций. Представлены различные способы ремонта стальных конструкций, имеющих антикоррозионные покрытия и рассмотрены преимущества и недостатки каждого из способов.

# **1. СВАРКА И РЕМОНТ НЕСУЩИХ СВАРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ**

## **1.1. Несущие сварные конструкции с противокоррозионными покрытиями и области их применения**

Провести единую классификацию несущих сварных конструкций довольно затруднительно ввиду большого разнообразия. Они могут быть классифицированы по методу получения заготовок (листовые, сварно-литые, сварно-кованные, штамповсварные), по целевому назначению (вагонные, судовые, авиационные и т. п.), в зависимости от толщины свариваемых элементов (тонко- и толстостенные) или по применяемым материалам (стальные, алюминиевые, титановые и т. п.). При рассмотрении вопросов проектирования, изготовления и ремонта сварных конструкций более рациональной представляется их классификация по характерным особенностям работы. Можно выделить следующие типы сварных элементов и конструкций.

Балки – конструктивные элементы, работающие преимущественно на поперечный изгиб. Жестко соединенные между собой балки образуют рамные конструкции.

Колонны – элементы, работающие преимущественно на сжатие или сжатие с продольным изгибом.

Решетчатые конструкции – системы стержней, соединенных в узлах таким образом, что стержни испытывают преимущественно растяжение или сжатие. К ним относятся фермы, мачты, арматурные сетки и каркасы.

Оболочечные конструкции – различные емкости, сосуды и трубопроводы, как правило, испытывающие внутреннее давление и отвечающие требованиям герметичности соединений. К ним, в частности, относятся магистральные и промышленные трубопроводы, резервуары для хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов, морские нефтегазовые сооружения, несущие конструкции нефтеперерабатывающих заводов.

Корпусные транспортные конструкции – корпуса судов, вагонов, кузова автомобилей, подвергающиеся динамическим нагруз-

## 2. ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ, ИХ СОСТАВЫ И СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ

### 2.1. Лакокрасочные защитные покрытия

Промышленная защита от коррозии крупногабаритных стальных конструкций, например, нефтегазового комплекса (магистральные и промысловые трубопроводы, морские НГС, установки нефтеперерабатывающих заводов, резервуары для хранения нефтепродуктов, цистерны для перевозки углеводородного топлива и т. д.) осуществляется, в частности, нанесением лакокрасочных покрытий.

Лакокрасочные материалы представляют собой многокомпонентные композиции, содержащие пленкообразователи, растворители, пластификаторы, пигменты, наполнители, отверждающие агенты, поверхностно-активные вещества и другие добавки, применяющиеся для получения защитных покрытий на различных стальных конструкциях [7].

Все лакокрасочные материалы принято подразделять на группы в зависимости от химического состава пленкообразователя (табл. 2.1).

Таблица 2.1

#### Классификация основных лакокрасочных материалов по химическому составу основного пленкообразователя

Пленкообразователь	Условное обозначение	Пленкообразователь	Условное обозначение
Глифталевый олигомер	ГФ	Перхлорвинил, поливинил хлорид	ХВ
Пентафталевый олигомер	ПФ	Полиакрилат	АК
Ксифталевый олигомер	КТ	Поливинилацеталь	ВЛ
Алкидно-акриловый олигомер	АС	Поливинилацетат	ВА
Алкидно-уретановый олигомер	АУ	Полиуретан	УР
Нитрат целлюлозы	НЦ	Эпоксифирная смола	ЭФ
Янтарь	ЯН		

Лакокрасочные материалы по составу и назначению классифицируются на грунтовки, шпатлевки, лаки, эмали и краски [7].

### **3. ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРОЦЕСС ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Управление технологическими свойствами сварочной дуги с учетом влияния различных противокоррозионных покрытий свариваемых металлических конструкций – это управление функциональной системой *источник питания – дуга – сварочная ванна – шов* (ИП–Д–СВ–Ш).

Под действием теплоты сварочной дуги происходит разложение и испарение компонентов защитных покрытий, нанесенных на свариваемые кромки элементов стальных конструкций. Покрытия имеют разное расположение относительно свариваемых кромок в зависимости от типа, толщины и способа нанесения. Лакокрасочные и металлические (из цинка и алюминия) покрытия, как правило, располагаются непосредственно на свариваемых кромках элементов стальных конструкций. Анализируемые нами стеклоэмалевые покрытия в основном находятся на внутренней поверхности свариваемых стальных труб, в этом случае покрытие оказывает основное влияние на выполнение корневого слоя шва при сварке труб в разделку.

Как известно, при сооружении рассматриваемых несущих конструкций, а также при проведении работ по их ремонту используют металлопрокат и трубы, изготовленные из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с различными противокоррозионными покрытиями. При сварке таких конструкций испаряющиеся компоненты защитных покрытий оказывают возмущающее воздействие на систему ИП–Д–СВ–Ш.

#### **3.1. Физические условия существования дугового разряда при сварке стальных конструкций с противокоррозионными покрытиями**

Под действием теплоты сварочной дуги разложение и испарение компонентов защитных покрытий вызывает попадание испаряющихся компонентов в столб дуги и приводит к изменению физических условий существования дугового разряда: средней температуры столба дуги, приэлектродных падений напряжения, остаточной проводимости дугового промежутка, теплопроводности паров дуги, инерционности сварочной дуги и т. д.

## **4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ ПО РАЗЛИЧНЫМ ЗАЩИТНЫМ ПОКРЫТИЯМ**

### **4.1. Перенос электродного металла при сварке плавлящимся электродом в углекислом газе**

Перенос электродного металла на изделие является одной из важнейших характеристик сварки плавлящимся электродом в защитных газах; он определяет технологические характеристики и области применения сварки.

В целях определения влияния защитного покрытия на характер переноса электродного металла проводили наплавку валиков на стальные пластины (марка стали СтЗсп) с защитным покрытием (лакокрасочным, металлическим – из цинка и из алюминия) различной толщины с использованием электродной проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. Параметры режима сварки регистрировались с помощью светолучевого осциллографа Н-115, а перенос электродного металла – скоростной кинокамерой СКС-1М.

При сварке стальной пластины без покрытия на указанном режиме перенос металла крупнокапельный, неравномерный (рис. 4.1). После отрыва капли от электрода дуга горит под его торцом. Образуется жидкая часть (капля) электродного металла, которая перемещается на боковую поверхность. Дуга хаотично перемещается с торца электрода на каплю. По мере расплавления электродного металла капля увеличивается в объеме и перемещается по боковой поверхности электрода вблизи его торца. Колебания напряжения дуги по мере роста капли незначительны, и амплитуда колебаний не превышает 1,5 В.

Выбор защитных покрытий определяется их теплофизическими свойствами (табл. 4.1), а также местом расположения относительно свариваемых кромок.

При наплавке валиков на пластины с лакокрасочным покрытием толщиной менее 100 мкм и на пластины без покрытия характер переноса электродного металла одинаковый (рис. 4.2). Это, по-видимому, связано с тем, что в дугу попадает незначительное количество компонентов покрытия, так как под действием теплоты переднего фронта дуги оно успевает выгореть и основ-



## 5. СВАРИВАЕМОСТЬ СТАЛИ ПО ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫМ ПОКРЫТИЯМ

*Технологическая свариваемость* рассматривается как свойство материалов, характеризующее их реакцию на сварочный термомеханический цикл. Степень реакции оценивают по отношению отдельных механических свойств металла сварных соединений к одноименным свойствам основного металла (например, твердости, ударной вязкости и т. д.) [21].

В настоящее время получил широкое применение прикладной аспект понятия свариваемости материалов, учитывающий назначение изготовленных из них сварных соединений. Согласно ГОСТ 26001–84, «свариваемость – свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия». В этом случае свариваемость зависит, с одной стороны, от материала, технологии сварки, конструктивного оформления соединения, а с другой – от эксплуатационных свойств сварной конструкции, которые определяются предъявляемыми к ней требованиями.

Традиционно принято различать несколько качественных степеней технологической свариваемости: *хорошая, удовлетворительная, ограниченная и плохая*. Технологическую свариваемость конструкционных металлов и их сплавов оценивают по следующим показателям (критериям):

1) окисляемость при теплофизическом воздействии сварки в зависимости от химической активности;

2) реакция металла на тепловое воздействие сварки в зависимости от химической активности;

3) сопротивляемость образованию горячих трещин;

4) сопротивляемость образованию холодных трещин;

5) чувствительность к порообразованию;

6) соответствие свойств сварных соединений конструкционным требованиям по прочности, жаропрочности, жаростойкости, коррозионной стойкости и выносливости, ползучести и др.

Под действием теплоты сварочной дуги при сварке стали по защитным покрытиям происходит плавление и испарение (выгорание) этих покрытий. При этом возможно влияние компонентов защитных покрытий, частично попадающих в сварочную ванну (помимо сварочной дуги), что оказывает влияние на показатели

## **6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

### **6.1. Влияние влажной атмосферы морского побережья и морской воды на сварные соединения при сварке стали по лакокрасочным покрытиям**

Проблема влияния коррозионной среды (морской воды и влажной атмосферы побережья) на сварные конструкции с защитными покрытиями исследована достаточно подробно [22, 23]. Известно, что, например, лакокрасочные покрытия должны полностью закрывать (герметизировать) поверхность стальных конструкций, так как механизм защитного действия большинства лакокрасочных покрытий состоит главным образом в отделении поверхности металла от коррозионной среды. Однако имеются покрытия, содержащие в своем составе пассивирующие вещества (оксиды свинца, хроматы цинка или цинковую пыль, а также алюминиевую пудру).

Лакокрасочные покрытия резко уменьшают скорость коррозии вследствие изолирующего (барьерного) эффекта, затрудняя доступ кислорода к поверхности металла, и на один-два порядка снижают общую скорость коррозии. Повышая сопротивление протеканию тока коррозии через электролит, лакокрасочное покрытие снижает контактную, а значит, и местную коррозию.

Некоторые лакокрасочные материалы могут изменять скорость коррозии сварных соединений вследствие электрохимической поляризации защищаемого металла. Лакокрасочные покрытия, содержащие вещества, катодные по отношению к защищаемой металлической подложке (например, пигменты меди и ртути), поляризуют материал (сталь) анодно и резко повышают скорость протекания коррозионных процессов при повреждении покрытия. Лакокрасочные покрытия, в состав которых входят анодные по отношению к металлу вещества, по крайней мере, обеспечивают частичную катодную защиту при нарушении целостности покрытия.

При сварке стали по лакокрасочным покрытиям сварной шов вместе с зоной термического влияния подвергают дробеструйной обработке, затем на эти поверхности наносят краскораспылителем или кистью лакокрасочные материалы. Известно, что лако-

## **7. СВАРКА И РЕМОНТ ОБОЛОЧЕЧНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ**

Анализируя условия сварки и ремонта различных металлических конструкций (балок, колонн, решетчатых конструкций, корпусных транспортных конструкций, деталей машин и приборов и оболочковых конструкций) с противокоррозионными покрытиями, уделим особое внимание оболочечным конструкциям, к которым относятся различные емкости, сосуды и трубопроводы.

### **7.1. Сварка оболочечных конструкций по противокоррозионным покрытиям**

Как показали практический опыт и проведенные нами исследования трубопроводов с внутренним силикатно-эмалевым покрытием, требуется обеспечить не только формирование обратного валика внутри трубы, чтобы исключить необходимость подварки шва изнутри, но и взаимодействие шлаковой корки обратного валика с силикатно-эмалевым покрытием для получения плотной силикатно-эмалевой пленки на его поверхности. Именно этому следует уделять большее внимание при разработке новых и совершенствовании существующих электродов, применяемых при ручной дуговой сварке и ремонте нефтегазопроводов.

В настоящее время в практике ручной дуговой сварки покрытиями электродами монтажных стыков конкурируют две тенденции. Первая предполагает выполнение корневого слоя традиционной сваркой целлюлозными электродами (обеспечивающей высокую производительность за счет применения техники сварки «на спуск», которая допускается при использовании этих электродов), а заполняющих слоев разделки, в том числе и облицовочных, – электродами с основным типом электродного покрытия (на фтористо-кальциевой основе) соответствующего класса точности. Вторая тенденция предполагает использование электродов с основным типом электродного покрытия для сварки как заполняющих, так и корневых слоев разделки кромок труб. Обеспечение требуемого гарантированного качества корневого слоя (низкое содержание водорода в наплавленном металле и стойкость к образованию кристаллизационных трещин) позволяет отказаться от выполнения «горячего» прохода, что особенно актуально для северных районов России.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Бакалюк Я.Х., Проскуркин Е.В.* Трубы с металлическими противокоррозионными покрытиями. М.: Металлургия, 1985. 200 с.
2. *Балдаев Л.Х.* Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. М.: Информационно-издательский центр КХТ, 2004. 134 с.
3. *Бут В.С.* Дуговая сварка с внутренним защитным покрытием // Сварщик. 2003. № 2. С. 8–11.
4. *Варгин В.В.* Эмалирование металлических изделий. Л.: Машиностроение, 1972. 377 с.
5. *Гладков Э.А.* Управление процессами и оборудованием при сварке. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 432 с.
6. *Ибатуллин Б.Л., Климова А.В., Михалев В.Г.* Влияние активированной электродной проволоки на среднюю температуру столба дуги в углекислом газе // Сварочное производство. 1970. № 5. С.11–12.
7. *Карякина М.И., Попцов В.Е.* Технология полимерных материалов. М.: Химия, 1983. 336 с.
8. Коррозионная стойкость сварных металлоконструкций нефтегазовых объектов / Под общ. ред. В.Д. Макаренко М.: Недра – Бизнесцентр, 2000. 500 с.
9. *Куркин С.А., Николаев Г.А.* Сварные конструкции. Технология изготовления, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве : учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1991. 398 с.
10. *Лайнер В.И.* Защитные покрытия металлов. М.: Металлургия, 1974. 559 с.
11. *Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н.* Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. М.: Машиностроение, 1989. 264 с.
12. *Маслов Б.Г., Выборнов А.П.* Производство сварных конструкций : учебник для студентов среднего профессионального образования. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 288 с.
13. Опыт применения технологии коррозионностойких покрытий на крупногабаритные конструкции / Доценко И.В., Зеленин В.И., Кавуненко П.М. и др. // Сварщик в России. 2010. № 5. С. 8–10.
14. Особенности процессов при сварке с термоцилированием / Дудко Д.А., Савицкий А.М., Савицкий М.М. и др. // Автоматическая сварка. 1998. № 4. С. 8.
15. *Протасов В.Н.* Теория и практика полимерных покрытий в оборудовании и сооружениях нефтегазовой отрасли. М.: Недра, 2007. 374 с.
16. Сварка. Резка. Контроль : справочник: в 2 т. / Под ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова М.: Машиностроение, 2004. Т. 1. 620 с. ; Т. 2. 479 с.

## *Литература*

---

17. Сварочные материалы для дуговой сварки – справочное пособие в 2 т. / Под общей редакцией Н.Н. Потапова. М.: Машиностроение, 1989, Т. 1, 564 с.; Т. 2, 768 с.

18. *Стеклов О.И.* Мониторинг и защита конструкций повышенной опасности в условиях старения и коррозии // Защита металлов. 1999. Т. 35. № 5. С. 1–5.

19. *Стеклов О.И., Лошаков А.М., Риккер В.И.* Сварочные технологии для сооружения трубопроводов стальных труб с внутренним силикатно-эмалевым покрытием и контроль качества защиты внутренней поверхности стыка. Сборник материалов международного форума: «Топливо-энергетический комплекс России», Санкт-Петербург, 2–5 апреля 2002 г. С. 171–173.

20. *Стеклов О.И., Галканов В.А., Сорокин В.Н.* Многопозиционное оборудование для испытания материалов на коррозию под напряжением: сборник статей. Долговечность газонефтепромыслового оборудования и инструмента. М. : МИНГ им. И.М. Губкина, 1985. № 195. С. 27–33.

21. Теория сварочных процессов : учебник для вузов / Под ред. В.М. Неровного М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.

22. *Шатов А.П., Фролов В.В., Соколов Ю.В.* Сварка металлических конструкций с противокоррозионными покрытиями. М.: Машиностроение, 1993. 96 с.

23. Шатов А.П., Стеклов О.И., Ступников В.П. Сварка и ремонт металлических конструкций с противокоррозионными покрытиями. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, 174 с.

24. Шатов А.П., Оносов Г.В., Стеклов О.И. Пути повышения качества сварных конструкций с антикоррозионными лакокрасочными покрытиями // Сварочное производство. 2013. № 12. С. 28–31.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
<b>1. Сварка и ремонт несущих сварных металлических конструкций с противокоррозионными покрытиями .....</b>	<b>5</b>
1.1. Несущие сварные конструкции с противокоррозионными покрытиями и области их применения .....	5
1.2. Старение и коррозия сварных соединений .....	6
1.3. Модель коррозионно-механической прочности крупногабаритных конструкций .....	10
1.4. Мониторинг крупногабаритных сварных конструкций .....	12
1.5. Влияние сварки на свойства крупногабаритных сварных конструкций .....	14
Контрольные вопросы .....	15
<b>2. Противокоррозионные покрытия, их составы и способы нанесения .....</b>	<b>16</b>
2.1. Лакокрасочные защитные покрытия .....	16
2.2. Металлические защитные покрытия .....	20
2.3. Силикатно-эмалевые защитные покрытия и футерование стеклом .....	23
Контрольные вопросы .....	30
<b>3. Феноменологическая модель влияния противокоррозионных покрытий на процесс дуговой сварки стальных конструкций .....</b>	<b>31</b>
3.1. Физические условия существования дугового разряда при сварке стальных конструкций с противокоррозионными покрытиями .....	31
3.2. Приэлектродные падения напряжения при сварке .....	37
3.2.1. Влияние защитных покрытий на динамические и статические характеристики сварочной дуги .....	41
3.2.2. Остаточные явления в дуговом промежутке после выключения тока и естественного погасания дуги .....	46
Контрольные вопросы .....	52
<b>4. Технологические характеристики процесса сварки плавящимся электродом по различным защитным покрытиям .....</b>	<b>53</b>
4.1. Перенос электродного металла при сварке плавящимся электродом в углекислом газе .....	53
4.2. Требования к сварочным источникам питания .....	66
Контрольные вопросы .....	71
<b>5. Свариваемость стали по противокоррозионным покрытиям .....</b>	<b>72</b>
5.1. Проплавающая способность сварочной дуги .....	73

## *Оглавление*

---

5.2. Пористость сварных швов .....	77
5.3. Характер протекания металлургических процессов при сварке стали по защитным покрытиям .....	83
5.4. Сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин.....	91
5.5. Механические свойства металла шва сварных соединений .....	99
5.6. Оценка санитарно-гигиенических условий труда сварщиков ...	104
Контрольные вопросы .....	107
<b>6. Эксплуатационные свойства сварных соединений .....</b>	<b>108</b>
6.1. Влияние влажной атмосферы морского побережья и морской воды на сварные соединения при сварке стали по лакокрасочным покрытиям .....	108
6.2. Коррозионная стойкость сварных соединений при сварке стали по металлическим покрытиям .....	110
6.3. Коррозионная стойкость сварных соединений при сварке стальных труб .....	120
Контрольные вопросы .....	125
<b>7. Сварка и ремонт оболочечных металлических конструкций с противокоррозионными покрытиями .....</b>	<b>126</b>
7.1. Сварка оболочечных конструкций по противокоррозионным покрытиям .....	126
7.2. Разработка технологии сварки нефтегазовых трубопроводов с внутренним силикатно-эмалевым покрытием .....	128
Контрольные вопросы .....	144
Литература .....	146

*Учебное издание*

**Шатов Александр Павлович**  
**Стеклов Олег Иванович**  
**Ступников Владимир Петрович**

**Сварка и ремонт  
металлических конструкций  
по противокоррозионным покрытиям**

Редактор *М.В. Самохина*  
Технический редактор *Э.А. Кулакова*  
Художник *Н.Г. Столярова*  
Корректор *К.А. Осипова*  
Компьютерная графика *О.В. Левашовой*  
Компьютерная верстка *А.Ю. Ураловой*

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Сертификат соответствия  
№ РОСС RU. АЕ51. Н 16228 от 18.06.2012

Подписано в печать 26.12.14. Формат 60×90/16.  
Усл. печ. л. 9,5. Тираж 1000 экз. (1-й з-д 1–300). Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
E-mail: [press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)  
<http://baumanpress.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
E-mail: [baumanprint@gmail.com](mailto:baumanprint@gmail.com)