

ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ СВАРНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ ПИТТИНГОСТОЙКОСТИ

В.М. КУЛИК, С.А. ОСАДЧУК, Л.И. НЫРКОВА, В.П. ЕЛАГИН, С.Л. МЕЛЬНИЧУК

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

При длительной эксплуатации резервуаров, изготовленных из нержавеющей стали, на контактирующей с периодически подогреваемой агрессивной жидкостью поверхности образуются питтинги, преимущественно на сварных соединениях, и возникает опасность сквозного повреждения стенки. Целью работы являлось увеличение надежности и долговечности резервуаров для хранения агрессивной жидкости путем повышения стойкости против питтингообразования, в первую очередь сварных соединений. Необработанные и механически обработанные различными способами образцы с проваром необработанной поверхности и шлифованной листовой стали 12X18H10T подвергались ускоренным испытаниям на стойкость против питтинговой коррозии при комнатной температуре и подогревах, подобных технологическим, раствора FeCl₃. Стойкость против питтинговой коррозии сварных соединений существенно повышается после выполнения абразивных обработок, в меньшей степени поверхностных проковок и не зависит от шероховатости поверхности. Питтингостойкость также повышается при замене опосредованного подогрева раствора через образец на его прямой подогрев погруженным нагревателем. Результаты работы целесообразно использовать при изготовлении, ремонте и эксплуатации химического, нефтехимического, пищевого и пр. оборудования. Библиогр. 9, табл. 2, рис. 5.

Ключевые слова: резервуар, нержавеющая сталь, сварное соединение, питтинговая коррозия, абразивная обработка, проковка, подогрев, шероховатость поверхности

В производстве абразивов используется формалин, поступающий из вертикального сварного резервуара диаметром 3,2 и высотой 7,2 м, изготовленного из коррозионностойкой двухслойной стали Ст3+12X18H10T. В процессе длительной эксплуатации резервуара формалин, подогреваемый для технологических целей, преимущественно в холодную пору, вызывает образование и развитие коррозионных питтингов на плакирующем слое, в большей степени на сварных соединениях и днище. При достижении питтингами основного слоя, коррозионный процесс интенсифицируется, что приводит к сквозному коррозионному поражению стенки в течение короткого времени и загрязнению окружающей среды горючими токсичными веществами. В ИЭС им. Е.О. Патона разработана методика мониторинга [1], которая позволяет установить момент нарушения питтингом герметичности плакировки. Для заварки местных коррозионных поражений требуется длительный перерыв в эксплуатации резервуара, что влечет материальные и трудовые затраты.

Целью работы являлось увеличение эксплуатационной надежности и долговечности резервуаров для хранения агрессивных жидкостей путем повышения их стойкости против питтингообразования, в первую очередь сварных соединений нержавеющей стали.

Анализ распределения питтингов в резервуаре свидетельствует о заметном влиянии на их обра-

зование температуры и способа подогрева формалина, пространственного положения и продолжительности контактирования стенки с формалином, термических воздействий на металл при сварке и возможном влиянии состояния металла поверхности. Частичным подтверждением этого является установленная нами большая склонность к питтинговой коррозии нержавеющей стали при горизонтальном ее размещении, чем при вертикальном, что учитывалось при проведении коррозионных испытаний.

Известно, что коррозионностойкие стали склонны к питтинговой коррозии [2] вследствие образования гальванической пары между пассивированной поверхностью и ее отдельными непассивированными по разным причинам участками. Развитие питтингов вглубь происходит со скоростью, превышающей скорость равномерной коррозии в десятки тысяч раз. Склонность к питтинговой коррозии нержавеющей стали увеличивается, как правило, с повышением температуры агрессивного раствора и зависит от вида и температуры термической обработки, а также последующих нагревов [3, 4]. Стойкость к питтинговой коррозии аустенитной стали 12X18H10T повышается деформацией растяжением с образованием мартенситной α' -фазы [5]. На повышение стойкости против коррозии под напряжением и коррозионно-усталостного разрушения положительно влияет обкатка роликами, дробеструйная обра-



Рис. 1. Провар вольфрамовым электродом в среде аргона высоколегированной стали толщиной 8 мм

ботка, крацевание металлической щеткой, уменьшение шероховатости поверхности нержавеющей стали и ее сварных соединений, а также высокочастотная механическая обработка сварных соединений низколегированных сталей [6–8].

Для уточнения влияния состояния металла и поверхности сварного соединения нержавеющей стали, а также способа подогрева контактирующего с ним агрессивного раствора на питтингообразование изготавливались плоские образцы размером 50×70 мм из листовой стали 12Х18Н10Т толщиной 8 мм в состоянии поставки и толщиной 7 мм после чистой шлифовки с эмульсионным охлаждением для удаления возможных поверхностных дефектов. Образцы подвергались несквозному провару аргонодуговой сваркой вольфрамовым электродом без присадочного металла (ТИГ) с применением сварочного аппарата АРК-1 с источником питания ВДУЧ-315. При соблюдении $I_{св} = 150$ А, $U_d = 11$ В и $v_{св} = 5,5$ м/ч глубина, ширина и усиление (превышение поверхности основного металла) провара составляли 3, 11...13 и примерно 0,5 мм соответственно (рис. 1), что приемлемо для заварки локальных повреждений внутренней поверхности резервуара. При этом металл шва (провара) получается практически того же химического состава, что и основной металл, а столбчатые кристаллиты верхней части шва ориентируются в целом нормально к поверхности.

Часть образцов сварных соединений подвергалась поверхностным механическим обработкам: абразивным кругом на заточном станке, также с последующей ручной абразивной обработкой шкуркой с образованием хорошо видимых рисок; вулканитовым кругом на заточном станке до зеркального блеска (полировкой), торцевым трением без и с упругими ударами упрочненным стальным стержнем с помощью ручной дрели с образованием плохо видимых рисок, ручной и высокочастотной механической проковками с формированием вмятин.

Необработанный шов характеризуется чешуйчатостью поверхности в виде изотерм кристаллизации сварочной ванны. Они устраняются обработками абразивами, трением с образованием множества рисок разной глубины и частоты распределения и проковками с поверхностной пластической деформацией металла без образования рисок. После этих обработок шов выявляется на

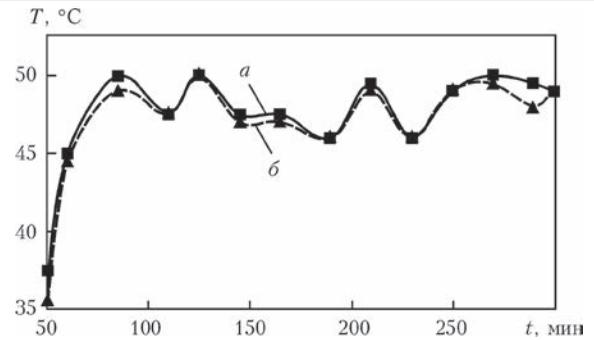


Рис. 2. Изменение температуры водного раствора FeCl₃, подогреваемого на электроплитке на расстоянии 5 (а) и 45 (б) мм от поверхности образца

поверхности только по его усилению над основным металлом.

Коррозионные испытания на предмет выявления склонности к питтинговой коррозии горизонтально размещенных сварных образцов проводились в 10 %-ном водном растворе FeCl₃ при комнатной температуре 25...27 °С в течение 5, 24, 48, 72 ч и в процессе подогрева в течение 5 ч по ГОСТ 9.912–89. Подогревы столба раствора высотой 90 мм в цилиндрической ячейке диаметром 40 мм, установленной вертикально на поверхности образца, осуществлялись на электроплитке через образец и электронагревателем, погруженным в раствор на глубину 45 мм, при охлаждении образца с обратной стороны проточной 18...20 °С водопроводной водой. Температура раствора на разных уровнях контролировалась погружаемым ртутным термометром и регулировалась оперативными изменениями подводимого напряжения ЛАТРОМ, а также принудительными охлаждениями погружаемой сверху пробиркой с холодной водой.

В процессе подогрева на электроплитке температура водного раствора повышается до 45 °С в течение 1 ч и стабилизируется при 46...50 °С по истечении 75...80 мин (рис. 2). При этом за счет конвекции устанавливается небольшая разность температур раствора 0...1,5 °С на участке в пределах 5...45 мм от образца. В условиях конвективного теплообмена температура поверхности образца незначительно превышает температуру подогреваемого раствора.

При подогреве погруженным электронагревателем температура раствора у поверхности об-

Т а б л и ц а 1. Изменение по высоте температуры водного раствора FeCl₃, подогреваемого погруженным нагревателем и охлаждаемого снизу

Длительность подогрева, мин	Температура раствора (°С) на высоте (мм)				
	5	15	25	33	45
0	22	22	24	24	24
50...58	25	29	31	41	52
75...80	27	31	-	44	52
110...120	28	34	40	48	51
163...171	28,5	-	41	-	56
197...240	28,5	34	-	48	53

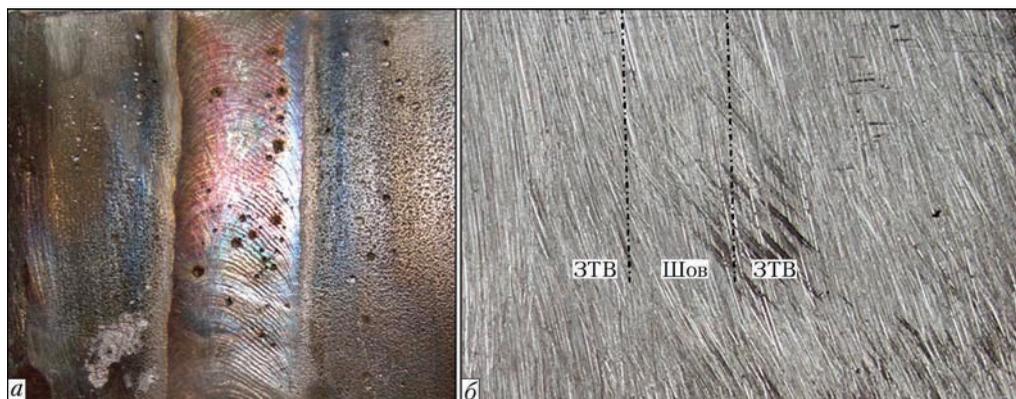


Рис. 3. Поверхность сварного соединения листовой стали 12X18H10T, испытанного на питтинговую коррозию в течение 5 ч в состояниях после сварки (а) и абразивной обработки (б)

разца повышается дольше и до меньших значений, чем возле нагревателя, и стабилизируется на 28,0...28,5 и 51...56 °С на расстоянии 5 и 45 мм от поверхности образца после 110 минут подогрева (табл. 1). С учетом градиента температур по высоте 0,55...0,60 °С/мм температура раствора у самой поверхности образца должна быть 25...26 °С. От-

сутствие конвекции обуславливает пониженную интенсивность теплообмена и подогрева образца, что в сочетании с принудительным охлаждением его с обратной стороны (как стенки резервуара в холодную пору) обуславливает установление температуры на его поверхности ниже, чем при по-

Т а б л и ц а 2. Образование питтингов на сварном соединении стали 12X18H10T в зависимости от обработки

Способ обработки. Шероховатость поверхности Ra, мкм		Длительность. испытаний, ч	Количество питтингов, шт.*		
Стали	Соединения		Провар	ЗТВ	
	Шов	ЗТВ			
Без обработки. 0,2...1,6	Без обработки		5	26	60
	После сварки	0,2...1,6			
То же	Абразивная кругом		5	2	5
	40...60	40...60			
То же	Абразивная кругом и шкуркой		5	1	2
	20...40	20...40			
Шлифовка. 0,2...0,8	Без обработки		5	20	1
			24	20	1
	После сварки	0,2...0,8	48	20	1
			72	20	1
То же	Ручная проковка		5	14	1
			24	14	1
	После проковки	После проковки	48	14	1
			72	14	1
То же	Высокочастотная механическая проковка		5	14	1
			24	14	1
	После проковки	После проковки	48	14	1
			72	14	1
То же	Полировка		5	Не обнар.	Не обнар.
			24	Не обнар.	Не обнар.
	0,2...1,6	0,2...1,6	48	Не обнар.	Не обнар.
			72	Не обнар.	Не обнар.
То же	Торцевое трение		5	11	4
			24	21	15
	5...10	5...10	48	21	15
			72	21	15
То же	Торцевое трение с ударами		5	20	4
			24	27	20
	5...10	5...10	48	27	20
			72	27	20

* На 40 мм длины сварного соединения.

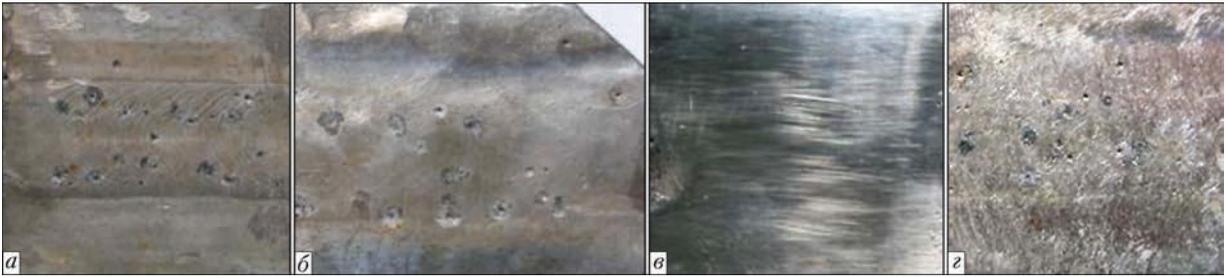


Рис. 4. Поверхность сварных соединений шлифованной нержавеющей стали, испытанных на питтинговую коррозию после сварки (а), проковки (б), полировки (в), торцевого трения (з)

догреве на электроплитке, по крайней мере, на 20...25 °С и ниже комнатной температуры.

При воздействии раствора $FeCl_3$ при комнатной температуре необработанное сварное соединение нержавеющей стали в состоянии поставки склонно к образованию питтингов: относительно крупных на шве и меньших разных размеров на расстоянии от шва 3...8 мм и более (рис. 3, а, табл. 2). Высокую склонность к питтингообразованию соединения можно объяснить возникновением в приповерхностном слое растягивающих напряжений [7], обогащением серой и другими примесями пограничных зон ячеек столбчатых кристаллитов металла шва у поверхности и наличием поверхностных дефектов в листовом прокате в сочетании с неблагоприятными температурами нагрева при сварке. Абразивные обработки кругом на заточном станке и шкуркой, удаляющие приповерхностные слои с дефектами и чешуйчатость шва, существенно уменьшают (до единичных проявлений) склонность к образованию питтингов на сварных соединениях, несмотря на увеличение шероховатости поверхности (образование рисок), которая практически не изменяется в процессе коррозионных испытаний (рис. 3, б, табл. 2).

Существенное уменьшение количества образующихся в металле ЗТВ питтингов достигается шлифовкой (без видимых рисок) образца перед сваркой по сравнению с сохранением большо-

го их количества на необработанном шве (рис. 4, а, табл. 2). Склонность к питтинговой коррозии шва снижается в результате проведения поверхностных ручной и высокочастотной механической проковок (рис. 4, б, табл. 2), после которых уменьшаются растягивающие и появляются сжимающие напряжения в металле приповерхностного слоя [9]. Практическое устранение склонности сварного соединения к питтингообразованию осуществляется полировкой до зеркального блеска вулканитовым кругом, сочетающей удаление дефектов приповерхностного слоя с уменьшением шероховатости поверхности (рис. 4, в, табл. 2). Соединения, обработанные торцевым трением, особенно с упругими ударами, становятся более склонными к образованию питтингов (рис. 4, з, табл. 2), причиной чему может быть возникновение растягивающих напряжений в приповерхностном слое. Питтинги образуются преимущественно в течение первых 5 ч испытаний, после чего их количество существенно не увеличивается.

Подогрев сварного образца необработанной стали и водного раствора на электроплитке в процессе коррозионного испытания в течение 5 часов вызывает увеличение количества и размеров образующихся на поверхности сварного соединения питтингов, особенно на участке ЗТВ на расстоянии 3...5 мм от шва (рис. 3, а, 5, а). При его испытании с подогревом раствора погруженным элект-

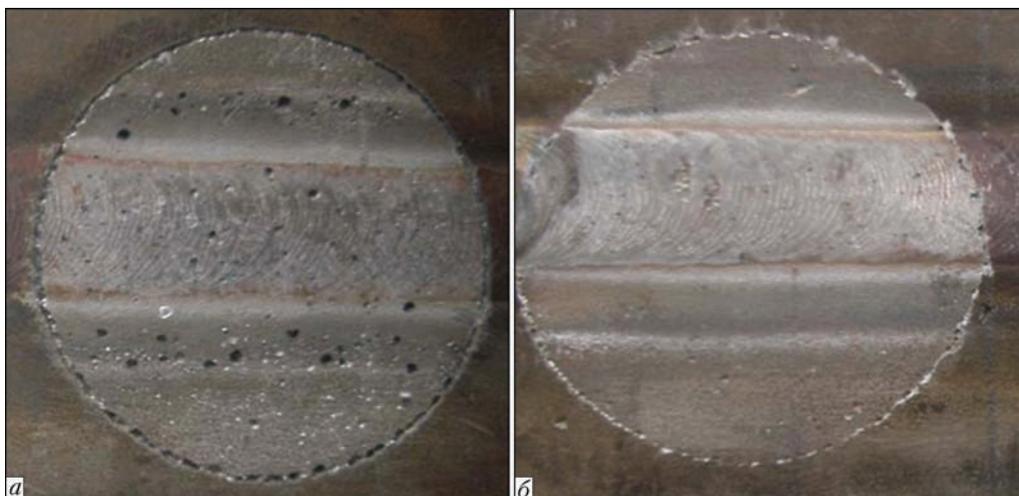


Рис. 5. Поверхность сварных соединений механически необработанной стали после коррозионных испытаний на питтинговую коррозию с подогревом на электроплитке (а) и погруженным электронагревателем (б)

тронагревателем и принудительным охлаждением образца с обратной стороны образуются мелкие, обнаруживаемые с помощью лупы, питтинги, преимущественно на поверхности шва (рис. 3, а, 5, б), уступающие по количеству и размерам питтингам, образующимся при комнатной температуре. Уменьшение склонности к питтингообразованию сварного соединения происходит благодаря совместному снижению температуры его поверхности и раствора в зоне их контакта, что возможно также путем рассредоточения подводимой через металл теплоты.

Выполнение абразивных обработок, особенно полировки, сварных соединений и заварок коррозионностойкой стали и замена опосредованного подогрева агрессивной жидкости через стенку резервуара на прямой подогрев изнутри погруженным нагревателем способствуют увеличению надежности и ресурса эксплуатации резервуара. При подогреве снаружи это возможно также за счет рассредоточения подводимой теплоты, когда уменьшаются плотность теплового потока и температура внутренней поверхности стенки и пограничного слоя жидкости. Установлено, что небольшое повышение питтингостойкости сварного соединения достигается поверхностной проковкой.

Выводы

1. Сварной шов и зона термического влияния соединений стали 12Х18Н10Т с одинаковым химическим составом металла, например, после аргонодуговой сварки W-электродом без использования специальной обработки, склонны к питтинговой коррозии в формалине.

2. Существенное повышение стойкости против образования питтингов, в первую очередь на сварных соединениях нержавеющей стали, обеспечивается абразивными обработками, особенно полировкой, удаляющими поверхностные слои с повышенным количеством различного рода де-

фектов. При этом шероховатость (чистота обработки) поверхности не определяет склонность к питтинговой коррозии. Повышение стойкости против питтингообразования возможно также поверхностными проковками, однако менее эффективно. Эти обработки целесообразно применять при изготовлении и ремонте резервуаров из коррозионностойкой стали.

3. Надежность и ресурс эксплуатации резервуара можно повысить, заменив технологический подогрев снаружи через стенку резервуара на подогрев агрессивной жидкости изнутри погруженным нагревателем или рассредоточив подводимую теплоту при опосредованном подогреве снаружи.

1. Моніторинг корозійного стану біметалевого резервуару для продуктів нафтопереробки та його ремонт / Л.І. Ниркова, С.О. Осадчук, А.О. Рибаків та ін. / Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Зб. наук. статей. – Київ: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2015. – С. 531–537.
2. Идельчик Б.М., Лященко А.Е. Защита от коррозии компрессорных машин. – Л.: Машиностроение, 1984. – 119 с.
3. Томашев Н.Д. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. – М.: Металлургия, 1986. – 358 с.
4. Влияние нагревов на коррозионную стойкость нержавеющей стали 12Х18Н10Т / Л.И. Шабудеева, О.К. Ревякина, Т.Б. Макаручук, Л.Я. Гурвич // Физика поверхности и защита материалов. – 1996. – 32, № 2.
5. Яровчук А.В., Воронина Т.А., Тиванова О.В. Влияние мартенсита деформации на стойкость к питтинговой коррозии нержавеющей стали 12Х18Н10Т // Ползуновский альманах. – 2007. – № 1-2. – С. 190–196.
6. Пачурин Г.В. Оптимизация режимов поверхностной пластической обработки с целью повышения эксплуатационной долговечности металлоизделий // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 2. – С. 91–95.
7. Соппротивление коррозионной усталости сварных соединений, упрочненных высокочастотной механической проковкой / В.В. Кныш, И.И. Вальтерис, А.З. Кузьменко, С.А. Соловей // Автомат. сварка. – 2008. – № 4. – С. 5–8.
8. Клименко А.В., Соловей С.А., Коваленко С.Ю. Повышение стойкости сварных соединений трубных сталей к коррозионному разрушению под напряжением // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Дала. – 2013. – № 13 (202). – С. 178–183.
9. Кирьян В.И., Кныш В.В. Высокочастотная механическая проковка сварных соединений металлоконструкций // Автомат. сварка. – 2008. – № 11. – С. 36–41.

Поступила в редакцию 02.02.2016

Компания Ярдвэй Групп, КНР приглашает на работу трех инженеров-сварщиков

Требования к кандидатам:

- степень бакалавра или выше по специальностям: сварка, машиностроение, электротехника и родственные специальности;
- мужчины, возраст 25–49 лет;
- базовое знание разговорного английского языка;
- интерес к китайской культуре, желание работать в КНР и других странах мира.

Сферы деятельности:

- послепродажное обслуживание сварочного оборудования на предприятиях клиентов;
- модернизация существующего и разработка нового сварочного оборудования.

E-mail: masha@kiwayzh.com. Contact Person: Ms. Masha

Tel: +8613809235810 (Kyiv time from 9:00-17:00) <http://www.yardwaygroup.com/>