



## ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ КОЛОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ\*

**Л. В. ЧЕКОТИЛО, А. В. БУЛАТ**, кандидаты техн. наук,  
**Я. Б. ЛЕБЕДЕВИЧ, А. В. ЗВЯГИНЦЕВА**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),  
**Ю. Б. ДАНИЛОВ**, канд. техн. наук, **В. А. КАЧАНОВ**, канд. хим. наук, **А. И. КАБАШНЫЙ, С. М. ИВАНУНА,**  
**Т. Э. ШЕПЕЛЬ, Е. К. ГВОЗДИКОВА, Ю. В. КОЗИН**, инженеры  
(ОАО «Украинский науч.-исслед. и конструкторский ин-т хим. машиностроения», г. Харьков)

Изложены особенности применения ремонтной технологии крупногабаритного колонного оборудования нефтеперерабатывающих производств из двухслойной стали СтЗсп + 08Х13, длительно эксплуатируемого при температуре до 300...400 °С.

*Ключевые слова:* колонны, двухслойные стали, трещины, твердость, коррозия, обследование колонн, дефекты, разделка дефектов, сварка, наплавка, испытания, продление срока эксплуатации

Для изготовления корпусов колонн, емкостей и другого оборудования нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) широко применяются двухслойные стали марок СтЗсп, 09Г2С, 16ГС, 20К, 17ГС с плакирующим слоем из стали 08Х13 [1–7].

Корпусы колонн и отдельных емкостей НПЗ, в состав которых входит цилиндрическая часть, верхнее и нижнее днище, патрубки, элементы лазов, изготовленные из указанных двухслойных сталей, эксплуатируются в основном при температурах до 360...400 °С под небольшим давлением до 0,2...0,5 МПа или в условиях низкого вакуума 20...60 мм рт. ст.

Колонное оборудование НПЗ при переработке низкосернистых сортов нефти, изготовленное из указанных марок сталей, эксплуатировалось в Украине с 1960 г. без особых сложностей в отношении ремонтов. Ситуация изменилась при переделе нефти с повышенным и высоким содержанием сероводорода H<sub>2</sub>S. Наличие последнего в перерабатываемом продукте увеличивает степень и скорость деградации стали, причем деградации подвержены как углеродистые, так и нержавеющие высоколегированные стали [8–10].

Типичными дефектами, которые при определенных условиях могут образоваться в корпусах колонн и емкостей в процессе многолетней экс-

плуатации по переработке нефти, являются коррозионное сероводородное растрескивание сварных швов и коррозионностойкого слоя 08Х13, язвенно-точечная коррозия плакирующего слоя и повышение твердости плакирующего и основного слоев двухслойной стали [8, 9]. Общая коррозия плакирующего слоя незначительна. Так, в колонне К-2 из стали 16ГС+08Х13 толщиной 16 мм, эксплуатировавшейся при температуре 360 → 100 °С (соответственно низ и верх колонны) в течение 38 лет, толщина коррозионностойкого слоя 08Х13 уменьшилась на 0,2...0,5 мм (0,005...0,013 мм/год). Язвенно-точечная коррозия корпусов из указанных сталей проявляется преимущественно в виде мелкой сыпи диаметром до 0,5...1,0 мм и глубиной до 0,2...0,5 мм.

При несоблюдении установленной технологии сварки в корпусах колонного оборудования могут образовываться такие сварочные дефекты, как подрезы, несплавления, непровары, поры, наплывы, при использовании стабильноаустенитных сварочных материалов — кристаллизационные трещины в швах и ремонтных наплавках. В процессе длительной эксплуатации колонного оборудования в основном и плакирующем слоях стали происходят структурные изменения. Данные табл. 1 и металлографических исследований на примере стали 16ГС+08Х13, вырезанной из колонны К-2 по переработке нефти после 38-летней эксплуатации, свидетельствуют о значительной диффузии углерода из стали 16ГС в коррозионностойкий слой. При этом в зоне соединения слоев в стали 16ГС образуется прослойка, обедненная углеродом, а в приграничной области в стали 08Х13 концентрация углерода увеличивается. Зональное повышение углерода в стали 08Х13 приводит к коагуляции карбидов по границам зерен,

\* В работах принимали участие А. В. Яровицын, С. А. Супрун, В. А. Пестов (специалисты ИЭС им. Е. О. Патона), А. В. Земляной, В. Н. Беспалый, А. Ф. Яковлев, С. В. Киричков (АО «Укртатнафта»), Е. А. Давыдов, В. П. Дядин (ООО «Тест»); В. М. Долинский, Д. Г. Рязунов, В. Г. Новик (ООО «Энергосервис»).

Таблица 1. Химический состав металла в зоне соединения слоев двухслойной стали 16ГС+08Х13 после 38-летней эксплуатации колонны по переработке нефти при температурах 360 → 100 °С

Объект исследования	Химический состав, мас. %				
	Si	Cr	Mn	Fe	C
Обезуглероженная зона в основном слое 16ГС	0,766	0,078	1,146	98,034	0,002
Науглероженная зона в коррозионностойком слое 08Х13	0,485	11,928	0,468	86,364	0,755
Коррозионностойкий слой 08Х13	0,461	12,118	0,421	86,962	0,039

образованию мартенсита, повышению твердости плакирующего слоя. В отдельных местах корпуса этой колонны твердость плакирующего слоя повысилась до *HV* 304...320. Аналогичная ситуация обнаружена также при исследовании образцов двухслойной стали СтЗсп+08Х13 толщиной 30 и 10 мм, вырезанных из колонны К-5 установки АВТ по первичной переработке нефти и К-5 по очистке нефти от серы после 38-летней эксплуатации. Зона соединения слоев в исходной стали 09Г2С+08Х13, произведенной с использованием метода электрошлаковой наплавки, практически в 2 раза шире, чем пакетным методом.

При переработке сероводородсодержащей нефти повышения содержания серы в металле корпусов колонн, сварных швах и наплавках не происходит. В результате содержание сульфидов марганца, склонных к разбуханию при контакте с водородом в ходе эксплуатации, не увеличивается.

Согласно принятым положениям для колонного оборудования, действующим в нефтеперерабатывающей отрасли [5–7], твердость плакирующего слоя 08Х13 рекомендуется ограничивать значением *HV* 220. Такие требования по твердости обеспечиваются в исходной стали, которая подвергается термической обработке [1], и новом оборудовании, изготовленном из этой стали. В ходе эксплуатации происходит повышение твердости плакирующего слоя 08Х13 выше *HV* 220 [6–9] (в исследованных случаях вплоть до *HV* 400...600) вследствие образования мартенсита. Сталь 08Х13 в зависимости от содержания хрома и углерода и соотношения этих элементов является метастабильной по структуре (ферритной и ферритно-мартенситной) и соответственно по свойствам [11]. Повышение твердости обоих слоев двухслойных сталей и образование трещин может происходить также в результате насыщения их водородом в процессе эксплуатации [9, 10, 12–14].

Сравнительный анализ коррозионного состояния колонн К-2, К-5, К-6, К-12/1, К-12/2 и емкости колонного типа Е-23 установки АВТ АО «Укртатнафта» за последние 6 лет и снятых с эксплуатации колонн К-5 по очистке нефти от серы и К-2 по первичной переработке нефти после 38-летней эксплуатации показал, что отмеченные выше дефекты в корпусах не являются массовыми.

Образуются они преимущественно в сварных швах и околошовной зоне (ОШЗ) отдельных сварных швов и ремонтных наплавки. Так, в колонне К-2 установки АВТ за последние 2 года (плановые остановки и ремонты производятся через 2 года) при твердости плакирующего слоя 08Х13 до *HV* 250 образовались трещины в ОШЗ сварных швов в пяти местах и трещина в шве одного патрубка, в колонне К-5 при твердости плакирующих наплавки на швах до *HV* 380 — в восьми кольцевых, вертикальных и меридиональных швах (при площади внутренней поверхности указанных колонн около 507 и 700 м<sup>2</sup>). На участках длиной 15...650 мм длина трещин в колонне К-2 составляет 3...15 мм, глубина до 5 мм, шаг между трещинами 5...15 мм, в К-5 длина трещин 140...400 мм, глубина до 6 мм.

В колоннах К-6 при твердости отдельных участков плакирующего слоя и наплавки на швах до *HV* 250...300, К-12/1 до *HV* 177...391, К-12/2 — до *HV* 180...363 и емкости Е-23 до *HV* 167...366 трещины в сварных швах и плакирующем слое обнаружены не были. Повышение твердости плакирующего слоя свыше *HV* 220 может вызвать образование трещин в корпусах колонн, но не является однозначно установленным критерием браковочного признака колонного оборудования НПЗ всех типов, как это указано в нормативных документах [5–7].

Металл основного (несущего) слоя корпусов колонн деградирует в меньшей степени, чем плакирующий слой 08Х13. Твердость основного слоя из сталей СтЗсп, 09Г2С, 16ГС повышается в процессе многолетней эксплуатации незначительно и, как показал анализ за последние шесть лет, за исключением редких случаев (2005 г., колонна К-12/1 в точках 30 и 31 — *HV* 286 и 225), не превышает нормативного уровня *HV* 190. Механические свойства несущего слоя, по которому производится оценка прочности корпусов колонн, находится на достаточно высоком уровне (табл. 2).

Работоспособность корпусов колонн зависит от множества факторов и в значительной мере от тщательности обследования коррозионного состояния аппаратов и квалифицированного выполнения ремонтных работ. Важным звеном продления срока эксплуатации колонного оборудова-



Таблица 2. Механические свойства образцов двухслойных сталей Ст3+08Х13 и 16ГС+08Х13, вырезанных из корпусов колонн после 38-летней эксплуатации

Марка стали	Тип и размеры сечения образцов	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$KCU^{+20^\circ C}$ , Дж/см <sup>2</sup>	
					основного (несущего) слоя	плакирующего слоя 08Х13
Сталь Ст3сп+08Х13 толщиной 30 мм, колонна К-5 установки АВТ						
Ст3сп (ГОСТ 380–60)	Цилиндрические (ГОСТ 1497–84) диаметром 5,8 мм	423,5	219,5	52,0	166,3	—
		423,7	189,2	51,0	243,8	
		425,7	215,4	56,0	257,5	
08Х13 (ЭИ496)	Плоские (ГОСТ 1497–84) толщиной 4,5 мм	1052,7	881,7	10,9	—	101,4
		1055,8	881,4	10,4	—	94,3
Требования ГОСТ 380–60 к листовой стали Ст3сп толщиной не менее 26...40 мм		380	240,0	25,0	50,0	—
		490				
Сталь 16ГС+08Х13 толщиной 16 мм, колонна К-2, снятая с эксплуатации						
16ГС	Плоские (ГОСТ 1497–84) без удаления плакирующего слоя; 16×18 мм	556,0	373,3	12,4	150,1	—
		572,0	417,5	15,0	144,2	
		555,9	369,5	11,8	158,9	
Требования ГОСТ 19282–73 к листовой стали 16ГС толщиной 10...20 мм		480,0	315,0	21,0	59,0	—

ния НПЗ является разработка технологий ремонта сварных соединений и плакирующего слоя способами сварки и наплавки.

Заварку дефектов в основном слое колонн производили электродами типа Э-42А марки УОНИИ-13/45 в условиях и по режимам, предусмотренным нормативными документами отрасли [3–7]. Учитывая, что к коррозионностойкому слою 08Х13 в указанных колоннах не предъявляются требования против межкристаллитной коррозии и колонны эксплуатируются при температурах не выше 360 °С, для ремонта слоя 08Х13 и плакирования низкоуглеродистых швов выбрана композиция металла типа Х25Н13 — электроды типа Э-10Х25Н13Г2 марки АНВ-70Б [14] и сварочная проволока марки Св-07Х25Н13. Наплавку проволокой производили полуавтоматом в аргоне с добавкой кислорода. Электроды АНВ-70Б, разработанные Институтом электросварки с использованием отечественных сырьевых материалов для покрытия, изготавливаются ГП «Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона». При сварке электродами АНВ-70Б обеспечивается стабильное горение дуги, легкое повторное зажигание дуги, хорошая отделимость шлаковой корки, равномерное формирование сварных швов и наплавки во всех пространственных положениях. Химический состав и механические свойства наплавленного металла электродами АНВ-70Б соответствуют требованиям ГОСТ 10052–75, содержание ферритной фазы в наплавленном металле находится в пределах 6...10 %.

При разработке ремонтной технологии сваривали жесткие образцы из сталей 16ГС+08Х13 и Ст3сп+08Х13 толщиной 10,16 и 30 мм с уровнем твердости плакирующего слоя  $HV$  250...380, вырезанные из колонн после 38-летней эксплуатации

в виде «лодочек» (рис. 1), стыковые (рис. 2) и пробы по О. И. Стеклову диаметром 130 мм с кольцевым швом диаметром 40 мм (табл. 3). Для сравнения производили сварку и наплавку образцов из стали 09Г2С+08Х13 толщиной 10 и 20 мм в состоянии поставки (без эксплуатации). Жесткость образцов обеспечивали путем приварки их по контуру к толстым плитам. Наплавку плакирующего слоя производили электродами АНВ-70Б и проволокой Св-07Х25Н13 в нижнем и пространственных положениях применительно к ремонту корпусов колонн. Наплавкой образцов типа «лодочек» имитировали случаи ремонта плакирующего слоя колонн, сваркой стыков — ремонт возможных трещин в сварных швах и плакирующем слое (с переходом в углеродистый шов или основной слой). Наплавку плакирующего слоя электродами АНВ-70Б производили в два слоя, проволокой Св-07Х25Н13 — в три с соблюдением

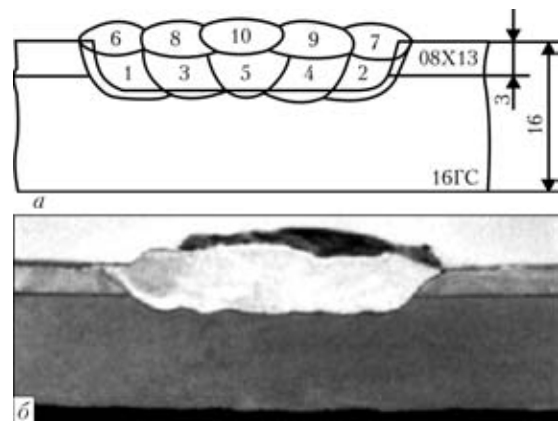


Рис. 1. Плакирующий наплавленный слой 08Х13 на стали 16ГС+08Х13: а — форма разделки дефекта и последовательность наплавки электродами АНВ-70Б переходного (1-5) и плакирующего (6-10) слоев; б — макроструктура металла наплавки, выполненной в вертикальном положении

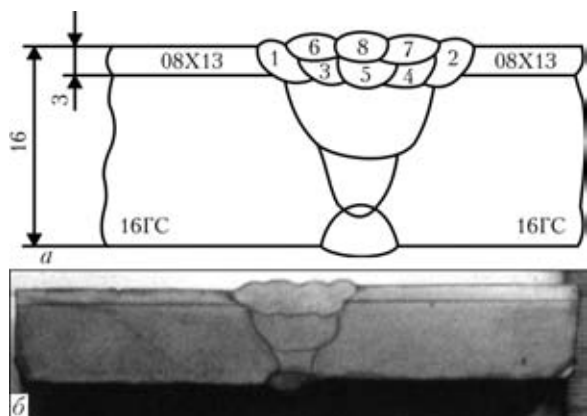


Рис. 2. Сварной шов с трещиной со стороны плакирующего слоя из стали 16ГC+08X13: а — форма разделки шва в зоне трещин и последовательность наплавки валиков переходного (1-5) и плакирующего (6-8) слоев электродами АНВ-70Б; б — макроструктура металла отремонтированного шва в поперечном сечении

общепринятых правил сварки двухслойных сталей (рис. 1, 2). Разбавление наплавленного металла углеродистым не должно быть более 30 %. При этом обеспечивается стабильная аустенитно-фер-

ритная структура металла переходной зоны и высокая гарантия отсутствия кристаллизационных трещин. Твердость наплавленного металла электродами АНВ-70Б (рис. 3) и проволокой Св-07Х25Н13 при соблюдении указанной технологии находится в пределах 1500...2000 МПа (*НВ* 150...200), что ниже твердости коррозионностойкого слоя 08X13 эксплуатирующихся колонн. Несмотря на высокую жесткость сварных образцов из стали 16ГC+08X13 и Ст3сп+08X13 после многолетней эксплуатации с повышенным уровнем твердости *НВ* 250...380, трещины в наплавленном металле электродами АНВ-70Б и проволокой Св-07Х25Н13 без подогрева обнаружены не были.

Учитывая, что твердость плакирующего слоя ремонтируемых колонн выше нормированного значения *НВ* 220, наличие мартенсита в слое 08X13, повышенную жесткость рядов узлов колонн, была проверена необходимость подогрева и термической обработки свариваемых кромок наплаваемой зоны (табл. 3 и 4) в ходе ремонта.

При наличии в плакирующем слое мартенсита (в рассматриваемых случаях содержание его в слое 08X13 достигало 40 %) наплавку предпочтительно вести с подогревом до 300...350 °С. В

Таблица 3. Свойства сварных соединений из двухслойных сталей 16ГC+08X13 толщиной 16 мм, 09Г2C+08X13 толщиной 20 и 10 мм и Ст3сп+08X13 толщиной 10 мм

Способ наплавки коррозионностойкого слоя на низкоуглеродистых швах	Марка и диаметр электродов, проволока для наплавки	Марка свариваемой стали, условия сварки	Слой стали	Твердость <i>НВ</i>			
				Сталь до сварки	ОШЗ, сталь 08X13 (3...4 мм от линии сплавления)	Металл	
						низкоуглеродистого шва	плакирующей наплавки на шве
Ручная дуговая покрытыми электродами (РДПЭ)	Электроды марки АНВ-70Б диаметром 3 мм	16ГC+08X13 после эксплуатации по переделу нефти	Основной 16ГC	131	—	179	—
			Плакирующий 08X13	311	302	—	197
	То же	Сварка с подогревом стыка до 350 °С	16ГC	143	—	153	—
			08X13	302	321	—	197
16ГC+08X13 после эксплуатации и термообработки (640 °С — 1 ч, воздух)	16ГC	137	—	—	—		
	08X13	227; 204	197; 223	241	197		
Ручная полуавтоматическая дуговая	Проволока марки Св-07Х25Н13 диаметром 1,2 мм	16ГC+08X13 после эксплуатации по переделу нефти	16ГC	121	—	170	—
			08X13	307	307	—	192
РДПЭ	Электроды марки АНВ-70Б диаметром 3 мм	09Г2C+08X13 до эксплуатации толщиной 20 мм	09Г2C	179	—	179	—
			08X13	179	197	—	197
		09Г2C+08X13 до эксплуатации толщиной 10 мм	09Г2C	156	—	187	—
			08X13	170	179	—	187
Ст3сп+08X13 после эксплуатации	Ст3сп	167	—	182	—		
	08X13	270	—	—	180		

<sup>1</sup> Основной слой заварен электродами марки УОНИИ-13/45. Трещины в металле ЗТВ по слою 08X13 отсутствуют.



**Таблица 4. Влияние режимов восстановительной термообработки на твердость плакирующего слоя 08X13 двухслойной стали 16ГС + 08X13 после 38-летней эксплуатации**

Режим восстановительной термообработки <sup>1</sup>		Твердость стали 08X13 <i>HV</i>
<i>T</i> , °C	Длительность выдержки, ч	
Без термообработки		285, 277
250	1,0	277, 277
300	1,0	277, 277
350	1,0	285, 285
400	1,0	268, 265
580	1,0	277, 269
640	0,5	255, 255
640	1,0	197, 197
700	1,0	197, 197
730	1,0	187, 179
850	1,0	179, 179

<sup>1</sup> Охлаждение образцов после термообработки производили на воздухе.

этом случае ширина переходной зоны (углеродистая сталь 16ГС, СтЗсп, 09Г2С — слой 08X13) не увеличивается, структурные изменения не происходят, а вероятность образования трещин в слое 08X13 снижается.

Термическая обработка для рассматриваемых сталей, если в этом появится необходимость (например, чрезмерно высокая твердость плакирующего слоя или в случае образования при наплавке трещины в слое 08X13) должна производиться при температурах 640...700 °C не менее 1 ч. При этом твердость ремонтируемых соединений, зон снижается до нормированного уровня (ниже *HV* 220) табл. 3 и 4.

В табл. 5 для примера приведены механические свойства сварного соединения из стали

**Таблица 5. Кратковременные механические свойства сварных соединений из двухслойной стали 16ГС + 08X13 толщиной 16 мм, вырезанной из колонны К-2**

№ образца	Присадочные материалы для сварки		Механические свойства					
	Основного слоя 16ГС (твердость стали 16ГС)	Переходного и плакирующего слоев	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	Место разрыва образца	<i>KCU</i> , Дж/см <sup>2</sup>	
							углеродистого шва	стали 16ГС
A34	УОНИИ-13/45 (корень шва) + УОНИИ 13/55 (НВ 131)	Электроды АНВ-70Б	432,3 425,4	524,5 546,7	13,0 12,0	По основному слою 16ГС	220,7 232,5 225,6	150,1 144,2 158,9
A33	УОНИИ-13/45 (корень шва) + УОНИИ-13/55 (НВ 121)	Проволока Св-07Х25Н13	420,5 404,4	520,8 520,7	16,3 17,5	То же	229,5 252,2 225,6	149,2 150,4 154,8
Сталь 16ГС	Требования ГОСТ 19282-73 к листу стали 16ГС толщиной 10...20 мм (не менее)	—	315,0	480,0	21,0	—	—	59,0

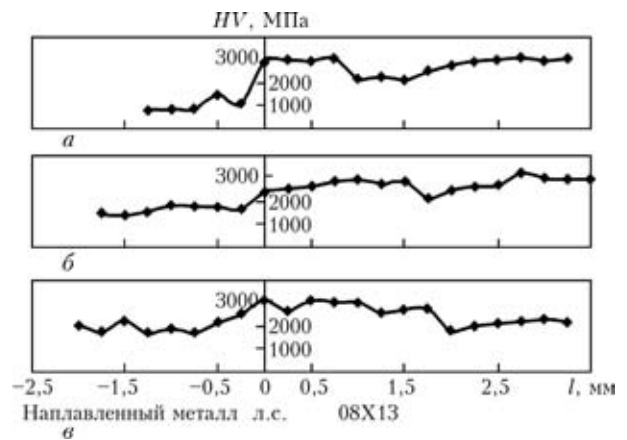


Рис. 3. Распределение микротвердости в ремонтной наплавке, выполненной электродами АНВ-70Б для стали 16ГС+08X13 (а); с предварительным и сопутствующим подогревом ремонтной зоны до 350 °C (б); с термообработкой ремонтной зоны до наплавки по режиму: 640 °C — 1 ч, воздух (в)

16ГС+08X13 после 38-летней эксплуатации, выполненного по разработанной технологии. Наплавку плакирующего слоя шва производили электродами АНВ-70Б. Разработанная технология рекомендована предприятию АО «Укртатнафта» для ремонта корпусов колонн из сталей СтЗсп+08X13, 16ГС+08X13.

По рекомендованной технологии в 2005 г. на АО «Укртатнафта» с использованием электродов АНВ-70Б отремонтированы корпуса колонн К-2, К-6 и частично К-5 из стали СтЗсп+08X13 толщиной 16, 20, 24 и 30 мм с повышенной твердостью коррозионностойкого слоя 08X13 до *HV* 250, 250...300 и 160...380 соответственно. Перед ремонтом корпуса колонн были освидетельствованы на наличие дефектов (трещин в швах и ОШЗ, сварочных дефектов, поврежденных коррозией зон и др.). Основные дефекты, обнаруженные в

корпусе колонны К-2, трещины в околошовной зоне сварных швов и одна трещина в шве плакированного патрубка, в К-5 — трещины в сварных швах, в К-6 — сварочные дефекты (поры и подрезы). Вышлифовку дефектов в плакирующем слое, пораженном трещинами, в швах производили абразивным способом; удаление трещин контролировали визуально-оптическим и капиллярным методами. Учитывая степень и характер коррозионного повреждения, ремонт корпусов производили без удаления из колонн внутреннего оборудования (тарелок и др.). Наплавку коррозионностойкого слоя из условий доступности к ремонтируемым зонам производили только электродами. В колоннах К-2, К-6 и К-5 ремонт плакирующего слоя произведен электродами АНВ-70Б.

При контроле визуально-оптическим методом трещины в наплавках, выполненных электродами АНВ-70Б, и ОШЗ наплавки в слое 08Х13 обнаружены не были, поэтому весь объем ремонтных наплавки в колоннах К-2, К-5 и К-6 был выполнен без подогрева ремонтируемых зон. На данном этапе ремонта корпусов колонн не было необходимости применения термической обработки ремонтируемых мест перед сваркой и наплавкой. После ремонта корпусы колонн подвергали визуально-оптическому контролю и пневматическим испытаниям. Дефекты в корпусах колонн не были обнаружены, кроме колонны К-5. В металле ЗТВ одного из меридиональных швов переходника между цилиндрическими обечайками колонны диаметром 8000 и 5500 мм, сваренного из лепестков стали СтЗсп+08Х13 толщиной 30 мм, образовалась трещина длиной до 550 мм. Вероятной причиной ее образования является высокий уровень сварочных напряжений в промежутке шириной 3...5 мм между отремонтированным швом и швом по приварке кронштейна для удержания внутренних устройств колонны (тарелок и др.). Дефектное место было отремонтировано, колонну подвергли повторному контролю на наличие дефектов и пневматическим испытаниям. Дефекты в корпусе обнаружены не были.

С учетом результатов коррозионного освидетельствования колонн до ремонта, степени и характера коррозионного повреждения корпусов, относительно невысокого уровня твердости плакирующего слоя обследованных зон (до НВ 250...380) и результатов контроля качества отремонтированных соединений [16,17] срок эксплуатации колонн продлен на 2 года. Предусматривается очередное плановое освидетельствование коррозионного состояния аппаратов.

Peculiarities of application of the technology for repair of durable oil refinery column equipment made from two-layer steel St.3sp (killed) + 0.8Kh13, which is operated at a temperature of 300...400 °C, are considered.

## Выводы

1. Разработана базовая технология ремонта корпусов колонн нефтеперерабатывающих производств из двухслойных сталей СтЗсп+08Х13, 16ГС+08Х13 с повышенной твердостью коррозионностойкого слоя, эксплуатируемых при температурах до 300...400 °C.

2. Выполнен ремонт корпусов колонн нефтеперерабатывающего производства из стали СтЗсп+08Х13 с повышенной твердостью коррозионностойкого слоя, эксплуатируемого при температурах до 360 °C.

1. Голованенко С. А., Меандров Л. В. Производство биметаллов. — М.: Металлургия, 1966. — 278 с.
2. Коррозия. Справочник / Под ред. Л. Л. Шрайера; пер. с англ. — М.: Металлургия, 1981. — 631 с.
3. Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. — М.: Металлургия, 1986. — 360 с.
4. ГСТУ 3-17-191-2000. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. — Введ. 16.02.2000.
5. ГСТУ 3-020-2001. Зварювання плавленням металевих матеріалів в хімічному та нафтовому машинобудуванні.
6. ОТУ 3-01. Сосуды и аппараты. Общие технические условия на ремонт корпусов. — Волгоград: ВНИКТИ нефтехимоборудования, 2001.
7. РУА-93. Руководящие указания по эксплуатации и ремонту сосудов и аппаратов, работающих под давлением до 0,7 МПа и вакуумом. — Волгоград: ВНИКТИ нефтехимоборудования, 1994.
8. ИТН-93. Инструкция по техническому надзору, методика ревизии оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. — Волгоград: ВНИКТИ нефтехимоборудования, 1993.
9. Василенко І. І., Шульте О. Ю., Радкевич О. І. Вплив хімічного складу і технології виробництва сталей на їх чутливість до водневого тріщиноутворення та сірководневого корозійного розтріскування. Огляд зарубіжних досліджень // Фізико-хім. механіка матеріалів. — 1990. — 6, № 4. — С. 8-22.
10. Pressouyre G. L., Blondeau R., Cadiou L. HSLA steels with improved hydrogen sulfide cracking resistance // Proc. conf. Amer. Soc. Metals. — Philadelphia, 1984. — P. 827-834, 843.
11. Гуляев А. П. Металловедение. — М.: Металлургия, 1977. — 648 с.
12. Арчаков Ю. И. Водородная коррозия стали. — М.: Металлургия, 1985. — 104 с.
13. Корозійно-механічне руйнування зварних конструкцій / В. Т. Похмурський, Р. К. Мелехов, Г. М. Круцан, В. Г. Здановський. — К.: Наук. думка, 1995. — 360 с.
14. Влияние неметаллических включений на водородное расщепление низколегированных сталей / Ю. И. Рубенчик, Р. П. Соколов, Ж. Н. Малышев и др. // Фізико-хім. механіка матеріалів. — 1988. — 24, № 3. — С. 47-51.
15. ТУ У 28.7-5416923-074:2005. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки марок АНВ-17у, АНВ-70Б, АНВ-70Р, АНВ-71.
16. ДСТУ 4046-2001. Техническое диагностирование. Общие технические требования. — Введ. 27.07.2001.
17. ДНАОП 1.3.00-8.02-93. Проведение работ по оценке остаточной работоспособности технологического оборудования нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. — Киев, 1993.

Поступила в редакцию 12.05.2006