

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕМОНТ КОРПУСА РЕГЕНЕРАТОРА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА Р-202

**В. Д. ПОЗНЯКОВ, В. П. ДЯДИН, Е. А. ДАВЫДОВ, А. А. МАКСИМЕНКО, А. В. КЛАПАТЮК**

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

Рассмотрены основные особенности проведенной технической диагностики поврежденного нефтехимического оборудования для оценки его ремонтпригодности. Отмечено, что для выявления дефектов, природы их развития и последующей возможности проведения ремонтно-восстановительных работ, в большинстве случаев требуется индивидуальный подход в выборе средств и методов контроля. В работе приводится пример создания и реализации ремонтно-сварочных технологий для восстановления целостности и эксплуатационных характеристик корпусов сосудов с учетом результатов технической диагностики и исследований механических свойств. Библиогр. 7. Табл. 3, рис. 7.

*Ключевые слова:* ремонт корпуса регенератора, визуальный и ультразвуковой контроль, сварные соединения, трещины, ремонтно-сварочная технология

Оценка ремонтпригодности поврежденного нефтехимического оборудования является довольно сложной проблемой, поскольку она требует не только тщательного изучения технического состояния конструкций, но и свойств металла после длительной эксплуатации в условиях агрессивных перерабатываемых и сопутствующих сред, а также широко изменяемых технологических параметров.

### Условия эксплуатации регенератора:

Давление рабочее, МПа:	
вверху, не более .....	0,14
внизу, не более .....	0,17
расчетное .....	0,35
Температура рабочая, °С	
среда, не более .....	700
стенка .....	150
расчетная .....	300
Рабочая среда .....	дымовые газы, воздух,
.....	водяной пар, микросферический
.....	цеолитсодержащий катализатор

Поскольку природа появления дефектов, их тип и характер развития отличаются своим многообразием, требуется индивидуальный подход для их выявления и оценки в каждом конкретном случае. Для этого необходимо:

- выяснить причины появления дефектов, природу и характер их развития;
- оценить степень поврежденности оборудования и выявить основные очаги его поражения;
- определить свойства основного металла и сварных соединений оборудования в очагах и в зонах поражения.

Проанализировав результаты выше перечисленных исследований, можно ответить на вопрос является ли данная конструкция ремонтпригодной, и в случае положительного ответа принять техническое решение по ее восстановлению, а

затем приступить к разработке технологии ремонта поврежденного оборудования. Такой подход позволит избежать ошибок при разработке технологии ремонта, которые могут привести к ухудшению технического состояния металлоконструкций, а в некоторых случаях сделать их неремонтпригодными.

В данной работе, на примере подготовки к проведению ремонтно-восстановительных работ поврежденного корпуса регенератора Р-202 каталитического крекинга на заводе ЧАО «ЛИНИК» (г. Лисичанск), показан предложенный специалистами ИЭС им. Е. О. Патона подход к решению указанной проблемы.

Необходимость проведения данной работы вызвана тем, что в процессе плановой проверки технического состояния корпуса регенератора в нем были выявлены сквозные трещины. Образовались они исключительно в сварных соединениях и прилегающих к ним зонах. В этой связи, технические службы ЧАО «ЛИНИК» обратились в ИЭС с просьбой разобраться в данной проблеме и оказать научно-техническую помощь в восстановлении работоспособности поврежденного аппарата на срок не менее четырех лет.

На первом этапе работы решалась задача, связанная с определением технической возможности проведения ремонтно-восстановительных работ. Для этого специалисты ИЭС провели анализ технической документации и результатов предыдущих диагностических обследований, выполнили визуальный контроль поврежденных мест регенератора, выяснили причины, установили временной период появления и развития дефектов в виде трещин [1].

**Анализ технической документации и результатов диагностических обследований.** В процессе изучения технической документации большое

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

внимание уделялось особенностям монтажной сборки и информации о текущих ремонтах конструкции. При этом было установлено, что монтажная сборка регенератора выполнялась укрупненными элементами, которые были изготовлены на одном из предприятий России. Вальцовка царг и их сборка с применением сварки проводилась без последующей термообработки как на заводе-изготовителе, так и на монтажной площадке. Регенератор был введен в эксплуатацию в 1993 г.

Опрос обслуживающего персонала, который участвовал при сборке регенератора в период его монтажа, позволил выявить определенные сложности во время стыковки укрупненных элементов между собой, в связи с чем возникла необходимость их предварительного натяга перед сваркой. Наибольшие нестыковки в процессе сборки укрупненных элементов наблюдались в верхней части регенератора, где в местах геометрических переходов корпуса его диаметр составлял 11 тыс. мм (рис. 1). Учитывая этот факт, а также то, что толщина элементов корпуса в этих местах составляет 20...22 мм, вполне очевидно, что в ре-

зультате предварительного натяга, а также образования сварочных деформаций в соединениях образовались значительные остаточные напряжения. Это объясняет тот факт, что именно в этих местах образовалось наибольшее количество трещин.

Анализ результатов диагностических обследований корпуса регенератора, которые проводились с 2002 по 2010 гг., с периодичностью один раз в два года показал, что до 2010 г. дефекты, исключющие дальнейшую эксплуатацию регенератора, в корпусе не выявлялись. Массовое образование трещин в корпусе регенератора (в местах сварки штуцеров в корпус аппарата, в сварных кольцевых соединениях обечайки диаметром 11 тыс. мм и верхнего днища) началось предположительно в 2008 – 2010 гг. Об этом свидетельствовали результаты контроля технического состояния регенератора, выполненного в 2010 г.

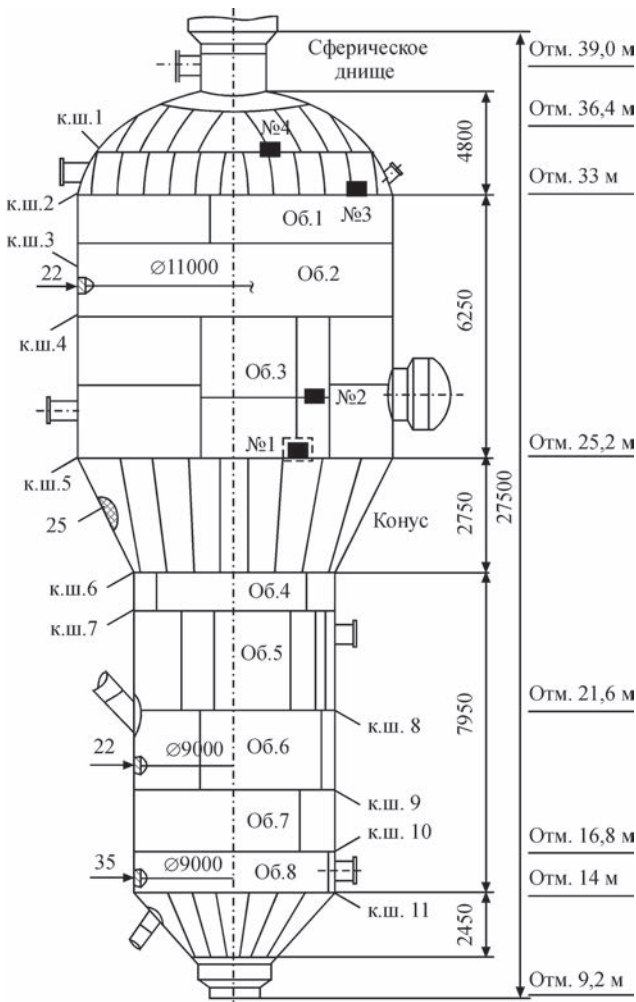


Рис. 1. Конструкция корпуса регенератора Р-202 с указанием мест (■) вырезки контрольных проб (характерные места, где образовались трещины)

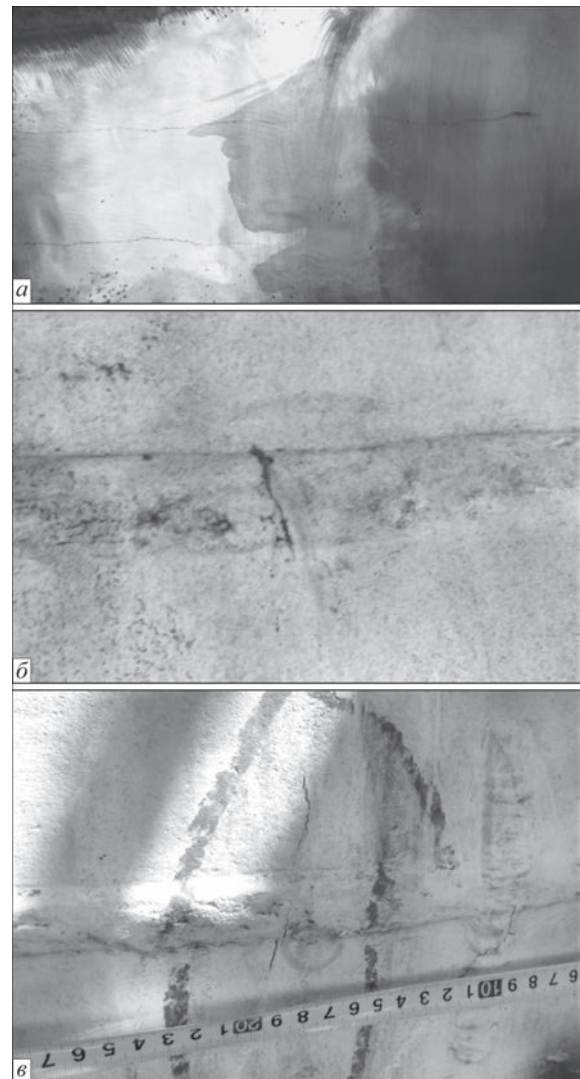


Рис. 2. Примеры типичного образования трещин в сварных соединениях, выполненных в заводских условиях при укрупнении царги обечайки диаметром 11 тыс. мм (а), в кольцевых швах монтажных соединений верхней части регенератора (б) и в местах ремонтных подварок (в)

Попытка выполнить ремонт пораженных трещинами участков корпуса регенератора силами и по технологии, разработанной ремонтной службой предприятия, которое эксплуатирует данный объект, не позволила решить данную проблему. После завершения ремонта контроль состояния корпуса регенератора показал, что в местах приварки накладок и в заваренных дефектных местах начали появляться новые и развиваться старые трещины, которые были закрыты накладками. К 2013 г. количество и размер трещин достигли критического значения, что поставило под сомнение дальнейшую возможность безопасной работы аппарата. В связи с этим специалистами ИЭС в 2013 г. был выполнен детальный визуальный и ультразвуковой контроль сварных соединений корпуса регенератора. Его результаты показали следующее.

**Визуальный контроль корпуса регенератора.** Визуальный осмотр сварных соединений проводился, когда значительная часть дефектов была уже обварена накладками, что несколько затрудняло выбор мест с наиболее характерными типами повреждений сварных соединений. Вместе с тем, даже в этом случае были выявлены дополнительные трещиноподобные дефекты в заводских

сварных соединениях, выполненных при укрупнении цапг перед их вальцовкой (рис. 2, а).

Абсолютное большинство выявленных дефектов располагались в монтажных кольцевых швах и на их пересечениях в верхней части регенератора. Исключения составляли только дефекты в местах ремонтных подварок или накладок, которые развились за пределы околошовной зоны (рис. 2, б, в).

Обнаруженные дефекты имели одну характерную особенность, связанную с появлением и дальнейшим развитием трещин исключительно в местах повышенных остаточных напряжений, образовавшихся в результате монтажной и ремонтной сварки. Данная особенность развития дефектов позволила несколько сузить объем контроля поверхности конструкции и сосредоточить все внимание на сварных соединениях в верхней части регенератора, где присутствуют повышенные остаточные напряжения после сварки и правки стыкуемых элементов.

**Определение границ поврежденных участков околошовных зон сварных соединений, подверженных растрескиванию с использованием ультразвукового контроля.** Для выявления и оценки несплошностей проведен ультразвуковой контроль сварных соединений и использованы следующие подходы:

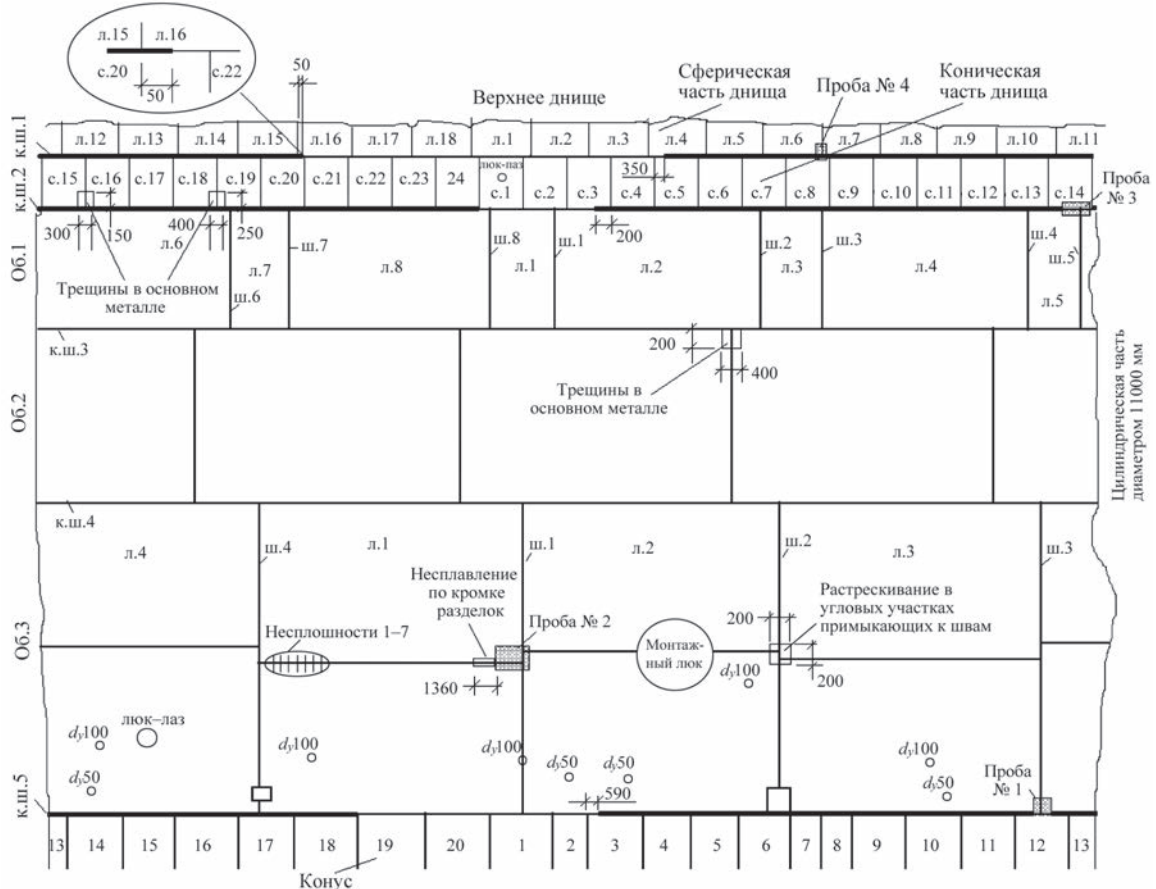


Рис. 3. Фрагмент корпуса регенератора с указанием мест концентрации трещиноподобных несплошностей: выделенные жирной линией участки кольцевых швов имеют плотность несплошностей 30...50 несплошностей на метр



Таблица 1. Химический состав проб металла № 1–4

Номер пробы	C	Si	S	P	Mn	Cu	Cr	Ni
1	0,058	0,573	0,020	0,021	1,50	0,188	0,090	0,112
2	0,072	0,573	0,023	0,024	1,60	0,197	0,094	0,117
3	0,052	0,548	0,023	0,021	1,47	0,179	0,095	0,109
4	0,074	0,629	0,032	0,027	1,44	0,099	0,099	0,094
ГОСТ 19281-89	≤ 0,12	0,5...0,8	≤ 0,035	≤ 0,030	1,3...1,7	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30

Таблица 2. Механические характеристики проб металла № 1–4

Номер пробы	$\sigma_p$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %
1	359...363	494...495	33,4...35,2	68,3...70,7
2	426...426	564...564	29,6...31,2	68,4...68,5
3	444...464	582...594	28,6...31,6	67,0...68,5
4	408...409	526...529	30,9...34,2	58,9...61,2
Исходное состояние	387...398	540...578	30,0...33,5	55,7...55,3
ГОСТ19281-89	345	480	21	

– эхо-метод для относительно быстрого выявления трещин и их примерной локализации [2–4];  
 – дифракционно-временной метод (TOFD) для количественной оценки высоты трещин [5–7].

В результате ультразвукового контроля, выполненного с использованием стандартного эхо-метода, было установлено, что в основном металле корпуса регенератора отсутствует расслоение. В то же время в сварных соединениях с кольцевыми швами к.ш.1, к.ш.2, к.ш.5 были выявлены системные трещиноподобные несплошности (рис. 3). Плотность трещин на некоторых участках швов превышала 20...30 несплошностей на метр. На остальных участках указанных соединений также обнаружены трещиноподобные несплошности, но не столь высокой плотности. Наибольшие размеры трещиноподобных несплошностей были оценены величиной 100...120 мм от кольцевого шва в сторону основного металла. Кольцевой шов к.ш.5 имеет преимущественное растрескивание сварного шва в направлении обечайки Об.3 на расстояние не более 100 мм, в основном металле не более 50 мм. Развитие трещин в направлении конусной части незначительное и составляет около 20...35 мм.

В сварных соединениях к.ш.3, к.ш.4, где также выявлены многочисленные трещиноподобные несплошности, размеры и характер развития трещин были несколько иными. Несплошности в таких соединениях развиваются с внутренней стороны корпуса, а протяженность наибольших несплошностей составляет около 50...60 мм в каждую сторону от шва.

Таблица 3. Ударная вязкость проб металла № 1–4

Номер пробы	KCU, Дж/см <sup>2</sup> при температуре, °C		
	20	-20	-40
1	255...333	188...304	234...346
2	160...176	116...120	83...111
3	150...156	92...110	84...89
4	90...93	78...84	55...61
Исходное состояние	191...196	120...136	63...105
ГОСТ 19281-89	59	-	34

В нижней цилиндрической части регенератора к.ш.6 – к.ш.11 трещиноподобных несплошностей не обнаружено.

Следующий этап работы был связан с оценкой фактического состояния металла (структуры, механических свойств) сварных соединений после длительной, более 131 тыс. ч наработки в условиях эксплуатации. Для этого из корпуса регенератора в местах, где чаще всего обнаруживается образование трещин, был проведен отбор проб металла (см. рис. 1), из которого в дальнейшем изготавливались образцы для металлографических исследований и механических испытаний (статический разрыв и ударный изгиб). По результатам исследования проб металла установлено следующее:

подтверждено, что металлоконструкции регенератора изготовлены из стали 09Г2С (табл. 1);

в процессе эксплуатации заметных изменений в структуре металла на удалении более 150 мм от имеющихся швов не произошло;

металл сохранил статическую прочность, пластичность и ударную вязкость на уровне требований, предъявляемых к стали 09Г2С (табл. 2, 3);

при эксплуатации в металле шва и в основном металле, который расположен на расстоянии до 150 мм от оси шва, на внутренней и внешней поверхностях сварных соединений образовались микро- и макротрещины (рис. 4);

межзеренный характер развития трещин (рис. 5) свидетельствует о том, что это трещины коррозии, возникшие под напряжением;

на удалении 150 мм и более от металла швов сталь 09Г2С сохранила хорошую способность сопротивляться образованию холодных трещин.

На основании таких исследований был сделан вывод, что металл корпуса регенератора в зонах, где расположены поврежденные сварные соединения, накопил в процессе эксплуатации локальные повреждения. Ширина этих участков не превышает 150 мм от оси шва. Таким образом, стано-

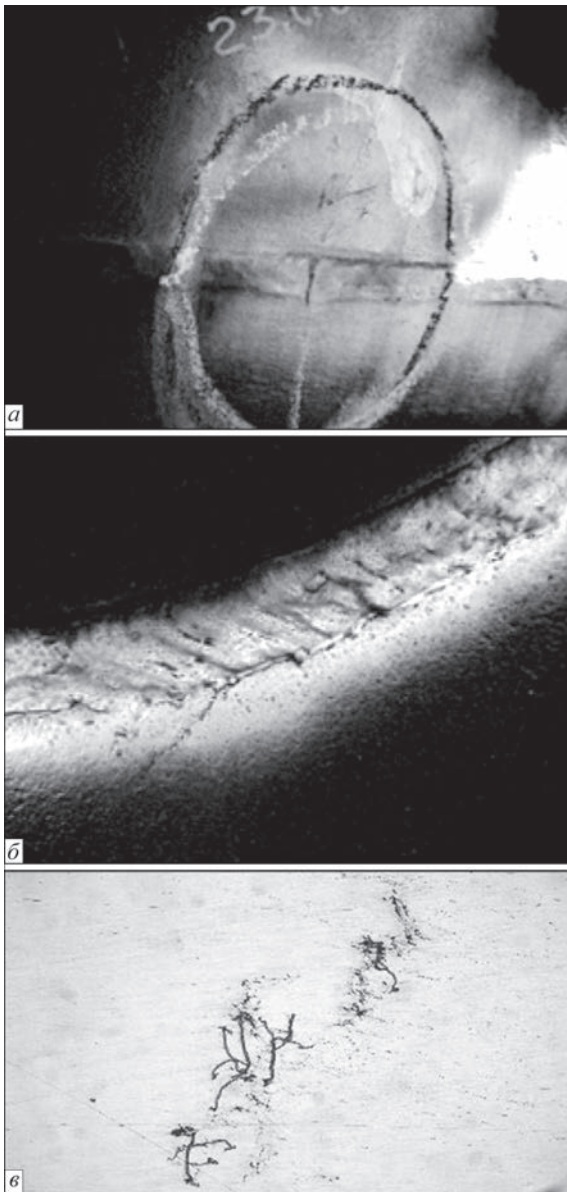


Рис. 4. Макро- (а, б) и микротрещины (в), образовавшиеся на внутренней (а) и внешней (б) поверхностях сварных соединений

вится очевидным, что техническое решение по ремонту корпуса регенератора должно предусматривать обязательное удаление металла, который расположен на расстоянии не менее 150 мм от оси шва. Учитывая это, ремонт кольцевых швов с массовым скоплением трещин выполнялся методом поэтапной вырезки и замены дефектных участков корпуса пластинами-вставками. С использованием данной технологии на участках корпуса регенератора, указанных на рис. 6, был проведен ремонт сварных соединений к.ш.5, к.ш.2 и к.ш.1.

На участках, где встречались единичные трещины небольшой протяженности, они удалялись методом вышлифовки с последующей заваркой образовавшейся разделки.

При поэтапном способе замены дефектных участков в вырезанные и подготовленные меха-

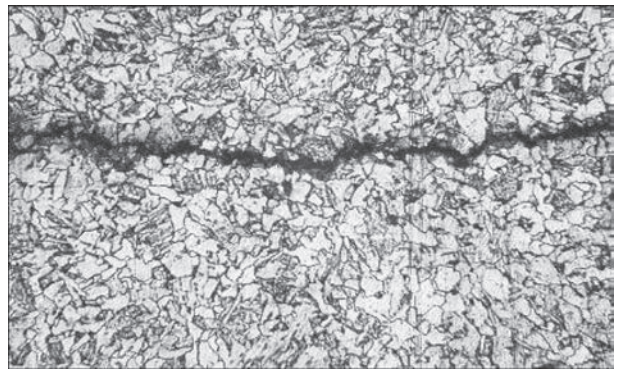


Рис. 5. Микроструктура ( $\times 320$ ) металла образца № 1 в зоне образования трещины

ническим путем проемы последовательно устанавливались и вваривались, предварительно подвальцованные по радиусу пояса, листы из стали 09Г2С. Учитывая, что дефектные пояса имели значительные повреждения на длине, равной не менее 3/4 их общей протяженности, их разбивали на равное количество участков.

Длина участков вырезки была соизмерима с длиной пластин, из которых состояла обечайка и корректировалась, исходя из требований, что места расположения вертикальных швов в местах соединения между собой вставок следует смещать относительно имеющихся на обечайке заводских швов на расстояние 150...200 мм. Количество участков, на которые разбивали ремонтируемые пояса, уточнялось по результатам их контроля с внутренней стороны регенератора. Ширина листов-вставок 300 мм. Последовательность сварки пластин-вставок в корпус регенератора показана на рис. 7.

Работа начиналась с того, что после удаления футеровки внутренняя и наружная поверхности корпуса, где производилась замена металла, очищалась от загрязнения, а затем зачищалась на ширину не менее 50 мм в каждую сторону от границ предполагаемого проема для проведения неразрушающего контроля. Зачистка выполнялась до металлического блеска механическим способом с использованием шлифмашинки, оснащенной набором абразивных кругов и дисковых проволочных щеток.

Неразрушающий контроль для определения границ пораженного трещинами участка проводился с использованием визуально-оптического, капиллярного и ультразвукового методов.

По результатам неразрушающего контроля проводили разметку ремонтируемого участка корпуса регенератора под вырезку.

Вырезку поврежденного трещинами участка осуществляли с использованием воздушно-плазменной резки. Так как работы выполнялись в зимний период, перед вырезкой дефектного участка

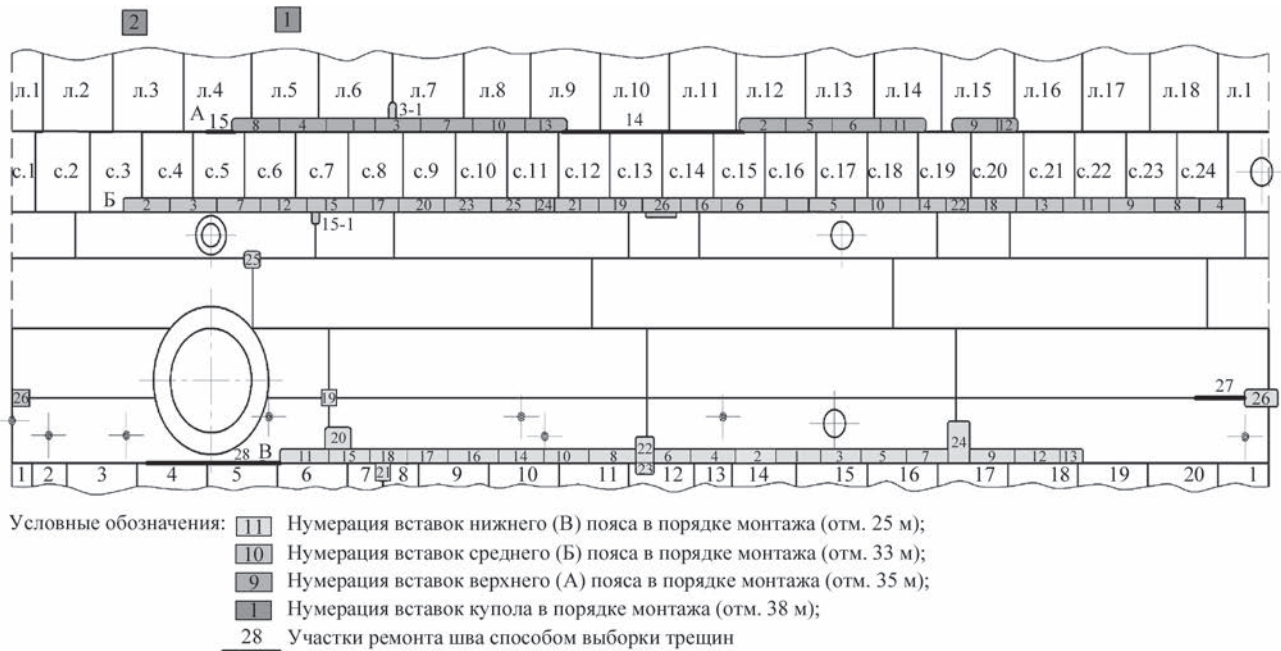


Рис. 6. Схематическое изображение размещения вставок

его подогревали газовыми горелками до температуры 50...70 °С.

Технологические проемы вырезали таким образом, чтобы их длина была на 300 мм, а ширина на 6...10 мм больше размеров ввариваемых пластин.

После вырезки технологического проема, механическим способом осуществлялась зачистка поверхности реза на глубину 0,5...1,0 мм, а затем визуально и с использованием метода цветной дефектоскопии контролировали полноту удаления дефектов.

Если в процессе контроля выявлялись остатки трещин, они разделялись механическим спосо-

бом и повторно подвергалась неразрушающему контролю. После полного удаления дефектов образовавшиеся разделки заваривались с использованием следующих процедур.

Перед сваркой каждый из участков, где была выполнена разделка остатков трещин, нагревался до температуры 120...150 °С. Сам процесс сварки осуществляли ручным дуговым способом с использованием электродов марки LB-52U диаметром 3,2 мм при выполнении корневого слоя шва, и электродов марки ОК 48.00 диаметром 4,0 мм при выполнении заполняющих и лицевого слоев шва. Сварку проводили на постоянном токе обратной полярности с использованием следующих режимов:  $I_{св} = 90...120$  А,  $U_{д} = 26...28$  В при сварке электродами диаметром 3,2 мм и  $I_{св} = 140...170$  А,  $U_{д} = 24...28$  В — электродами диаметром 4,0 мм.

После восстановления целостности кромок технологического окна на них с использованием воздушно-плазменной резки готовилась разделка под сварку пластин-вставок с корпусом регенератора. Затем кромки зачищались механическим способом на глубину 0,5...1,0 мм от поверхности кромки. При этом также до металлического блеска, с внешней и внутренней стороны корпуса и пластин-вставок, зачищалась поверхность свариваемых элементов. Зачистка выполнялась шлифмашинкой на расстояние не менее чем 20 мм от края каждой кромки. На окончательном этапе подготовки корпуса регенератора и пластин-вставок под сборку и сварку проверяли геометрию разделки и качество подготовки кромок. Конструктивные элементы сварных соединений соединяющих между собой пластину-вставку с корпусом регенератора и двух соседних пластин-вставок соот-

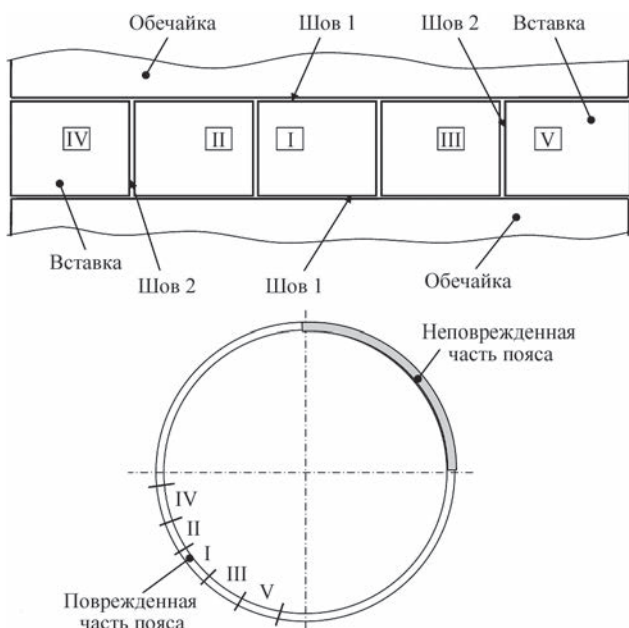


Рис. 7. Очередность сварки вставок при ремонте регенератора Р-202



ветствовали соединениям С12 и С21, указанным в ГОСТ 56264-80, ГОСТ 14771-76.

Во время сборки пластины-вставки устанавливали в подготовленные под сварку проемы в корпусе регенератора и прихватывались. Перед установкой прихваток и в процессе сварки соединения подогревали до температуры 120...150 °С. Такая температура предварительного подогрева была принята на основании того, что сварку проводили в зимнее время, когда температура воздуха опускалась ниже -20 °С.

Сварку осуществляли без перерывов в работе. При этом регулярно проводили контроль температуры предыдущего валика и следили за тем, чтобы в процессе заполнения разделки она находилась в пределах 100...180 °С. В случае вынужденных перерывов температуру сварного соединения поддерживали на уровне 100 °С.

Процесс сварки выполняли в следующей последовательности.

Первоначально штучными электродами с внутренней стороны регенератора выполнялась ручная дуговая сварка корневых слоев шва верхнего и нижнего горизонтальных стыковых соединений. При этом края пластины-вставки длиной 150...200 мм оставляли недоваренными. Сварку вели от середины вставки к ее концам обратноступенчатым способом, участками 100...150 мм, смещая начала и концы ступеней второго прохода относительно первого на 25...40 мм. Корень шва проваривался методом «двойного слоя».

После выполнения полноценных внутренних горизонтальных швов с наружной стороны с применением шлифмашинки обрабатывались корни горизонтальных швов до чистого бездефектного металла. Затем проводили сварку горизонтальных швов наружной стороны корпуса регенератора. Последовательность сварки наружной части шва была такой же, как и при его выполнении с внутренней стороны корпуса регенератора.

Для выполнения корневых валиков использовали электроды LB-52U диаметром 3,2 мм. Сварку осуществляли на следующем режиме:  $I_{св} = 100...130$  А,  $v_{св} = 6...7$  м/ч. Второй и последующие слои наружного шва выполнялись механизированной сваркой в среде смеси газов 80 % Ar + 20 % CO<sub>2</sub> проволокой марки ОК Aristorod 12.50 диаметром 1,2 мм на режиме:  $I_{св} = 160...190$  А,  $U_{д} = 24...28$  В,  $v_{св} = 10...14$  м/ч. В труднодоступных для механизированной сварки местах заполнение разделки осуществлялось ручным дуговым способом штучными электродами ОК 53.70 (48.00) диаметром 4,0 мм на режиме:  $I_{св} = 150...160$  А,  $v_{св} = 7...9$  м/ч.

После завершения сварки верхнего и нижнего горизонтальных швов сварные соединения нагрелись

до температуры 200...220 °С (температура низкотемпературного отпуска), выдерживались при этой температуре 1 ч, затем укрывались теплоизолирующим поясом, под которым находились до полного остывания.

Далее воздушно-плазменной резкой проводили вырезку дефектной части корпуса регенератора слева и справа от вставки I для установки листов-вставок (карт) II и III. Выполняли разделку кромок и зачистку их до металлического блеска с внешней и внутренней стороны на расстояние не менее чем 20 мм от края каждой кромки. Устанавливали вставки II и III в проектное положение, закрепляли на сварочных монтажных прихватках. С внутренней стороны сваркой выполняли горизонтальные швы, оставляя у кромок примыкания листов II и III с листами I, IV и V роспуски длиной 200...300 мм.

После того как в корпус регенератора были вварены вставки I, II и III, приступали к сварке вертикальных швов, которыми соединялись между собой вставки I и II, I и III. Сварка вертикальных швов начинала выполняться в основном с внутренней стороны корпуса регенератора. В отдельных случаях порядок выполнения сварки вертикального шва целенаправленно использовался для регулирования положения пластины-вставки по отношению к корпусу регенератора. Именно из этих соображений, когда возникала необходимость «втянуть» концы пластины-вставки внутрь корпуса регенератора, последовательность сварки изменялась, и вертикальный шов начинали выполнять с наружной стороны корпуса.

Корневой и прикорневые слои вертикальных швов (с первого по третий) выполняли электродами марки LB-52U диаметром 3,2 мм на следующем режиме:  $I_{св} = 90...120$  А,  $U_{д} = 22...24$  В,  $v_{св} = 6...7$  м/ч. После выполнения этих слоев шва с лицевой стороны сварного соединения проводилась расчистка корневого слоя шва механическим способом до чистого (бездефектного) металла. К заполнению разделки приступали после визуального контроля состояния поверхности расчищенного шва. Заполнение разделки осуществлялось комбинированным способом: четвертый, пятый, шестой слои выполняли ручной дуговой сваркой с использованием электродов марки ОК 53.70 (48.00) диаметром 4,0 мм; сварку последующих слоев шва осуществляли механизированным способом в смеси защитных газов проволокой сплошного сечения марки ОК Aristorod 12.50 диаметром 1,2 мм. При этом использованы следующие режимы:  $I_{св} = 150...160$  А,  $U_{д} = 24...26$  В,  $v_{св} = 7...9$  м/ч — для ручной дуговой сварки;  $I_{св} = 140...150$  А,  $U_{д} = 23...24$  В;  $v_{св} = 7...9$  м/ч — для механизированной сварки в смеси газов.

После сварки вертикального шва выполнялось «замыкание» горизонтальных швов (в местах роспусков), т. е. в той части, которая оставалась недоваренной до выполнения вертикальных швов. Процедуру сварки горизонтальных швов в местах «замыканий» выполняли теми же сварочными материалами в последовательности и на режимах, что и основные горизонтальные швы, которыми сварены между собой пластины-вставки и корпус регенератора.

После завершения сварки вертикальных швов и «замыканий» участок корпуса регенератора, на котором выполнялись эти работы, нагревали до температуры 200...220 °С и выдерживали при данной температуре 1 ч с последующим укрытием теплоизолирующим поясом до полного остывания. После полного остывания сварных соединений их поверхность подготавливали механическим способом для выполнения неразрушающего контроля. Контроль качества сварных соединений осуществляли визуально-оптическим и ультразвуковым методами.

Перечисленные выше операции, способы и последовательность их выполнения были реализованы при ремонте остальных участков корпуса регенератора, требующих замены поврежденного металла. Всего с использованием этого способа была проведена замена поясных монтажных швов к.ш.5 протяженностью 23 м (сварено 18 пластин-вставок), к.ш.2 протяженностью 30 м (сварено 24 пластины-вставки) и к.ш.1 протяженностью 16 м (сварено 13 пластин-вставок).

После выполнения ремонтных работ были выполнены пневматические испытания корпуса регенератора на плотность. Во время таких испытаний утечек и видимых деформаций в зоне ремонта элементов конструкции не наблюдалось. Это свидетельствует о высоком качестве и надежности ремонтных сварных соединений.

### Выводы

1. Для выявления и оценки несплошностей в сварных соединениях корпусов нефтеперерабатывающего оборудования рационально применять УЗК с использованием эхо-метода для относительно быстрого выявления трещин и их примерной локализации, а также TOFD метод для количественной оценки высоты трещин.

2. Программа проведения диагностического обследования, которая по требованиям НТД разрабатывается до начала работ, должна иметь возможность корректировки в зависимости от текущих результатов обследования.

3. До принятия технического решения по ремонту нефтеперерабатывающего оборудования должны быть выполнены металлографические ис-

следования металла сварных соединений и прилегающих к нему участков основного металла, что позволит оценить степень их поврежденности, а также установить характер и масштабы повреждений вне зоны сварных швов.

4. При восстановлении оборудования, имеющего повреждения не только сварных соединений, но и прилегающих к ним зон основного металла, ремонт рекомендуется выполнять с полной заменой поврежденных участков методом.

5. Условием надежной дальнейшей эксплуатации является использование технологий сварки, обеспечивающих минимизацию остаточных напряжений в сварных соединениях и конструкции в целом, что достигается поэтапной вырезкой поврежденных фрагментов корпуса и вваривания пластин-вставок с определенной последовательностью выполнения швов.

### Список литературы

1. Позняков В. Д., Дядин В. П., Давыдов Е. А. (2016) Диагностическое обследование поврежденного регенератора установки каталитического крекинга с целью определения необходимых ремонтно-восстановительных работ для безопасной эксплуатации. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **1**, 45-49.
2. ДСТУ EN ISO 17640:2014. *Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Способи, рівні контролю і оцінювання.*
3. ДСТУ EN ISO 10160:2015. *Контроль ультразвуковий сталевих виробів плоскої форми завтовшки 6 мм або більше (метод відбиття).*
4. ДСТУ EN ISO 16826:2015. *Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Виявлення несуцільностей перпендикулярних до поверхні.*
5. ДСТУ EN ISO 10863:2014. *Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Застосування дифракційно-часового методу (TOFD).*
6. ДСТУ EN ISO 16828:2015. *Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Дифракційно-часовий метод для виявлення та визначення розмірів несуцільностей.*
7. ДСТУ CEN/TS 14751:2008. *Зварювання. Використання дифракційно-часового методу (TOFD) для контролю зварних швів.*

### References

1. Poznyakov, V.D., Dyadin, V.P., Davydov, E.A. (2016) Diagnostic examination of damaged regenerator of catalytic cracking unit, in order to determine the repair-reconditioning operations required for operating safety. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **1**, 45-49 [in Russian].
2. DSTU EN ISO 17640:2014: *Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing. Techniques, testing levels, and assessment* [in Ukrainian].
3. DSTU EN ISO 10160:2015: *Ultrasonic testing of steel flat product of thickness equal or greater than 6 mm (reflection method)* [in Ukrainian].
4. DSTU EN ISO 16826: *Non-destructive testing. Ultrasonic testing. Examination for discontinuities perpendicular to the surface* [in Ukrainian].
5. DSTU EN ISO 10863:2014: *Non-destructive testing of welds. Ultrasonic testing. Use of time-of-flight diffraction technique (TOFD)* [in Ukrainian].
6. DSTU EN ISO 16828:2015: *Non-destructive testing. Ultrasonic testing. Time-of-flight diffraction technique as a method for detection and sizing of discontinuities* [in Ukrainian].



7. DSTU CEN/TS 14751:2008: *Welding. Use of time-of-flight diffraction technique (TOFD) for examination of welds* [in Ukrainian].

В. Д. Позняков, В. П. Дядін, Є. О. Давидов,  
А. О. Максименко, А. В. Клапатюк

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.  
03680, м.Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

#### ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА РЕМОНТ КОРПУСУ РЕГЕНЕРАТОРА КАТАЛІТИЧНОГО КРЕКІНГУ P-202

Розглянуто основні особливості проведеної технічної діагностики пошкодженого нафтохімічного устаткування для оцінки його ремонтпригодності. Відзначено, що для виявлення дефектів, природи їх розвитку та подальшої можливості проведення ремонтно-відновлювальних робіт, в більшості випадків потрібен індивідуальний підхід у виборі засобів і методів контролю. У роботі наводиться приклад створення і реалізації ремонтно-зварювальних технологій для відновлення цілісності та експлуатаційних характеристик корпусів судин з урахуванням результатів технічної діагностики та досліджень механічних властивостей. Бібліогр. 7. Табл. 3, рис. 7.

*Ключові слова:* ремонт корпусу регенератора, візуальний і

ультразвуковий контроль, зварні з'єднання, тріщини, ремонтно-зварювальна технологія

V.D. Poznyakov, V.P. Dyadin, E.A. Davydov,  
A.A. Maksimenko, A.V. Klapatyuk

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.  
11 Kazimir Malevich Str., 03680, Kiev, Ukraine.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

#### EVALUATION OF TECHNICAL CONDITION AND REPAIR OF CASING OF REGENERATOR OF CATALYTIC CRACKING P-202

The main features of technical diagnostics of damaged petrochemical equipment for evaluating its reparability are considered. It is noted that in order to detect defects, the nature of their development and the subsequent possibility of carrying out repair and restoration works, in most cases an individual approach in selection of means and methods of control is required. The work gives an example of creation and implementation of repair and welding technologies for restoration of integrity and service characteristics of vessel bodies, taking into account the results of technical diagnostics and investigations of mechanical properties. 7 Ref., 3 Tabl., 7 Fig.

*Keywords:* repair of regenerator casing, visual and ultrasonic testing, welded joints, cracks, repair and welding technology

Поступила в редакцию 17.10.2016

## Гибридные сварочные оболочки для аддитивного производства

При сварке титана и любого другого реакционноспособного металла для введения присадки важно, чтобы зона сварки была очищена от кислорода и азота до уровня, равного  $10^{-5}$  мм рт. ст. или менее.

Благодаря более чем 40-летнему опыту в области производства гибких сварочных оболочек, Huntingdon Fusion Techniques (HFT®) расширила свой диапазон по сравнению со стандартными круглыми оболочками, включив изготовление оболочек объемов 30 м<sup>3</sup> и более для удовлетворения потребностей научно-исследовательских и производственных подразделений на международном уровне. Стабилизированный ультрафиолетом прозрачный полимер с низким давлением, используемый для этих оболочек, является жестким и трудно повреждаемым. Для тех случаев, когда может произойти повреждение, существует ремонтный комплект, который входит в поставку всех оболочек.

Эти специально разработанные оболочки имеют герметичные молнии, размещенные где угодно, так, чтобы они могли использоваться для доступа ко всем точкам входа. Входные точки для аргона размещаются на уровне пола, что является хорошей практикой для продувки аргоном с соответствующими точками выхлопа в верхней части. Дополнительные клапанные порты доступны для использования Weld Purge Monitors®, чтобы информировать пользователей, когда обеспечена сварочная безопасность, чтобы избежать риска окисления расходуемого материала.

Потолочные перчаточные отверстия встроены на этапе проектирования, и их можно интегрировать в любые требуемые положения вокруг корпусов.

Предоставляются панели обслуживания, обеспечивающие герметичную подачу всех необходимых шлангов, труб, входов и выходов для обеспечения подачи газа, электроэнергии, воды для обслуживания автоматических и ручных сварочных позиций.

Оболочки были изготовлены для WAAM (Wire plus Arc Additive Manufacturing), и они подходят для ручной и роботизированной TIG (GTAW) сварки, а также для роботизированного лазерного осаждения.

