

УДК 620.191.33

**ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРАТИВНОГО РЕМОНТА РЕАКТОРОВ
ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ****Ю. А. БАДЬИН**

ОАО «ВНИКТИнефтехимоборудование»

Волгоград, Россия

UDK 620.191.33

**TECHNOLOGY OF OPERATIONAL REPAIR FOR DELAYED COKING
REACTORS****YU. A. BADIN**

Аннотация. В ходе эксплуатации фиксируется большое количество повреждений на корпусах реакторов замедленного коксования (РЗК) или коксовых камер – образование местных деформаций и растрескивание сварных соединений. Применение хромомолибденовых сталей для изготовления РЗК создает трудности при проведении сварочных работ вследствие склонности таких сталей к подкалке. Это обуславливает желательность применения аустенитного варианта сварки. Предлагаются рекомендации по выбору электродных материалов для предотвращения возникновения повреждений.

Ключевые слова: реактор замедленного коксования, коксовая камера, разнородные сварные соединения.

Abstract. During operation, a large number of damages are recorded in the delayed coking reactors (DCR) or coke drums - the formation of local deformations (corrugations) and cracking of welded joints. The use of chromium-molybdenum steels for the manufacture of RPC creates difficulties during welding operations due to the propensity of such steels to lining. This determines the desirability of using an austenitic welding option. Recommendations on the choice of electrode materials to prevent damage are offered.

Keywords: delayed coking reactor, coke drum, dissimilar welding.

Проблема проведения ремонтной сварки РЗК. Процесс замедленного коксования характеризуется высокими значениями температуры (до 500 °С) и циклическим характером эксплуатации РЗК, что обуславливает широкое применение теплоустойчивых хромомолибденовых сталей для их изготовления. Для этого в отечественной практике широкое распространение получила хромомолибденовая сталь 12ХМ. Для РЗК, закупаемых за рубежом, применяются стали А387Gr11CL2, А387Gr12CL2 и др. Этому способствует выгодное сочетание комплекса высоких механических характеристик при повышенных температурах (прочности и пластичности), жаростойкости, высокого коэффициента теплопроводности с умеренной стоимостью и доступностью. Проблема недостаточно высокой коррозионной стойкости решается применением биметаллических материалов. В ходе эксплуатации РЗК возникает необходимость проведения ремонта с применением сварки для устранения растрескивания сварных соединений корпуса или замены деформированных частей

корпуса. Основной проблемой при использовании хромомолибденовых сталей является склонность к образованию трещин при проведении сварки.

В качестве примера можно привести данные по эксплуатации РЗК одного из нефтеперерабатывающих предприятий. РЗК представляет собой цельносварной пустотелый цилиндрический сосуд с верхним полусферическим и нижним коническим днищем. Цилиндрический корпус изготовлен из нескольких частей с различными толщинами стенок (42, 40, 38 мм). Каждая из этих частей собирается из двух обечаек одинаковой толщины. Материальное исполнение сосуда – отечественная двухслойная сталь 12ХМ + 08Х13.

На рис. 1 и 2 показаны вид и места дефектов в виде растрескивания, выявленных в ходе технического диагностирования 2019 г. с наружной и внутренней стороны сосуда. Значительное количество и протяженность дефектов создает большие трудности в ходе ремонта и он проводится в ограниченном объеме с устранением только наиболее крупных дефектов.

а)



б)

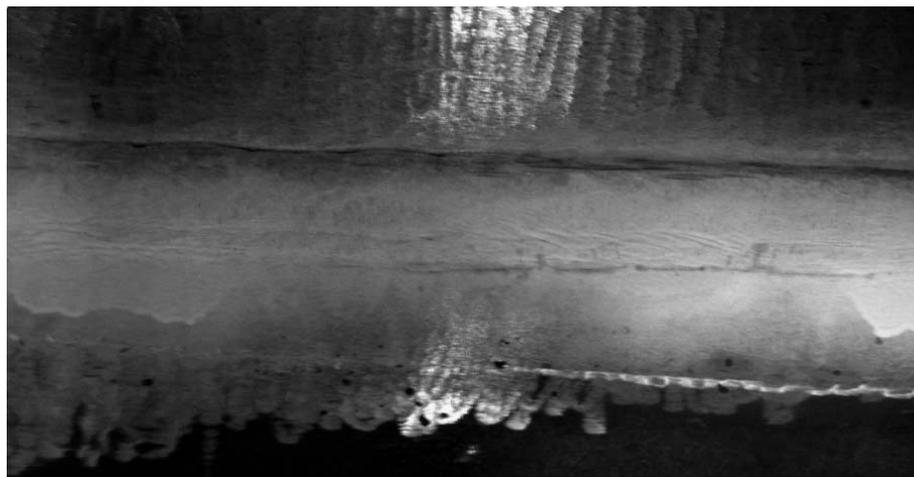


Рис. 1. Несквозные трещины по линии сплавления с нижней и верхней стороны кольцевого сварного шва корпуса, выявленные капиллярной дефектоскопией с наружной (а) и внутренней (б) стороны сосуда

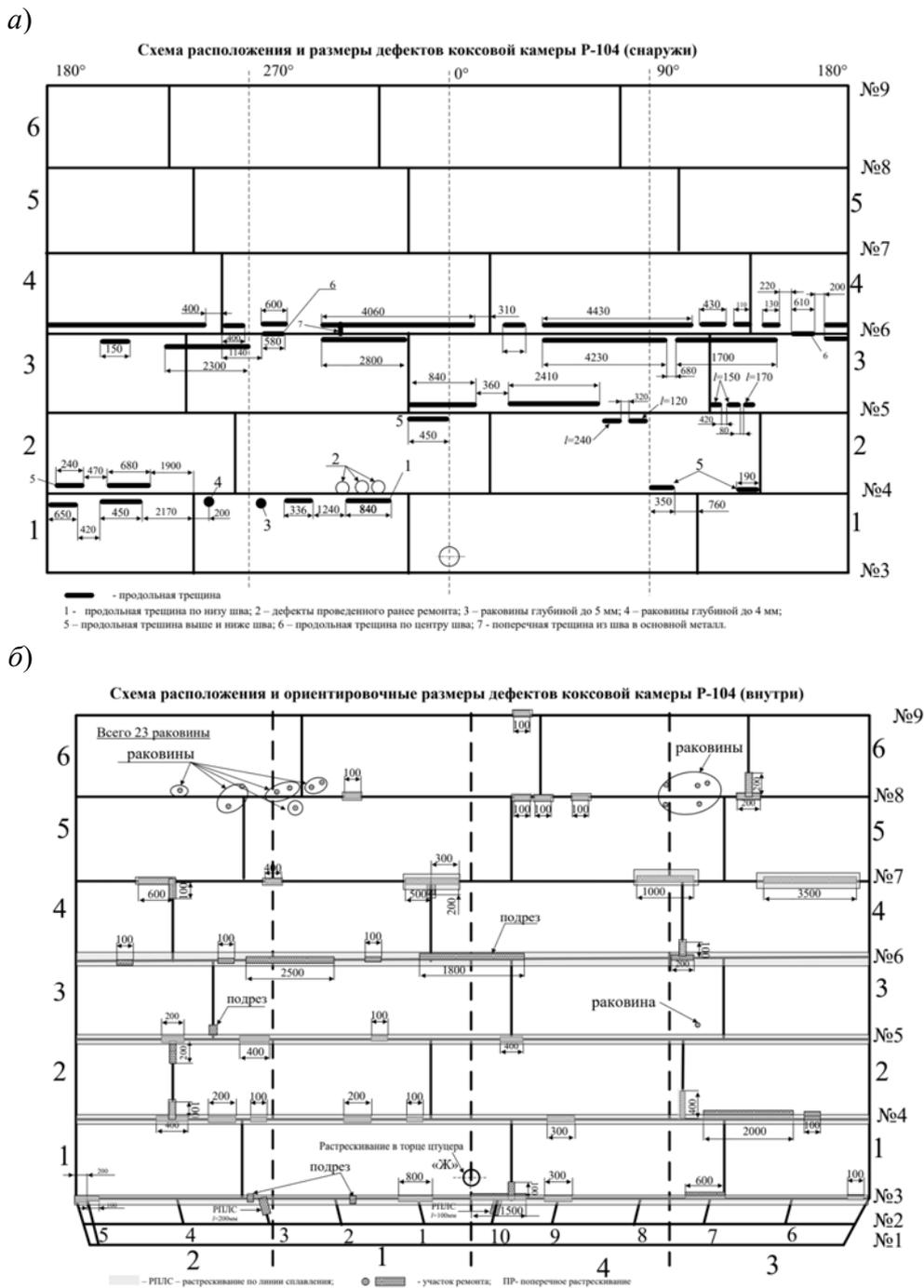


Рис. 2. Схема расположения дефектов в сварных швах корпуса коксовой камеры Р-104 с наружной (*a*) и внутренней (*b*) стороны

Организация проведения ремонта РЗК. Преодоление данной проблемы возможно двумя путями, как за счет процедуры сварки с использованием предварительной и последующей термической обработки (перлитный вариант сварки), так и разработки технологии сварки неаустенитных сталей аустенитными швами (аустенитный вариант сварки). В последнем случае использование аустенитных сварочных материалов позволяет за счет ограничения зоны подкалки только основным металлом значительно снизить общий уровень механической неоднородности в корпусе сосуда и тем самым исключить необходимость предварительного подогрева и последующей термической обработки.

Проведение операций термической обработки на корпусах РЗК в производственных условиях сильно затруднено и потому аустенитный вариант сварки в настоящее время широко используется при необходимости оперативного устранения дефектов на корпусах РЗК из хромомолибденовых сталей.

Проблемы применения аустенитного варианта сварки. Технические требования к такому варианту сварки определялись на основе НТД, определяющего требования к проведению сварки разнородных сварных соединений [1]. Технические требования при проведении соединения сваркой частей сосудов из разнородных сталей принимаются в качестве технических требований аустенитного варианта сварки для ремонта сосуда из теплоустойчивой стали одной марки. Это имеет недостаток в том, что затрудняется накопление опыта применения такого варианта сварки. Целесообразна разработка специализированного документа, определяющего технические требования к проведению ремонтной сварки по аустенитному варианту сосудов и аппаратов из хромомолибденовых сталей.

Учет внутренних напряжений в разнородных сварных соединениях. Разнородные сварные соединения характеризуются наличием внутренних напряжений вследствие разности коэффициентов линейного расширения основного металла и металла сварных швов [2]. До настоящего времени не проводятся численные оценки таких внутренних напряжений. В [3–5] предложен подход к оценке величины касательных (сдвиговых) напряжений разнородных сварных соединений на основе оценки общего уровня напряжений сжатия в материале сварного шва от стесненности температурного удлинения с момента сварки в процессе охлаждения до выбранной температуры. Данный подход представляется отражающим физическую картину в процессе сварки с момента застывания жидкого металла и охлаждения с физическим явлением образования «холодных трещин». Оценка внутренних напряжений в материале сварного шва от стесненности температурной деформации с момента сварки в процессе охлаждения до выбранной температуры проводится по формуле

$$\sigma^t = \sum_{i=1}^n (\alpha_i^c \cdot E_i^c - \alpha_i^o \cdot E_i^o),$$

где n – число интервалов разбиения; t – расчетная температура, температура, до которой производится охлаждение сварного соединения после сварки, °С; α_i^c , α_i^o – коэффициенты температурного линейного расширения металла шва и основного металла для i -го температурного интервала; E_i^c , E_i^o – модули продольной упругости металла сварного шва и основного материала для i -го температурного интервала.

Величина касательных напряжений, действующих по линиям сплавления сварных швов, при расчетной температуре t определится по формуле

$$\tau^t = \sigma^t \cdot k,$$

где k – расчетный коэффициент учета фактической геометрии сварного соединения (угла наклона линий сплавления, относительного количества наплавленного металла и др.).

Пример результатов расчетов показан на рис. 3. Как видно, применение электродных материалов с малой и средней степенью легирования никелем

вызывает значительные внутренние касательные напряжения, что способствует возникновению повреждений в виде растрескивания по линиям плавления.

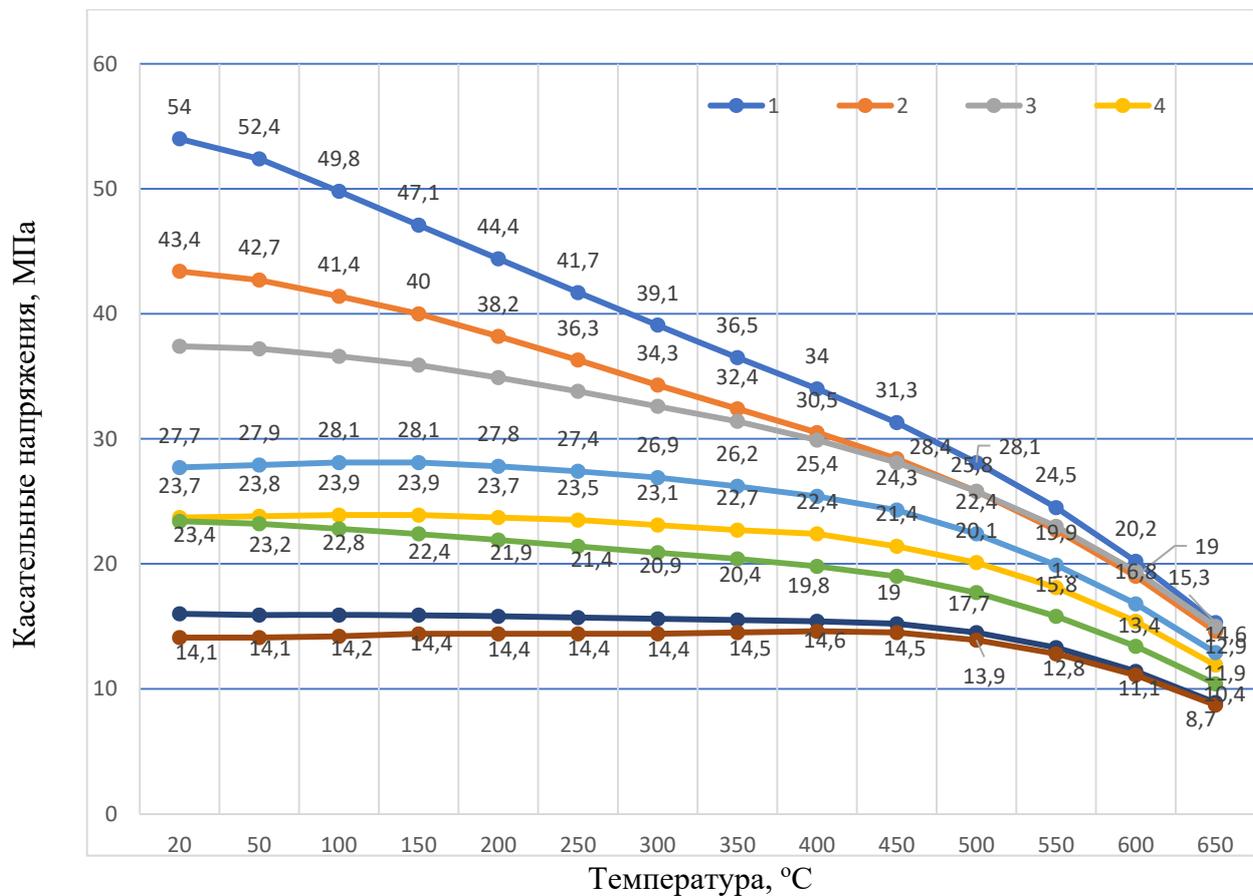


Рис. 3. Результаты расчета внутренних касательных напряжений в разнородных сварных соединениях для стали 15X5M с различным материальным исполнением металла шва в зависимости от температуры: 1 – ОЗЛ-6; 2 – АНЖР-2; 3 – АНЖР-1; 4 – ХН70; 5, 6 – ХН75МБТЮ; 7, 8 – ХН78Т

Повышение работоспособности разнородных сварных соединений.

Основная рекомендация состоит в расширении применения сварочных материалов с высоким содержанием никеля. Коэффициенты линейного расширения сплавов на основе никеля и теплоустойчивых сталей (15X5M, 12XM и др.) имеют близкие значения, что позволяет снизить внутренние напряжения в сварном соединении. В существующих НТД отсутствуют четкие указания по применению высоконикелевых электродных материалов. Согласно [1] для применения допускаются электродные материалы с различной степенью легирования никелем, например ОЗЛ-6 с содержанием никеля 13 % масс. Говорится, что «для сварки разнородных соединений, включающих теплоустойчивые стали и эксплуатирующихся в средах, вызывающих коррозионное растрескивание, допускается применять аустенитные сварочные материалы, содержащие не менее 40 % никеля». В научно-технической литературе фактор коррозионного растрескивания как причина повреждения РЗК не рассматривается. Поэтому в разрабатываемых технологиях сварки по аустенитному варианту на предприятиях обычно указывается применение материалов с малым и средним содер-

жанием никеля. Для обеспечения работоспособности разнородных сварных соединений необходимо указание применения исключительно высоконикелевых электродных материалов. Широко используемый за рубежом документ [6] рекомендует применение высоконикелевых электродных материалов при проведении ремонта РЗК.

Результат применения рекомендаций. В разработанной инструкции [7] отражены изменения в технологии сварки теплоустойчивых сталей по аустенитному варианту. Для предотвращения растрескиваний указывается применение исключительно высоконикелевых электродных материалов с содержанием никеля не менее 60 % масс. Практика показала возможность обеспечения высокой работоспособности РЗК в условиях интенсивного растрескивания сварных соединений. Применение описанной технологии ремонта позволило исключить образование «холодных трещин» при проведении ремонтной сварки РЗК в условиях низких зимних температур. С 2020 г. проходит успешная эксплуатация РЗК на одном из нефтеперерабатывающих предприятий, число рабочих циклов каждого из четырех реакторов превысило 400. Выявляемые растрескивания сварных соединений подвергаются ремонту по аустенитному варианту. Это показывает возможность применения аустенитного варианта сварки для оборудования из сталей, склонных к подкалке, эксплуатируемого в условиях высокотемпературного циклического нагружения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стандарт организации. Сварка разнородных соединений сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых, низколегированных, теплоустойчивых, высоколегированных сталей и сплавов на железоникелевой и никелевой основах: СТО 00220368-011–2007. – Волгоград: ВНИИПТхимнефтеаппаратуры, 2007.
2. Welding Guidelines for the chemical, oil and gas industries (downstream segment). API Recommended Practice 582. First edition, March 2001.
3. **Бадьин, Ю. А.** Исследование причин повреждения аустенитных сварных соединений змеевиков нефтезаводского оборудования / Ю. А. Бадьин // Нефтегазовое дело. – 2021. – № 5. – С. 170–182.
4. **Бадьин, Ю. А.** Повреждение аустенитных сварных соединений трубопроводов вследствие фазового расслоения нагретой среды / Ю. А. Бадьин // Нефтегазовое дело. – 2021. – Т. 19, № 6. – С. 151–164.
5. **Бадьин, Ю. А.** Предотвращение растрескивания аустенитных сварных соединений трубопроводов из теплоустойчивых сталей / Ю. А. Бадьин // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 20, № 2. – С. 155–166.
6. API TR 934-G–2016. Design, Fabrication, Operational Effects, Inspection, Assessment, and Repair of Coke Drums and Peripheral Components in Delayed Coking Units. – Washington: American Petroleum Institute, 2016. – 57 p.
7. Технологическая инструкция ремонта трещин в основном металле и металле сварных соединений корпусов реакторов установок замедленного коксования аустенитными сварочными материалами. – Волгоград: ВНИКТИнефтехимоборудование, 2020.

E-mail: yuabadin@vnikti.rosneft.ru.