

УДК 620.172: 620.178

## РЕМОНТ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

*д-р техн. наук, проф. В.П. ИВАНОВ*

*(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)*

*Обоснована техническая и экономическая целесообразность ремонта металлических конструкции предприятий нефтехимического комплекса. Раскрыто содержание ремонта, с помощью которого устраняют эксплуатационные повреждения и полностью восстанавливают ресурс конструкций. Подробно описаны технологические операции ремонта: приемка в ремонт, очистка и определение технического состояния частей конструкций, вырезание поврежденных частей, заготовительные работы по изготовлению заменяющих частей, замена поврежденных частей новыми, окрашивание и контроль. Предложенный технологический процесс обеспечивает нормативное качество объекта.*

**Ключевые слова:** *металлическая конструкция, ремонт, ресурс, нефтехимический комплекс.*

**Введение.** Необходимость содержания в исправном состоянии металлических конструкции предприятий нефтехимического комплекса при использовании их по назначению в течение установленного срока службы предполагает проведение ремонтных работ, которые необходимы для экономически обоснованного устранения образовавшихся повреждений и восстановления ресурса. Целесообразность ремонта заключается в том, что в конструкциях заложен большой эксплуатационный ресурс, который, по мере его расходования, может быть восстановлен с затратами труда и материалов существенно меньшими, чем требуется при изготовлении этих конструкций. Ремонту подлежат технологическое оборудование [1], суда [2], автомобили и многие другие ремонтпригодные объекты [3].

**Основная часть.** При изготовлении трубопроводов и технологических установок предприятий нефтехимического комплекса преимущественно используют четыре группы сталей: конструкционные углеродистые (Ст3, сталь 20 и др.); низколегированные кремнемарганцевые (16ГС, 09Г2С, 10Г2С1 и др.); теплоустойчивые (12ХМ, 15ХМ, 15Х5М, 13Х9М и др.); коррозионностойкие (08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т и др.).

Ремонт, в зависимости от объема выполняемых работ и степени восстановления ресурса, может быть: малым, средним, капитальным. Малый ремонт – наименьший по трудоемкости, при нем заменяют неосновные части без восстановления ресурса. Средний ремонт производится с заменой ограниченной номенклатуры частей и частичным восстановлением ресурса. Капитальный ремонт наиболее трудоемкий, при нем полностью восстанавливают ресурс объекта. Малый ремонт выполняют по потребности, а средний и капитальный – спустя установленную наработку изделия.

Технологический процесс наиболее сложного капитального ремонта металлических конструкций состоит из следующих основных операций: приемки в ремонт, очистки и определения технического состояния частей объекта, вырезания поврежденных частей, заготовительных работ по изготовлению заменяющих частей, замену поврежденных частей новыми, окрашивание и контроль изделия.

При направлении металлической конструкции предприятия в ремонт разрабатывают ремонтный чертеж, в котором приводят: изображение изделия, технические требования к нему, спецификацию сборочного чертежа, таблицу повреждений с указанием способов их устранения. Чертежи утверждают на предприятии в установленном порядке. При разработке рабочих чертежей не допускается в результате ремонта уменьшать площадь поперечных сечений элементов и длину сварных швов конструкций.

Большие размеры металлических конструкций исключают использование традиционных способов очистки в жидких растворах технических моющих средств, а также дробе- и пескоструйную очистку. Применяют очистку щетками или скребками до металлического блеска поверхностей.

При длительной эксплуатации металлических конструкций в них возникают следующие повреждения:

- остаточные деформации изгиба пространственных элементов;
- ослабление заклепок и разрушение сварных швов;
- трещины в отдельных элементах.

Деформации элементов конструкций определяют с помощью линейек. Ослабленные заклепки находят наощупь или по звуку, излучаемому при ударе по заклепке специальным молотком. Разрушенные сварные швы и трещины от ударов конструкции определяют визуально.

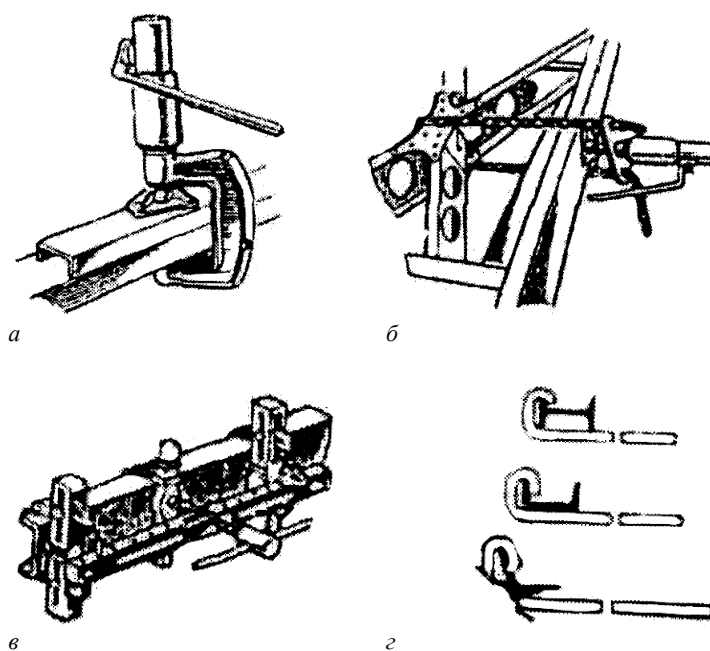
Для выявления зрительно неразличимых усталостных трещин применяют люминесцентный и ультразвуковой способы. Люминесцентный способ состоит в следующем. На поверхность детали наносят флуоресциру-

ющую жидкость (25% трансформаторного масла, 50% керосина, 25% бензина и 0,25 г дефектоля на 1 л). Через 10–15 мин поверхность детали сушат и посыпают тонким слоем порошка, способного адсорбировать впитавшуюся жидкость. Чаще для этого используют силикагель ( $\text{SiO}_2$ ). Жидкость, оставшаяся в трещинах, перемещается в порошок. Деталь облучают кварцевой лампой, под действием лучей которой на поверхности образуются светящиеся линии. По ширине светящейся полоски судят о глубине трещины. Для ультразвуковой дефектоскопии используют приборы ДУК-66ПМ, УД-10П, УД-13П, УД15П. Они рекомендуются также для выявления трещин в сварочных швах металлических конструкций.

Поврежденные части металлических конструкций вырезают шлифмашинами. Листовые ремонтные заготовки вырезают на параллельных ножницах, а заготовки из уголков и швеллеров – на пресс-ножницах.

Металл для ремонта металлических конструкций должен соответствовать металлу, используемому при их изготовлении. При отсутствии необходимых данных о материалах следует, для определения марки стали, произвести химический анализ. Рекомендуется для ремонта металлоконструкций, работающих на открытом воздухе при температуре до  $-40$  °С, применять мартеновскую сталь спокойной плавки. На все используемые для ремонта материалы должны быть сертификаты соответствия и происхождения завода-изготовителя.

Если в металлической конструкции имеются элементы с прогибами (изгибы стоек и раскосов ферм, полки уголков нижних или верхних поясов ферм), то допускается их правка в холодном состоянии при условии, что прогиб не превышает 3% свободной длины элементов. Холодную правку осуществляют с приложением статической нагрузки и только при положительной температуре воздуха. Правку можно выполнять посредством струбцин, домкратов, скоб и рычагов (рисунок 1).



*а* – струбцина; *б* – домкрат; *в* – скобы; *г* – рычаги

**Рисунок 1. – Приспособления для правки металлических конструкций**

Вмятины, которые не поддаются правке, устраняют приваркой ребер жесткости (рисунок 2). При значительном изгибе элементов допускается их правка с нагревом до 900–1150 °С (от вишневого до оранжевого цвета каления). Правку с нагревом до 700–1100 °С применяют для элементов из углеродистых сталей, до 900–1150 °С – для элементов из низколегированных сталей. Деформированные элементы металлоконструкций нагревают горелкой с выпуклой стороны в месте наибольшей деформации.

Правка деформированных элементов с валиковыми швами ударами не допускается. Правку нужно прекращать при температуре ниже 700 °С (красный цвет каления).

Стержневые деформированные элементы с незначительным прогибом исправляют на месте без подогрева с помощью винтового или гидравлического домкрата, установленного на деревянные брусья (рисунок 3). Деревянная прокладка 3 придает устойчивость домкрату за счет большого коэффициента трения дерева по стали в сравнении с коэффициентом трения стали по стали (позиция I). Дефектный элемент на ребре, имеющий большой изгиб и трещину, заменяют новым (позиция II).

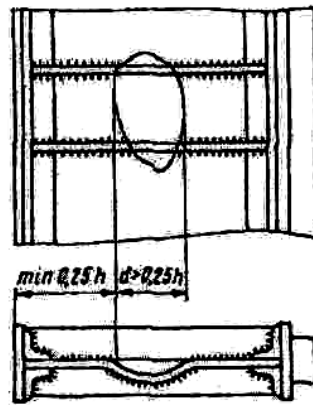
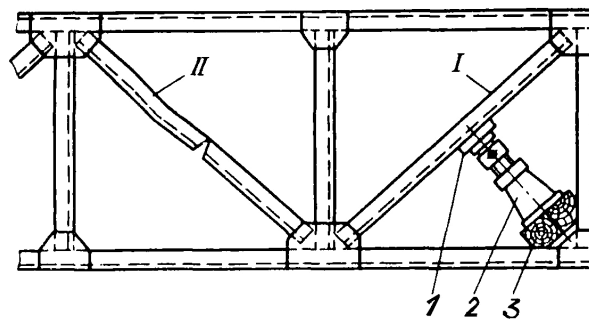


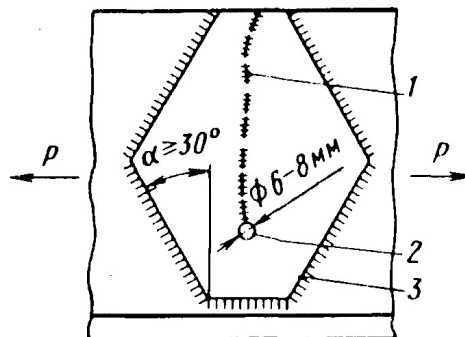
Рисунок 2. – Схема приварки ребер жесткости



I – правкой домкратом; II – заменой новым стержнем;  
1 – подкладка; 2 – домкрат; 3 – брус

Рисунок 3. – Схема ремонта стержневых элементов металлоконструкции

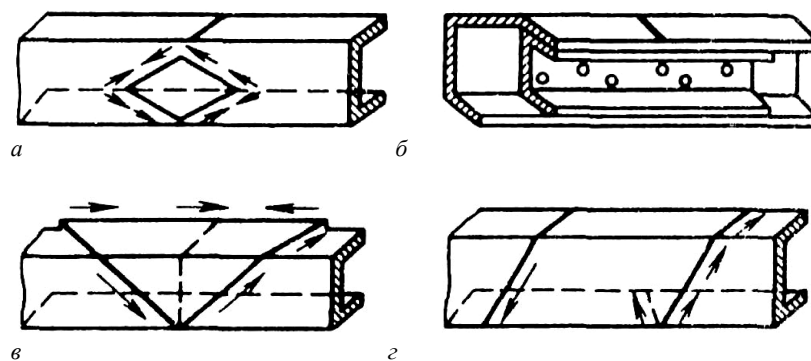
Трещины в листовых элементах металлоконструкций устраняют заваркой. Кромки трещины *I* (рисунок 4) в направлении возможного ее развития разделяют, в конце разделки сверлят отверстие 2, место вокруг трещины зачищают до металлического блеска. Отверстие в конце трещины снижает концентрацию напряжений и предупреждает ее дальнейшее развитие. Глубина, вид разделки и диаметр отверстия зависят от толщины свариваемого металла. Трещину заваривают электродом Э42А-Ф (если конструкция выполнена из углеродистых сталей) и Э50А-Ф (конструкция из низколегированных сталей), оставляя отверстие незаваренным. Ответственные элементы при этом усиливают установкой накладок 3 (толщиной 0,6–0,7 от толщины завариваемого элемента). Приварку накладок следует выполнять фланговыми швами, избегая наложения усиленных и поперечных швов.



1 – трещина; 2 – отверстие; 3 – накладка

Рисунок 4. – Схема заделки трещины установкой усиливающей накладки

При реконструкции металлических конструкций возникает необходимость их усиления. Схемы усиления конструкции приваркой накладок показаны на рисунке 5.



*a, в, г* – наложение усилительных накладок;  
*б* – усиление вставкой на заклепках в лонжеронах

Рисунок 5. – Схемы ремонта установкой накладок и заменой дефектного участка

Элементы конструкции, которые потеряли в результате коррозии более 5% первоначальной толщины с двумя и более усталостными трещинами, значительными по длине и опасными по расположению; с повторными усталостными трещинами в том месте, в котором они уже были однажды заварены, или рядом; а также с резкими изгибами в месте деформации необходимо удалить и заменить новыми. Заменяются элементы конструкции с трещинами в полках или надрывах, а также элементы, которые не обеспечивают после ремонта требуемой несущей способности. Если узел имеет значительное количество дефектов, то его также следует заменить новым.

Перед сваркой узлов следует обязательно проверить:

- соответствие размеров деталей-накладок их чертежам, наличие сертификатов на металл; на деталях должна быть маркировка, перенесенная с основного металла контролером ОТК;
- правильность разделки металла под сварочные швы и соответствующие зазоры в сборке между деталями, подлежащими сварке. Размеры сварочных швов необходимо устанавливать в соответствии с толщиной металла свариваемых деталей или определять расчетом.

При выполнении сварочных работ под открытым небом при температуре ниже 0 °С рабочее место сварщика должно быть защищено от ветра и попадания осадков. Наименьшая отрицательная температура, при которой разрешается производить сварочные работы на металлических конструкциях (таблица 1), должна быть согласована с местным органом Госгортехнадзора.

Таблица 1. – Минимально допустимая начальная температура (°С) стали при ручной и полуавтоматической дуговой сварке без предварительного подогрева

Толщина стали, мм	Наименьшая температура стали до сварки, °С	
	Углеродистая сталь, $T_1/T_2$	Низколегированная сталь, $T_1/T_2$
До 16 (включительно)	-30/-30	-20/-20
Свыше 16 до 30	-30/-20	-10/0
Свыше 30 до 40	-10/-10	0/+5
Свыше 40	0/0	+5/+10

Примечание.  $T_1$  – температура для решетчатых конструкций,  $T_2$  – температура для листовых конструкций

Сварные швы не должны иметь неровности, пористость, непровары, раковины, незаплавленные кратеры, трещины в основном или наплавленном металле, а также не допускаются подрезы основного металла и неправильная высота швов. Сварщик, выполнявший шов, должен поставить личное клеймо в начале и в конце сварочного шва. На сварочных швах, которые сосредоточены в одном месте, разрешено ставить одно клеймо сварщика.

Качество сварных соединений контролируют просвечиванием не менее 25% длины стыковых сварных швов рентгеновскими или гамма-лучами.

Проверку механических свойств сварного соединения на контрольных образцах следует выполнять независимо от вида сварного соединения, испытывая на растяжение и изгиб образцы, которые сварены встык. В образцах, предназначенных для испытаний на изгиб, сварной шов нужно располагать поперек образца. Результаты испытаний можно считать удовлетворительными, если временное сопротивление материала сварного шва не менее нижнего значения предела прочности основного металла, установленного для данной марки стали по ГОСТ; угол загиба образца должен быть не менее 90 °С. Для некоторых образцов допускается снижение прочностных показателей не более 10%. Число образцов, свариваемых сварщиком на неспециализирован-

ном для ремонта заводе, должно быть не менее двух для каждого вида испытаний (изгиб, растяжение). Дефектные участки сварных швов, которые были выявлены при контроле, должны быть вырублены и переварены.

В клепаных элементах металлических конструкций все расшатавшиеся заклепки заменяют новыми увеличенного размера. Отверстия под заклепку рассверливают. Заклепки диаметром до 12 мм разрешается клепать в холодном состоянии, свыше 12 мм – с нагревом до 1100–1200 °С. В один прием может быть удалена только одна заклепка, заменять последующую заклепку можно только после установки предыдущей.

Резьбовые отверстия под болты и шпильки восстанавливают путем нарезания резьбы увеличенного размера. Если необходимо сохранить номинальный размер резьбового соединения, то изношенное отверстие рассверливают, нарезают новую резьбу увеличенного размера, в которую ввертывают и плотно стопорят пробку, а затем в ней нарезают резьбу номинального размера.

Узлы металлических конструкций следует собирать на плитах или стендах, которые гарантируют правильное расположение деталей. Сборочное усилие не должно создавать в деталях прогибы или упругие деформации.

После ремонта проверяется качество его выполнения. Цель проверки – обеспечить последующую надежную работу конструкции. Контролер ОТК проверяет соответствие материала, геометрических параметров деталей и твердости поверхностей после термической обработки требованиям ремонтных чертежей.

После выполнения ремонта металлическую конструкцию окрашивают. Технологический процесс окрашивания включает операции подготовки поверхности, нанесения грунта и эмали с последующей сушкой лакокрасочного покрытия. Для облегчения нанесения краски рекомендуется ее предварительно разбавить и подогреть, что снижает ее вязкость, улучшает растекаемость и прочность соединения с поверхностью.

Перед окрашиванием металлические конструкции нужно очистить от старой краски металлическими щетками. Места, на которых она отслоилась, необходимо зачистить до металлического блеска и загрунтовать. Старую краску можно удалить 5%-ным раствором каустической соды, нагретым до температуры 75–80 °С, с последующей очисткой металлическими проволочными щетками или абразивными кругами. Применение термических способов снятия краски путем ее выжигания в пламени газовой горелки или паяльной лампы не рекомендуется, т.к. можно повредить наружный слой металла.

Конструкцию окрашивают масляными красками при ее эксплуатации в закрытом помещении. При работе крана на открытом воздухе или в цехах с большим содержанием в воздухе различных газов необходимо применять атмосферостойкие краски. Для окрашивания чаще всего используют краску желтого цвета, алюминиевую пудру с применением лака.

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) наносят на подготовленные поверхности кистью или при помощи краскораспылителей. Лучшее качество окрашивания обеспечивает безвоздушное распыление ЛКМ, которое состоит в том, что ЛКМ нагревают до температуры 40–100 °С и под давлением 4–10 МПа подают к распылительному устройству. Факел распыления формируется за счет перепада давления при выходе ЛКМ из сопла распылителя и последующего быстрого испарения части нагретого растворителя, которое сопровождается значительным его расширением. Потери материала при этом составляют только 5–12%. Производительность безвоздушного распыления почти в два раза больше, чем воздушного.

Для ремонтного окрашивания поверхностей применяют грунтовки с инертными пигментами (ГФ-21, ФЛ-03К, ФЛ-03КК, НЦ-081); пассивирующие (ГФ-017, ФЛ-03Ж, КФ-030); содержащие цинковый крон, хроматы и др., протекторные ПС-1, ЭП-057); содержащие металлический порошок с более отрицательным потенциалом, чем железо, фосфатирующие (ВЛ-02, ВЛ-023) и преобразователи ржавчины (Э-ВА-01ГИСИ, Э-ВА-0112, Э-ВА-013ЖТ). Наиболее применяемые эмали для ремонтного окрашивания, растворители и режимы сушки приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Эмали, применяемые для ремонтного окрашивания

Эмали	Режим сушки		Растворитель	Вязкость по ВЗ-4, с
	Температура, °С	Время, мин		
МЛ-197 разных цветов	100–110	30	Р-197 или 647	20–24
МЛ-1198 с металлическим эффектом	130	30	Смесь ксилола с бутилацетатом 1:1	14–16
МЛ-12 разных цветов	130	35	Р-198 или 646	23–24
МЛ-152 разных цветов	85–90	60	Сольвент	23–24
	100–105	35		
МЛ-1195 однопигментная	80	30	Ксилол	20–24
МЛ-1196 черная	100	30	Сольвент	18–22
МЧ-124 черная	110–120	30	Ксилол или сольвент	20–30
НЦ-273	18–22	20	646	22–25
МС-17	18–22	30	Сольвент или ксилол	20–25

Естественный процесс сушки конструкций занимает 1–2 дня. Трудоемкий и длительный процесс естественной сушки на воздухе заменяется терморadiационной сушкой. Определенные трудности вызывает окрашивание нижних плоскостей балочной конструкции. Для этой цели можно использовать автомобильную вышку. Если исключена возможность ее заезда в цех и проезда по нему, то рекомендуется выполнять окрашивание с подвесных лесов.

**Заключение.** Предложен процесс ремонта металлических конструкции предприятий нефтехимического комплекса, включающий приемку в ремонт, очистку и определение технического состояния частей, вырезания поврежденных частей, заготовительные работы по изготовлению заменяющих частей, замену поврежденных частей новыми, окрашивание, контроль и сдачу, обеспечивающий их нормативное качество с восстановлением ресурса, близкого к ресурсу нового объекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пекелис, Г.Д. Технология ремонта металлорежущих станков – 3-е изд. перераб. и доп. / Г.Д. Пекелис, Б.Т. Гельберг. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 240 с.
2. Балякин, О.К. Технология судоремонта / О.К. Балякин. – М.: Транспорт, 1983. – 264 с.
3. Иванов, В.П. Обеспечение безопасной работы оборудования нефтехимического комплекса / В.П. Иванов, А.В. Крыленко. – Новополюцк: ПГУ, 2015. – 180 с.

## REFERENCES

1. Pekelis, G.D. & Gel'berg, B.T. (1984). *Tekhnologiya remonta metallorezhushchikh stankov* [Technology of repair of machine tools]. Leningrad: Mashinostroyeniye, Leningradskoye otdeleniye. (In Russ.).
2. Balyakin, O.K. (1983). *Tekhnologiya sudoremonta* [Ship repair technology]. Moscow: Transport. (In Russ.).
3. Ivanov, V.P. & Krylenko, A.V. (2015). *Obespecheniye bezopasnoy raboty oborudovaniya neftekhimicheskogo kompleksa* [Ensuring the safe operation of equipment for the petrochemical complex]. Novopolotsk: PGU. (In Russ.).

Поступила 26.04.2022

**REPAIR OF METAL STRUCTURES  
OF ENTERPRISES PETROCHEMICAL COMPLEX**

V. IVANOV

*The technical and economic feasibility of repairing metal structures of petrochemical complex enterprises is substantiated. The content of the repair is disclosed, with the help of which operational damage is eliminated and the resource of structures is fully restored. The technological operations of repair are described in detail: acceptance for repair, cleaning and determination of the technical condition of parts of structures, cutting out damaged parts, procurement work for the manufacture of replacement parts, replacing damaged parts with new ones, painting and control. The proposed technological process ensures the normative quality of the object.*

**Keywords:** metal construction, repair, resource, petrochemical complex.