

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТНОЙ СВАРКИ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОАГРЕГАТОВ

А. К. ЦАРЮК¹, В. П. ЕЛАГИН¹, Г. А. РОЗУМЕНКО², А. И. ПАСЕЧНИК³, В. А. ПЕРЕТЯТЬКО⁴

¹ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²Змиевская ТЭС. 63460, пгт Слобожанское, Змиевский р-н, Харьковская обл. E-mail: csto_zm.tes@ukr.net

³ООО «Энергоинвест». 84500, г. Бахмут, ул. Героев труда, 19. E-mail: a.pasechnik@der.com.ua

⁴ПАО «Центрэнерго». 03680, г. Киев, ул. Казацкая, 120/4е. E-mail: peretyatkovladimir@ukr.net

Приведены особенности бездемонтажного ремонта корпуса из стали марки 15X1M1ФЛ регулирующего клапана цилиндра среднего давления турбины ПТ-200-130 тепловой электростанции, в котором образовалась трещина после длительного срока работы. Выполнение ремонта без разборки клапана возможно за счет применения технологии ремонтной дуговой сварки перлитными электродами с предварительным подогревом и термическим отпуском. Библиогр. 12, табл. 1, рис. 7.

Ключевые слова: трещина, корпус, сталь 15X1M1ФЛ, ремонтная сварка, термический отпуск металла

При длительной эксплуатации энергетического оборудования в условиях высокотемпературного нагрева и напряженного состояния происходит деградация структуры, снижение свойств и трещиностойкости металла [1]. В наибольшей степени этому подвержены литые корпусные детали турбин, особенно такие, как корпуса цилиндров высокого и среднего давления, стопорных и регулирующих клапанов, металл которых имеет значительную неоднородность свойств, литейные дефекты и повышенную загрязненность металла неметаллическими включениями. Образованию и развитию трещин способствуют как термомеханические нагрузки, так и дополнительное совместное действие процессов коррозионной усталости и водородного охрупчивания стали [2].

Основным способом устранения дефектов в корпусных деталях энергетического оборудования является ручная дуговая сварка перлитными электродами с выполнением местного предварительного подогрева и послесварочного высокотемпературного отпуска. Назначение термической обработки — повышение надежности сварного соединения за счет приведения структуры металла в равновесное состояние, снижения уровня сварочных напряжений и диффузионного водорода. Местная термообработка крупногабаритных корпусных деталей характеризуется неравномерным нагревом, появлением дополнительных температурных напряжений, ухудшением структуры и свойств сварного соединения. Избежать этого в определенной степени вполне возможно, применив высокотехнологичное термическое оборудование, позволяющее выполнить все операции нагрева и охлаждения полностью в автоматическом режиме. Однако трудность выбора оптимальных

параметров режима местной термической обработки, особенно крупногабаритного оборудования, имеющего разную толщину стенки, значительно затрудняет ее выполнение [3]. Кроме того, применение термической обработки оказывается невозможным, например, при ремонте без демонтажа деталей, когда высокотемпературный нагрев может привести к деформации и повреждению всего узла энергетической установки.

Для ремонта литых корпусных деталей паровых турбин и арматуры разработаны также и технологии заварки дефектов без термической обработки.

Одной из таких технологий является сварка аустенитными высоконикелевыми электродами [4]. Она позволяет предотвратить образование холодных трещин в сварных соединениях закаливающих сталей без выполнения предварительного подогрева и послесварочной термической обработки. Это обусловило ее высокую эффективность при устранении дефектов в деталях энергетического оборудования из теплоустойчивых хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых сталей, в том числе и при выполнении бездемонтажного ремонта. Недостатком такой технологии сварки является образование и последующее развитие при эксплуатации химической и структурной неоднородности в зоне сплавления аустенитного металла шва с перлитной сталью, вызванное диффузией углерода. Повышение содержания никеля в аустенитном шве является основным способом снижения структурной неоднородности в этой зоне, однако не устраняет ее полностью [5]. Это приводит к отслоению аустенитного металла с химическим составом на основе железа через 4...8 лет эксплуатации, а с химическим

составом на основе никеля — через 15...20 лет эксплуатации. При ремонте деталей, металл которых отработал больше 150 тыс. ч, надежность их эксплуатации с аустенитной высоконикелевой наплавкой может снизиться до 3...4 лет [3]. Технология ремонтной сварки аустенитными электродами успешно применяется в настоящее время [3, 4], однако требованиями современных нормативных документов допустимая температура эксплуатации разнородных соединений ограничена до 480 °С [6].

Альтернативой технологии заварки дефектов аустенитными электродами без термической обработки стали относительно новые технологии сварки перлитными электродами с применением технологических приемов управления термомеханическим циклом сварки. Одной из них является технология сварки поперечной горкой. Высокая стойкость металла против образования трещин при этом достигается не только без термической обработки, но и без предварительного подогрева. Эффект достигается за счет эффективного использования сварочного нагрева и снижения скорости охлаждения металла для предотвращения образования хрупких структур закалки. Этот способ широко используется при сварке толстолистового металла и в настоящее время совершенствуется применительно к сварке при исправлении дефектов литья энергетического оборудования из теплоустойчивых сталей [7, 8]. Недостатком этого способа, очевидно, является увеличение перегрева металла и рост зерна в околосшовной зоне. Это является особенно нежелательным для металла, имеющего деградированную структуру. Возможность применения этого способа для деталей с таким металлом требует дополнительных исследований.

Широкое использование для ремонтной сварки литья энергетического оборудования нашла технология сварки перлитными электродами с предварительным подогревом и низкотемпературным термическим отдыхом [3, 4, 8, 9]. Суть технологической операции отдыха заключается в том, что после окончания сварки поддерживается температура предварительного подогрева сварного соединения на протяжении некоторого времени. Отдых относится к рекристаллизационному процессу, который сопровождается снятием искажений решетки, упорядочением атомного строения и повышением пластичности металла. Положительное влияние отдыха на повышение трещиностойкости сварных соединений объясняется также снижением содержания диффузионного водорода в наплавленном металле [9, 10]. Обязательной составляющей этой технологии является предварительное нанесение на поверхность выборки облицовки,

состоящей из двух слоев наплавленного металла. Наплавка их выполняется на минимальной погонной энергии узкими отжигающими валиками [6], которые наносятся в определенной последовательности. Такой технологический прием наплавки позволяет эффективно снизить твердость и повысить пластичность металла зоны термического влияния (ЗТВ) за счет отпуска закалочных структур без значительного роста зерна в околосшовной зоне [11]. Кроме того, при этом снижается на 21...32 % уровень сварочных напряжений [12]. Это является особенно важным для металла, отработавшего свой ресурс, имеющего неблагоприятную структуру и повышенную склонность к образованию трещин. Дальнейшее снижение уровня сварочных напряжений происходит при высокотемпературной эксплуатации [9]. В зависимости от уровня и типа легирования основного металла и толщины стенки температура отдыха является относительно низкой (120...300 °С) по сравнению с температурой высокотемпературного отпуска (560...750 °С). В связи с этим отпадает опасность возможного коробления деталей сложной формы, образования трещин и окалины, а также нежелательных структурных превращений. Это позволяет применить такую технологию для бездемонтажного ремонта. Трещиностойкость сварных соединений при этом определяется размерами дефекта, техникой и параметрами режима наплавки, которые являются особенностями технологии сварки.

Целью данной работы являлся выбор технологии сварки при бездемонтажном ремонте литого корпуса регулирующего клапана цилиндра среднего давления (ЦСД) паровой турбины мощностью 130 МВт (рис. 1), выполненного из стали 15X1M1ФЛ.

Корпус клапана представляет собой крупногабаритную отливку сложной конфигурации (рис. 2), которая приварена к корпусу ЦСД



Рис. 1. Общий вид турбины ПТ-200-130



Рис. 2. Крышка ЦСД со стопорными клапанами при подготовке к ремонту

(рис. 3). Клапан отработал около 300 тыс. ч при температуре 545 °С и давлении пара 3,0 МПа. Повреждение в виде небольшой (30...40 мм) трещины в зоне сплавления аустенитной наплавки на его наружной поверхности было обнаружено при подготовке турбины к капитальному ремонту. Наплавка располагалась на участке переменного сечения, в котором толщина стенки изменялась от 60 до 140 мм. Эта наплавка проработала без замечаний около 200 тыс. ч. Она была выполнена высоконикелевыми электродами ЦТ-28 (типа 08X14H65M15B4Г2) при заварке выборки сечением 420×155 мм и глубиной 45 мм, образовавшейся при удалении отслоившегося металла, наплавленного аустенитными электродами марки ЭА-395/9 (типа X16H25M6). Причиной проведения первоначальной наплавки явилось раскрытие на этом участке дефекта литья в виде усадочной трещины глубиной 10...35 мм и длиной до 120 мм.

При удалении дефекта послойной шлифовой наблюдалось развитие отслаивания и отделе-

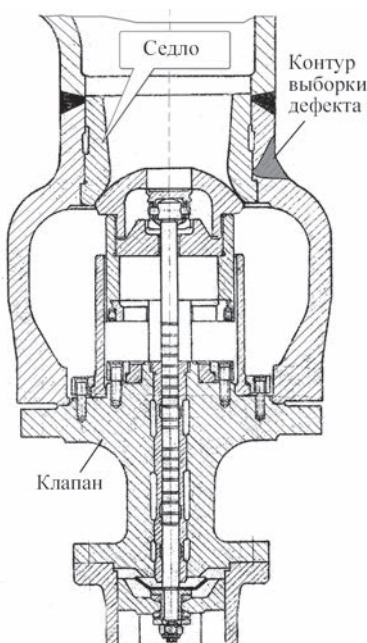


Рис. 3. Регулирующий клапан в сборе

ние аустенитного металла небольшими кусками (рис. 4). При этом поверхность отслоения имела рельеф, характерный для наплавленного металла, а твердость его участков имела высокие ($HV\ 480...520$) и низкие ($HV\ 110...150$) значения. Это свидетельствует о том, что разрушение произошло в зоне сплавления как в науглероженном, так и в обезуглероженном участке. Полноту удаления аустенитного металла контролировали магнитно-порошковым способом и металлографическим травлением поверхности 20 %-й азотной кислотой. Кроме аустенитного металла вышлифовали также и слой основного металла толщиной 8...10 мм. Это позволило удалить металл ЗТВ, имеющий высокую степень дефектности, вызванную крупным зерном, охрупчиванием границ зерен, фазовыми и структурными превращениями, снижающими механические свойства. В результате получилась выборка с размерами в плане 590×185 мм и глубиной в пределах 30...65 мм. Кроме того, в ее средней части образовалась сквозная прорезь шириной 10...18 и длиной 120 мм, в которой обнажилась поверхность седла (рис. 3 и 5).

Демонтаж седла из корпуса клапана оказался невозможным из-за «зарастания» зазора с внутренней поверхностью корпуса клапана прочными отложениями в процессе длительной эксплуатации. Это определило выбор для ремонта корпуса клапана ЦСД технологии сварки с выполнением предварительного подогрева и послесварочного термического отжига.

Для диагностирования состояния металла на участке ремонта, определения возможности дальнейшей эксплуатации и пригодности его к выполнению сварного соединения исследовали его микроструктуру, твердость и выполнили оценку его микрповрежденности. Для металлографического исследования был отобран фрагмент основного металла размером 20×30×8 мм на ремонтируемом участке. Твердость основного металла измеряли переносным твердомером типа Польди, а его микротвердость — прибором ПМТ-3А.

Микроструктура основного металла — мелкозернистый бейнит с частицами карбидов разме-



Рис. 4. Фрагмент аустенитной наплавки (×3). Вид со стороны поверхности отслоения

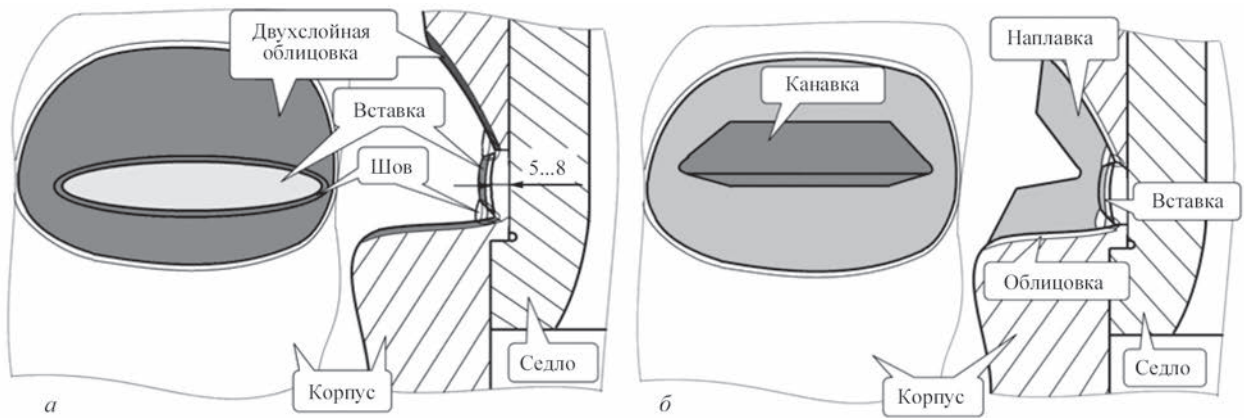


Рис. 5 Разделка под сварку трещины в корпусе регулирующего клапана ЦСД и этапы ее заварки

ром до 12 мкм и единичными изолированными микропорами размером до 2 мкм. Ферритной составляющей не более 5 %. Микроповрежденность основного металла соответствует 2 баллу шкалы Приложения Ж ОСТ 34-70-690-96 при допустимой не выше 4 балла [1]. Микротвердость структурных составляющих приведена в таблице, а микроструктура основного металла — на рис. 6.

Результаты исследования основного металла свидетельствуют о его ремонтпригодности с применением дуговой сварки и возможной его дальнейшей эксплуатации.

Предварительный подогрев зоны дефекта до температуры 280 °С, поддержание температуры отдыха длительностью 6 ч выполняли при помощи термической автоматизированной установки «Weldoterm». Регулировка температуры осуществ-

лялась на 12 контролируемых точках для обеспечения равномерности ее распределения не только в зоне ремонта, но и в зоне шириной 150 мм, прилегающей к ней.

Для исключения повреждения седла при заварке сквозной прорези в нее вваривали специальную вставку на расстоянии 5...8 мм от его поверхности (рис. 5, а). Вставка была вырезана из участка трубы (сталь 15Х1М1Ф), наплавленного электродами ТМЛ-5 (06Х1М), и подвергнута термической обработке — нормализации и высокотемпературному отпуску. Профилирование вставки выполнено строго по размеру прорези со скосом кромки для сварки под углом 45° со стороны наплавки. Размещалась она в прорези выше нижней кромки прорези на 1...2 мм с образованием зазора между свариваемыми кромками величиной 1,0...1,5 мм. Для предотвращения возможной приварки к седлу его поверхность защищали при помощи антипригарного покрытия. Корневой слой шва вставки выполнялся аргонодуговой сваркой W-электродом с присадкой сварочной проволоки марки Св-08ХГСМФА диаметром 1,6...2,0 мм. Значение тока сварки 220...240 А и наличие зазора обеспечивали полное проплавление свариваемых кромок. Последующие слои шва вставки выполнены электродами марки ТМЛ-5 (06Х1М). Поверхность сварного соединения вставки была зачищена до металлического блеска и проконтролирована визуальным методом на отсутствие трещин.

Наплавка облицовочного металла на поверхность выборки выполнялась в два слоя электродами марки ТМЛ-5. Схема выборки под сварку трещины и этапы ее заварки показаны на рис. 5. Отжигающие валики при наплавке первого слоя выполнялись электродами диаметром 3 мм шириной не более 5...8 мм. Накладывались они с перекрытием на 40...50 % ширины предыдущего валика. Второй слой выполнялся электродами диаметром 4 мм. При нагреве основного металла до температуры, превышающей 280 °С, сварка прекращалась для снижения и выравнивания

Микротвердость структурных составляющих основного металла

Структурная составляющая	Значение твердости HV 0,2*
Ферритные зерна	114...123 118,5
Зерна с субструктурой бейнита	143...155 151

*В знаменателе указано среднеарифметическое значение твердости из шести замеров.

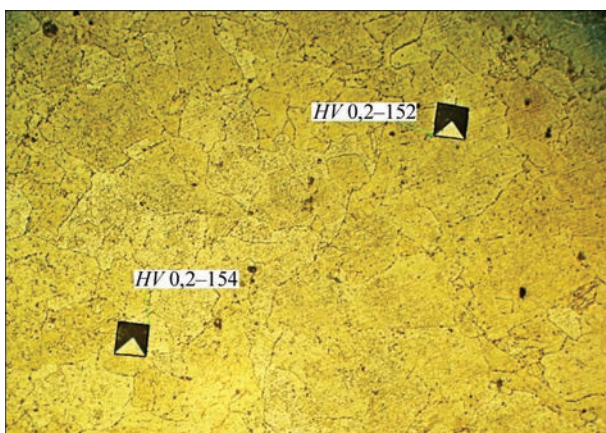


Рис. 6 Микроструктура (×200) стали 15Х1М1ФЛ на участке ремонта



Рис. 7. Выполнение ремонтной сварки трещины в корпусе регулирующего клапана ЦСД

температуры до уровня предварительного подогрева. После наплавки второго слоя выполнялась проковка его поверхности молотком массой 0,5 кг с закругленным бойком. Этот технологический прием является эффективным способом снижения сварочных напряжений [4]. После зачистки поверхности прокованного металла проводился его контроль на отсутствие дефектов. Последующее заполнение выборки выполнялось в два этапа: первый — послойная наплавка на боковые и донные участки выборки в направлении от кромок выборки к центру вплоть до образования продольной канавки V-образной формы шириной 15...20 мм и общим углом раскрытия 40...45° в средней части выборки (рис. 6, б). Второй этап — заполнение канавки наплавкой продольными валиками. Момент выполнения ремонтной сварки показан на рис. 7. После окончания наплавки проводился термический отдых металла поддержанием температуры 280 °С длительностью 24 ч при помощи установки «Weldoterm». Охлаждение зоны наплавки осуществлялось под слоем теплоизоляции со скоростью не более 25 °С/ч до температуры 70 °С, а при более низкой температуре — на спокойном воздухе при снятой теплоизоляции. В результате была получена твердость наплавленного металла в пределах HB 150...175; основного металла в зоне термического влияния HB 140...240.

Контроль качества металла выполнялся до, в процессе и после наплавки по всей поверхности наплавленного металла и за ее пределами шириной 150 мм визуальным-измерительным, магнитно-порошковым и ультразвуковым методами. Трещин не обнаружено. По результатам ультразвукового контроля металл ремонтной заварки соответствовал требованиям уровня качества 2 по EN 12680-1:2003 и СОУ ВЕА.200.1.1/01-2016.

В связи с низкой температурой термического отдыха по сравнению с высокотемпературным отпуском расширение области применения дан-

ной ремонтной технологии возможно по мере накопления результатов обследования ремонтных сварных соединений не только деталей энергетического, но и нефтехимического оборудования.

Выводы

1. Для ремонта поврежденных узлов и деталей турбоагрегатов из теплоустойчивых сталей действующих ТЭС в случае невозможности проведения высокого отпуска может использоваться технология дуговой сварки перлитными электродами с предварительным подогревом и послесварочным термическим отдыхом.

2. Технология дуговой сварки перлитными электродами с предварительным подогревом и послесварочным термическим отдыхом позволяет:

- повысить стойкость ремонтных сварных соединений против образования трещин за счет улучшения структуры, повышения пластических свойств металла зоны термического влияния и снижения сварочных напряжений под влиянием эффекта «отжигающих» валиков при выполнении двухслойной облицовки, а также снижения содержания диффузионного водорода в металле под влиянием термического отдыха;

- продлить срок эксплуатации узлов энергетического оборудования;

- снизить энергозатраты и улучшить условия работы при ремонте за счет отказа от проведения высокотемпературной послесварочной термической обработки.

3. Расширение применения данной ремонтной технологии целесообразно по мере накопления результатов исследований свойств и надежности ремонтных сварных соединений не только деталей энергетического, но и нефтехимического оборудования.

Список литературы

1. Гладштейн В. И. (2014) *Микроповреждаемость металла высокотемпературных деталей энергооборудования*. Москва, Машиностроение.
2. Черноусенко О. Ю. (2013) Поврежденность и остаточный ресурс стопорных клапанов ЦВД и ЦСД паровой турбины К-800-240 Славянской ТЭС. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. Харків, НТУ «ХПИ», **12 (986)**, 100–106.
3. Анохов А. Е., Корольков П. М. (2003) *Сварка и термическая обработка корпусного энергетического оборудования при ремонте*. Киев, ЭкоТехнология.
4. Хромченко Ф. А. (2005) *Сварочные технологии при ремонтных работах*. Москва, Интермет Инжиниринг.
5. Липодаев В. Н., Снисарь В. В., Елагин В. П. и др. (1991) Особенности хрупкого разрушения разнородного сварного соединения с высоконикелевым металлом шва. *Автоматическая сварка*, **10**, 6–9.
6. СТО ЦКТИ 10.049-2013. Устранение дефектов в литых деталях энергооборудования с применением сварки без последующей термической обработки.
7. Ефименко Н. Г., Атоженко О. Ю., Вавилов А. В. и др. (2014) Структура и свойства сварных соединений стали 15X1M1ФЛ при исправлении дефектов литья способом поперечной горки. *Автоматическая сварка*, **2**, 44–48.

8. Царюк А. К., Иваненко В. Д., Волков В. В. и др. (2009) Ремонтная сварка корпусных деталей турбин из теплоустойчивых сталей без последующей термообработки. *Там же*, **12**, 41–46.
9. Царюк А. К., Иваненко В. Д., Скульский В. Ю. и др. (2012) Технология ремонтной сварки узлов котлоагрегатов без последующей термообработки. *Там же*, **9**, 41–47.
10. Козлов Р. А. (1969) *Водород при сварке корпусных сталей*. Ленинград, Судостроение.
11. Aloraierd A., Al-Maznueed A., Price J. W. H., Shehata T. (2010) Weld repair practices without post weld heat treatment for ferritic alloys and their consequences on residual stresses: A review. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, **87**, 127–133.
12. Som Dutt Sharma S. D., Saluja R., Moeed K. M. (2013) A review on effect of preheating and/or post weld heat treatment (PWHT) on hardened steel. *International Journal of Technical Research and Applications*, V. **1**, Issue 2 (may-june).

References

1. Gladshitejn, V.I. (2014) *Microdamageability of metal of high-temperature parts of power equipment*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. Chernousenko, O.Yu. (2013) Damage and residual life of stop valves of high- and medium-pressure cylinders of steam turbine K-800-240 of Slavyansky thermal power station. *Visnyk NTU KhPI. Series: Power and thermotechnical processes and equipment*. Kharkiv, **12(986)**, 100-106 [in Russian].
3. Anokhov, A.E., Korolkov, P.M. (2003) *Welding and heat treatment of case power equipment in repair*. Kiev, Ekotekhnologiya [in Russian].
4. Khromchenko, F.A. (2005) *Welding technologies in repair works*. Moscow, Internet Engineering [in Russian].
5. Lipodaev, V.N., Snisar, V.V., Elagin, V.P. et al. (1991) Peculiarities of brittle fracture of dissimilar welded joint with high-nickel weld metal. *Avtomatich. Svarka*, **10**, 6-9 [in Russian].
6. STO TsKTI 10.049-2013. Removal of defects in cast parts of power equipment using welding without subsequent heat treatment [in Russian].
7. Efimenko, N.G., Atozhenko, O.Yu., Vavilov, A.V. et al. (2014) Structure and properties of welded joints of 15kh1M1FL steel at repair of casting defects by transverse hill method. *The Paton Welding J.*, **2**, 42-46.
8. Tsaryuk, A.K., Ivanenko, V.D., Volkov, V.V. et al. (2009) Repair welding of turbine case parts from heat-resistant steels without subsequent heat treatment. *Ibid.*, **12**, 32-36.
9. Tsaryuk, A.K., Ivanenko, V.D., Skulsky, V.Yu. et al. (2012) Technology of repair welding of boiler unit assemblies without postweld heat treatment. *Ibid.*, **9**, 37-43.
10. Kozlov, R.A. (1969) *Hydrogen in welding of hull plates*. Leningrad, Sudostroenie [in Russian].
11. Aloraierd, A., Al-Maznueed, A., Price, J.W.H. et al. (2010) Weld repair practices without post weld heat treatment for ferritic alloys and their consequences on residual stresses. *Int. J. of Pressure Vessels and Piping*, **87**, 127-133.
12. Som Dutt Sharma, S.D., Saluja, R., Moeed, K.M. (2013) A review on effect of preheating and/or post weld heat treatment. (PWHT) on hardened steel. *Int. J. of Techn. Research and Applications*, **1** (Issue 2), 5-7.

А. К. Царюк¹, В. П. Єлагін¹, Г. А. Розуменко²,
А. І. Пасечник³, В. А. Перетятко⁴

¹ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

²Зміївська ТЕС. 63460, смт Слобожанське, Зміївський р-н,
Харківська обл. E-mail: csto_zm.tes@ukr.net

³ТОВ «Енергоінвест». 84500, м. Бахмут,
вул. Героїв праці, 19, E-mail: a.pasechnik@der.com.ua

⁴ПАТ «Центренерго».
03680, м. Київ, вул. Козацька, 120/4е.
E-mail: peretyatkovladimir@ukr.net

ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОАГРЕГАТІВ

Наведені особливості бездемонтажного ремонту корпусу із сталі марки 15X1M1ФЛ регулюючого клапана циліндра середнього тиску турбіни ПТ-200-130 теплової електростанції, в якому утворилася тріщина після тривалого терміну роботи. Виконання ремонту без розбирання клапана можливо за рахунок застосування технології ремонтного дугового зварювання перлітними електродами з попереднім підігрівом і термічним відпочинком. Бібліогр. 12, табл. 1, рис. 7.

Ключові слова: тріщина, корпус, сталь 15X1M1ФЛ, ремонтне зварювання, термічне відпускання металу

А.К. Tsaryuk¹, V.P. Elagin¹, G.A. Rozumenko²,
A.I. Pasechnik³, V.A. Peremyatko²

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine,
11 Kazimir Malevich Str., 03680, Kiev, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²Zmiyevskaya thermal power plant, town Slobozhanskoeye,
63460, Zmiyev district, Kharkov region.

E-mail: csto_zm.tes@der.com.ua

³OJSC «Eneroinvest». 19, Geroev truda Str., 84500, Bakhmut.
E-mail: a.pasechnik@der.com.ua

⁴PJSC «Tsentrrenergo». 120/4e Kazatskaya Str., 03680, Kiev.
E-mail: peretyatkovladimir@ukr.net

SELECTION OF TECHNOLOGY OF REPAIR WELDING OF PARTS OF TURBINE UNITS

The features of disassembly-free repair of body of steel grade 15Kh1M1FL of the control valve of the medium pressure cylinder of the turbine PT-200-130 of the thermal power plant, in which a crack was formed after a long service life, are given. The repair without disassembly of the valve is possible due to the use of technology of repair arc welding using perlitic electrodes with preheating and thermal tempering. 12 Ref., 1 Tabl., 7 Fig.

Keywords: crack, body, steel 15Kh1M1FL, repair welding, metal relief annealing

Поступила в редакцію 10.10.2017