

УДК 620.1+669-1

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ

Д.А. Михеев

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Статья посвящена оптимизации технологии ремонта бурильных труб методом наплавки. Произведен обзор методов восстановления замковых соединений. Проанализированы различные защитные среды при производстве наплавки, произведен подбор режима предварительного подогрева, а также оптимальной толщины наплавочного слоя. Произведена оценка физико-механических свойств восстановленных замковых соединений бурильных труб, проанализировано микроструктурное состояние основного металла, установлена зависимость размера зерна от толщины наплавляемых слоев. Выполнение мероприятий, разработанных по результатам настоящего исследования, позволит гарантировать высокое качество изделия после ремонта.

Ключевые слова: замковое соединение, бурильная труба, наплавка, флюс, защитная атмосфера, предварительный нагрев.

Оценивая статистические данные, можно сделать вывод, что более 60 % труб отбраковываются по причине износа замкового соединения по наружному диаметру вследствие абразивного износа в процессе эксплуатации. В связи с высокой стоимостью бурильных труб, а также тем, что зачастую отбраковка по наружному диаметру замка вовсе не означает непригодности к работе непосредственно бурильной трубы, потери крупных компаний от отбраковки достигают десятков миллионов рублей. Таким образом, одним из приоритетных направлений при капитальном ремонте бурильных труб стало восстановление геометрических параметров замковых соединений. В настоящее время общепризнано, что наплавка замковых соединений бурильных труб является одним из наиболее эффективных методов восстановления [1]. Данный метод возник в начале XX в., однако широкое применение в данном ключе нашел в 80–90-х гг., когда особенно острой стала проблема нехватки бурильного инструмента. Для ремонта инструмента методом наплавки разработана и используется большая группа наплавочных материалов. По действующим в настоящее время ГОСТам в нее входят 30 типов электродов для ручной дуговой наплавки, 23 марки проволок для механизированной наплавки и 4 типа порошков для порошковой наплавки и напыления [2–5].

С каждым годом расширяется номенклатура методов и способов восстановления поврежденных деталей. В зависимости от размеров изделия, материала, специфики работы, необходимости создания специальных условий и др. факторов существует несколько основных направлений ремонта наплавкой.

Успешно применяется плазменная наплавка с использованием токоведущей проволоки для создания биметаллических изделий с основой из чугуна, углеродистых, низколегированных сталей [6]. Плазменная наплавка токоведущей про-

волокой возможна как на прямой, так и на обратной полярности. В настоящее время получает распространение наплавка постоянным током на обратной полярности, особенно для металлов и сплавов, в состав которых входят элементы, образующие в процессе наплавки тугоплавкие оксиды. Это в первую очередь алюминиевые сплавы, алюминиевые бронзы, латуни и др. За счет эффекта катодной очистки в процессе наплавки происходит разрушение оксидных пленок на поверхности основного и наплавочного металлов, что улучшает смачиваемость наплавляемой поверхности жидким наплавочным металлом и, как следствие, обеспечивает получение слоев высокого качества. Плазменная наплавка обладает такими важными преимуществами, как высокая производительность, широкая возможность легирования слоев наплавки, большой диапазон регулирования ввода теплоты в основной и наплавочный металлы, возможность применения любых наплавочных металлов. В зарубежной практике плазменную наплавку широко применяют при упрочнении седел клапанов химического оборудования, внутренних поверхностей ротационных насосов из стального литья, клапанов автотракторных двигателей, изнашивающихся поверхностей деталей атомного реактора, барабанов бумагоделательных машин, режущих кромок шнекобурильных машин, долот для вращательного бурения, зубьев экскаваторов. При восстановлении изношенных деталей плазменную наплавку применяют для деталей типа «вал». Недостатком является дороговизна производства.

Одним из новых направлений ремонта является наплавка трением [7]. Данный метод обладает значительным потенциалом для дальнейшего промышленного применения и разрабатывается в качестве практической альтернативы всем остальным методам, однако пока не получил распространения. Технология наплавки трением напоминает обычную сварку трением, проводимую при вращении одного прутка или заготовки относительно другой при непрерывном их поджатии друг к другу. При этом наплавленный слой в зависимости от режима процесса может иметь весьма малую толщину (0,2...0,5 мм). Для сварки не требуется источника питания, сварочных электродов, флюса, газов. Не выделяются вредные аэрозоли, которые сопутствуют производственным процессам. Этим видом наплавки можно наплавлять разнородные металлы, такие как алюминиевые сплавы, алюминий с медью, магний с медью, медь и ее сплавы, медь с никелем, медь со сталью и другие, а также такие металлы, которые электро- или газосваркой сваривать невозможно. Данный метод не подходит для восстановления замковых соединений бурильных труб, так как не обеспечивает необходимой производительности вследствие малой толщины единовременно наплавляемого слоя.

Электронно-лучевая наплавка [8] широко применяется во многих областях из-за высокой глубины и ширины одновременно наплавляемых поверхностей. Достоинством такой технологии является возможность отдельно распределять мощность луча, идущего на подогрев наплавляемой поверхности и наплавляемого металла. Отсюда – возможность добиваться практически минимального перемешивания основного и наплавочного материалов и только в слоях наплавки, прилегающих к основному материалу. Так как наплавка проводится в вакуумных камерах, то выгорание из присадочного материала легирующих элементов исключается; в результате появляется возможность легировать наплавляемый металл в любых количествах и сочетаниях. Присадкой служит проволока сплошного сечения или порошковая. Производительность такой технологии наплавки достаточно велика – до 2 кг/ч, толщина наплавки может быть в пределах 0,2...3 мм.

Данный метод не подходит для восстановления замковых соединений бурильных труб по причине массивности бурильных труб (для наплавки необходима вакуумная камера), а также дороговизны оборудования.

Также нашла применение технология лазерной наплавки [9]. Она осуществляется тремя способами: с подачей присадочного порошка в зону лазерного луча с помощью достаточно сложного дозирующего устройства; с оплавлением предварительно нанесенного на поверхность присадочного материала в виде пасты; с оплавлением предварительно напыленных поверхностей. Быстрое охлаждение наплавленного металла способствует получению высокотвердых структур в наплавке и поверхности основного металла. Способ весьма эффективен, хотя и требует специального дорогого оборудования и обученного персонала. Его используют для наплавки лопастей турбин, клапанов, распределительных валов и других деталей ответственного назначения. Он позволяет получать наплавленные поверхности толщиной до 0,1 мм. Производительность при хорошо организованном серийном производстве может достигать 1 кг/ч при доле основного металла в наплавленном 5...7 % за счет возможности перераспределения тепловложения. Данный метод достаточно дорогостоящий. Кроме того, он требует специфического оборудования и материалов, что делает его малопривлекательным для восстановления замков бурильных труб.

Таким образом, для замковых соединений бурильных труб наиболее подходящим является классический метод восстановления электродуговой сваркой под флюсом, который нашел широкое применение в России. Данный метод достаточно доступный и дешевый, при этом он обеспечивает требуемый уровень качества. Несмотря на то, что методика восстановления замковых соединений бурильных труб используется уже достаточно длительное время, остаются нерешенными ряд технологических проблем.

В соответствии с технологией производства наплавки замков бурильных труб используется флюс 48 ОФ-10, однако существует проблема с удалением данного флюса. Несвоевременное удаление флюса ведет к повышению температуры в зоне сварки и, как следствие, к микроструктурным изменениям, росту зерна и производственному браку. Потери от отбраковки в этом случае могут составлять до 1/3 всех ремонтных труб [10]. При использовании керамического флюса ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) проблемы с удалением отработанного материала отсутствуют, но появляются сложности с дальнейшей механической обработкой – замки бурильных труб после ремонта под керамическим флюсом обладают высокой твердостью, что значительно снижает ресурс обрабатывающего инструмента. Также имеются факты сломов данных замков бурильных труб на забое, что является результатом повышенной хрупкости после ремонта. Ремонт замков бурильных труб в атмосфере защитных газов ранее не производился, и каких-либо сведений по эксплуатационной надежности таких замков не имеется. Поэтому весьма актуальным на сегодняшний день является подбор защитной среды, обеспечивающей оптимально возможный для данных условий комплекс физико-механических свойств.

Говоря о возможных путях совершенствования технологии, следует учитывать ряд важных факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики ремонтного изделия. В первую очередь это наплавленный металл. В наплавленном слое недопустимы поры, трещины и иные пороки, и требования в этом отношении строже, чем предъявляемые к сварным швам [11]. Оптимальный состав наплавленного металла для различных условий службы должен быть выбран с уче-

том всех особенностей его эксплуатации, а электродная проволока, флюс, термический режим наплавки – так, чтобы наплавленный металл обладал в результате необходимым химическим составом и физическими свойствами. Важным фактором, обеспечивающим свойства ремонтного изделия после восстановления, является температурный режим наплавки и используемое технологическое оборудование. Правильный выбор установки для нанесения наплавки, а также режима предварительного подогрева позволит свести к минимуму последующую механическую обработку наплавленных изделий, что приведет к снижению стоимости продукта. Одной из серьезных проблем на данный момент является отсутствие мероприятий по обеспечению должного технологического уровня контроля качества нанесения наплавки для предотвращения усталостного разрушения, растрескивания, температурных деформаций вследствие высокой толщины наплавочного слоя. Замки буровых труб, бывшие в эксплуатации, сохраняют значительные внутренние напряжения. Если к ним добавляются напряжения после наплавки, изделие может сломаться. Это явление называется усталостным разрушением. Такое разрушение может произойти вблизи места наплавки или в слабых местах конструкции детали [12].

Таким образом, наиболее подходящим является метод электродуговой наплавки, однако он требует доработки для устранения перечисленных выше недостатков. Целью настоящей работы являлась оптимизация технологического процесса восстановления замковых соединений буровых труб наплавкой.

Объектами исследования являются восстановленные методом наплавки замковые соединения буровых труб Ø 127,0 мм с толщиной стенки 9,2 мм группы прочности Д, изготовленные в соответствии с ГОСТ 27834-95 из стали 40ХМФА. Наплавка производилась в условиях центра по ремонту буровых труб (ЦРБТ) в соответствии с ТУ 1324-002-96380705-2008 на комплексе АКНЗБТ-2-1200 УХЛ 4.

Химический состав стали определяли методом спектрального анализа на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой РМІ Master в соответствии с ГОСТ 18895-97. Испытания на растяжение проводили на разрывной машине Р10М-авто на цилиндрических образцах (тип 3) с продольным расположением волокна в соответствии с ГОСТ 1497-84. Испытания на ударную вязкость производили на образцах Шарпи (тип 11) с V-образным надрезом на маятниковом копре МК-30 в соответствии с ГОСТ 9454-78. Анализ микроструктуры металла выполняли с использованием оптического микроскопа Leitz MM6 (Германия) на микрошлифах с поперечным расположением волокна. Фотосъемку микроструктуры выполняли на микрорентгеноспектральном анализаторе Jeol Superprobe 733 (Япония). Анализ загрязненности стали неметаллическими включениями проводили на нетравленных микрошлифах с продольным расположением волокна на оптическом микроскопе Leitz MM6 в соответствии с ГОСТ 1778-80. Размер зерна, а также структурную полосчатость оценивали методом сравнения с эталонными шкалами с использованием оптического микроскопа Leitz MM6 в соответствии с ГОСТ 5639-82 и ГОСТ 5640-82.

Ремонт производился в различных защитных средах наплавочной проволокой Нп-30ХГСА: в среде CO₂ (образец УГ), в среде смеси защитных газов в соотношении 80 % Ar и 20 % CO₂ (образец УГА), под слоем смеси флюсов ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б), 48 ОФ-10 [13] в соотношении 1:1 (образец КБФ), под слоем флюса ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) (образец КФ), а также под слоем флюса 48ОФ-10 (образец БФ). По результатам исследования химического состава, механических свойств,

а также металлографических характеристик было установлено, что ни один из объектов исследования не соответствует в полной мере требованиям ТУ 1324-002-96380705-2008. В значительной степени уровень механических свойств определяется размером зерна, который колеблется в весьма широком диапазоне (3-11 баллов). По совокупности исследованных характеристик наивысшими показателями обладает образец с маркировкой КБФ. Рост зерна металла основы связан с температурным режимом нанесения наплавки. Для дальнейшей оптимизации режима необходимо уменьшение градиента температур, чего можно достичь путем введения предварительного подогрева в технологический процесс нанесения наплавки. Применение предварительного подогрева позволяет увеличить долю вязкой составляющей с большей устойчивостью к образованию трещин, безопасно рассеять диффузионный водород без риска образования трещин, снизить усадочные напряжения шва и прилегающего металла основы, что особенно важно для соединений под высоким напряжением, снизить риск охрупчивания после восстановления вследствие уменьшения температурных полей, вызывающих внутренние напряжения [14].

В сварочных кодексах обычно указывают минимальные значения температуры предварительного подогрева, которые могут оказаться достаточными или недостаточными для предотвращения образования трещин в каждом конкретном случае. Для изготовления стыковых соединений температуру предварительного подогрева рекомендуется поднять выше минимального уровня, требуемого институтом AISC, а именно 175 °C (AISC LRFD J2.8) [16]. Температура предварительного подогрева более точно рассчитывается по углеродному эквиваленту. В данном случае это углеродный эквивалент стали наплавочной проволоки 30ХГСА. В соответствии со справочником Lincoln Electric [18] углеродному эквиваленту в нашем случае соответствует температура предварительного подогрева 250 °C. Кроме того, отечественные РД дают рекомендации по предварительной прокалке флюса перед работой при 350 °C [17].

Для исследования влияния температуры предварительного подогрева на структуру и свойства наплавки были отобраны 6 образцов замковых соединений бурильных труб. Исследованию подлежали образцы муфт (М) и ниппелей (Н) бурильных труб после восстановления без применения предварительного подогрева (образцы М_к, Н_к), а также с предварительным подогревом до 250 °C газовой горелкой (образцы ПП 250 М_р, Н_р) и индуктором (образцы ПП 250 М_и, Н_и). По результатам исследований [14] было установлено положительное влияние предварительного подогрева на свойства всех исследуемых образцов. На образцах ПП 250 М_р и ПП 250 Н_р применялся способ локального нагрева (участка) поверхностей ниппеля и муфты с поворотом трубы и передвижением нагревающего пламени горелки по длине образующей диаметра замков, то есть часть металла нагревалась и одновременно остывала площадь уже нагретого металла, в то время как для нагрева образцов ПП 250 М_и и ПП 250 Н_и применялся индуктор. Данное решение позволило довести до уровня ТУ значения механических свойств ниппельной части замка. Более низкие значения механических свойств для муфтовой части замка после восстановления связаны, по всей видимости, с меньшей толщиной основного металла по сравнению с ниппельной частью замка. Скорость прогрева муфты выше, что диктует необходимость подбора для нее отдельного температурно-временного режима нагрева. Следует понимать, что данное мероприятие значительно снизит производительность ремонта в связи с необходимостью переналадки оборудования под конкретное изделие.

Для того чтобы нивелировать влияние толщины основного металла на результат восстановления бурильного замка, необходимо ограничение толщины единовременно наплавляемого слоя до значения, позволяющего максимально производительно и в то же время без риска перегрева производить его восстановление. Для определения количества нанесенных в ходе восстановления слоев и их толщины, а также металлографических параметров были изготовлены микрошлифы. Исследованию подлежали образцы муфт (М) и ниппелей (Н) бурильных труб после восстановления тремя способами – толщина слоя 12 мм (маркировка Н12, М12), толщина слоя 6 мм (маркировка Н6, М6) и толщина слоя 3 мм (маркировка Н3, М3). Оптимальные значения механических свойств были получены при снижении толщины наплавляемого слоя до 3 мм [15]. Микроструктура мелкозернистая (8–9 баллов), состоит из феррито-перлита. Следов перегрева не выявлено.

Выводы

1. Полученные в ходе работы результаты позволяют утверждать, что в условиях ЦРБТ на комплексе АKNЗБТ-2-1200 УХЛ 4 в соответствии с ТУ 1324-002-96380705-2008 оптимальным является режим ремонта методом наплавки проволокой Нп-30ХГСА замковых соединений бурильных труб Ø 127,0 мм с толщиной стенки 9,2 мм группы прочности Д, изготовленных в соответствии с ГОСТ 27834-95 из стали 40ХМФА под слоем смеси флюсов ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) и 48 ОФ-10 в соотношении 1:1.

2. Доказана необходимость проведения предварительного подогрева ремонтного изделия в индукторе до температуры 250 °С, а также предварительной проковки флюса до 350 °С.

3. Толщина единовременно наплавляемого слоя не должна превышать 3 мм. Соблюдение режима позволит гарантировать качество ремонтного изделия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глазов В.А. Восстановительная наплавка замков бурильных труб // Engineer & technological service SPF–CSC. – 2013. – № 4. – URL: <http://burneft.ru/archive/issues/2013-04/16> (Дата обращения: 25.03.2014).
2. Ворновицкий И.Н. Электроды с железным порошком в покрытии. – М.: РНТСО, 2000. – С. 78.
3. ГОСТ 10051-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы.
4. ГОСТ 10543-82. Проволока стальная наплавочная. Технические условия.
5. ГОСТ 21448-75. Порошки из сплавов для наплавки. Технические условия.
6. Ен Сян, Дэтин Ю. Влияние термической плазменной струи теплового потока на характеристики поверхностного упрочнения // Теоретические основы химической технологии. – 2015. – № 12 (226). – С. 238-246.
7. Гандра Д. Сварка трением – обзор // Теоретические основы химической технологии. – 2014. – № 5 (214). – С. 1062-1093.
8. Лацки П., Адамус К., Вечорек П. Теоретические и экспериментальные исследования термомеханических явлений в процессе электронно-лучевой сварки // Вычислительное материаловедение. – 2014. – № 11 (94). – С. 17-26.
9. Кеннеди Э., Бирн Д., Коллинз Д.Н. Обзор использования диодных лазеров высокой мощности при поверхностной закалке // Теоретические основы химической технологии. – 2004. – № 11 (155). – С. 1855-1860.
10. Официальный сайт ОАО «Татнефть» [Электронный ресурс]. – М., 2006-2014. – URL: <http://www.tatneft.ru> (Дата обращения: 25.03.2014).
11. Шоев А.Н. Научные технологии нанесения покрытий // Научные технологии в машиностроении. – 2012. – № 11.

12. Сварка и родственные процессы в промышленности: тез. докл. науч.-техн. семинара (17 апр. 2007, Киев, Украина). – К.: Экотехнология, 2007. – 94 с.
13. Амосов А.П., Михеев Д.А. Оптимизация восстановления замковых соединений бурильных труб методом наплавки // Научные технологии в машиностроении. – 2015. – № 1.
14. Амосов А.П., Михеев Д.А. Оптимизация режима предварительного подогрева при восстановлении замковых соединений бурильных труб методом наплавки // Экспозиция Нефть Газ. – 2015. – № 4 (43).
15. Амосов А.П., Самсонов М.С., Михеев Д.А. Подбор оптимальной толщины наплавочного слоя при восстановлении замковых соединений бурильных труб // Научные технологии в машиностроении. – 2015. – № 12 (54).
16. ANSI/AWS D1.1-96 Structural Welding Code: Steel. The American Welding Society, 1996.
17. РД 39-2-930-83. Типовые технологические инструкции по подготовке к эксплуатации и ремонту бурильных труб в цехах центральных трубных баз производственных объединений Миннефтепрома.
18. Lincoln electric [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lincolnelectric.com> (Дата обращения: 05.06.2014).

Статья поступила в редакцию 7 декабря 2015 г.

REPAIRING DRILL-PIPE TOOL JOINTS BY FACING

D.A. Miheev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The paper concerns the optimization of the technology for repairing drill pipes by facing. The methods of tool joints repairing are surveyed. Various protective media while performing facing are analyzed. The selection of a preheating mode as well as the optimum thickness of facing layer is made. The physical and mechanical properties of repaired drill-pipe tool joints are assessed, analyzed the microstructure of the base metal is analyzed. The measures devised using the results of this research will guarantee the high quality of repaired products

Keywords: *interlocks, drill pipe, resurfacing, flux, protective atmosphere, preheating.*