

DOI:10.12737/article\_5b115a6f765b84.40510361

Пугачева Т.М., канд. техн. наук, доц.,  
Михеев Д.А., магистрант

Самарский государственный технический университет

## МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ПОСЛЕ НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФЛЮСОВ

mdasyz@yandex.ru

*В статье приведены результаты сравнительного исследования химического состава, микроструктуры и свойств наплавленного металла и металла основы замковых соединений бурильных труб после их восстановления наплавкой с использованием различных флюсов. При оценке технологичности ремонта учитывали надежность защиты от окисления, отсутствие подстуживания, возможность своевременного удаления шлака.*

*Исследование влияния состава защитной среды наплавки на комплекс свойств и микроструктуру производилось на пяти образцах ниппелей замков из стали 40ХМФА. На каждом объекте было произведено по две опытных наплавки. Наплавка осуществлялась на трубной базе, проволокой Нп-30ХГСА. Был использован плавный и керамический флюс по отдельности и в виде механической смеси в различных соотношениях. Также наплавка производилась в среде защитных газов.*

*Установлено, что проведение наплавки в среде газов сопровождается разбрызгиванием металла. Микроструктура такой наплавки пористая и состоит из сорбита, бейнита и перлита. Проведение наплавки под смесью флюсов в различных соотношениях позволило установить ряд закономерностей. Увеличение доли керамического флюса приводит к повышенному легированию и росту твердости наплавки. При этом микроструктура наплавки состоит из нижнего бейнита и сорбита. Повышение содержания плавного флюса приводит к повышению загрязненности наплавки включениями. В этом случае микроструктура наплавки грубая и имеет дендритное строение. Наилучшее качество наплавки обеспечивается использованием композиции, состоящей из плавного и керамического флюса в соотношении 1:1. При этом получаемая микроструктура наплавки наиболее приближена к исходной микроструктуре замка в состоянии поставки.*

**Ключевые слова:** замковое соединение, бурильная труба, наплавка, химический состав, микроструктура, свойства, флюс.

**Введение.** Восстановление изношенной поверхности замковых соединений бурильных труб из стали 40ХМФА производится методом электродуговой наплавки под флюсом с использованием наплавочной проволоки Нп-30ХГСА. В процессе восстановления на поверхности замкового соединения происходит формирование валиков из продольных участков, располагаемых вдоль образующей тела замка. По всей ширине наплавляемого валика формируется общая ванна жидкого металла. Наплавку формируют при перемещении электродов в прямом и обратном направлении вдоль оси вращающейся трубы. Перемещение электродов совмещают с подачей флюса [1].

В соответствии с технологическим процессом [2], для наплавки может быть использован плавный, либо керамический флюс. Отличительной особенностью и достоинством плавного флюса является малая окислительная способность по отношению к металлу сварочной ванны и хорошая формирующая способность валика при наплавке шириной до 100 мм. Недо-

статком же является плохая отделяемость шлаковой корки при повышенной температуре изделия, а также низкое качество наплавленного металла и зоны термического влияния. При непрерывной наплавке удаление шлака до завершения первого оборота имеет важное значение [3]. Несвоевременное удаление шлака сопровождается повышением температуры в наплавленном слое, что ведёт к микроструктурным изменениям. В этой связи перспективным выглядит проведение восстановительного ремонта в среде защитных газов, ранее не нашедшее применения для восстановительного ремонта замковых соединений. Применение газовой атмосферы позволяет в принципе уйти от проблемы удаления грата.

При использовании керамических флюсов проблемы с удалением шлаковой корки отсутствуют. Легирующий порошок интенсивно расплавляется в дуге и растворяется в сварочной ванне, что обуславливает его высокую модифицирующую способность, и, вместе с тем, повышенную твердость наплавленного слоя [4]. Как

следствие повышенной твердости становится затруднительной дальнейшая механическая обработка. Кроме того, в поверхностных слоях появляются остаточные растягивающие напряжения, нередко вызывающие растрескивание наплавки в процессе остывания.

Ситуацию усугубляет отсутствие разрушающего контроля замковых соединений после восстановительного ремонта. Контроль ограничен замером твердости и дефектоскопией. При этом результаты такого контроля не позволяют получить полной информации об уровне механических свойств, которым должен обладать замок, так как твердость металла основы будет значительно отличаться от твердости металла наплавки. Материаловедческих исследований в данном направлении ранее не производилось, в связи с чем задача подбора защитной среды, в

частности флюса, для проведения наплавки является актуальной и требующей решения.

**Методология.** Для исследований влияния состава защитной среды наплавки на комплекс физико-механических свойств и микроструктурное состояние были отобраны пять ниппельных фрагментов замковых соединений буровых труб группы прочности “Д”, изготовленных в соответствии с ГОСТ 27834-95 из стали 40ХМФА. На каждом объекте было произведено по две опытных наплавки. Наплавка производилась в условиях центра по ремонту буровых труб (далее ЦРБТ), наплавочной проволокой Нп-30ХГСА [5] с использованием плавного флюса 48ОФ-10 [6] и керамического флюса ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) [7] по отдельности и в виде механической смеси в различных соотношениях, а также в газовой среде. Внешний вид объектов исследования представлен на рисунке 1.

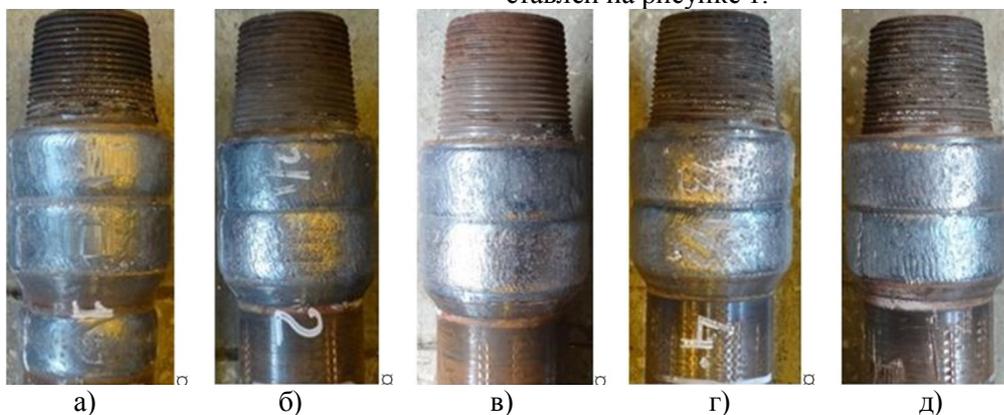


Рис. 1. Образцы, восстановленные в различных защитных средах

В таблице 1 представлены характеристики тестируемых защитных сред и их условная маркировка.

Таблица 1

#### Экспериментальные защитные среды

№ п/п	Рисунок №	Состав защитной среды	Условная маркировка
1	1 (а)	плавный флюс 48ОФ-10	Б
2		флюсы 48ОФ-10 и ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) в соотношении 4:1	Б4/С1
3	1 (б)	флюсы 48ОФ-10 и ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) в соотношении 3:1	Б3/С1
4		флюсы 48ОФ-10 и ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) в соотношении 2:1	Б2/С1
5	1 (в)	флюсы 48ОФ-10 и ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) в соотношении 1:1	Б1/С1
6		флюсы 48ОФ-10 и ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) в соотношении 1:2	Б1/С2
7	1 (г)	флюсы 48ОФ-10 и ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) в соотношении 1:3	Б1/С3
8		флюсы 48ОФ-10 и ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) в соотношении 1:4	Б1/С4
9	1 (д)	керамический флюс ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б)	С
10		углекислый газ	УГ

Осмотр внешней и внутренней поверхностей образца на наличие поверхностных дефектов проводили визуально. Определение геометрических параметров проводили с помощью универсальных измерительных приборов, обеспечивающих необходимую точность измерений. Химический состав стали определяли спек-

тральным методом [8] с помощью эмиссионного спектрометра СПАС 02. Испытания на одноосное растяжение [9] проводились на разрывной машине Р10М-авто. Испытания на ударную вязкость [10] проводились на маятниковом копре МК-30. Замер твердости [11] проводился на твердометре ТШ-2М. Оценка микроструктурного

состояния проводилась на продольных микрошлифах [12] после травления 3% раствором азотной кислоты в спирте на инвертированных микроскопах Leitz Wetzlar MM6 и Carl Zeiss Vert A1, а также с использованием электронного микроскопа Jeol Superprobe 733.

**Основная часть.** Перед проведением опытных наплавки было проведено исследование химического состава объектов исследования. Было установлено, что металл всех образцов соответствует стали марки 40ХМФА, т.е. исследуемые замки соответствуют требованиям в части ремонтпригодности [13]. Результаты анализа технологичности процесса наплавки приведены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 видно, что повышение концентрации в смеси керамического флюса ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) сопровождается значительным ростом твёрдости поверхностного слоя металла наплавки. Наилучшие показатели в части обеспечения процесса нанесения наплавки были получены при использовании смеси флюсов

48ОФ-10 и ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) в соотношениях 1:1 и 1:2. При использовании в качестве защитной среды углекислого газа необходимость в удалении шлаковой корки отпадает, однако процесс наплавки сопровождается интенсивным разбрызгиванием металла, что затрудняет его осуществление. Результаты проведения химического анализа металла наплавки приведены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 видно, что наибольшее содержание углерода в наплавке - 0,39 %, даёт использование керамического флюса ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б). Этим и объясняется рост поверхностной твёрдости наплавленного слоя с повышением концентрации данного флюса в смеси. Одновременно с углеродом в наплавке повышается содержание и других элементов марочного состава, что должно отразиться в изменении механических свойств. Результаты определения механических характеристик металла исследуемых образцов представлены в таблице 4.

Таблица 2

#### Оценка технологичности процесса наплавки

№ п/п	Защитная среда	Твёрдость наплавки, НВ	Выявленные замечания
1	Б	252	Шлаковая корка удаляется не полностью и только после застывания. Твёрдость наплавки ниже регламентируемой
2	Б4/С1	263	
3	Б3/С1	270	Шлаковая корка сложно удаляется в процессе наплавки. Твёрдость наплавки значительно ниже регламентируемой
4	Б2/С1	282	
5	Б1/С1	298	Шлаковая корка легко удаляется. Твёрдость наплавки на нижнем регламентируемом уровне
6	Б1/С2	300	
7	Б1/С3	383	Шлаковая корка не нуждается в принудительном удалении (отваливается сама). Наплавленный слой имеет поверхностную твёрдость выше регламентируемой, обработка затруднительна
8	Б1/С4	395	
9	С	405	
10	УГ	295	Сильное разбрызгивание металла в процессе наплавки. Твёрдость наплавки ниже регламентируемого уровня

Таблица 3

#### Химический состав металла наплавки исследуемых образцов

№ п/п	Защитная среда	Содержание элементов, %									
		С	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cu	S	P
1	Б	0,34	0,67	0,50	0,56	0,02	0,01	0,28	0,18	0,020	0,017
2	Б4/С1	0,34	0,73	0,55	0,67	0,02	0,01	0,65	0,12	0,020	0,010
3	Б3/С1	0,31	0,74	0,54	0,77	0,02	0,01	0,75	0,11	0,010	0,010
4	Б2/С1	0,34	0,77	0,56	0,79	0,03	0,01	0,79	0,13	0,010	0,010
5	Б1/С1	0,32	0,78	0,58	0,80	0,03	0,01	0,80	0,13	0,010	0,010
6	Б1/С2	0,33	0,84	0,56	0,80	0,03	0,01	0,78	0,12	0,020	0,010
7	Б1/С3	0,32	0,86	0,58	0,85	0,06	0,01	0,85	0,12	0,010	0,010
8	Б1/С4	0,32	0,90	0,70	0,89	0,10	0,02	0,91	0,10	0,010	0,020
9	С	0,39	0,99	0,60	0,90	0,13	0,02	1,81	0,13	0,010	0,010
10	УГ	0,29	0,95	1,10	0,79	0,00	0,00	0,21	0,05	0,007	0,005
Сталь 30ХГСА		0,28 – 0,34	0,8 – 1,10	0,90 – 1,20	0,80 – 1,10	-	-	<0,30	<0,025		

Данные таблицы 4 показывают, что с увеличением доли флюса С временное сопротивление постоянно растёт, достигая значения 961

МПа, предел текучести сначала возрастает до 754 МПа (вариант 6), а затем снижается. Аналогично пределу текучести меняется относитель-

ное удлинение и ударная вязкость. Наилучшее сочетание характеристик прочности, пластичности и вязкости с требуемой по ГОСТ твердостью (на нижнем уровне) были достигнуто у образца с маркировкой Б1/С1, восстановленного под смесью флюсов ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) и 48 ОФ-10 в соотношении 1:1. Однако ни один из флюсов не обеспечил требуемые для изделия по ГОСТ 27834-95 механические свойства.

Следует отметить, что после проведения ремонта в условиях ЦРБТ регламентируется и контролируется только твердость наплавленного слоя. Как показали исследования, контролируемая твердость поверхности наплавленного слоя не

отражает фактических значений по сечению стенки замкового соединения. Согласно полученным данным, шесть образцов восстановленных замковых соединений могут пройти контроль в условиях центров по ремонту бурильных труб и быть допущены к эксплуатации. При этом твердость основного металла на значительно ниже (на 20-150 НВ) контролируемой твердости поверхности. Также более низким является уровень механических свойств основы замка (см. таблицу 4). Результаты анализа структурных параметров и загрязненности металла объектов исследования неметаллическим включениями представлены в таблице 5.

Таблица 4

#### Механические характеристики металла образцов, восстановленных наплавкой в различных защитных средах

№ п/п	Защитная среда	Испытания на одноосное растяжение			Испытания на ударный изгиб, кДж/м <sup>2</sup> , КСV	Твердость, НВ	
		$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	$\delta$ , %		Тело замка	Поверхность наплавки
1	Б	830	671	21	378	256	252
2	Б4/С1	839	682	21	420	245	263
3	Б3/С1	892	718	19	491	246	270
4	Б2/С1	899	642	18	559	246	282
5	Б1/С1	905	734	16	738	271	298
6	Б1/С2	919	754	14	674	260	300
7	Б1/С3	927	688	14	543	262	383
8	Б1/С4	927	667	12	454	265	395
9	С	961	733	11	330	272	405
10	УГ	848	651	20	417	277	295
ГОСТ 27834-95		≥981	≥832	≥13	≥589	300-355	

Таблица 5

#### Металлографический анализ исследуемых образцов

№ п/п	Защитная среда	Оксиды точечные, балл	Оксиды строчечные, балл	Сульфиды, балл	Микроструктура
1	Б	4.	3	5	Литая дендритная структура
2	Б4/С1	4.	3	5	Литая дендритная структура
3	Б3/С1	3	3	4	Сорбит, феррит и перлит
4	Б2/С1	3	2	2	Сорбит, феррит и перлит
5	Б1/С1	3	1	2	Сорбит и бейнит
6	Б1/С2	2	1	2	Сорбит и бейнит
7	Б1/С3	2	1	3	Сорбит и бейнит
8	Б1/С4	2	1	2	Бейнит и сорбит
9	С	2	1	2	Бейнит и сорбит
10	УГ	1	2	1	Сорбит, феррит и перлит

Из таблицы 5 видно, что металл всех объектов исследования загрязнен неметаллическими включениями, причём степень загрязнённости повышается с увеличением количества плавляемого флюса 48-ОФ-10 в смеси. Наилучшие показатели в части чистоты металла наплавки были зафиксированы в образце, восстановленном в газовой защитной среде.

Микроструктура всех объектов исследования состоит преимущественно из сорбита с отдельными участками бейнита, феррита и пластинчатого перлита. Микроструктура наплавки, состоящая из сорбита и нижнего бейнита, наиболее приближенная к исходной микроструктуре металла замка была обнаружена в образце с маркировкой Б1/С1. Образец с маркировкой Б имеет литую микроструктуру наплавки

с ярко выраженным дендритным строением, образец с маркировкой С имеет микроструктуру нижнего бейнита и сорбита. Образец с маркировкой УГ имеет микроструктуру сорбита, бейнита и перлита и отличается высокой пористостью. Фотографии описываемых микроструктур представлены на рисунке 2.

**Выводы.** По совокупности исследованных характеристик с учетом условий и предложенной толщины наплавленного слоя, составляющей 9-10 мм, было установлено, что наилучшие результаты показал образец наплавки с марки-

ровкой Б1/С1, восстановленный под смесь керамического флюса ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) и флюса 48 ОФ-10 в соотношении 1:1. Предложенный состав обеспечивает требуемую технологичность процесса наплавки в отношении обеспечения надёжной защиты от окисления и подстуживания, а также своевременного удаления в процессе восстановления. При этом обеспечивается микроструктурное состояние наплавленного металла, наиболее приближенное к исходной микроструктуре замкового соединения в заводском исполнении.

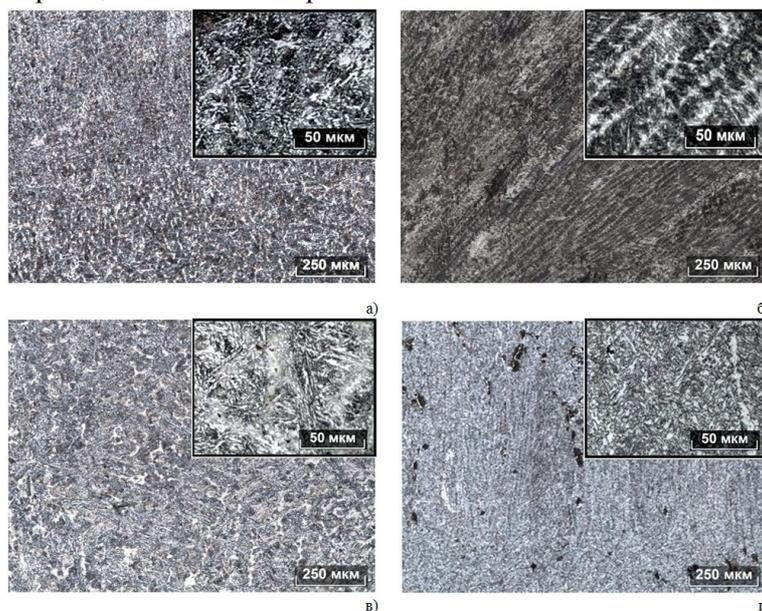


Рис. 2. Микроструктура наплавки образцов с различной маркировкой: (а) - Б1/С1; (б) - Б; (в) - С; (г) – УГ

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ № 97119541/02, Способ ремонта поверхности // Патент России № 2125508. 1999. Бюл.№ 23 Галеев Р.Г., Тахаутдинов ш.ф., Загиров М.М., Калачев И.Ф. [и др.].
2. Технологический процесс капитального ремонта методом восстановления наплавкой под флюсом с удлинением замков на комплексе АКНЗБТ2-1200 УХЛ 4 трубы бурильной ПН-127-9-147.
3. Михеев Д.А. Подбор защитной атмосферы при восстановлении замковых соединений бурильных труб // Сборник научных статей IV-ой Международной научно-практической конференции 17-18 октября 2014 года «Перспективное развитие науки, техники, технологий», Курск, 2014. С. 226–230.
4. Михеев Д.А., Амосов А.П. Исследование аварийных муфт замков бурильных труб, восстановленных наплавкой // Материалы Всерос-

- сийской научно – технической интернет – конференции 25–28 октября 2016 г. «Высокие технологии в машиностроении». Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. 262 с.
5. ГОСТ 10543-82 Проволока стальная наплавочная. Технические условия.
6. ОСТ 5 Р. 9206-75. Флюсы плавные.
7. ТУ 1718-051-11142306-2007. Флюсы керамические.
8. ГОСТ 18895-97. Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа.
9. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.
10. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.
11. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.
12. ГОСТ 8233-56. Сталь. Эталоны микроструктуры.

*Информация об авторах*

**Пугачёва Татьяна Михайловна**, кандидат технических наук, доцент кафедры металловедения, порошковой металлургии, наноматериалов.

E-mail: t.pugacheva15@yandex.ru

Самарский государственный технический университет.

Россия, 443100, Самара, Молодогвардейская, 244.

**Михеев Дмитрий Алексеевич**, аспирант кафедры металловедения, порошковой металлургии, наноматериалов.

E-mail: mdasyz@yandex.ru

Самарский государственный технический университет.

Россия, 443100, Самара, Молодогвардейская, 244.

---

*Поступила в феврале 2018 г.*

© Пугачева Т.М., Михеев Д.А., 2018

---

**T.M. Pugacheva, D.A. Mikheev**

**MATERIALS SCIENCE RESEARCH OF TOOL JOINTS OF DRILL PIPES WELDED  
BY DIFFERENT FLUXES**

*The article contains the results of comparative analysis of chemical composition, microstructure and properties of welded metal and base metal after welding repair using different fluxes. The following process technological parameters were considered: oxidation resistance, lack of cooling down, slag removability.*

*Protective environment composition influence of welding on a properties complex and microstructure was carried out on five samples of tool joint nipples made of 40KhMFA steel. Two experimental welding were carried out at each site. Welding was carried out on a pipe base wire Np-30KhGSA. Fused and ceramic fluxes were used separately and as a mechanical mixture in various ratios. Also surfacing was carried out in the environment of protective gase.*

*It has been established that welding in a gas environment is accompanied by spattering of the metal. The microstructure of such a resurface welding is porous and consists of sorbite, bainite and perlite. Conducting welding under a mixture of fluxes in various ratios made it possible to establish a number of regularities. Increasing the proportion of ceramic flux leads to increased doping and increase in hardness of resurface welding. In this case, the microstructure of the welding consists of lower bainite and sorbite. An increase in the content of the flux fused leads to an increase in the pollution of the welding with inclusions. In this case, the microstructure of the welding is rough and has a dendritic structure. The best quality of welding is provided by using a composition consisting of a fused and ceramic flux in a ratio of 1: 1. At the same time, the resulting microstructure of welding is closest to the initial microstructure of the tool joint in the state of delivery.*

**Keywords:** tool joint, drill pipe, welded, chemical composition, microstructure, properties, flux.

---

*Information about the author*

**Tatyana M. Pugacheva**, PhD, Assistant professor.

E-mail: t.pugacheva15@yandex.ru

Samara State Technical University.

Russia, 443100, Samara Molodogvardeyskaya st., 244.

**Dmitry A. Mikheev**, Postgraduate student.

E-mail: mdasyz@yandex.ru

Samara State Technical University.

Russia, 443100, Samara Molodogvardeyskaya st., 244.

---

*Received in February 2018*