

Оптимизация режима предварительного подогрева при восстановлении замковых соединений бурильных труб методом наплавки

Д.А. Михеев

начальник центра прикладного материаловедения¹
vniitneft@yandex.ru

А.П. Амосов

д.ф.-м.н.²

¹ООО «Научно-исследовательский институт разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб», Самара, Россия

²Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Статья посвящена оптимизации технологии ремонта бурильных труб методом наплавки в отношении подбора режима предварительного подогрева. В работе проанализированы современные источники информации по подбору режима предварительного подогрева. Изучено микроструктурное состояние металла тела бурильного замка после восстановления, обозначены пути дальнейшего совершенствования технологии.

Материалы и методы

Исследованию подлежали замковые соединения бурильных труб после восстановления, их химический состав. Для анализа использовались отраслевые стандарты. Также в работе применялись: оптический микроскоп «Leitz» ММ6, микрорентгеноспектральный анализатор «Jeol» Superprobe 733, атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой PMI Master.

Ключевые слова

замковое соединение, бурильная труба, наплавка, предварительный подогрев

Оценивая статистические данные, можно сделать вывод, что более 60% бурильных труб отбраковываются по причине износа замкового соединения по наружному диаметру вследствие абразивного износа в процессе эксплуатации [1]. Учитывая высокую стоимость бурильных труб, а также тот факт, что, зачастую, отбраковка по наружному диаметру замка вовсе не означает непригодность 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 бурильных труб методом наплавки.

Важным фактором, обеспечивающим свойства ремонтного изделия после восстановления, является температурный режим наплавки и используемое технологическое оборудование. Правильный выбор установки для нанесения наплавки позволит свести к минимуму последующую механическую обработку наплавленных изделий, что приведёт к снижению стоимости продукта.

Одной из серьёзных проблем на данный момент является отсутствие мероприятий по обеспечению должного технологического уровня контроля качества нанесения наплавки для предотвращения усталостного разрушения, растрескивания, температурных деформаций [2].

Замки бурильных труб, бывшие в эксплуатации, сохраняют значительные внутренние напряжения. Если в процессе восстановления к ним добавляются температурные напряжения, изделие может выйти из строя. Данное явление называется усталостным разрушением. Оно может произойти вблизи

места наплавки, либо на наиболее слабых участках конструкции изделия.

Усталостное разрушение можно предотвратить следующими мероприятиями.

1. Медленно проводить предварительный подогрев до высших значений температурного диапазона, рекомендованных для данного типа металла основы. Нагрев по возможности вести так, чтобы изделие равномерно прогрелось по всему объёму.
2. Проводить наплавку строго по режиму, не допуская остановок.
3. Изделие после наплавки должно охлаждаться медленно и равномерно. Для этого его нужно закрыть теплоизолирующим материалом или охладить в печи.

Изделия, склонные к трещинообразованию, могут образовывать внутренние трещины, распространяющиеся в наплавленный металл из-за расширения металла при нагреве и сжатия при охлаждении [3]. Эти напряжения и их влияние на изделие неравномерны по силе и направлению. Предварительная достройка относительно мягким металлом и правильный подогрев перед наплавкой предотвращают это явление.

Серьёзной проблемой при контроле качества наплавки является отсутствие контроля качества металлографических параметров микроструктуры. Разница в микроструктурном состоянии приводит к росту градиента напряжений в зоне термического влияния, и, как следствие, к растрескиванию наплавленного слоя [4].

Целью настоящей работы является продолжение оптимизация технологического процесса восстановления замковых

Содержание элементов в стали 30ХГСА, %

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
0,28–0,34	0,8–1,1	0,9–1,2	до 0,025	до 0,025	0,8–1,1	до 0,3	до 0,3

Таб. 1 — Химический состав металла проволоки

№ п/п	Объект	Содержание элементов, %									
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	V
1	M _к	0,40	0,56	0,25	0,012	0,014	1,02	0,13	0,14	0,23	0,15
2	H _к	0,39	0,54	0,28	0,008	0,010	1,03	0,12	0,15	0,20	0,10
3	ПП 250 M _р	0,40	0,52	0,22	0,010	0,012	0,99	0,02	0,05	0,18	0,01
4	ПП 250 H _р	0,38	0,60	0,28	0,009	0,006	0,97	0,07	0,10	0,20	0,02
5	ПП 250 M _и	0,39	0,61	0,27	0,009	0,010	0,98	0,12	0,12	0,21	0,11
6	ПП 250 H _и	0,38	0,58	0,24	0,012	0,012	1,05	0,11	0,14	0,23	0,12
40ХМФА (ГОСТ 4543–71)		0,37–0,44	0,40–0,70	0,17–0,37	<0,025		0,80–1,10	<0,30		0,20–0,30	0,10–0,18

Таб. 2 — Химический состав металла исследуемых замковых соединений бурильных труб

соединений бурильных труб методом наплавки. Этап 1 — подбор оптимальной защитной среды был произведён в работе [5]. Этап 2 настоящей работы посвящён подбору температурного режима предварительного подогрева непосредственно перед восстановлением замковых соединений бурильных труб.

Применение предварительного подогрева изделий перед восстановлением методом наплавки преследует ряд целей:

- 1) снижение скорости остывания наплавленного и основного металла позволяет увеличить долю вязкой составляющей с большей устойчивостью к образованию трещин;
- 2) меньшая скорость охлаждения позволяет диффузионному водороду безопасно рассеяться без риска образования трещин;
- 3) снижение усадочных напряжений шва и прилегающего металла основы, что особенно важно для соединений под высоким напряжением;
- 4) повышение температуры стали перед наплавкой значительно снижает риск охрупчивания после восстановления вследствие уменьшения температурных полей, вызывающих внутренние напряжения.

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) [6].

Температура предварительного подогрева более точно рассчитывается по углеродному эквиваленту. В данном случае это углеродный эквивалент стали наплавочной проволоки 30ХГСА.

Кроме того, отечественные РД дают рекомендации по предварительной прокатке флюса перед работой при 350°C [7].

Химический состав проволоки из стали 30ХГСА представлен в таб. 1.

Пересчёт эквивалентного содержания углерода производился по формуле (1):

$$\%C_{\text{эKB}} = \%C + \%Mn/6 + (\%Cr + \%Mo + \%V) / 5 + (\%Ni + \%Cu) / 15 \quad (1)$$

$$1) \%C_{\text{эKB}} = 0,28 + 0,8/6 + 0,8/5 = 0,56$$

$$2) \%C_{\text{эKB}} = 0,34 + 1,1/6 + 1,1/5 + (0,3 + 0,3)/15 = 0,78$$

Таким образом, $\%C_{\text{эKB}} = 0,56 - 0,78$

В соответствии с [8], данному углеродному эквиваленту соответствует температура предварительного подогрева 250°C для изделий с толщиной стенки 20–60 мм.

Ремонтопригодность исследуемых образцов проверялась по соответствию химического состава требованиям ТУ на ремонт замковых соединений бурильных труб.

Результаты химического анализа металла приведены в таб. 2.

По химическому составу металл всех образцов соответствует стали марки 40ХМФА, т.е. исследуемые замки соответствуют требованиям ТУ в части ремонтпригодности.

Подогрев изделий проводился двумя способами — при помощи ручной газовой горелки и при помощи индуктора. Внешний вид объектов исследования после восстановления без применения предварительного подогрева, а также с предварительным подогревом до 250°C газовой горелкой и индуктором представлен на рис. 1.

Результаты определения механических характеристик металла муфты представлены в таб. 3.

По результатам механических испытаний было установлено положительное влияние

предварительного подогрева на свойства всех исследуемых образцов.

Следует отметить, что в условиях ЦРБТ контролируется только твёрдость наплавленного слоя. Согласно полученным данным, все образцы, в условиях ЦРБТ, могут пройти контроль и быть допущены к эксплуатации.

В то же время следует учесть, что 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. При этом одна часть металла нагревалась, а другая часть (уже нагретого металла) в это время остывала. Для снижения градиента температур для нагрева образцов ПП 250 М_и и ПП 250 Н_и вместо горелки 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 неё отдельного температурно-временного режима нагрева. Следует понимать, что данное мероприятие может заметно снизить производительность ремонта в связи с необходимостью переналадки оборудования под конкретное изделие.

№ п/п	Объект	Испытания на одноосное растяжение			Испытания на ударный изгиб КСУ, кДж/м ²	Твёрдость, НВ
		σ _в , МПа	σ _т , МПа	δ, %		
1	М _к	925	682	14,8	1118	305
2	Н _к	931	798	16,5	865	320
3	ПП 250 М _р	878	725	14,5	482	295
4	ПП 250 Н _р	888	738	15,7	425	288
5	ПП 250 М _и	946	820	14,9	634	325
6	ПП 250 Н _и	995	883	17,9	715	315
ТУ 1324-002-96380705-2008		≥981	≥832	≥13	≥589	285–355

Таб. 3 — Механические характеристики замковых соединений бурильных труб после восстановления



Рис. 1 — Внешний вид объектов исследования, восстановленных при различных темпах предварительного подогрева (ПП): а) Муфта без ПП; б) Ниппель без ПП; в) Муфта ПП 250°C; г) Ниппель ПП 250°C; д) Муфта ПП 250°C индуктор; е) Ниппель ПП 250°C индуктор

Для того, чтобы нивелировать влияние толщины основного металла на результат восстановления бурильного замка, необходимо ограничение толщины одновременно наплавляемого слоя до значения, позволяющего максимально производительно и, в то же время, без риска перегрева производить его восстановление.

Для определения количества нанесённых в ходе восстановления слоёв и их толщины, а также металлографических параметров, были изготовлены микрошлифы.

Результаты анализа структурных параметров и загрязнённости металла исследуемых муфты и ниппеля неметаллическим включениями представлены в таб. 4.

Размер зерна всех образцов меняется в зависимости от толщины наплавки. Следует отметить более мелкое зерно в области наплавки.

Структурная полосчатость по сечению стенки в образцах ПП 250 $M_{и}$ и ПП 250 $H_{и}$ практически отсутствует. Загрязнённость металла неметаллическими включениями всех образцов незначительна, что говорит о высоком качестве исходного материала, а также о строгом соблюдении технологии восстановления.

Микроструктура объектов исследования представлена на рисунках 2–4. Во всех случаях толщина одного слоя составляет не менее 4–5 мм.

Металл области наплавки образцов $M_{к}$ и $H_{к}$ характеризуется неоднородной феррито-перлитной структурой с участками неполной перекристаллизации сорбитообразного перлита.

Металл ЗТВ образцов $M_{к}$ и $H_{к}$ неоднородный. По мере удаления от наплавки наблюдается постепенное изменение микроструктуры с сорбита на феррито-перлит, что

свидетельствует о неравномерном тепловом воздействии в процессе нанесения наплавки.

Микроструктура основного металла образцов $M_{к}$ и $H_{к}$ характеризуется однородной по сечению, мелкозернистой структурой феррито-перлита.

Металл наплавки образцов ПП 250 $M_{р}$ и ПП 250 $H_{р}$ характеризуется неоднородной феррито-перлитной структурой с участками неполной перекристаллизации сорбитообразного перлита.

Микроструктура ЗТВ образцов ПП 250 $M_{р}$ и ПП 250 $H_{р}$ характеризуется неоднородной по сечению, мелкозернистой структурой сорбита отпуска с феррито-перлитными участками.

Микроструктура основного металла образцов ПП 250 $M_{о}$ и ПП 250 $H_{о}$ характеризуется неоднородной по сечению мелкозернистой структурой, образованной

№ п/п	Маркировка	Сульфиды		Оксиды точечные		Оксиды строчечные		Структурная полосчатость	Балл зерна
		макс	средн	макс	средн	макс	средн		
1	$M_{к}$ металл основы	-	-	2,5	2,0	1,0	0,5	2,0	4
2	$M_{к}$ металл наплавки	-	-	1,5	1,5	1,0	0,5	2,0	5
3	$H_{к}$ металл основы	-	-	1,5	0,5	1,0	0,5	2,0	5
4	$H_{к}$ металл наплавки	-	-	1,5	0,5	1,0	0,5	2,0	6
5	ПП 250 $M_{р}$ металл основы	-	-	1,5	0,5	1,0	0,5	2,0	6
6	ПП 250 $M_{р}$ металл наплавки	-	-	1,5	0,5	1,0	0,5	2,5	7
7	ПП 250 $H_{р}$ металл основы	-	-	2,5	0,5	1,0	0,5	1,0	6
8	ПП 250 $H_{р}$ металл наплавки	-	-	1,5	0,5	1,0	0,5	3,0	7
9	ПП 250 $M_{и}$ металл основы	-	-	1,5	0,5	1,0	0,5	1,5	7
10	ПП 250 $M_{и}$ металл наплавки	-	-	1,5	0,5	1,0	0,5	1,5	8
11	ПП 250 $H_{и}$ металл основы	-	-	2,5	0,5	1,0	0,5	1,5	7
12	ПП 250 $H_{и}$ металл наплавки	-	-	1,5	0,5	1,0	0,5	1,5	8

Таб. 4 — Металлографический анализ материала замковых соединений бурильных труб после восстановления

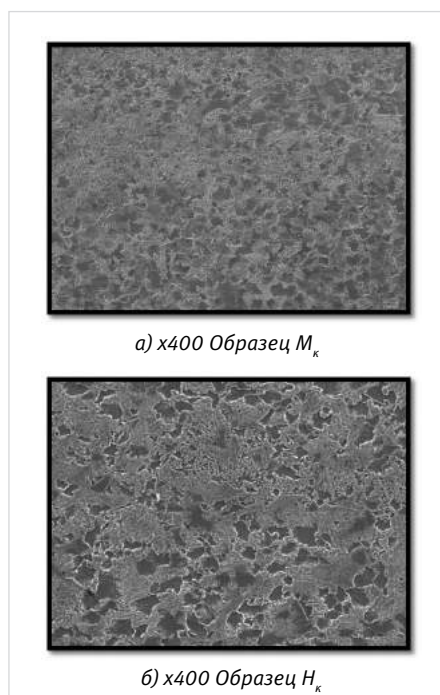


Рис. 2 — Микроструктурное состояние наплавки объектов исследования $M_{к}$ и $H_{к}$

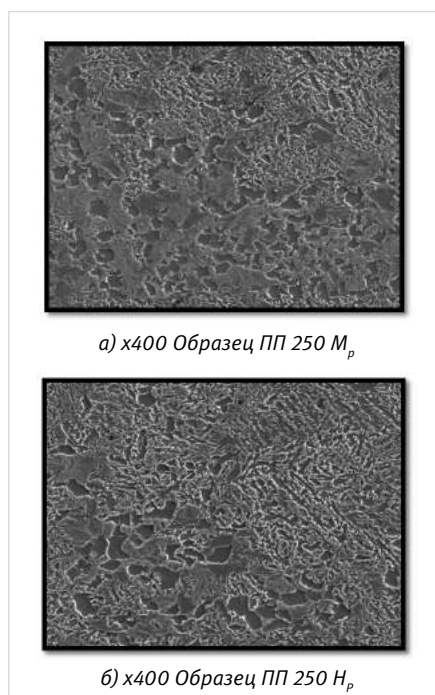


Рис. 3 — Микроструктурное состояние наплавки объектов исследования ПП 250 $M_{р}$ и ПП 250 $H_{р}$

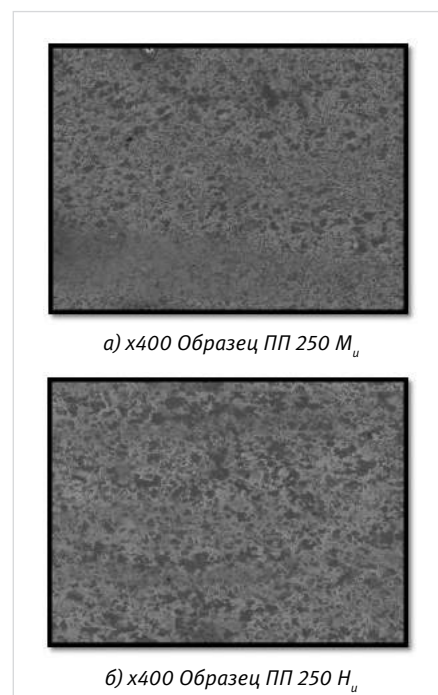


Рис. 4 — Микроструктурное состояние наплавки объектов исследования ПП 250 $M_{у}$ и ПП 250 $H_{у}$

феррито-перлитом с участками неполной перекристаллизации — сорбитом.

Микроструктура наплавки образцов ПП 250 М_n и ПП 250 Н_n характеризуется однородной по сечению, мелкозернистой структурой сорбита с ориентировкой мартенсита;

Микроструктура ЗТВ образцов ПП 250 М_n и ПП 250 Н_n характеризуется неоднородной по сечению, мелкозернистой структурой сорбита отпуска с феррито-перлитными участками.

Микроструктура основного металла образцов ПП 250 М_n и ПП 250 Н_n характеризуется однородной по сечению, мелкозернистой структурой феррито-перлита.

Итоги

Режимы и технология нанесения наплавки должны проводиться из условия обеспечения минимальной глубины проплавления основного металла, что достигается уменьшением толщины одновременно наплавляемого слоя до значения, позволяющего максимально производительно и, в то же время, без риска для качества ремонтного изделия

производить его восстановление. Подбор оптимальной толщины одновременно наплавляемого слоя является целью дальнейшего исследования.

Выводы

По результатам исследования наплавленных образцов установлено положительное влияние предварительного подогрева металла замковых частей перед нанесением наплавки.

По совокупности исследованных характеристик, оптимальным следует признать режим предварительного подогрева в индукторе при температуре 250°C и прокалкой флюса при 350°C.

Список используемой литературы

1. Глазов В.В. Работинский Д.Н. Дьяков А.Н. Восстановительная наплавка замков буровых труб // Бурение и нефть. 2013, №4. С. 53–54.
2. Шоев А.Н. Научно-технические технологии нанесения покрытий // Научно-технические технологии в машиностроении. 2012. №11.

3. Чебан В.А. Сварочные работы. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. 412 с.
4. Grum J. J., Slabe J.M. A Comparison of tool-repair methods using CO₂ laser and arc surfacing surfacing. Applied Surface Science, Vol. 208–209, 2003, pp. 424–431.
5. Амосов А.П., Михеев Д.А. Оптимизация восстановления замковых соединений буровых труб методом наплавки // Научно-технические технологии в машиностроении. 2015. №1.
6. Structural Welding Code: Steel (AWS D1.1-96). The American Welding Society, 1996, 480 p.
7. РД 39-2-930-83 Типовые технологические инструкции по подготовке к эксплуатации и ремонту буровых труб в цехах центральных трубных баз производственных объединений Миннефтепрома.
8. Что такое предварительный подогрев? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lincolnelectric.com/ru-ru/support/process-and-theory/Pages/preheat-detail.aspx> (дата обращения 18.06.2015).

ENGLISH

DRILLING

Optimization of preheating mode when restoring interlocks of drill pipe by welding

UDC 621.643

Author:

Dmitry A. Mikheev — head of department¹; vnitneft@yandex.ru

Alexandr P. Amosov — Sc.D.²

¹“Institute for development and operation of oilfield pipes” LLC, Samara, Russia

²Samara State Technical University, Samara, Russia

Abstract

The article is devoted to the optimization of technology of drill pipe repair by welding in respect of selection mode preheating. The paper analyzes modern sources of information on the selection mode preheating. The microstructural state of the metal body of the castle drill after the restoration was studied; the ways of further improving the technology were planned.

Materials and methods

Research subject of drill pipe tool joints after recovery, its chemical composition. Industrial standards were used to analysis.

Also were used an optical microscope «Leitz» MM6, microprobe analyzer «Jeol» Superprobe 733, and atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma PMI Master.

Results

Welding technology should be conducted to ensure the minimum depth of welding of the base metal. It could be accomplished if the thickness of welding metal was decreased to point that provides a proper repair and the risk free quality of such repair. Identification of the optimum thickness of a weld

metal is the goal of the further study.

Conclusions

The surfacing samples study revealed the positive impact of preheating metal parts of the castle before applying surfacing. According to the combination of the studied characteristics as the best mode should be recognized the preheating in the inductor at a temperature of 250°C and calcination of flux at 350°C.

Keywords

connect drilling, drill pipe, welding, pre-heating

References

1. Glazov V.V. Rabotinskiy D.N. D'yakov A.N. *Vosstanovitel'naya naplavka zamkov buril'nykh trub* [Restoration welding on tool joints of drill pipes] *Burenie i nef't'*, 2013, issue 4, pp. 53–54.
2. Shoev A.N. *Naukoemkie tekhnologii naneseniya pokrytiy* [High technology at coating application]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2012, issue 11.
3. Cheban V.A. *Svarochnye raboty* [Welding] Rostov-on-Don: *Feniks*, 2006, 412 p.
4. Grum J. J., Slabe J.M. A Comparison of tool-repair methods using CO₂ laser and arc surfacing surfacing. Applied Surface Science, Vol. 208–209, 2003, pp. 424–431.
5. Amosov A.P., Mikheev D.A. *Optimizatsiya vosstanovleniya zamkovykh soedineniy buril'nykh trub metodom naplavki* [Optimization of restoration interlocks drill pipe by welding]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2015, issue 1.
6. Structural Welding Code: Steel (AWS D1.1–96). The American Welding Society, 1996, 480 p.
7. Guidance Document 39-2-930-83 Standard technological instructions for preparation of operation and maintenance of drill pipes in the shops of the Central pipe production bases of the Ministry of oil industry associations.
8. *Chto takoe predvaritel'nyy podogrev?* [What is pre-heating?]. Available at: <http://www.lincolnelectric.com/ru-ru/support/process-and-theory/Pages/preheat-detail.aspx> (accessed 18 June 2015).