

УДК 620.1

## СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ПОСЛЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАПЛАВКОЙ

*Д.А. Михеев*

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

*Представлены результаты применения технологии ремонта бурильных труб методом наплавки. Произведен анализ требований к замковым соединениям после восстановления. Методом конечных элементов произведено моделирование напряженного состояния, аналитически обосновано проведение стендовых испытаний. Установлено, что разрушение испытательных образцов по области восстановления не происходило, что подтверждает целесообразность применения предложенной ранее технологии. Полученные в ходе стендовых испытаний сведения были использованы при разработке руководства по эксплуатации стальных бурильных труб с приваренными замками после ремонта в части восстановления замковых соединений методом наплавки.*

**Ключевые слова:** замковое соединение, бурильная труба, стендовые испытания, осевая нагрузка, усталость.

### **Введение**

В работах [1–3] были изучены варьируемые факторы, оказывающее влияние на качество восстановленных замковых соединений бурильных труб, а также подобран оптимальный технологический режим восстановления. В условиях центра по ремонту бурильных труб таковым является режим ремонта методом наплавки проволокой Нп-30ХГСА под слоем смеси флюсов ЭЛЗ-ФКН-1/55(Б) и 48 ОФ-10 в соотношении 1:1 после предварительного подогрева ремонтного изделия в индукторе до температуры 250 °С, а также предварительной прокалки флюса до 350 °С. Толщина одновременно наплавляемого слоя не должна превышать 3 мм. Соблюдение режима должно гарантировать качество ремонтного изделия.

С целью обеспечения эффективной эксплуатации восстановленных наплавкой замковых соединений бурильных труб была поставлена задача разработки нормативного документа, регламентирующего область применения и особенности работы с восстановленным бурильным инструментом, – руководства по эксплуатации. В этой связи весьма остро встал вопрос обоснованности требований к восстановленному инструменту, а именно: можно ли сравнить замковое соединение после ремонта с новым, каковы его ресурс и несущая способность. Одним из путей, позволяющих сделать соответствующие выводы, является проведение стендовых испытаний натуральных образцов замковых соединений после восстановления на осевую нагрузку и усталость. Для проведения испытаний были отобраны ниппельные и муфтовые концы с приваренными замками после восстановления наплавкой различных типоразмеров.

Целью испытаний является определение степени термического влияния наплавленного металла на возможное разупрочнение в зоне высадки и сварного шва по отношению к прочности металла основного тела трубы. Также исключительное значение имело определение области разрушения (по трубе или по восстановленному замковому соединению) при воздействии нагрузки, превышающей пределы прочности и выносливости, в случае испытаний на осевую нагрузку и на усталость соответственно.

### Объекты и методы исследований

Для испытаний на осевую нагрузку были отобраны три ниппельных конца (с приваренными замками ЗП 162-95-2) от бурильных труб ПК 127×9 мм группы прочности «Д» и три муфтовых конца (с приваренными замками ЗП 121-68) с идентификационными номерами 1М, 2М и 3М от бурильных труб ПН 89×9 мм группы прочности «Д». Подготовка образцов к испытаниям и сами испытания проводились в соответствии с разработанной ЗАО ВНИИТнефть «Программой и методикой проведения стендовых испытаний бурильных труб с приваренными замками после ремонта в части восстановления замковых деталей методом наплавки на растяжение». Испытание образцов на растяжение проводилось на универсальном стенде для испытания труб и спускоподъемного инструмента на растяжение и сжатие УС-600.

Для испытаний на усталость были отобраны семь образцов от бурильных труб ПК 127×9 мм группы прочности «Д» в виде компоновок ниппельного и муфтового конца, свинчиваемых в дальнейшем между собой в процессе испытаний. Испытаниям подвергались компоновки образцов со следующими идентификационными номерами: 1Н – 3М, 9Н – 10М, 13М – 14Н, 6М – 11Н, 16М – 12Н, 17М – 4Н, 19М – 14Н, в которых первым указывается испытываемый конец (Н – ниппельный, М – муфтовый). Подготовка образцов к испытаниям и сами испытания проводились в соответствии с разработанной ЗАО ВНИИТнефть «Программой и методикой проведения стендовых испытаний бурильных труб с приваренными замками после ремонта в части восстановления замковых деталей методом наплавки на знакопеременный изгиб». Испытание образцов проводилось на стенде для определения предела выносливости образцов бурильных труб при знакопеременном изгибе на стенде СТ-20. Внешний вид стендов представлен на рис. 1.



Рис. 1. Стенды: а – УС-600; б – СТ-20

### Результаты испытаний на осевую нагрузку

Результаты испытаний на растяжение бурильных труб ПК 127×9 приведены на рис. 2 и в табл. 1; бурильных труб ПН 89×9 – на рис. 3 и в табл. 2.

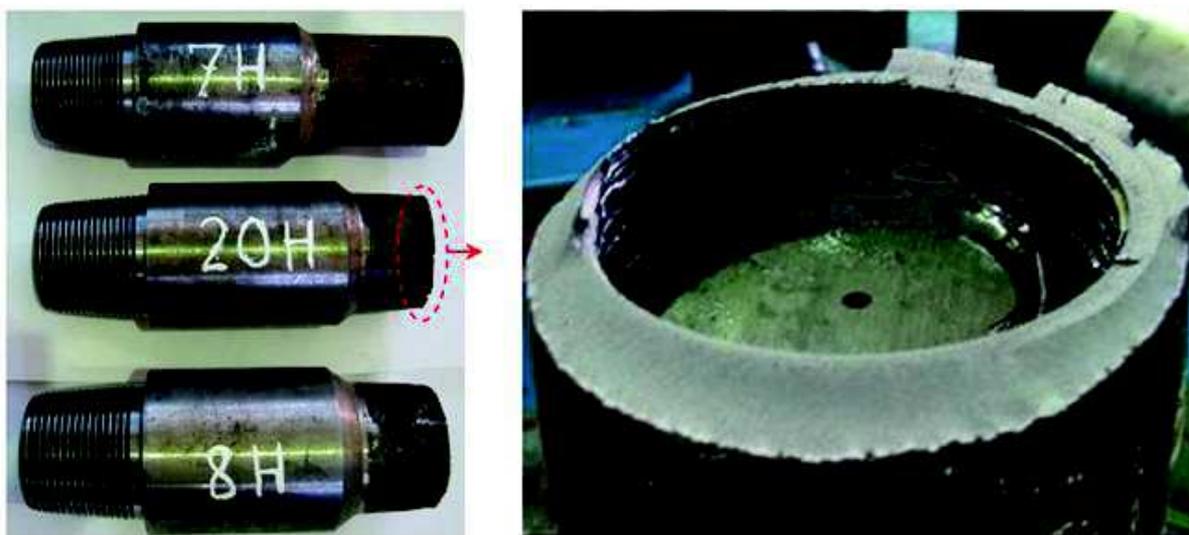


Рис. 2. Образцы труб ПК 127×9 после испытаний на растяжение и характерный вид слома

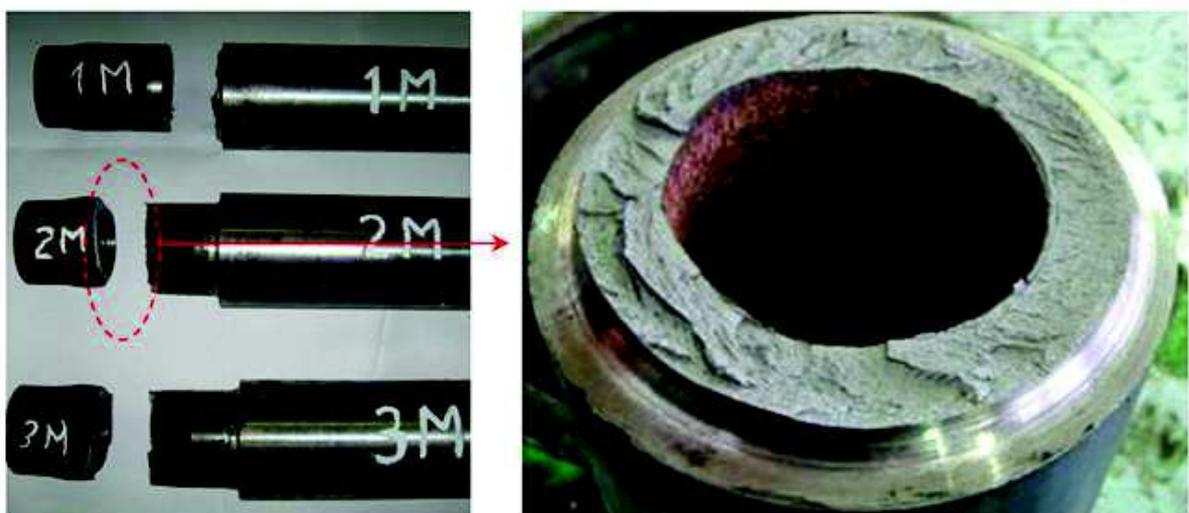


Рис. 3. Образцы труб ПН 89×9 после испытаний на растяжение и характерный вид слома

По результатам испытаний натуральных образцов на растяжение на испытательном стенде УС-600 было установлено, что все испытываемые образцы испытания выдержали.

Разрушений образцов от труб ПК 127×9 по зоне влияния наплавки не происходило. Первый образец разрушился при нагрузке  $P_3 = 298$  т, второй – 313 т, третий – 301 т.

Разрушений образцов от труб ПН 89×9 по зоне влияния наплавки не происходило. Первый образец разрушился при нагрузке 210 т, второй – 204 т, третий – 196 т.

**Экспериментальные и расчетные значения нагрузки растяжением образцов  
бурильных труб для достижения пределов текучести и прочности**

№ образца	Значения прочностных характеристик, т					Соблюдение критерия достаточности прочности для труб с приварными замками, $\sigma_{\text{т}}^{\text{тела}} \leq \sigma_{\text{т}}^{\text{с.ш.}}$
	Расчетные				Экспериментальные	
	Сварной шов		Тело трубы			
	Предел текучести $P(\sigma_{\text{т}})$	Предел прочности $P(\sigma_{\text{в}})$	Предел текучести $P(\sigma_{\text{т}})$	Предел прочности $P(\sigma_{\text{в}})$	Нагрузка разрушения образца на стенде, $P_{\text{э}}$ , т	
Значения прочностных характеристик образцов бурильных труб ПК 127×9 мм "Д"						
8Н	299,5	423,5	155,1	238,8	298	$155,1 \leq 299,5$
7Н	290,6	425,6	143,5	210,4	303	$143,5 \leq 290,6$
20Н	291,7	426,8	146,2	217,3	301	$146,2 \leq 291,7$
Значения прочностных характеристик образцов бурильных труб ПН 89×9 мм "Д"						
2М	145,8	265,8	89,6	167,5	210	$89,6 \leq 145,8$
1М	167,5	268,9	95,5	173,2	196	$95,5 \leq 167,5$
3М	194,2	273,8	107,5	178,1	204	$107,5 \leq 194,2$

### Результаты испытаний на усталость

Аналитическое обоснование проведения стендовых испытаний на усталость было выполнено методом конечных элементов по стандартной методике [4]. В конструкции испытательного образца выделяются два опасных сечения, по которым предположительно может произойти разрушение: ОС1 – расположено под корнем первого витка ниппеля, находящегося в зацеплении  $\varnothing 94,91 \times 14,905$ , ОС2 – расположено в точке перехода высадки трубы к регулярному телу трубы  $\varnothing 88,9 \times 13,65$ . Схема нагружения испытуемого образца представлена на рис. 4.



Рис. 4. Схема нагружения испытуемого образца

Предел текучести замка 828 МПа. Предел текучести трубы 931 МПа. Без учета предварительного нагружения сечения при силовой сборке получаем:

$$\sigma_{oc1} = 124,2 \text{ (МПа)}; \sigma_{oc2} = 139,7 \text{ (МПа)}.$$

Изгибающий момент для получения такого уровня напряжений:

$$M_{oc1} = 8117095 \text{ (Н·мм)}; M_{oc2} = 5904849 \text{ (Н·мм)}.$$

Необходимая величина поперечной силы:

$$P_{oc1} = 5300 \text{ (Н)}; P_{oc2} = 5235 \text{ (Н)}.$$

Для оценки влияния предварительного нагружения замка кручением, а также для определения фактической величины прогиба от рассчитанной величины нагрузки методом конечных элементов [5] был произведен расчет модели образца. Схема распределения напряжений представлена на рис. 5 (а–б).

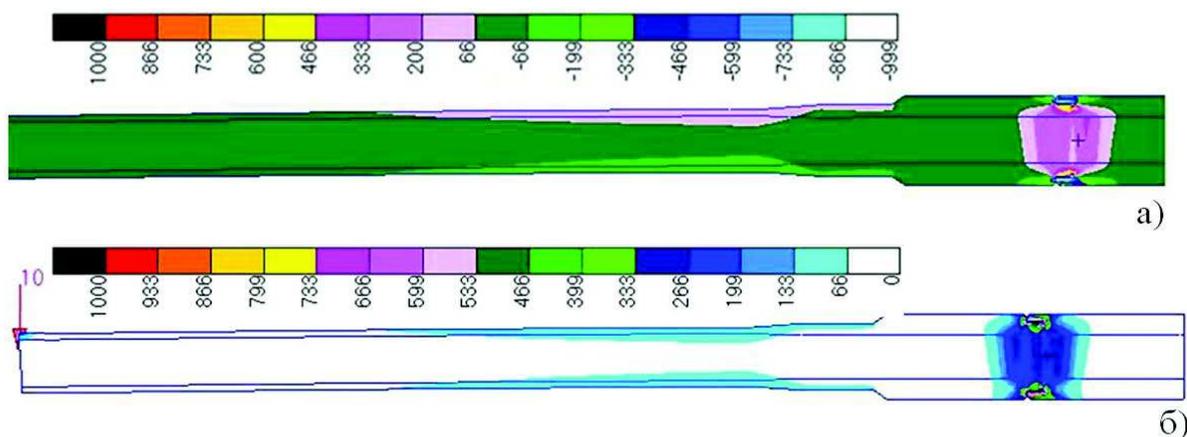


Рис. 5. Напряжения, МПа: а – осевые; б – эквивалентные

Схемы распределения осевых напряжений по внутреннему и наружному диаметрам представлены на рис. 6 и 7 соответственно.

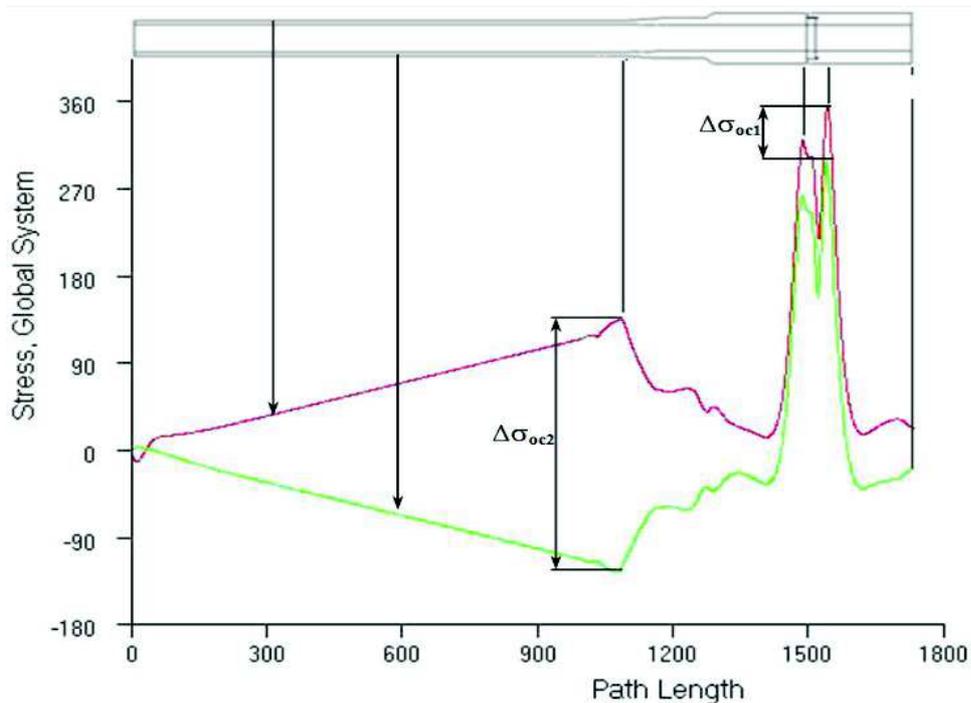


Рис. 6. Схемы распределения осевых напряжений по внутреннему диаметру

Несмотря на повышенные напряжения в области ОС1, амплитуда напряжений по сечению ОС2 значительно превышает амплитуду по ОС1. По полученным результатам можно сделать вывод, что вероятнее всего при указанной схеме нагружения усталостное разрушение образца произойдет в районе сечения ОС2. Результаты стендовых испытаний на знакопеременный изгиб бурильных труб ПК 127×9 приведены в табл. 2 и на рис. 8–10.

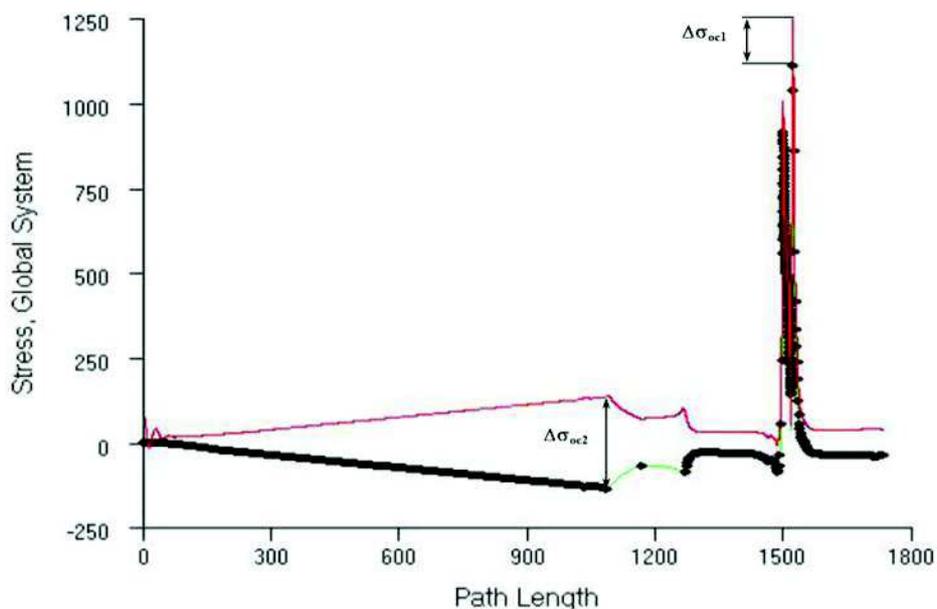


Рис. 7. Схемы распределения осевых напряжений по наружному диаметру

Таблица 2

**Результаты стендовых испытаний образцов бурильных труб ПК 127×9 мм группы прочности "Д" на знакопеременный изгиб (усталость)**

№ п/п	Компоновка образцов	Приложенное напряжение изгиба $\sigma_{-1}$ , кг/мм <sup>2</sup>	Число циклов, которое выдержал образец	Результат испытаний
1	1Н–3М	16	$0,8 \times 10^6$	Слом по дефекту (трещине) в стенке трубы на расстоянии 250 мм от замковой детали
2	9Н–10М	15	$1,3 \times 10^6$	Слом по дефекту (трещине) в стенке трубы на расстоянии 190 мм от замковой детали
3	13М–14Н	10	$10 \times 10^6$	Испытания выдержал
4	6М–11Н	12	$10 \times 10^6$	Испытания выдержал
5	16М–12Н	13	$0,9 \times 10^6$	Слом трубы по телу в зоне контакта токо-съемы наплавочной машины с телом трубы
6	17М–4Н	13	$0,5 \times 10^6$	Слом трубы по телу в зоне контакта токо-съемы наплавочной машины с телом трубы
7	19М–14Н	13	$10 \times 10^6$	Испытания выдержал



Рис. 8. Разрушение образцов 16М и 17М по зоне контакта токосъема наплавочной машины

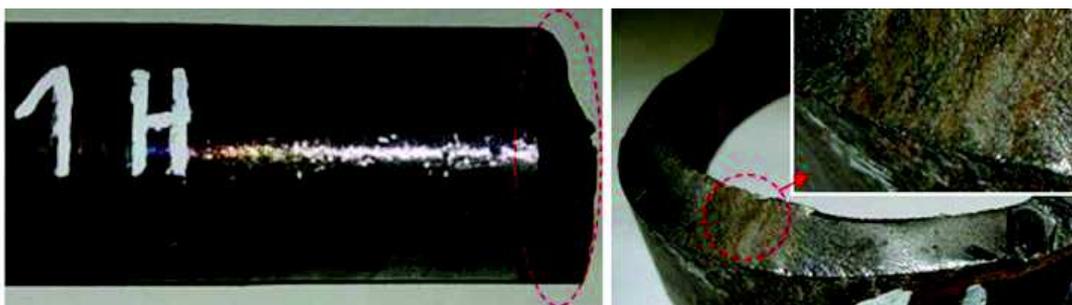


Рис. 9. Разрушение образца 1Н бурильной трубы ПК 127×9 «Д» с приваренным замком ЗП-162-95-2 по дефекту в теле трубы



Рис. 10. Разрушение образца 9Н бурильной трубы ПК 127×9 «Д» с приваренным замком ЗП-162-95-2 по дефекту в теле трубы при испытании на усталость на стенде СТ-20

В результате испытаний на знакопеременный изгиб было установлено, что три образца (13М-14Н, 6М-11Н и 19М – 14Н) из семи выдержали базовое число циклов нагружения для стали ( $10 \times 10^6$  циклов) при приложении напряжений знакопеременного изгиба в диапазоне  $10 \dots 13$  кг/мм<sup>2</sup>. Четыре образца разрушились досрочно по основному телу (вне зоны наплавки) вследствие наличия дефектов в виде скрытых трещин (два образца), зон нагрева в месте контакта токосъема наплавочной машины с телом трубы (два образца). Разрушений образцов по зоне влияния наплавки не происходило.

### Выводы

Проведение стендовых испытаний на образцах, восстановленных по разработанной ранее технологии, предполагающей применение смеси флюсов, предварительный подогрев и ограничение по толщине наплавки, позволило оценить их эксплуатационный ресурс и стойкость к знакопеременным циклическим

нагрузкам после проведения ремонта. По итогам работы было установлено, что исследуемые образцы выдержали стендовые испытания. Разрушений замковых соединений по месту нанесения наплавки, а также в зонах термического влияния не произошло. Полученные в ходе стендовых испытаний сведения были использованы при разработке руководства по эксплуатации стальных бурильных труб с приваренными замками после ремонта в части восстановления замковых соединений методом наплавки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амосов А.П., Михеев Д.А. Оптимизация восстановления замковых соединений бурильных труб методом наплавки // Научные технологии в машиностроении. – 2015. – № 1.
2. Амосов А.П., Михеев Д.А. Оптимизация режима предварительного подогрева при восстановлении замковых соединений бурильных труб методом наплавки // Экспозиция нефть, газ. – 2015. – № 4 (43).
3. Амосов А.П., Михеев Д.А., Самсонов М.С. Подбор оптимальной толщины наплавочного слоя при восстановлении замковых соединений бурильных труб // Научные технологии в машиностроении. – 2015. – № 12.
4. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. – Мн.: Высшая школа, 1990. – 400 с.
5. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. – М.: Металлургия, 1975. – 544 с.

*Статья поступила в редакцию 20 октября 2016 г.*

#### BENCH TEST TOOL JOINTS DRILL PIPE AFTER RE-SURFACING

***D.A. Miheev***

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

*The paper is devoted to the results of the application of repair technology of drill pipes by surfacing. The analysis of the requirements for the tool joints after a recovery is made. Modeling of the stress state by finite elements is produced, bench testing is analytically explained. It is established that the destruction of the test samples on recovery did not occur, which confirms the feasibility of the previously proposed technology. Obtained bench tests data were used to develop the guidance manual for steel drill pipes with welded locks after repair in terms of restoration tool joints by surfacing method.*

***Keywords:*** tool joint, drill pipe, bench tests, axial load, fatigue.