

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

STANDARDIZATION, CERTIFICATION AND QUALITY MANAGEMENT

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 621.77.04

DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-1-49-54



АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ПОДКАТУ ДЛЯ ГИБКИХ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ

Полецков П.П., Алексеев Д.Ю., Кузнецова А.С., Никитенко О.А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. С течением времени потребность в таких ресурсах, как нефть, газ и газоконденсат постоянно растет, что приводит к увеличению глубины скважин, использованию более сложных их конструкций (переход от вертикальных стволов к наклонным и горизонтальным с протяженностью более 2000 м), а также увеличению доли добычи полезных ископаемых из трудноизвлекаемых запасов. Одним из наиболее перспективных способов разработки, освоения и текущего ремонта скважины является метод, основанный на применении колонны гибких безмуфтовых металлических труб, также именуемый технологией колтюбинга. С целью оценки состояния производства проката для гибких насосно-компрессорных труб был проведен анализ технических требований отечественных и зарубежных производителей. Гарантией безотказной работы гибкой трубы в жестких условиях ее эксплуатации является использование конструкционной высокопрочной низколегированной стали с высокими показателями прочности и ударной вязкости, большой наработкой на изгиб, а также повышенной стойкостью к атмосферной коррозии. Основными зарубежными производителями гибких труб являются США, Канада и Китай. На российском рынке производство гибких труб для колтюбинговых установок представлено заводом ООО «Энгельсспецтрубмаш» (г. Узловая). Отечественные и зарубежные производители предъявляют схожие требования к уровню механических свойств подката для гибких труб, достижение которых возможно за счет применения регламентированного химического состава и специальных параметров термомеханической обработки.

Ключевые слова: гибкая насосно-компрессорная труба, безмуфтовая труба, технические требования, колтюбинг, импортозамещение.

Работа выполнена в рамках государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов наук и ведущих научных школ Российской Федерации- гранта Президента РФ (Соглашение №075-15-2020-205 от 17.03.2020 г. (вн. № МК-1979.2020.8)).

© Полецков П.П., Алексеев Д.Ю., Кузнецова А.С., Никитенко О.А., 2020

Для цитирования

Анализ технических требований, предъявляемых к подкату для гибких насосно-компрессорных труб / Полецков П.П., Алексеев Д.Ю., Кузнецова А.С., Никитенко О.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т. 18. №1. С. 49–54. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-49-54>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

ANALYSIS OF TECHNICAL REQUIREMENTS FOR SEMI-FINISHED ROLLED PRODUCTS FOR COILED TUBING

Pavel P. Poletskov, Daniil Yu. Alekseev, Alla S. Kuznetsova, Olga A. Nikitenko

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. In the course of time, the need for such resources as oil, gas and gas condensate is constantly growing, leading to an increase in the depth of wells, the use of more complex structures (transition from vertical shafts to inclined and horizontal ones with a length of over 2000 m), as well as an increase in a share of mining from hard-to-recover reserves. One of the most promising methods for exploiting, developing and maintaining a well is a method based on the use of a string of flexible flush-joint steel tubes, also known as the coiled tubing technology. In order to assess the state of production of steel products for coiled tubing, the authors analyzed the technical requirements of Russian and foreign manufacturers. A guarantee of a trouble-free operation of coiled tubing in severe operating conditions is the use of structural high-strength low-alloy steel with high strength and impact toughness, high flex life, as well as increased resistance to atmospheric corrosion. The main foreign manufacturers of coiled tubing are the USA, Canada and China. In Russia coiled tubing is produced by ESTM plant (the city of Uzlovaya). Russian and foreign manufacturers set similar requirements for a level of mechanical properties of semi-finished rolled products for coiled tubing, which can be achieved by using a scheduled chemical composition and special parameters of thermomechanical processing.

Keywords: coiled tubing, flush-joint tubing, technical requirements, coiled tubing technology, import substitution.

The research is completed as part of a state support program for young Russian scientists – candidates and doctors of sciences and leading research schools of the Russian Federation – the grant of the President of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2020-205 dated 17.03.2020 г. (in. No. MK-1979.2020.8)).

For citation

Poletskov P.P., Alekseev D.Yu., Kuznetsova A.S., Nikitenko O.A. Analysis of Technical Requirements for Semi-Finished Rolled Products for Coiled Tubing. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020, vol. 18, no. 1, pp. 49–54. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-49-54>

Введение

Постоянное увеличение потребления и добычи природных запасов углеводородов предопределяет необходимость применения более новой и совершенной техники и технологии бурения скважин, поскольку традиционные методы бурения с использованием сборных насосно-компрессорных труб не позволяют достичь необходимых результатов и в достаточной степени удовлетворить растущий спрос. Данное состояние вопроса усугубляется тем, что многие из основных действующих нефтегазовых месторождений сосредоточены в районе Западной Сибири и вышли на позднюю стадию разработки с падающей добычей.

Передовой прогрессивной технологией, позволяющей повысить отдачу продуктивных пластов, является бурение с использованием колонны гибких насосно-компрессорных труб (ГНКТ) или так называемая технология колтюбинга (от англ. «coiled tubing» – труба, намотанная на катушку). Колтюбинговая технология базируется на использовании длинномерных (до 8000 м) гибких безмуфтовых труб, намотанных на барабан и претерпевающих в процессе работы мно-

гократные циклы сматывания-наматывания [1]. Она может применяться как при строительстве скважины, так и при проведении различного рода технологических операций в процессе ремонтных работ. К числу основных операций с использованием колонны гибких насосно-компрессорных труб относятся [9]:

- ликвидация парафиновых и песчаных пробок;
- промывка призабойной зоны;
- бурение горизонтальных и наклонных стволов скважины;
- проведение работ по гидроразрыву пласта;
- спуск оборудования для геофизических исследований;
- работы по установке цементных мостов и изоляции пластов;
- бурение на депрессии;
- кислотная обработка ствола скважины и др.

В процессе эксплуатации гибкая труба подвергается многократной пластической деформации – изгиб при разматывании, поворот в направляющем устройстве и ввод в инъекционную головку [10]. Помимо этого трубы подвергаются растяжению под собственным весом, испытывают воздействие высокого внутреннего

давления (до 25 МПа), а также агрессивных сред. Поэтому сталь, используемая при производстве ГНКТ, должна обладать высокой прочностью и ударной вязкостью, большой наработкой на изгиб, а также достаточной коррозионной стойкостью.

Основная часть

Основными нормативными документами, регламентирующими требования к материалам ГНКТ, являются международный стандарт API Specification 5ST, введенный американским институтом нефти и газа [2], а также стандарт ASTM A606 type 4 [3]. В соответствии с ними ГНКТ производят из конструкционной высокопрочной низколегированной стали по 5 группам прочности с пределом текучести от 480 МПа. Толщина стенки трубы может составлять от 1,9 до 7,6 мм. Основными показателями, гарантирующими безотказную работу колонны ГНКТ, являются: предел текучести (σ_T); временное сопротивление разрыву (σ_B); относительное удлинение (A_{50}), а также ограничение по верхнему пределу твердости (HRC) (табл. 1).

Помимо требований по механическим свойствам в нормативных документах оговаривается массовое содержание основных легирующих элементов в стали (табл. 2).

Также сталь должна обладать четырехкратной стойкостью к атмосферной коррозии по сравнению с обычными конструкционными углеродистыми сталями. Для обеспечения данных требований она должна содержать в своем составе медь, хром, никель и кремний. Оценка коррозионной стойкости осуществляется в соответствии со стандартом ASTM G101 и должна составлять не менее 6,0 единиц.

Требования, представленные в нормативной технической документации, дают только общее

представление об используемой при производстве гибких насосно-компрессорных труб стали. Для конкретизации химического состава и механических свойств был проведен анализ требований к подкату отечественных и зарубежных производителей.

Лидерами в производстве оборудования и гибких насосно-компрессорных труб для колтюбинга являются США и Канада, занимающие 97% мирового рынка, а также Китай, на долю которого приходится оставшиеся 3%. Среди них наиболее крупными являются: National Oilwell Varco [4], Global Tubing [5], Precision tube technology [6], Baoji Petroleum Steel Pipe Co., Ltd (BSG) [7]. С 2018 года производство ГНКТ на территории России обеспечивает компания ООО «Энгельсспецтрубмаш» (ООО «ESTM») [8]. Требования по химическому составу и механическим свойствам основного металла трубы, регламентируемые данными компаниями, представлены в табл. 3.

В качестве подкаты для изготовления гибких труб как зарубежными, так и отечественными производителями используется низколегированная сталь с базовой химической композицией **(0,05-0,15)C – (0,10-0,50)Si – (0,7-1,65)Mn**. Также применяется дополнительное легирование стали такими элементами как **(0,25-0,8)Cr, (0,14-0,30)Ni, (0,20-0,40)Cu** и **(0,10-0,45)Mo**. Подкат должен сочетать в себе высокие прочностные ($\sigma_T > 551$ МПа и $\sigma_B > 607$ МПа) и пластические ($\delta_{50} > 21,5$ %) свойства. Одновременно с этим ограничивается значение максимальной твердости стали HRC. Выполнение данных противоречивых требований является достаточно трудной задачей. Ее решение возможно за счет применения регламентированного химического состава и специальных параметров термомеханической обработки.

Таблица 1. Требования к механическим свойствам подкаты для ГНКТ в соответствии с API spec 5ST по группам прочности

Table 1. Requirements for mechanical properties of semi-finished rolled products according to API spec 5ST by grades

Группа прочности	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Удлинение A_{50} , %	Твердость HRC
	Не менее			Не более
СТ70	482	552	30	22
СТ80	551	607	28	22
СТ90	620	669	25	22
СТ100	689	744	23	28
СТ110	744	793	22	30

Таблица 2. Требования к химическому составу стали по группам прочности в соответствии с API spec 5ST

Table 2. Requirements for a chemical composition of steel by grades according to API spec 5ST

Группа прочности	Массовая доля химических элементов, %, не более				
	C	Mn	P	S	Si,
CT70	0.16	1.20	0.025	0.005	0.50
CT80			0.020		
CT90		1.65	0.025		
CT100					
CT110					

Таблица 3. Требования отечественных и зарубежных производителей к химическому составу и механическим свойствам подката для ГНКТ

Table 3. Requirements of Russian and foreign manufacturers for a chemical composition and mechanical properties of semi-finished rolled products for coiled tubing

Номер плавки	Группа прочности	Массовая доля химических элементов в готовом прокате, %, в пределах или не более										Механические свойства			
		Al	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	не менее или в пределах			не более
												σ_t , МПа	σ_b , МПа	A_{50} , %	
Quality Tubing National Oilwell Varco (США)	QT-800	-	0,10-0,16	0,30-0,50	0,70-1,00	0,006	0,025	0,50-0,70	0,20	0,35	0,23	552	621	26	22
	QT-900	-	0,10-0,16	0,30-0,50	0,70-1,00	0,006	0,025	0,50-0,70	0,20	0,35	0,23	621	676	25	22
Global Tubing (США)	GT-90	0,050	0,050-0,160	0,10-0,50	0,600-1,20	0,005	0,025	0,25-0,80	0,25	0,40	0,10-0,30	621-724	669-827	25	22
Tenaris (США) Drillmark	HS-80 W	-	0,10-0,15	0,30-0,50	0,60-0,90	0,005	0,030	0,45-0,70	0,25	0,40	-	552-621	607	28	22
	HS-90 W	0,040	0,10-0,15	0,25-0,40	0,60-0,90	0,005	0,025	0,55-0,70	0,14-0,30	0,20-0,40	0,10-0,15	621-689	669	25	22
	HS-100 W	-	0,10-0,15	0,40	1,00	0,005	0,020	0,50-0,70	0,30	0,40	0,25-0,45	689	758	23	28
Ваоји Petroleum Steel Pipe (КНР)	CT-80	-	0,16	0,50	1,20	0,005	0,020	0,45-0,70	0,25	0,40	-	552	607	28	22
	CT-90	0,040	0,16	0,50	1,20	0,005	0,020	0,55-0,70	0,14-0,30	0,20-0,40	0,10-0,15	621	669	25	22
	CT-100	-	0,16	0,50	1,65	0,005	0,020	0,55-0,70	0,30	0,20-0,40	0,25-0,45	689	758	23	28
	CT-110	-	0,16	0,50	1,65	0,005	0,020	0,50-0,70	0,30	0,40	0,25-0,45	758	793	22	30
ООО «Энгельс-спецтрубмаш» (Россия)	CT80	-	0,16	0,50	1,20	0,005	0,020	-	-	-	-	551-620	607	27,5*	22
	CT90	-	0,16	0,50	1,20	0,005	0,020	-	-	-	-	620-689	669	25,5*	22
	CT100	-	0,16	0,50	1,65	0,005	0,025	-	-	-	-	689	758	23,0*	28
	CT110	-	0,16	0,50	1,65	0,005	0,025	-	-	-	-	758	793	21,5*	30

Примечание:

*при толщине стенки трубы 7,6 мм и внешнем диаметре 88,9 мм

Выводы

Выполнен анализ технических требований, предъявляемых к металлу для производства гибких насосно-компрессорных труб.

По результатам анализа можно заключить:

- конструкционная низколегированная сталь для ГНКТ должна сочетать в себе высокие характеристики прочности и пластичности, а также большую наработку на изгиб;

- необходимым является обеспечение стойкости стали к атмосферной коррозии, которая должна составлять не менее 6,0 единиц по ASTM G101;

- получение подката для гибких насосно-компрессорных труб с требуемыми высокими показателями по механическим свойствам возможно за счет применения регламентированного химического состава стали и специальных параметров термомеханической обработки.

Список литературы

1. Подземный ремонт и бурение скважин с применением гибких труб / С.М. Вайншток, А.Г. Молчанов, В.И. Некрасов, В.И. Чернобровкин. М.: Изд-во Академии горных наук, 1999. 244 с.
2. API Specification 5ST «Specification for Coiled Tubing», April 2010, effective 1 Oct 2010.
3. ASTM A606/A606M – 15. Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, High-Strength, Low-Alloy, Hot-Rolled and Cold-Rolled, with Improved Atmospheric Corrosion Resistance.
4. NOW company. URL : <https://training.nov.com/>. (дата обращения: 15.01.2020).
5. Global tubing. URL : <https://www.global-tubing.com/>. (дата обращения: 15.01.2020).
6. Насосно-компрессорные гибкие непрерывные трубы. URL: <http://drillmerk.com/burovoe-oborudovanie/nasosno-kompressornie-gibkie-neprerivnie-trubi.html>. (дата обращения: 15.01.2020).
7. DIS Drilling industrial systems. URL : https://dis-s.ru/coil_tubing/. (дата обращения: 15.01.2020)
8. ESTM. URL : <http://estm-tula.com/about-us.html>. (дата обращения: 15.01.2020)
9. Воробьев А.Е., Малоков В.П., Куденко В.А. Применение инновационных колтюбинговых технологий при разработке месторождений углеводородов // Вестник РУДН. 2014. №1. С. 108-116.
10. Ильиных В.Н. Совершенствование методов оценки остаточного ресурса гибких труб колтюбинговых установок: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2013. 142 с.

Поступила 05.02.2020; принята к публикации 27.02.2020; опубликована 25.03.2020

Полецков Павел Петрович – д-р техн. наук, профессор

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

E-mail: pavel_poletskov@mail.ru

Алексеев Даниил Юрьевич – аспирант

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

E-mail: D.U.Alekseev@mail.ru

Кузнецова Алла Сергеевна – младший научный сотрудник

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

E-mail: allakuznetsova@mail.ru

Никитенко Ольга Александровна – научный сотрудник

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

References

1. Weinstock S.M., Molchanov A.G., Nekrasov V.I., Chernobrovkin V.I. *Podzemny remont i burenie skvazhin s primeneniem gibkikh trub* [Underground repair and drilling of wells using flexible pipes]. Moscow: Publishing House of the Academy of Mining Sciences, 1999, 244 p. (In Russ.)
2. API Specification 5ST “Specification for Coiled Tubing”, April 2010, effective 1 Oct 2010.
3. ASTM A606 / A606M - 15. Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, High-Strength, Low-Alloy, Hot-Rolled and Cold-Rolled, with Improved Atmospheric Corrosion Resistance.
4. NOW company. Available at: <https://training.nov.com/> (Accessed on January 15, 2020).
5. Global tubing. Available at: <https://www.global-tubing.com/> (Accessed on January 15, 2020).
6. Tubing flexible continuous pipes. Available at: <http://drillmerk.com/burovoe-oborudovanie/nasosno-kompressornie-gibkie-neprerivnie-trubi.html>. (Accessed on January 15, 2020).
7. DIS Drilling industrial systems. Available at: https://dis-s.ru/coil_tubing/. (Accessed on January 15, 2020).

8. ESTM. Available at: <http://estm-tula.com/about-us.html>. (Accessed on January 15, 2020).
9. Vorobev A.E., Malyukov V.P., Kutsenko V.A. Application of innovative coiled tubing technologies in the development of hydrocarbon deposits. *Vestnik RUDN* [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia], 2014, no. 1, pp. 108-116. (In Russ.)
10. Ilinykh V.N. *Sovershenstvovanie metodov otsenki ostatochnogo resursa gibkikh trub kolyubingovykh ustanovok. Diss. kand. tekhn. nauk* [Improving methods for assessing the residual life of flexible pipes of coiled tubing plants: PhD thesis]. Tyumen, 2013, 142 p. (In Russ.)

Submitted 05/02/2020; revised 27/02/2020; published 25/03/2020

Pavel P. Poletskov – DrSc (Eng.), Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru

Daniil Yu. Alekseev – Postgraduate Student

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: D.U.Alekseev@mail.ru

Alla S. Kuznetsova – Junior Researcher

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: allakuznetsova@mail.ru

Olga A. Nikitenko – Research Associate

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.