

УДК 621.774.38

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ НОВОГО ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОГО СПЛАВА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ТРУБ ИЗ НЕГО*

Фокин Н.В.¹, Космацкий Я.И.¹, Денисюк С.А.²¹ РосНИТИ, Челябинск, Россия² Волжский трубный завод, Волжский, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследования деформационной способности нового высоколегированного сплава на хромоникелевой основе и определена возможность его применения для производства горячепрессованных труб. Разработаны технологические режимы горячего прессования труб различного сортамента на основе результатов пластометрических исследований. Проведено опытно-промышленное прессование труб из нового хромоникелевого сплава, анализ результатов которого позволил определить недостатки разработанной технологии и действия по их устранению.

Ключевые слова: горячее прессование труб, технология прессования, деформационная способность, высоколегированные сплавы на хромоникелевой основе, опытно-промышленная партия труб.

Введение

В настоящее время поставка нарезных труб из хромоникелевого сплава марки SM 2535 и его аналогов в адрес ОАО «Газпром» осуществляется исключительно иностранным производителем. В современных экономических условиях появилась возможность увеличения объемов выпуска продукции по схеме импортозамещения в соответствии с приказом Минпромторга РФ [1]. Это позволило, в свою очередь, инициировать разработку новой технологии и продвижение собственного конкурентоспособного продукта из высоко коррозионностойкого сплава на хромоникелевой основе марки ТМК-С, разработанного в начале XXI в. специалистами ОАО «РосНИТИ» и ОАО «СинТЗ» [2].

Материалы и методы исследования

Особенностью сплава ТМК-С, заявленный химический состав которого должен соответствовать данным **табл. 1**, является то, что суммарное содержание молибдена и вольфрама составляет не более 6 мас.%, ванадия и ниобия – не более 0,2 мас.%, а соотношение никеля (мас.%) определяется

$$1,10 < \frac{\%Ni}{\%Cr + 0,8 \cdot (\%Mo + \%W)} < 1,25.$$

* Статья по материалам доклада на международной молодежной научно-технической конференции «Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства», состоявшейся 15–17 июня 2015 г. в ФГБОУ ВПО «МГТУ» (г. Магнитогорск) при финансовой поддержке Росийского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ №15-38-10185).

© Фокин Н.В., Космацкий Я.И., Денисюк С.А., 2015

Кроме того, техническим решением [2] оговорены режимы термической обработки и деформации сплава. Заявленные признаки обеспечивают более высокую вязкость и пластичность стали в состоянии после холодной деформации, а также ее повышенные технологические и антикоррозионные свойства по сравнению с известными аналогами.

Для исследования деформационной способности сплава пластометрические исследования проводились на многофункциональном исследовательском комплексе «Gleeble 3800» ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) с использованием сменного модуля ударного нагружения «Hydrawedge» [3].

Для прессования планировалось использовать заготовку двух типов: диаметром сечения в диапазоне от 302,1 до 302,5 мм и диаметром в диапазоне от 188,2 до 188,6 мм. Поскольку оба типа заготовки были получены от одной плавки и для изготовления заготовки использовался слиток одного размера, величина укова была различной. Для заготовки диаметром 302 мм коэффициент укова составлял 2,3, а для заготовки 188 мм – 6,0. Вид заготовок-штанг из сплава марки ТМК-С представлен на **рис. 1**.

От поперечных темплетов исходной заготовки обоих размеров в продольном и поперечном сечениях вырезали планки. Затем из планок изготавливали стандартные цилиндрические образцы диаметром 10,0 мм и длиной 15,0 мм.

Температура горячей деформации сплава ТМК-С в обоих вариантах планируемой технологии прессования находится в диапазоне от 1130 до 1160°C, поэтому при проведении исследований температуру устанавливали равной 1150°C. Скорость деформации в зависимости от

варианта технологии находится в диапазоне от 6,8 до 11,4 с⁻¹, поэтому при проведении исследований скорость деформации устанавливали равной 10,0 с⁻¹. Степень деформации в зависимости от варианта технологии находится в диапазоне от 1,90 до 1,98. Однако технологические возможности комплекса «Gleeble 3800» не обеспечивают получение данной величины степени деформации, поэтому при проведении исследований степень деформации устанавли-

вали максимальной – $\epsilon = 1,3$.

Образцы после деформации в обоих случаях имели ровную округлую форму, что свидетельствовало о равномерном течении металла в радиальном направлении.

Кривые течения металла в интервале истинных деформаций от 0 до 1,3 для образцов, изготовленных из трубной заготовки диаметром 302 мм, показаны на **рис. 2**, а образцов, изготовленных из трубной заготовки диаметром 188 мм, – на **рис. 3**.

Таблица 1

Химический состав сплава ТМК-С

Массовая доля элементов, %													Cu	Cr	Ni	Mo	Fe
не более																	
C	Si	Mn	S	P	Ti	Nb	W	V	Al	N	P3M						
0,05	0,2	2,5	0,01	0,02	0,2	0,1	3,0	0,15	0,1	0,11	0,05	1,0–3,0	24,0–28,0	25,0–40,0	2,5–5,0	Ост.	



Рис. 1. Заготовки-штанги из сплава марки ТМК-С плавка № 49716 производства Aceralava (сертификат качества № 617178 и 617177)

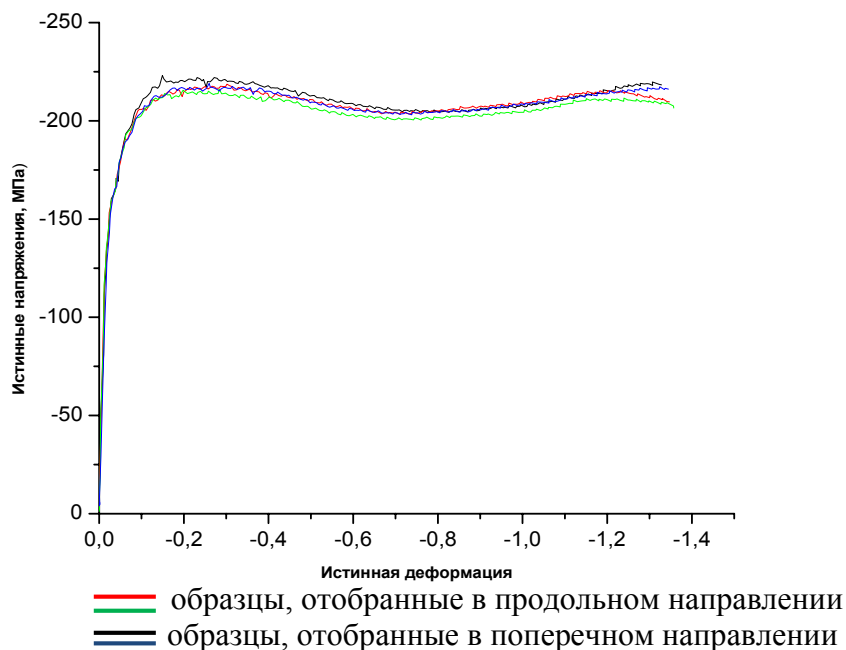


Рис. 2. Кривые течения в интервале деформаций от 0 до 1,3 (заготовка диаметром 302 мм, температура 1150 °С, скорость деформации 10 с⁻¹)

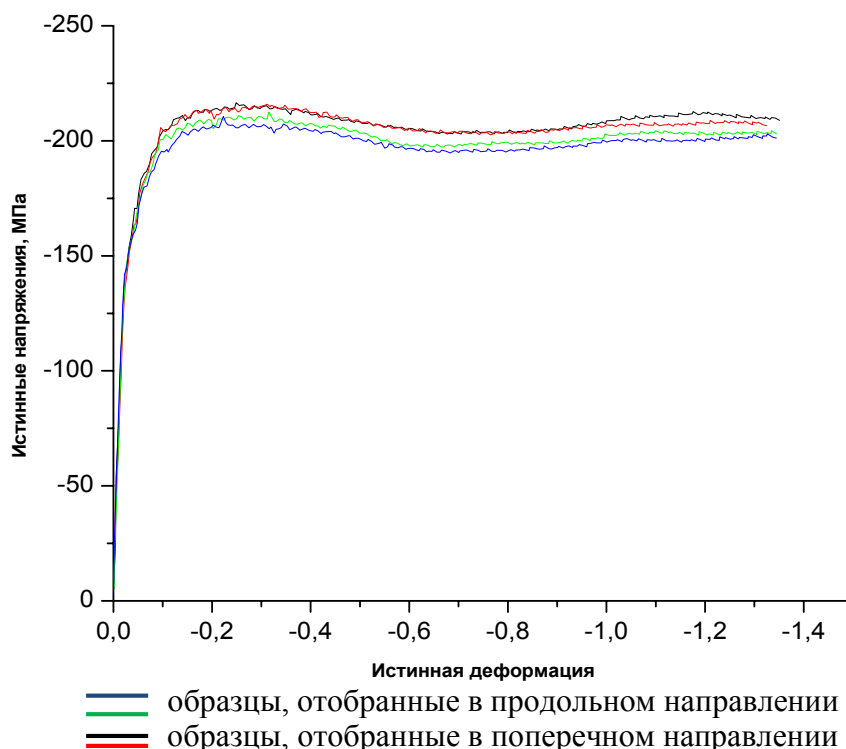


Рис. 3. Кривые течения в интервале деформаций от 0 до 1,3 (заготовка диаметром 188 мм, температура 1150 °С, скорость деформации 10 с⁻¹)

Кривые представлены в том виде, как их выдает программа обработки экспериментальных данных «Origin.pro 8.5.1». Знак «-» перед значениями относительной деформации и напряжения говорит о направлении деформации – деформация сжатия.

Анализ полученных данных свидетельствовал о сходном характере изменения величины сопротивления металла пластической деформации (на графиках – истинное напряжение) для трубной заготовки различного диаметра, изготовленной из сплава ТМК-С. В обоих случаях максимальная величина сопротивления металла пластической деформации наблюдалась в диапазоне степени деформации от 0,18 до 0,25.

В указанном диапазоне сопротивление деформации, зарегистрированное как на продольных, так и на поперечных образцах сплава ТМК-С, достигает максимальных значений:

- на образцах с величиной укова 2,3 (заготовка диаметром 302 мм, см. **рис. 2**) – 220 МПа;
- на образцах с величиной укова 6,0 (заготовка диаметром 188 мм, см. **рис. 3**) – 215 МПа.

При максимальной в эксперименте степени деформации ($\epsilon = 1,3$) величина сопротивления деформации сплава ТМК-С на всех образцах с величиной укова 6,0 (заготовка диаметром 188 мм) несколько уменьшается и достигает значений 205–210 МПа. При этом заметной динамики

изменения сопротивления не наблюдается, что говорит о равномерных свойствах деформируемого зерна металла во взаимно перпендикулярных направлениях.

При максимальной в эксперименте степени деформации ($\epsilon = 1,3$) образцов с меньшей величиной укова 2,3 наблюдается другая картина. При степени деформации $\epsilon = 1,2$ заметно расхождение ветвей графиков, соответствующих поперечным и продольным образцам, причем образцам, отобранным в поперечном направлении, соответствуют большие значения сопротивления деформации (на графиках – истинное напряжение), а образцам, отобранным в продольном направлении, – меньшие.

Полученный результат полностью согласуется с проведенными ранее исследованиями деформации образцов центробежно-литой заготовки стали марки 08X18H10T [4], в результате которых был сделан вывод о существенной асимметрии величины сопротивления деформации металла в двух взаимно перпендикулярных направлениях относительно оси трубной заготовки.

Технологическая схема изготовления горячепрессованных передельных труб из сплава марки ТМК-С в условиях трубопрессового цеха № 2 ОАО «ВТЗ» на прессовой линии 55 МН представлена на **рис. 4**.

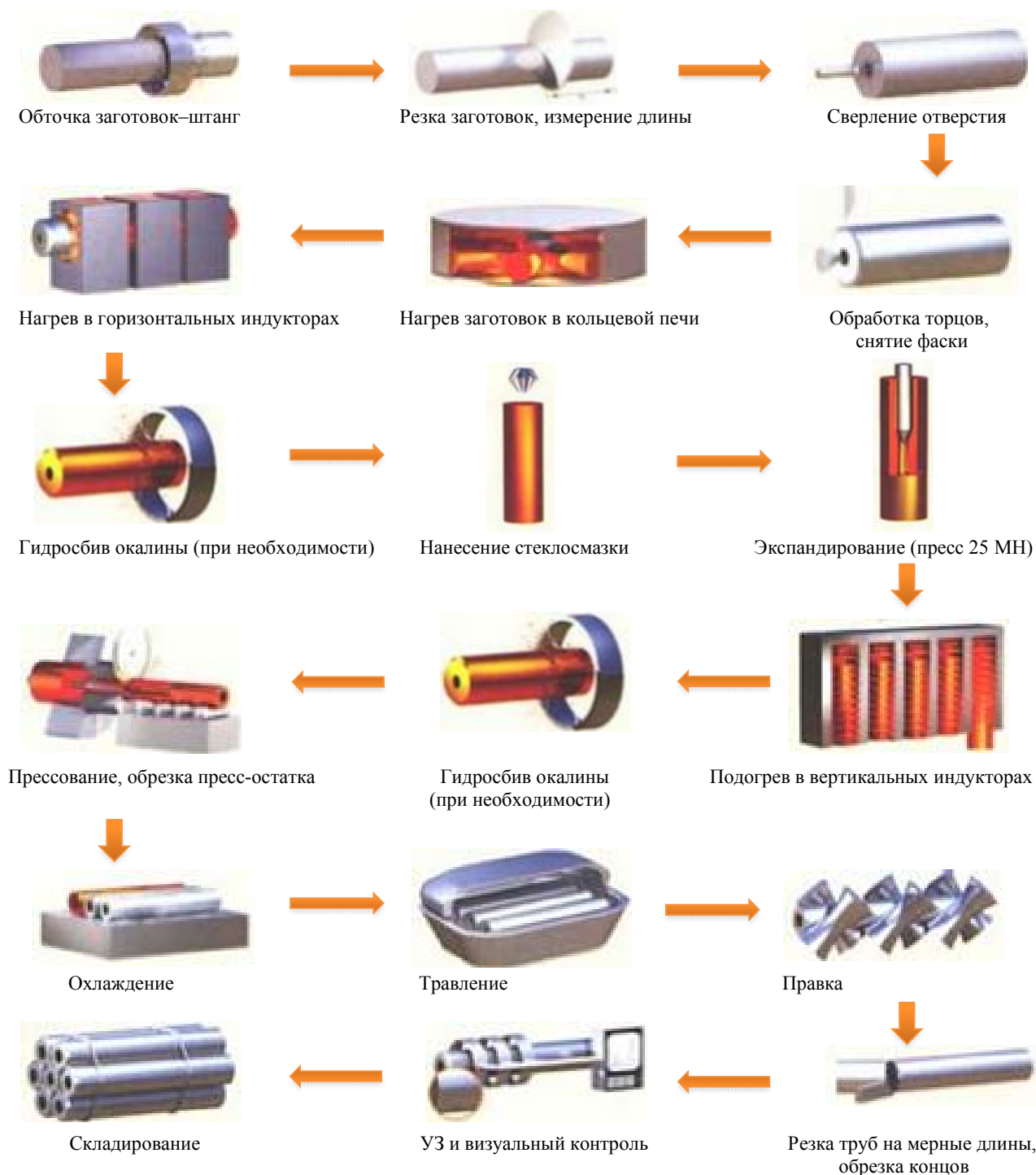


Рис. 4. Технологическая схема изготовления передельных труб из хромоникелевого сплава ТМК-С в условиях ОАО «ВТЗ»

Технологическая схема изготовления на прессовой линии 20 МН отличается отсутствием операции нагрева заготовок в кольцевой печи. Гидросбив окалины для сплава ТМК-С не применялся ввиду отсутствия интенсивного окиснообразования сплава при нагреве до интервала температур прессования.

За период производства были освоены опытно-промышленные партии труб, размеры и технологические параметры которых представлены в **табл. 2**. В таблице также отражены расчетные значения технологических параметров для качественной оценки сходимости результатов расчета и фактических технологических режимов производства.

Таблица 2

Фактические и расчетные технологические параметры изготовления опытно-промышленных партий труб из сплава марки ТМК-С

Размеры труб, мм	∅108,0×9,5	∅108,0×11,5	∅146,0×30,0	∅168,0×8,0	∅168,0×27,0
Кол-во труб	27	44	6	10	6
Масса, т.	3,708	6,054	2,93	2,316	3,14
РКМ	–	1,0619	1,2031	–	–
Диаметр заготовки, мм	188		302		
Фактическое пиковое значение усилия прессования, МН	16,9–18,8	17,8–19,0	46,8–51,7	47,5–49,0	42,0–50,0
Расчетное значение пикового усилия прессования, МН	17,5–18,5		47,5–50,0		40,3–44,6

Для варианта изготовления труб сплава ТМК-С размерами 108,0×9,5 мм и 108,0×11,5 из заготовки диаметром 188 мм на прессовой линии 20 МН фактическое значение пикового усилия прессования составило 17,85 и 18,4 МН соответственно, что достаточно близко к расчетным значениям пикового усилия прессования 17,5–18,5 МН, определенным по методике работы [5]. В процессе изготовления опытно-промышленных партий труб для снижения значения пикового усилия прессования использовали пресс-иглу с коническим участком на переднем конце, что позволило избежать превышения допустимого усилия прессования и аварийной остановки прессового оборудования. Однако данная технология снижения пикового усилия значительно повышает расходный коэффициент металла за счет образования утолщенного переднего конца трубы длиной не менее 300,0 мм.

Для варианта изготовления труб сплава ТМК-С размерами 146,0×30,0 мм из заготовки диаметром 302 мм на прессовой линии 55 МН фактическое значение пикового усилия прессования определялось интервалом от 46,8 до 51,7 МН. Полученный результат достаточно хорошо коррелируется с расчетными значениями усилия прессования 47,5–49,0 МН, определенными в процессе предварительной разработки технологических режимов. Прессование также проводилось со снятием пикового усилия на большую стенку переднего конца трубы, вследствие чего получен повышенный расходный коэффициент металла.

Производство опытно-промышленной партии труб размерами 168,0×8,0 мм сопровождалось значениями пикового усилия прессования в интервале от 47,5 до 49,0 МН при расчетных значениях от 47,5 до 50,0 МН. Прессование осуществлялось со снятием пикового усилия на стенке 18,0 мм на переднем конце трубы. Прессование труб 168,0×27,0 мм проходило без снятия пикового усилия за счет проточки пресс-иглы на меньший диаметр, однако при этом фактическое значение пикового усилия прессования

в среднем превысило расчетные значения согласно **табл. 2**. Причиной этому может выступать неравномерный прогрев гильзы в вертикальных индукционных печах.

Трубы всех вышеуказанных опытных партий подвергались химической обработке в растворе серно-плавиковой кислоты (травлению), последующей правке в косовалковой правильной машине и зачистке дефектов наружной поверхности. На **рис. 5** изображены трубы размером 146,0×30,0 мм после вышеупомянутых операций отделки труб.



Рис. 5. Трубы размером 146,0×30,0 из сплава марки ТМК-С (после обточки и зачистки)

Исходя из результатов изготовления опытно-промышленных партий труб из хромоникелевого сплава марки ТМК-С, одним из основных технологических недостатков является повышенный расходный коэффициент металла, который, в свою очередь, вызван применением технологии снижения значения пикового усилия за счет проточки переднего конца пресс-иглы. Применение данной технологии определяется повышенными значениями усилия прессования, следовательно, снижение усилия прессования является приоритетным направлением совершенствования технологии производства как данного сортамента труб, так и в целом всего сортамента труб из малопластичных сталей и сплавов.

Заключение

В настоящее время специалистами ОАО «РосНИТИ» проводится научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа по теме: «Исследование возможностей снижения пиковых нагрузок при прессовании труб и разработка технических предложений по их реализации». Целью выполнения настоящей НИОКР является повышение эффективности технологии производства горячепрессованных труб в ТПЦ-2 ОАО «ВТЗ» за счет исследования возможностей снижения пиковых нагрузок при прессовании труб, разработки и опытно-промышленного опробования технического решения, обеспечивающего сокращение энергозатрат и изготовление труб из сложнолегированных труднодеформируемых и малопластичных марок сталей и сплавов в сортаменте цеха. При этом указанная работа предусматривает выполнение ряда мероприятий.

1. Проведение анализа существующих технических решений, направленных на снижение энергозатрат при изготовлении труб методом прессования.

2. Разработка технических предложений, обеспечивающих снижение пиковых нагрузок и оценка технологической возможности их реализации в промышленных условиях ТПЦ-2.

3. Теоретические исследования технических решений, обеспечивающих снижение пиковых нагрузок.

4. Проведение экспериментальных исследований процесса прессования труб с применением новых способов и устройств, обеспечивающих

повышение эффективности процесса за счет снижения пиковых нагрузок.

5. Разработка конструкторской документации, предназначенной для реализации принятых технических решений в условиях ТПЦ-2 ОАО «ВТЗ».

6. Опытное-промышленное опробование технологии с применением разработанного технического решения.

Реализация представленного комплексного подхода к решению задачи эффективного снижения пикового усилия прессования труб позволит обеспечить, в том числе, совершенствование технологии производства горячепрессованных труб из труднодеформируемых сплавов.

Список литературы

1. Об утверждении плана мероприятий по импортозамещению в отрасли черной металлургии Российской Федерации: приказ № 652 от 31 марта 2015 года. М., 2015. 4 с.
2. Пат. 2254394 Российская Федерация, МПК С 22 С 38/38, С 21 D 8/00. Высокопрочная аустенитная сталь и способ окончательной упрочняющей обработки изделий из нее / Бодров Ю.В., Брижан А.И., Лефлер М.Н., Марченко Л.Г., Пумпянский Д.А., Пышминцев И.Ю. и др. № 2004107828; заявл. 16.06.04; опубл. 20.06.05, Бюл. № 5. 13 с.
3. Космацкий Я.И., Гасленко М.И., Тихонова М.А. Информационное обеспечение и управление технологическими процессами трубопрессового производства: учеб. пособие. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2013. 47 с.
4. Исследование свойств центробежно-литой трубной заготовки стали 08X18H10T / Б.В. Баричко Б.В., Я.И. Космацкий, С.В. Руциц и др. // Металлург. 2013. №4. С. 59–62.
5. Баричко Б.В., Медведев М.И., Космацкий Я.И. Сравнительный анализ двух методик определения силовых параметров прессования труб из нержавеющей сталей и сплавов // Металлург. 2010. № 4. С. 72–74.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

RESEARCH ON DEFORMABILITY OF A NEW HIGH ALLOY AND DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY ENABLING TO EXTRUDE PIPES FROM THE ALLOY

Fokin Nikolay Vladimirovich – Laboratory Engineer of drawing and pressing, JSC «RosNITI», Chelyabinsk, Russia.

Kosmatsky Yaroslav Igorevich – Ph.D. (Eng.), Deputy Head of the Materials in the Department of pipe manufacturing technologies JSC «RosNITI», Chelyabinsk, Russia.

Denysiuk Sergey Alexandrovich – Deputy Head of the tube pressing department no. 2, JSC «Volzhsky Pipe Plant», Volzhskij, Russia.

Abstract. The article presents the results of a study of the deformation ability of the new high alloy chromium-nickel based on defined and the possibility of its use for the production of hot pipes. The technological modes of hot extrusion of pipes of various sizes on the basis of plastometer research. A pilot industrial extrusion pipes from a new nickel-chromium alloy, analysis of which allowed us to determine the shortcomings of the technology, and corrective actions.

Keywords: Hot extrusion of pipes, pressing technology, deformation capacity, high-alloy chromium-nickel-based alloys, a pilot batch of pipes.

References

1. Rossiyskaya Federatsiya. Ministr promyshlennosti i trgovli D.V. Manturov. Prikaz № 652 ot 31 marta 2015 goda [Tekst]: (ob utverzhdenii plana meropriyatii po importozameshcheniyu v otrasli chernoy metallurgii Rossiyskoy Federatsii). Moscow, 2015. 4 p.
2. Bodrov Yu.V., Brizhan A.I., Lefler M.N., Marchenko L.G., Pumpyanskiy D.A., Pyshmintsev I.Yu. *Vysokoprochnaya austenitnaya stal' i sposob okonchatel'noy uprochnyayushchey obrabotki izdeliy iz nee* [A high-strength austenitic stainless steel and a method of hardening the final processing of it]. Patent RF, no. 2254394, 2004.
3. Kosmatsky Ya. I., Gaslenko M.I., Tikhonova M.A. [Informatsion-

- noe obespechenie i upravlenie tekhnologicheskimi protsessami trubopressovogo proizvodstva: uchebnoe posobie] Information provision and control of technological processes of production tube pressing: a tutorial. Chelyabinsk: South Ural State University Publishing House, 2013. 47 p.
4. Barichko B.V., Kosmatsky Ya.I., Ruschits S.V. Investigation of the

- properties of centrifugally cast steel billets 08X18H10T. *Metallurg [Metallurgist]*. 2013, vol. 4, pp. 59-62.
5. Barichko B.V., Kosmatsky Ya.I., Medvedev M.I. Comparative analysis of two methods for determining the parameters of the pressing power tubes of stainless steels and alloys. *Metallurg [Metallurgist]*. 2010, no. 4, pp. 72-74.

Фокин Н.В., Космацкий Я.И., Денисюк С.А. Исследование деформационной способности нового высоколегированного сплава и разработка технологии горячего прессования труб из него // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 27–33.

Fokin N.V., Kosmatsky Ya.I., Denysiuk S.A. Research on deformability of a new high alloy and development of a technology enabling to extrude pipes from the alloy. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]*. 2015, no. 4, pp. 27–33.

УДК 621.77

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ В КОРРОЗИОННОСТОЙКОМ ИСПОЛНЕНИИ*

Богатов Н.А.¹, Богатов А.А.², Салихьянов Д.Р.²

¹ НПО «Трубная Энергетическая Машиностроительная Продукция», Москва, Россия

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Аннотация. В настоящее время нефтедобывающей отрасли в России необходима разработка новых инновационных проектов, направленных на радикальное повышение эксплуатационных характеристик материальных ресурсов и сокращение объемов их потребления. Одним из наиболее перспективных направлений защиты от коррозии является производство и применение труб из слоистых композиционных материалов. Существует несколько основных способов их изготовления на основе процессов обработки металлов давлением. Как показывает мировая практика, для насосно-компрессорных труб рациональным способом является технология лейнирования. Лейнирование заключается в совместной раздаче труб из разнородных материалов, имеющих разные свойства. В такой трубе удастся объединить и высокую коррозионную стойкость, и механическую прочность, благодаря чему эксплуатационный ресурс повышается по сравнению с трубами традиционного исполнения более чем в 4 раза. Однако предыдущий зарубежный опыт их изготовления и применения выявил необходимость совершенствования отдельных технологических процессов производства труб. В статье рассмотрены новые технические решения в производстве лейнированных труб и результаты их испытания в эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: насосно-компрессорные трубы, лейнирование, лейнированные трубы, биметаллические трубы, обработка металлов давлением, восстановление эксплуатационного ресурса.

Введение

Россия является одним из мировых лидеров по добыче нефти. Следует отметить, что условия добычи нефти в России за последние десятилетия изменились: освоение новых месторождений смещается все в более неблагоприятные регионы с точки зрения горно-геологических и природно-климатических условий, в то время как нефтедобыча в обустроенных и открытых 30–50 лет назад регионах характеризуется высокой обводненностью скважин и интенсивным коррозион-

ным разрушением внутрискважинного оборудования. Из-за совместного воздействия таких факторов, как наличие растворенных газов H₂S и CO₂ в добываемом флюиде, абразивный износ и растягивающие напряжения в наиболее тяжелых условиях находятся насосно-компрессорные трубы (НКТ). Это подтверждается анализом причин выхода из строя глубинно-насосного оборудования скважин, который показывает, что доля отказов по причине выхода из строя НКТ является преобладающей среди прочих и составляет порядка 60%. Опыт эксплуатации скважин, осложненных в коррозионном отношении, показывает, что срок службы НКТ в них в отдельных случаях не превышает 4 месяцев [1–7]. Эксплуатация таких скважин крайне затруднена и сопряжена со значительными расходами финансовых ресурсов на восстановление работоспособности насосно-компрессорной колонны. Затраты на восстановление работоспособности каждой

* Статья по материалам доклада на международной молодежной научно-технической конференции «Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства», состоявшейся 15–17 июня 2015 г. в ФГБОУ ВПО «МГТУ» (г. Магнитогорск) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ №15-38-10185).

© Богатов Н.А., Богатов А.А., Салихьянов Д.Р., 2015