



УДК 669.

DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-70-74

Поступила 27.08.2018

Received 27.08.2018

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ТЕРМООБРАБОТКИ БЕСШОВНЫХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ ИЗ ХРОМОМОЛИБДЕНОВЫХ МАРОК СТАЛИ

С. В. АВДЕЕВ, А. В. СТРЕЛЬЧЕНКО, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: teh.icm@bmz.gomel.by, В. В. ИВАШКО, ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси» г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10. E-mail: ivashko.victor@gmail.com

*В лабораторных условиях с дальнейшей апробацией в промышленных условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» были освоены оптимальные режимы термической обработки, позволившие получить требуемый заказчиком полный комплекс физико-механических свойств бесшовных труб из стали марки 30ХМА группы прочности P, M и L для дальнейшего производства скважинных перфораторов, применяемых в нефтегазовой промышленности.*

**Ключевые слова.** Бесшовная труба, скважинный перфоратор, закалка, отпуск, сталь 30ХМА.

**Для цитирования.** Авдеев, С. В. Разработка и внедрение технологии производства и термообработки бесшовных горячекатаных труб из хромомолибденовых марок стали / С. В. Авдеев, А. В. Стрельченко, В. В. Ивашко // *Литье и металлургия.* 2018. № 4. С. 70–74. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-70-74.

## THE DEVELOPMENT AND INTRODUCTION OF PRODUCTION TECHNOLOGY AND HEAT TREATMENT OF SEAMLESS HOT-ROLLED TUBES FROM Cr–Mo STEEL GRADES

S. V. AUDEEV, A. V. STRELCHANKO, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennyya str. E-mail: teh.icm@bmz.gomel.by, V. V. IVASHKO, The Physical-Technical Institute of National Academy Sciences of Belarus, 10, Kuprevich str., Minsk, Belarus. E-mail: ivashko.victor@gmail.com

*In laboratory conditions with further approbation in industrial conditions of OJSC «BSW» – the management Company of Holding «BMC» the optimum modes of heat treatment which allowed to receive the full complex of physical and mechanical properties of seamless pipes from steel of 30khma of group of durability P, M and L demanded by the customer for the further production of the borehole perforators applied in the oil and gas industry were mastered.*

**Keywords.** Seamless pipe, borehole perforator, hardening, temper, steel 30HXMA breed.

**For citation.** Audeev S. V., Srtelchanko A. V., Ivashko V. V. The development and introduction of production technology and heat treatment of seamless hot-rolled tubes from Cr-Mo steel grades. *Foundry production and metallurgy*, 2018, no. 4, pp. 70–74. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-70-74.

В настоящее время на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» все больше поступает заказов на производство бесшовных горячедеформируемых труб из сталей марок 30ХМА и 4130 (согласно ASTM A519) для дальнейшего производства скважинных перфораторов, применяемых в нефтегазовой промышленности.

Перфорирование – создание отверстий в стальной обсадной трубе, цементе и пластовой породе путем взрыва происходит мгновенно, но при этом определяет долгосрочную эффективность и прибыльность большинства нефтегазовых месторождений. Скважинные перфораторы с кумулятивными зарядами спускают в скважину, где их подрывают, в результате чего создаются каналы, выполняющие роль потоков, по которым пластовые жидкости вытекают из пласта в ствол скважины и затем на поверхность (рис. 1).

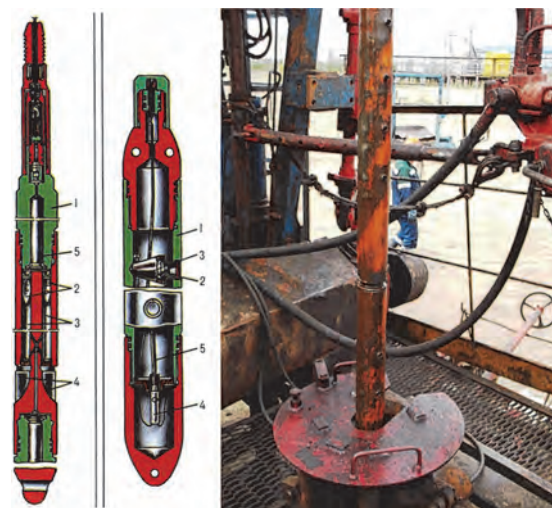


Рис. 1. Схема скважинного перфоратора и его применение

В связи с тем что заказчиками для данной продукции в большинстве случаев устанавливаются более узкие пределы по механическим свойствам в сравнении с требованиями к продукции, устанавливаемыми различными стандартами к продукции тех же групп прочности, то для освоения технологии термической обработки данной продукции потребовалось проведение множества исследований с их практической апробацией в промышленных условиях методом эстафетных термообработок.

Сравнение требований заказчиков к трубам для дальнейшего производства скважинных перфораторов с требованиями к продукции, устанавливаемыми различными стандартами для продукции тех же групп прочности по механическим свойствам, представлено в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение требований, предъявляемых к физико-механическим свойствам труб групп прочности М и Р по различным стандартам

НД	Сорт	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость KCV <sub>+20°C</sub> , Дж/см <sup>2</sup>	Твердость HRC
<i>Группа прочности М</i>						
ГОСТ 632-80	М	758–965	≥ 862	≥ 10,8	Не регламентируется	Не регламентируется
Спецификация клиента	М	≥ 758	≥ 862	≥ 17	≥ 100	26–32
<i>Группа прочности Р (Р110 и Q125)</i>						
API 5CT	P110	758–965	≥ 862	Зависит от размера трубы	Зависит от размера трубы	Не регламентируется
API 5CT	Q125	862–1034	≥ 862	Зависит от размера трубы	Зависит от размера трубы	Не регламентируется
ГОСТ 632-80	Р	930–1137	≥ 1000	≥ 9,5	Не регламентируется	Не регламентируется
Спецификация клиента	Р	895–1035	≥ 930	≥ 15	≥ 110	≥ 29

Как видно из таблицы, заказчиком бесшовных горячедеформируемых труб для дальнейшего производства скважинных перфораторов были установлены более узкие пределы по механическим свойствам, а дополнительно регламентируемые параметры (ударная вязкость и твердость) еще более усложняют процесс термообработки.

В связи с этим для выработки технологии термической обработки труб для дальнейшего производства скважинных перфораторов совместно с ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси» было проведено исследование по определению наиболее оптимальных температур закалки и отпуска, позволяющих получить требуемый заказчиком полный комплекс физико-механических свойств.

В качестве материала для исследований были выбраны образцы, вырезанные из произведенных труб размером 114,0×9,5 мм из стали марки 30ХМА.

Химический состав образцов труб приведен ниже.

Наименование элемента	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	Ti	V	Nb
Содержание в стали, %	0,3	0,25	0,68	0,007	0,009	0,86	0,12	0,16	0,034	0,17	0,007	0,005	0,003

Образцы труб размером 114,0×9,5 мм нагревали в камерной лабораторной печи при температурах 860, 880 и 900 °С в течение 1 ч и закаливали в воде. Далее закаленные образцы подвергали отпуску при

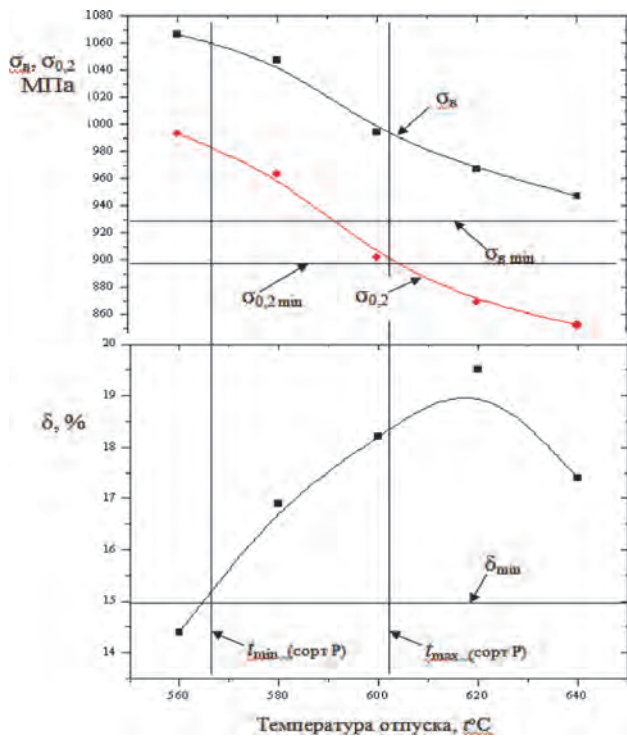


Рис. 2. Зависимость механических свойств труб из стали 30ХМА от температуры отпуска. Оптимизация температуры отпуска для труб группы прочности Р, закаленных с температуры 860 °С

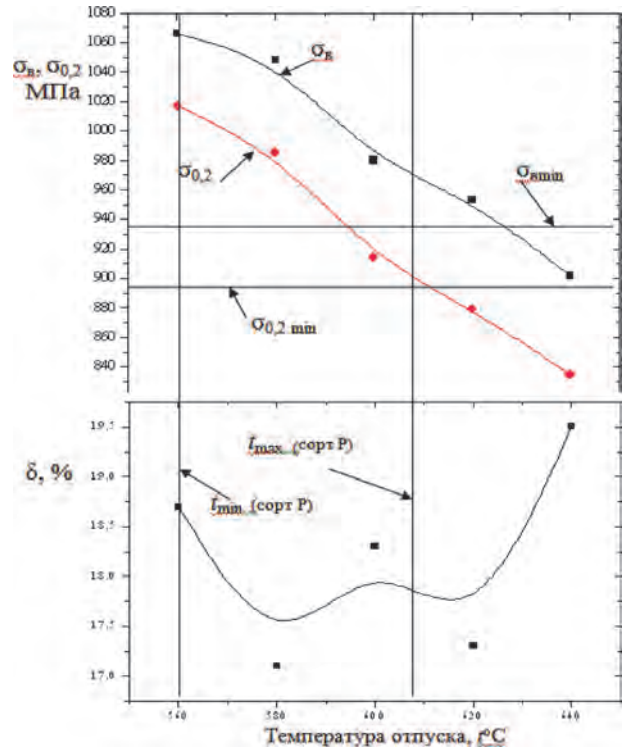


Рис. 3. Зависимость механических свойств закаленных труб стали 30ХМА от температуры отпуска. Оптимизация температуры отпуска для труб группы прочности Р, закаленных с температуры 880 °С

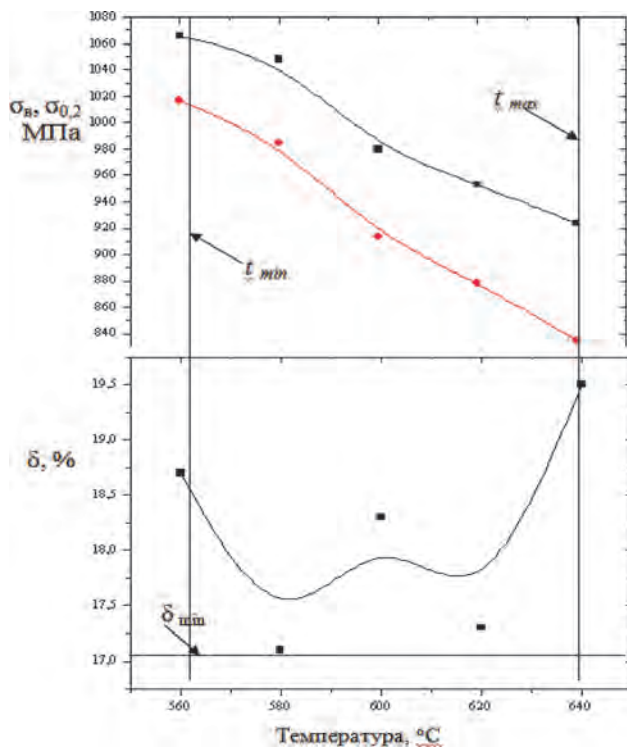


Рис. 4. Зависимость механических свойств закаленных труб стали 30ХМА от температуры отпуска. Оптимизация температуры отпуска для труб группы прочности М, закаленных с температуры 880 °С

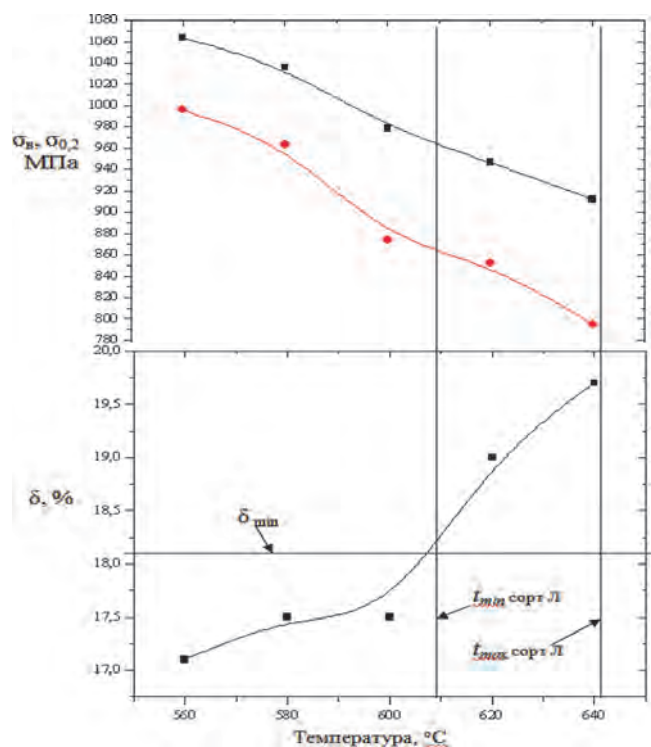


Рис. 5. Зависимость механических свойств закаленных труб стали 30ХМА от температуры отпуска. Оптимизация температуры отпуска для труб группы прочности Л, закаленных с температуры 880 °С

температурах 560, 580, 600, 620 и 640 °С в течение 1,5 ч. Впоследствии из термически обработанных заготовок вырезали 5-кратные образцы для испытаний на разрыв. Общие результаты проведенных испытаний на разрыв и твердость приведены в табл. 2.

Таблица 2. Общие результаты испытаний образцов труб размером 114,0×9,5 мм на разрыв и твердость после термообработки в лабораторных печах

Температура нагрева под закалку, °С, 1 ч, вода	Температура отпуска, °С, 1,5 ч, воздух				
	560	580	600	620	640
	$\sigma_b-\sigma_{0,2}-\delta-HRC$	$\sigma_b-\sigma_{0,2}-\delta-HRC$	$\sigma_b-\sigma_{0,2}-\delta-HRC$	$\sigma_b-\sigma_{0,2}-\delta-HRC$	$\sigma_b-\sigma_{0,2}-\delta-HRC$
860	1066–993–14,4–34,0	1047–963–16,9–33,5	994–906–18,2–32,0	967–869–19,5–31,0	947–852–17,4–30,0
880	1066–1017–18,7–34,0	1048–985–17,1–33,0	980–914–18,3–30,0	953–879–17,3–29,5	902–835–19,5–29,0
900	1064–998–17,1–34,0	1036–964–17,5–33,0	979–874–17,5–31,0	947–852–19,0–30,0	912–795–19,7–30,0

По полученным данным были построены диаграммы зависимости механических свойств труб из стали 30ХМА от температуры отпуска для групп прочности Л, Р и М (рис. 2–5).

Таким образом, в лабораторных условиях были выработаны наиболее оптимальные температуры закалки и отпуска, позволяющие получить требуемый заказчиком полный комплекс физико-механических свойств для труб из стали марки 30ХМА групп прочности Л, Р и М.

### Промышленные испытания

Полученные результаты лабораторных испытаний были использованы в промышленных условиях при термической обработке произведенных труб из стали марки 30ХМА групп прочности Л, Р и М для дальнейшего производства скважинных перфораторов.

При проведении промышленных испытаний по режимам, разработанным в лабораторных условиях, были достигнуты требуемые механические свойства. Однако для полученных результатов был характерен большой разброс получаемых значений по различным регламентируемым заказчиком параметрам физико-механических свойств.

Для улучшения процесса термообработки и получения стабильных механических свойств при термообработке труб из стали марки 30ХМА групп прочности Р, М и Л были проведены следующие исследования с их практической апробацией в промышленных условиях методом эстафетных термообработок:

1. Корректировка технических пределов химического состава стали марки 30ХМА для стабилизации получаемых значений по пределу текучести, относительному удлинению и твердости, а именно были уменьшены диапазоны допустимого содержания в стали таких элементов, как углерод и марганец.

2. Отладка режима нагрева труб под закалку:

- расчет критических точек для стали 30ХМА;
- экспериментальное варьирование температур и времени нагрева труб под закалку с целью выявления оптимального температурно-временного режима нагрева по распределению пакетов мартенсита в микроструктуре образцов и значений прокаливаемости;
- подбор оптимальной укладки труб в печь закалки.

3. Отладка процесса закалки:

- опробование различных режимов охлаждения (одно- и двухстороннего охлаждения);
- подбор точного времени охлаждения и расхода воды на внутреннее охлаждение для режима двухстороннего (внешнего и внутреннего) закалочного охлаждения;
- контроль режимов работы закалочного устройства с целью подтверждения правильности выбранного режима охлаждения (температуры труб перед и после закалки, температур и расхода охлаждающей воды, скорости вращения опорных дисков закалочного устройства, получаемой прямолинейности закаленных труб).

4. Отладка режима отпуска труб:

- экспериментальное варьирование температур и времени отпуска труб с целью выявления оптимального температурно-временного режима нагрева по распределению механических свойств не менее чем на четырех пробах, равномерно отобранных по длине трубы;
- подбор оптимальной укладки труб в печь;
- контроль времени выдачи труб из печи отпуска к правильной машине и температуры труб перед правкой.

### Выводы

Совместно с ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси» в лабораторных условиях были определены наиболее оптимальные температуры закалки и отпуска, позволяющие получить требуемый

заказчиком полный комплекс физико-механических свойств труб из стали марки 30ХМА групп прочности Р, М и Л для дальнейшего производства скважинных перфораторов, применяемых в нефтегазовой промышленности. Используя полученные результаты, а также проведя ряд исследований с их практической апробацией методом эстафетных термообработок, в настоящее время в промышленных условиях были освоены наиболее оптимальные режимы термической обработки, позволяющие получить требуемый заказчиком полный комплекс физико-механических свойств для труб из стали марки 30ХМА групп прочности Л, Р и М, используемых для дальнейшего производства скважинных перфораторов.

### ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ – МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВЫСТАВКИ И ЯРМАРКИ В 2019 ГОДУ FOUNDRY AND METALLURGY – INTERNATIONAL EXHIBITIONS AND FAIRS IN 2019

№	Наименование Title	Время и место Date & Venue	Вебсайт Website
1	IFEX – XV Международная выставка литейных технологий, оборудования и услуг IFEX – XV Intern Exhibition of Foundry Technology, Equipment Supplies and services	18–20 января, Дели, Индия Jan 18–20, Delhi, India	<a href="http://www.ifexindia.com">http://www.ifexindia.com</a>
2	Металл и металлургия Китай 2019 Metal & Metallurgy China 2019	11–16 марта, Шанхай, Китай Mar 11–16, Shanghai, China	<a href="http://www.mm-china.com/en/">http://www.mm-china.com/en/</a>
3	СВАРКА И РЕЗКА, 19-ая Международная выставка WELDING & CUTTING, XIX Intern Exhibition	9–12 апреля, Минск, Беларусь Apr 9–12, Minsk, Belarus	<a href="http://www.minskexpo.com">www.minskexpo.com</a>
4	Композит-Экспо 2019, композитные материалы, технологии и оборудование Composite-Expo 2019, Compsite materials, technologies & equipment for composite production	23–25 апреля, Москва, Россия Apr 23–25, Moscow, Russia	
5	КАСТЭКСПО 2019 CASTEXPO 2019	27–30 апреля, Атланта, США Apr 27–30, Atlanta, USA	<a href="http://www.afsinc.org/tradeshows/castexpo-2019">http://www.afsinc.org/tradeshows/castexpo-2019</a>
6	Металлургия – Литмаш 2019 Metallurgia-Litmash 2019	14–17 мая, Москва, Россия May 14–17, Moscow, Russia	<a href="http://www.litmash-russia.com_blank">http://www.litmash-russia.com_blank</a>
7	XVIII Международная Конференция литейщиков XVIII International Foundrymen Conference	15–17 мая, Сисак, Хорватия May 15–17, Sisak, Croatia	<a href="http://www.simet.hr/_foundry">http://www.simet.hr/_foundry</a>
8	20 Китайская Международная выставка литья и промышленных печей 20 <sup>th</sup> China International Die Casting, foundry and industrial furnace Exhibit	13–15 июня, Гуанчжоу, Китай June 13–15, Guangzhou China	<a href="http://www.julang.com.cn/English/yazhu/index.asp">http://www.julang.com.cn/English/yazhu/index.asp</a>
9	GIFA – 14ая Международная литейная ярмарка с техническим Форумом GIFA-14 <sup>th</sup> International foundry fair with technical Forum	25–29 июня, Дюссельдорф, Германия June 25–29, Dusseldorf, Germany	<a href="http://www.gifa.de/">http://www.gifa.de/</a>
10	Литье под давлением Китай 2019 China Diecasting 2019	17–19 июля, Шанхай, Китай July 17–19, Shanghai, China	<a href="http://www.diecastexpo.ch/en">http://www.diecastexpo.ch/en</a>
11	Мировой литейный Конгресс 2019 World Foundry Congress 2019	18–20 сентября, Порторож, Словения Sept 18–20, Portorozh, Slovenia	<a href="http://www.thewfo.com/world-foundry-congress">http://www.thewfo.com/world-foundry-congress</a>
12	Литье под давлением ЭКСПО 2019 Die Casting EXPO 2019	17–18 октября, Мехико, Мексика Oct 17–18, Mexico	<a href="http://diecastingexpo.mx/">http://diecastingexpo.mx/</a>
13	XXVII Международная Конференция «Литье и металлургия 2019. Беларусь» XXVII International Conference «Foundry & Metallurgy 2019. Belarus»	16–17 октября, Минск, Беларусь Oct 16–17, Minsk, Belarus	<a href="http://www.alimrb.by">www.alimrb.by</a>
14	РОССВАРКА 2019, 19ая Междунар выставка сварочных материалов, оборудования и технологий WELDEX-ROSSVSRKA 2019, XIX Intern Exhibition for welding materials, equipment & technologies	15–18 октября, Москва, Россия Oct 15–18, Moscow, Russia	
15	Международная выставка литья под давлением EUROGUSS 2020 International Trade Fair for Die Casting EUROGUSS 2020	14–16 января 2020 года Нюрнберг, Германия Jan 14–16, 2020 Nurenberg, Germany	<a href="http://www.euroguss.de/en">http://www.euroguss.de/en</a>