РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА В НОРМАЛИЗОВАННОМ СОСТОЯНИИ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ КЛАССА ПРОЧНОСТИ K60

*Л. В. ПРОКОПЕНКО¹, начальник прокатного отдела, l.prokopenko@uralsteel.com;
О. В. САМОХИНА¹, начальник термического отдела; Д. В. НИЖЕЛЬСКИЙ¹, главный специалист
по листопрокатному производству; А. А. ПРИДЕИН¹, начальник управления технического
сопровождения прокатного производства; С. П. ЗУБОВ¹, технический директор;
А. А. ХОЛОДНЫЙ², канд. техн. наук, начальник лаборатории Научного центра качественных сталей;
М. Ю. МАТРОСОВ², канд. техн. наук, директор Центра трубных сталей и сварных конструкций;
Ю. И. МАТРОСОВ², д-р техн. наук, главный научный сотрудник Центра трубных сталей и сварных конструкций
(¹ АО “Уральская Сталь”, Россия, Оренбургская обл., г. Новотроицк;
² ФГУП “ЦНИИчермет им. И.П. Бардина”, Россия, г. Москва)*

Аннотация. Технология изготовления соединительных деталей трубопроводов класса прочности K60 по схеме, включающей горячую штамповку, сварку и обеспечение заданного комплекса механических характеристик, путем проведения термоулучшения, применяемого на заводах по изготовлению трубодеталей, позволяет получать изделия с высокими прочностными свойствами. Тем не менее процесс термоулучшения включает трудоемкий режим закалки с последующим высоким отпуском, который значительно увеличивает цикл производственного процесса и повышает разброс свойств между изделиями внутри изготовленных партий. Кроме того, при закалке толстостенных фитингов возможно локальное изменение геометрии детали, вызванное охлаждением с различными скоростями. Рассмотрены результаты исследования влияния режимов термической обработки, имитирующей нагрев под горячую штамповку и послесварочный отпуск, при изготовлении соединительных деталей трубопроводов по технологии, исключающей закалку, на механические свойства толстолистового проката из низкоуглеродистой стали, легированной медью. Установлены температурные параметры обработки, обеспечивающие получение свойств класса прочности K60 и высокой ударной вязкости ($KCV^{-40} \geq 200$ Дж/см²) листового проката толщиной 10–50 мм. Показано, что для исследуемой стали оптимальный комплекс свойств класса прочности K60 достигается после обработки по режимам нагрева под штамповку при 830–860 °С и последующем высоком отпуске при 600 °С. Термическая обработка как листов, так и проб от листового проката толщиной 10, 16, 20, 40 и 50 мм по разработанным режимам обеспечила механические свойства класса прочности K60 и высокую сопротивляемость ударному изгибу при отрицательных температурах. Сериальные испытания на ударный изгиб проката толщиной 10 мм показали высокую хладостойкость стали: $KCV^{-50} \geq 200$ Дж/см², % В (KCV^{-50}) ≥ 90 %, $T_{50} = -55$ °С.

Ключевые слова: соединительные детали трубопроводов, толстолистовой прокат, низкоуглеродистая медесодержащая сталь, горячая штамповка, термическая обработка, температура нагрева, механические свойства, хладостойкость стали.

Ссылка для цитирования: Прокопенко Л.В., Самохина О.В., Нижельский Д.В., Придеин А.А., Зубов С.П., Холодный А.А., Матросов М.Ю., Матросов Ю.И. Разработка технологии производства листового проката для производства в нормализованном состоянии соединительных деталей трубопроводов класса прочности K60 // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 3. С. 234–241.

Doi: 10.32339/0135-5910-2020-3-234-241

ELABORATION OF A PRODUCTION TECHNOLOGY OF K60 STRENGTH CLASS FLAT ROLLED PRODUCTS FOR PIPE LINES CONNECTION DETAILS IN NORMALIZED STATE

L. V. PROKOPENKO¹, Head of Rolling Dpt., l.prokopenko@uralsteel.com; O. V. SAMOKHINA¹, Head of Thermal Dpt.; D. V. NIZHEL'SKII¹, Chief specialist on sheet rolling; A. A. PRIDEIN¹, Head of Dpt. "Technical support of rolling Production"; S. P. ZUBOV¹, Technical Director; A. A. KHOLODNYI², PhD (Tech.), Head of Lab., Res. Center of Quality Steels; M. YU. MATROSOV², PhD (Tech.), Director of Center of Pipe Steels and Welded Structures; YU. I. MATROSOV², HD (Tech.), Sen. Res. Ass., Center of Pipe Steels and Welded Structures
(¹ JSC "Ural Steel", Russia, Orenburg rgn., Novotroitsk; ² FGUP "CNIIChermet after I.P. Bardin", Russia, Moscow)

Abstract. The technology of manufacturing pipe lines connection details of K60 strength class due to a flow chart, used at plants, includes hot stamping, welding and thermal treatment to ensure the specified complex of mechanical characteristics. The technology allows obtaining the details with high strength properties. Still the process of thermal treatment includes a labor-intensive quenching operation followed by high tempering, which increases significantly the production process cycle and increases scattering of properties among the details within a manufactured batch. Besides, at the quenching of thick-walled fittings, a local change of the detail geometry can happen caused by cooling with different speeds. Results of the study of thermal treatment influence, simulating heating before hot stamping and post-welding tempering, taking place at the connection details manufacturing by a specific technology considered. This technology excludes quenching for mechanical properties of thick rolled product of low carbon steel, alloyed by copper. The temperature parameters of the treatment determined to ensure obtaining properties of K60 strength class and high impact toughness ($KCV^{-40} \geq 200 \text{ J/sm}^2$) of 10–50 mm thick flat rolled product. It was shown, that for the studied steel the optimal complex of K60 strength class properties is obtained after treatment due to heating modes before stamping at 830–860 °C, followed by a high tempering at 600 °C. The thermal treatment of both sheets and 10, 16, 20, 40 and 50 mm thick plates due to elaborated modes ensured mechanical properties of K60 strength class and high resistivity against impact bending at negative temperatures. Series of tests for impact bending of 10 mm thick plate showed a high cold-resistance of the steel, as follows: $KCV^{-50} \geq 200 \text{ J/sm}^2$, % B (KCV^{-50}) ≥ 90 %, $T_{50} = -55$ °C.

Key words: pipelines connection details, plates, low carbon copper-containing steel, hot stamping, thermal treatment, heating temperature, mechanical properties, steel cold-resistance.

For citation: Prokopenko L.V., Samokhina O.V., Nizhel'skii D.V., Pridein A.A., Zubov S.P., Kholodnyi A.A., Matrosov M.Yu., Matrosov Yu.I. Elaboration of a production technology of K60 strength class flat rolled products for pipe lines connection details in normalized state. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2020, vol. 76, no. 3, pp. 234–241. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2020-3-234-241

Соединительные детали класса прочности К60 для магистральных трубопроводов большого диаметра на отечественных предприятиях в большинстве случаев изготавливают из толстолистового проката из стали 10Г2ФБЮ, которая обычно содержит 0,08–0,12 % С, до 1,70 % Мн, около 0,06–0,10 % V и до 0,05 % Nb. Базовым документом в Российской Федерации, регламентирующим требования к соединительным деталям для нефте- и газопроводов, является СТО "Газпром" 2-4.1-713–2013 "Технические требования к трубам и соединительным деталям" [1]. Содержание химических элементов в стали для деталей номинальными диаметрами 500–1400 мм, эксплуатируемых при рабочем давлении свыше 10 МПа, не должно превышать следующих значений: 0,14 % С; 0,60 % Si; 2,0 % Мн; 0,008 % S; 0,020 % P; 0,012 % N; 0,060 % Al; 0,160 % (Ti + Nb + V). Концентрацию хрома, никеля и меди регламентируют в технических условиях и спецификациях. Значение C_s должно быть не более 0,45 %, а P_{cm} — не более 0,24 %. Требования к механическим свойствам основного металла соединительных деталей класса прочности К60 должны соответствовать следующим нормам: $\sigma_{0,5} \geq 485 \text{ Н/мм}^2$; $\sigma_b \geq 590\text{--}710 \text{ Н/мм}^2$; $\delta_5 \geq 18$ %; $\delta_p \geq 6$ %; $\psi \geq 60$ %; $\sigma_{0,5}/\sigma_b \leq 0,92$; $KCV^{-20} \geq 70 \text{ Дж/см}^2$; $KCV^{-40} \geq 70 \text{ Дж/см}^2$. Загрязненность стали неметаллическими включениями

по ГОСТ 1778 не должна превышать по среднему баллу 2,0, а по максимальному — 3,5, а величина зерна должна быть не ниже номера 8 по ГОСТ 5639.

На ряде заводов соединительные детали класса прочности К60 изготавливают по технологии, включающей горячую штамповку, сварку и закалку с последующим отпуском. Благодаря существенному повышению дисперсности структуры при закалке происходит как увеличение прочности, особенно предела текучести, так и заметное повышение хладостойкости. Отпуск после закалки способствует снятию внутренних напряжений и повышению вязкости материала. Также при термическом улучшении наиболее эффективно используются присутствующие в низколегированной стали карбонитридообразующие элементы, выделяющиеся в виде дисперсных упрочняющих частиц. Такая технология позволяет получать изделия с более высокими прочностными свойствами, но увеличивает затраты и усложняет технологию. Также могут возникнуть проблемы из-за нестабильности прочностных свойств из-за недостаточной прокаливаемости стали при большой толщине стенки. При закалке толстостенных фитингов особое внимание следует обращать на возможное локальное изменение геометрии детали, вызванное охлаждением с различными скоростями.

Учитывая ряд недостатков операции закалки перспективной является технология изготовления фитингов по схеме, включающей горячую штамповку, сварку и отпуск. Однако для традиционных сталей исключение закалки не обеспечивает уровень прочности выше класса К56. В этой связи авторами работ [2, 3] проведены исследования низкоуглеродистой стали, легированной медью в количестве 1,00–1,15 %, для соединительных деталей магистральных газонефтепроводов класса прочности К60, изготавливаемых горячей штамповкой без закалки. Экспериментально установлено, что упрочнение дисперсными частицами размерами 10–50 нм с высоким содержанием ГЦК-меди позволяет для низколегированной толстолистовой стали с углеродным эквивалентом менее 0,45 % обеспечить предел текучести не менее 500 Н/мм² после проведения горячей штамповки и отпуска после сварки. Отказ от операции закалки позволяет компенсировать некоторое увеличение стоимости легирования.

В работе [4] приведены данные исследования сталей для фитингов системы легирования Mn–Mo–Cu–V–Nb, изготавливаемых по технологии горячей штамповки с отпуском. Авторы стремились получить при нагреве под штамповку низкий предел текучести, что благоприятно для формовки, а полного упрочнения добиться проведением отпуска. Содержание химических элементов исследованных сталей находилось в следующих пределах: 0,052–0,20 % С;

0,03–0,63 % Si; 1,04–1,70 % Mn; 0,006–0,025 % S; 0,01–0,59 % Cr; 0,003–0,41 % Mo; 0,012–0,67 % Ni; 0,005–0,61 % Cu; 0,001–0,05 % Nb; 0,032–0,18 % V; 0,001–0,47 % Al; $C_s = 0,35–0,66$ %. Из проведенного исследования следует, что обеспечение уровня прочностных свойств класса прочности К60 для Mn–Mo–Cu–V–Nb-стали после горячей штамповки с отпуском возможно при C_s не менее 0,50 %.

Таким образом, низкоуглеродистая сталь, легированная медью, является перспективным материалом для производства толстолистового проката для соединительных деталей магистральных газопроводов класса прочности К60, изготавливаемых по технологии горячей штамповки, исключая закалку. Для получения оптимального комплекса свойств стали К60 необходимо дополнительное изучение влияния термической обработки при нагреве под формовку и при отпуске на характеристики прочности, пластичности и вязкости стали.

Цель исследования — изучение влияния режимов термической обработки, имитирующей нагрев под горячую штамповку и послесварочный отпуск при изготовлении соединительных деталей магистральных трубопроводов по технологии, исключая закалку, на механические свойства толстолистового проката из низкоуглеродистой медесодержащей стали и определение оптимальных температурных режимов ее обработки для обеспечения свойств класса прочности К60 и высокой хладостойкости.

Материалы и методы исследования

Исследовали листовой прокат толщиной 10, 16, 20, 40 и 50 мм из опытной стали, имеющей низкое содержание углерода, марганца и кремния (0,06 % С; 0,65 % Mn, 0,20 % Si) и высокую чистоту по вредным примесям и газам (0,002 % S; 0,008 % P; 0,005 % As; 0,003 % Sn; 0,002 % Sb; 0,005 % B; 0,006 % N₂; 0,0002 % H₂). Легирование стали осуществляли 1,40 % Cu и добавками Cr + Ni + Mo в сумме до 1,0 %, а микролегирование — до 0,050 % (Ti + Nb). Показатели свариваемости стали были на низком уровне ($C_s = 0,38$ %, $P_{cm} = 0,21$ %). По сравнению со сталью, приведенной в патенте [5], химический состав разработанной стали не имел ванадия и содержал меньшую концентрацию марганца при большей массовой доле меди и дополнительной добавке молибдена.

Выплавку, внепечную обработку и непрерывную разливку в слэбы из опытной стали проводили в электросталеплавильном цехе АО «Уральская Сталь». Заготовки прокатывали на толстолистовом двухклетевом реверсивном стане 2800 по технологии термомеханической обработки (ТМО) с последующим ускоренным охлаждением раскатов из аустенитной области

до температур в пределах 515–630 °С с интенсивностью 8–20 °С/с.

Термическую обработку проб проката проводили в лабораторных печах по режимам, имитирующим нагрев под штамповку при 830, 860, 890 и 920 °С и отпуск при 500, 550, 600 и 650 °С с последующим охлаждением на воздухе. Продолжительность выдержки металла при заданных температурах нагрева варьировали в интервале 1–5 мин/мм.

Механические свойства при испытании на растяжение определяли на плоских поперечных образцах (тип II по ГОСТ 1497), а при испытании на ударный изгиб на образцах Шарпи (тип 11 по ГОСТ 9454) при температурах от +20 до –70 °С. Микроструктуру изучали методом световой микроскопии после травления полированных шлифов в 4 %-ном растворе азотной кислоты в спирте. Величину зерна структуры определяли по ГОСТ 5639, а полосчатость — по ГОСТ 5640.

Сталь имела высокую чистоту по неметаллическим включениям: при оценке по ГОСТ 1778 загрязненность стали сульфидами, оксидами строчечными, силикатами пластичными и нитридами соответствовала баллу 0, оксидами точечными — 0,5 балла, силикатами хрупкими — в

среднем 0,5 балла, а по максимальному — 1,5 балла, силикатами недеформирующимися —

в среднем 1,8 балла, а по максимальному — 3,0 балла.

Результаты исследований и их обсуждение

Для оценки изменений механических свойств разработанной стали при нагреве под горячую штамповку провели исследование проб листового проката толщиной 10 мм, подвергнутых после ТМО нагреву до температур в интервале 830–920 °С при выдержке 2 мин/мм. Листы в состоянии после ТМО имели уровень механических свойств, соответствующий классу прочности К60 (табл. 1). Нагрев до температуры 830 °С

привел к существенному снижению прочностных свойств и отношения σ_T/σ_B при одновременном увеличении относительного удлинения и ударной вязкости. Повышение температуры нагрева до 860–920 °С способствовало дальнейшему снижению прочности и отношения σ_T/σ_B . При увеличении нагрева до 890–920 °С происходит снижение вязкостных свойств по сравнению со значениями после нагрева до 830–860 °С.

ТАБЛИЦА 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОБ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ТОЛЩИНОЙ 10 мм ПОСЛЕ ТМО И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА ДО РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР (СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ)

TABLE 1. MECHANICAL PROPERTIES OF SAMPLES OF 10 mm THICK PLATE AFTER THERMAL AND MECHANICAL TREATMENT AND ADDITIONAL HEATING UP TO VARIOUS TEMPERATURES (AVERAGE VALUE)

Режим обработки	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	δ_{10} , %	ψ , %	σ_T/σ_B	KCV, Дж/см ²		% В (KCV), %	
							–20 °С	–40 °С	–20 °С	–40 °С
ТМО	493	625	24,3	12,5	64,5	0,79	310	281	87	73
ТМО + нагрев до 830 °С	385	545	31,8	12,8	64,3	0,71	383	391	84	97
ТМО + нагрев до 860 °С	353	535	31,5	18,8	66,8	0,66	383	391	100	100
ТМО + нагрев до 890 °С	335	530	31,3	15,3	62,0	0,63	283	254	58	73
ТМО + нагрев до 920 °С	350	530	28,5	14,8	66,5	0,66	276	173	62	50

Микроструктура проката после ТМО представляет собой дисперсную феррито-бейнитную смесь, состоящую из матрицы квазиполигонального феррита реечной и гранулярной морфологии с незначительным количеством (до 1–2 %) равномерно распределенного высокоуглеродистого бейнита (рис. 1, а). Средняя величина зерна феррита соответствует номеру 11, а поллосчатость — баллу 0. Нагрев до 860 °С привел к формированию феррито-перлитной микроструктуры, состоящей из равноосного полигонального феррита, размер которого увеличился до номера 9, и около 7–8 % пластинчатого перлита (см. рис. 1, б).

Рис. 1. Микроструктура листового проката толщиной 10 мм в состоянии после ТМО (а) и дополнительного нагрева под штамповку до 860 °С (б)

Fig. 1. Microstructure of 10 mm plate after thermal and mechanical treatment (a) and additional heating before stamping up to 860 °C (b)

С целью определения влияния температуры отпуска после различных режимов нагрева под горячую штамповку на механические свойства опытной стали провели исследование проката толщиной 10 мм, обработанного при температурах нагрева 830, 860, 890 и 920 °С с последующим отпуском при 500, 550, 600 и 650 °С при удельном времени выдержки 2 мин/мм (рис. 2 и 3). При повышении температуры отпуска от 500 до 600 °С происходит интенсивный рост прочностных свойств: в среднем предел текучести увеличился на 118 Н/мм², а временное сопротивление — на 100 Н/мм². Дальнейшее повышение температуры отпуска до 650 °С привело к снижению предела текучести и временного сопротивления в среднем на 53 и 90 Н/мм² соответственно. Относительное и равномерное удлинения находились на высоком уровне при всех исследуемых режимах отпуска. Можно отметить тенденцию к снижению значений δ_5 и δ_{10} при повышении температуры отпуска от 500 до 550 °С и от 600 до 650 °С, а также к их увеличению при повышении температуры отпуска от 550 до 600 °С. Повышение температуры отпуска в исследуемом интервале привело к увеличению среднего значения отношения σ_T/σ_B на 0,10, от 0,70–0,79 (в среднем 0,75) до 0,84–0,87 (в среднем 0,85). Ударная вязкость и доля вязкой составляющей в изломе образцов Шарпи после отпуска при температурах 550 и 600 °С была значительно ниже по сравнению со значениями при отпуске 500 и 650 °С.

Рис. 2. Влияние температуры отпуска на механические свойства листового проката толщиной 10 мм, обработанного по различным режимам нагрева под штамповку

Fig. 2. Influence of tempering temperature on mechanical properties of 10 mm plate, at its impact bending test

Рис. 3. Влияние температуры отпуска на свойства при испытании на ударный изгиб листового проката толщиной 10 мм, обработанного по различным режимам нагрева под штамповку

Fig. 3. Influence of tempering temperature on properties of 10 mm plate, treated due to various heating modes before stamping, at its impact bending test

При увеличении температуры нагрева под штамповку от 830 до 890 °С при всех исследованных режимах отпуска происходит снижение σ_T , σ_B и отношения σ_T/σ_B , а дальнейшее повыше-

ние температуры нагрева до 920 °С, напротив, способствует их росту. Одновременно с этим повышение температуры нагрева от 830 до 920 °С приводит к снижению относительного удлинения

стали в среднем на 2–4 %, ударной вязкости и доли вязкой составляющей в изломе образцов Шарпи. Наиболее значительное снижение свойств при испытании на ударный изгиб происходит при нагреве до 920 °С.

Существенного влияния продолжительности выдержки металла в интервале от 1 до 5 мин/мм (нагрев под штамповку при 860 °С и отпуск при 600 °С) на механические свойства проката не выявлено, что свидетельствует о широком технологическом окне проведения термической обработки опытной стали.

Из проведенного исследования можно сделать заключение, что для исследуемой стали оп-

тимальный комплекс свойств класса прочности К60 достигается после обработки по режимам нагрева под штамповку при 830–860 °С и последующем отпуске при 600 °С. Термическая обработка проб листового проката толщиной 10, 16, 20, 40 и 50 мм по разработанным режимам обеспечила механические свойства класса прочности К60 и высокую сопротивляемость ударному изгибу при отрицательных температурах (табл. 2). Серийные испытания на ударный изгиб проката толщиной 10 мм показали высокую хладостойкость стали: $KCV^{-50} \geq 200$ Дж/см², % В (KCV^{-50}) ≥ 90 %, $T_{50} = -55$ °С (рис. 4).

ТАБЛИЦА 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ТОЛЩИНОЙ 10–50 мм ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПО РАЗРАБОТАННЫМ РЕЖИМАМ (СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ)

TABLE 2. MECHANICAL PROPERTIES OF 10–50 mm THICK PLATES AFTER THERMAL TREATMENT DUE TO ELABORATED MODES (AVERAGE VALUE)

Толщина листа, мм	σ_t , Н/мм ²	σ_b , Н/мм ²	δ_5 , %	δ_p , %	ψ , %	σ_t/σ_b	KCV, Дж/см ²		% В (KCV), %	
							–20 °С	–40 °С	–20 °С	–40 °С
10	540	650	26,4	13,9	62,0	0,83	357	295	97	84
16	545	640	24,0	12,8	65,7	0,85	346	200	100	67
20	530	615	23,4	9,5	64,1	0,86	368	338	100	100
40	512	636	23,2	7,5	66,5	0,80	268	204	89	61
50	530	640	22,0	6,0	68,0	0,83	300	290	98	97

Рис. 4. Зависимость ударной вязкости и доли вязкой составляющей в изломе образцов Шарпи от температуры испытания проката толщиной 10 мм после термической обработки по разработанным режимам

Fig. 4. Dependence of impact toughness of tough component share in Charpy samples fracture on test temperature of 10 mm thick plate after thermal treatment due to elaborated modes

Закключение

Изучено влияние режимов термической обработки, имитирующей нагрев под горячую штамповку и послесварочный отпуск при изготовлении соединительных деталей магистральных трубопроводов по технологии, исключающей закалку, на механические свойства толстолистового проката из низкоуглеродистой стали, легированной медью (1,40 % Cu, C₃ = 0,38 %; P_{ст} = 0,21 %). Установлены режимы термической обработки для получения свойств опытной стали уровня класса

прочности K60: нагрев под штамповку при 830–860 °С и последующий отпуск при 600 °С. Термическая обработка проб листового проката толщиной 10–50 мм по разработанным режимам обеспечила заданные механические свойства класса прочности K60 ($\sigma_T \geq 512$ Н/мм²; $\sigma_B \geq 615$ Н/мм²; $\delta_5 \geq 22$ %; $\delta_p \geq 6$ %; $\psi \geq 62$ %; $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,86$) и высокую ударную вязкость ($KCV^{-20} \geq 268$ Дж/см²; $KCV^{-40} \geq 200$ Дж/см²) стали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стандарт организации ОАО “Газпром” 2-4.1-713–2013 “Технические требования к трубам и соединительным деталям”. — М., 2014. — 147 с.
2. Матросов М.Ю., Мартынов П.Г., Кичкина А.А. и др. Разработка низкоуглеродистой медесодержащей стали для соединительных деталей магистральных трубопроводов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2017. № 1. С. 63–69.
3. Матросов М.Ю., Мартынов П.Г., Кичкина А.А. и др. Разработка низкоуглеродистой стали, легированной медью, для соединительных деталей магистральных газонефтепроводов (фитингов), изготавливаемых горячей штамповкой // Металлург. 2016. № 4. С. 64–71.
4. Рэндерсон К., Мартин И.У., Чэпмен Дж.А., Смит Ж.К. Разработка улучшаемой стали для фитингов / Пер. с англ.; под ред. А.В. Рудченко // Сталь для газопроводных труб и фитингов: труды конф. — М.: Металлургия, 1985. — 480 с.
5. Пат. 2649110 РФ, МПК С 22/00. Толстый лист из дисперсионно-твердеющей стали для горячей штамповки и способ его получения / М.Ю. Матросов, П.Г. Мартынов, В.В. Михеев, О.Н. Сычев, М.С. Сахаров, А.М. Корчагин // Заявл. 26.04.2017; опубл. 29.03.2018. Бюл. № 10.

Поступила 23 декабря 2019 г.

REFERENCES

1. *Standart organizatsii OAO “Gazprom” 2-4.1-713–2013 “Tekhnicheskie trebovaniya k trubam i soedinitel'nyy detalyam”* [Standard of OJSC “Gazprom” 2-4.1-713–2013 “Technical requirements to pipes and connection details”]. Moscow, 2014, 147 p. (In Russ.).
2. Matrosov M.Yu., Martynov P.G., Kichkina A.A. etc. Elaboration a low carbon copper-containing steel for connection details of pipelines. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnikeskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2017, no. 1, pp. 63–69. (In Russ.).
3. Matrosov M.Yu., Martynov P.G., Kichkina A.A., Talanov O.P., Korchagin A.M., Sychev O.N., Mikheev V.V. Elaboration a low carbon copper-containing steel for connection details of gas and oil pipelines (fittings), manufactured by hot stamping. *Metallurg*, 2016, no. 4, pp. 64–71. (In Russ.).
4. Renderson K., Martin I.U., Chepmen Dzh.A., Smit Zh.K. *Razrabotka uluchshaemoi stali dlya fitingov* [Elaboration of improved steel for fittings]. *Stali dlya gazoprovodnykh trub i fitingov: trudy konf.* [Steel for gaspipes and fittings: proc. conf.]. Rudchenko A.V. ed. Moscow: Metallurgiya, 1985, 480 p. (In Russ.).
5. Matrosov M.Yu., Martynov P.G., Mikheev V.V. etc. *Tolsty list iz dispersionno-tverdeyushchei stali dlya goryachei shtampovki i sposob ego polucheniya* [Plates of dispersion-hardening steel for hot stamping and methods of their production]. Patent RF no. 2649110. *Byulleten' izobretenii*, 2018, no. 10. (In Russ.).

Received December 23, 2019