



ОСОБЕННОСТИ ЛИТЬЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ МАРКИ 12Х18Н9ТЛ

Рамазанов А.К.¹, Ганеев А.А.²

¹АО «Благовещенский арматурный завод», Благовещенск, Россия

²Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

Аннотация. **Постановка задачи (актуальность работы):** в статью рассматриваются особенности литья корпусных деталей трубопроводной арматуры из коррозионностойкой стали марки 12Х18Н9ТЛ. Перечислены основные недостатки литейной стали и часто образуемые на отливках корпусных деталей дефекты. Отмечено, что высокий уровень дефектности приходится на отливки из нержавеющей стали. **Цель работы** – показать основные проблемы литья корпусных деталей из стали 12Х18Н9ТЛ и определить пути повышения их качества. **Новизна:** рассмотрено влияние химического состава и технологических параметров производства стали на качество и свойства отливок корпусных деталей трубопроводной арматуры. Отмечено, что важную роль в формировании качества и свойств стальных отливок оказывает химический состав. Рассмотрены факторы, влияющие на жидкотекучесть стали. **Результат:** построена графическая диаграмма зависимости усвоения титана в сталеразливочном ковше от температуры стали. Построены графические диаграммы зависимости влияния титана и алюминия на пластические характеристики стали. Представлены результаты влияния температуры перегрева стали на качество отливок. **Практическая значимость:** полученные результаты могут быть рекомендованы предприятиям, занятым производством фасонного литья из аустенитной коррозионностойкой стали марки 12Х18Н9ТЛ.

Ключевые слова: трубопроводная арматура, коррозионностойкая сталь, аустенитная структура, жидкотекучесть, температура перегрева, отливка.

© Рамазанов А.К., Ганеев А.А., 2020

Для цитирования

Рамазанов А.К., Ганеев А.А. Особенности литья корпусных деталей трубопроводной арматуры из коррозионностойкой стали марки 12Х18Н9ТЛ // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т. 18. №2. С. 22–29. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-2-22-29>



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

FEATURES OF CASTING PIPELINE VALVE BODY PARTS MADE OF CORROSION-RESISTANT STEEL 12KH18N9TL

Azat K. Ramazanov¹, Almir A. Ganeev²

¹JSC Blagoveshchensk Valves Plant, Blagoveshchensk, Republic of Bashkortostan, Russia

²Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance): The paper deals with features of casting pipeline valve body parts made of corrosion-resistant steel 12Kh18N9TL. It lists main disadvantages of mold steel and the defects often detected in body part castings. A high level of defects is stated to be attributed to stainless steel castings. **Objectives:** The objectives of the paper is to show main problems of body part castings made of 12Kh18N9TL steel and determine ways to improve their quality. **Originality:** The authors studied how a chemical composition and the steel production process parameters influenced the quality and the properties of pipeline valve body part castings. The chemical composition is stated to play an important role in forming the quality and the properties of steel castings. The paper describes the factors influencing the fluidity of steel. **Findings:** As a result, the authors plotted the graphical diagrams showing dependencies between the titanium recovery in a ladle and steel temperature, between ductile properties of steel and the concentration of titanium, aluminum and the ferrite phase, and between the quality of castings and steel overheat temperature. **Practical Relevance:** The obtained results may be recommended to the enterprises engaged in the production of shaped castings made of austenitic corrosion-resistant steel 12Kh18N9TL.

Keywords: pipeline valves, corrosion-resistant steel, austenitic structure, fluidity, overheat temperature, casting.

For citation

Ramazanov A.K., Ganeev A.A. Features of Casting Pipeline Valve Body Parts Made of Corrosion-Resistant Steel 12KH18N9TL. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020, vol. 18, no. 2, pp. 22–29. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-2-22-29>

Введение

С развитием нефтеперерабатывающей промышленности, обусловленным внедрением новых высокотемпературных технологических процессов и технологий, повышаются и приближаются к критическим значениям технологические параметры (температура, давление и др.), необходимые для увеличения глубины переработки нефти. Вследствие этого повышаются требования к нефтеаппаратуре технологических линий, надежность работы которых во многом зависит от качества и эксплуатационных характеристик промышленной трубопроводной арматуры, внутри которой протекает транспортируемая среда, в частности корпусных деталей. В связи с этим возникла потребность в повышении надежности и долговечности корпусных деталей трубопроводной арматуры.

Материал и методы исследования

Одним из основных материалов для отливок нефтеаппаратуры, работающей при высокой температуре, давлении и агрессивной среды, является коррозионностойкая сталь аустенитного класса марки 12X18N9TL.

Данная сталь имеет относительно высокие механические свойства и удовлетворительную

стойкость в окислительных средах, высокую стойкость к растворам органических кислот – уксусной, лимонной, муравьиной, азотной (при различной концентрации и температуры), а также в щелочах КОН, NaOH [1].

Однако сталь 12X18N9TL характеризуется неоднородностью структуры, склонностью к межкристаллитной коррозии, низкой трещиностойчивостью. Кроме того, эта сталь склонна к пленообразованию, пористости, усадочным раковинам, содержанию неметаллических включений, что объясняется ее относительно низкими литейными свойствами. Поэтому в процессе производства отливок существуют проблемы, связанные с образованием на них различных литейных дефектов, встречающихся реже в углеродистых сталях (газовая и усадочная раковина, пористость, трещина, пригар, спай, неметаллические включения), нарушающих сплошность стали и существенно снижающих уровень механических и эксплуатационных свойств деталей.

На **рис. 1** приведен сравнительный анализ процента окончательного брака отливок из нержавеющей и углеродистой марки сталей, который показывает, что высокий уровень дефектности приходится на отливки из нержавеющей стали.

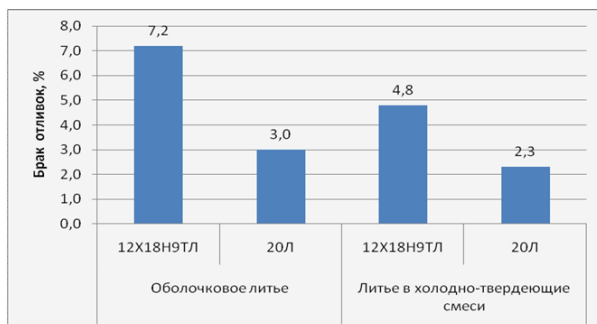


Рис. 1. Процент брака отливок (отливки как из нержавеющей, так и из углеродистой стали, производились одной номенклатуры для литья в оболочковые формы и литья в холодно-твердеющие смеси)

Fig. 1. Rejection rate of castings (both stainless steel and carbon steel castings were produced in a single range of items to be cast in shell molds and cold-hardening mixtures)

Таким образом, проблема получения высококачественных отливок корпусных деталей трубопроводной арматуры из стали 12X18H9TЛ продолжает оставаться актуальной.

Отливки трубопроводной арматуры относятся к группе особо ответственного назначения, основные контролируемые показатели качества которых – это внешний вид, размеры, химический состав, механические свойства (предел текучести или временное сопротивление, относительное удлинение и ударная вязкость, твердость), стойкость против межкристаллитной коррозии и др. [2].

Получение бездефектной, качественной литой детали заданной конфигурации различными способами литья при регламентированных механических и эксплуатационных свойствах, а также чистоте поверхности определяются литейными свойствами стали: жидкотекучесть, усадка, склонность к поглощению газов и образованию неметаллических включений, особенности строения первичной и вторичной кристаллизации, трещиностойкость, образование литейных напряжений, склонность к ликвации [3].

Важнейшим литейным свойством стали 12X18H9TЛ является жидкотекучесть, на которое значительное влияние оказывают содержание титана, хрома и алюминия, способствующие к образованию тугоплавких и плотных окисных плен типа TiO, Al₂O₃, Cr₂O₃. Окисные пленки понижают герметичность стали, что приводит к снижению эксплуатационных и механических

свойств корпусных деталей трубопроводной арматуры, работающих под давлением. Кроме того, пленки уменьшают текучесть расплава и являются причиной образования таких дефектов, как «спай» и «недолив».

Помимо окисных плен, наличие в нержавеющей стали повышенной концентрации титана, алюминия и хрома ведет к увеличению загрязненности стали неметаллическими включениями типа TiN, AlN, TiS, TiO, Al₂O₃, Cr₂O₃.

На рис. 2 представлены результаты металлографического исследования образца на растяжение из стали 12X18H9TЛ, полученные при помощи оптического микроскопа Axio Observer.D1m, оснащенного анализатором изображения Thixomet.

В таблице представлен анализ химического состава неметаллических включений в точках 1–5 (рис. 2,а), выполненный с использованием растрового электронного микроскопа Ultra 55, оборудованного энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450X-xMAX. Повышенное содержание кислорода, азота, серы, титана и алюминия характерно образованию неметаллических включений типа TiN, AlN, TiS. Неметаллические включения располагаются преимущественно по границам аустенитных зерен в виде цепочек и плен и являются концентраторами напряжений, вызывающих локальное разрушение, снижающее механические свойства: предел прочности, пластические характеристики и ударную вязкость.

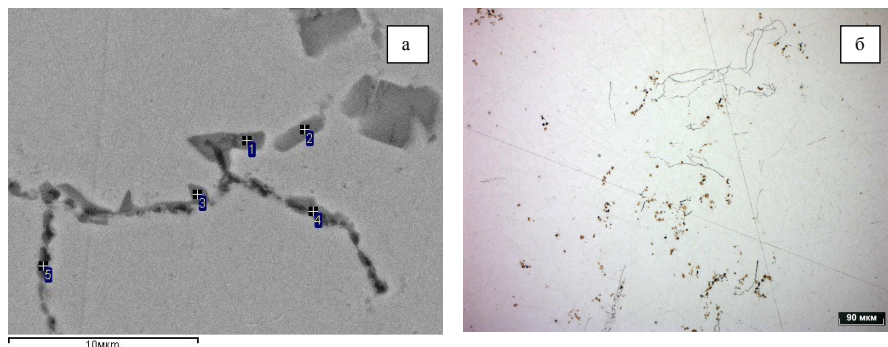


Рис. 2. Металлографическое исследование образца (химический состав: C=0,05%; Si=0,62%; Mn=1,02%; P=0,020%; S=0,006%; Cr=19,1%; Ni=9,16%; Ti=0,50%; Al=0,27%; Cu=0,10%)

Fig. 2. Metallographic test of the sample (chemical composition: C=0.05%; Si=0.62%; Mn=1.02%; P=0.020%; S=0.006%; Cr=19.1%; Ni=9.16%; Ti=0.50%; Al=0.27%; Cu=0.10%)

Химический состав в точках 1–5 образца плавки №1 / Chemical composition in points 1–5 of the sample of heat No.1

Номер спектра	Содержание элементов, масс. %								
	Fe	O	N	Mn	S	Cr	Ni	Ti	Al
1	22,13	-	13,70	-	-	8,09	2,12	53,97	-
2	30,62	-	17,02	0,97	-	10,28	3,57	37,54	-
3	34,98	-	-	-	11,93	14,09	2,64	35,71	0,64
4	28,38	11,54	8,52	0,96	-	8,77	3,26	34,10	4,46
5	35,79	14,77	-	1,16	-	11,44	4,06	14,62	18,17

Решающее влияние на жидкотекучесть нержавеющей стали оказывает перегрев расплава над температурой ликвидуса. Разливка стали с высоким перегревом повышает ее жидкотекучесть и улучшает заполняемость формы путем снижения вязкости расплава, препятствующей процессу образования окисных плен. Согласно [4], рекомендуемый перегрев стали над температурой ликвидуса, с учетом падения температуры металла при выпуске в сталеразливочный ковш емкостью 5 т, должен составлять 110–150°C. Вместе с тем повышенный перегрев создает условия для образования на отливках таких дефектов, как усадочные и газовые раковины, трещины и других, ухудшающих качество отливки.

На рис. 3–4 приведено качество поверхности отливок, залитых в оболочковые формы (по krongen – процессу) и холодно-твердеющие смеси (по α -сет процессу). Формы заливались из стопорного сталеразливочного ковша вместимостью 5 т. Выплавка стали производилась в дуговой сталеплавильной печи с основной футеровкой емкостью 3 т.



Рис. 3. Качество поверхности отливки корпуса клиновой задвижки, залитой в оболочковые формы (химический состав: C=0,04%; Si=1,08%; Mn=1,26%; P=0,015%; S=0,007%; Cr=16,93%; Ni=8,39%; Ti=0,24%; Al=0,08%; Cu=0,12%). Температура расплава в ковше 1598°C, перегрев над температурой ликвидуса 139°C. Масса отливки 26 кг

Fig. 3. Surface quality of the wedge gate valve body cast in shell molds (chemical composition: C=0.04%; Si=1.08%; Mn=1.26%; P=0.015%; S=0.007%; Cr=16.93%; Ni=8.39%; Ti=0.24%; Al=0.08%; Cu=0.12%). Molten steel temperature in the ladle is 1598°C, superheating above liquidus temperature is 139°C. Casting weight is 26 kg

Относительно высокий перегрев над температурой ликвидуса в 139°C , а также низкое содержание титана (0,24%), хрома (16,93%) и алюминия (0,08%) способствовали улучшению жидкотекучести расплава, залитого в оболочковые формы, о чем свидетельствуют образовавшиеся заливы металла по линии разъема формы толщиной 1 мм. Однако такой перегрев способствовал проявлению на поверхности отливки (в местах тепловых узлов) дефекта «газовые раковины» (см. **рис. 3**). Увеличение перегрева расплава сверх 139°C будет способствовать развитию литейных дефектов, что ухудшит качество отливок корпусных деталей. Поэтому оптимальным перегревом расплава для получения отливок, залитых в оболочковые формы, является $110\text{--}139^{\circ}\text{C}$.



Рис. 4. Качество поверхности отливки корпуса клиновой задвижки, залитой в форму по α -сет процессу (химический состав: $\text{C}=0,08\%$; $\text{Si}=0,84\%$; $\text{Mn}=1,38\%$; $\text{P}=0,025\%$; $\text{S}=0,007\%$; $\text{Cr}=18,35\%$; $\text{Ni}=8,14\%$; $\text{Ti}=0,7\%$; $\text{Al}=0,36\%$; $\text{Cu}=0,14\%$). Температура расплава в ковше 1588°C , перегрев над температурой ликвидуса 139°C . Масса отливки 100 кг

Fig. 4. Surface quality of the wedge gate valve body cast in the mold according to the α -set process (chemical composition: $\text{C}=0,08\%$; $\text{Si}=0,84\%$; $\text{Mn}=1,38\%$; $\text{P}=0,025\%$; $\text{S}=0,007\%$; $\text{Cr}=18,35\%$; $\text{Ni}=8,14\%$; $\text{Ti}=0,7\%$; $\text{Al}=0,36\%$; $\text{Cu}=0,14\%$). Molten steel temperature in the ladle is 1588°C , superheating above liquidus temperature is 139°C . Cast-ing weight is 100 kg

С ростом содержания в составе стали титана (до 0,7%), хрома (до 18,35%) и алюминия (до 0,36%), при таком же перегреве в 139°C , ухудшаются ее жидкотекучесть и заполняемость формы из холодно-твердеющие смеси, о чем свидетельствует образовавшийся на поверхности отливки дефект «спай» (см. **рис. 4**). Уменьшение перегрева расплава менее 139°C будет способствовать развитию дефекта «спай» и «недолив», что приведет к возникновению неисправимого брака отливок корпусных деталей. Поэтому оп-

тимальным перегревом расплава для получения отливок, залитых в формы из холодно-твердеющие смеси, является $139\text{--}150^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, снижение в составе нержавеющей аустенитной стали содержания титана, хрома и алюминия, до допустимого предела по ГОСТ 977-88, а также контроль перегрева расплава над температурой ликвидуса позволяют значительно повысить жидкотекучесть расплава, уменьшить количество неметаллических включений и получить качественную поверхность отливки.

Необходимо отметить, что получение качественной литой детали по химическому составу и механическим свойствам во многом зависит от способа получения самой стали, свойства которой связаны со структурой и ее составом.

Производство стали 12X18H9ТЛ в дуговых печах с основной футеровкой, без электромагнитного перемешивания, не позволяет получить стабильный химический состав. Окончательный химический состав ковшевых проб, взятых в начале, середине и конце разливки, зачастую имеет высокий разброс концентраций химических элементов. Это связано с тем, что у некоторых элементов низкий коэффициент распределения в стали, являющийся одним из важнейших факторов, определяющих развитие ликвиации [3].

На **рис. 5** приведены гистограммы значений критерия растворимости элементов в твердой фазе (кристаллизация Fe_α) и коэффициента распределения элементов в жидкой фазе (кристаллизация Fe_β) железа. Из всех элементов, вводимых в сталь для придания ей специальных свойств, наименьшие предельную растворимость и коэффициент распределения имеет титан. Данные для построения гистограмм взяты из [5].

На **рис. 6** приведена зависимость усвоения в сталеразливочном ковше титана от температуры стали, из которой следует, что с повышением температуры стали увеличивается процент усвоения титана.

Необходимо также отметить, что титан и алюминий оказывают отрицательное влияние на пластические характеристики стали 12X18H9ТЛ.

На **рис. 7** и **8** приведены зависимости относительного удлинения стали от содержания в ней титана и алюминия, из которых следует, что с увеличением содержания в стали титана и алюминия снижается относительное удлинение.

Кроме того, титан и хром, являясь феррито-образующими элементами, способствуют превращению аустенитной структуры стали в аустенитно-ферритную. Исследование, проведенное на образцах-свидетелях различных пла-

вок из стали 12X18H9ТЛ (после термообработки) при помощи магнитного ферритометра МФ-51НЦ, показывает, что содержание ферритной фазы в структуре стали может превышать 20%. Образовавшаяся ферритная фаза вызывает не-

значительное уменьшение пластичности стали и резко понижает предел ползучести путем образования интерметаллида хрома – σ -фазы [6], недопустимой для работы при высоких температурах.

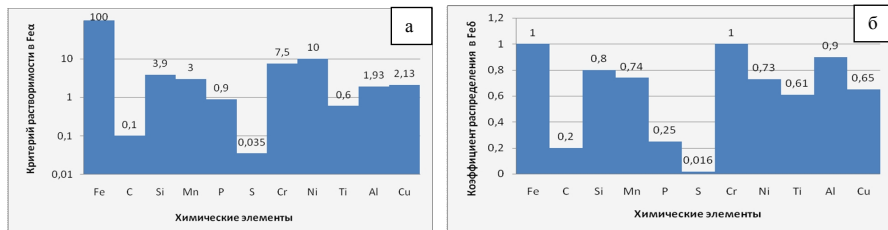


Рис. 5. Гистограммы значений растворимости (а) и распределения (б) элементов в твердой и жидких фазах железа
Fig. 5. Histograms of solubility (a) and distribution (b) values of the elements in solid and liquid phases of iron



Рис. 6. Влияние температуры стали в ковше на усвоение титана (за усвоение принято относительное отклонение между минимальным и максимальным значениями концентрации титана, полученными в ковшевых пробах). Цифры указывают количество плавов
Fig. 6. Influence of temperature of steel in the ladle on the titanium recovery (the recovery is deemed to be a relative deviation between minimum and maximum titanium concentration values obtained in ladle samples). The figures show the number of heats

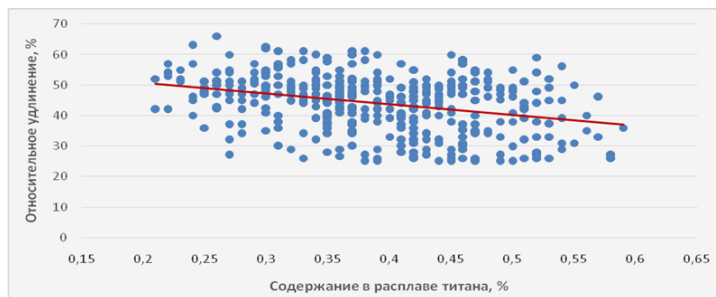


Рис. 7. Зависимость относительного удлинения стали 12X18H9ТЛ от титана
Fig. 7. Dependence between relative elongation of steel 12Kh18N9TL and titanium

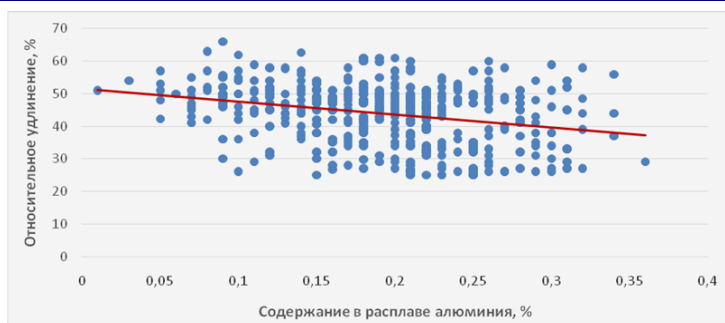


Рис. 8. Зависимость относительного удлинения стали 12X18H9TЛ от алюминия
Fig. 8. Dependence of relative elongation of steel 12Kh18H9TЛ and aluminum

Известно, что однофазное аустенитное строение стали в отливке желательно во всех случаях. Оно обеспечивает более высокую антикоррозионную стойкость и лучшую пластичность, чем двухфазное строение. Поэтому снижение содержания титана, хрома и алюминия, а также повышение усвоения в расплаве титана, несомненно, позволит повысить стабильность химического состава и свойства стали 12X18H9TЛ, что обеспечит получение отливки высокого качества.

Таким образом, особенностью стали 12X18H9TЛ является то обстоятельство, что изменение содержания элементов в пределах ГОСТ, а также перегрев над температурой литья оказывают отрицательное влияние на качество отливок и их свойства.

Заключение

Рассмотренные особенности литья отливок корпусных деталей трубопроводной арматуры из стали 12X18H9TЛ подтверждают сложность и дороговизну процесса их производства. Проведение комплекса работ по оптимизации химического состава стали 12X18H9TЛ с целью снижения в ее составе концентрации содержания титана, хрома и алюминия, а также ферритной фазы без существенного изменения механических свойств стали, требуемых по ГОСТ 977-88, позволит получить отливку высокого качества.

Для производства высококачественных отливок корпусных деталей трубопроводной арматуры, отвечающих современным требованиям, необходимо дальнейшее совершенствование состава стали.

Список литературы

1. Ульянов Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы: справ. изд. М.: Металлургия, 1991. 256 с.
2. СТ ЦКБА 014-2004. «Арматура трубопроводная. Отливки стальные. Общие технические условия / ЗАО «НПФ «ЦКБА». 2004. 24 с.
3. Воздвиженский В.М. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении: учеб. пособие для машиностроительных вузов по специальности «Машины и технология литейного производства». М.: Машиностроение, 1984. 432 с.
4. Козлов Л.Я. Производство стальных отливок: учебник для вузов / Колокольников В.М., Вдовин К.Н. и др.; под ред. Л.Я. Козлова. М.: МИСиС, 2003. 352 с.
5. Гуляев Б.Б. Синтез сплавов (Основные принципы. Выбор компонентов). М.: Металлургия, 1984. 160 с.
6. Суханов В.П. Переработка нефти: учебник для средних проф.-техн. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1979. 325 с.
7. Оюунцэцэг Ц., Батмунх Б., Мунхтуяа Ц. Исследование свойств литейных нержавеющих сталей // Материалы VI Международной конференции «Проблемы механики современных машин» / М-во образования и науки Российской Федерации, Уханьский текстильный ун-т (КНР). Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2015. Т.2. С.242–248.
8. Исследование литейных свойств супердуплексной и серийной аустенитной стали, разработка технологии и изготовление опытных отливок корпусов арматуры / Тумакова Н.С., Тихонов В.П., Смирнов А.С., Самохвалов С.Г., Большаков А.А., Назаров В.Г., Леушин И.О. // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, 2015. № 2(109). С.242–252.

References

1. Ulyanin E.A. *Korroziionnostoikie stali i splavy: Sprav. izd.* [Corrosion-resistant steels and alloys: Reference book]. Moscow: Metallurgy, 1991, 256 p. (In Russ.)
2. Standard ST TsKBA 014-2004 Pipeline valves. Steel castings. General technical specifications. CJSC NPF TsKBA, 2004, 24 p.
3. Vozdvizhenskiy V.M., Grachev V.A., Spassky V.V. *Liteinye splavy i tekhnologiya ikh plavki v mashinostroenii: Ucheb. posobie dlya mashinostroitelnykh vuzov po spetsialnosti «Mashiny i tekhnologiya liteinogo proizvodstva»* [Foundry alloys and technology of their melting in mechanical engineering: Study guide for mechanical engineering universities majoring in machines and technology of foundry]. Moscow: Mechanical engineering, 1984, 432 p., illus. (In Russ.)
4. Kozlov L.Ya., Kolokoltsev V.M., Vdovin K.N. et al. *Proizvodstvo stalnykh otlivok: Uchebnik dlya vuzov* [Production of steel castings: Textbook for universities]. Moscow: MISIS, 2003, 352 p. (In Russ.)
5. Gulyaev B.B. *Sintez splavov. (Osnovnye printsipy. Vybora komponentov)* [Synthesis of alloys. (Basic principles. Component selection)]. Moscow: Metallurgy, 1984, 160 p. (In Russ.)
6. Sukhanov V.P. *Pererabotka nefii: Uchebnik dlya srednikh prof.-tekhn. ucheb. zavedenii* [Oil refining: Textbook for secondary vocational schools]. 2nd ed., rev. and upd. Moscow: Higher school, 1979, 325 p., illus. (Vocational education. Oil and gas industry.) (In Russ.)
7. Oyuntsetseg C., Batmunkh B., Munkhtuya C. The study of the properties of the casting stainless steels. *Proceedings of the VII International scientific Conference «Issues on Modern Machines Mechanics»*. Ulan-Ude: Publishing Department of East Siberia State University of Technology and Management, 2015, vol. 2, pp.242–228. (In Russ.)
8. Tumakova N., Tikhonov V., Smirnov A., Samokhvalov S., Bolshakov A., Nazarov V., Leushin I. Research casting properties of supre duplex and serial austenitic steel, technology dedelopment and manufacturing of castings, valve bodies. *Proceedings of the Nizhny Novgorod state technical University named after R.E. Alekseev*. 2(109), 2015, pp. 242–250. (In Russ.)

Поступила 23.03.2020; принята к публикации 20.04.2020; опубликована 25.06.2020
Submitted 23/03/2020; revised 20/04/2020; published 25/06/2020

Рамазанов Азат Камиллович – ведущий инженер-технолог,
АО «Благовещенский арматурный завод», Благовещенск, Россия.
Email: azat-ramazanov@yandex.ru

Ганеев Альмир Амирович – д-р техн. наук, профессор кафедры машин и технологии литейного производства,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, Россия.

Azat K. Ramazanov – Lead Engineer-Technologist,
Blagoveshchensk Valves Plant, Blagoveshchensk, Russia.
Email: azat-ramazanov@yandex.ru

Almir A. Ganeev – DrSc (Eng.), Professor
Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia