



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-2-76-82>
УДК 543.39: 665.081

Поступила 18.02.2025
Received 18.02.2025

ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ В МЕДИЦИНСКОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*А. С. ПАНАСЮГИН, Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: litteh@bntu.by*
*А. Р. ЦЫГАНОВ, ЧУВО «Институт управления и предпринимательства»,
г. Минск, Беларусь, ул. Славинского, 1/3*
*И. А. ПАНКОВЕЦ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Беларусь, ул. Промышленная, 37*
*Н. П. МАШЕРОВА, Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а*
*Н. Д. ПАВЛОВСКИЙ, Гродненский государственный медицинский университет,
г. Гродно, Беларусь, ул. Горького, 80*
*Л. П. ДОЛГИЙ, Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: Dolgi@bntu.by*

Рассмотрены тенденции использования нержавеющей стали в медицинской отрасли. Определены основные виды медицинских изделий и конструкций из нержавеющей стали. Среди многообразия стальных изделий для медицины выделяют следующие объекты: инженерные сооружения (в том числе воздуховоды, вытяжки, трубопроводы); строительные конструкции (перила, поручни, держатели); детали и корпуса техники (диагностические аппараты, дезинфицирующее оборудование); мебель (кушетки, тумбочки, инструментальные столики, тележки, стулья); приспособления (лотки, боксы, контейнеры); инструменты (шпатели, скальпели, зажимы, пилы, катетеры, зонды). Проведен анализ соответствия отечественных марок нержавеющей стали, используемых в медицине, и их зарубежных аналогов. Исследованы тенденции объемов закупок, стоимости, выпуска продукции и ее реализации на внутреннем и внешнем рынках Республики Беларусь за 2000–2023 гг., в основном стали линейки 20Х13–40Х13.

Ключевые слова. Нержавеющие стали, медицинская отрасль Республики Беларусь, сталь 20Х13–40Х13.

Для цитирования. Панасюгин, А. С. Тенденции использования нержавеющей стали в медицинской отрасли Республики Беларусь / А. С. Панасюгин, А. Р. Цыганов, И. А. Панковец, Н. П. Машерова, Н. Д. Павловский, Л. П. Долгий // *Литье и металлургия*. 2025. № 2. С. 76–82. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-2-76-82>.

TRENDS IN THE USE OF STAINLESS STEELS IN THE MEDICAL INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

*A. S. PANASYUGIN, Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: litteh@bntu.by*
*A. R. TSYGANOV, International Institute of Management and Entrepreneurship,
Minsk, Belarus, 1/3, Slavinskogo str.*
*I. A. PANKOVETS, OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”,
Zhlobin, Belarus, 37, Promyshlennaya str.*
N. P. MASHEROVA, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str.
N. D. PAVLOVSKY, Grodno State Medical University, Grodno, Belarus, 80, Gorky str.
*L. P. DOLGI, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
E-mail: Dolgi@bntu.by*

The paper considers the trends in the use of stainless steels in the medical industry. The main types of medical products and structures made of stainless steel are defined. Among the variety of steel products for medicine the following objects are distinguished: engineering structures (including air ducts, hoods, pipelines); building structures (railings, handrails, holders); parts and bodies of equipment (diagnostic devices, disinfecting equipment); furniture (couches, bedside tables, instrument tables, trolleys, chairs); devices (trays, boxes, containers); tools (spatulas, scalpels, clamps, saws, catheters, probes). The analysis of conformity of domestic grades of stainless steels used in medicine and their foreign analogues has been carried out. The tendencies of

volumes of purchases, cost, production output and volumes of its sales in the domestic and foreign market of the Republic of Belarus for the period of 2000–2023 are analysed, mainly steels of 20X13–40X13 range.

Keywords. Stainless steels, medical industry of the Republic of Belarus, 20X13–40X13.

For citation. Panasyugin A. S., Tsyganov A. R., Pankovets I. A., Masheroва N. P., Pavlovsky N. D., Dolgi L. P. Trends in the use of stainless steels in the medical industry of the Republic of Belarus. Foundry production and metallurgy, 2025, no. 2, pp. 76–82. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-2-76-82>.

Среди многообразия стальных изделий для медицины выделяют следующие объекты: инженерные сооружения (в том числе воздухопроводы, вытяжки, трубопроводы); строительные конструкции (перила, поручни, держатели); детали и корпуса техники (диагностические аппараты, дезинфицирующее оборудование); мебель (кушетки, тумбочки, инструментальные столики, тележки, стулья); приспособления (лотки, боксы, контейнеры); инструменты (шпатели, скальпели, зажимы, пилы, катетеры, зонды) и др. [1–3].

Хирургические нержавеющие стали используются в биомедицинских целях. Отечественные марки и их зарубежные аналоги приведены в таблице.

Отечественные марки нержавеющих сталей и их зарубежные аналоги и разновидности, используемые в биомедицинских целях [3, 4]

Группа	AISI (США)	EN (Европа)	JIS (Япония)	GB (КНР)	ГОСТ (СНГ)
Аустенитные	304	1.4301	SUS 304	0Cr18Ni9	08X18H10
	304H	1.4948		07Cr19Ni9	12X18H9
	304L	1.4306	SUS 304L	00Cr19Ni10	03X18H11
	(304L)	1.4307			03X18H10
	316	1.4401	SUS 316	0Cr17Ni12Mo2	03X17H14M2
	316L	1.4404	SUS 316L		03X17H13M2
	316L	1.4435	SUS 316L	00Cr17Ni14Mo2	03X17H14M2
	316	1.4436	SUS 316	0Cr17Ni12Mo2	
	316Ti	1.4571	SUS 316Ti	0Cr18Ni12Mo2Ti	10X17H13M2T
	321	1.4541	SUS 321	0Cr18Ni10Ti	08X18H10T
Мартенситные	409	1.4512		00Cr18Mo2	
	410	1.4302	SUS 410	1Cr13	12X13
	420	1.4021	SUS 420J1	2Cr13	20X13
	420F	1.4028	SUS 420J2	3Cr13	30X13
		1.4031	SUS420J3	4Cr13	40X13
Жаропрочные аустенитные		1.4034		4Cr13	40X13
	309	1.4828		2Cr23Ni13	20X20H14C2
	309S	1.4833		0Cr23Ni13	20X25H20C2
	314, 310	1.4841		2Cr25Ni20	20X25H20C2
	310S	1.4845		0Cr25Ni20	20X23H18
	321	1.4878			

Медицинской обычно называют сталь, которая содержит следующие легирующие элементы:

- углерод (0,4–1,2 %) – обеспечивает твердость;
- хром (13–19 %) – основной элемент, предотвращающий развитие коррозии;
- никель (менее 1 %) – повышает сопротивление коррозии, прочность железа и термическую устойчивость сплава;
- кремний, марганец (менее 1 %) – вытесняют кислород в процессе плавки и тем самым предотвращают межкристаллическую коррозию.

Введение тех или иных легирующих элементов в определенной пропорции позволяет широко варьировать свойства нержавеющей стали.

В зависимости от типа изделия применяются разнообразные марки нержавеющей стали. Так, нержавеющую AISI 316 с повышенным содержанием молибдена задействуют преимущественно для производства режущих и отесняющих инструментов, в то время как сталь AISI 304 служит главным материалом для изготовления мебели – боксов, шкафов, кроватей, моек, столиков и т. д. [5].

Наиболее распространенными для медицинских нужд являются аустенитная нержавеющая сталь SAE 316, мартенситная нержавеющая сталь марок AISI 440, AISI 420 и их отечественные аналоги. Не существует официального определения, что представляет собой хирургическая нержавеющая сталь,

поэтому производители и дистрибьюторы продукции часто используют этот термин для обозначения любой марки, устойчивой к коррозии [5].

Марка AISI 316, а также ее низкоуглеродистая версия AISI 316L, называемые морской нержавеющей сталью, представляют собой сплав хрома, никеля, молибдена, который обладает относительно хорошей прочностью и коррозионной стойкостью [6].

Так, AISI 316L является биосовместимым материалом при производстве в соответствии со стандартами ASTM F138/F139. Это распространенный выбор для биомедицинских имплантатов, а также пирсинга и модификации тела с использованием имплантатов. Потенциальным осложнением при использовании нержавеющей стали в организме человека может быть реакция иммунной системы на никель. Существуют безникелевые азотсодержащие сплавы аустенитной нержавеющей стали, которые решают эту проблему.

Марка хирургической стали AISI 316 также используется при производстве и обработке пищевых и фармацевтических продуктов, когда требуется свести к минимуму загрязнение металлами.

Наиболее распространенные отечественные марки стали

Для производства медицинских инструментов и оборудования чаще всего используют следующие нержавеющие стали.

20X13–40X13 (AISI 420). В медицине ее используют для производства оборудования и инструмента, предназначенного для выполнения простых процедур. Из-за содержания углерода 0,4% ее считают относительно мягкой сталью, а 13% хрома обеспечивает устойчивость к коррозии в слабоагрессивных средах. Специальный режущий инструмент из нее достаточно долго держит заточку и в то же время легко затачивается. Несомненным плюсом является относительно невысокая цена.

95X18. Почти 1% углерода обеспечивает медицинскому инструменту долговечность режущей кромки, а 18% хрома – устойчивость к коррозии в агрессивных средах.

100X13М (ЭИ515) (ближайший аналог AISI 154 CM). Данная марка нержавеющей стали специально разработана и внедрена советскими металловедами в начале 1980-х гг. для производства хирургического и ампутационного инструмента. Используется для этих целей и сегодня [7].

Коррозионно-стойкие свойства всех видов нержавеющей стали значительно улучшаются в процессе пассивации. Нержавеющая сталь медицинского назначения обеспечивает стерильность, механическую прочность и твердость изделия. Поэтому из нее производят высокоточные медицинские инструменты многоразового использования, которые можно подвергать частой стерилизации, так как металл устойчив к высоким температурам и химическому воздействию.

Основные физико-механические требования, предъявляемые к стали медицинского назначения

Нержавеющая сталь 12X18Н10Т характеризуется как высокоуглеродистый, немагнитный, титаносодержащий материал, относящийся к классу аустенитов. Он обладает следующими технологическими свойствами: удельный вес 7920 кг/м³; степень твердости 179 МПа; предел прочности 279 МПа; температура плавления 1420 °С; жаропрочность 650–750 °С.

Сплав не имеет ограничений в плане сварочных работ. Могут применяться любые технологии, при этом швы получаются прочными и надежными. Для повышения эксплуатационных параметров рекомендуется по завершении сварочных мероприятий выполнить термическую обработку [8].

Способы изготовления

Высокопрочная хромоникелевая сталь 12X18Н10Т имеет высокие потребительские свойства, в связи с чем пользуется активным потребительским спросом. Ее массовая выплавка осуществляется в специализированных цехах металлургических комбинатов. Технология производства, используемые материалы и техническая оснащенность у разных производителей могут отличаться, но выплавка всегда происходит в закрепленных для этой марки электропечах.

Для изготовления высококачественной нержавеющей стали применяются следующие технологические методы: полного или частичного окисления; смешения первичного сырья с вторичным; переплавки отходов марки с применением кислорода или низкоуглеродистых шихтовых блумов. Полученная нержавейка обладает уникальными характеристиками, которые позволяют использовать ее в самых разных сферах промышленной и социальной деятельности.

Во времена СССР промышленность выпускала главным образом цельнометаллические скальпели, соответствующие современному понятию фулл-танг, где рукоятка и клинок изготовлены из одной

металлической пластины. И по стандартам того времени важнейшим критерием использования стали в медицинской промышленности была ее максимально широкая распространенность и массовое производство. Предприятия-производители могли при необходимости легко заменяться, а подходящие стали производились повсеместно [9, 10]. Главное свойство медицинской стали, согласно ГОСТ, – наличие большого количества легирующих элементов. Она должна быть нержавеющей и противостоять воздействию агрессивных сред – кислот, солей, щелочи и т.п. Количество хрома в их составе должно быть не ниже 13 %, а количество углерода не имеет существенного значения (от 0,07 до 0,85 %), так как эти стали предназначены не только для режущего инструмента, но и для вспомогательного (хирургических зажимов, различных щипцов и т.п.) (рис. 1).



Рис. 1. Образцы хирургических инструментов

Также в этих сталях должен был присутствовать никель и допускалось присутствие ванадия. При этом вредные элементы (кремний, сера, марганец) строго ограничивались в количестве и в среднем не могли превышать 1 %. Исходя из этих условий, основными наиболее часто используемыми медицинскими сталями для хирургических скальпелей были такие материалы, как 20X13–40X13.

Сталь 20X13 (ИЭ496) применяется для изготовления деталей с повышенной пластичностью, подвергающихся ударным нагрузкам (клапаны гидравлических прессов, предметы домашнего обихода), а также изделий, подвергающихся воздействию слабоагрессивных сред (атмосферные осадки, пищевые продукты, водные растворы солей, органических кислот при комнатных температурах и др.). Марки 30X13, 40X13 предназначены для режущего, измерительного и хирургического инструмента, пружин, карбюраторных игл, предметов домашнего обихода, клапанных пластин компрессоров [11].

40X13 занимала ту же нишу, которую сейчас занимают в мировом производстве 420 НС и 4116 Krupp, и была самой востребованной универсальной и недорогой сталью.

В начале 2000-х гг. сталь 40X13 уступила свои позиции стали 65X13, которая была близка по цене, но при этом превосходила ее по ключевым рабочим характеристикам. В условиях прогресса металлургии и удешевления более качественных металлов 40X13 не выдержала конкуренции, в том числе в медицинской промышленности, где одноразовые скальпели, не требующие ухода, специальной обработки и кипячения, заняли основное место (рис. 2) [12].



Рис. 2. Образцы одноразовых скальпелей

При этом соотношение отечественной продукции и импортной в объемах закупок системой здравоохранения составило 31 % к 69 % с устойчивой тенденцией роста доли производителей (рис. 3, 4). Отрасль производства медицинских изделий в Республике Беларусь представляют более 100 предприятий всех форм собственности, выпускающие свыше 250 типов или 500 наименований изделий. Учитывая приоритетность и социальную значимость развития здравоохранения, утверждена Государственная программа по разработке и производству медицинской техники и изделий медицинского назначения на период 2000–2010 гг. [6, 9, 13].

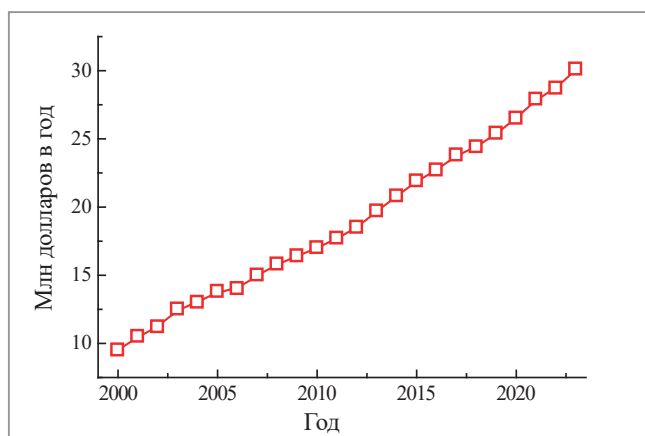


Рис. 3. Стоимость выпускаемой продукции

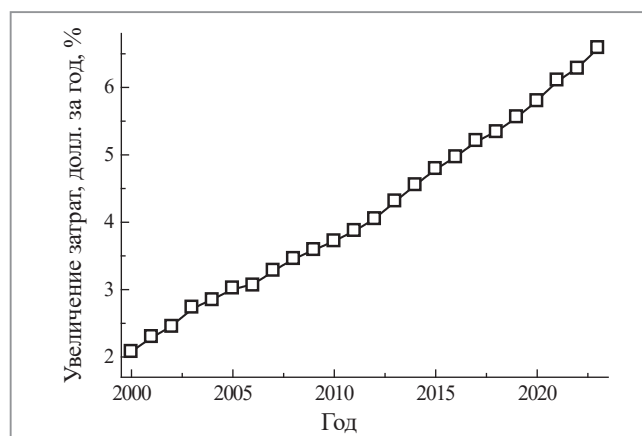


Рис. 4. Увеличение стоимости выпускаемой продукции, млн долл. за год, %

Реальный рынок изделий медицинской техники (ИМТ) и изделий медицинского назначения (ИМН) в Беларуси оценивается немногим более 60 млн долл. в год при потребности в 2–3 раза больше (рис. 5). В 2003 г. произведено и реализовано медицинских изделий на сумму более 27 млн долл., в том числе на внутреннем рынке 37 %, экспорт – 52 %. При этом на долю предприятий государственного сектора экономики пришлось около 30 % объемов производства. В общей структуре закупок ИМТ и ИМИ по республике, а это в 2023 г. около 61 млн долл., соотношение объемов отечественной техники и импорта устойчиво сохраняется на уровне 14 % к 86 % (рис. 6). По ряду медицинских направлений белорусская техника и изделия медицинского назначения являются доминирующими на отечественном рынке [14].

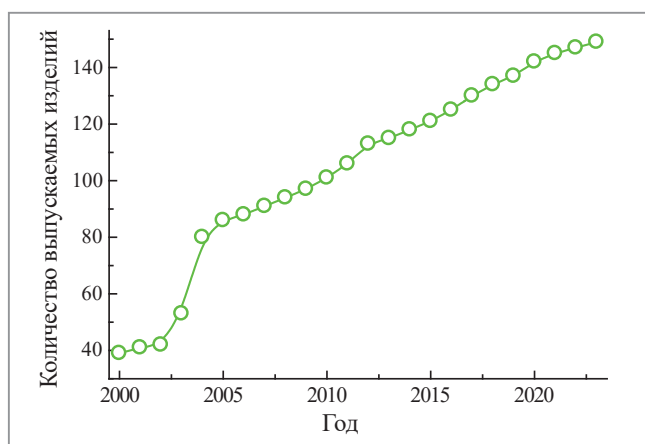


Рис. 5. Количество выпускаемых изделий

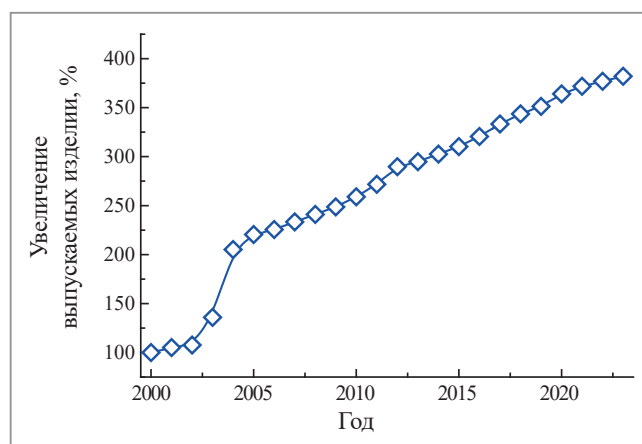


Рис. 6. Увеличение количества выпускаемых изделий, %

Продукция белорусских производителей востребована на внешнем рынке и конкурентоспособна. Поставки на экспорт при разработке государственной программы планировались на уровне 35–40 %, однако в связи с ограничением закупок на внутреннем рынке просматривается устойчивая тенденция их роста в общем объеме реализации ИМТ и ИМН (рис. 7, 8). В денежном выражении это составило за три года 35,9 млн долл., в том числе: в 2000 г. – около 10 млн долл., или 52 % в общем объеме реализации (43 наименования); в 2002 г. – 12,5 млн долл., или 62 % (53 наименования); в 2023 г. – 13,4 млн долл., или 52 % (85 наименований). Номенклатура экспортируемых изделий постоянно расширяется за счет новых разработок. Более 80 % продукции экспортируется в Россию [5, 6, 9].

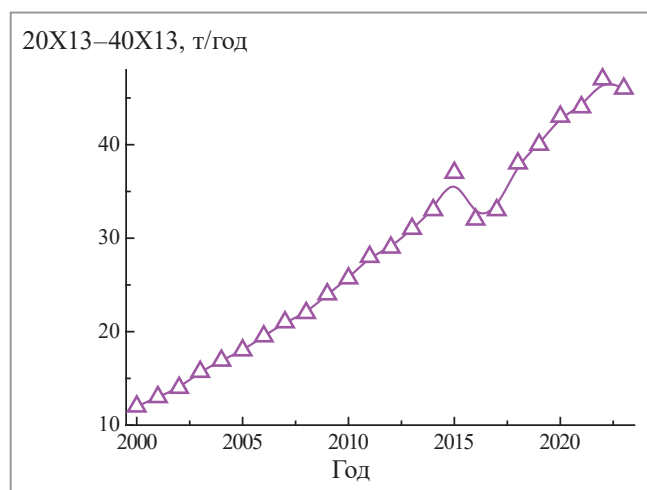


Рис. 7. Количество закупаемых сталей 20Х13–40Х13, т/год

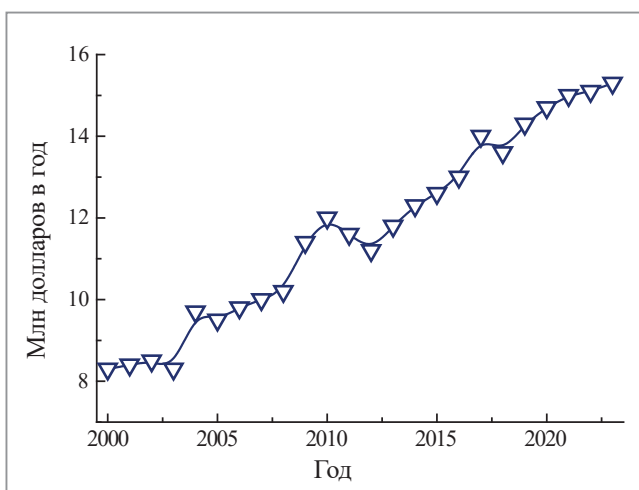


Рис. 8. Количество закупаемых сталей 20Х13–40Х13, млн долл. в год

Выводы

1. В процессе проведения анализа установлено, что соотношение белорусской продукции и импортной в объемах закупок системой здравоохранения составило 31 % к 69 % с устойчивой тенденцией роста доли производителей.
2. Реальный рынок медицинской техники и изделий медицинского назначения в Республике Беларусь оценивается немногим более 60 млн долл. в год при потребности в 2–3 раза больше. По ряду медицинских направлений белорусская техника и изделия медицинского назначения являются доминирующими на отечественном рынке.
3. Продукция белорусских производителей востребована на внешнем рынке и конкурентоспособна. Номенклатура экспортируемых изделий постоянно расширяется за счет новых разработок. Более 80 % продукции экспортируется в Россию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности микроструктуры, фазового состава и возможности упрочнения нержавеющей сталей с 13–17% Cr / Д. А. Пумпянский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2022. – Т. 65, № 9. – С. 644–653.
2. Effect of modification of oxide layer on NiTi stent corrosion resistance / C. Trépanier [et al.] // Journal of biomedical materials research. – 1998. – P. 433–440.
3. Эволюция микроструктуры при моделировании сварки ферритной/мартенситной стали, модифицированной бором / М. Ахтар [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2019. – Т. 120, № 7. – С. 731–745.
4. Дергач, Т. А. Влияние бора на микроструктуру и свойства труб из низкоуглеродистой аустенитной хромоникелевой стали / Т. А. Дергач // Вопросы атомной науки и техники. – 2005. – № 5. – С. 80–86.
5. Effect of boron distribution on the intergranular corrosion resistance of UNS S32506 duplex stainless steels / T. Takei [et al.] // Journal of the Electrochemical Society. – 2019. – Vol. 166, iss. 13. – P. 375–381.
6. Electrochemical corrosion behavior of spray-formed boron-modified supermartensitic stainless steel / G. Zepon [et al.] // Metall Mater Trans A. – 2017. – Vol. 48. – P. 2077–2089.
7. Wang, H. A. Comparative study of high boron alloys with 2.0 wt% B based on 304 and 316 stainless steels / H. A. Wang, T. Wang // Materials Letters. – 2021. – Vol. 285.
8. Design of wear resistant boron-modified supermartensitic stainless steel by spray forming process / G. Zepon [et al.] // Materials & Design. – 2015. – Vol. 83. – P. 214–223.
9. Cetin, M. Effect of boron added corrosion behavior of cast 304 stainless steel / M. Cetin // Protection of metals and physical chemistry of surface. – 2019. – Vol. 55. – P. 1217–1225.
10. Березовская, В. В. Система легирования высокоазотистых аустенитных сталей, структура, механические и коррозионные свойства / В. В. Березовская // Инновации в материаловедении и металлургии: материалы I Междунар. интеракт. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2012. – Ч. 1. – С. 257–266.
11. ГОСТ 5632-2014 Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.
12. Банных, О. А. Азот как легирующий элемент в сплавах на основе железа / О. А. Банных, В. М. Блинов, М. В. Костина // Фазовые и структурные превращения в сталях: труды школы-семинара. Вып. 3 / под ред. В. Н. Урцева. – Магнитогорск: Дом печати, 2003. – С. 157–192.
13. Приданцев, М. В. Высокопрочные аустенитные стали / М. В. Приданцев, Н. П. Талов, Ф. М. Левин. – М.: Металлургия, 1969. – 247 с.
14. Костина, М. В. Особенности сталей, легированных азотом / М. В. Костина, О. А. Банных, В. М. Блинов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2000. – № 12. – С. 3–6.

REFERENCES

1. **Pumpyanskii D.A., Pyshmintsev I.Yu., Bityukov S.M., Gervas'ev M.A., Gusev A.A.** Osobennosti mikrostruktury, fazovogo sostava i vozmozhnosti uprochneniya nerzhaveyushchih stalej s 13–17% Cr [Features of microstructure, phase composition and strengthening capability of stainless steels with 13–17% Cr]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*, 2022, vol. 65, no. 9, pp. 644–653.
2. **Trépanier C.** [et al.] Effect of modification of oxide layer on NiTi stent corrosion resistance. *Journal of biomedical materials research*, 1998, pp. 433–440.
3. **Akhtar M., Khajuria A., Kumars V.S., Guptas R.K., Albert S.K.** Evolyuciya mikrostruktury pri modelirovanii svarki ferritnoj/martensitnoj stali, modificirovannoj borom [Microstructure evolution in modeling welding of boron modified ferritic/martensitic steel]. *Fizika metallov i metallovedenie = Physics of Metals and Metal Science*, 2019, vol. 120, no. 7, pp. 731–745.
4. **Dergach T.A.** Vliyanie bora na mikrostrukturu i svoystva trub iz nizkouglerodistoj austenitnoj hromonikelevoj stali [Effect of boron on the microstructure and properties of pipes made of low-carbon austenitic chromium-nickel steel]. *Voprosy atomnoj nauki i tekhniki = Issues of atomic science and technology*, 2005, no. 5, pp. 80–86.
5. **Takei T., Yabe M., Ooi A.** [et al.] Effect of boron distribution on the intergranular corrosion resistance of UNS S32506 duplex stainless steels. *Journal of the electrochemical society*, 2019, vol. 166, iss. 13, pp. 375–381.
6. **Zepon G., Nogueira R.P., Kiminami C.S.** [et al.] Electrochemical corrosion behavior of spray-formed boron-modified supermartensitic stainless steel. *Metall Mater Trans A*, 2017, vol. 48, pp. 2077–2089.
7. **Wang H.A., Wang T.** Comparative study of high boron alloys with 2.0 wt% B based on 304 and 316 stainless steels. *Materials Letters*, 2021, vol. 285.
8. **Zepon G., Nascimento A.R. C., Kasama A.H.** Design of wear resistant boron-modified supermartensitic stainless steel by spray forming process. *Materials & Design*, 2015, vol. 83, pp. 214–223.
9. **Cetin M.** Effect of boron added corrosion behavior of cast 304 stainless steel. *Protection of metals and physical chemistry of surface*, 2019, vol. 55, pp. 1217–1225.
10. **Berezovskaya V.V.** Sistema legirovaniya vysokoazotistyh austenitnykh stalej, struktura, mekhanicheskie i korrozionnye svoystva [Alloying system of high-nitrogen austenitic steels, structure, mechanical and corrosion properties]. *Innovacii v materialovedenii i metallurgii: materialy I Mezhdunar. interakt. nauch.-prakt. konf. = Innovations in materials science and metallurgy: Proc. I Intern. interactive scientific-practical. conf.* Ekaterinburg: Ural University Publ., part 1, pp. 257–266.
11. GOST 5632–2014 *Legirovannye nerzhaveyushchie stali i splavy korrozionno-stojkie, zharostojkie i zharoprochnye. Marki = Stainless steels and corrosion resisting, heat-resisting and creep resisting alloys. Grades.*
12. **Bannyh O.A., Blinov V.M., Kostina M.V., V.N. Urceva** (ed.) Azot kak legiruyushchij element v splavah na osnove zheleza [Nitrogen as an alloying element in iron-based alloys]. *Fazovye i strukturnye prevrashcheniya v stalyah: trudy shkoly-seminara. Vyp. 3 = Phase and structural transformations in steels: works of the school-seminar. Iss. 3.* Magnitogorsk: Dom pečhati Publ., 2003, pp. 157–192.
13. **Pridancev M.V., Talov N.P., Levin F.M.** *Vysokoprochnye austenitnye stali* [High-strength austenitic steels]. Moscow, Metallurgiya, 1969, p. 247.
14. **Kostina M.V., Bannyh O.A., Blinov V.M.** Osobennosti stalej, legirovannykh azotom [Features of steels alloyed with nitrogen]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metal science and heat treatment of metals*, 2000, no. 12, pp. 3–6.