МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-88-97
УДК 543.39:665.081

Поступила 23.05.2025
Received 23.05.2025

АНАЛИЗ АНАЛОГОВ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ СИСТЕМАМ AISI (США), EN (ЕВРОПА), JIS (ЯПОНИЯ), GB (КНР), ГОСТ (СНГ)

Б. М. НЕМЕНЕНОК, А. С. ПАНАСЮГИН, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: litteh@bntu.by
А. Р. ЦЫГАНОВ, ЧУВО «Международный институт управления и предпринимательства», г. Минск, Беларусь, ул. Славинского, 1/3
Н. П. МАШЕРОВА, Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а
И. Л. КУЛИНИЧ, ЯО ЛИНЬ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65

За последние 15–20 лет закуплено достаточно много оборудования различного назначения, при поломке которого возникает необходимость замены вышедших из строя деталей, но в связи с введением санкций появились определенные трудности. В частности, не всегда возможно определить соответствие материалов оригинальных изделий и их аналогов, произведенных в СНГ, способов их термической обработки и механических свойств. В настоящей статье представлен анализ нержавеющих сталей из различных стран-производителей (США, Европы, Японии, КНР и СНГ).

Ключевые слова. *Аналоги нержавеющих сталей по системам AISI, EN, JIS, GB, ГОСТ.*
Для цитирования. *Немененок, Б. М. Анализ аналогов нержавеющих сталей системам AISI (США), EN (Европа), JIS (Япония), GB (КНР), ГОСТ (СНГ) / Б. М. Немененок, А. С. Панасюгин, А. Р. Цыганов, Н. П. Машерова, И. Л. Кулинич, Яо Линь // Литье и металлургия. 2025. № 3. С. 88–97. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-88-97.*

ANALYSIS OF STAINLESS STEEL ANALOGS TO AISI (USA), EN (EUROPE), JIS (JAPAN), GB (CHINA), GOST (CIS) SYSTEMS

B. M. NEMENYONOK, 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.
N. P. MASHEROVA, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str.
I. L. KULINICH, YAO LIN, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.

Over the past 15–20 years, a substantial amount of imported equipment for various purposes has been acquired. When such equipment breaks down, there is often a need to replace damaged components. However, with the imposition of international sanctions, certain difficulties have arisen. One of the major challenges involves the inability to accurately determine the equivalency between the materials used in original foreign components and those available in the CIS, including their heat treatment methods and mechanical properties. This issue complicates the selection of suitable domestic alternatives.

Keywords. *Stainless steel equivalents, AISI, EN, JIS, GB, GOST.*
For citation. *Nemenyonok B. M., Panasyugin A. S., Tsyganov A. R., Masherova N. P., Kulinich I. L., Yao Lin. Analysis of stainless steel analogs to AISI (USA), EN (Europe), JIS (Japan), GB (China), GOST (CIS) systems. Foundry production and metallurgy, 2025, no. 3, pp. 88–97. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-88-97.*

В различных странах используются свои стандарты для сплавов, нержавеющих и инструментальных сталей (табл. 1). Цель данной работы – проведение анализа аналогов нержавеющих сталей (США, Европы, Японии, КНР и СНГ).

Европейские производители представлены 18 странами (позиции 2–10, 13–16, 26–30), однако в США используют 9 систем (позиции 17–25) [1–7].

В связи с тем, что наиболее часто в мировой практике при выборе аналогов нержавеющих сплавов, инструментальных и нержавеющих сталей применяют стандарт AISI, в данной работе именно он будет

Таблица 1. **Системы стандартов сталей**

№ пп	Страна	Сокращенное название системы	Полное название системы
1	Австралия	AS	Australian Standart
2	Австрия	ONORM	Austrian Standards
3	Бельгия	NBN	Bureau de Normalisation
4	Болгария	BDS	Bulgarian Institute for Standardization
5	Венгрия	MSZ	Magyar Szabványügyi Testület
6	Великобритания	B.S.	British Standart
7	Германия	DIN	Deutsche Industrie Norm
8	Европейский союз	EN	European Norm
9	Италия	UNI	Italian National Standards
10	Испания	UNE	Espaniol National Standards
11	Канада	CSA	Canadian Standards Association
12	Китай	GB	National Standards 中华人民共和国国家标准
13	Норвегия	NS	Standards Norway
14	Польша	PN	Poland Norm
15	Румыния	STAS	
16	Россия	ГОСТ	Межгосударственный стандарт
17	США	AISI	American Iron and Steel Institute
18	США	ACI	American Concrete Institute
19	США	ANSI	American National Standards Institute
20	США	AMS	American Mathematical Society: Mathematics Research and Scholarship
21	США	ASME	American Society of Mechanical Engineers
22	США	ASTM	American Society of Testing and Materials
23	США	AWS	American Welding Society
24	США	SAE	Society of Automotive Engineers
25	США	UNS	The Unified Number System
26	Финляндия	SFS	Finnish Standards Association
27	Франция	AFNOR NF	Association Francaise de Normalisation 10027
28	Чехия	CSN	Czech State Norm
29	Швеция	SS	Swedish Standart
30	Швейцария	SNV	Schweizerische Normen-Vereinigung
31	Япония	JIS	Japanese Industrial Standart
32	Интернациональный стандарт	ISO	International Organization for Standardization

выступать в качестве реперной точки для определения химического состава, механических свойств, коррозионной и термической устойчивости.

Согласно стандарту AISI, нержавеющие стали делятся на три группы: хром-никель-марганец 200, хромоникелевые и хромоникелевые-молибденовые 300, хромистые 400.

Стали группы 200 являются недорогим заменителем 300-й категории. В составе присутствуют хром до 19%, никель до 5%, марганец до 10% и небольшие присадки других компонентов. Обладают высокой прочностью, неплохой коррозионной стойкостью к умеренно агрессивным воздействиям. Хорошо свариваются и формуются. Их активно применяют при производстве мебели, бытовых приборов, некоторых видов технологического оборудования. Могут использоваться в строительстве при условии их нахождения внутри помещения.

Стали группы 300 пользуются самым высоким спросом (например, марки AISI 304, 316 и 321). Характеризуются оптимальным соотношением прочности и пластичности, обладают хорошими показателями обрабатываемости, свариваемости, жаропрочности, устойчивостью к широкому спектру коррозионных воздействий [8–16].

Стали группы 400 являются аналогом дорогостоящей хромоникелевой стали. В них никель заменяют на менее дорогой марганец и азот. Хорошо показывают себя при эксплуатации в задачах, где требуется выдержать высокотемпературный режим. Используются при производстве теплообменных аппаратов, печного оборудования, систем выхлопа и др.

Из общих достоинств нержавеющей стали следует назвать экологичность, гигиеничность и инертность. При взаимодействии с технологической и окружающей средой она не вступает с ними в реакции, не выделяет вредных примесей. За счет этого она востребована в пищевой, фармацевтической

и фармакологической промышленности. Из нее изготавливают трубопроводы, аппараты и машины, конструкции и др. Также стоит отметить пожаробезопасность: процессы горения не поддерживаются, поэтому такую сталь можно использовать во взрыво- и пожароопасных условиях.

В числе наиболее мощных производителей можно выделить США, Китай и Россию, к производителям самых качественных сплавов относятся Австрия, Германия, Россия, Швеция, Швецария и Япония.

В табл. 2 сопоставлены марки нержавеющих сталей основных стран-производителей.

Таблица 2. **Аналоги нержавеющей стали**

Группа нержавеющей стали	Страна-производитель				
	AISI (США)	EN (Европа)	JIS (Япония)	GB (КНР)	ГОСТ (СНГ)
Аустенитные	304	1.4301	SUS 304	0Cr18Ni9	08Х18Н10
	304H	1.4948		07Cr19Ni9	12Х18Н9
	304L	1.4306	SUS 304L	00Cr19Ni10	03Х18Н11
	(304L)	1.4307			03Х18Н10
	316	1.4401	SUS 316	0Cr17Ni12Mo2	03Х17Н14М2
	316L	1.4404	SUS 316L		03Х17Н13М2
	316L	1.4435	SUS 316L	00Cr17Ni14Mo2	03Х17Н14М2
	316	1.4436	SUS 316	0Cr17Ni12Mo2	
	316Ti	1.4571	SUS 316Ti	0Cr18Ni12Mo2Ti	10Х17Н13М2Т
	321	1.4541	SUS 321	0Cr18Ni10Ti	08Х18Н10Т
Ферритные	403, 410S	1.4000	SUS 410S	0Cr13	08Х13
		1.4003		03Cr12Ni	
	430	1.4016	SUS 430	1Cr17	12Х17
	430Ti, 439	1.4510	SUS 430LX	00Cr17	08Х17Т
	441	1.4509		03Cr18NbTi	
	409	1.4512		00Cr18Mo2	
Мартенситны	410	1.4302	SUS 410	1Cr13	12Х13
	420	1.4021	SUS 420J1	2Cr13	20Х13
	420F	1.4028	SUS 420J2	3Cr13	30Х13
		1.4031	SUS420J3	4Cr13	40Х13
		1.4034		4Cr13	40Х13
Жаропрочные аустенитные	309	1.4828		2Cr23Ni13	20Х20Н14С2
	309S	1.4833		0Cr23Ni13	20Х25Н20С2
	314, 310	1.4841		2Cr25Ni20	20Х25Н20С2
	310S	1.4845		0Cr25Ni20	20Х23Н18
	321	1.4878			

В табл. 3 представлен химический состав инструментальных и нержавеющих сталей, широко используемых в последнее время [14, 16]. После железа и углерода наиболее часто в них применяется хром, марганец, молибден, ванадий и никель.

В табл. 4 приведены механические свойства сталей по AISI и их аналогов по DIN, BS(i), JIS.

В табл. 5 представлены дополнительные буквенные обозначения специальных методов изготовления сталей и сплавов.

Материалы и методы исследований

Для исследований использовали представленное ниже оборудование.

Сканирующий электронный микроскоп Vega II LMU предназначен для изучения топографии поверхности компактных и порошковых материалов, распределения химических элементов и фаз в исследуемых материалах.

Энергодисперсионный спектрометр Inca 350 сканирующего электронного микроскопа Vega II LMU используется для анализа химического состава макро- и микрообластей материалов в диапазоне от B до U при концентрации от 0,2 до 100 %, построения карт распределения химических элементов по анализируемой поверхности.

Волнодисперсионный спектрометр «Спектоскан МАКС-GV» служит для качественного и количественного определения химического состава поверхности материалов в диапазоне концентраций от 0,001 до 100 %.

Таблица 3. **Химический состав импортных инструментальных и нержавеющих сталей**

Марка стали	Химический элемент, %										Оптимальная твердость, HRC
	C	Cr	Cu	Co	Mn	Ni	V	Mo	W	Si	
1095	0,9–1,0				0,5						57–62
5160	0,55–0,65				0,7–1,0						57–60
52100	1,0–1,1	1,5			0,5						57–62
A-2	1,0	5,25			0,6		0,25	1,0			57–62
A-4	1,0	1,0			2,0			1,0			
D-1	1,0	12,0			0,6	0,5	1,1	1,0			57–60
D-2	1,5	12,0						1,0			
D-3	2,25	12,0						1,0			
L-1	1,0									1,25	
L-2	0,5–1,1						0,2			1,0	
L-6	0,7	0,75				1,5		0,25			
L-7	1,0	1,4			0,5			0,4			
G-2(GIN-1)	0,9	15,5			0,8			0,3			58–60
M-2	1,0	4,5			0,3	0,3	2,5	5,5	5,5		60–65
S-1	0,5	1,5					2,5				
S-2	0,5							0,5		0,5	
S-3	0,5	0,75					1,0				
O-1	0,9	0,5			1,0		0,5				
O-2	0,9				1,6						
O-6	1,45				1,0			0,25		1,25	
W-2	0,6–1,4						0,3				
W-3	1,0						0,5				
W-4	0,6–1,2					0,3					
ATS-34	1,0	14,5			0,4			4,0			59–61
ATS-55	1,0	14,0	0,2	0,4	0,5			0,6			60–62
VG-10	1,0	15,0		1,4	0,5		0,3	1,1			60–62
AUS-6	0,6	13,0			1,0	0,5	0,2				57–58
AUS-8	0,75	14,0			0,5	0,5	0,15	0,2			58–59
AUS-10	1,0	13,5			0,5	0,5	0,15	0,25			58–60
AUS-118	0,95	18,0			0,5		0,5	1,4			59–60
CPM 440V	2,15	17,0			0,4		5,5	0,4			55–57
CPM 420V	2,2	14,0					9,0	1,0			56–58
CPM 10V	2,45	5,5			0,5		9,75	1,0			56–58
CPM 3V	0,8	7,5					2,75	1,3			58–60
154 CM	1,0	14,0			0,5			4,0			58–60
Sandvic12C27	0,65	14,0			0,4						54–56
440A	0,65	18,0			1,0			0,75			54–56
440C	1,1	18,0			1,0			0,75			58–60
420Modified	0,50	13,0			0,9			0,6			54–56
425Modifitd	0,65	15,0			0,4			0,8			56–60
420	0,35	13,5			1,0						52–56

Таблица 4. **Механические свойства сталей по AISI и их аналогов**

Классификация сталей	Страна-призводитель				Механические свойства							
	США	Германия	Великобритания	Япония	Условный предел текучести		Напряжение на разрыв		Удлинение на разрыв, %	Твердость (макс.)		
	AISI	DIN W-Nr	DIN кр. наименов.	BS(i)	кгс/мм^2	Н/мм^2	кгс/мм^2	Н/мм^2		HB	HRB	HV
Аустенитные	301	1.4310	X12Cr Ni177	Sus 301	21	206	53	520	40	187	90	200
	304	1.4301	XDCr Ni 189	Sus 304	21	206	53	520	40	187	90	200
	304L	1.4306	X3Cr Ni89	Sus 304L	18	177	49	481	40	187	90	200
	305	1.4303	X5Cr Ni1911	Sus 305	18	177	49	481	40	187	90	200
	310S	1.4341	X15Cr Ni Si 2520	Sus 310S	21	206	53	520	40	187	90	200
	316	1.4401	X15Cr Ni Mo 1810	Sus 316	21	206	53	520	40	187	90	200
	316L	1.4435	X15Cr Ni Mo 1812	Sus 316L	18	177	49	481	40	187	90	200
Ферритные	430	1.4016	X8Cr 17	Sus 430	21	206	46	451	22	183	88	200
	434	1.4113	–	Sus 434	21	206	46	451	22	183	88	200
Мартенситные	410	1.4006	X10Cr 13	Sus 410	21	206	45	441	20	200	93	210
	420	1.4021	X20Cr 13	Sus 420J1	23	226	53	520	18	223	97	234
	420	1.4034	X40Cr 13	Sus 420J2	23	226	55	539	18	235	99	247

Таблица 5. **Дополнительные буквенные обозначения специальных методов изготовления**

Обозначения	Значение
-ВД	Вакуумно-дуговой переплав
-ВИ	Вакуумно-индукционный переплав
-ВП	Вакуумно-плазменный переплав
-ГР	Газокислородное рафинирование
-ВО	Вакуумно-кислородное рафинирование
-Ш	Шлаковый переплав
-ВП	Прямого восстановление
-ПТ	Плазменная выплавка
-П	Плазменно-дуговой переплав
-ЭЛ	Электронно-лучевой переплав
-СШ	Обработка синтетическим шлаком
-ГШ	Плазменная выплавка плюс электрошлаковый переплав
-ШД	Шлаковый переплав плюс вакуумно-дуговой переплав
-ШЛ	Шлаковый переплав плюс электронно-лучевой переплав
-ШП	Электронно-лучевой плюс плазменно-дуговой переплав
-ПП	Плазменная выплавка плюс плазменно-дуговой переплав
-ПД	Плазменная выплавка плюс вакуумно-дуговой переплав
-ПШ	Плазменная выплавка плюс электрошлаковый переплав
-ИД	Вакуумно-индукционная выплавка плюс вакуумно-дуговой переплав
-ИШ	Вакуумно-индукционная выплавка плюс электронно-шлаковый переплав

Сканирующий зондовый микроскоп Solver Pro-M применяется для получения трехмерного изображения поверхности образцов материалов с высоким разрешением.

Портативный pH/мВ/°С-метр Hanna 8314 предназначен для измерения pH, мВ, редокс-потенциала и температуры.

Для проведения эксперимента по исследованию коррозионной устойчивости образцов Hastelloy B, B-2, C, C22 и G30, а также наиболее популярных марок нержавеющих сталей, выпущенных по стандарту AISI, и стали 20Х13 использовали лабораторную установку (рис. 1). В реактор помещали заданную навеску исследуемого материала (как правило, 1,5–2,0 г). Взвешивание образцов производили на электронных

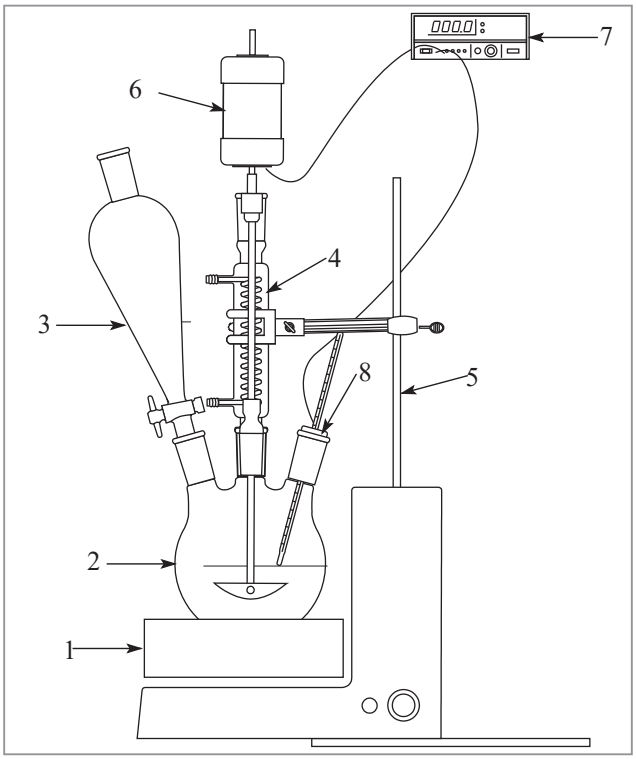


Рис. 1. Схема лабораторной установки для изучения коррозионной устойчивости образцов:
1 – термостат; *2* – трехгорлая колба (реактор); *3* – делительная воронка; *4* – обратный холодильник; *5* – штатив; *6* – механическая мешалка; *7* – электронный регулятор температуры «Сосна 004»; *8* – управляющий термометр

весах OHAUS Explorer Pro. Через делительную воронку добавляли серную и соляную кислоты с заданными концентрациями при постоянном перемешивании и постоянной температуре. Для предотвращения изменения концентраций кислот в ходе эксперимента за счет испарения применяли обратный холодильник.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследований изучена коррозионная стойкость сталей и сплавов.

Особое внимание обращает на себя группа сплавов Hastelloy, созданных на основе никеля и имеющих высокую стойкость к коррозии (табл. 6). Такие сплавы используют в атомных и химических реакторах, применяют с газотермическим напылением на поверхности. Выпускается большое разнообразие марок, например, Hastelloy C-276 – это никелевый сплав с добавлениями хрома, молибдена и вольфрама. Материал устойчив к точечной, щелевой коррозии и окислам. С азотной кислотой совместим плохо, но эффективен при взаимодействии с серной и соляной кислотами, а также с растворителями. Отличительная особенность C-276 – возможность его эксплуатации при высоком давлении.

Таблица 6. **Основные группы сплавов Hastelloy, выпускаемые на окончание 2022 г.**

Марки сплавов Hastelloy										
A	B	C	D	G	H	N	R	S	W	X
	B	C	D	G	H9M	N	R235	S	W	X
	B1	C4		G2						
	B2	C22		G3						
	B3	C2000		G30						
		C263		G50						
		C276								

В состав сплавов Hastelloy, как правило, входит молибден, также могут присутствовать хром, железо, углерод. В качестве легирующих добавок часто применяются кобальт, медь, марганец, титан, цирконий, алюминий, вольфрам, ванадий и ниобий [17–25] (табл. 7).

Таблица 7. **Химический состав наиболее часто используемых сплавов Hastelloy**

Сплав	Химический элемент, %									
	Co	Cr	Mo	W	Fe	Si	Mn	C	Ni	Другое
B-2	1,0*	1,0*	28,0	–	2,0*	0,1*	1,0*	0,01*	Основа	–
B-3	3,0*	1,5	28,5	3,0*	1,5	0,1*	3,0*	0,01*	65 min.	Al 0,5*, Ti 0,2*
C-4	2,0*	16,0	16,0	–	3,0*	0,08*	1,0*	0,01*	Основа	Ti 0,7*
C-2000	2,0*	23,0	16,0	–	3,0*	0,08*	–	0,01*	Основа	Cu 1,6
C-22	2,5*	22,0	13,0	3,0	3,0	0,08*	0,5*	0,01*	Основа	V 0,35*
C-276	2,5*	16,0	16,0	4,0	5,0	0,08*	1,0*	0,01*	Основа	V 0,35*
G-30	2,0*	30,0	5,5	2,5	15,0	1,0*	1,5*	0,03*	Основа	Nb 0,8*, Cu 2,0*
N	0,2*	7,0	16,0	0,5*	5,0*	1,0*	0,8*	0,08*	Основа	Al + Ti 0,5*, Cu 0,35*
W	2,5*	5,0	24,0	–	6,0	1,0*	1,0*	0,12*	Основа	V 0,6*

Примечание: * – легирующие добавки.

Поскольку сплавы Hastelloy B, B-2, C, C22 и G30 часто используются для изготовления элементов вакуумных печей и механических деталей для оборудования, эксплуатация которых предполагает контакт с окислительными средами, были проведены исследования по определению коррозионной стойкости вышеуказанных сплавов и ряда легирующих элементов по отношению к серной и соляной кислотам различной концентрации при различных температурах (рис. 2, 3) [18, 24]. Следует отметить, что в ряде источников упоминается о наличии циркония и тантала в сплавах, но не указано даже их примерное содержание. Вероятно, данный момент связан с соблюдением коммерческой тайны.

В ходе дальнейших исследований изучена коррозионная стойкость нержавеющих сталей, выпускаемых по стандарту AISI (США), и их аналогов (СНГ) рис. 4–5.

В табл. 8 приведены данные коррозионной устойчивости для различных условий по ряду параметров, включающих в себя питтинговую (точечную) коррозию, коррозию сварных швов и механические нагрузки (предел прочности и предел упругости) для наиболее популярных марок нержавеющих сталей из серии AISI (201, 304, 321, 316 и 430) [8–10].

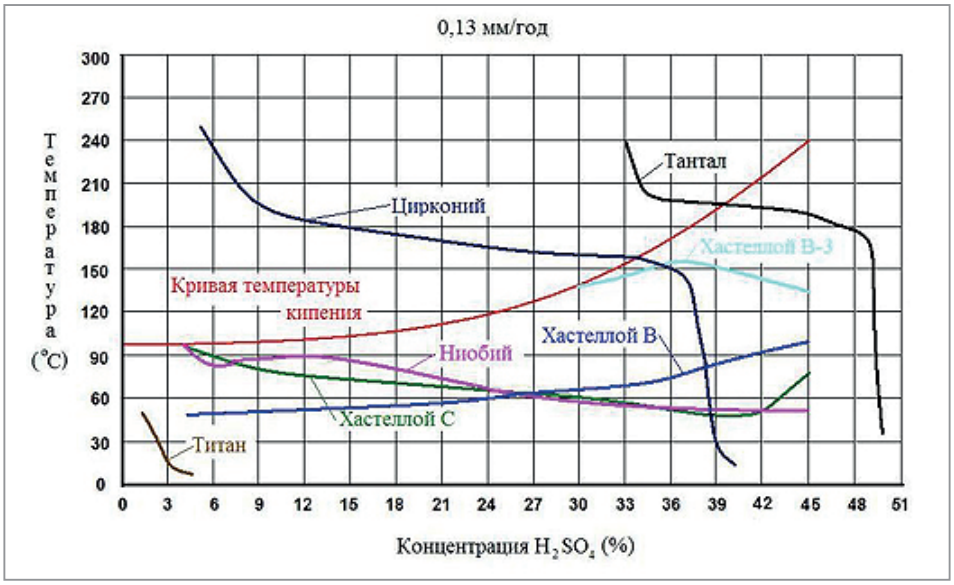


Рис. 2. Коррозионная стойкость материалов в серной кислоте (H_2SO_4)

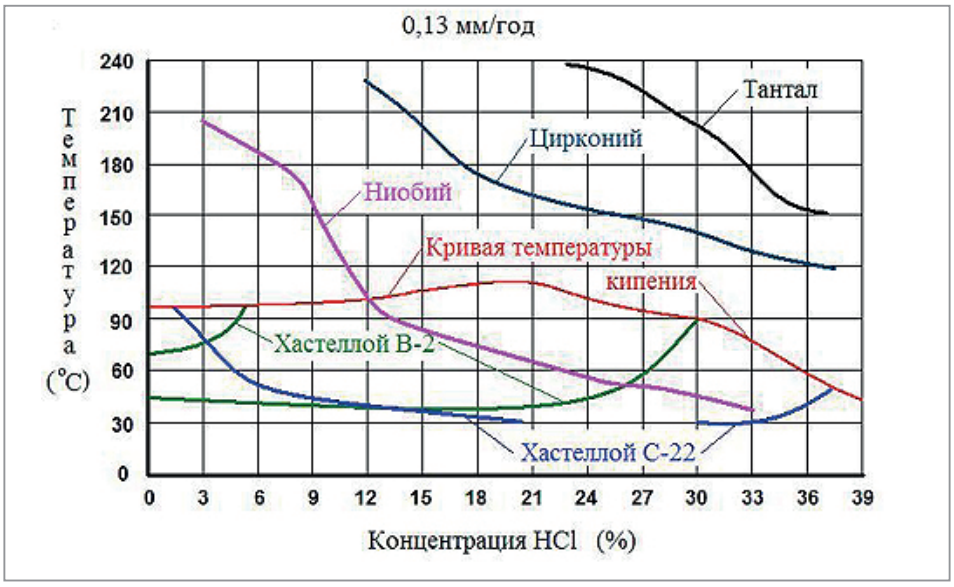


Рис. 3. Коррозионная стойкость материалов в соляной кислоте (HCl)

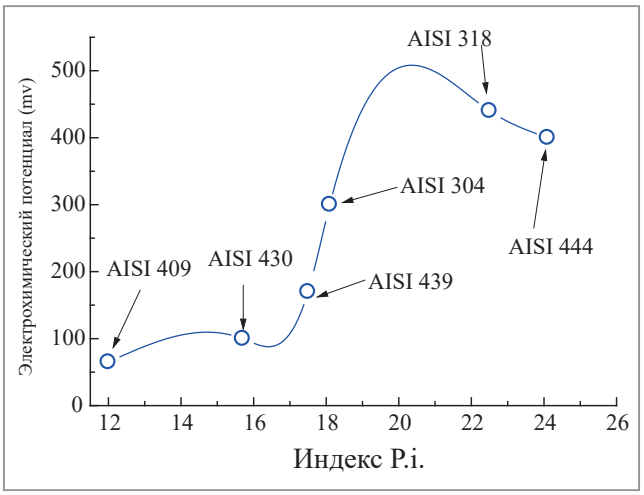


Рис. 4. Коррозионная стойкость популярных марок нержавеющих сталей

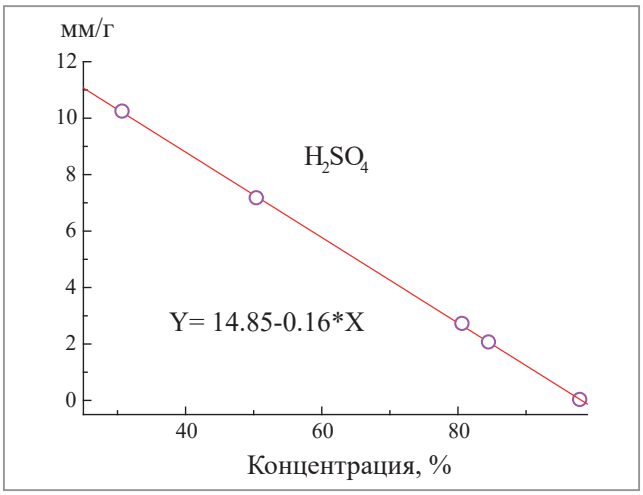


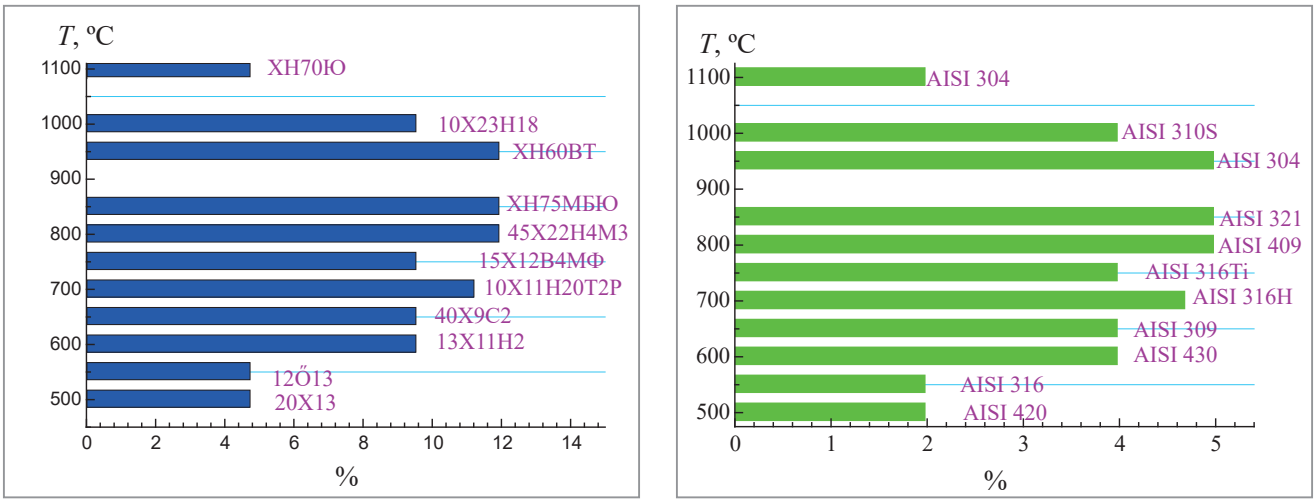
Рис. 5. Скорость растворения (коррозии) стали 20Х13 в зависимости от концентрации серной кислоты (30–96 %) при 25 °С

Таблица 8. **Коррозионная стойкость марок нержавеющих сталей**

Условия	AISI 201	AISI 304	AISI 321	AISI 316	AISI 430	Параметр
Комнатные условия	+ + + + + + + + +	+ + + + + + + +	+ + + + + + + +	+ + + + + + + +	+ + + + +	Коррозия питтинговая (точечная) Коррозия сварного шва Механическая нагрузка
Атмосферные условия	+ + + + + + + +	+ + + + + + +	+ + + + + + +	+ + + + + + + +	+ + +	Коррозия питтинговая (точечная) Коррозия сварного шва Механическая нагрузка
Агрессивная бытовая среда	+ + + + +	+ + + + + +	+ + + + + + +	+ + + + + + + +	– – –	Коррозия питтинговая (точечная) Коррозия сварного шва Механическая нагрузка
Агрессивная промышленная среда	+ – + + +	+ + + +	+ + + + + +	+ + + + + +	– – –	Коррозия питтинговая (точечная) Коррозия сварного шва Механическая нагрузка

Примечания: – малая степень параметра; + ниже средней; + + средняя; + + + высокая.
Комнатные условия: 18–25 °С, относительная влажность 70–75 %.
Атмосферные условия: 25–25 °С, относительная влажность 70–100 %.
Агрессивная бытовая среда: 25–45 °С, относительная влажность 70–100 %, pH 4–9.
Агрессивная промышленная среда: 25–1100 °С, относительная влажность 70–100 %, pH 2–12.

На рис. 6 приведены данные по жаропрочности наиболее часто используемых нержавеющих сталей в странах СНГ и материалов, выпускаемых в США по стандарту AISI. По оси *x* представлена в процентном соотношении частота упоминания использования в различных агрегатах и процессах согласно [8, 18–21]. Исследование показывает, что в странах СНГ чаще применяются материалы в температурном интервале 800–950 °С, а в США по стандарту AISI – 800–1000 °С.



а *б*

Рис. 6. Жаропрочность наиболее часто используемых нержавеющих сталей: *а* – страны СНГ; *б* – США по стандарту AISI

Выводы

1. В ходе исследования установлены обозначения систем стандартов сталей в различных странах. Европейские производители представлены 18 странами, а в США используют 9 стандартов.
2. Сопоставлены по химическому составу марки нержавеющих сталей основных стран-производителей (США, Европы, Японии, КНР и СНГ).
3. Определены условиях коррозионной устойчивости по ряду параметров, включающих в себя питтинговую (точечную) коррозию, коррозию сварных швов и механические нагрузки (предел прочности и предел упругости), для наиболее популярных марок нержавеющих сталей из серии AISI и их аналогов.
4. Согласно данным анализа жаропрочности установлено, что в странах СНГ нержавеющие стали наиболее часто используются в температурном интервале 800–950 °С, а в США (стандарт AISI) – 800–1000 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Структура и свойства аустенитной стали AISI 316L после безводородного азотирования / А. С. Гренадёров [и др.] // Успехи прикладной физики. – 2022. – Т. 10, № 5. – С. 469–479.
2. **Зибенайхер, Э. Г.** Технология изготовления и материалы / Э. Г. Зибенайхер, Ш. Штайгервальд. – М.: Омега, 2007. – 189 с.
3. **Роде, Е. Я.** Физико-химическое изучение окислов и гидроокислов металов / Е. Я. Роде // Журнал неорганической химии. – 1956. – № 1. – С. 1430.
4. Atlas of Eh-pH diagrams: Intercomparison of thermodynamic databases / National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. – 2005. – 285 p.
5. **Ляо, П. К.** Система B-Cr (бор-хром) / П. К. Ляо, К. Э. Спир // Бюллетень фазовых диаграмм сплавов. – 1986. – № 7. – С. 232–237.
6. Инженерное оборудование зданий и сооружений: энцикл. / под ред. С. В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1994. – 511 с.
7. Effect of Boron Distribution on the Intergranular Corrosion Resistance of UNS S32506 Duplex Stainless Steels / T. Takayuki [et al.] // Journal of the Electrochemical Society. – 2019. – № 166. – P. 375–381.
8. **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.
9. Electrochemical corrosion behavior of spray-formed boron-modified supermartensitic stainless steel / G. Zepon [et al.] // Metall Mater Trans A. – 2017. – № 48. – P. 2077–2089.
10. **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.
11. Особенности микроструктуры, фазового состава и возможности упрочнения нержавеющих сталей с 13–17% Cr / Д. А. Пумпянский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2022. – № 65. – С. 644–653.
12. Design of wear resistant boron-modified supermartensitic stainless steel by spray forming process / G. Zepon [et al.] // Materials & Design. – 2015. – № 83. – P. 214–223.
13. **Приданцев, М. В.** Высокопрочные аустенитные стали / М. В. Приданцев, Н. П. Талов, Ф. М. Левин. – М.: Металлургия, 1969. – 247 с.
14. **Шпайдель, М. О.** Новые азотсодержащие аустенитные нержавеющие стали с высокими прочностью и пластичностью / М. О. Шпайдель // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – № 11. – С. 9–13.
15. **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. – Магнитогорск: Дом печати, 2003. – С. 157–192.
16. **Crane, F.** Selection and use of engineering materials / F. Crane, J. Charles, J. Furness. – Oxford – Boston: Butterworth Heinemann, 1997. – P. 343.
17. Effect of modification of oxide layer on NiTi stent corrosion resistance / C. Trépanier [et al.] // Journal of biomedical materials research. – 1998. – № 43. – P. 433–440.
18. 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.
19. **Браун, М. П.** Микролегирование стали / М. П. Браун. – Киев: Наукова думка, 1982.
20. **Браун, М. П.** Аналитический расчет поверхностной активности ниобия, циркония и лантана / М. П. Браун, Н. И. Матюшенко // Редкоземельные металлы и сплавы. – М.: Наука, 1971. – С. 73–75.
21. **Суриков, В. И.** Термодинамические характеристики соединений Cr_3Si, Cr_3Ge, V_3Si, V_3Ge / В. И. Суриков, Г. И. Калишевич, П. В. Гельд // Журнал физической химии. – 1975. – Т. 49, № 2. – С. 555–556.
22. **Гуляев, Б. Б.** Синтез сплавов / Б. Б. Гуляев. – М.: Металлургия, 1984.
23. **Stanley, J. T.** Ferrite formation in neutron irradiated type 316 Stainless Steel / J. T. Stanley, K. R. Care // Metallurgical Transactions A. – 1975. – Vol. 6A. – P. 531–535.
24. **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.
25. **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.

REFERENCES

1. **Grenaderov A. S., Oskirko V. O., Zakharov A. N.** [et al.]. Struktura i svojstva austenitnoj stali AISI 316L posle bezvodorodnogo azotirovaniya [Structure and properties of austenitic AISI 316L steel after hydrogen-free nitriding]. *Uspekhi prikladnoj fiziki = Successes of Applied Physics,* 2022, vol. 10, no. 5, pp. 469–479.
2. **Siebeneicher E. G., Steigerwald S.** *Tekhnologiya izgotovleniya i materialy* [Manufacturing technology and materials]. Moscow, Omega Publ., 2007, 189 p.
3. **Rode E. Ya.** Fiziko-himicheskoe izuchenie okislov i gidrookislov metalov [Physico-chemical study of metal oxides and hydroxides]. *Zhurnal neorganicheskoj himii = Journal of Inorganic Chemistry,* 1956, no. 1, pp. 1430.
4. Atlas of Eh-pH diagrams: Intercomparison of thermodynamic databases. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2005, 285 p.
5. **Liao P. K., Spear K. E.** Sistema B-Cr (bor-hrom) [The B-Cr (boron-chromium) system]. *Byulleten' fazovyh diagramm splavov = Bulletin of phase diagrams of alloys,* 1986, no. 7, pp. 232–237.
6. **Yakovlev S. V.** (ed.). *Inzhenernoe oborudovanie zdanij i sooruzhenij: encikl.* [Engineering equipment of buildings and structures]. Moscow, Strojizdat Publ.,1994, 511 p.
7. **Takayuki T.** [et al.] Effect of Boron Distribution on the Intergranular Corrosion Resistance of UNS S32506 Duplex Stainless Steels. *Journal of the Electrochemical Society,* 2019, no. 166, pp. 375–381.

8. **Dergach T.A.** Vliyanie bora na mikrostrukturu i svojstva trub iz nizkoulerodistoj austenitnoj hromonikelevoj stali [The 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.

9. **Zepon G.** [et al.] Electrochemical corrosion behavior of spray-formed boron-modified supermartensitic stainless steel. *Metal Mater Trans A,* 2017, no. 48, pp. 2077–2089.

10. **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.

11. **Pumpyansky D.A., Pyshmintsev I.Yu., Bityukov S.M., Gervasiev M.A., Gusev A.A.** Osobennosti mikrostruktury, fazovogo sostava i vozmozhnosti uprochneniya nerzhaveyushchih stalej s 13–17% Cr [Features of microstructure, phase composition and the possibility of strengthening stainless steels with 13–17% Cr]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaya Metallurgiya = News of higher educational institutions. Ferrous Metallurgy,* 2022, no. 65, pp. 644–653.

12. **Zepon G.** [et al.] Design of wear resistant boron-modified supermartensitic stainless steel by spray forming process. *Materials & Design,* 2015, no. 83, pp. 214–223.

13. **Pridantsev M.V., Talov N.P., Levin F.M.** *Vysokoprochnye austenitnye stali* [High-strength austenitic steels]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1969, 247 p.

14. **Shpaidel M.O.** Novye azotsoderzhashchie austenitnye nerzhaveyushchie stali s vysokimi prochnost'yu i plastichnost'yu [New nitrogen-containing austenitic stainless steels with high strength and ductility]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metal science and heat treatment of metals,* 2005, no. 11, pp. 9–13.

15. **Bannykh O.A., Blinov V.M., Kostina M.V.** 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: Proceedings of the seminar school. Vol. 3.* Magnitogorsk: Dom pechati Publ., 2003, pp. 157–192.

16. **Crane F., Charles J., Furness J.** *Selection and use of engineering materials.* Oxford, Boston, Butterworth Heinemann, 1997, p. 343.

17. **Trépanier C.** [et al.] Effect of modification of oxide layer on NiTi stent corrosion resistance. *Journal of biomedical materials research,* 1998, no. 43, pp. 433–440.

18. **Akhtar M.** [et al.] Evolyuciya mikrostruktury pri modelirovanii svarki ferritnoj/martensitnoj stali, modificirovannoj borom [Evolution of microstructure in modeling welding of ferrite/martensitic steel modified with boron]. *Fizika metallov i metallovedenie = Physics of metals and metal science,* 2019, vol. 120, no. 7, pp. 731–745.

19. **Brown M.P.** *Mikrolegirovanie stali* [Microalloying steel]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1982.

20. **Brown M.P., Matyuvenko N.I.** Analiticheskij raschet poverhnostnoj aktivnosti niobiya, cirkoniya i lantana [Analytical calculation of surface activity of niobium, zirconium and lanthanum]. *Redkozemel'nye metally i splavy = Rare earth metals and alloys.* Moscow, Nauka Publ., 1971, pp. 73–75.

21. **Surikov V.I., Kalishevich G.I., Geld P.V.** Termodinamicheskie harakteristiki soedinenij Cr_3Si, Cr_3Ge, V_3Si, V_3Ge [Thermodynamic characteristics of the connections Cr_3Si, Cr_3Ge, V_3Si, V_3Ge]. *Zhurnal fizicheskoj himii = J. physical Chemistry,* 1975, vol. 49, no. 2, pp. 555–556.

22. **Gulyaev B.B.** *Sintez splavov* [Synthesis of alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984.

23. **Stanley J.T., Care K.R.** Ferrite formation in neutron irradiated type 316 Stainless Steel. *Metallurgical Transactions A,* 1975, vol. 6A, pp. 531–535.

24. **Berezovskaya V.V.** Sistema legirovaniya vysokoazotistyh austenitnyh stalej, struktura, mekhanicheskie i korrozionnye svojstva [Alloying system for 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: materials I International. interact. conf.* Yekaterinburg, Izd-vo Ural'skogo un-ta, 2012, part 1, pp. 257–266.

25. **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.