



ОБЗОР МЕЖДУНАРОДНЫХ ДОКУМЕНТОВ

УДК 691.714.124
EDN ZLFPFA

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ИНОСТРАННЫХ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ОБЩЕСТВ К ОТЛИВКАМ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СУДОСТРОЕНИИ

А.А. Грибанькова, д-р пед. наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121 Россия, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., 3, e-mail: Gribankova@smtu.ru

В.И. Трусов, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121 Россия, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., 3, e-mail: vtrui2008@mail.ru

М.А. Агиевич, канд. хим. наук, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 119071 Россия, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4, e-mail: agievichmaria@mail.ru

В статье проанализированы требования иностранных классификационных обществ (КО) за 2023 — 2024 гг. к отливкам из коррозионностойких сталей, применяемых в судостроении. Рассмотрены правила шести следующих иностранных организаций, разрабатывающих и применяющих технические стандарты в области проектирования, строительства и надзора за морскими объектами: Индийский регистр судоходства, Китайское КО, Бюро Веритас, Американское бюро судоходства, Норвежский Веритас и Итальянский морской регистр. Изложены механические свойства современных литейных сплавов на основе железа, их химические составы, возможные дефекты и требования к коррозионным испытаниям. Излагаются сведения и приводятся рекомендации по производству отливок из коррозионностойких сталей, получивших широкое применение в судостроении и разработанных в последнее время. Результаты исследования позволят предъявлять обоснованные требования к организации судостроительного производства и подбирать судостроительные материалы с заданными свойствами, обеспечивающие требуемые сроки эксплуатации. Выполнение требований способствует безопасности мореплавания, охране человеческой жизни и окружающей среды.

На основании проведенных исследований были разработаны требования к отливкам из коррозионностойких сплавов на основе железа и предложения для внедрения в нормативные документы Российского морского регистра судоходства (РС).

Ключевые слова: литейные стали, коррозионностойкие стали, иностранные классификационные общества, отливки, аустенитная сталь, ферритно-аустенитная сталь.

Для цитирования: Грибанькова А.А. Анализ требований иностранных классификационных обществ к отливкам из коррозионностойких сталей, применяемых в судостроении / А.А. Грибанькова, В.И. Трусов, М.А. Агиевич // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 79. — С. 164 — 173. — EDN ZLFPFA.

ANALYSIS OF REQUIREMENTS OF FOREIGN CLASSIFICATION COMMUNITIES TO CASTINGS OF CORROSION-RESISTANT STEELS USED IN SHIPBUILDING

A.A. Gribankova, St. Petersburg State Marine Technical University (SMTU), St. Petersburg State Marine Technical University, 190121 Russia, St. Petersburg, Lotsmanskaya ul., 3, e-mail: agribankova@smtu.ru

V.I. Trusov, St. Petersburg State Marine Technical University (SMTU), St. Petersburg State Marine Technical University, 190121 Russia, St. Petersburg, Lotsmanskaya ul., 3, e-mail: vtrui2008@mail.ru

M.A. Agievich, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS, 119071 Russia, Moscow, Leninskii pr., 31, korp. 4, e-mail: agievichmaria@mail.ru

The aim of this paper is to analyze the requirements of foreign classification societies for 2023–2024 to stainless steel castings intended for use in shipbuilding. The rules of six foreign organizations (Indian register of shipping, China classification society, Bureau Veritas, American bureau of shipping, Det Norske Veritas, Registro Italiano navale) developing and applying technical standards in the field of design, construction and supervision of offshore facilities were studied. The mechanical properties of modern cast iron-based alloys, their chemical compositions, possible defects and requirements for corrosion tests were presented. Information and recommendations were given for the production of stainless-steel castings widely used in shipbuilding and developed recently. The paper gives valuable information that helps to make reasonable requirements to the organization of shipbuilding production and to select shipbuilding materials with specified properties that ensure the required service life. Compliance with the requirements contributes to safety of navigation, protection of human life and environment.

On the basis of the research, requirements to castings from corrosion-resistant iron-based alloys and suggestions for implementation in the regulatory documents of the Maritime Register of Shipping (RS) were developed.

Key words: cast steels, corrosion-resistant steels, foreign classification societies, castings, austenitic steel, ferritic-austenitic steel.

For citation: Gribankova A.A., Trusov V.I., Agievich M.A. Analysis of requirements of foreign classification societies to castings or corrosion-resistant steels used in shipbuilding. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 79. P. 164 — 173. EDN ZLFPFA. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный рост и реорганизация судостроения требует дальнейшего расширения объема производства коррозионностойких сталей и сплавов [1]. При этом в связи с развитием новой техники возникла необходимость создания материалов, которые удовлетворяли бы возросшим требованиям в отношении механических, коррозионных и технологических свойств. В ряде случаев используемые в современном судостроении коррозионностойкие сплавы на основе железа слабо противостоят воздействию сильноагрессивных сред. Для придания литым деталям особых свойств, например повышенной коррозионной стойкости, в литейные сплавы вводят специальные легирующие элементы: хром, никель, титан, алюминий, медь, молибден, ванадий и др. [2].

Убытки, связанные с коррозией судов, из-за их исключительной металлоемкости особенно велики. Опыт показывает, что только при правильном проектировании судовых конструкций и использовании эффективных средств защиты от коррозии можно на 50 — 70 % уменьшить ущерб от коррозии, на 10 — 30 % снизить металлоемкость судов за счет уменьшения строительных трещин корпуса, увеличить грузоподъемность и эксплуатационный период судов.

За последнее десятилетие отечественными и зарубежными учеными накоплено много данных о свойствах коррозионностойких сплавов на основе железа, применяемых в судостроении. Следует отметить, что свои подходы и принципы в области классификации сталей и стальной продукции имеются практически у каждого государства и отражены в национальных стандартах [3].

Более 50 организаций по всему миру определяют свою деятельность как предоставление услуг по классификации морских судов, однако не все они входят в Международную ассоциацию КО. В обзоре систематизированы данные по анализу и обобщению требований к отливкам из коррозионностойких сплавов на основе железа следующих иностранных КО: Индийский регистр судоходства (Indian register of shipping, IRS), Китайское КО (China classification society, CCS), Бюро Веритас (Bureau Veritas, BV), Американское бюро судоходства (American bureau of shipping, ABS), Норвежский Веритас (Det Norske Veritas, DNV) и Итальянский морской регистр (Registro Italiano navale, RINA).

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

К сталям, используемым для океанских и морских судов, выдвигаются строгие требования по коррозионной стойкости, в том числе потому, что помимо хлоридов, присутствующих в соленой воде, образование ржавых язв на металле вызывают сероводород и остатки нефтепродуктов. В табл. 1 представлен химический состав девяти коррозионностойких сталей (304, 304L, 316, 316L, 317, 317L, 347, 2205, 2507), рекомендованных к применению Американским бюро судоходства [4].

Таблица 1

Химический состав отливок из коррозионностойкой стали (ABS)

Класс			Химический состав, %										
Аустенитные коррозионностойкие стали													
Тип	Марка	Отливка	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Другие
304	J92600	CF8; CF8A	0,080	2,00	1,50	0,040	0,030	18,0 – 21,0	8,0 – 11,0	0,50	—	—	—
304L	J92500	CF3; CF3A	0,030	2,00	1,50	0,040	0,030	17,0 – 21,0	8,0 – 12,0	0,50	—	—	—
316	J92900	CF8M	0,080	1,50	1,50	0,040	0,030	17,0 – 21,0	9,0 – 13,0	2,00 – 3,00	—	—	—
316L	J92800	CF3M	0,030	1,50	1,50	0,040	0,030	17,0 – 21,0	9,0 – 13,0	2,00 – 3,00	—	—	—
317	J93000	CG8M	0,080	1,50	1,50	0,040	0,030	18,0 – 21,0	9,0 – 13,0	3,00 – 4,00	—	—	—
317L	J92288	CG3M	0,030	1,50	1,50	0,040	0,030	18,0 – 21,0	9,0 – 13,0	3,00 – 4,00	—	—	—
347	J92710	CF8C	0,080	2,00	1,50	0,040	0,030	18,0 – 21,0	9,0 – 12,0	—	—	—	Nb, 10 × C мин, 1,00 макс.
Ферритно-аустенитные дуплексные нержавеющие стали													
2205	J92202 (S3803)	CD3MN-4A	0,030	1,00	1,50	0,035	0,020	21,0–23,0	4,5 – 6,5	2,50 – 3,50	—	0,15 – 0,20	—
2507	J93404	CE3MN-5A	0,030	1,00	1,50	0,035	0,020	24,0–26,0	6,0 – 8,0	2,50 – 3,50	—	0,10 – 0,30	—

Итальянский регистр [5] и Бюро Веритас [6] для изготовления отливок рекомендуют 5 классов коррозионностойкой стали, применяемой в судостроении (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав отливок из коррозионностойкой стали (RINA, BV)

Класс	Химический состав, %								
	C max	Mn max	Si max	P max	S max	Cr	Ni	Mo	Другие
304L	0,030	2,0	1,5	0,040	0,030	17,0 – 21,0	8,0 – 12,0	—	—
304	0,080	2,0	1,5	0,040	0,030	17,0 – 21,0	8,0 – 12,0	—	—
316L	0,030	2,0	1,5	0,040	0,030	17,0 – 21,0	9,0 – 13,0	2,0 – 3,0	—
316	0,080	2,0	1,5	0,040	0,030	17,0 – 21,0	9,0 – 13,0	2,0 – 3,0	—
347	0,080	2,0	1,5	0,040	0,030	17,0 – 21,0	9,0 – 13,0	—	10 × C ≤ Nb ≤ 0,080

Индийский регистр судоходства [7] приводит требования к отливкам из аустенитных нержавеющих сталей, используемых в трубопроводных системах судов для сжиженных газов с расчетной температурой не ниже – 165 °C и наливных химовозов (табл. 3).

Таблица 3

Химический состав отливок из аустенитной коррозионностойкой стали (IRS)

Тип стали	Химический состав (%)								
	C макс.	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	Другие
304L	0,03	0,20 – 1,5	0,50 – 2,0	0,040 макс.		17,0 – 21,0	—	8,0 – 12,0	—
304	0,08	0,20 – 1,5	0,50 – 2,0	0,040 макс.		17,0 – 21,0	—	8,0 – 12,0	—
316L	0,03	0,20 – 1,5	0,50 – 2,0	0,040 макс.		17,0 – 21,0	2,0 – 3,0	9,0 – 13,0	—
316	0,08	0,20 – 1,5	0,50 – 2,0	0,040 макс.		17,0 – 21,0	2,0 – 3,0	9,0 – 13,0	—
317	0,08	0,20 – 1,5	0,50 – 2,0	0,040 макс.		17,0 – 21,0	3,0 – 4,0	9,0 – 12,0	—
347	0,06	0,20 – 1,5	0,50 – 2,0	0,040 макс.		17,0 – 21,0	—	9,0 – 12,0	Nb ≥ 8 × C ≤ 0,90

В правилах Китайского КО [8] приведены составы 5 отливок из аустенитной нержавеющей стали (табл. 4) для трубопроводных систем, используемых в низкотемпературной среде и требующих коррозионной стойкости. В табл. 5 представлен химический состав отливок из коррозионностойкой стали, рекомендованный Норвежским Веритас [9].

Таблица 4

Химический состав отливки из аустенитной коррозионностойкой стали (CCS)

Марка стали	Химический состав (%)								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	Другие элементы
00Cr18Ni10	≤0,03	0,20 – 1,50	0,50 – 2,0	≤0,04	≤0,04	16,0 – 21,0	—	8,0 – 12,0	—
0Cr18Ni9	≤0,08	0,20 – 1,50	0,50 – 2,0	≤0,04	≤0,04	16,0 – 21,0	—	8,0 – 12,0	—
00Cr17Ni14Mo3	≤0,03	0,20 – 1,50	0,50 – 2,0	≤0,04	≤0,04	16,0 – 21,0	2,0 – 3,0	9,0 – 13,0	—
0Cr18Ni9Ti	≤0,08	0,20 – 1,50	0,50 – 2,0	≤0,04	≤0,04	16,0 – 21,0	—	8,0 – 12,0	5C ≤ Ti ≤ 0,70
1Cr18Ni11Nb	≤0,06	0,20 – 1,50	0,50 – 2,0	≤0,04	≤0,04	16,0 – 21,0	—	8,0 – 12,0	8C ≤ Nb ≤ 0,90

Американским бюро судоходства разрешено к применению 9 типов коррозионностойких сталей для производства отливок, что почти в два раза превышает количество типов сталей, разрешенных к применению другими исследованными КО. В целом можно отметить, что все КО рекомендуют к применению для производства отливок следующие коррозионностойкие стали: 304, 304L, 316, 316L, 317, 317L, 347. Национальные аналоги этих сталей: 08X18H10T, 12X18H10T, 03X17H14M3, 10X17H13M3T.

Таблица 5

Химический состав отливок (пределы) из коррозионностойкой стали (DNV)

Тип стали	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
GX 2 CrNi 18 10 (304L)	0,03	2,0	1,5	0,040	0,030	17,0 – 21,0	—	8,0 – 12,0
GX 5 GrNi 19 9 (304)	0,08	2,0	1,5	0,040	0,030	18,0 – 21,0	—	8,0 – 11,0
GX 6 CrNiNb 19 10 (347)	0,08	2,0	1,5	0,040	0,030	18,0 – 21,0	—	9,0 – 12,0
GX 2 CrNiMo 19 11 2 (316L)	0,03	1,5	1,5	0,040	0,030	17,0 – 21,0	2,0 – 3,0	9,0 – 13,0
GX 5 CrNiMo 19 11 2 (316)	0,08	1,5	1,5	0,040	0,030	17,0 – 21,0	2,0 – 3,0	9,0 – 12,0
GX 5 CrNiMo 19 11 3 (317)	0,08	1,5	1,5	0,040	0,030	17,0 – 21,0	3,0 – 4,0	9,0 – 13,0

Коррозионностойкие стали, которые используются для изготовления отливок и описанные в Бюро Веритас (Bureau Veritas), предназначены для изготовления грузовых танков, сосудов, работающих под давлением и трубопроводной арматуры для химических реактивов и/или эксплуатации при низких температурах, а также литья и ремонта новых гребных винтов и лопастей. Требования к химическому составу и механическим свойствам упомянутых марок могут быть использованы при ремонте и проверке воздушных винтов, поврежденных в процессе эксплуатации.

Составы отливок из аустенитной коррозионностойкой стали, приведенные в Правилах постройки судов Китайского КО, применяются к стали для трубопроводных систем, используемых в условиях низких температур (где расчетная температура не ниже – 165 °С, например, на судах для перевозки сжиженного газа) и требующих коррозионной стойкости (например, на танках для перевозки химических веществ).

2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К основным механическим свойствам, определяемым при производстве отливок, относятся твердость, прочность, пластичность (вязкость), усталость, износостойкость и др. К литым заготовкам в настоящее время предъявляются высокие требования по усталостной прочности, износостойкости, коррозионной стойкости, плотности, пластическим и другим физико-механическим свойствам [2, 10]. Требования к механическим свойствам отливок из коррозионностойкой стали Американского бюро судоходства указаны в табл. 6.

По правилам Индийского регистра судоходства образцы для механического испытания на растяжение должны быть изготовлены из материала, представляющего каждую отливку или партию отливок. Кроме того, если отливки предназначены для изготовления оборудования для перевозки сжиженного газа, где расчетная температура ниже – 55 °С, необходимо подготовить один комплект из трех образцов для испытания на ударный изгиб по Шарпи. В табл. 7 представлены механические свойства отливок из аустенитной нержавеющей стали согласно Индийскому регистру судоходства и Итальянскому морскому регистру.

Таблица 6

Требования к механическим свойствам отливок из коррозионностойкой стали (ABS)

Сорт			Предел прочности, МПа (ksi), мин.	Предел текучести, МПа (ksi), мин. $R_{p0,2}$	Удлинение, 50 мм, % мин.	Испытание на ударный изгиб по Шарпи	
Тип	Национальный стандарт	Марка отливки				Средняя энергия (Дж)	Тестовая температура °C
Аустенитная коррозионностойкая сталь							
304	J92600	CF8; CF8A	485 (70)	205 (30)	35	41	– 196
304L	J92500	CF3; CF3A	485 (70)	205 (30)	35		
316	J92900	CF8M	485 (70)	205 (30)	30		
316L	J92800	CF3M	485 (75)	205 (30)	30		
317	J93000	CG8M	515 (75)	240 (45)	25		
317L	J92288	CG3M	515 (75)	240 (35)	25		
347	J92710	CF8C	485 (70)	205 (30)	30		
Ферритно-аустенитная дуплексная коррозионностойкая сталь							
2205	J92202 (S31803)	CD3MN-4A	620 (90)	415 (60)	25	41	– 20
2507	J93404	CE3MN-5A	690 (100)	515 (75)	18		

Таблица 7

Механические свойства отливок из аустенитной коррозионностойкой стали (IRS, RINA)

Тип стали	Предел прочности, R_m (н/мм ²) мин.	Предел текучести, $R_{p1,0}$ (н/мм ²) мин.	Удлинение на $5,65\sqrt{s_0}$, (%) мин.	Относительное сужение, Z (%) мин.	Испытание на ударный изгиб по Шарпи	
					Температура (°C)	Энергия (Дж)
304L	430	215	26	40	– 196	41
304	480	220	26	40	– 196	41
316L	430	215	26	40	– 196	41
317	480	240	26	40	– 196	41
347	480	215	22	35	– 196	41

В правилах о материалах Бюро Веритас установлены требования к механическим свойствам отливок из коррозионностойкой стали (табл. 8). Из каждого испытуемого образца необходимо отобрать один образец испытания на растяжение и три образца для испытания на ударный изгиб по Шарпи. Если не оговорено иное, испытания на удар аустенитных марок должны проводиться при расчетной температуре ниже – 105 °C и при температуре – 196 °C. В случае использования отливок для производства изделий, используемых для транспортировки и хранения сжиженных газов, применяются следующие условия:

- испытания на удар необходимы для отливок из стали марок 316 и 316L (содержащих молибден) независимо от расчетной температуры и должны проводиться при температуре – 196 °C. Сокращение количества испытаний может быть разрешено при расчетных температурах выше – 60 °C по согласованию Бюро Веритас;
- испытания на удар необходимы для отливок из стали марок 304, 304L, 321 и 347 при расчетной температуре ниже – 60 °C и должны проводиться при – 196 °C.

Таблица 8

Механические свойства (BV)

Обозначение марки	Предел текучести $R_{p1,0}$ (н/мм ²) мин.	Предел прочности R_m (н/мм ²) мин.	Удлинение A_5 (%) мин.	Относительное сужение, Z мин. (%)	Средняя энергия удара мин KV при – 196 °C
304L	215	430	26	40	41
304	220	480	26	40	41
316L	215	430	26	40	41
316	240	480	26	40	41
347	215	480	22	35	41

В требованиях к материалам и сварке Китайского КО указано, что из каждой отливки или партии отливок должно быть приготовлено не менее одного образца для испытаний. Из каждого испытательного образца следует вырезать не менее одного образца для испытания на растяжение. Если отливки предназначены для работы со сжиженным газом и расчетная температура ниже, чем – 55 °C, также необходимо взять один комплект из трех образцов для испытания на ударный изгиб по Шарпи, если этого требует China Classification Society. Механические свойства отливок должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 9.

Таблица 9

Механические свойства отливок из коррозионностойкой стали (CCS)

Марка стали	Предел прочности (н/мм ²) мин.	Предел текучести (н/мм ²) мин.	Удлинение A_5 (%) мин.	Относительное сужение, Z мин. (%)	Испытание на ударный изгиб по Шарпи	
					Температура испытания (°C)	Средняя энергия, Дж мин
00Cr18Ni10	400	200	26	40	– 196	41
0Cr18Ni9	440	220	26	40	– 196	41
00Cr17Ni14Mo3	430	215	26	40	– 196	41
0Cr18Ni9Ti	480	240	22	35	– 196	41
1Cr18Ni11Nb	480	240	22	35	– 196	41

Норвежский морской регистр указывает на следующие механические свойства отливок из коррозионностойкой стали согласно табл. 10.

Таблица 10

Механические свойства отливок из коррозионностойкой стали (DNV)

Тип стали	Предел текучести $R_{p0,2}$ мин. (н/мм ²)	Предел прочности R_m (н/мм ²) мин.	Удлинение A_5 (%) мин.	Испытание на ударный изгиб по Шарпи	
				Температура (°C)	Энергия (Дж)
GX 2 CrNi 18 10 (304L)	180	440	30	– 196	41
GX 5 GrNi 19 9 (304)	180	440	30	– 196	41
GX 6 CrNiNb 19 10 (347)	180	440	25	– 196	41
GX 2 CrNiMo 19 11 2 (316L)	180	440	30	– 196	41
GX 5 CrNiMo 19 11 2 (316)	180	440	30	– 196	41

3. ДЕФЕКТЫ

При литье по выплавляемым моделям поверхности тонкостенных отливок из нержавеющей высокохромистых сталей часто поражены специфическими точечными дефектами. Наличие такого вида дефектов на поверхности отливок снижает чистоту поверхности, ухудшает товарный вид литой заготовки [11]. Китайское классификационное общество классифицирует дефекты отливок по объему сварочного ремонта:

1) капитальным ремонтом считается ремонт, глубина которого превышает 25 % толщины стенки или 25 мм, в зависимости от того, что меньше, или когда общая площадь сварного шва на отливке превышает 2 % поверхности отливки, с учетом того, что если ширина расстояния между двумя сварными швами меньше их средней ширины, то их следует рассматривать как один сварной шов;

2) мелким ремонтом считается ремонт, при котором общая площадь сварного шва (длина × ширина) превышает 500 мм²;

3) косметический ремонт — это все остальные сварные швы, не включенные в пункты (1) и (2) выше.

В требованиях Американского бюро судоходства указано, что дефекты следует считать незначительными, если полость, подготовленная к сварке, имеет глубину не более 20 % фактической толщины стенки, но ни в коем случае не более 25 мм и не имеет линейных размеров, превышающих более чем в четыре раза толщину стенки. Неглубокие канавки или углубления, образовавшиеся в результате устранения дефектов, допускаются при условии, что они не приводят к заметному снижению прочности отливки. Образовавшиеся канавки или углубления впоследствии следует зашлифовать и убедиться в полном удалении дефектного материала с помощью капиллярной жидкости. Ремонт мелких дефектов, требующих сварки, следует рассматривать как ремонт сваркой и устранять в соответствии с утвержденной процедурой. Незначительные дефекты в критических местах следует рассматривать и устранять так же, как и крупные дефекты.

Дефекты могут быть устранены шлифованием или скалыванием при условии сохранения приемлемых размеров детали. Получающиеся в результате канавки должны иметь радиус дна, в три раза превышающий глубину канавки, и должны сливаться с окружающей поверхностью, чтобы избежать резких контуров. Полное устранение дефектного материала должно быть подтверждено методом капиллярного контроля.

Ремонт отливок сваркой должен получить предварительное одобрение Американского бюро судоходства. В таких случаях на утверждение должны быть представлены полные сведения об объеме и месте ремонта, предлагаемой процедуре сварки, термообработке и последующих процедурах контроля.

Индийским бюро судоходства также определены требования к термообработке отливок из коррозионностойкой стали. Тип применяемой термообработки будет зависеть от химического состава отливки, а также размеров, положения и характера ремонта и не должен влиять на свойства отливки. По предварительному согласованию с Индийским бюро судоходства особое внимание может быть уделено отказу от термообработки после сварки или использованию термообработки для снятия локальных напряжений, если ремонтируемый участок небольшой. По завершении термообработки ремонтные швы и прилегающий материал должны быть отшлифованы и проверены магнитопорошковым методом или капиллярным методом. В зависимости от размеров и характера исходного дефекта может быть проведено дополнительное ультразвуковое или рентгенографическое исследование.

Дефекты отливок, которые могут ухудшить их эксплуатационные характеристики, например крупные неметаллические включения, усадочные полости, дыры и трещины, не допускаются. Они могут быть удалены одним из разрешенных КО способов и отремонтированы.

К литым заготовкам в настоящее время предъявляются высокие требования по усталостной прочности, износостойкости, коррозионной стойкости, плотности, пластическим и другим физико-механическим свойствам. В табл. 11 представлены сводные данные по химическому составу отливок из коррозионностойких сталей, рекомендованных иностранными КО.

Таблица 11

Сводная таблица требований к химическому составу отливок из коррозионностойкой стали

Марка стали	Химический состав								
	C _{макс}	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Другие
304	Американское бюро судоходства								
	0,08	2,00	1,50	0,04	0,03	18,0 – 21,0	8,0 – 11,0	0,50	—
	Итальянский морской регистр и Бюро Веритас								
	0,08	1,50	2,0	0,04	0,03	17,0 – 21,0	8,0 – 12,0	—	—
	Индийский регистр судоходства								
	0,08	0,20 – 1,50	0,5 – 2,0	0,04	0,04	17,0 – 21,0	8,0 – 12,0	—	—
	Норвежский Веритас								
	0,08	2,0	1,5	0,04	0,03	18,0 – 21,0	8,0 – 11,0	—	—
0Cr18Ni9	Китайский морской регистр								
	0,08	0,20 – 1,50	0,50 – 2,0	0,04	0,04	16,0 – 21,0	8,0 – 12,0	—	—
304L	Американское бюро судоходства								
	0,03	2,0	1,50	0,04	0,03	17,0 – 21,0	8,0 – 12,0	0,5	—
	Итальянский морской регистр и Бюро Веритас								
	0,03	1,50	2,0	0,04	0,03	17,0 – 21,0	8,0 – 12,0	—	—
	Индийский регистр судоходства								
	0,03	0,20 – 1,50	0,50 – 2,0	0,04	0,04	17,0 – 21,0	8,0 – 12,0	—	—
	Норвежский Веритас								
	0,03	2,0	1,05	0,04	0,04	17,0 – 21,0	8,0 – 12,0	—	—
00Cr18Ni10	Китайский морской регистр								
	0,03	0,20 – 1,50	0,50 – 2,0	0,04	0,04	16,0 – 21,0	8,0 – 12,0	—	—

Продолжение — табл. 11

Марка стали	Химический состав								
	C _{макс}	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Другие
316	Американское бюро судоходства								
	0,08	2,0	1,50	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	2,0 — 3,0	—
	Итальянский морской регистр и Бюро Веритас								
	0,08	1,50	2,0	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	2,0 — 3,0	—
	Индийский регистр судоходства								
	0,08	0,20 — 1,50	0,50 — 2,0	0,04	0,04	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	2,0 — 3,0	—
	Норвежский Веритас								
	0,08	1,50	1,5	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 12,0	2,0 — 3,0	—
316L	Американское бюро судоходства								
	0,03	1,50	1,50	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	2,0 — 3,0	—
	Итальянский морской регистр и Бюро Веритас								
	0,03	1,50	2,0	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	2,0 — 3,0	—
	Индийский регистр судоходства								
	0,03	0,20 — 1,50	0,50 — 2,0	0,04	0,04	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	2,0 — 3,0	—
	Норвежский Веритас								
	0,03	1,50	1,50	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	2,0 — 3,0	—
00Cr17Ni14Mo3	Китайский морской регистр								
	0,03	0,20 — 1,50	0,50 — 2,0	0,04	0,04	16,0 — 21,0	9,0 — 13,0	2,0 — 3,0	—
347	Американское бюро судоходства								
	0,08	1,50	2,0	0,04	0,03	18,0 — 21,0	9,0 — 12,0	—	Nb, $10 \times C_{\text{мин.}}, 1,00_{\text{макс.}}$
	Итальянский морской регистр и Бюро Веритас								
	0,08	1,50	2,0	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	—	$10 \times C \leq Nb \leq 0,080$
	Индийский регистр судоходства								
	0,06	0,20 — 1,50	0,50 — 2,0	0,04	0,04	17,0 — 21,0	9,0 — 12,0	—	$Nb \geq 8 \times C \leq 0,90$
	Норвежский Веритас								
	0,08	2,0	1,5	0,04	0,03	18,0 — 21,0	9,0 — 12,0	—	—
1Cr18Ni11Nb	Китайский морской регистр								
	0,06	0,20 — 1,50	0,50 — 2,0	0,04	0,04	16,0 — 21,0	8,0 — 12,0	—	$8C \leq Nb \leq 0,09$
317	Американское бюро судоходства								
	0,08	1,50	1,50	0,04	0,03	18,0 — 21,0	9,0 — 13,0	3,0 — 4,0	—
	Индийский регистр судоходства								
	0,08	0,20 — 1,50	0,50 — 2,0	0,04	0,04	17,0 — 21,0	9,0 — 12,0	3,0 — 4,0	—
	Норвежский Веритас								
	0,08	1,50	1,50	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	3,0 — 4,0	—
317L	Американское бюро судоходства								
	0,03	1,50	1,50	0,04	0,03	18,0 — 21,0	9,0 — 13,0	3,0 — 4,0	—

Окончание — табл. 11

Марка стали	Химический состав								
	C _{макс}	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Другие
321 0Cr18Ni9Ti	Китайский морской регистр								
	0,08	2,0 — 1,50	0,50 — 2,0	0,04	0,04	16,0 — 21,0	8,0 — 12,0	—	5C ≤ Ti ≤ 0,70
2205	Американское бюро судоходства								
	0,03	1,0	1,50	0,035	0,02	21,0-23,0	4,5 — 6,5	2,50 — 3,50	N: 0,15 — 0,20
2507	Американское бюро судоходства								
	0,03	1,0	1,50	0,035	0,02	24,0 — 26,0	6,0 — 8,0	2,50 — 3,50	N: 0,10 — 0,30

Анализ требований зарубежных КО к отливкам из коррозионностойких сплавов на основе железа и их внедрение в нормативные документы РС позволит предъявлять обоснованные требования к изготовлению данных материалов для объектов наблюдения РС с соответствующим уровнем надежности. Для изготовления элементов грузовых цистерн и трубопроводной арматуры на судах, перевозящих химические вещества целесообразно рекомендовать РС применять следующие марки стали, приведенные в табл. 12.

Для изготовления отливок из коррозионностойких сталей.

Таблица 12

Химический состав отливок из коррозионностойких сплавов, на основе железа

Марка стали (AISI/UNS)	Химический состав, %								
	C max	Mn max	Si max	P max	S max	Cr	Ni	Mo	Другие
304L	0,03	2,0	1,5	0,04	0,03	17,0 — 21,0	8,0 — 12,0	—	—
304	0,08	2,0	1,5	0,04	0,03	17,0 — 21,0	8,0 — 12,0	—	—
316L	0,03	2,0	1,5	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	2,0 — 3,0	—
316	0,08	2,0	1,5	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	2,0 — 3,0	—
321	0,08	2,0	1,0	0,045	0,03	17,0 — 19,0	9,0 — 12,0	—	Ti ≥ 5 × C ≤ 0,07
347	0,08	2,0	1,5	0,04	0,03	17,0 — 21,0	9,0 — 13,0	—	10 × C ≤ Nb ≤ 0,080
Марка стали (национальная)									
03X17H14M3	0,03	1,0 — 2,0	0,4	0,03	0,02	16,8 — 18,3	13,5 — 15,0	2,2 — 2,8	—
12X18H10T	0,12	2,0	0,8	0,035	0,02	17,0 — 19,0	9,0 — 11,0	—	Ti (5C — 0,8)
08X18H10T	0,08	2,0	0,8	0,035	0,02	17,0 — 19,0	9,0 — 11,0	—	Ti (5C — 0,7)
10X17H13M3T	0,1	2,0	0,8	0,035	0,02	16,0 — 18,0	12,0 — 14,0	3,0 — 4,0	Ti (5C — 0,7)

ВЫВОДЫ

Приведенные в статье результаты могут применяться в технологиях судоремонта и судостроения. Показано, что французское Бюро Веритас рекомендует к использованию ограниченное число марок коррозионностойких литейных сталей. Американское бюро судоходства допускает к использованию более широкий перечень литейных коррозионностойких сталей (аустенитные и аустенитно-ферритные дуплексные стали), но предъявляет строгие требования и ограничения к применению и тестированию этих сталей. Сравнив требования различных КО, были предложены марки коррозионностойких сталей для изготовления отливок с целью разработки текста требований для внесения корректировок в главу 3.16 части XIII Правил классификации и постройки морских судов РС.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а также ФАУ «Российский морской регистр судоходства», договор на выполнение НИР № 23-51332 «Разработка требований к отливкам из коррозионностойких сплавов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаков А.А. Коррозионностойкие стали и сплавы / А.А. Бабаков, М.В. Приданцев. — М.: Metallurgiya, 1971. — 320 с.
2. Марукович Е.И. Литейные сплавы и технологии / Е.И. Марукович, М.И. Карпенко. — Минск: Белорусская наука, 2022. — 442 с.
3. Гришина Е. Проблема классификации стали в России и Европе / Е. Гришина // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. — 2008. — Т. 40, № 3. — С. 31 — 35.
4. Requirements for Materials and Welding for Stainless Steels / American Bureau of Shipping. — 2022. — 150 p.
5. Rules for the Classification of Ship / Registro Italiano Navale. — 2023. — 308 p.
6. Rules on Materials and Welding for the Classification of Marine Units / Bureau Veritas. — 2024. — 368 p.
7. Rules and Regulations for the Construction and Classification of Steel Ships / Indian Register of Shipping. — 2023. — 2291 p.
8. Rules for materials and welding / China Classification Society. — 2021. — 325 p.
9. Metallic Materials: Offshore Standard DNV-OS-B101 / Det Norske Veritas AS. — 2012. — 61 p.
10. Картонова Л.В. Выбор материалов и способов изготовления изделий: уч. пос. / Л.В. Картонова, В.А. Кечин. — Владимир: ВлГУ, 2022. — 160 с.
11. Чижова Е.В. Моделирование процесса литья нержавеющей стали с целью снижения точечных поверхностных дефектов отливок / Е.В. Чижова, П.Н. Цибизов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. — 2014. — Т. 12, № 4. — С. 167 — 173.
12. Knisz J. Microbiologically influenced corrosion — more than just microorganisms / J. Knisz, R. Eckert, L.M. Gieg, A. Koerdet et al. // FEMS Microbiology Reviews. — 2023. — Vol. 47, No. 5. — DOI 10.1093/femsre/fuad041.

REFERENCES

1. Babakov A.A., Pridancev M.V. Korrozionnostojkie stali i splavy [Corrosion-resistant steels and alloys]. Moscow: Metallurgiya, 1971. 320 p.
2. Marukovich E.I., Karpenko M.I. Litejnye splavy i tekhnologii [Casting alloys and technologies]. Minsk: Belorusskaya navuka, 2022. 442 p.
3. Grishina E. Problema klassifikatsii stali v Rossii i Evrope [The problem of steel classification in Russia and Europe]. *Obrabotka metallov: tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty* [Metalworking: technology, equipment, tools]. 2008. Vol. 40, No. 3. P. 31 — 35.
4. American Bureau of Shipping. Requirements for Materials and Welding for Stainless Steels, 2022. 150 p.
5. Requirements for Materials and Welding for Stainless Steels / American Bureau of Shipping. 2022. 150 p.
5. Rules for the Classification of Ship / Registro Italiano Navale. 2023. 308 p.
6. Rules on Materials and Welding for the Classification of Marine Units / Bureau Veritas. 2024. 368 p.
7. Rules and Regulations for the Construction and Classification of Steel Ships / Indian Register of Shipping. 2023. 2291 p.
8. Rules for materials and welding / China Classification Society. 2021. 325 p.
9. Metallic Materials: Offshore Standard DNV-OS-B101 / Det Norske Veritas AS. 2012. 61 p.
10. Kartonova L.V., Kechin V.A. Vybora materialov i sposobov izgotovleniya izdelij [Selection of materials and manufacturing methods: study guide]. Vladimir: VIGU, 2022. 160 p.
11. Chizhova E.V., Tsibizov P.N. Modelirovanie processa lit'ya nerzhavayushchikh staley s tsel'yu snizheniya tochechnykh poverhnostnykh defektov otlivok [Modeling the stainless-steel casting process to reduce point surface defects in castings]. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* [Models, systems, networks in economics, technology, nature and society]. 2014. Vol. 12, No. 4. P. 167 — 173.
12. Knisz J., Eckert R., Gieg L.M., Koerdet A. et al. Microbiologically influenced corrosion — more than just microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*. 2023. Vol. 47, No. 5. DOI 10.1093/femsre/fuad041.