

СССР.14.018 86
КСС

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ИМ. И. П. БАРДИНА

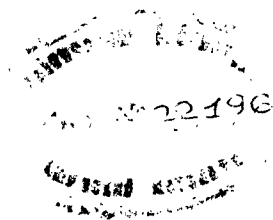
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО
“СПЕЦМЕТАЛЛЫ”

Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы

Справочник



«ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ»
Москва, 2000



УДК 669.14.018.85

ББК 30.37

К 66

Авторы: А. П. Шлямнев, Т. В. Свистунова, О. Б. Лапшина, Н. А. Сорокина, В. И. Маторин, В. И. Столяров, С. Д. Боголюбский, Н. Н. Козлова, А. Ф. Еднерал.

Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: Справ. изд. / А. П. Шлямнев и др. – М.: "Интермет Инжиниринг". 2000. – 232 с.

ISBN 5-89594-028-5

Приведены основные сведения о наиболее широко применяемых коррозионностойких, жаростойких и высокопрочных сталях и сплавах на железной, железоникелевой и никелевой основах: марочный состав, сортамент, механические свойства при низких, повышенных и высоких температурах, свойства в зависимости от степени обжата при холодной пластической деформации, коррозионная стойкость в наиболее распространенных средах, жаростойкость, длительная прочность, технологические параметры, физические свойства и области применения, а также условия поставки.

Для работников металлургических предприятий, химического, нефтяного и криогенного машиностроения, химической, нефтехимической, нефтегазодобывающей, медицинской, пищевой и других отраслей промышленности. Ил. 8. Табл. 654. Библиогр. список: 64 назв.

УДК 669.14.018.85

ББК 30.37

ISBN 5-89594-028-5

© Шлямнев А. П., Свистунова Т. В.,
Лапшина О.Б., Сорокина Н. А.,
Маторин В. И., Столяров В. И.,
Боголюбский С. Д., Козлова Н. Н.,
Еднерал А. Ф.,
"Интермет Инжиниринг", 2000 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	7
Условные обозначения	10
Часть I. Коррозионностойкие стали и сплавы	11
Глава 1. Нержавеющие хромистые стали	12
1.1. Сталь 20X13	14
1.2. Стали 30X13, 40X13	17
1.3. Сталь 65X13	21
1.4. Сталь 50X14МФ	23
1.5. Стали 90X18МФ, 95X18	27
Глава 2. Хромистые стали ферритного класса	32
2.1. Сталь 04X15СТ	32
2.2. Сталь 08X18Т1	34
2.3. Сталь 08X18Тч	35
2.4. Сталь 04X19МАФТ	37
2.5. Сталь 01X18М2Т-ВИ	39
2.6. Сталь 01X25ТБЮ-ВИ (ЧС-76)	40
Глава 3. Хромоникелевые стали аустенитного класса	42
3.1. Стали 12X18Н10Т, 12X18Н9Т	43
3.2. Сталь 08X18Н10	46
3.3. Сталь 08X18Н10Т (ЭИ914)	48
3.4. Сталь 08X18Н12Б (ЭИ402)	49
3.5. Стали 03X18Н11, 02X18Н11	51
3.6. Сталь 03X19АГ3Н10	54
Глава 4. Хромомарганцевые и хромомарганцевоникелевые стали аустенитного класса	56
4.1. Сталь 12X13АГ14Д	57
4.2. Сталь 10X14Г14Н4Т (ЭИ711)	59
4.3. Сталь 03X20Н16АГ6	62
4.4. Сталь 07X21Г7АН5 (ЭП222)	63
Глава 5. Хромоникелевые и хромоникельмолибденовые стали аустенитно-ферритного класса	67
5.1. Сталь 08X22Н6Т (ЭП53)	69
5.2. Сталь 03X23Н6 (ЗИ68)	72
5.3. Сталь 08X21Н6М2Т (ЭП54)	74
5.4. Сталь 03X22Н6М2 (ЗИ67)	76
5.5. Сталь 03X24Н6АМ3 (ЗИ130)	78
Глава 6. Высоколегированные стали аустенитного класса	80
6.1. Стали 08X17Н13М2Т, 10X17Н13М2Т (ЭИ448), 10X17Н13М3Т (ЭИ432), 08X17Н15М3Т (ЭИ580)	82

	6.2. Сталь 03X17H14M3	85
	6.3. Сталь 03X18H16M3-ВД (ЗИ133-ВД)	87
	6.4. Сталь 03X21H21M4ГБ (ЗИ-35)	91
	6.5. Сталь 02X21H25M5ДБ (ЭК5)	95
	6.6. Сталь 02X25H22AM2-ПТ (ЧС108-ПТ)	97
	6.7. Сталь 02X8H22C6 (ЭП794)	99
	6.8. Сталь 015X14H19C6Б (ЧС110-ВИ)	102
Глава 7.	Сплавы на железоникелевой основе	104
	7.1. Сплав 06XH28МДТ (ЭИ943)	107
	7.2. Сплав 03XH28МДТ (ЭП516)	109
	7.3. Сплав ХН30МДБ (ЭК77)	111
	7.4. Сплав ХН40МДБ-ВИ (ЭП937-ВИ)	114
	7.5. Сплав ХН40МДТЮ (ЭП543У)	116
Глава 8.	Сплавы на никелевой основе	119
	8.1. Никель марок НП2, НП1А, НП1А-ИД	122
	8.2. Сплав Н70МФВ-ВИ (ЭП814А-ВИ)	124
	8.3. Сплав Н65М-ВИ (ЭП982-ВИ)	127
	8.4. Сплав ХН58В (ЭП795)	129
	8.5. Сплав ХН65МВУ (ЭП760)	131
	8.6. Сплав ХН65МВ (ЭП567)	134
	8.7. Сплав ХН63МБ (ЭП758У)	136
	8.8. Сплав ХН55МБЮ (ЭП666)	139
Часть II. Жаростойкие стали и сплавы		143
Глава 1.	Хромистые стали ферритного класса	147
	1.1. Сталь 03X20Ю3НТБ (КО-4)	147
	1.2. Сталь 15X25Т (ЭИ439)	148
Глава 2.	Хромоникелевая сталь аустенитно-ферритного класса	151
	2.1. Сталь 20X20H14C2 (ЭИ 211)	151
Глава 3.	Хромоникелевые стали аустенитного класса	153
	3.1. Сталь 12X18H9	153
	3.2. Сталь 10X18H18Ю4Д (ЭП841)	156
	3.3. Сталь 20X23H18 (ЭИ417)	158
	3.4. Сталь 12X25H16Г7АР (ЭИ835)	160
	3.5. Сталь 07X25H16АГ6Ф (ЭП 750)	162
	3.6. Сталь 20X25H20C2 (ЭИ 283)	163
Глава 4.	Сплавы на железоникелевой основе	166
	4.1. Сплав ХН32Т (ЭП 670)	166
	4.2. Сплав ХН45Ю (ЭП 747)	168
Глава 5.	Сплавы на никелевой основе	170
	5.1. Сплав ХН70Ю (ЭИ 652)	170
	5.2. Сплав ХН78Т (ЭИ 435)	172
	5.3. Сплав ХН60ВТ (ЭИ 868)	174

Часть III. Высокопрочные мартенситно-стареющие стали	177
Глава 1. Коррозионностойкие мартенситно-стареющие стали	180
1.1. Сталь 03X9K14H6M3Д (ЭП921)	180
1.2. Сталь 03X13H8Д2ТМ (ЭП699)	182
Глава 2. Конструкционные мартенситно-стареющие стали	
2.1. Сталь 03Н18К8М5Т-ВД (ЭК21-ВД)	185
2.2. Стали 03Н18М2Т2-ВИ, 03Н14Х4М2Т2-ВИ	186
2.3. Стали 03Н18К9М5Т-ВД (ЭП637-ВД, ВКС210-ВД), 02Н18К9М5Т-ИД (ЭП637-ИД, ВКС210-ИД), 01Н18К9М5Т-ИЛ (ЭП637-ИЛ, ВКС210-ИЛ)	187
2.4. Стали 03Н15К10М5Ф5-ВД (ЭК169-ВД), 03Н15К10М5Ф5-ИД (ЭК169-ИД), 02Н15К10М5Ф5-ВИ	188
2.5. Сталь 01Н17К12М5Т-ИЛ (ЭП845-ИЛ)	190
2.6. Сплав 21НКТ-ВИ (ВЭС-130)	191
 Часть IV. Коррозионностойкие и жаростойкие стали и сплавы фирмы “KRUPP VDM”	193
Глава 1. Коррозионностойкие стали и сплавы	194
1.1. Cronifer 1713 LCN – сплав 317 LN (№ 1.4439) ...	194
1.2. Cronifer 1815 LCSi – сплав 1815 (№ 1.4361)	195
1.3. Cronifer 1925 hMo (№ 1.4529)	195
1.4. Cronifer 2205 LCN – сплав 318 LN (№ 1.4462) ...	197
1.5. Cronifer 2328 (№ 1.4503)	198
1.6. Cronifer 2525 LCN (№ 1.4465)	198
1.7. Nicrofer 3127 hMo – сплав 31 (№ 1.4562)	199
1.8. Nicrofer 3620 Nb – сплав 20 (№ 2.4660)	200
1.9. Nicrofer 4221 – сплав 825 (№ 2.4858)	201
Глава 2. Сплавы на никелевой основе	203
2.1. VDM Nickel 99.2 – сплав 200 (№ 2.4066)	203
2.2. VDM LC Nickel 99.2 – сплав 201 (№ 2.4068)	203
2.3. Nicrofer 5219 Nb – сплав 718 (№ 2.4668)	205
2.4. Nicrofer 5621 hMoW – сплав 22 (№ 2.4602)	206
2.5. Nicrofer 5716 hMoW – сплав C-276 (№ 2.4819) ..	207
2.6. Nicrofer 5923 hMo – сплав 59 (№ 2.4605)	208
2.7. Nicrofer 6030 – сплав 690 (№ 2.4642)	210
2.8. Nicrofer 6020 hMo – сплав 625 (№ 2.4856)	211
2.9. Nicrofer 6616 hMo – сплав C-4 (№ 2.4610)	212
2.10. Nimofer 6928 – сплав B-2 (№ 2.4617)	213
2.11. Nicogros – сплав 400 (№ 2.4360)	215
Глава 3. Жаростойкие стали и сплавы	216
3.1. Nicrofer 3220 – сплав 800 (№ 1.4876)	216
3.2. Nicrofer 3220 H – сплав 800 H (№ 1.4958)	216

3.3. Nicrofer 3220 HT — сплав 800 HT (№ 1.4959)	216
3.4. Nicrofer 3220 LC — сплав 800 L (№ 1.4558)	218
3.5. Nicrofer 3228 NbCe — сплав AC 66 (№ 1.4877)	218
3.6. Nicrofer 4626 MoW — сплав 333 (№ 2.4608)	219
3.7. Nicrofer 4722 Co — сплав X (№ 2.4665)	220
3.8. Nicrofer 5120 CoTi — сплав C-263 (№ 2.4650)	221
3.9. Nicrofer 5520 Co — сплав 617 (№ 2.4663)	222
3.10. Nicrofer 6023 H — сплав 601H (№ 2.4851)	223
3.11. Nicrofer 7016 TiNb — сплав X-750 (№ 2.4669)	224
3.12. Nicrofer 7016 TiAl — сплав X-751 (№ 2.4694)	224
3.13. Nicrofer 7216 — сплав 600 (№ 2.4816)	225
3.14. Nicrofer 7216 H — сплав 600 H (№ 2.4816)	225
3.15. Nicrofer 7520 — сплав 75 (№ 2.4951)	226
Приложение.	227
Таблица I. Сравнительная таблица составов различных коррозионностойких сталей и сплавов согласно стандартам стран-изготовителей	229
Таблица II. Информация о металлургических предприятиях России и Украины, металлопродукция которых представлена в справочнике	230

ПРЕДИСЛОВИЕ

Коррозионностойкие и жаростойкие стали и сплавы на основе железа и никеля — один из важнейших классов специальных конструкционных материалов, используемых в большинстве важнейших отраслей промышленности: химической, тепловой и атомной энергетике, целлюлозно-бумажной, нефтегазодобывающей, медицинской, судостроительной, автомобильной, пищевой, бытовой технике, промышленном и гражданском строительстве и т.д.

Отличительной особенностью коррозионностойких сталей и сплавов является их повышенная стойкость против равномерной коррозии в широкой гамме коррозионно-активных сред различной степени агрессивности. Наряду с этим многие из них стойки против локальных видов коррозии (межкристаллитной, питтинговой, щелевой, коррозионного растрескивания) в галогенидсодержащих средах и имеют высокий уровень физико-механических свойств.

Жаростойкие (окалиностойкие) стали и сплавы характеризуются высокой стойкостью против химического разрушения поверхности и в газовых средах при температурах выше 550 °С, работающих в ненагруженном и слабонагруженном состояниях.

Высокопрочные коррозионностойкие и конструкционные мартенситно-стареющие стали представлены марками с различным уровнем прочности ($\sigma_{\text{в}} = 1100\text{--}2250 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{0,2} = 990\text{--}2300 \text{ Н/мм}^2$). Стали этого структурного класса характеризуются уникальным сочетанием прочности, пластичности и вязкости, что делает их незаменимыми при использовании в тяжело нагруженных элементах конструкций криогенной, авиационной, ракетно-космической техники и др.

С учетом основных тенденций в развитии отраслей-потребителей в последние десятилетия наряду с расширением марочного и размерного ассортимента осуществлялось производство металлопродукции с повышенными эксплуатационными и технологическими свойствами. Последнее во многом является результатом комплексных работ Института качественных сталей и Института металлофизики ЦНИИЧМ им. И. П. Бардина с металлургическими заводами (ОАО “Электросталь”, ОАО “Мечел”, ОАО “Ашинский металлургический завод”, ОАО “Златоустовский металлургический завод”, ОАО “Металлургический завод “Серп и Молот”, ОАО “Металлургический завод “Красный Октябрь”, АООТ “Филит” и др.).

Результаты этих работ отражены в справочнике, в котором представлен марочный и размерный сортамент ряда современных и наиболее широко применяемых коррозионностойких, жаростойких и высокопрочных ста-

лей различных структурных классов (мартенситного, ферритного, аустенитного, аустенитно-ферритного) и сплавов на основе железа и никеля.

Многие материалы представлены модификациями повышенного качества за счет снижения содержания в них углерода и других вредных примесей.

Коррозионностойкие стали ферритного класса представлены сталями с пониженным содержанием углерода (04X15CT, 04X19MФТ), обладающими высокими показателями по деформированию в холодном состоянии, и высокохромистыми сталями с особо низким содержанием углерода и азота ("суперферриты"), имеющими высокую коррозионную стойкость против локальных видов коррозии.

Низкоуглеродистые азотсодержащие стали аустенитного класса представлены марками 03X19АГЗН10; 03X18Н16МЗ-ВД — для медицинской техники; 02Х25Н22АМ2-ПТ — для работы в наиболее жестких условиях синтеза карбамида. Приведена сталь 01Х14Н19С6Б — для службы в сильно окислительных средах (концентрированные растворы HNO_3 и H_2SO_4) при высоких температурах.

Стали аустенитно-ферритного класса представлены наряду с широко применяемыми и новой сталью 03Х24Н6АМЗ, отличающейся высоким уровнем механических свойств и коррозионно-эрозионной стойкости, стойкости против питтинговой коррозии и коррозионного растрескивания, в том числе в сероводородсодержащих средах.

Для работы в сернокислых и фосфорнокислых средах, загрязненных хлоридами и фторидами, разработаны и внедрены сплавы марок ХН30МДБ и ХН40МДБ. Сплавы стойки против коррозионного растрескивания в сероводородсодержащих средах.

Группа коррозионностойких высоколегированных деформируемых свариваемых структурностабильных сплавов на основе никеля для работы в средах особо высокой агрессивности представлена сплавами на основе систем: Ni-Mo (Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ), Ni-Cr (ХН58В) и Ni-Cr-Mo (ХН65МВУ, ХН65МВ, ХН63МБ, ХН55МБЮ).

Жаростойкие стали представлены хромистыми сталями ферритного класса (марок 03Х20ЮЗ, 15Х25Т), хромоникелевыми сталями аустенитного класса (марок 10Х18Н18Ю4Д, 12Х25Н16Г7АР, 20Х25Н20С2 и др.) и сплавами на основе железа (марок ХН32Т, ХН45Ю) и никеля (марок ХН70Ю, ХН78Т, ХН60ВТ).

Высокопрочные мартенситно-стареющие стали представлены:

- коррозионностойкими сталями марок 03Х9К14Н6МЗД и 03Х13Н8Д2ТМ, применяющимися для изготовления сварных тяжелонагруженных конструкций для работы в широком диапазоне температур от 400 до -196°C в слабоагрессивных средах;

- конструкционными высокопрочными сталями марок 01-03Н18К9М5Т, 01Н17К12М5Т, беститановыми сталями (03Н15К10М5Ф5), несклонными к тепловому охрупчиванию, и бескобальтовыми сталями марок 03Н18М2Т2-ВИ, 03Н14Х4М2Т2-ВИ.

При составлении справочника использованы действующие стандарты и технические условия, а также результаты работ, выполненных в ЦНИИЧМ им. И. П. Бардина, НИИХИММАШе и других организациях.

Кроме того, в справочнике приведен широкий ассортимент коррозионностойких и жаростойких сталей и сплавов с высокими эксплуатационными характеристиками, предлагаемый рынку всемирно известной германской металлургической фирмой "KRUPP VDM".

В составлении справочника принимали участие специалисты ЦНИИЧМ им. И. П. Бардина: А. Д. Горонкова, Э. Т. Шаповалов, Е. В. Доронина, Н. Д. Сакута, В. В. Русаненко, а также специалисты НИИХИММАШ А. Л. Белинский и М. М. Абелев.

Отзывы и предложения заинтересованных предприятий и организаций просим направлять по адресу: 107005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 9/23, Институт качественных сталей ЦНИИЧМ им. И. П. Бардина, Некоммерческое партнерство "Спецметаллы".

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A_{c_1}	— температура начала образования аустенита при нагреве;
A_{c_3}	— температура окончания образования аустенита при нагреве;
M_n	— температура начала мартенситного превращения;
M_k	— температура окончания мартенситного превращения;
σ_B	— временное сопротивление разрыву;
$\sigma_{0,2}$	— условный предел текучести при остаточной деформации 0,2 %;
δ_5, δ_4	— относительное удлинение после разрыва (цифры 5 и 4 указывают на пяти-, четырехкратную длину образца);
ψ	— относительное сужение после разрыва;
KCU	— ударная вязкость (образец с надрезом по типу U);
KCV	— ударная вязкость (образец с надрезом по типу V);
$n, об$	— число оборотов до разрушения при испытании на кручение со скоростью 1 об/мин;
$M_{кр}$	— крутящий момент при испытании на кручение;
HB	— твердость по Бринеллю;
HRB	— твердость по Роквеллу шкала В;
HRC	— твердость по Роквеллу шкала С;
ε	— степень обжатия при холодной пластической деформации;
E	— модуль нормальной упругости;
G	— модуль сдвига;
$\sigma_{1000}, \sigma_{10000}$	— предел длительной прочности за 1000 и 10000 ч;
$\sigma_{1 \cdot 10^{-3}}, \sigma_{1 \cdot 10^{-4}}$	— предел ползучести при скорости ползучести $1 \cdot 10^{-3}, 1 \cdot 10^{-4}$ и т.д.;
γ	— плотность;
α	— температурный коэффициент линейного расширения;
λ	— коэффициент теплопроводности;
C	— удельная теплоемкость;
ρ	— удельное электросопротивление;
μ	— магнитная проницаемость;
ν	— коэффициент Пуассона;
B_c	— индукция насыщения;
H_c	— коэрцитивная сила;
$v_{кор}$	— скорость коррозии;
$v_{ок}$	— скорость окисления;
$t_{исп}$	— температура испытания;
$C.З$	— специализация заводов;
δ	— толщина;
$\bigcirc$	— круглый образец;
$\square$	— квадратный образец;
L	— длина.

Часть I. КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Глава 1. НЕРЖАВЕЮЩИЕ ХРОМИСТЫЕ СТАЛИ

Формирование физико-механических свойств сталей, относящихся к системе Fe—Cr—C, определяется главным образом содержанием углерода и хрома. По структуре после закалки стали этой системы подразделяются на три класса: мартенситный (глава 1), мартенситно-ферритный и ферритный (глава 2), что нашло отражение в классификации коррозионностойких сталей по ГОСТ 5632—72 “Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные”.

Ярким примером кардинального влияния углерода на структуру и свойства являются стали с содержанием 18 % Cr. Так, сталь 95X18 (ГОСТ 5632—72), содержащая 0,9—1,0 % C — мартенситного класса, обладает высокой твердостью ($>55\text{ HRC}$) и умеренной коррозионной стойкостью, а стали 12X17, 08X17T, 08X18T1 — ферритного класса, имеют низкую твердость и высокие коррозионные свойства.

Стали мартенситного класса (20X13, 30X13, 40X13, 65X13 и др.) используют как материалы с повышенной твердостью (для режущего инструмента, при эксплуатации на износ и др.).

Термическая обработка сталей этой группы заключается в закалке и отпуске на заданную твердость [1, 2].

Коррозионная стойкость сталей мартенситно-ферритного класса зависит от содержания в них хрома. При содержании 17 % Cr достигается стойкость в 65%-ной азотной кислоте при 50 °C, при дальнейшем повышении концентрации хрома расширяется область применения хромистых сталей в различных средах.

Повышение содержания углерода отрицательно влияет на коррозионную стойкость, и в этом случае рекомендуется повысить температуру закалки до 975—1050 °C, что обеспечивает более полное растворение карбидов хрома.

Стойкость против питтинговой коррозии хромистые стали приобретают при концентрации хрома выше 20 % и дополнительном легировании молибденом. По стойкости против коррозионного растрескивания хромистые стали ферритного класса превосходят аустенитные хромоникелевые стали типа 08X18H10T.

Ферритные стали с 12—17 % Cr характеризуются высоким сопротивлением набуханию при нейтронном облучении, в чем превосходят стали типа X18H10, X17H13M2(3).

Несмотря на то, что хромистые коррозионностойкие стали ферритного класса представляют собой наиболее экономнолегированную группу сталей, широкое использование их в качестве конструкционного материала не всегда возможно из-за следующих особенностей:

- 1) повышенная склонность к росту зерна при нагреве; из-за отсутствия полиморфных превращений полученное в результате технологических операций крупное зерно невозможно устранить термической обработкой;

2) ограниченная хладостойкость сталей и их сварных соединений (до -40°C);

3) недостаточная способность к формоизменению при холодной пластической деформации, что связано с меньшим количеством реализуемых плоскостей скольжения в решетке ОЦК.

Введение карбидообразующих элементов, например титана, не только повышает стойкость сварных соединений против межкристаллитной коррозии, но и позволяет снизить склонность к росту зерна (сталь 08Х18Т1). Дополнительное замедление роста зерна ферритных сталей происходит также при микролегировании поверхностно-активными элементами, наибольший эффект из которых имеет церий. Микролегирование церием использовано, в частности, в стали 08Х18Тч (ДИ-77). Положительный эффект от введения редкоземельных элементов достигается только в определенных количественных пределах и при соблюдении технологического процесса.

На снижение хладноломкости ферритных сталей значительное влияние оказывают примеси внедрения — углерод и азот. При суммарном содержании углерода и азота $\leq 0,01\%$ работоспособность сварных соединений из высокохромистых ферритных сталей при отрицательных температурах возрастает, что иллюстрируется данными, приведенными на рис. 1. Другие примеси (фосфор, кислород, в меньшей степени сера, марганец и кремний) тоже повышают чувствительность ферритных сталей к хладноломкости. Необходимость повышения чистоты металла хромистых ферритных сталей предъявляет повышенные требования к технологии выплавки.

Стойкость против межкристаллитной коррозии высокохромистых сталей ферритного класса достигается при суммарном содержании углерода и азота до $0,010\text{--}0,015\%$ (рис. 2). Превышение указанного содержания (C+N) требует дополнительного введения стабилизаторов — титана или ниобия.

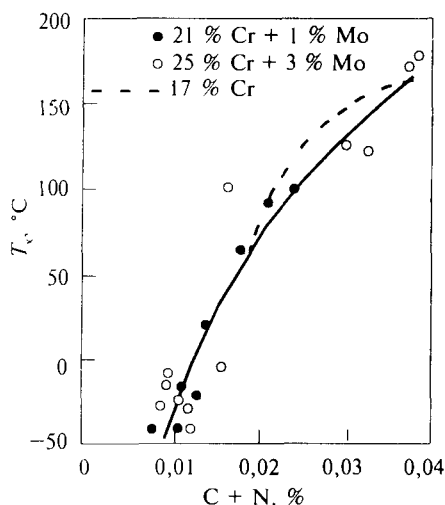


Рис. 1. Влияние $C+N$ на температуру перехода сталей в хрупкое состояние [3]

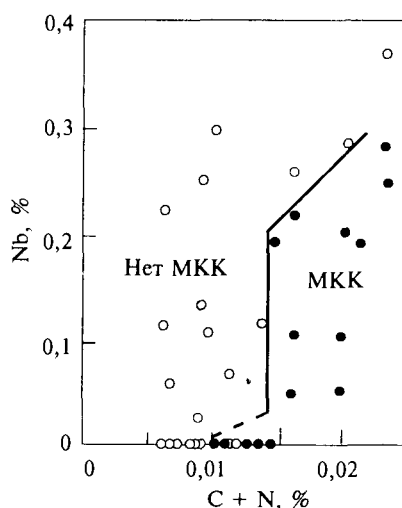


Рис. 2. Влияние C , N и Nb на стойкость к межкристаллитной коррозии стали X19M2 после нагрева на 1250°C [4]

Охрупчивание высокохромистых сталей может также происходить из-за неправильной термической обработки, когда происходит выделение из α -твердого раствора σ -фазы, температурный интервал которой составляет 550–850 °С, или развивается “475°С-хрупкость”.

Эти виды хрупкости носят обратимый характер и устраняются соответствующей термической обработкой.

Качество поверхности горячекатаного и холоднокатаного листа из хромистых ферритных титансодержащих сталей повышается при легировании кремнием (сталь 04X15CT), что объясняется связыванием продуктов раскисления с силикатными включениями. Легирование кремнием повышает сопротивление точечной коррозии за счет обогащения кремнием верхних слоев пассивной пленки.

Особую группу ферритных коррозионностойких сталей составляют так называемые “суперферриты”, в которых более жестко ограничены примесные элементы (01X18M2T-ВИ, 01X25M2T-ВИ, 01X25ТБЮ-ВИ) [2]. Эти стали обладают повышенным уровнем пластичности и вязкости сварных соединений и устойчивы против питтинговой коррозии и коррозионного растрескивания во многих агрессивных средах.

Библиографический список

1. Бабаков А. А., Приданцев М. В. Коррозионностойкие стали и сплавы. — М.: Металлургия, 1971. — 318 с.
2. Ульянов Е. А. Коррозионностойкие стали и сплавы: Справочник. — М.: Металлургия, 1991. — 255 с.
3. Abo H., Narazawa T., Takemura S. // Stainless steel 77. London, 1977. P. 40.
4. Abo H., Narazawa T., Takemura S. // Stainless steel 77. London, 1977. P. 44.

Таблица 20	
Применение	ГОСТ
Для изделий, подвергающихся воздействию слабоагрессивных сред (атмосферные условия, кроме морских, водные растворы солей органических кислот при комнатной температуре, растворы азотной кислоты слабой и средней концентрации при умеренных температурах и т. д.). Для тех случаев, когда изделия должны обладать достаточно высокой прочностью и одновременно достаточным запасом пластичности и ударной вязкости. Ее используют также в качестве жаропрочного материала при температурах до 450–550 °С и в качестве жаростойкого — до 700 °С	ГОСТ 5632–72 ГОСТ 5949–75 ГОСТ 5582–75 ГОСТ 7350–77 ГОСТ 4986–70 ГОСТ 14162–69 ГОСТ 25054–81 ГОСТ 18968–73 ГОСТ 19442–74 ГОСТ 18907–73

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, %						
C	Si	Mn	Cr	S	P	Fe
0,16–0,25	≤ 0,8	≤ 0,8	12,0–14,0	≤ 0,025	≤ 0,030	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Сорт, калиброванные и шлифованные прутки	До 200 мм; С.З.	ГОСТ 5949-75	ОАО "Мечел"
		ТУ14-1-2906-80	ОАО "Электросталь"
		ГОСТ 18968-73	ОАО "Серп и Молот"
		ГОСТ 19442-74	ОАО "Белорецкий
		ГОСТ 18907-73	меткомбинат"
		ТУ14-1-95-71	ОАО "Сибэлектросталь"
		ТУ14-1-655-73	ОАО "Кировский завод"
		ТУ14-1-377-72	ОАО "Кулебакский
		ТУ14-1-378-72	метзавод"
		ТУ14-1-1404-75	ОАО "Златоустовский
		ТУ14-1-3092-81	метзавод"
		ТУ14-1-3564-83	ОАО "Красный Октябрь"
		ТУ14-1-2972-80	ОАО "Днепропетросталь"
		ТУ14-1-2628-79	
		ТУ14-1-3957-85	
Лист:			
горячекатаный	$\delta = 4-20$ мм С.З.	ГОСТ 7350-77	ОАО "Кузнецкий
			меткомбинат"
			ОАО "Мечел"
			ОАО "Новосибпрокат"
			ОАО "Красный Октябрь"
	4-6×1000-1250×	ТУ14-1-3898-85	ОАО "Запорожсталь"
	×1800-5000		
	9-7×1900-2000×	ТУ14-1-3897-85	ОАО "Мариупольский
	×2000-6000		метзавод им. Ильича"
холоднокатаный	$\delta = 0,8-3,9$ мм С.З.	ГОСТ 5582-75	ОАО "Новосибпрокат"
		ТУ14-1-3898-85	ОАО "Серп и Молот"
			ОАО "Запорожсталь"
Лента	$\delta = 0,2-2,0$ мм	ГОСТ 4986-79	—
Поковка	С.З.	ГОСТ 25054-81	—
Труба	С.З.	ГОСТ 14162-69	—
Примечание. С.З. — размеры выбирают в соответствии со специализацией заводов.			

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ	Вид продукции	Режим термической обработки проката	σ_b , Н/мм ² (не менее)	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ² (не менее)	δ_5 , % (не менее)
1	2	3	4	5	6
ГОСТ 5949-75 Сорт		Закалка 1000-1050 °С, отпуск 660-770 °С	650 $\psi \geq 55\%$, $KCU \geq$ ≥ 78 Дж/см ²	440	16
		Закалка 1000-1050 °С, отпуск 600-700 °С	830 $\psi \geq 50\%$, $KCU \geq$ ≥ 59 Дж/см ²	635	10

Нормированные механические свойства при 20 °С (продолжение)

1	2	3	4	5	6
ГОСТ 7350-77 Лист толстый	ГОСТ 5582-75 Лист тонкий ГОСТ 4986-79 Лента $\delta = 0,2-2,0$ мм $\delta < 0,2$ мм	Нормализация или закалка при 1000-1050 °С, охлаждение на воздухе, отпуск при 680-780 °С, охлаждение с печью или на воздухе	510	375	20
		Отжиг или отпуск при 740-800 °С	490	—	20
		Отжиг или отпуск при 740-800 °С	490		16
			490		8

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(пруток, нормализация при 1000-1020 °С, охлаждение на воздухе,
отжиг при 730-750 °С)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/см}^2$
-40	780	590	23	57	50
-20	740	570	21	59	59
20	720	520	21	65	66-175
300	555	400	18	66	200
400	530	405	16	58	205
450	495	380	17	57	240
500	440	365	32	75	250
550	350	285	36	83	223

Коррозионная стойкость. Сталь 20Х13 обладает высокой стойкостью в атмосферных условиях (кроме морской атмосферы), в речной и водопроводной воде. Применяется в энергетическом машиностроении, в крекинг-установках с длительным сроком службы при температурах до 500 °С для деталей печей.

Физические свойства. Плотность $7,76 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Значение модуля упругости (E), коэффициента теплопроводности (λ), удельной теплоемкости (C), температурного коэффициента линейного расширения (α)
в зависимости от температуры

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$E \cdot 10^{-4}, \text{Н/мм}^2$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	$C \cdot 10^3, \text{Дж/(кг} \cdot \text{К)}$	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6, \text{К}^{-1}$
20	22,3	—	0,441	—	—
100	21,8	—	0,462	0-100	10,1
200	21,2	24,8	0,525	0-200	10,4
300	20,4	26,7	0,567	0-300	10,9
400	19,3	27,2	0,630	0-400	11,4
500	18,4	27,7	0,693	0-500	11,9
600	17,2	28,1	0,777	0-600	—
700	—	—	0,966	0-700	—

Технологические параметры. Сталь 20Х13 имеет хорошую технологичность при горячей пластической деформации. Рекомендуются следующие интервалы деформации: начало 1100 °С, конец 875–950 °С, нагрев под прокатку и ковку проводят медленно до 780 °С, после деформации также следует применять медленное охлаждение.

Смягчающей термической обработкой стали 20Х13 является отжиг при 750–800 °С, охлаждение с печью до 500 °С; окончательная термическая обработка — закалка с 950–1000 °С с охлаждением в масле или на воздухе и отпуск на заданную твердость и коррозионную стойкость.

Сталь является технологичной при горячей и холодной деформации. Она относится к мартенситному классу. Критические точки стали $A_{c1} = 820$ °С и $A_{c3} = 950$ °С. В закаленном состоянии микроструктура состоит из мартенсита и карбидов; в отожженном состоянии — из смеси высокохромистого феррита и карбида типа $M_{23}C_6$. С повышением температуры отпуска выше 450 °С происходит значительное снижение прочности, сопровождаемое увеличением пластичности, при этом снижается также коррозионная стойкость.

Сварка. Сталь 20Х13 удовлетворительно сваривается электродуговой и аргонодуговой автоматической и ручной сваркой.

Согласно рекомендациям ИЭС им. Е. О. Патона для автоматической сварки следует применять проволоку Св-10Х13 и Св-06Х14. В случае электродуговой сварки применяют флюсы АН-18 или АН-17. Для ручной электродуговой сварки целесообразно использовать электроды типа ЭФ-Х13 также с проволокой Св-0Х13 либо, Св-06Х14. Во избежание появления холодных трещин в сварных соединениях при сварке изделий толщиной 8–10 мм и более, а также изделий с меньшей толщиной, имеющих жесткое закрепление, необходимо применять предварительный или сопутствующий подогрев до 250–400 °С. После сварки следует проводить отпуск сварных соединений или изделий. Чаше всего применяют отпуск при 680–760 °С.

20Х13 СТАЛИ 20Х13-0Х13

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления режущего, мерительного инструмента, пружин, предметов домашнего обихода, подшипников, деталей компрессоров и других изделий, работающих до температур 400–450 °С и в слабоагрессивных средах. Стали 30Х13 и 40Х13 не свариваются	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 5949-75 ГОСТ 5582-75 ГОСТ 4986-79 ТУ 14-1-2186-77 ГОСТ 18143-72

Примечание. Стали выплавляют в открытых электродуговых или индукционных печах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Сталь	Массовая доля компонентов, %						
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Fe
30Х13	0,26–0,35	≤ 0,8	≤ 0,8	12,0–14,0	≤ 0,025	≤ 0,030	Осн.
40Х13	0,36–0,45	≤ 0,8	≤ 0,8	12,0–14,0	≤ 0,025	≤ 0,030	Осн.

22196

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Сорт	Ø8-150×1500-6000	ГОСТ5949-75	ОАО "Златоустовский метзавод"
	Ø140-250	ГОСТ5949-75	ОАО "Красный Октябрь"
	□ 28-160×2000-4000	ГОСТ5949-75	ОАО "Златоустовский метзавод"
	шестигранник 14-26	ГОСТ5949-75	ОАО "Серп и Молот"
	Ø12-30, □ 14-24	ГОСТ5949-75	ОАО "Сибэлектросталь"
	Ø10-180	ГОСТ5949-75	ОАО "Мечел"
	□ 8-125	ГОСТ5949-75	ОАО "Электросталь"
	Ø 8-85	ГОСТ5949-75	То же
	полоса 10-50×4-25	ГОСТ5949-75	" "
	шестигранник 12-38	ГОСТ5949-75	" "
	Ø6-8	ГОСТ5949-75	ОАО "Белорецкий меткомбинат"
	Ø, □ 100-150	ГОСТ5949-75	ОАО "Кировский завод"
	Ø28-80	ГОСТ5949-75	То же
	полоса 60-100×12-25	ГОСТ5949-75	" "
Лист			
горяче-катаный	2-3,9×710-1000× ×1420-2000	ГОСТ5582-75	ОАО "Красный Октябрь"
	1,8-3,9×450-710×900- 1500	ГОСТ5582-75	ОАО "Серп и Молот"
	2,5-3,5×500-550× ×2000 (30X13)	ГОСТ5582-75	ОАО "Новосибпрокат"
холодно-катаный	0,8-3,0×600-700× ×1200-1700	ГОСТ5582-75	ОАО "Серп и Молот"
Лента (30X13)	0,15-1,35×300-410×L	ГОСТ4986-79	ОАО "Серп и Молот"
Проволока	С.3.	ГОСТ18143-72	—

П р и м е ч а н и е . Металл поставляется в термически обработанном состоянии — в отожженном или отпущенном.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ	Вид продукции	Режим термической обработки	Сталь	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	HRC	HB
				не менее			
ГОСТ 5582-75	Лист тонкий	Отжиг или отпуск при 740-800 °С	30X13 40X13	490 550	15	—	—
ГОСТ 5949-75	Сорт $\square$ до 200 мм	Отжиг или отпуск	30X13	—	—	—	217-131
	Калиброванная сталь		40X13	—	—	—	229-143
		Закалка: с 950-1050 °С; с 1000-1050 °С, охлаждение в масле; отпуск при 200-300 °С, охлаждение на воздухе или в масле	30X13 40X13	— —	— —	48 50	— —
ГОСТ 4986-79	Лента $\delta = 0,2-2$ мм $\delta < 0,2$ мм	Отжиг или отпуск при 740-800 °С	30X13	540	15	—	—
				—	8	—	—

Механические свойства при повышенных температурах

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
Сталь 30X13 (закалка с 1000 °С на воздухе, отпуск при 650 °С)						Сталь 40X13 (закалка с 1050 °С на воздухе, отпуск при 600 °С, твердость 311-331 HB)					
20	965	715	16	52	55	20	1140	910	12,5	32,0	12
200	835	670	14	57	130	200	960	830	11,0	40,0	50
300	790	640	13	53	125	300	920	730	10,0	38,5	70
400	720	585	12	52	1160	400	795	685	11,5	45,0	75
500	620	540	14	54	165	500	530	475	19,5	76,5	80
600	460	420	21	80	160	600	310	260	21,0	84,0	120
Сталь 40X13 (закалка с 1050 °С на воздухе, отпуск при 650 °С, твердость 277-286 HB)											
20	950	725	14,0	41,5	25	450	650	555	15,0	44,0	—
400	—	—	—	—	95	500	555	—	18,0	67,0	135

Коррозионная стойкость. Стали 30X13 и 40X13 обладают наилучшей коррозионной стойкостью после закалки с температуры, обеспечивающей полное растворение карбидов. Повышение температуры отпуска сопровождается снижением их стойкости к общей коррозии. Причиной снижения коррозионной стойкости является обеднение твердого α -раствора по хрому вследствие выделения карбидов хрома. При этом коррозионная стойкость стали 40X13 несколько ниже, чем стали 30X13. Снижение коррозионной стойкости наблюдается при отпуске до 600 °С, затем про-

исходит некоторое ее увеличение. Однако коррозионная стойкость не достигает уровня, который имеют обе стали в закаленном или низкоотпущенном состоянии.

Таким образом, стали 30X13 и 40X13 целесообразно применять либо после низкотемпературного отпуска при 200–400 °С (с целью получения высоких твердости и коррозионной стойкости), либо после высокого отпуска при 600–650 °С с целью получения конструкционного материала.

Физические свойства

Характеристики	Свойства сталей	
	30X13	40X13
Плотность, кг/м ³	$7,76 \cdot 10^3$	$7,68 \cdot 10^3$
Теплопроводность при 100 °С, Вт/(м · К)	25,2	28,9
Удельное электросопротивление при 20 °С $\rho \cdot 10^6$, Ом · м	0,52	0,59
Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹ при 20–100 °С	11	10,3

Технологические параметры. Стали 30X13 и 40X13 хорошо подвергаются горячей пластической деформации, которую проводят в интервале 1100–850 °С. Стали склонны к образованию трещин при быстрых скоростях нагрева и охлаждения. В связи с этим при нагреве под горячую деформацию применяют медленный подогрев до 830 °С, а после деформации — замедленное охлаждение в стопе, песке или в печи. Холодная пластическая деформация сталей ограничена, особенно стали 40X13. В качестве смягчающей термической обработки после горячей деформации применяют промежуточный отжиг при 740–800 °С или полный отжиг при 810–880 °С с последующим медленным охлаждением 25–50 °С/ч до 600 °С. После холодной пластической деформации — отжиг при 750 °С.

Окончательной термической обработкой является закалка с 950–1050 °С с охлаждением в масле или на воздухе и отпуск на заданную твердость и коррозионную стойкость. Для сталей, применяемых для изготовления хирургических инструментов, рекомендуется ступенчатая закалка с 1020–1040 °С с последующим охлаждением в щелочи при 350 °С с целью уменьшения коробления и повышения упругих свойств.

Структура. В закаленном состоянии микроструктура состоит из мартенсита и карбидов и незначительного количества остаточного аустенита. При нагреве выше температуры A_{c3} структура состоит из аустенита и карбидов хрома типа $M_{23}C_6$. Начиная с температуры закали 1050 °С и выше твердость стали (30X13) не возрастает и даже имеет тенденцию к снижению, что свидетельствует об увеличении количества остаточного аустенита.

Отпуск закаленной стали обеих марок приводит к распаду мартенсита на ферритно-карбидную смесь и к снижению твердости. Однако в интервале температур отпуска 450–550 °С наблюдается эффект вторичной твердости, связанный с выделением дисперсных карбидов.

Критические точки для обеих сталей: $A_{c1} = 820$ °С; $A_{c3} = 860$ – 880 °С; $M_H = 270$ °С; $M_K = 80$ °С.

1.3. СТАЛЬ 65X13

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления режущего инструмента, кухонных ножей, пил, съемных лезвий, скальпелей, лезвий бритв, в пищевой, деревообрабатывающей, медицинской и других отраслях промышленности	ГОСТ 5632-72 ТУ 14-1-4105-86 ТУ 14-131-764-88 ТУ 14-131-844-91 ТУ 14-1-3918-85 ТУ 14-1-3760-84

Примечание. Сталь выплавляют в открытых электродуговых печах и с использованием ЭСП.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	S	P	Fe
0,60-0,70	0,2-0,5	0,25-0,80	12,0-14,0	≤ 0,025	≤ 0,030	Ост.

Примечание. В металле электрошлакового переплава 65X13-Ш содержание серы не более 0,015 %.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Лента холоднокатаная	0,1×22,4 × рулон 0,4×290-330 × рулон δ = 0,16 δ = 0,3	ТУ14-1-4105-86 ТУ14-131-764-88 ТУ14-131-844-91 ТУ14-131-869-92	ОАО "Электро-сталь"
Лента (подкат) горячекатаная	3,0×350 × рулон	ТУ14-1-3918-85	ОАО "Новосиб-прокат"
Поковка прямоугольная (слябы)	135×370-400×2000-2800	ТУ14-1-3760-84	ОАО "Мечел"

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	Состояние поставки	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	Твердость HV
ТУ14-1-4105-86	Лента 0,1 мм	Нагартованное	888-1127	—	280-320
ТУ14-131-764-88	Лента 0,4 мм	Нагартованное	—	—	220-280
ТУ14-1-3918-85	Подкат 3 мм	Термически обработанное	≤ 785	≤ 18	≤ 97 HRB

Механические свойства при 20 °С

(лента толщиной 3 мм в различном состоянии)

Состояние ленты (подката)	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	Твердость HV
Горячекатаная	1009-1147	7,5-12,5	—
После полного отжига	657-774	18-25	87-88

**Механические свойства при 20 °С,
повышенных и высоких
температурах**

$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %
20	820	670	20
400	450	320	18
500	310	200	20
600	290	170	34
650	100	100	70
700	100	80	80
750	99	50	70
800	80	60	50
900	60	50	45
1000	60	40	35
1100	50	40	34

**Влияние холодной деформации
(прокаткой) на механические свойства
при 20 °С (исходная толщина 1,5 мм,
отжиг)**

$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %
0	720	430	29
10	900	500	11
15	950	800	8
40	1050	1000	6
50	1100	1050	5
60	1200	1150	4
70	1300	1200	3
80	1400	1300	3
85	1500	1400	3
90	1640	1550	3
95	1700	1650	2

Технологические параметры. Сталь деформируют в горячем и холодном состояниях. Температурный интервал горячей деформации 1180–850 °С, смягчающая термообработка: отпуск при 730–750 °С или отжиг при 850–880 °С с замедленным охлаждением до 740 °С и охлаждением до 640 °С со скоростью 20 °С/ч.

Рекристаллизационный отжиг полосы при 660–680 °С в колпаковой печи или при 730–750 °С в протяжной печи.

После отжига структура стали состоит из зернистого перлита с избыточными эвтектическими карбидами. Вторичные мелкие карбиды, равномерно распределены в ферритной матрице. В микроструктуре холоднокатаной ленты содержится 55–65 мелких карбидов на площади 120 мм².

Требования к микроструктуре по ГОСТ 8233–56

Сортамент, ТУ	Загрязнен- ность неме- таллически- ми включе- ниями, балл	Зерни- стый пер- лит по шкале 2, балл (не более)	Количество вторичных карбидов на площади 1 см ² (·1000) (не менее)	Величина первичных карбидов, мкм (не более)	Глубина обезугле- роженного слоя по ГОСТ1763–68 (не более)
Лента, $\delta = 0,1$ мм, ТУ 14-1-4105–86	По согла- сованию сторон	5	25	10	Не допус- кается
Лента (подкат), $\delta = 3$ мм, ТУ 14-1-3918–85	2	6	—	10	0,08 мм
Поковка (сляб), ТУ 14-1-3760–84	3	—	—	15	—

П р и м е ч а н и е . Микроструктура закаленной стали состоит из мартенсита, аустенита и первичных карбидов.

Твердость после закалки
с 1040–1050 °С
и последующего отпуска

$t_{\text{отп}},$ °С	Твердость HRC	Толщина ленты, мм
—	720 HV	0,1
100	55	3
350	53	3

Содержание хрома и углерода в твердом растворе
стали 65X13 (0,77 % С; 14,0 % Cr) в зависимости
от температуры закалки

$t, ^\circ\text{C}$	Содержание в твердом растворе, % (по массе)		$t, ^\circ\text{C}$	Содержание в твердом растворе, % (по массе)	
	С	Cr		С	Cr
Отжиг	0,02	7,2	1000	0,26	10,7
850	0,10	8,6	1050	0,41	12,2
900	0,16	9,1	1100	0,60	13,4

П р и м е ч а н и е. Критические точки стали 65X13: $A_1 = 805-810 ^\circ\text{C}$; $A_3 = 880 ^\circ\text{C}$; $M_n = 200 ^\circ\text{C}$.

Применение

ТУ

Для изготовления режущего инструмента в медицинской (цельнометаллические скальпели, съемные лезвия) и пищевой (ножи) промышленности, к которым предъявляются требования по коррозионной стойкости

ТУ14-1-3909-85
ТУ14-130-280-96

П р и м е ч а н и е. Сталь выплавляют в открытых электродуговых и индукционных печах или в вакуумно-индукционных с последующим вакуумным дуговым переплавом.

Химический состав, ТУ14-1-3909-85

Массовая доля компонентов, %

С	Si	Mn	Cr	Mo	V	S ^{*1}	P	Fe
0,48–0,55	≤ 0,6	≤ 0,6	14,0–15,0	0,45–0,80	0,10–0,15	≤ 0,030	≤ 0,030	Ост.

*¹ В металле вакуумно-дугового переплава содержание серы не должно превышать 0,010 %.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Прутки холод- нокатанный	Ø4–12×1500–3500* ¹	ТУ14-1-3909-85	ОАО “Златоустовский метзавод”
Лист: холодноката- нный	0,8–2,0×600–710×1420 2,0–3,9×600–1250×2000	Техническое со- глашение № 36 Технический договор № 132-140-93	ОАО “Серп и Молот” ОАО “Красный Октябрь”
горячекатанный	2,0* ² –10,0×600– 700×1400–2000	ТУ14-130-280-96	ОАО “Серп и Молот”
Лента	0,4×300–400	Техническое со- глашение № 12	ОАО “Серп и Молот”

*¹ Со специальной отделкой поверхности.

*² Листы толщиной 2,0–3,9 мм поставляются с обрезной кромкой, толщиной 4–10 мм поставляются с необрезной кромкой. Листы поставляются в отожженном — мягком состоянии, выправленными, толщиной свыше 6 мм без правки.

Структура. Сталь 50X14МФ относится к мартенситному классу заэвтектоидной группы сталей. Упрочняется после закалки в результате мартенситного превращения. После полного отжига имеет структуру зернистого перлита, твердость 197–207 HB.

Требования к микроструктуре по ГОСТ 8233–56

Сортамент, ТУ	Зернистый перлит (шкала № 2)	Карбидная сетка (шкала № 5)	Карбидная неоднород- ность (шка- ла № 6б)	Глубина обезуглероженного слоя
	номер балла			
Лист 2,0–3,9 мм, ТУ 14-130-280–96	4–6	Не более 3	Не более 3	Не более 5 % от толщины листа
Лист 0,8–2,0 мм, Техническое соглашение № 36	—	—	—	Не более 5 % от толщины листа
Лист 2,0–3,9 мм, ТД №132-140–93	4–6	Не более 3	Не более 3	Контролируется
Пруток Ø4–12мм, ТУ 14-1-3909–85	3–5	Не более 2	Не более 2	Не допускается
Лента 0,4 мм, Техническое соглашение № 12	4–6	—	—	Не более 5 % от толщины листа

Примечание. Глубину обезуглероженного слоя определяют по ГОСТ 1763–68.

Микроструктура стали, закаленной с 900–1200 °С, состоит из мартенсита, аустенита и карбидов. Повышение температуры нагрева под закалку увеличивает количество остаточного аустенита (γ), изменение твердости при этом имеет экстремальный характер.

Максимум твердости 57,5 HRC соответствует температуре закалки около 1050 °С.

Значение твердости в зависимости от температуры закалки

$t_{\text{зак}}, ^\circ\text{C}$	Значение параметра	
	$\gamma, \%$	твердость HRC
950	0	50
1030	0	57
1050	12	57,5
1100	25	54,5
1200	43	—

Влияние температуры отпуска на твердость и количество остаточного аустенита в стали 50X14МФ (температура закалки 1050 °С)

$t_{\text{отп}}, ^\circ\text{C}$	Значение параметра	
	$\gamma, \%$	твердость HRC
20	12	57,5
170	12	—
200	12	57
350	11	—
400	14	53
500	18	53

Критические точки стали для исходного отожженного состояния: $A_{c1} = 860 ^\circ\text{C}$, $A_{c2} = 907 ^\circ\text{C}$. После закалки от 1050 °С размер аустенитного зерна № 9 по ГОСТ 5639–65, размер карбидов 1,5–8 мкм.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид про- дукции	Термическая обработка	σ_B , Н/мм ² (не более)	δ_5 , % (не ме- нее)	Твердость HRC (не менее)
ТУ14-1-3909-85	Пруток	1. Отжиг 2. Закалка с 1050 °С, отпуск 200 °С	— —	— —	≤ 255 HB 55
ТУ14-130-280-96	Лист 2,0-3,9 мм	1. Отжиг 2. Закалка с 1045 °С, отпуск 200 °С	970 —	12 —	— 50
Техническое соглашение № 36	Лист 0,8-2,0 мм	1. Отжиг 2. Закалка с 1045 °С, отпуск 200 °С	970 —	12 —	≤ 22 50
Технический до- говор № 132-140-93	Лист 2,0-3,9 мм	1. Отжиг 2. Закалка с 1045 °С, отпуск 200 °С	970 —	12 —	— 50
Техническое соглашение № 12	Лента 0,4 мм	1. Нагартованное состояние 2. Закалка с 1045 °С, отпуск 200 °С	700-900 —	— —	220- 300 HV 51 ^{*1}

*1 Определяется на подкате 3 мм.

П р и м е ч а н и я

1 — Состояние поставки (в мягком состоянии после отжига или отпуска по технологии завода-изготовителя)

2 — режим термической обработки образцов при контроле на закаливаемость.

Механические свойства при комнатной и повышенных температурах
(данные ОАО "Златоустовский метзавод")

$t_{исп.}$ °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	ψ , %	$t_{исп.}$ °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	ψ , %
20	700	380	22	58	400	550	290	20	60
100	660	350	23	61	500	480	290	20	63
200	620	310	23	61	600	410	210	22	64
300	590	300	21	62	700	190	130	60	80

Коррозионная стойкость. Сталь 50X14МФ в отличие от стали 100X13М после закалки и низкого отпуска имеет высокую стойкость против питтинговой коррозии в хлорсодержащих средах.

Стойкость против питтинговой коррозии

1. Испытание в растворе 1 % NaCl + 3 % (NH₄)₂SO₄ в течение 1000 ч
(пруток Ø 8 мм, закалка + низкий отпуск)

Сталь	50X14МФ	50X14МФ-ИД	100X13
Площадь, занятая питтингом, см ² /м ²	0–60	0–15	362–675

2. Потенциостатическое травление в 1 % NaCl при $\varphi = -50$ мВ
(лист 3–6 мм, закалка + низкий отпуск)

Сталь	50X14МФ	65X13	20X13* ¹
Коррозионные потери, г/(м ² · ч)	4,6	13,3	4,7
Твердость HRC	57	52	46

*¹ Пруток Ø12 мм.

Скальпели из стали 50X14МФ устойчивы к циклам обработки, состоящим из дезинфекции, предстерилизационной очистки и стерилизации. При клинических испытаниях скальпели из стали 50X14МФ выдерживают в среднем 4 операции, в то время как из стали 100X13М — 2 операции (по данным НПО “Мединструмент”, г. Казань). Ножи из стали 50X14МФ могут обрабатываться в моечных машинах даже при наличии ионов хлора в воде.

Влияние термической обработки на потребительские свойства ножевых изделий (нестандартизованные испытания)

Термическая обработка	Твердость HRC	Количество ударов до излома, шт.	Толщина кромки лезвия при расплюсывании, мм
Режим стандартный (закалка 1050 °С + отпуск 200 °С)	57	10	0,3
Режим № 1	60	2	0,3
Режим № 2	55	4	0,7
Режим № 3	50	16	1,1
Режим № 4	53	10	1,1
Режим № 5	56	28	0,1

П р и м е ч а н и е. Исходная толщина кромки лезвия 0,1 мм.

Технологические параметры. Сталь 50X14МФ хорошо подвергается горячей пластической деформации, которую проводят в интервале 1100–850 °С. Она склонна к образованию трещин при быстром охлаждении. Листовую сталь изготавливают прокаткой передельной заготовки; сортовую сталь — волочением из передельной заготовки. При контроле закаливаемости рекомендуется температура закалки 1045 °С и отпуск 200 °С.

Сталь 50X14МФ разработана с учетом требований международного стандарта ИСО 7153/1–88 и ГОСТ Р50328.1–92 “Инструменты хирургические. Металлические материалы. Часть 1. Нержавеющая сталь”. В НПО “Мединструмент” и Медико-инструментальном заводе им. В. И. Ленина (г. Ворсма) изготовлены партии цельнометаллических скальпелей и проведены необходимые медицинские испытания с положительными результатами.

1.5. СТАЛИ 90Х18МФ, 95Х18**Применение**

ГОСТ, ТУ

Сталь 90Х18МФ применяют в упрочненном состоянии в производстве химических волокон, для изготовления многопоточных шестеренных насосов для дозированной подачи препаратов, для изготовления режущего инструмента в медицинской и пищевой промышленности. ГОСТ 5632-72
ТУ 14-1-4628-89
ТУ 14-1-1848-76
ГОСТ 5949-75

Сталь 95Х18 применяют для изготовления подшипников, втулок, ножей и других деталей с высокой твердостью

Примечание. Стали выплавляют в открытых электродуговых или индукционных печах.

Химический состав стали 90Х18МФ (1) по ТУ 14-1-4628-89 и стали 95Х18 (2) по ГОСТ 5632-72

Сталь	Массовая доля компонентов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	S	P	Fe
1	0,85-0,95	≤ 1,0	≤ 1,0	17,0-19,0	0,9-1,3	0,07-0,12	≤ 0,025	≤ 0,030	Осн.
2	0,9-1,0	≤ 0,8	≤ 0,8	17,0-19,0	—	—	≤ 0,025	≤ 0,030	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
<i>Для стали 90Х18МФ</i>			
Полоса	8-25×145×250-800	ТУ 14-1-4628-89	АООТ "Суперметалл"
горячекатаная			
Прутки:			
горячекатаный	Ø18-20×1000	ТУ 14-1-4628-89	АООТ "Суперметалл"
кованный	Ø20-50×400-1000	ТУ 14-1-4628-89	АООТ "Суперметалл"
<i>Для стали 95Х18</i>			
Лист:			
холоднокатаный	2-3,9×450-710×900-1500	ТУ 14-1-1848-76	ОАО "Серп и Молот"
горячекатаный	4-6×450-650×400-900 4-7×600-710×400-900 4-8×700×700	ТУ 14-1-1848-76	
Прутки	С. 3.	ГОСТ 5949-75	ОАО "Электросталь" ОАО "Мечел" ОАО "Златоустовский метзавод" ОАО "Днепроспец-сталь"

Примечание. Металл поставляется в термически обработанном состоянии — после отжига или отпуска.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	Режим термической обработки контрольных образцов	Твердость HRC (не менее)
<i>Для стали 90Х18МФ</i>			
ТУ 14-1-4628-89	Полоса 8-12 мм	Закалка с 1045 °С, в масле, +	56
	Прутки Ø18-39	отпуск 140 °С, 2 ч	56
<i>Для стали 95Х18</i>			
ГОСТ 5949-75	Прутки Ø до 200 мм	Закалка с 1000-1050 °С, в масле, отпуск при 200-300 °С, охлаждение на воздухе или в масле.	55
		В состоянии поставки (отжиг или отпуск)	≤ 269 HB

Механические свойства стали 90Х18МФ при повышенных температурах
(прутки Ø 16-18 мм; отжиг 840 °С, 2 ч, охлаждение с печью со скоростью 25 °С/ч до 600 °С и далее на воздухе)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_b, \text{H}/\text{мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{H}/\text{мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$n, \text{об}$
20	846	437	15	27	—
100	860	590	14	28	—
300	760	525	14	34	—
400	740	545	11	23	—
670	280	235	44	73	—
700	212	177	51	79	6,3
750	142	122	74	87	11,7
800	105	95	76	89	19,1
850	110	95	78	78	14,4
900	122	110	113	84	8,4
1000	73	69	107	75	10,6
1050	60	58	111	75	10,7
1100	44	42	125	73	12,8
1150	32	30	122	74	16,3
1200	27	26	83	73	9,0
1250	19	18	15	22	4,7

Механические свойства горячекатаного подката стали 90X18МФ и прутков стали 95X18 после различных режимов отжига и закалки

Режим термической обработки	Твердость HВ	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
<i>Для стали 90X18МФ</i>					
Отжиг при 840 °С, 2 ч, охлаждение со скоростью 25 °С/ч до 600 °С и далее на воздухе	220	846	437	15	15
Отжиг при 880 °С, 2 ч, охлаждение под колпаком до 750 °С, 4 ч и далее охлаждение на воздухе	375–563	—	—	—	—
Отжиг при 760 °С, 4 ч, охлаждение под колпаком	230–400	—	—	—	—
<i>Для стали 95X18</i>					
Закалка с 1010–1065 °С в масле, охлаждение на воздухе	60–62 HRC	—	—	—	—
Закалка и отпуск при 150–379 °С	55–60 HRC	—	—	—	—
Неполный отжиг при 730–790 °С, 2–6 ч	22–27 HRC	≥ 880	≥ 770	≥ 12	—
Полный отжиг при 885–920 °С, 1–2 ч	215–240	≥ 770	≥ 420	≥ 12	≥ 30

Влияние продолжительности отпуска при 200 °С на твердость сортовой стали 95X18 после закалки с 1040–1060 °С (данные ОАО “Златоустовский метзавод”)

Продолжительность отпуска, ч	Твердость HRC	Продолжительность отпуска, ч	Твердость HRC
0	57,5	2	54
1	55,5	3	53
1,5	55		

Коррозионная стойкость. Сталь 90X18МФ более коррозионностойкая, чем сталь 95X18. При испытании в препарационных средах (замасливателях) производств полиэфирных текстильных нитей, имеющих кислую реакцию, ($\text{pH} = 4,3\text{--}4,8$), поверхности образцов мартенситных сталей 40X11М3Ф, 50X14МФ, 95X18 подвергаются питтинговой коррозии, поверхность образцов стали 90X18МФ — остается без изменения (данные ВНИИЛтекмаш, г. Москва).

Сталь 90X18МФ рекомендуется для изготовления (по ГОСТ Р 50328.1–92) хирургических инструментов для стоматологии, которые должны быть устойчивы к коррозии в условиях санитарной обработки.

Сталь 95X18 обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в 3%-ном растворе поваренной соли и в воде после закалки и низкого отпуска до 400 °С. При температуре отпуска 480–500 °С коррозионная стойкость стали 95X18 резко снижается в результате выделения карбидов.

Физические свойства.

Плотность $7,67 \cdot 10^3$ кг/м³ для стали 90X18МФ и $7,75 \cdot 10^3$ кг/м³ для стали 95X18.

Теплопроводность стали 95X18 при 20 °С составляет 24,3 Вт/(м · К).

Удельная теплоемкость стали 95X18 при 20 °С равна $0,483 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К).

Удельное электросопротивление стали 90X18МФ — $0,68 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.

Значение температурного коэффициента линейного расширения α для сталей

Сталь	$\alpha \cdot 10^{-6}, \text{K}^{-1}$, в интервале температур, °C					
	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–800
90X18МФ	11	11,2	11,6	11,8	12,2	12,8
95X18	11,8	12,3	12,7	13,1	13,4	—

Технологические параметры. Полосовую и сортовую сталь изготавливают прокаткой или ковкой передельной заготовки. Температурный интервал деформации 1130–950 °C, после деформации медленное охлаждение или выдержка при 750 °C с последующим охлаждением.

Структура. Ледебуритные стали 90X18МФ и 95X18 относятся к мартенситному классу. Они упрочняются после закалки в результате мартенситного превращения. После полного отжига имеют ледебуритную структуру с избыточными карбидами.

Микроструктура закаленной с 900–1250 °C стали состоит из мартенсита, аустенита и карбидов.

Карбиды стали 90X18МФ различаются морфологически: первичные, выделяющиеся из жидкой фазы, более крупные — вытянуты вдоль направления прокатки иликовки; вторичные — мелкие, выделяющиеся в процессе охлаждения по границам и в теле исходных аустенитных зерен.

По мере повышения температуры нагрева под закалку количество остаточного аустенита увеличивается, изменение твердости имеет экстремальный характер. Максимальное значение твердости 57–58 HRC соответствует температуре закалки с 1050 °C, минимальное 26 HRC — температуре закалки с 1250 °C.

Влияние температуры закалки на свойства сталей 90X18МФ (в числителе) и 95X18 (в знаменателе)

$t_{\text{зак}}, ^\circ\text{C}$	Остаточный аустенит γ , %	Твердость HRC	Диаметр аустенитного зерна, мкм	Содержание хрома в твердом растворе, %
900	< 1	47	18	9,5
1000	—	55/55	16	—
1050	26/17	57/58	40	11,0
1100	—/32	54/55	—	12,2
1150	76	40	35	—
1200	—	33	42	—
1250	93	26	63	16,4

Влияние температуры отпуска на свойства сталей 90X18МФ (в числителе) и 95X18 (в знаменателе) (закалка с 1040 °C)

$t_{\text{отп}}, ^\circ\text{C}$	Остаточный аустенит γ , %	Твердость HRC	$t_{\text{отп}}, ^\circ\text{C}$	Остаточный аустенит γ , %	Твердость HRC
140	17/15	57/56	670	0/—	33/—
300	12/12	52/51	750	15/—	27/—
500	—	55/—	900	0/—	60/—
600	—	40/—			

Для стали 90X18МФ, после закалки в масле с 1040 °С с выдержкой 30 мин критические точки: $A_{c1} = 840$ °С, $A_{c3} = 925$ °С; $M_n = 260$ °С; $M_k = 135$ °С. После закалки с 1250 °С фазовых превращений не обнаружено, что свидетельствует о стабильности аустенита после такой закалки. Содержание хрома в твердом растворе в зависимости от температуры закалки с 900 до 1250 °С меняется от 9,5 до 16,4 %.

Для стали 90X18МФ после закалки с 900 °С размер первичных карбидов в среднем составляет 1,6–7,6 мкм, вторичных 0,4–0,8 мкм. С повышением температуры нагрева под закалку до 1150 °С размер первичных карбидов практически не изменяется.

При контроле закаливаемости рекомендуется температура закалки 1050 °С; отпуска 140 °С для стали 90X18МФ и 150–200 °С для стали 95X18. Для полного смягчения стали (~ 220 *HB*) рекомендуется отжиг при 880–920 °С с замедленным охлаждением (скорость охлаждения 25 °С/ч), для улучшения обрабатываемости при точении рекомендуется отжиг при 730–760 °С. Следует избегать отпуска при 450–600 °С, а также нагрева при закалке выше 1065 °С, вызывающего рост зерна, так как в обоих случаях наблюдается снижение ударной вязкости.

Глава 2. ХРОМИСТЫЕ СТАЛИ ФЕРРИТНОГО КЛАССА

Применение	ТУ
Для изготовления столовых приборов, кухонной утвари, торгового и пищевого оборудования, бытовой техники	ТУ 14-1-5014-91 ТУ 14-1-5015-91

Примечание. Сталь выплавляют в открытых дуговых электропечах с последующей обработкой жидкого полупродукта в агрегате аргоно-кислородного рафинирования.

Химический состав, ТУ14-1-5014-91

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Si	Ti	S	P	Ca	Ce	Al	Mn	Fe
≤ 0,04	15,0–16,5	0,6–1,0	5	C–0,4	≤ 0,020	≤ 0,030	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,6	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Лист:			
холоднокатаный	0,8–2,0×1000–1100×2000–3000 2,1–2,6×1000–1250×2000–3000 2,7–3,7×1000–1250×2000–3000	ТУ14-1-5014-91	ОАО “Запорожсталь”
рулон	0,8–2,0×1000 немерные	ТУ14-1-5015-91	

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ТУ14-1-5014-91	Лист холоднокатаный	470	295	35

Механические свойства при высоких температурах (лист 3 мм, закалка с 900 °С в воде)

t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	δ, %	ψ, %	KCU, Дж/см ²	t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	δ, %	ψ, %	KCU, Дж/см ²
700	92	66	95	180	1000	22	65	92	140
800	48	63	96	160	1100	15	70	—	—
900	30	58	92	160	1200	10	80	—	—

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной деформации
(лист 3,0 мм, закалка перед холодной деформацией с 900 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
20	645	615	6
40	725	700	3–5
60	810	790	2

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-5014–91 контроль на межкристаллитную коррозию не предусмотрен. Сталь 04X15CT устойчива (2–3 балл коррозионной стойкости) в растворах азотной, лимонной, уксусной, щавелевой кислот при комнатной температуре, а также в слабых растворах хлористого натрия и уксусной кислоты при температурах кипения.

Коррозионная стойкость в различных средах ($t_{исп} = 100$ ч)

Состав среды	$t_{исп}$, °С	$v_{кор}$, мм/год	Состав среды	$t_{исп}$, °С	$v_{кор}$, мм/год
1 % уксусная кислота	Кипение	0,0011	1 % лимонная кислота	20	0,004
3 % натрий хлористый	Кипение	0,0015	10 % азотная кислота	20	0,006
5 % уксусная кислота	20	0,0098	5 % щавелевая кислота	20	0,031

Примечание. $v_{кор}$ — скорость коррозии.

Физические свойства. Плотность — $7,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность — 26,2 Вт/(м·К) при 20 °С.

Удельная теплоемкость — 443 Дж/(кг·К) при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, К⁻¹ — 10,4.

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации стали 1150–850 °С. Сталь хорошо обрабатывается в горячем и холодном состояниях. Термическая обработка стали — закалка с 900 °С с охлаждением на воздухе или в воде.

Сталь может свариваться всеми видами сварки. Наиболее благоприятными с точки зрения получения наилучшей вязкости и пластичности являются ручная дуговая сварка и автоматическая сварка под флюсом со скоростью охлаждения 20 °С/с.

Механические свойства сварных соединений из стали 04X15CT при 20 °С
(лист 2,0 мм, закалка с 900 °С)

σ_B , Н/мм ² при сварке			Угол загиба сварного соединения при сварке	
основной металл	аргоно-дуговой с присадкой X25H13	ручной электро-дуговой, электрод ОЗЛ-6	аргоно-дуговой с присадкой X25H13	ручной электро-дуговой, электрод ОЗЛ-6
530	492	514	180	180

Сталь 04X15CT (ТУ 14-1-5014–91) решением Главного санитарного врача РФ (№ 11-13/264-115 от 20.10.94 г.) разрешена для изготовления столовых приборов, кухонной посуды, оборудования для мясной, молочной, овощеконсервной, рыбной, кондитерской и хлебопекарной промышленности.

2.2. СТАЛЬ 08Х18Т1

Применение	ТУ, ГОСТ
Для изготовления деталей системы выпуска газов автомобилей, торгового оборудования, электросварных труб	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 5582-75 ТУ 14-1-4035-85 ТУ 14-1-1081-74 ТУ 14-1-2421-78

Примечание. Сталь выплавляют в открытых дуговых электропечах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Si	Ti	S	P	Mn	Fe
≤ 0,08	17,0-19,0	≤ 0,8	0,6-1,0	≤ 0,025	≤ 0,035	≤ 0,7	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Лист холоднокатаный	0,7-3,9; С.З.	ГОСТ 5582-75	ОАО "Запорожсталь"
Рулон	0,5-1,5×500-1000	ТУ 14-1-4035-85	ОАО "Мечел"
То же	1,5-2,0×1000-1200	ТУ 14-1-2421-78	ОАО "Запорожсталь"
Лист горячекатаный	1,5-3,9; С.З.	ГОСТ 5582-75	ОАО "Мечел"
Лента в рулонах	1,0-1,5; С.З.	ТУ 14-1-1081-74	ОАО "Новосибпрокат"

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ, %
		не менее		
ГОСТ 5582-75	Лист холоднокатаный	460	—	30
ТУ 14-1-2421-78	Рулон холоднокатаный	450	—	32

Механические свойства при высоких температурах

(лист 3,0 мм, закалка с 880 °С в воде)

t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %	KCU* ¹ , Дж/см ²	t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %	KCU* ¹ , Дж/см ²
700	88	67	95	200	1000	20	72	98	160
800	42	62	97	180	1100	16	78	98	140
900	28	56	98	180	1200	11	82	—	—

*¹ Прутки 14 мм.

**Механические свойства при 20 °С в зависимости
от степени холодной деформации (лист 3,0 мм, закалка
перед холодной деформацией с 880 °С в воде)**

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %
15	710	8
30	800	3
60	940	2

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 5582-75 контроль на межкристаллитную коррозию не предусмотрен. Сталь стойка (1-3 балл коррозионной стойкости) в растворах азотной кислоты до 60%-ной концентрации, в кипящих 50-80%-ных растворах аммиачной селитры, в растворах фосфорной и фтористоводородной кислоты при температурах 60 °С, в конденсате отработанных газов, в «соляном» тумане.

Жаростойкость при 700 °С в течение 500 ч составляет 0,004 г/(м² · ч).

Физические свойства. Плотность — $7,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность — 26,4 Вт/(м · К) при 20 °С.

Модуль упругости $E \cdot 10^{-4} = 21,0$ Н/мм² при 20 °С.

Сварка. Сталь сваривается аргоно-дуговой сваркой без присадки и с присадкой проволоки из стали 10X18H10T, а также автоматической электродугуговой сваркой под флюсом и в малых толщинах — контактной сваркой.

Сталь 08X18T1 разрешена Минздравом для применения в качестве тары и оборудования для молочной промышленности, для изготовления деталей машин, контактирующих с вином и уксусом (продолжительность до 24 ч), для изготовления диффузионных установок свеклосахарного производства.

2.3. СТАЛЬ 08X18T1

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления изделий пищевого, продовольственного машиностроения, получаемых методом холодной штамповки	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 5582-75 ТУ 14-1-4017-85 ТУ 14-1-3856-84

Примечание. Сталь выплавляют в открытых дуговых электропечах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Si	Ti	S	P	Mn	Ce	Al	Fe
≤ 0,08	17,0-19,0	≤ 0,8	5 · C-0,60	≤ 0,025	≤ 0,035	≤ 0,8	≤ 0,1	≤ 0,1	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Лист холодно-катанный	0,8–2,0×1000–1100×2000–3950	ТУ 14-1-4017–85	ОАО “Запорож-сталь”
	2,1–2,6×1000×2000–3950		
	2,7–3,5×1000–1250×2000–3950 $\delta = 0,7–3,9$; С.З.	ГОСТ 5582–75	ОАО “Запорож-сталь” ОАО “Мечел”
Пруток:			
горячеката- ный	Ø10–180	ТУ 14-1-3856–85	ОАО “Днепро- спецсталь”
кованный	Ø60–180		

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	KCU , Дж/см ²
		не менее			
ГОСТ 5582–75	Лист холоднокатанный	470	—	35	—
ТУ 14-1-4017–85	Лист холоднокатанный	471	—	35	—
ТУ 14-1-3856–84	Пруток	470	196	25	100

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(пруток Ø 16 мм, закалка с 920 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
–70	550	325	34	72,7	50
0	—	—	—	—	100
20	470	250	34	74	150
200	415	250	30	65	215
400	325	205	26	70	270
600	135	117	55	87	260

Механические свойства при высоких температурах
(пруток Ø 16 мм, закалка с 920 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²	n , об
800	33	21	59	< 90	196	33,8
1000	12,5	11	85	< 90	137	35,8
1100	7,5	7	110	< 90	102	83,2
1200	3,4	—	137	< 90	7,8	77,3

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени
холодной деформации (лист 3,0 мм, закалка с 880 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
25	650	600	11
50	740	700	8
70	830	820	5

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 5582-75 контроль на межкристаллитную коррозию не предусмотрен. По стойкости против общей коррозии в средах пищевой промышленности (молочно-мясной, овоще-консервной, хлебопекарной, виноделической и др.) сталь 0X18T4 равноценна стали 08X18H10T. В минеральных кислотах (30%-ная азотная кислота при температуре кипения) — 2 балл, в органических кислотах (уксусной, муравьиной, лимонной, щавелевой 5–15 % при 50 °С) — 1–2 балл.

Физические свойства. Плотность — $7,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность — 25,2 Вт/(м · К) при 20 °С.

Значение температурного коэффициента линейного расширения

$t, ^\circ\text{C}$	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700	700–800
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	9,9	11,2	12,1	13,05	14,4	14,8	15,6

Технологические параметры. Температурный интервал горячей обработки давлением 1150–850 °С. Сталь достаточно технологична при пластической деформации в горячем и холодном состоянии. При испытаниях по Эриксену листа толщиной 1,5 мм глубина лунки составляет 13–13,3 мм; коэффициент вытяжки (предельный) — 1,9.

Сваривается (в листах толщиной от 0,8 до 4 мм) всеми видами сварки. В качестве присадочного материала используется проволока из стали X25H13 или электроды ОЗЛ-11. Сварку листов толщиной 2–4 мм рекомендуется проводить на малых погонных энергиях.

Сварные соединения являются стойкими против межкристаллитной коррозии при испытаниях по методу АМ и АМУ ГОСТ 6032-89.

Свойства сварных соединений

Сопротивление разрыву $\sigma_b, \text{Н/мм}^2$	Вид сварки	
	аргоно-дуговая	электродуговая
	456/411	472/394

Примечание. В числителе — значения для продольных; в знаменателе — для поперечных образцов.

Применение

ТУ

Для изготовления поглощающих пластин солнечных коллекторов, изделий продовольственного машиностроения, пищевого оборудования

ТУ 14-226-130-92

Примечание. Сталь выплавляют в открытых дуговых электропечах с последующей обработкой жидкого полупродукта в агрегате аргоно-кислородного рафинирования.

Химический состав, ТУ14-226-130-92

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Si	Mn	S	P	V	N	Mo	Ti	Fe
≤ 0,03	17,5–19,5	≤ 0,08	≤ 0,6	≤ 0,020	≤ 0,030	0,2–0,4	0,02–0,04	1,2–1,6	0,3–0,5	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Лист холодно-катаный	0,8–2,0×1000×2000–2500	ТУ14-226-130–92	ОАО “Запорожсталь”

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
		не менее		
ТУ14-226-130–92	Лист холоднокатаный	490	300	32

Механические свойства при высоких температурах (пруток Ø 16 мм, закалка)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	n, об
700	92	81	52	74	156	—
800	48	34	80	88	162	32
1000	12	11	84	> 90	126	44
1100	7	6,5	96	> 90	98	75
1200	3	—	118	> 90	60	77

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной деформации (лист 3,0 мм, закалка перед холодной деформацией с 900 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
20	820	790	12
40	900	860	8
60	860	—	5

Коррозионная стойкость. Контроль на межкристаллитную коррозию по ТУ 14-226-130–92 не предусмотрен. Обладает стойкостью против общей, питтинговой, щелевой коррозии и коррозионного растрескивания в воде, в 3%-ном растворе NaCl при температуре кипения, а также против общей коррозии в азотной кислоте и органических кислотах.

Физические свойства. Плотность — $7,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность — 26,2 Вт/(м · К) при 20 °С.

Модуль упругости — $20,2 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации 1100–850 °С. Сталь хорошо обрабатывается в горячем и холодном состояниях. Термическая обработка стали: закалка с 900–950 °С с охлаждением на воздухе или в воде. Сталь сваривается аргоно-дуговой сваркой.

Механические свойства при 20 °С сварных соединений стали 04X19MAФТ

Вид сварки	σ_B , Н/мм ²	Угол загиба сварного соединения
Аргоно-дуговая ручная неплавящимся электродом	470–520	180

Примечание. Сталь 04X19MAФТ (ТУ 14-226-130–92) решением Главного санитарного врача РФ (№ 11-13/264-115 от 20.10.94 г.) разрешена для изготовления столовых приборов, кухонной посуды, оборудования для мясной, молочной, овощеконсервной, рыбной, кондитерской и хлебопекарной промышленности.

2.5 СТАЛИ 01X18M2T-BИ, 01X25M2T-BИ

Применение

ТУ

Для изготовления сварного теплообменного химического и нефтехимического оборудования, эксплуатирующегося при температурах от 20 до 300 °С и давлении до 16 атм, в средах производства каустической соды, хлорорганических продуктов, в средах с высоким содержанием ионов хлора, в нефтеперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности

ТУ 14-1-3547-83

ТУ 14-3-1275-83

ТУ 14-1-3996-85

Примечание. Сталь выплавляют в вакуумных индукционных печах. Возможно использование метода вакуумного обезуглероживания в ковше.

Химический состав, ТУ 14-1-3547-83

Сталь	Массовая доля компонентов, %											
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Ti	N	Cu	S	P	Fe
01X18M2T-BИ	≤ 0,01	≤ 0,5	≤ 0,7	17,0–19,0	1,8–2,5	≤ 0,4	0,25–0,45	≤ 0,01	≤ 0,15	≤ 0,015	≤ 0,015	Осн.
01X25M2T-BИ	≤ 0,01	≤ 0,5	≤ 0,7	24,0–26,0	1,8–2,8	≤ 0,4	0,25–0,45	≤ 0,01	≤ 0,15	≤ 0,015	≤ 0,015	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Заготовка трубная	Ø90–120	ТУ14-1-3547-83	ОАО “Мечел”
Труба бесшовная холодно- (тепло) деформированная	Ø25–76×2,0–3,0	ТУ14-3-1275-83	ОАО “Первоуральский Новотрубный завод”
Проволока сварочная	Ø2,0–3,0	ТУ14-1-3996-85	ОАО “Белорецкий меткомбинат”

Нормированные механические свойства при 20 °С (в числителе – сталь 01X18M2T-BИ; в знаменателе – сталь 01X25M2T-BИ)

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Порог хладнолом- кости T_{xp} , °С
		не менее			
ТУ14-3-1275-83	Труба	392/412	215/245	25/20	-50/-50

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 900 °С в воде.

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-3-1275-83, ТУ 14-1-3547-83 стали 01X18M2T-BИ и 01X25M2T-BИ не должны быть склонны к межкристаллитной коррозии при испытании по методу АМУ ГОСТ 6032-89. Перед испытанием их подвергают нагреву при 1100 °С в течение 30 мин с последующим охлаждением на воздухе. Стали не подвержены коррозионному растрескиванию в хлоридах.

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации 1160–850 °С. Горячую прокатку труб производят при нагреве трубной заготовки до 1050–1060 °С. Рекомендуемый режим термической обработки (для труб) – закалка с 900–920 °С в воде. В состоянии закалки имеют структуру феррита с небольшим количеством оксидов и нитридов титана. До температуры 300 °С не претерпевают структурных превращений. Эксплуатация сталей при температурах выше 300 °С не рекомендуется в связи с охрупчиванием при “475°С” и образованием интерметаллидных фаз при дальнейшем повышении температуры.

Сварка. В отличие от стандартных ферритных сталей типа 15Х25Т суперферритные стали марок 01Х18М2Т-ВИ и 01Х25М2Т-ВИ хорошо свариваются ручно аргоно-дуговой сваркой с использованием сварочной проволоки соответственн Св-01Х18М2Т-ВИ и Св-01Х25М2Т-ВИ. Погонная энергия при сварке не должн превышать 100 МДж/м². Порог хладноломкости сварных соединений металла тон костенных труб, выполненных с малыми тепловложениями, равен 0 °С. Сварны соединения сталей не склонны к межкристаллитной коррозии при испытаниях по методу АМУ ГОСТ 6032-89.

Применение	ТУ
Для изготовления сварного оборудования (выпарные аппараты) по производству каустической соды, сернистого натрия и других сред химической промышленности; является заменителем стали 15Х25Т для сварных изделий	ТУ 14-1-3622-8 ТУ 14-1-3547-8 ТУ 14-3-1275-8 ТУ 14-1-3996-8
Примечание. Сталь выплавляют в вакуумных индукционных печах.	

Химический состав, ТУ 14-1-3622-83

Массовая доля компонентов, %											
C	N	Mn	Si	Cr	Ti	Nb	Ni	Cu	S	P	Fe
≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,7	≤ 0,5	24,0-26,0	0,1-0,3	0,1-0,3	≤ 0,4	≤ 0,15	≤ 0,010	≤ 0,015	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Лист горячекатаный	6,0-20,0×1400-1500×3500-4500	ТУ14-1-3622-83	ОАО "Мечел"
Заготовка трубная	Ø90-110	ТУ14-1-3547-83	ОАО "Мечел"
Труба холоднодеформированная	Ø25-114×2,0-3,0	ТУ14-3-1275-83	ОАО "Первоуральский Новотрубный завод"
Проволока сварочная	Ø2,0-3,0	ТУ14-1-3996-85	ОАО "Белорецкий меткомбинат"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 850-900 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ТУ14-1-3622-83	Лист горячекатаный	390	195	25
ТУ14-3-1275-83	Труба бесшовная	390	195	25

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-3622-83, ТУ 14-3-1275-83 и ТУ 14-1-3547-83 сталь не должна быть склонна к межкристаллитной коррозии при испытании по методу АМУ ГОСТ 6032-89. Перед испытанием ее подвергают нагреву при 1100 °С в течение 30 мин с последующим охлаждением на воздухе. Сталь характеризуется высокой стойкостью против щелочного растрескивания и обладает повышенной самопассивационной способностью в горячих концентрированных щелочных растворах.

Коррозионная стойкость в различных средах
(в том числе в производственных условиях)

Коррозионная среда	$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$v_{\text{кор}},$ (г/м ² ·ч)
Сернистый натрий (выпарной котел)	130	0,02–0,20
Электролитическая щелочь (выпарной аппарат)	120–140	0,01
Хлористый калий — галургический (шнековый растворитель)	95–110	0,002
Сульфат натрия (выпарной аппарат)	170	0,140
Технологические среды текстильно-отделочных производств и выработки химических волокон; крашение х/б нитей сернистыми красителями, хлорное и гипохлоридное беление льна	До 80	0,030
Рассол NaCl (306 г/л)	50–60	0,001
Пульпа стронцийсодержащего осадка производства нитроаммофоса	85	0,0013

Физические свойства. Плотность — $7,6 \cdot 10^3$ кг/м³.

Модуль упругости — $20,4 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Магнитная проницаемость — 2,1 (мкТл·м)/А при 20 °С.

Значение температурного коэффициента линейного расширения

$t, ^\circ\text{C}$	50–150	50–200	50–300	50–400	50–600	50–700	50–800	50–900	50–1000
$\alpha \cdot 10^{-6}, \text{K}^{-1}$	9,5	10,0	10,6	10,8	11,5	11,6	12,2	12,2	12,2

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации 1160–850 °С. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 850–900 °С в воде. Рекомендуется аргоно-дуговой способ сварки с использованием проволоки Св-01Х25ТБЮ.

Сопротивление хрупкому разрушению (труба Ø38×2 мм, закалка с 850 °С в воде)

Вид образца	$KCU, \text{Дж/см}^2, \text{ при температуре испытания, } ^\circ\text{C}$	
	+20	0
Несварной	130	115
Сварной	130	80

Глава 3. ХРОМОНИКЕЛЕВЫЕ СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Хромоникелевые стали аустенитного класса представляют собой наиболее широко распространенную группу коррозионностойких сталей, известных в мировой практике под общим названием стали типа 18-10.

Стали этой группы, имея в своем составе 18 % Cr, являются коррозионностойкими во многих средах окислительного характера в широком диапазоне концентраций и температур [1], а также обладают жаростойкостью и жаропрочностью при умеренных температурах.

Наличие никеля в этих сталях в количестве 9–12 % способствует получению аустенитной структуры, характеризующейся высокой технологичностью при операциях горячей и холодной деформации и хладостойкостью при криогенных температурах. Стойкость против межкристаллитной коррозии сталей этой группы определяется концентрацией углерода в твердом растворе. Влияние азота на склонность к межкристаллитной коррозии значительно слабее углерода, поэтому добавки азота для повышения прочности могут быть целесообразны. Хром и никель оказывают влияние на температурно-временные области, в которых хромоникелевые стали могут быть склонны к межкристаллитной коррозии [2, 3]. Повышение концентрации никеля сопровождается уменьшением растворимости углерода, что отрицательно влияет на ударную вязкость хромоникелевой стали после отпуска и приводит к расширению области склонности к межкристаллитной коррозии (рис. 1). Уменьшение растворимости углерода в твердом растворе происходит и при увеличении содержания хрома, в результате чего снижается также ударная вязкость из-за образования карбидной сетки по границам зерен, но при этом стойкость против межкристаллитной коррозии возрастает.

Это противоречие объясняется тем, что хром существенно повышает

коррозионную стойкость и поэтому обеднение хромом твердого раствора при образовании карбидных фаз не достигает катастрофических значений.

Кроме карбидных фаз в интервале 450–900 °C в аустените хромоникелевых сталей возможно также выделение интерметаллидной σ -фазы. При высокотемпературном нагреве может происходить обра-

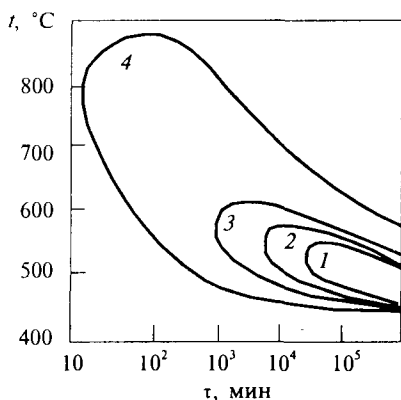


Рис. 1. Влияние никеля на склонность к межкристаллитной коррозии хромоникелевых сталей после отпуска (метод АМ ГОСТ 6032–89): 1 — 9; 2 — 12; 3 — 20; 4 — 40 % Ni

зование δ -феррита, что вызывает некоторое ухудшение технологичности при горячей обработке давлением, особенно при высоких скоростях деформации, например на станах непрерывной прокатки; небольшое количество δ -феррита положительно влияет на поведение аустенитных сталей при пайке, предупреждая появление микротрещин.

При холодной пластической деформации или при снижении температуры до отрицательной наблюдается мартенситное превращение с образованием α -фазы, количество и температура появления которой в стали определяются в основном концентрацией никеля.

Появление в структуре аустенитных хромоникелевых сталей δ -феррита или мартенситной α -фазы сопровождается переходом от немагнитного состояния к магнитному и повышением магнитного насыщения.

Библиографический список

1. Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов: Справочник. — М.: Металлургия, 1990. — 320 с.
2. Ульянин Е. А. Коррозионностойкие стали и сплавы: Справочник. — М.: Металлургия, 1991. — 255 с.
3. Бабаков А. А., Приданцев М. В. Коррозионностойкие стали и сплавы. — М.: Металлургия, 1971. — 318 с.

3.1. СТАЛИ 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т

Применение	ГОСТ
В сварных конструкциях, работающих в контакте с азотной кислотой и другими средами окислительного характера; в некоторых органических кислотах средней концентрации, органических растворителях, атмосферных условиях и т.д.	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 5949-75 ГОСТ 7350-77 ГОСТ 5582-75
Изготавливают емкостное, теплообменное и другое оборудование.	ГОСТ 4986-79 ГОСТ 9940-81
Для изготовления сварных конструкций в криогенной технике при температуре до -269°C	ГОСТ 9941-81 ГОСТ 18143-72

Примечание. Стали выплавляют в дуговых электропечах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Сталь	Массовая доля компонентов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Ti	Fe
12Х18Н10Т	$\leq 0,12$	$\leq 0,8$	$\leq 2,0$	17,0-19,0	9,0-11,0	$\leq 0,020$	$\leq 0,035$	5 · C-0,8	Осн.
12Х18Н9Т	$\leq 0,12$	$\leq 0,8$	$\leq 2,0$	17,0-19,0	8,0-9,5	$\leq 0,020$	$\leq 0,035$	5 · C-0,8	Осн.

Сортамент

(в соответствии со специализацией заводов качественной металлургии)

Вид продукции	ГОСТ	Вид продукции	ГОСТ
Лист:		Труба:	
толстый	ГОСТ 7350-77	горячедеформированная	ГОСТ 9940-81
тонкий	ГОСТ 5582-75	холоднодеформированная	ГОСТ 9941-81
Лента мягкая	ГОСТ 4986-79	Проволока	ГОСТ 18143-72

П р и м е ч а н и е. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1000–1070 °С в воде.

Нормированные механические свойства сталей при 20 °С

ГОСТ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
		не менее			
ГОСТ 5949-75	Пруток	520 (550)	200	40	55
	Лист:				
ГОСТ 7350-77	толстый	530 (530)	215 (235)	38 (38)	—
ГОСТ 5582-75	тонкий	540	200	40	—
ГОСТ 4986-79	Лента мягкая	540	—	35	—
	Труба:				
ГОСТ 9940-81	горячедеформированная	529	216	40	—
ГОСТ 9941-81	холоднодеформированная	549	216	35	—
ГОСТ 18143-72	Проволока	550-900	—	55-90	—

П р и м е ч а н и е. В случае различия в свойствах в скобках указаны свойства стали 12Х18Н9Т.

Механические свойства стали 12Х18Н9Т при низких и повышенных температурах
(пруток Ø18–25 мм, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп.}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²	$t_{исп.}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
–253	1790	600	25	—	120	400	450	180	31	65	—
–196	1610	460	38	56	200	500	450	180	29	65	—
–70	1130	360	40	64	250	600	400	180	25	61	—
20	620	280	41	63	250	700	280	160	26	59	—
300	460	200	31	65	—	800	180	100	35	69	—

Механические свойства стали 12Х18Н9Т при высоких температурах

$t_{исп.}$, °С	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²	n , об
900	91/84	36,3/34,8	69,6/61,4	230/240	—
1000	55/44	43,0/38,3	71,3/68,8	200/230	59/—
1100	38/29	37,0/57,5	70,6/74,0	150/190	67/19
1150	29/19	49,6/68,0	82,4/82,4	140/160	75/21
1200	18/18	76,7/52,6	98,0/72,4	100/140	61/13
1250	—	—	—	—	58/16

П р и м е ч а н и е. В числителе — содержание δ -феррита в структуре после термической обработки $\leq 3\%$, в знаменателе — 35–40 % (закалка с 1150 °С в воде).

Механические свойства стали 12Х18Н10Т в зависимости от степени холодной деформации (лист, исходная термическая обработка: закалка с 1050 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
0	660	290	58	60	1330/1880	1200/1530	10/-
30	950	900	12	70	1250	1150	3

Примечание. В числителе — температура испытания -20 °С; в знаменателе -253 °С.

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 7350-77, ГОСТ 5582-84, ГОСТ 4986-78, ГОСТ 5945-75, ГОСТ 18143-72, ГОСТ 9940-81 и ГОСТ 9941-81 сталь 12Х18Н10Т и по ГОСТ 7350-77, ГОСТ 5945-75, ГОСТ 18143-72 сталь 12Х18Н9Т должны быть стойки против межкристаллитной коррозии при испытании по методам АМ и АМУ ГОСТ 6032-89 с продолжительностью выдержки в контрольном растворе соответственно 24 и 8 ч. Испытания проводят после провоцирующего нагрева при 650 °С в течение 1 ч.

При непрерывной работе стали устойчивы против окисления на воздухе и в атмосфере продуктов сгорания топлива при температуре до 900 °С и при работе в условиях теплосмен до 800 °С.

Стали 12Х18Н10Т и 12Х18Н9Т обладают достаточно высокой жаростойкостью при 600-800 °С.

Физические свойства. Плотность — $7,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

Модуль упругости — $18 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Удельное электросопротивление — $0,75 \cdot 10^{-6}$ Ом · м при 20 °С.

Свойства сталей при низких, повышенных и высоких температурах

$t_{исп.}$, °С	$E \cdot 10^{-4}$, Н/мм ²	λ , Вт/(м · К)	$\rho \cdot 10^6$, Ом · м	α , Дж/(кг · К)
-253	29,0	2,1	—	—
-183	22,5	9,2	—	—
-70	21,2	—	—	—
100	—	16,3	0,80	470
200	—	17,6	0,87	495
300	16,2	18,9	0,94	516
400	—	20,5	0,99	546
500	—	21,8	1,05	571
600	14,0	23,5	1,09	592
700	12,2	24,7	1,14	613
800	9,1	26,4	—	—
900	—	28,5	—	—

Значение температурного коэффициента линейного расширения

t , °С	0-20	-23-20	-83-20	-103-20	-123-20	-143-20	-163-20	-183-20	-196-20	-223-20	-253-20
$\alpha \cdot 10^{-6}$, К ⁻¹	15,7	15,5	15,0	14,9	14,7	14,3	13,9	13,4	13,0	12,2	11,2

Технологические параметры. Стали 12Х18Н10Т и 12Х18Н9Т обладают хорошей технологичностью при горячей пластической деформации. Однако при горячей обработке необходимо принимать во внимание конкретный химический состав данной плавки, имея в виду содержание δ -феррита. Особые меры предосторожности

следует принимать при деформации литого металла. Во избежание образования неисправимых дефектов — рванин рекомендуется слитки сталей 12Х18Н10Т и 12Х18Н9Т при содержании 20 % δ -феррита и более нагревать не выше 1240–1250 °С, при содержании 16–19 % — не выше 1255 °С и при содержании до 16 % — до 1270 °С. Температурный интервал обработки давлением деформированного металла составляет 1180–850 °С. Скорость нагрева и охлаждения не лимитируется.

В холодном состоянии обе стали допускают высокие степени пластической деформации.

Для снятия напряжений и улучшения стойкости сварных соединений кроме закалки сварные конструкции подвергают стабилизирующему отжигу при 850–900 °С.

Сварка. Стали 12Х18Н10Т и 12Х18Н9Т хорошо свариваются всеми видами ручной и автоматической сварки. Для обычной автоматической сварки под флюсами АН-26, АН-18 и аргоно-дуговой сварки используют проволоку Св-08Х19Н10Б, Св-04Х22Н10БТ, Св-05Х20Н9ФБС и Св-06Х21Н7БТ, а для ручной — электроды типа ЭА-1Ф2 марок ГЛ-2, ЦЛ-2Б2, ЭА-606/11 с проволокой Св-05Х19Н9Ф3С2, Св-08Х19Н9Ф2С2 и Св-05Х19Н9Ф3С2. Проволоку Св-08Х20Н9С2БТЮ рекомендуют для ручной автоматической сварки в защитном газе.

Для ручной электродуговой сварки могут быть использованы также электроды ЦЛ-11 и ЦЛ-9 с материалом стержня электрода соответственно Св-07Х19Н10Б и Св-07Х25Н13. Оба типа электрода обеспечивают стойкость металла шва против межкристаллитной коррозии при контроле по методам АМ и АМУ ГОСТ 6032–89 без провоцирующего нагрева. Сварные соединения, полученные с помощью электродов ЦЛ-11 и ЦЛ-9, имеют соответственно следующие механические свойства (не менее): $\sigma_s = 550$ и 600 Н/мм², $\delta = 22$ и 25 %, $KCU = 80$ и 70 Дж/см².

Применение указанных сварочных материалов обеспечивает высокую коррозионную стойкость к общей и межкристаллитной коррозии в 65%-ной азотной кислоте при 70–80 °С. Однако сварные соединения сталей 12Х18Н10Т и 12Х18Н9Т могут проявлять в этой среде склонность к ножевой коррозии.

Применение		ГОСТ
В виде холоднокатаного листа и ленты повышенной прочности для различных деталей и конструкций, свариваемых точечной сваркой, а также в виде толстого листа и сорта для изделий, подвергаемых термической обработке (закалке) или для работы в средах, не вызывающих межкристаллитную коррозию.	ГОСТ 5632–72	
	ГОСТ 7350–77	
	ГОСТ 5582–72	
	ГОСТ 4986–79	
Используют в основном в виде тонкого листа и ленты в автомобилестроении, торговом машиностроении, для товаров широкого потребления, в архитектуре. Сталь хорошо полируется		ГОСТ 5949–75
Примечание. Стали выплавляют в дуговых электропечах.		

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Fe
≤ 0,08	≤ 0,8	≤ 2,0	17,0–19,0	9,0–11,0	≤ 0,020	≤ 0,035	Ост.

Сортамент стали в соответствии со специализацией заводов качественной металлургии. Нормированные механические свойства при 20 °С

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
			не менее			
Лист:						
толстый	$\delta = 4-50$	ГОСТ 7350-77	510	205	43	—
тонкий	$\delta = 0,8-3,9$	ГОСТ 5582-72	510	205	45	—
Лента	$\delta = 0,05-2,0$	ГОСТ 4986-79	530	—	40(δ_4)	—
Сорт	До 200	ГОСТ 5949-75	470	196	40	55
Труба:						
горячедеформированная		ГОСТ 9940-81	540	—	40	—
холоднодеформированная		ГОСТ 9941-81	560	—	37	—

Примечание. Рекомендуются режим термической обработки: по ГОСТ 5582-72, ГОСТ 4986-79 — закалка с 1050-1080 °С; по ГОСТ 7350-77 — закалка с 1050-1100 °С; по ГОСТ 5949-75 — закалка с 1020-1100 °С. Охлаждение в воде, на воздухе и в масле (ГОСТ 5949-75).

Структура. В закаленном состоянии микроструктура представляет собой аустенит. После провоцирующих нагревов в интервале 450-850 °С в структуре по границам аустенитных зерен наблюдаются выделения карбидов хрома. При этом отмечается склонность стали к межкристаллитной коррозии и некоторое снижение пластических свойств. Она становится стойкой к межкристаллитной коррозии после закалки. Сталь немагнитная.

Механические свойства при повышенных температурах (данные ЦНИИТМАШ)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
20	570	210	60	70	650	290	76	37	44
400	410	110	46	69	700	235	74	35	36
480	380	98	45	69	750	185	73	31	28
540	360	96	4	70	800	150	69	30	28
600	330	82	39	58					

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 7350-77, ГОСТ 5582-72, ГОСТ 4986-79 сталь 08X18H10 не должна быть склонна к межкристаллитной коррозии при испытании по методам АМ и АМУ ГОСТ 6032-89 с продолжительностью выдержки в контрольных растворах соответственно в течение 24 и 8 ч. Испытания проводят на образцах после термической обработки (закалки) ГОСТ 5949-75 или в состоянии поставки-остальные стандарты.

В закаленном состоянии сталь 08X18H10 по коррозионной стойкости аналогична стали 08X18H10T.

Физические свойства. Плотность — $7,90 \cdot 10^3$ кг/м³, температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, К⁻¹ составляет 16,5 при 20-100 °С; 17,2 при 100-200 °С; 17,7 при 200-300 °С; 18,1 при 300-400 °С; 18,3 при 400-500 °С; 18,6 при 500-600 °С; 19,0 при 600-700 °С; 19,5 при 700-800 °С; 19,7 при 800-900 °С; 20,0 при 900-1000 °С.

Электросопротивление $\rho \cdot 10^{-6}$, Ом · м равно 0,8 при 20 °С.

Сварка. Свариваемость без ограничений: ручная дуговая электродами ОЗЛ-8, ОЗЛ-12 на проволоке 02X19H9; контактная и электрошлаковая. Сварные соединения, выполненные любыми методами, кроме контактной сварки, склонны к межкристаллитной коррозии. Поэтому рекомендуется для них последующая термическая обработка—закалка.

3.3. СТАЛЬ 08X18H10T (ЭИ914)

Применение	ГОСТ
Для изготовления сварных изделий, работающих в средах более высокой агрессивности, чем сталь марок 12X18H10T и 12X18H12T.	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 5949-75 ГОСТ 17350-77
Сталь 08X18H10T обладает повышенной сопротивляемостью межкристаллитной коррозии по сравнению с этими сталями в ряде промышленных сред	ГОСТ 5582-75 ГОСТ 9941-81 ГОСТ 4986-79 ГОСТ 9940-81 ГОСТ 11068-81

Примечание. Стали указанных марок выплавляют в дуговых электропечах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %								
C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe	S	P
≤ 0,08	≤ 0,8	≤ 2,0	17,0-19,0	9,0-11,0	5 · C-0,7	Осн.	≤ 0,020	≤ 0,035

Сортамент стали в соответствии со специализацией заводов качественной металлургии. Нормированные механические свойства при 20 °С

Вид продукции	ГОСТ	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
Прутки	ГОСТ 5949-75	480	—	40
Лист:				
толстый	ГОСТ 7350-77	530	215	38
тонкий	ГОСТ 5582-75	520	216	42
Лента:				
мягкая	ГОСТ 4986-79	530	—	40
полунагартованная		750	—	12
Труба:				
горячедеформированная	ГОСТ 9940-81	510	—	40
холоднодеформированная	ГОСТ 9941-81	549	—	37
электросварная	ГОСТ 11068-81			

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: по ГОСТ 5582-72, ГОСТ 4986-79 — закалка с 1050-1080 °С; по ГОСТ 7350-77 — закалка с 1000-1080 °С, охлаждение в воде или на воздухе.

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 7350-77, ГОСТ 5582-72, ГОСТ 4986-79 сталь 08X18H10T не должна быть склонна к межкристаллитной коррозии при испытании по методам АМ и АМУ ГОСТ 6032-89 с продолжительностью выдержки в контрольных растворах соответственно в течение 24 и 8 ч. Испытания проводят на образцах после провоцирующего нагрева при 650 °С в течение 1 ч.

Сталь 08X18H10T по структуре, технологическим свойствам, служебным и физическим характеристикам близка сталям 12X18H10T и 12X18H9T. От указанных марок она отличается несколько лучшей стойкостью сварных соединений против ножевой и межкристаллитной коррозии в условиях химического производства.

Для стали 08X18H10T (подобно сталям 12X18H9T, 12X18H10T и 08X18H10) допускается эксплуатация при температурах от -269 до 600 °С без ограничения давления.

При автоматической сварке под флюсами для стали 08X18H10T обычно используют те же присадочные материалы, что и для сталей 12X18H10T и 12X18H9T.

3.4. СТАЛЬ 08X18H12Б (ЭИ402)

Применение	ГОСТ
Основное назначение — сварное оборудование для службы в контакте с азотной кислотой. Сталь 08X18H12Б обладает более высокой стойкостью против ножевой коррозии по сравнению со сталями типа 12X18H10T и 12X18H9T, стабилизированными титаном. Применяют в качестве коррозионностойкого, жаростойкого и жаропрочного материала	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 5949-75 ГОСТ 7350-77 ГОСТ 5582-75 ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Nb	Fe
≤ 0,08	≤ 0,8	≤ 2,0	17,0-19,0	11,0-13,0	≤ 0,020	≤ 0,035	10 · C-1,1	Осн.

Сортамент

(в соответствии со специализацией заводов качественной металлургии)

Вид продукции	ГОСТ	Вид продукции	ГОСТ
Пруток	ГОСТ 5949-75	Труба:	
Лист:		горячедеформированная	ГОСТ 9940-81
толстый	ГОСТ 7350-77	холодно-и теплodeформированная	ГОСТ 9941-81
тонкий	ГОСТ 5582-75		

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1000-1100 °С с охлаждением в воде или на воздухе.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ	Вид продукции	σ _B , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ГОСТ 5949-75	Пруток	500	180	40
	Лист:			
ГОСТ 7350-77	толстый	510	205	40
ГОСТ 5582-75	тонкий	530	—	40
	Труба:			
ГОСТ 9940-81	горячедеформированная	510	—	38
ГОСТ 994-81	холоднодеформированная	529	—	27

Механические свойства при комнатной и повышенных температурах
(сорт, закалка с 1100 °С в воде)

t _{исп} , °С	σ _B , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %	t _{исп} , °С	σ _B , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %
-70	980	310	53	—	540	410	190	45	65
20	640	290	46	63	650	350	180	44	67

Механические свойства при высоких температурах
(сорт Ø18 мм, закалка с 1100 °С в воде)

$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²	$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²
700	290	170	52	74	—	1000	54	—	42	67	179
800	150	—	16,4	—	256	1200	20	—	54	85	105
870	180	—	25	39	—	1300	10	—	60	88	29

Коррозионная стойкость. Сталь 08X18H12Б должна быть стойкой к межкристаллитной коррозии после испытания по методам АМ и АМУ ГОСТ 6032-89 при продолжительности испытания в контрольном растворе соответственно 24 и 8 ч. Испытание проводят после провоцирующего нагрева при 650 °С в течение 1 ч.

Сталь 08X18H12Б устойчива против ножевой коррозии в сварных соединениях и против окисления на воздухе до 900 °С.

Физические свойства. Плотность — $7,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

Удельное электросопротивление — $0,8 \cdot 10^{-6}$ Ом·м при 20 °С.

Удельная теплоемкость — $0,504 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) при 20 °С.

Технологические параметры. Прокатку слитков стали 08X18H12Б проводят обычно в интервале температур 1200–900 °С. Для плавок с повышенным содержанием ниобия рекомендуется снижать температуру начала деформации до 1150 °С. Температурный интервал горячей обработки деформированных заготовок составляет 1160–900 °С. Сталь имеет хорошую технологичность в закаленном состоянии при холодной пластической деформации.

Сварка. Для ручной электродуговой сварки стали 08X18H12Б обычно используют электроды ЦЛ-11 с проволокой Св-07X19H10Б или ОЗЛ-7 с проволокой Св-01X19H9 или Св-02X19H9. Оба типа электрода обеспечивают высокую стойкость сварного соединения к общей и межкристаллитной коррозии. При работе сварного соединения при повышенных температурах (до 750 °С), например в нефтеперерабатывающей промышленности, применяют электроды Л-39 с проволокой Св-04X19H9 и Св-06X19H9Т. Для работы до 600 °С с одновременным присутствием агрессивных сред применяют электроды Л-40М с проволокой Св-02X19H9 и Св-04X19H9.

3.5. СТАЛИ 03X18H11, 02X18H11

Применение	ГОСТ, ТУ
Сталь 03X18H11 применяют в химическом машиностроении для изготовления сварного емкостного оборудования и трубопроводов, работающих в контакте с азотной кислотой (до 70%-ной концентрации) при температуре кипения, а также в контакте с аммиачной селитрой и адипиновой кислотой. Сварные соединения стали не склонны к ножевой коррозии. Рекомендуемый интервал эксплуатации сварных конструкций от -196 до 300 °С. Давление среды до 5 Н/мм². Сталь 02X18H11 рекомендуется для использования в окислительных средах производства 65%-ной азотной кислоты для наиболее жестких температурных и концентрационных условий (конденсатор-окислитель, подогреватели хвостовых газов)	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 2690-71 ГОСТ 1133-71 ГОСТ 5582-75 ТУ 14-1-490-72 ТУ 14-1-2144-77 ТУ 14-1-3071-80 ТУ 14-1-1180-74 ТУ 14-1-3386-82 ТУ 14-1-3652-83 ТУ 14-1-1160-74 ТУ 14-1-3071-80 ТУ 14-1-2450-78

Примечание. Стали выплавляют либо в открытых электродуговых или вакуумно-индукционных печах с использованием низкоуглеродистых ферросплавов, либо методом газокислородного рафинирования жидкого металла или вакуумного обезуглероживания металла в ковше.

Химический состав стали 03X18H11 по ГОСТ 5632-72, стали 02X18H11 по ТУ 14-1-3071-80

Сталь	Массовая доля компонентов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Fe
03X18H11	≤ 0,03	≤ 0,8	≤ 2,0	17,0-19,0	10,5-12,5	≤ 0,020	≤ 0,035	Осн.
02X18H11	≤ 0,025	≤ 0,20	≤ 2,0	17,0-19,0	10,5-12,5	≤ 0,020	≤ 0,030	Осн.

Примечание. Сталь 02X18H11 имеет более высокую чистоту по углероду, кремнию и фосфору.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ
1	2	3
Пруток:	С.3.	ТУ 14-1-1160-74
горячекатаный:		
круглый		
квадратный		
Пруток		
Лист:		
горячекатаный	С.3.	ТУ 14-1-490-72
	6-20×1200-1500×400-6000	ТУ 14-1-2144-77
	4-11×1000×1200-2000	ТУ 14-1-3071-80
		ТУ 14-1-3071-80*1
холоднокатаный	С.3.	ТУ 14-1-2450-78*1
	0,8-3,6×1000×2000	ГОСТ 5582-75
		ТУ 14-1-1180-74

Сортамент (продолжение)

1	2	3
Лента холоднокатаная	$\delta = 0,20; 0,25; 0,5$	ТУ 14-1-3386-82
	$\delta = 0,4; 0,45; 0,50; 0,55; 0,65; 0,70$	ТУ 14-1-3652-83
Труба бесшовная	$\varnothing 25-89 \times 2-5 \times L$	ТУ 14-3-395-75* ¹
		ТУ 14-3-1401-86* ¹
Заготовка трубная	$\varnothing 90-130$	ТУ 14-1-3193-81* ¹
	$\varnothing 80-180$	ТУ 14-1-2132-77* ¹

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1040–1100 °С в воде.

*¹ Сталь 02Х18Н11; заводы-изготовители: ОАО “Мечел” (ТУ 14-1-3071-80), ОАО “Ашинский метзавод” (ТУ 14-1-2450-78), ОАО “Первоуральский Новотрубный завод” (ТУ 14-3-1401-86).

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
		не менее			
ТУ 14-1-1160-74	Прутки	500	200	40	50
ТУ 14-1-490-72	Лист горячекатаный	500	200	45	—
ТУ 14-1-2144-77		500	200	40	—
ТУ 14-1-3071-80		520	200	45	—
ТУ 14-1-3071-80* ¹		470	176	40	—
ГОСТ 5582-75	Лист холоднокатаный	500	200	40	—
ТУ 14-1-1180-74		520	200	45	—
ТУ 14-1-3386-82	Лента холоднокатаная	600–750	—	30	—
ТУ 14-1-3652-83		540–720	—	37	—
ТУ 14-3-1401-86* ¹	Труба бесшовная	460	186	45	—
ТУ 14-1-3183-81* ¹	Заготовка трубная	451	157	—	—
ТУ 14-1-2132-77* ¹		490	196	45	—

*¹ Сталь 02Х18Н11.

Механические свойства стали 03Х18Н11 при комнатной и повышенных температурах (лист 8 мм, закалка с 1100 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
20	550	280	55	73	300	390	260	36	70
150	440	240	40	69	400	370	190	35	67
200	420	260	40	73	450	370	220	33	67

Механические свойства стали 03Х18Н11 при высоких температурах (лист 8 мм, закалка с 1100 °С в воде, образец продольный)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
500	280	1780	38	56	900	110	80	38	66
700	210	120	36	63	1000	70	25	42	78
800	130	100	37	64					

Влияние температуры закалки на механические свойства сталей

(лист поставки ОАО "Мечел"; данные ГИАП, г. Москва)

Сталь	Содержание элементов, %		Механические свойства при 20 °С после $t_{\text{зак}}$							
	Si	C	$\sigma_B/\sigma_{0,2}$	δ_5	$\sigma_B/\sigma_{0,2}$	δ_5	$\sigma_B/\sigma_{0,2}$	δ_5	$\sigma_B/\sigma_{0,2}$	δ_5
			Н/мм ²	%	Н/мм ²	%	Н/мм ²	%	Н/мм ²	%
			1040 °С		1080 °С		1050 °С		1200 °С	
02X18H11	0,20	0,025	553/228	60	553/220	60	540/205	63	520/200	67
03X18H11	0,78	0,030	590/250	56	580/250	58	555/205	60	545/210	63

Коррозионная стойкость. Стали 03X18H11 и 02X18H11 должны быть стойки против межкристаллитной коррозии после провоцирующего отпуска при 650 °С с выдержкой 1 ч. Испытания проводят по методу ДУ ГОСТ 6032-89, скорость коррозии стали 03X18H11 не должна превышать 0,5 мм/год, стали 02X18H11 — 0,4 мм/год. Сталь 03X18H11 рекомендуется для работы в азотной кислоте концентрации до 70 % при температуре кипения и концентрации 45–80 % — при 80–140 °С, в аммиачной селитре, адипиновой кислоте, а также в средах, содержащих нитрозные газы, при температуре выше 80 °С.

Сталь 02X18H11 рекомендуется (по данным ГИАП, г. Москва) для изготовления теплообменников (конденсатор-окислитель, подогреватель хвостовых газов).

Коррозионное поведение стали 02X18H11

(лист поставки ОАО "Мечел"; данные ГИАП, г. Москва)

Содержание элементов, %		Потери массы, г/м ²	Глубина коррозии в околошовной зоне ^{*1} , мкм	Скорость коррозии (мм/год) за 5 циклов испытания по методу ДУ (65 % HNO ₃) при $t_{\text{зак}}$		
C	Si			1075 °С	1120 °С	1150 °С
0,025	0,14	83	23	0,19	0,2	0,18

^{*1} Сварные образцы испытывали в условиях работы продувочной колонны в производстве слабой азотной кислоты (56–60 % HNO₃, 130 °С, продолжительность 10390 ч).

Технологические параметры. Стали обладают хорошей технологичностью при операциях горячей и холодной пластической деформации. Температурный интервал горячей пластической деформации составляет 1100–900 °С, температура нагрева слитков под прокатку 1240–1260 °С. Для снятия наклепа после горячей или холодной пластической деформации применяют смягчающую термическую обработку — закалку с 1040–1100 °С в воде. Содержание α -фазы в листах не должно превышать 0,5 балла (ГОСТ 11876-66).

Обрабатываемость резанием на уровне стали X18H10T.

Сварка. Стали обладают хорошей свариваемостью. При ручной электродуговой сварке применяют электроды ОЗЛ-22 с проволокой из стали Св-01X18H10. При автоматической сварке под флюсом или в защитных газах используют проволоку Св-01X18H10 или Св-01X19H9. При этом прочность и коррозионная стойкость сварных соединений не ниже прочности и коррозионной стойкости основного металла.

В отличие от сталей типа 08X18H10T сварные соединения стали 03X18H11 и 02X18H11 не подвержены ножевой коррозии в окислительных средах.

Сварные соединения сталей можно подвергать отжигу для снятия напряжений, не опасаясь возникновения склонности к межкристаллитной коррозии.

На основании заключения НИИХИММАШ сталь 02X18H11 и ее сварные соединения обладают комплексом механических, технологических и коррозионных свойств, аналогичным стали марки 03X18H11.

3.6. СТАЛЬ 03Х19АГЗН10

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления сварного оборудования химического производства слабой азотной кислоты и аммиачной селитры, а также криогенного машиностроения. Благодаря повышенным прочностным свойствам и высокой коррозионной стойкости сталь 03Х19АГЗН10 полностью заменяет сталь 03Х18Н11, обеспечивая при этом снижение металлоемкости оборудования на 20 %	ТУ 14-1-1303-75 ТУ 14-1-2261-77 ТУ 14-3-415-75 ТУ 14-1-4646-89 ГОСТ 9941-81

Примечание. Сталь выплавляют либо в открытых электродуговых или вакуумно-индукционных печах с использованием низкоуглеродистых ферросплавов, либо методом газокислородного рафинирования жидкого металла или вакуумного обезуглероживания металла в ковше.

Химический состав, ТУ 14-1-2261-77

Массовая доля компонентов, %								
C	Si	Cr	Ni	Mn	N	S	P	Fe
≤ 0,03	≤ 0,8	18,5-20,5	9,0-11,0	2,0-4,0	0,20-0,30	≤ 0,020	≤ 0,035	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Слиток	4,57 и 6,7 т	ТУ 14-1-4538-88	ОАО "Красный Октябрь"
Заготовка трубная	Ø 90-150 мм; L = 1000-1700 мм	ТУ 14-1-1303-75	ОАО "Мечел"
Труба холоднодеформированная	Ø 14-76×1,5-5×L, мм Ø 25 и 32 мм; L = 10-11 м	ГОСТ 9941-81 ТУ 14-3-415-75	ОАО "Первоуральский новотрубный завод"
Лист горячекатаный	6-20×1600×6500 мм 20-50×1200- 1700×4500-7000 мм	ТУ 14-1-2261-77 ТУ 14-1-4646-89	ОАО "Мечел" ОАО "Коммунарский меткомбинат"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки (по ТУ 14-1-2261-77, ТУ 14-1-4646-89, ТУ 14-3-415-75): заковка с 1070 ± 20 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ _B , Н/мм ²	σ _T , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ТУ 14-1-2261-77	Лист горячекатаный	640	345	45
ТУ 14-1-4646-89	Лист горячекатаный	640	345	45
ТУ 14-3-415-75	Труба холоднодеформированная	640	345	45

Механические свойства при комнатной и повышенных температурах
(закалка с 1070 °С в воде)

$t_{исп.}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{в}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{т}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$t_{исп.}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{в}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{т}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
20	715	360	49	74	350	525	190	45	71
100	640	270	47	73	450	480	180	45	73
250	540	200	46	72	550	435	160	40	72

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-2261-77, ТУ 14-1-4646-89, ТУ 14-3-415-75 сталь должна быть стойка против межкристаллитной коррозии по методу ДУ ГОСТ 6032-89. Сталь 03Х19АГЗН10 обладает повышенной стойкостью против коррозионного растрескивания в средах, содержащих ионы хлора. Благодаря повышенным прочностным свойствам допускаемые напряжения в оборудовании, изготовленном из стали 03Х19АГЗН10, в 1,5 раза выше, чем для сталей типа 03Х18Н11 и 08Х18Н10Т.

Технологические параметры. Сталь 03Х19АГЗН10 имеет высокую пластичность при горячей и холодной деформации. Горячая деформация осуществляется в интервале 1150-900 °С.

Термическая обработка металлопродукции состоит в нагреве до 1070 ± 20 °С и охлаждении в воде. Аналогичную термическую обработку применяют для снятия наклепа после горячей и холодной пластической деформации.

В закаленном состоянии сталь имеет структуру с небольшим количеством α -фазы (не более 0,5 балла). Она не претерпевает структурных превращений при нагреве до температур горячей пластической деформации и при охлаждении до -196 °С. Длительная эксплуатация стали при температурах выше 450 °С не рекомендуется, так как в интервале температур 450-650 °С на границах зерен аустенита выделяются карбиды хрома типа $M_{23}C_6$, что способствует развитию межкристаллитной коррозии.

Сварка. Сталь 03Х19АГЗН10 сваривается ручной аргоно-дуговой сваркой с использованием присадочной проволоки марки Св-01Х18Н10 (ТУ 14-1-973-74). Для обеспечения равнопрочности сварного соединения и основного металла следует использовать проволоку марки Св-03Х21Н10АГ5 (ТУ 14-1-4176-86).

Ориентировочный режим сварки: сила тока 130-150 А; напряжение дуги 18-20 В; количество проходов определяется толщиной используемого проката или труб.

Сварные соединения стали 03Х19АГЗН10 не подвержены межкристаллитной и ножевой коррозии при эксплуатации в окислительных средах.

Глава 4. ХРОМОМАНГАНЦЕВЫЕ И ХРОМОМАНГАНЦЕВОНИКЕЛЕВЫЕ СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Получить нержавеющую сталь аустенитного класса можно при частичной или полной замене никеля марганцем, что удешевляет сталь за счет существенной разницы в ценах на никель и марганец [1, 2].

В связи с тем, что согласно диаграмме состояния Fe-Cr-Mn аустенитная область составов соответствует содержанию хрома, не превышающему 14 %, для получения стабильной аустенитной структуры вводят азот и (или) небольшое количество никеля [3]. В этом случае содержание хрома можно повысить до 22 %.

Марганец является элементом, активно повышающим растворимость азота при кристаллизации, что позволяет вводить азот при нормальном атмосферном давлении в количестве до 0,5–0,6 % без нарушения плотности слитка. Благодаря повышенному содержанию азота, который можно вводить в хромоманганцевые стали, они приобрели самостоятельное значение в качестве высокопрочных коррозионностойких сталей. Ввиду того, что мар-

ганец в отличие от никеля повышает растворимость углерода в твердом растворе, увеличение содержания марганца приводит к существенному повышению вязкости после отпуска (рис. 1).

Марганец повышает стабильность аустенита относительно мартенситного превращения при деформации, что позволяет получить на холоднокатаном металле высокий уровень пластичности (> 60 %) и сохранить немагнитность.

При проведении операций холодного формоизменения (штамповка, вытяжка) следует учитывать более высокую способность к наклепу хромоманганцевого аустенита по сравнению с хромоникелевым.

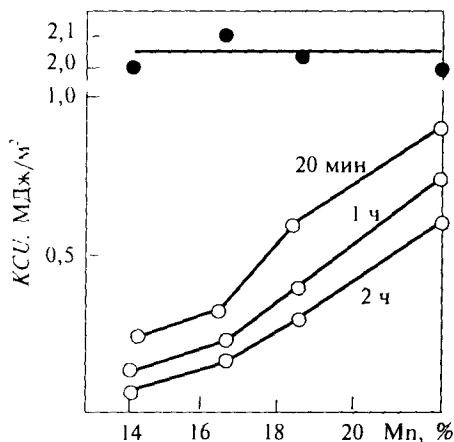


Рис. 1. Зависимость ударной вязкости сталей X13AG(14-22) при -196°C [4, 5]:

● — после закалки; ○ — после закалки и отпуска при 700°C (цифры у кривых — длительность отпуска)

Библиографический список

1. Сорокина Н. А., Федорова В. И., Эгидес Я. Б. и др. Нержавеющая немагнитная безникелевая сталь 12Х23Г18Д // Бюлл. науч.-техн. информ. черной металлургии. 1978. № 17 (829). С. 43–45.
2. Фельдгаудлер Э. Г., Сорокина Н. А., Свистунова Т. В., Левин Ф. Л. // Проблемы современной металлургии: Сб. трудов ЦНИИЧМ. — М.: Металлургия, 1983. С. 160–165.
3. Ульянин Е. А., Сорокина Н. А. Стали и сплавы для криогенной техники: Справочник. — М.: Металлургия, 1984. — 208 с.
4. Сорокина Н. А., Шлямнев А. П. // МИТОМ, 1999. № 6. С. 27–31.
5. Сорокина Н. А., Федорова В. И., Мовшович В. С., Лола В. Н. // Качественные стали и сплавы: Сб. трудов ЦНИИЧМ. — М.: Металлургия, 1977. № 2. С. 61–66.

4.1. СТАЛЬ 12Х13АГ14Д

Применение

ТУ

Для изготовления торгового и пищевого оборудования, столовых приборов, посуды, холодильников, баков стиральных машин, раковин, медоборудования, емкостей для приготовления пищи, изготавливаемых методом холодной штамповки и глубокой вытяжки

Примечание. Сталь выплавляют в открытых дуговых электропечах.

Химический состав, ТУ УДП 14-226-141-98

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Cr	Mn	Ni	Cu	N	Ca	Al	S	P	Fe
0,07–0,13	0,3–0,8	12,5–14,0	13,5–15,0	0,2–3,0	0,1–0,6	0,1–0,3	0,01–0,1	0,01–0,15	≤ 0,03	≤ 0,045	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Лист:			
горячекатаный	3,0–4,0×1000×2000–5000	ТУ УДП 14- ОАО “Запорож-226-141-98 сталь”	
	4,1–6,0×1000–1250×2000–5000		
холоднокатаный	0,8–2,0×1000×2000–3000		
	2,1–5,0×1000–1250×2000–3000		

Нормированные механические свойства при 20 °С

(термическая обработка: закалка с 950–1100 °С в воде)

ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее	
ТУ УДП 14-226-141-92	Лист:		
	горячекатаный	740	45
	холоднокатаный	740	45

Механические свойства при высоких температурах
(пруток Ø16 мм, закалка с 1000 °С в воде)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/см}^2$	$n, об$
700	240	120	26	28	65	—
800	192	90	38	40	70	—
900	105	72	52	50	100	10,4
1000	58	40	60	56	110	12
1100	42	28	81	59	125	14
1150	28	19	72	56	—	15
1200	20	10	66	57	190	18
1250	—	—	—	—	—	17

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(пруток Ø16 мм, закалка с 1000 °С в воде)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
-196	1250	570	20	34	300	500	160	50	65
20	750	320	70	68	400	460	140	50	62
100	750	210	72	70	500	410	115	46	57
200	510	180	54	72					

Механические свойства и магнитная проницаемость (μ) в зависимости от степени холодной пластической деформации (лист 3 мм; закалка с 1000 °С в воде)

Степень обжатия, %	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\mu, (\text{мкТл} \cdot \text{м})/\text{А}$	Глубина вытяжки по Эриксену, мм
0	780	380	65	1,25	14,0
10	800	560	40	1,25	11,0
20	980	700	32	1,25	8
30	1020	850	19	1,40	6
40	1200	1020	16	1,60	—
60	1480	1400	8	1,80	—

Коррозионная стойкость. По ТУ УДП 14-226-141-98 контроль на межкристаллитную коррозию не предусмотрен. Сталь характеризуется устойчивостью против коррозии на уровне 1-го балла в средах слабой и средней агрессивности — в контакте с пищевыми продуктами, моющими средствами, слабыми растворами органических кислот, а также в атмосферных условиях (исключая морские), при влажности 98–100 % и др. Стойкость против межкристаллитной коррозии обеспечивается в закаленном состоянии.

Физические свойства. Плотность — $7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Модуль упругости — $20,5 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 20 °С; $17,9 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 400 °С; $15,6 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 600 °С.

Значения температурного коэффициента линейного расширения

$t, ^\circ\text{C}$	20–100	20–400	20–600	20–800
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	13,8	19,4	21,8	22,5

Технологические параметры. Температурный интервал горячей обработки давлением 1200–850 °С. Сталь характеризуется очень хорошей полируемостью до зеркальной поверхности; имеет хорошую технологичность при холодной деформации (гибке, штамповке, глубокой вытяжке, высадке). Термическая обработка — закал-

ка с 950–1100 °С с охлаждением в воде или на воздухе (в том числе и для снятия наклепа после горячей и холодной обработки давлением).

Сварка. Сталь сваривается всеми видами сварки. В качестве присадочного материала применяют проволоку из стали 08Х18Н10 и 08Х18Н10Т и электроды ЦЛ11. Дополнительная термическая обработка не требуется (кроме случаев необходимости обеспечения стойкости против межкристаллитной коррозии).

4.2. СТАЛЬ 10Х14Н14Н4Т (ЭИ711)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления разнообразного сварного оборудования, работающего в средах химических производств слабой агрессивности, криогенной техники до температуры (–253 °С).	ГОСТ 5632–72 ГОСТ 5949–75 ГОСТ 7350–77
Для изготовления деталей печной арматуры с рабочей температурой до 700 °С (экраны, листовые детали печных роликов, муфелей), теплообменников.	ГОСТ 5582–75 ТУ 14-1-170–72
Экономнолегированный заменитель стали Х18Н10	
Примечание. Сталь выплавляют в открытых электропечах.	

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, %								
C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P	Fe
≤ 0.10	≤ 0.8	13.0–15.0	13.0–15.0	2.8–4.5	5 · (C–0.02)	–0.6	≤ 0.020	≤ 0.035

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный			
круглый	Ø5–200	ГОСТ 5949–75	ОАО “Электросталь”
квадратный	□5–200		ОАО “Красный Октябрь”
кованый			
круглый	Ø40–200		
квадратный	□40–200		
Полоса:			
горячекатаная	δ = 3–80	ГОСТ 5949–75	ОАО “Электросталь”
кованая	δ = 3–80		ОАО “Красный Октябрь”
Лист:			
горячекатаный	δ = 4,0–5,0	ГОСТ 7350–77	ОАО “Мечел”
	δ = 1,5–3,9	ГОСТ 5582–75	ОАО “Серп и Молот”
холоднокатаный	δ = 0,7–3,9	ГОСТ 5582–75	ОАО “Запорожсталь”
Труба горячекатаная и холоднокатаная	С. 3.	ТУ14-3-59–72	ОАО “Первоуральский Новотрубный завод”
Заготовка трубная:			
горячекатаная	Ø до 200	ТУ14-1-170–72	ОАО “Златоустовский метзавод”
кованая	Ø до 200		

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: по ГОСТ 7350–77, ГОСТ 5582–72 и ТУ 14-1-170–72 — закалка с 1050–1080 °С в воде или на воздухе; по ГОСТ 5949–77 — закалка с 1000–1080 °С, охлаждение на воздухе, в масле или в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
		не менее			
ГОСТ 5949-75	Пруток и полоса	640	245	35	50
ГОСТ 7350-77	Лист толстый	590	245	40	—
ГОСТ 5582-75	Лист тонкий	690	295	35	—
ТУ14-3-59-72	Труба горячекатаная и холоднокатаная	600	—	35	—

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(лист 12 мм, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
-253	1400	450	31	—	260
-196	1300	450	40	45	320
-70	940	300	52	68	320
20	730	270	62	67	320
400	460	130	53	67	—
500	390	110	38	63	—
600	270	90	39	62	—
700	220	80	48	63	—

Механические свойства при высоких температурах
(пруток, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
700	250	108	38	60	380
800	160	98	44	62	330
900	100	88	66	67	330
1000	50	—	64	85	270
1100	20	—	49	74	190
1150	15	—	43	69	180
1200	15	—	68	60	50

Механические свойства в зависимости от степени холодной деформации при 20 °С
(лист 2 мм, закалка с 1050 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
0	730	270	52	40	1200	1170	10
20	1050	900	15	60	1500	—	2

Жаростойкость. Скорость окисления в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп}$, °С	$v_{ок}$, мм/год	$t_{исп}$, °С	$v_{ок}$, мм/год
700	0,1	800	0,35

Пределы длительной прочности и ползучести (закалка с 1050 °С в воде)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{1000}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1 \cdot 10^{-3}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1 \cdot 10^{-4}}, \text{Н/мм}^2$	$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{1000}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1 \cdot 10^{-3}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1 \cdot 10^{-4}}, \text{Н/мм}^2$
600	177	157	98	800	39	20	—
700	88	49	29	900	17	—	—

Коррозионная стойкость. При поставке стали 10X14Г14Н4Т по ГОСТ 5582–84, ГОСТ 7350–77 и ГОСТ 5949–75 контроль стойкости против межкристаллитной коррозии рекомендуется производить по методам АМ и АМУ ГОСТ 6032–89 с продолжительностью испытаний в контрольном растворе 15 и 8 ч соответственно. Испытания проводят после провоцирующего нагрева при 650 °С в течение 1 ч с охлаждением на воздухе.

Сталь 10X14Г14Н4Т имеет 1-й балл коррозионной стойкости в ряде кислот невысоких концентраций и температур (5–10%-ная азотная кислота до 80 °С; 58- и 65%-ная азотная кислота при 20 °С; 10%-ная уксусная кислота до 80 °С; 10%-ная фосфорная кислота до 80 °С), в моющих средствах, в водопроводной воде при 85 °С и в других средах.

Применяют для изготовления корпусов и других деталей крупногабаритного сварного оборудования для получения сжиженных газов и других объектов криогенной техники (до –253 °С), а также рекомендуется для кислородопроводов особо чистого кислорода высокого давления на металлургических заводах.

Физические свойства. Плотность — $7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Магнитное насыщение $1,04 \cdot 10^{-4} \text{ (Тл} \cdot \text{м)}^2/\text{А}$ при 20 °С в поле 500 Э.

Модуль упругости (E), коэффициент теплопроводности (λ), температурный коэффициент линейного расширения (α) в зависимости от температуры

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$E \cdot 10^{-4}, \text{Н/мм}^2$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6, \text{К}^{-1}$
–253	22,5	3,36	–253–20	8,8
–196	22,0	8,4	–196–20	10,0
–100	21,0	12,6	–100–20	13,0
–50	—	—	–50–20	14,3
20	21,3	18,9	—	—
100	20,7	18,0	20–100	16,0
200	19,7	19,3	20–200	16,3
300	18,8	16,8	20–300	17,0
400	17,4	21,4	20–400	18,0
500	16,5	22,6	20–500	18,7
600	15,6	23,9	20–600	19,3
700	14,7	25,6	20–700	19,4
800	14,0	42,8	20–800	19,6

Технологические параметры. Сталь хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях. Оптимальный температурный интервал горячей пластической деформации при ковке, штамповке и прокатке 1150–850 °С.

Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки. При ручной электродуговой сварке рекомендуется применять электроды на базе проволоки типа Х18Н9.

4.3. СТАЛЬ 03Х20Н16АГ6

Применение	ТУ
В криогенном машиностроении для изготовления сварных крупногабаритных емкостей и резервуаров, находящихся длительное время под давлением при периодической смене температур от 20 °С до -269 °С	ТУ 14-1-3291-81 ТУ 14-1-2922-80
Примечание. Сталь выплавляют в электродуговых печах.	

Химический состав, ТУ 14-1-3291-81

Массовая доля компонентов, %								
C	Si	Cr	Mn	Ni	N	S	P	Fe
≤ 0,025	≤ 0,6	20-25	6,0-7,5	15,0-16,5	0,15-0,28	≤ 0,02	≤ 0,025	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Пруток горячекатаный	Ø 18-180	ТУ 14-1-2922-80	ОАО "Мечел"
Лист горячекатаный	8-22×1400-1600×4000-6000	ТУ 14-1-3291-81	ОАО "Мечел"

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	$KCV-196$, Дж/см ²
ТУ 14-1-2922-80	Пруток	650-670	350-370	>30	>120
ТУ 14-1-3291-81	Лист горячекатаный	>670	>370	—	—

Механические свойства при низких (криогенных) температурах (пруток Ø 16 мм, закалка с 1000 °С в воде)

$t_{исп.}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²	KCV , Дж/см ²
-196	1550	900	48	44	120	—
-253	1930	1360	31	27	100	80
-269	1500	1000	25	21	80	—

Механические свойства при высоких температурах (лист 16 мм, закалка с 1050 °С, в воде)

$t_{исп.}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	n , об
900	162	110	18,4	18,6	—
950	120	73	19	17,9	—
1000	88	50	32,9	20,7	6-8,8
1050	63	38	38,6	29,8	6,5-7,5
1100	44	26	40	39,8	8,1-8,2
1150	27	23	43,3	36	13,2-12,5
1200	27	23	41,8	36,6	14,5-20,0
1250	14	12	64,4	50,6	18

Механические свойства в зависимости от степени холодной деформации

(лист 3 мм, закалка с 1000 °С, в воде)

Степень обжатия, %	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Степень обжатия, %	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
0	675	370	52	40	1060	950	8
10	780	590	38	60	1200	1160	5
20	880	820	18				

Коррозионная стойкость. В закаленном состоянии сталь имеет высокую коррозионную стойкость в промышленной атмосфере, а также в слабо- и среднеокислительных средах. В 15–55%-ной азотной кислоте ее стойкость близка к стойкости стали типа Х18Н10.

Физические свойства.Плотность — $7,8 \cdot 10^3$ кг/м³.Модуль упругости — $19,6 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Теплопроводность — 17,5 Вт/(м · К) при 100 °С.

Удельная теплоемкость — 481 Дж/(кг · К) при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, К⁻¹ — 16,10.

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации 1200–900 °С. Сталь хорошо штампуются в горячем и холодном состоянии, но требует больших усилий при холодной штамповке, чем сталь 12Х18Н10Т, ввиду более высокой склонности к деформационному упрочнению. Термическая обработка — закалка с 1050–1100 °С в воде или на воздухе. Сталь сваривается ручной, электродуговой, автоматической аргоно-дуговой и автоматической под флюсом. Термической обработки сварных соединений не требуется.

**Свойства сварных соединений, выполненных ручной
аргоно-дуговой сваркой (лист толщиной 16 мм)**

$t_{исп}$, °С	σ_b , Н/мм ²	KCU, Дж/см ²	Угол загиба, град.
20	680	100	180
–253	1610	40–90	—

4.4. СТАЛЬ 07Х2Н17АН5 (ЭП222)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления сварных и несварных, паяных конструкций, работающих при температурах от 400 до –253 °С (шпиндели, цепи, подвески в кислородных установках, крепеж, фланцы, гонкостенные сварные и паяные конструкции, изготовленные с использованием горячей и холодной пластической деформации, резьбовые соединения, обладающие повышенной свинчиваемостью)	ГОСТ 5632–72 ГОСТ 5949–75 ТУ 14-1-952–74 ТУ 14-1-1141–74 ТУ 14-1-2476–78 ТУ 14-1-2455–78 ТУ 14-1-3041–80

Примечание. Сталь выплавляют в электродуговых печах, а также используют ЭСП и ВДП.

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, %								
C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	N	Fe
≤ 0,07	≤ 0,7	6,0–7,5	19,5–21,0	5,0–6,0	≤ 0,020	≤ 0,030	0,15–0,25	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный:			
круглый,	$\varnothing \square 8-180$	ГОСТ 5 949-75	ОАО "Электросталь"
квадратный	$\varnothing \square 10-180$	ТУ 14-1-952-74(Ш)	ОАО "Златоустовский метзавод"
калиброванный	$\delta = 12-48$	ТУ 14-1-1141-74	
шестигранный	(диаметр вписанного круга)	ТУ 14-1-3141-80	
Лист тонкий			
холоднокатаный	0,7-5,0×1000×2000	ТУ 14-1-2476-78	ОАО "Ашинский метзавод"
горячекатаный	3-6,0×1000×2000	(Изм. ВД)	
Лист толстый	5,0-15,0×710-1000× до 2000	ТУ 14-1-2476-78 (Изм. ВД)	ОАО "Ашинский метзавод"

Примечание. Термическая обработка: закалка с 1000-1050 °С в воде или на воздухе. Структура стали состоит из аустенита с 5-15 % δ -феррита.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
		не менее				
ГОСТ 5949-75	Прутки	700	370	40	50	130
ТУ 14-1-952-74(Ш)		670	340	40	50	130
ТУ 14-1-1141-74		700	370	40	50	130
ТУ 14-1-2455-78	Лист толстый	700	400	25	—	—
ТУ 14-1-2476-78	Лист тонкий	750	400	25	—	—
(Ш, ВД)						
ТУ 14-1-3041-80	Калиброванный шестигранный	670	340	40	50	—

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(лист 12 мм, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
-253	1530	1240	12	10	120
-196	1300	1000	48	34	140
-70	880	635	52	54	150
20	760	420	60	60	300
100	700	300	73	50	330
200	680	300	50	73	330
300	650	250	50	75	330
400	600	240	50	73	330
500	530	220	47	72	300
600	450	180	45	63	300

Механические свойства при высоких температурах

(лист 12 мм, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/см}^2$	$n, \text{об}$
800	230	150	45	60	250	—
900	150	100	58	73	210	8
1000	50	15	72	73	180	11
1050	40	15	74	73	155	12
1100	30	—	75	72	150	14
1150	10	—	55	70	125	16
1200	10	—	50	62	125	15

Механические свойства в зависимости от степени холодной деформации при 20 °С

(лист 3 мм, закалка перед деформацией с 1050 °С в воде)

Степень обжатия, %	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	Степень обжатия, %	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
0	766	463	59,1	40	1250	1180	12,1
10	830	675	42,2	60	1365	1299	6,9
20	1104	1109	19,8				

Механические свойства в нагартованном состоянии (лист 2 мм, степень обжатия 20 %)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	1050	990	26
-196	1860	1500	47
-253	2000	1760	9

Коррозионная стойкость. Сталь 07Х21Г7АН5 (ЭП222) не склонна к межкристаллитной коррозии в закаленном состоянии по методам АМ и АМУ, ГОСТ 6032-89. Коррозионностойка в промышленной и морской атмосфере, а также в пароводяном конденсате.

Физические свойства.Плотность — $7,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.Теплопроводность — $19,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ при 20 °С.Удельное электросопротивление — $0,71 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при 20 °С.Удельная теплоемкость — $0,430 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ при 20 °С.

Модуль нормальной упругости

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$E \cdot 10^{-4}, \text{Н/мм}^2$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$E \cdot 10^{-4}, \text{Н/мм}^2$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$E \cdot 10^{-4}, \text{Н/мм}^2$
-253	22,3	20	20,2	700	15,2
-196	21,1	400	17,8		

Значение температурного коэффициента линейного расширения

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	-253-20	-196-20	-50-20	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	9,3	11,5	15,1	15,7	16,0	16,8	17,3	18,0	18,4	18,5

Технологические параметры. Сталь подвергается ковке, горячей и холодной штамповке. Температурный интервал горячей деформации 1150-900 °С. Обработка

давлением в холодном состоянии производится в несколько переходов. При охлаждении от 20 до -253°C обладает структурной стабильностью.

Сварка. Сталь обладает хорошей технологичностью при аргоно-дуговой (с присадкой и без), автоматической сварке под флюсом АН-26, ручной электродуговой сварке. В качестве присадочного материала применяют сварочную проволоку марок Св-10Х16Н25АМ6 и Св-08Х15Н23В7Г7М2. Удовлетворительно сваривается с нержавеющей сталями 12Х18Н10Т, 12Х21Н5Т, 07Х16Н6 и жаропрочными сплавами ХН77ТЮ, ХН60ВТ и др. При сварке с нержавеющей сталями рекомендуется сварочная проволока Св-04Х19Н11М3, а с жаропрочными никелевыми сплавами — Св06Х15Н60М15. Сварные соединения не требуют обязательной термической обработки.

Механические свойства сварных соединений
(без термической обработки после сварки)

Вид сварки, толщина металла	$t_{\text{исп}}, ^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$KCU, \text{Дж/см}^2$	Угол загиба, град
Аргоно-дуговая вольфрамовым электродом с присадкой проволоки Св-10Х16Н25АМ6.	300	510	240	—
	20	700	230	—
	-196	1410	130	—
Лист 5 мм	-253	1510	130	—
Аргоно-дуговая вольфрамовым электродом без присадки. Лист 2 мм	300	650	—	—
	20	860	110	180
	-196	1530	100	180
	-253	1680	90	46

П р и м е ч а н и е. Сталь технологична при пайке. По сравнению со сталью 12Х18Н10Т обладает значительно меньшей склонностью к образованию горячих трещин при пайке в напряженном состоянии припоями, содержащими в больших количествах медь, цинк, олово, а также при пайке медно-серебряными припоями.

Глава 5. ХРОМОНИКЕЛЕВЫЕ И ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВЫЕ СТАЛИ АУСТЕНИТНО-ФЕРРИТНОГО КЛАССА

В отечественных (ГОСТ 5632–72) [1] и зарубежных [4] стандартах аустенитно-ферритные стали объединены в самостоятельный структурный класс в связи с их специфическими свойствами.

Аустенитно-ферритные стали в отличие от аустенитных сталей характеризуются: более высокой прочностью (в 1,5–2 раза); более высокой стойкостью против межкристаллитной коррозии; более высокой стойкостью против коррозионного растрескивания в хлоридных и щелочных средах [2–4, 8].

Существуют три поколения аустенитно-ферритных сталей: к первому поколению относятся стали, содержащие $\leq 0,12\%$ С и стабилизированные титаном; ко второму поколению — стали, содержащие $\leq 0,03\%$ С без стабилизирующих элементов; к третьему поколению — стали с $< 0,03\%$ С — нестабилизированные стали, дополнительно легированные азотом (до 0,35 %).

К первому поколению относятся стали 08Х22Н6 (ЭП53) и 08Х21Н6М2Т (ЭП54), ко второму — низкоуглеродистые стали типа 03Х23Н6 (ЗИ68) и 03Х22Н6М2 (ЗИ67) [2, 3, 5]. Стали 08Х22Н6Т и 08Х21Н6М2Т, как правило, не уступают по коррозионной стойкости сталям аустенитного класса соответственно 12Х18Н10Т и 10Х17Н13М2Т, практически во всех средах.

Коррозионная стойкость стали 03Х22Н6 в азотной кислоте концентраций $\leq 70\%$ аналогична стойкости стали 03Х18Н11 [2]. Значительное преимущество сталь 03Х23Н6 по сравнению со сталью 08Х18Н10Т имеет в азотно-фторидных растворах [2]. Сварные соединения стали 03Х23Н6 также, как и стали 03Х18Н11, не склонны к ножевой коррозии в азотно-кислых средах. Весьма существенным достоинством аустенитно-ферритных сталей является их высокая стойкость против общей коррозии в щелочных средах [6].

Наилучшим комплексом свойств обладают низкоуглеродистые азотсодержащие стали третьего поколения. Наиболее перспективна в данной группе сталь 03Х24Н6АМЗ (ЗИ130) [7].

После закалки с 1070–1120 °С в стали формируется двухфазная аустенитно-ферритная структура с соотношением аустенита и феррита в пределах 40–60 %, которое обеспечивает высокий комплекс механических свойств: $\sigma_{\text{н}} = 755\text{--}815\text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{0,2} = 598\text{--}685\text{ Н/мм}^2$, $\delta_5 = 25\text{--}30\%$. Наряду с этим сталь имеет весьма высокую коррозионную стойкость в ряде агрессивных сред, а также улучшенную (благодаря микролегированию) горячую деформируемость. В растворах серной кислоты сталь 03Х24Н6АМЗ имеет значительно более высокую коррозионную стойкость, чем сталь 10Х17Н13М2Т (ЭИ448), содержащая 13 % Ni, и не уступает сплаву 06ХН28МДТ (ЭИ943), содержащему 28 % Ni (рис. 1). В 10–35%-ной H_2SO_4 при температуре до 90 °С ско-

рость коррозии стали 03X24H6AM3 не превышает 0,1 мм/год. Сварные соединения стали стойки против межкристаллитной коррозии.

Хорошую сопротивляемость стали 03X24H6AM3 против питтинга в хлоридных средах обеспечивает высокий питтинговый индекс ($PI = \% Cr + 3,3 \% Mo + 16 \% N$), составляющий 33–39 %. В растворе 6%-ного $FeCl_3$ скорость коррозии составляет менее 0,1 г/(м² · ч) и близка к скорости коррозии такого высоконикелевого сплава, как, например, сплав ХН30МДБ.

Сталь устойчива против сероводородного коррозионного растрескивания при нагрузке $0,9\sigma_{0,2}$ и базе испытаний 720 ч в стандартном растворе 5%-ного NaCl, насыщенном сероводородом и подкисленном уксусной кислотой до pH 2,9–3,0.

Сталь 03X24H6AM3 (ЗИ130) является высокоэффективной технологичной коррозионностойкой сталью, предназначенной для работы в сернокислых, фосфорнокислых, азотнокислых средах, а также средах, содержащих хлориды и сероводород. Кроме того, ее целесообразно применять вследствие повышенной прочности при эксплуатации в условиях коррозионно-эрозионного изнашивания. Из этой стали изготавливают оборудование для производства экстракционной фосфорной кислоты, комплексных минеральных удобрений, производства карбамида, капролактама, а также опытное оборудование для сред, содержащих сероводород.

Увеличение производства аустенитно-ферритных сталей третьего поколения относится к 70–80 гг. Сегодня ведущими металлургическими фирмами разных стран предлагается четыре основные группы низкоуглеродистых азотсодержащих сталей. В порядке увеличения сопротивления коррозии и уровня прочностных свойств стали располагаются в следующей последовательности [4]:

1. Fe-23Cr-4Ni-0,1N (марки SAF 2304, UR 35N и др.);
2. Fe-22Cr-5,5Ni-3Mo-0,15N (марки SAF 2205, A903, UR45N, Falc223 и др.);
3. Fe-25Cr-5Ni -2,5Mo-0,17N-Cu (марки 7MoPLUS, Ferralium 255, DP-3 и др.);

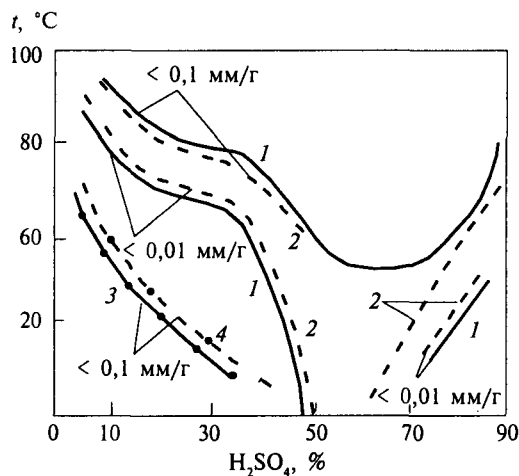


Рис. 1. Коррозионная стойкость сталей в зависимости от концентрации серной кислоты и температуры испытаний [7]:

- 1 — 06ХН28МДТ (ЭИ-943);
- 2 — 03Х24Н6АМЗ (ЗИ-130);
- 3 — 08Х21Н6М2Т (ЭП-54);
- 4 — 10Х17Н13М2Т (ЭИ-448)

4. Fe-25Cr-7Ni-3,5Mo-0,25N-Cu-W (марки Falc 100, SAF 2507, UR 52N+).

Уровень механических свойств сталей 1-й группы равен: $\sigma_b \geq 600 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{0,2} \geq 400 \text{ Н/мм}^2$ при $\delta \geq 25 \%$. Питтинговый индекс PI равен 25. Стали 4-й группы ("супер") имеют: $\sigma_b \geq 800 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{0,2} \geq 550 \text{ Н/мм}^2$ при $\delta \geq 15 \%$; PI = 40. Отечественная сталь 03X24H6AM3 по уровню механических и коррозионных свойств соответствует лучшим зарубежным сталям этой группы.

Современные аустенитно-ферритные стали благодаря особым коррозионным и механическим свойствам являются особо перспективными для использования во многих областях химической, нефтехимической и нефтегазодобывающей промышленности, в морском строительстве и при опреснении морской воды.

Библиографический список

1. ГОСТ 5632-72. "Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. — М.: Стандарты. 1972.
2. Ульянов Е. А. Коррозионностойкие стали и сплавы: Справочник. — М.: Металлургия, 1991. — 255 с.
3. Структура и коррозия металлов и сплавов: Справочник / Под ред. Е. А. Ульянина. — М.: Металлургия, 1989. — 397 с.
4. ASM Specialty International Society: Handbook. Stainless Steel. The materials / V. R. Davis, 1994. — 577 p.
5. Бабаков А. А., Приданцев М. В. Коррозионностойкие стали и сплавы. — М.: Металлургия, 1971. — 318 с.
6. Коррозионная стойкость аустенитно-ферритных сталей с пониженным никелем и аустенитных сталей: Справочник / Под ред. О. П. Бондаренко, М. М. Кристаль. — М.: НИИхиммаш, 1992. — 334 с.
7. Фельдгандлер Э. Г., Шлямнев А. П. // МИТОМ. 1995. № 9. С. 10-15.
8. Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов: Справочник. — М.: Металлургия, 1990. — 320 с.

СТАЛИ И СПЛАВЫ (ГОСТ 5632-72)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для службы преимущественно в окислительных средах, для изготовления сварной химической аппаратуры в том числе емкостей, испарителей, теплообменников, трубопроводов и арматуры. Температура эксплуатации сварного оборудования от -70 до 300 °С, давление не ограничено. Применяется взамен сталей типа X18H9T и X18H10T	ГОСТ 5632-72
	ГОСТ 5949-75
	ГОСТ 7350-77
	ГОСТ 5582-75
	ГОСТ 9940-81
	ГОСТ 9941-81
	ТУ 14-1-894-74 ТУ 14-1-52-71

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %								
C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Ti	Fe
≤ 0,08	≤ 0,8	≤ 0,8	21,0–23,0	5,3–6,3	≤ 0,025	≤ 0,035	5 · C–0,65	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ
Пруток	С.З.	ГОСТ 5949-75
Лист:		
горячекатаный	С.З.	ГОСТ 7350-77
	$\delta = 5-20$	ТУ 14-1-894-74
	$\delta = 20-40$	ТУ 14-1-52-71
холоднокатаный	С.З.	ГОСТ 5582-75
Труба:		
горячедеформированная	С.З.	ГОСТ 9940-81
холоднодеформированная	С.З.	ГОСТ 9941-81

П р и м е ч а н и е. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1020–1050 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
		не менее				
ГОСТ 5949-75	Пруток	600	350	20	45	—
ГОСТ 7350-77	Лист толстый	600	350	18	—	60
ГОСТ 5582-75	Лист тонкий	650	—	20	—	—
ГОСТ 9940-81	Труба горячедеформированная	600	—	20	—	—
ГОСТ 9941-81	Труба холоднодеформированная	600	—	20	—	—

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	KCU , Дж/см ²	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	KCU , Дж/см ²
–196	1450	710	30	150	200	510	300	33	300
–100	980	510	30	200	300	500	300	30	300
0	750	430	37	240	400	500	300	30	300
20	680	410	40	250	500	450	250	30	300
100	550	350	38	250	600	300	180	35	—

Механические свойства при высоких температурах (продольные образцы)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	n , об	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	n , об
800	120	62	—	1100	20	130	10
900	60	80	—	1200	10	135	20
1000	30	123	8				

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 5582-75, ГОСТ 7350-77, ГОСТ 5949-75 сталь должна быть стойка против межкристаллитной коррозии при испытании по методам АМ и АМУ ГОСТ 6032-89. Испытания проводят после провоцирующего нагрева при 550 °С продолжительностью 1ч с охлаждением на воздухе.

Сталь 08Х22Н6Т имеет 1-й балл стойкости в 65%-ной азотной кислоте до 85 °С; в 93%-ной серной кислоте до 70 °С; в смеси азотной и серной кислот (5% HNO₃ + 15% H₂SO₄ до температуры кипения; 5% HNO₃ + 30% H₂SO₄ до 95 °С;

50% HNO_3 + 50% H_2SO_4 до 85 °С; в 55-65%-ной мочеvine до 60 °С и 92%-ной до 110 °С, водных растворах аммиака до 100 °С; 50%-ном едком калии до 120 °С; 80%-ной уксусной кислоте до 100 °С; 10-90%-ной фосфорной кислоте до 100 °С; этиловом и метиловом спиртах до температуры кипения.

Сталь обладает повышенной стойкостью к коррозионному растрескиванию в 42%-ном хлористом магнии.

Рекомендуется для изготовления сварного оборудования, работающего в средах производства азотной кислоты (60 % HNO_3) до 80 °С; выпарки и нейтрализации аммиачной селитры (300 г/л HNO_3 + 120 г/л P_2O_5) до 90 °С и до 60 °С (450 г/л HNO_3 + 300 г/л H_3PO_4 + следы HF); в калийной селитре (120 г/л HNO_3 + 80 г/л NaCl) до 100 °С.

Сталь 08X22H6T можно использовать для изготовления аппаратов, применяемых в производстве уксусного ангидрида методом пиролиза уксусной кислоты.

Рекомендуется для применения в производстве антибиотиков, а также является стойкой против промышленной, морской и тропической атмосферы. В упомянутых средах и оборудовании сталь марки 08X22H6T (ЭП53) является полноценным заменителем стали марки 08X18H10T.

Физические свойства.

Плотность — $7,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность — $0,168 \cdot 10^2$ Вт/(м · К) при 20 °С.

Удельное электросопротивление — $0,74 \cdot 10^{-6}$ Ом · м при 20 °С.

Магнитное насыщение — 0,3–0,5 (Тл · м)/А при 20 °С в поле 500 Э.

Модуль упругости — $20,3 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Значения температурного коэффициента линейного расширения

t, °С	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600	20–700	20–800	20–900
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	9,6	13,8	16,0	16,0	16,4	16,2	16,5	16,7	17,1

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации стали 1150–850 °С. Сталь технологична при обработке давлением в холодном и горячем состоянии (гибка, вальцовка, вытяжка, штамповка).

По обрабатываемости резанием сталь 08X22H6T близка к стали 12X18H10T.

Сварка. Сталь 08X22H6T обладает хорошей свариваемостью. При этом используют ручную и автоматическую сварку. Для ручной электродуговой сварки рекомендуется применять электроды ЦЛ-11 с присадочной проволокой Св-08X19H10Б. Аналогичную проволоку используют и для аргоно-дуговой и электродуговой автоматической сварки. Для электродуговой автоматической сварки применяют флюс АН-26.

Сварные соединения стали 08X22H6T, получаемые любым способом, не требуют термической обработки.

5.2. СТАЛЬ 03Х23Н6 (ЗИ68)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для сварного емкостного оборудования, работающего в производстве азотной кислоты, аммиачной селитры, адипиновой кислоты.	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 7350-77 ТУ 14-1-1905-76
Рекомендуемая температура эксплуатации сварного оборудования от -70 до 300 °С.	ТУ 14-1-1554-75
Сталь 03Х23Н6 (ЗИ68) является заменителем сталей марок 03Х18Н11 и 03Х19АГЗН10, а также сталей типа Х18Н9Т и Х18Н10Т. По сравнению со сталями, стабилизированными титаном (08Х22Н6Т, Х18Н9Т, Х18Н10Т), сталь 03Х23Н6 обладает высокой стойкостью к ножевой коррозии в сварных соединениях	

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %							
C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Fe
≤ 0,03	≤ 0,4	1,0-2,0	22,0-24,0	5,3-6,3	≤ 0,020	≤ 0,035	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Пруток	Ø ≤ 200	ТУ 14-1-1554-75	ОАО "Златоустовский метзавод"

Лист:

горячекатаный	С.З.	ГОСТ 7350-77	ОАО "Ашинский"
холоднокатаный	0,8-3,6×1000×2000	ТУ 14-1-1905-76	метзавод"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1000-1050 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ, ГОСТ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ТУ 14-1-1554-75	Пруток	520	300	25
ГОСТ 7350-77	Лист толстый	590	345	25
ТУ 14-1-1905-76	Лист тонкий	550	300	25

Механические свойства при низких и повышенных температурах

(лист 6 мм, закалка с 1050 °С в воде)

t _{исп.} , °С	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	t _{исп.} , °С	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
-100	1080	700	39	200	570	300	38
-70	1000	600	41	400	470	150	41
20	890	450	42	600	400	200	36

Механические свойства при высоких температурах

(лист 6 мм, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/см}^2$	$n, об$
800	150	100	24	35	250	—
900	100	—	45	—	200	3,5
1000	50	30	52	35	150	5,2
1100	20	—	60	—	100	6,8
1200	10	8	75; 88	61	100	8,0; 17,6

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 7350-77 и ТУ14-1-1905-76 сталь 03Х23Н6 не должна обладать склонностью к межкристаллитной коррозии по методу АМ (с продолжительностью испытаний в контрольном растворе 24 ч), ГОСТ 6032-89. При испытании в кипящей 65%-ной азотной кислоте особой чистоты с плотностью $1,41 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^3$ продолжительностью три цикла по 48 ч скорость коррозии не должна превышать 0,5 мм/год. Испытания по обоим методам проводят на образцах, вырезанных из листа в состоянии закалки с дополнительным провоцирующим нагревом при 550 °С, 1 ч.

Сталь 03Х23Н6 рекомендуется для оборудования, работающего в средах, используемых при производстве азотной кислоты: 10%-ной до 140 °С; 20%-ной до 120 °С; 30%-ной до 120 °С; от 40–50 до 60–70%-ной до 100 °С, а также при производстве аммиачной селитры, адипиновой кислоты и т.д.

Сталь 03Х23Н6 рекомендуется для изготовления оборудования, используемого при производстве слабой азотной кислоты и азотных минеральных удобрений, в частности трубопроводов для транспортировки нитрозного газа от компрессора в холодильники первой и второй ступени (среда — нитрозный газ, азотная кислота, температура ≤ 230 °С, давление до $1,16 \text{ Н/мм}^2$).

Физические свойства.

Плотность — $7,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Теплопроводность — $0,168 \cdot 10^2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ при 20 °С.

Удельное электросопротивление — $0,74 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при 20 °С.

Магнитное насыщение — 0,3–0,5 (Тл · м)/А при 20 °С в поле 500 Э.

Модуль упругости — $20 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения ($\alpha \cdot 10^6$) в интервале температур 20–100, 20–200 и 20–300 °С соответственно равен 9,6; 13,8 и $16,0 \text{ К}^{-1}$.

Технологические параметры. Горячую пластическую деформацию низкоуглеродистой стали 03Х23Н6 желательно осуществлять при температурах более высоких, чем приняты для коррозионностойких (нержавеющих) сталей; рекомендуемый интервал горячей деформации в данном случае 1280–1110 °С. Сталь 03Х23Н6 технологична при операциях гибки, штамповки в холодном и горячем состоянии.

Термическая обработка стали 03Х23Н6: закалка с 1000–1050 °С в воде; аналогичную термическую обработку применяют для снятия наклепа после холодной и горячей пластической деформации.

Сварка. Сталь 03Х23Н6 обладает хорошей свариваемостью при ручной сварке, Сварку выполняют электродами ОЗЛ-22; прочность сварного соединения не ниже $0,9\sigma_B$ основного металла, коррозионная стойкость такая же, как у основного металла. Сварные соединения стали 03Х23Н6 не склонны к ножевой коррозии в кипящей 65%-ной HNO_3 .

5.3. СТАЛЬ 08Х21Н6М2Т (ЭП54)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для службы в окислительно-восстановительных средах, например, при органическом синтезе, сернокислотном производстве, в целлюлозно-бумажной промышленности.	ГОСТ 5632-72
Типичное оборудование, изготавливаемое из стали 08Х21Н6М2Т: ректификационные колонны, экстракционные, насадочные, продувные и другие емкости, хранилища, баки, сборники и т.д.	ГОСТ 5949-75 ГОСТ 7350-77 ГОСТ 5582-75 ТУ 14-1-894-74 ТУ 14-3-59-72

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %									
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P	Fe
≤ 0,08	≤ 0,8	≤ 0,8	20,0-22,0	5,5-6,5	1,8-2,5	0,20-0,40	≤ 0,025	≤ 0,035	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ
Прутки	С.З.	ГОСТ 5949-75
Лист:		
горячекатаный	С.З.	ГОСТ 7350-77
	δ = 5-20	ТУ 14-1-894-74
	δ = 20-50	ТУ 14-1-52-71
холоднокатаный	δ = 0,8-3,9	ГОСТ 5582-75
Труба горяче- и холоднодеформированная	Ø ≤ 108	ТУ 14-3-59-72

Примечание. Рекомендуют режим термической обработки: закалка с 1050 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
		не менее				
ГОСТ 5949-75	Прутки	600	350	20	45	—
ГОСТ 7350-77	Лист толстый	590	345	20	—	59
ТУ 14-1-894-74	Лист толстый	600	350	20	—	—
ГОСТ 5582-75	Лист тонкий	590	—	22	—	—
ТУ 14-3-59-72	Труба горяче- и холоднодеформированная	—	—	20	—	—

Механические свойства при низких и повышенных температурах

(лист 6 мм, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
-196	1600	780	31	200	570	330	34
-100	1200	620	32	300	540	300	34
-50	1100	550	32	400	530	300	32
0	800	420	40	500	480	200	32
20	720	440	50	600	300	200	30
100	640	380	39				

Механические свойства при высоких температурах
(закалка с 1050 °С в воде, продольные образцы)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$n, \text{об}$	$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$n, \text{об}$
800	150	48	—	1100	40	85	9
900	100	63	—	1150	—	—	13
1000	60	65	4	1200	25	130	20
1050	—	—	6				

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 5582–75, ГОСТ 7350–77, ГОСТ 5949–75 сталь должна быть стойка против межкристаллитной коррозии при испытании по методу АМ ГОСТ 6032–89 с продолжительностью испытания в контрольном растворе 24 ч. Испытания на межкристаллитную коррозию проводят на образцах после термической обработки по режимам, указанным в нормативно-технической документации на продукцию, и провоцирующего нагрева при 500 °С продолжительностью 1 ч с охлаждением на воздухе.

Сталь 08Х21Н6М2Т (ЭП54) имеет 1-й балл стойкости в органических кислотах, в том числе уксусной кислоте, концентрацией от 0 до 98 % при температуре кипения; 50%-ной лимонной кислоте при температуре кипения; 20%-ной муравьиной кислоте при температуре кипения и в интервале 80–90 % при 20–40 °С, а также фосфорной кислоте различных концентраций и концентрированной серной кислоте. Сталь обладает повышенной стойкостью к коррозионному растрескиванию в растворе хлористого магния.

Сталь 08Х21Н6М2Т (ЭП54) рекомендуют для изготовления сварного оборудования, предназначенного для производства органического синтеза (получения меламин, чистой уксусной кислоты и др.), производства серной кислоты (92%-ная H_2SO_4 + до 7 % SO_2 при 40–60 °С), а также термической фосфорной кислоты (80%-ная H_3PO_4 при 100 °С), капролактама и мочевины.

Сталь 08Х21Н6М2Т используют для оборудования по производству сульфатной и сульфитной целлюлозы (фильтрующая аппаратура), хлористого аммония методом выпаривания, сульфата аммония, содержащего свободную серную кислоту до 20 г/л при температуре до 100–110 °С.

В указанных средах сталь 08Х21Н6М2Т является полноценным заменителем сталей типа Х17Н13М2Т.

Физические свойства. Плотность — $7,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Теплопроводность — $0,126 \cdot 10^2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ при 20 °С.

Удельное электросопротивление — $0,70 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при 20 °С.

Магнитное насыщение — $0,6/(\text{Тл} \cdot \text{м})/\text{А}$ при 20 °С в поле 500 Э.

Модуль упругости — $19,3 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 20 °С.

Значения температурного коэффициента линейного расширения

$t, ^\circ\text{C}$	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600	20–700	20–800	20–900
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	9,5	13,8	16,0	16,0	16,3	16,7	17,1	17,1	17,4

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации стали 08Х21Н6М2Т (ЭП53) 1150–850 °С. Она может подвергаться гибке и штамповке в холодном и горячем состояниях; при этих операциях, а также при обработке резанием ее технологичность аналогична технологичности стали 10Х17Н13М2Т.

Термическая обработка — закалка с 1050 °С в воде; аналогичную термическую обработку применяют для снятия наклепа после горячей и холодной пластической деформации.

матической сварки. В случае ручной электродуговой сварки используют электроды из проволоки Св-04Х19Н11М3 с покрытием УОНИ-13 и электроды из проволоки 06Х21Н6М2Т с покрытием АНВ-17. Эти же присадочные материалы используют для автоматической электродуговой и аргоно-дуговой сварки, а также ручной аргоно-дуговой сварки.

Сварные соединения стали 08Х22Н6М2Т, выполненные по режимам сварки, аналогичным сварке стали 10Х18Н10Т, имеют механические свойства не ниже основного металла, стойки против межкристаллитной коррозии и не требуют термической обработки.

Применение	ГОСТ, ТУ
Для сварного емкостного оборудования, работающего в производстве минеральных удобрений, сернокислотном и др. Температура эксплуатации сварных конструкций от -70 до 300 °С.	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 7350-77 ТУ14-1-1905-76
Сталь 03Х22Н6М2 (ЗП67) рекомендуется также, как и сталь 08Х21Н6М2Т (ЭП54), взамен стали 10Х17Н13М2Т. Сталь 03Х22Н6М2 обладает значительно более высокой стойкостью к ножевой коррозии в сварных соединениях по сравнению со сталями, стабилизированными титаном	

Химический состав, ГОСТ 5632-72								
Массовая доля компонентов, %								
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	Fe
≤ 0,03	≤ 0,4	1,0-2,0	21,0-23,0	5,5-6,5	1,8-2,5	≤ 0,020	≤ 0,035	Осн.

Сортамент			
Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Лист:			
горячекатаный	С.З.	ГОСТ 7350-77	ОАО "Ашинский
холоднокатаный	0,8-3,6×1000×2000	ТУ 14-1-1905-76	метзавод"

Примечание. Рекомендуются режим термической обработки: закалка с 1000-1050 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С				
ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ГОСТ 7350-77	Лист толстый	590	345	25
ТУ 14-1-1905-76	Лист тонкий	550	300	25

Механические свойства при низких и повышенных температурах (лист 6 мм, закалка с 1050 °С в воде)									
t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %	t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %
-100	1300	600	40	—	200	550	300	35	65
-70	1050	550	40	—	400	450	100	41	68
0	750	450	60	70	600	400	120	38	68
20	570	350	30	68					

Механические свойства при высоких температурах
(лист 6–10 мм, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_b, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$n, \text{об}$
800	170–220	140–200	53; 90	68	3,9–4,6
900	80–110	80–100	65; 89	99	3,5–5,6
1000	52	50	61; 109	85	5,5; 6,7
1100	27	25	58; 146	85	6,8–11,0
1200	12	11	60; 80	77	10,5–19,6

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 7350–77 и ТУ 14-1-1905–76 сталь 03Х22Н6М2 не должна обладать склонностью к межкристаллитной коррозии при испытании по методу АМ ГОСТ 6032–89 в течение 24 ч. Испытанию по методу АМ подвергают закаленные образцы с дополнительным провоцирующим нагревом при 550 °С, 1 ч. При испытании в кипящей 65%-ной азотной кислоте (плотность $1,41 \cdot 10^3$) при продолжительности испытания три цикла по 48 ч скорость коррозии в закаленном состоянии не должна превышать 0,5 мм/год.

По стойкости к общей коррозии сталь 03Х22Н6М2 близка к стали 08Х21Н6М2Т (ЭП54). Сталь 03Х22Н6М2 рекомендуется для использования в химической аппаратуре при производстве мочевины, уксусной кислоты и капролактама.

Физические свойства.

Плотность — $7,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

Удельное электросопротивление — $0,7 \cdot 10^{-6}$ Ом · м при 20 °С.

Магнитное насыщение — 0,6 (Тл · м)/А в поле 500 Э.

Модуль упругости — $20 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения ($\alpha \cdot 10^6$) в интервале температур 20–100, 20–200 и 20–300 °С соответственно равен 9,5; 13,8 и 16,6 К⁻¹.

Технологические параметры. Горячую пластическую деформацию низкоуглеродистой стали 03Х22Н6М2 желательно осуществлять при температурах более высоких, чем обычно принятые для коррозионностойких (нержавеющих) сталей. Рекомендуемый интервал горячей деформации в данном случае составляет 1280–1100 °С.

Сталь 03Х22Н6М2 технологична при операциях гибки и штамповки в холодном и горячем состоянии, а также при обработке резанием.

Термическая обработка стали 03Х22Н6М2: закалка с 1000–1050 °С в воде; аналогичную термическую обработку применяют для снятия наклепа после холодной и горячей пластической деформации.

Сварка. Сталь 03Х22Н6М2 обладает хорошей свариваемостью при использовании всех видов ручной сварки. В случае ручной электродуговой сварки используют электроды марок ОЗЛ-20, а при аргоно-дуговой — проволоку 03Х17Н14М2 (ЭП551). Прочность сварного соединения не менее 0,9 σ_b основного металла, а коррозионная стойкость равна коррозионной стойкости основного металла. Сварные соединения не требуют термической обработки.

5.5 СТАЛИ ДВУХФАЗОВЫЕ (301100)

Применение	ТУ
Для изготовления сварного химического оборудования, работающего в сернокислых, фосфорнокислых и азотнокислых средах, а также средах, содержащих хлориды и сероводород. Можно применять вследствие ее повышенной прочности при эксплуатации в условиях коррозионно-эрозионного изнашивания.	ТУ 14-1-3880-84 ТУ 14-1-5021-91 ТУ 302.02.095-90 ТУ 14-1-4372-87
Температурный интервал использования стали от -40 до 300 °С	

Химический состав, ТУ 14-1-3880-84

Массовая доля компонентов, %									
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	S	P	Fe
≤ 0,03	≤ 0,4	1,0-2,0	23,5-25,0	5,8-6,8	2,5-3,5	0,05-0,15	≤ 0,020	≤ 0,035	Ост.
Другие элементы Ce ≤ 0,1; Zr ≤ 0,1; (Al+Ti) ≤ 0,1; Cu ≤ 0,03									

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный	ГОСТ 2590-71	ТУ 14-1-3880-84	ОАО "Златоустовский метзавод"
кованый	ГОСТ 1133-71		
Лист горячекатаный	4-11×1000×2000-1500	ТУ 14-1-5021-91	ОАО "Ашинский метзавод"
	40-100×2000×L	ТУ 302.92.095-90	ОАО "Ижорские заводы"
Проволока сварочная	Ø 1,2-5,0	ТУ 14-1-4372-87	ОАО "Белорецкий меткомбинат"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: заковка с 1070 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	KCU, Дж/см ²
		не менее			
ТУ 14-1-5021-91	Лист толстый	690	440	25	98
ТУ 302.02.095-90	Лист толстый	690	390	25	—
ТУ 14-1-3880-84	Пруток	690	390	25	58,8

Фактические механические свойства при 20 °С (лист, заковка с 1060-1080 °С)

σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	KCU, Дж/см ²
755-815	598-685	25-30	147-196

Механические свойства при высоких температурах

(пруток Ø55 мм, заковка с 1070 °С в воде)

t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %	t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %
800	139	116	55	55	1050	28	22	97-120	93
900	92	83	68	66	1100	16	15	134	96
950	54	42	97-141	83	1150	10	9	117-197	96
1000	31	23	148	94	1200	7	—	90-135	96

Ударная вязкость при различных температурах (закалка с 1070 °С в воде)

Сортамент	KCU, Дж/см ² , при различных температурах, °С							
	100	20	0	-20	-40	-60	-80	-100
Лист, $\delta = 10$ мм	264	241	239	251	224	245	—	18
Сорт, $\varnothing = 55$ мм	—	246	270	233	289	272	117	33

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-3467-82 и ТУ 14-1-3880-84 сталь 03Х24Н6АМЗ должна быть стойка против межкристаллитной коррозии при испытании по методу ВУ ГОСТ 6032-89. Испытания проводят после провоцирующего нагрева при 550 °С в течение 1 ч. При испытании по методу ДУ ГОСТ 6032-89 в закаленном состоянии скорость коррозии в каждом из пяти циклов не превышает 0,5 мм/год.

Скорость коррозии основного металла и сварных соединений, выполненных ручной дуговой сваркой, в 32%-ной экстракционной фосфорной кислоте при 90 °С на базе 100-500 ч испытаний не более 0,1 г/(м²·ч).

В растворах серной кислоты (концентраций 10-90 %) при температурах от 20 до 90 °С сталь 03Х24Н6АМЗ по коррозионной стойкости не уступает сплаву 06ХН28МДТ (ЭИ943). В 10-35%-ной H₂SO₄ при температуре до 90 °С скорость коррозии стали 03Х24Н6АМЗ не превышает 0,1 мм/год.

Натурные испытания длительностью до 4000 ч в средах производства экстракционной фосфорной кислоты (до 42 % P₂O₅ + 10-18 г/л H₂SO₄ + 1,5-2 г/л F⁻) при 90 °С показали, что скорость общей коррозии закаленного металла, сварных соединений и основного металла после 5 ч провоцирующих нагревов при 500-650 °С не превышает 0,1 мм/год. Межкристаллитная коррозия отсутствует.

Сталь 03Х24Н6АМЗ, имеющая высокий питтинговый индекс (PI = % Cr + 3,3 % Mo + 16 % N), равный 39, обладает хорошей сопротивляемостью питтинговой коррозии в хлоридных средах.

Сталь устойчива против коррозионного растрескивания, в том числе в сероводородсодержащих средах (при нагрузке 0,9 $\sigma_{0,2}$ и базе испытаний 720 ч в стандартном растворе 5%-ного NaCl, насыщенном сероводородом и подкисленном уксусной кислотой до pH 2,9-3,0).

Из стали 03Х24Н6АМЗ изготовлено оборудование для производства экстракционной фосфорной кислоты, комплексных минеральных удобрений, производства карбамида, капролактама, опытное оборудование для сероводородсодержащих сред.

Физические свойства. Плотность — $7,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

Удельное электросопротивление — $0,70 \cdot 10^{-6}$ Ом·м при 20 °С.

Значения температурного коэффициента линейного расширения

t, °С	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900	20-1000
$\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$	14,6	15,3	16,0	16,5	16,9	17,3	17,9	18,2	18,5	18,9

Технологические параметры. Рекомендуемый температурный интервал горячей пластической деформации 1200-900 °С. Штамповку днищ можно осуществлять в холодном и горячем состоянии в интервале температур 1100-900 °С. Радиус гибки деталей (в том числе сварных) в холодном состоянии $R = 1,2-2,0h$ (h — толщина); в горячем состоянии $R = 1,0-1,5h$ в интервале температур 850-950 °С.

Сварка. Сталь 03Х24Н6АМЗ хорошо сваривается ручной аргоно-дуговой и электродуговой сваркой. Прочность сварных соединений соответствует требованиям ОСТ 26-291-79; фактический коэффициент прочности сварных соединений по сравнению с основным металлом 0,85-0,9. При температуре 800 °С коэффициент равен 1, что обеспечивает штампуемость сварных заготовок.

Статический изгиб сварных соединений, выполненных ручной аргоно-дуговой сваркой, составляет 120-140°, ручной электродуговой 120-130° (норма 100°).

Глава 6. ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Данную группу сталей используют для службы в средах повышенной агрессивности. Под термином “высоколегированные” подразумевают группу материалов, по степени легированности превышающих наиболее широко распространенные аустенитные стали типа 18–10. Кроме того, высоколегированные стали обычно легируют определенными элементами (Mo, Si и др.) с целью повышения сопротивляемости материала в конкретном электролите или какому-либо виду коррозии.

Основную группу представляют достаточно распространенные хромоникелевые стали, легированные молибденом, типа X17H13M2(3), проявляющие стойкость в средах восстановительного характера, а также используемые обычно при опасности возникновения питтинговой и щелевой коррозии и сероводородного охрупчивания [1–3].

Стали по содержанию углерода делятся на две группы: с 0,08–0,10 % C, стабилизированные титаном, и с $\leq 0,03$ % C нестабилизированные.

Сталь 03X17H14M3 используют для изготовления сварных конструкций, работающих в условиях производства карбамида и капролактама. Она также стойка в кипящей фосфорной, 10%-ной уксусной кислотах, а также в сернокислых средах [2].

Повышение чистоты стали по содержанию не только углерода ($\leq 0,030$ %), но и таких примесных элементов, как S (до 0,010–0,015 %), P (до 0,020 %), Si (до 0,4 %), а также оптимизация содержания основных легирующих элементов (Cr, Ni, Mo, N) привели к созданию ряда хромоникельмолибденовых сталей с повышенными коррозионными свойствами. Разработана и внедрена в производство сталь 03X18H16M3-ВД (ЗИ133-ВД) [4], предназначенная для изготовления медицинского инструмента, в частности, имплантатов. Сталь соответствует требованиям международного стандарта ИСО 5832/1–87. К сталям для хирургических имплантатов предъявляются весьма жесткие требования: по неметаллическим включениям, количеству δ -феррита, размеру аустенитного зерна, соотношению хрома и молибдена ($Cr + Mo \geq 26$), идентичности механических свойств при растяжении различных плавок. Сталь 03X18H16M3-ВД имеет регламентируемую структуру и требуемый комплекс коррозионных и механических свойств. В закаленном и нагартованном состоянии сталь обладает высокой стойкостью против питтинговой коррозии в средах, содержащих ионы хлора. Скорость коррозии в растворе 10%-ного $FeCl_3 \cdot H_2O$ составляет 0,1–0,2 г/(м² · ч), что в 13 раз ниже, чем у стали 12X18H9Т. Механические свойства стали (проволока $\varnothing$ 4,6 мм) в закаленном состоянии равны: $\sigma_b = 530–570$ Н/мм², $\sigma_{0,2} = 200–270$ Н/мм², $\delta = 47$ %, а после 70%-ной степени холодной деформации

ции уровень указанных характеристик повышается соответственно до 1350 и 1200 Н/мм² при $\psi = 55\%$. Производство стали 03X18H16M3-ВД освоено на заводах России в необходимом сортаменте.

Следующая группа сталей — на хромоникелевой основе типа 20Cr—25Ni и 25Cr—20—22Ni, которые дополнительно комплексно легированы молибденом и медью или молибденом, медью и кремнием (03X22H21M4ГБ, 02X21H25M5ДБ, 02X25H22AM2 и др.). Стали имеют низкое содержание углерода, а также легированы азотом.

Особо низкоуглеродистая сталь 02X25H22AM2-ПТ (ЧС108-ПТ) [5—7] используется для изготовления нового и замены импортного оборудования высокопроизводительного производства карбамида. Сталь рекомендуется (взамен сталей 2RE69, 254SFEP и др.) для изготовления оборудования, работающего в наиболее жестких условиях синтеза карбамида (при температуре от -70 до $+200$ °С и давлении до 200 Н/мм²). Сочетание повышенной прочности ($\sigma_b = 625\text{--}774$ Н/мм², $\sigma_{0,2} = 302\text{--}296$ Н/мм², $\psi = 45\%$) и высокой коррозионной стойкости позволяет рекомендовать сталь 02X25H22AM2 вместо стали 03X17H14M3 “карбамидного качества” с целью снижения металлоемкости оборудования при одновременном увеличении его надежности и срока службы. Сталь 02X25H22AM2 целесообразно также использовать для изготовления оборудования, работающего в сернокислых, азотно-кислых, сероводородсодержащих средах, а также вместо сталей типа X17H14M2(3)Т в условиях, вызывающих питтинговую коррозию [6, 7].

Для работы в агрессивных средах, загрязненных хлоридами и фторидами ($pH = 1$, температура среды 80 °С), разработана и внедрена высоколегированная сталь 02X21H25M5ДБ (ЭК5).

Наиболее эффективным способом повышения коррозионной стойкости хромоникелевых сталей в сильно окислительных средах (горячие концентрированные растворы азотной и серной кислот) является легирование их кремнием [1, 8, 9]. На основе системы Fe—Cr—Ni с 5—7 % Si создан ряд сталей [1, 2, 9].

Сталь 03X8H22C6 применяют для сварного оборудования, работающего под воздействием концентрированной азотной кислоты при высоких температурах (85%-ной концентрации и выше при температурах до 100 °С) [2].

Сталь 015X14H19C6Б (ЧС110-ВИ) рекомендуется [9] для изготовления сварного химического оборудования для производства концентрированной азотной кислоты (85—98%-ной концентрации) нитрат-магниевым способом при температуре до 110 °С и для работы в других сильно окислительных средах.

Библиографический список

1. Бабаков А. А., Приданцев М. В. Коррозионностойкие стали и сплавы. — М.: Металлургия, 1971. — 318 с.
2. Ульянов Е. А. Коррозионностойкие стали и сплавы. Справочник. — М.: Металлургия, 1991. — 255 с.
3. Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов. Справочник. — М.: Металлургия, 1990. — 320 с.

4. Боголюбский С. Д., Феофилов Р. Н., Коннова И. Ю. // Тр. конф. "Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке". — М.: Металлургия, 1994. т. 5. С. 144.
5. Фельдгандлер Э. Г. и др. // А.С. №1686028 / Б.И. 1991. №3 9.
6. Фельдгандлер Э. Г., Свистунова Т. В., Савкина Л. Я., Лапина О. Б. // Металловедение и терм. обр. металлов. 1996. № 2. С. 27.
7. Свистунова Т. В., Лапина О. Б., Фельдгандлер Э. Г. // Защита металлов, 1996. Т. 32. № 4. С. 381.
8. Томашев Н. Д., Чернова Г. Н. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные стали. — М.: Металлургия, 1986. — 359 с.
9. Горонкова А. Д., Киреева Т. С., Закурдаев А. Г. // Тр. конф. "Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке". — М.: Металлургия, 1994. Т. 5. С. 218.



Применение	ГОСТ
В сварных конструкциях, работающих в условиях воздействия фосфорной, уксусной кислот и других средах повышенной агрессивности; кроме того, сталь 08X17H15M3T используют для колонн синтеза мочевины	ГОСТ 5632-72
	ГОСТ 5949-75
	ГОСТ 7350-77
	ГОСТ 5582-84
	ГОСТ 4986-78
	ГОСТ 9940-81
	ГОСТ 9941-81
	ГОСТ 18143-72

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Сталь	Массовая доля компонентов, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P	Fe
08X17H13M2T	≤ 0,08	≤ 0,8	≤ 2,0	16,0-18,0	12,0-14,0	2,0-3,0	5 · C-0,7	≤ 0,020	≤ 0,035	Осн.
10X17H13M2T	≤ 0,10	≤ 0,8	≤ 2,0	16,0-18,0	12,0-14,0	2,0-3,0	5 · C-0,7	≤ 0,020	≤ 0,035	Осн.
10X17H13M3T	≤ 0,10	≤ 0,8	≤ 2,0	16,0-18,0	12,0-14,0	3,0-4,0	5 · C-0,7	≤ 0,020	≤ 0,035	Осн.
08X17H15M3T	≤ 0,08	≤ 0,8	≤ 2,0	16,0-18,0	14,0-16,0	3,0-4,0	0,3-0,6	—	—	—

Сортамент

(в соответствии со специализацией заводов качественной металлургии)

Вид продукции	Сталь	ГОСТ
Прутки	08X17H13M2T	ГОСТ 5949-75
	10X17H13M2T	
	10X17H13M3T	
	08X17H15M3T	
Лист: горячекатаный	08X17H13M2T	ГОСТ 7350-77 ГОСТ 5582-84
	10X17H13M2T	
	10X17H13M3T	
	08X17H15M3T	
Лента (М)	10X17H13M2T	ГОСТ 4986-78
	10X17H13M3T	
Труба бесшовная: горячедеформированная	10X17H13M2T	ГОСТ 9940-72 ГОСТ 9941-72
	08X17H15M3T	

Сортамент

(в соответствии со специализацией заводов качественной металлургии)

(продолжение)

Проволока	10X17H13M2T 10X17H13M3T	ГОСТ 18143-72
-----------	----------------------------	---------------

Примечание. М — в мягком состоянии.

Рекомендуемая термическая обработка для всех сталей: закалка с 1050—1080 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ	Вид продукции	Сталь	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
			не менее			
ГОСТ 5949-75	Пруток	08X17H13M2T	500	200	40	50
		10X17H13M2T	520	220	40	55
		10X17H13M3T	540	200	40	45
		08X17H15M3T	500	200	35	45
ГОСТ 7350-77	Лист горяче- катаный	08X17H13M2T	520	200	40	—
		10X17H13M2T	540	240	37	—
		10X17H13M3T	540	240	37	—
		08X17H15M3T	520	200	40	—
ГОСТ 5582-75	Лист холод- нокатаный	10X17H13M2T	540	—	35	—
		10X17H13M3T	540	—	35	—
		08X17H15M3T	540	—	35	—
ГОСТ 4986-78	Лента (М)	10X17H13M2T	540	—	40* ³	—
		10X17H13M3T	540	—	40* ³	—
		Труба бес- шовная:				
ГОСТ 9940-81	горячеде- формиро- ванная	10X17H13M2T	540	—	35	8×10 ^{3*4}
		08X17H13M3T	520	—	35	8×10 ^{3*4}
ГОСТ 9941-81	холодноде- формиро- ванная	10X17H13M2T	540	—	35	8×10 ^{3*4}
		08X17H13M3T	560	—	35	8×10 ^{3*4}
ГОСТ 18143-72	Проволока	10X17H13M2T	550-900* ¹	200	—	—
		10X17H13M3T	1100* ²	—	—	—
			550-900* ¹			
			1100* ²			

*¹ Проволока в "мягком" состоянии после термической обработки.*² Проволока нагартованная.*³ Указано значение δ_4 .*⁴ Плотность, кг/м³.Испытание на скручивание сталей 10X17H13M3T и 10X17H13M2T
(данные ОАО "Мечел")

Сталь	Число оборотов до разрушения при различных температурах, °С							
	950	1000	1050	1100	1150	1200	1225	1250
10X17H13M3T	6,5	8,0	7,4	8,0	12,0	13,4	16,4	16,8
10X17H13M2T	5,3	7,0	8,4	13,0	9,0	11,0	—	15,6

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 7350–77 предусмотрен контроль сталей 08X17H13M2T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T и 08X17H15M3T на стойкость против межкристаллитной коррозии по методам АМ и АМУ ГОСТ 6032–89 после прокаливающего нагрева при 650 °С в течение 1 ч. Аналогичные испытания предусмотрены ГОСТ 5949–75 для всех перечисленных сталей, а также ГОСТ 5582–75 для сталей 10X17H13M2T, 10X17H13M3T и 08X17H15M3T; ГОСТ 18143–72 для сталей 10X17H13M2T и 10X17H13M3T; ГОСТ 9940–81 и ГОСТ 9941–81 для сталей 10X17H13M2T и 08X17H15M3T. Указанные стали обладают 1-м баллом стойкости ($v_{\text{кор}} \leq 0,1$ мм/год) в 50%-ной лимонной кислоте при температуре кипения; 10%-ной муравьиной кислоте до 100 °С; 5, 10 и 25%-ной серной кислоте до 75 °С; 50%-ной уксусной кислоте до 100 °С и 80%-ной до 80 °С; 25%-ной фосфорной кислоте при температуре кипения и 40%-ной до 100 °С. За счет присутствия молибдена стали типа 17-13-2(3) и 17-15-3 имеют повышенную стойкость к питтинговой коррозии в средах, содержащих ионы хлора, по сравнению с хромоникелевыми сталями типа 18-10. Наряду с этим молибден снижает стойкость сталей против межкристаллитной коррозии в средах окислительного характера.

Из стали 10X17H13M2T изготавливают наиболее ответственную аппаратуру в производстве синтетической уксусной кислоты, синтетического каучука и изопрена.

Сталь 10X17H13M3T сохраняет устойчивое пассивное состояние в концентрированных растворах едкого натра (50 %) при температуре до 100 °С. Сталь 10X17H13M3T является одним из основных материалов для изготовления аппаратуры по производству этаноламинов.

Стабильноаустенитную сталь 08X17H15M3T применяют для изготовления колонн синтеза мочевины, так как использование для этих целей сталей с более низким содержанием никеля обычно приводит к избирательной коррозии по участкам δ -феррита.

Физические свойства.

Плотность — $7,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность — $0,147 \cdot 10^2$ Вт/(м · К) при 20 °С.

Удельное электросопротивление — $0,75 \cdot 10^{-6}$ Ом · м при 20 °С.

Удельная теплоемкость — $0,504 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К) при 20 °С.

Модуль упругости — $20,3 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения α					
$t, ^\circ\text{C}$	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	16,5	17,5	18,0	18,5	19,0

Технологические параметры. Стали 08X17H13M2T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T и 08X17H15M3T технологичны при операциях, связанных с горячей пластической деформацией; интервал горячей деформации сталей 1200–850 °С; для плавок, содержащих δ -феррит, рекомендуется некоторое снижение температуры начала деформации. Все стали допускают высокие степени холодной пластической деформации.

Сварка. Стали 08X17H13M2T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T и 08X17H15M3T хорошо свариваются ручной и автоматической электродуговой и газосварочной сваркой. Для ручной дуговой сварки сталей 10(08)X17H13M2T и 10X17H13M3T рекомендуется использовать электроды НИАТ-1, ЭА-400/10У и НЖ-13; для автоматической сварки — проволоку Св-04X19H11 и Св-06X19H10M3T в сочетании с флюсами АН-26, АНФ-14, АНФ-6. Для автоматической дуговой сварки или сварки под флюсом стали 08X17H13M3T рекомендуется использовать присадочный материал в виде проволоки Св-01X19H18Г10АМ4, а для ручной дуговой сварки — электроды ОЗЛ-20, АНВ-17, АНВ-18 и АНВ-20.

6.2. СТАЛЬ 03Х17Н14М3

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления основных узлов оборудования для проведения синтеза карбамида и капролактама	ГОСТ 5632-72; ТУ 14-1-240-72; ТУ 14-1-1154-74; ТУ 14-1-1541-75; ТУ 14-1-2144-77; ТУ 14-1-692-73; ГОСТ 5582-75; ТУ 14-1-2132-77; ТУ 14-1-2134-77; ТУ 14-1-1183-74; ТУ 14-3-396-75

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	Fe
≤ 0,030	≤ 0,4	1,0-2,0	16,8-18,3	13,5-15,0	2,2-2,8	≤ 0,020	≤ 0,035	Осн.

Сортамент

(в соответствии со специализацией заводов качественной металлургии)

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ
Пруток	C	ТУ 14-1-240-72
Лист:		
горячекатаный	$\delta = 8-20$ 4-11×1000×1200-2000	ТУ 14-1-1154-74 ТУ 14-1-1541-75
холоднокатаный	$\delta = 20-50$ $\delta = 0,8-3,9$ С.З.	ТУ 14-1-2144-77 ТУ 14-1-692-73 ГОСТ 5582-75
Заготовка трубная	Ø 80-180 Ø 180-270 Ø 90-180	ТУ 14-1-2132-77 ТУ 14-1-2134-77 ТУ 14-1-1183-74
Труба бесшовная:		
горячедеформированная	Ø 89-159	ТУ 14-3-396-75
холоднодеформированная	Ø 25-89	ТУ 14-3-396-75

Примечание. С — по согласованной специализации;

С.З. — размеры выбирают в соответствии со специализацией завода; рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1080-1100 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
		не менее		
ТУ 14-1-240-72	Пруток	500	200	40
ТУ 14-1-1154-74	Лист горячекатаный	500	200	40
ТУ 14-1-1541-75		500	200	40
ТУ 14-1-2144-77		500	200	40
ТУ 14-1-692-73	Лист холоднокатаный	500	200	—
ГОСТ 5582-75		500	200	40
ТУ 14-3-396-75	Труба бесшовная	500	200	30

Механические свойства при низких и повышенных температурах

(лист 6 мм, закалка с 1100 °С в воде)

$t_{исп.}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$t_{исп.}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
-196	1100	600	60	200	490	200	45
-100	800	380	70	400	510	280	30
-50	700	320	65	600	400	100	50
20	620	260	60				

Механические свойства при высоких температурах

(лист 20 мм, закалка с 1100 °С в воде)

$t_{исп.}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/см}^2$	$n, \text{об}$
800	280	200	23	30	200	5
900	130	100	57	58	210	6
1000	80	50	78	70	200	7-8
1100	50	20	78	62	150	10
1200	20	10	95	80	100	13-15

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-1154-74, ТУ 14-1-1541-75, ТУ 14-1-692-73, ТУ 14-1-240-72 и ТУ 14-1-2144-77 сталь 03X17H14M3 не должна быть склонна к межкристаллитной коррозии при испытании в 65%-ной кипящей азотной кислоте (плотность 1,41 г/см³), приготовленной из особо чистой кислоты марки ОСЧ-11-3 по ГОСТ 11125-73 и дистиллированной воды. Продолжительность испытаний по всем техническим условиям, кроме ТУ 14-1-2144-77, три цикла по 48 ч на образцах в закаленном состоянии; по ТУ 14-1-2144-77 продолжительность испытаний пять циклов по 48 ч. Скорость коррозии не должна превышать 0,5 мм/год.

По ГОСТ 5582-75 сталь 03X17H14M3 не должна быть склонна к межкристаллитной коррозии по методу ДУ ГОСТ 6032-89; по ТУ 14-1-1847-76 контроль на стойкость к межкристаллитной коррозии осуществляется по методу АМУ ГОСТ 6032-89.

Во всех случаях контроль стойкости стали к межкристаллитной коррозии проводят на образцах в состоянии поставки, т.е. после закалки.

Сталь 03X17H14M3 рекомендуется для изготовления сварных конструкций, работающих в условиях производства карбамида, капролактама, в кипящей фосфорной и 10%-ной уксусной кислотах, а также в сернокислых средах.

При производстве карбамида сталь 03X17H14M3 используют для изготовления смесителей и футеровки колонн синтеза, а при производстве капролактама — реактора окисления циклогексана.

Физические свойства.

Плотность — $7,75 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Модуль упругости — $19,5 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 20 °С и $19,0 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 300 °С.

Теплопроводность — $0,294 \cdot 10^2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ при 20 °С.

Удельное электросопротивление — $0,73 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6, \text{ К}^{-1}$ равен 16,10 при 20–200 °С; 14,4 при 20–300 °С.

Технологические параметры. Горячая пластическая деформация стали 03X17H14M3 осуществляется в интервале 1150–900 °С; сталь имеет высокую пластичность при горячей и холодной пластической деформации. Для снятия наклепа после горячей и холодной пластической деформации применяют термическую обработку, состоящую из закалки с $1080 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ в воде.

Сварка. Сталь 03X17H14M3 обладает хорошей свариваемостью при всех видах ручной и автоматической сварки. При ручной электродуговой сварке применяют электроды марки ОЗЛ-20 с проволокой из стали 03X17H14M2 (ЭП551). При автоматической сварке под флюсом или в среде защитного газа используют проволоку той же марки. При этом прочность и коррозионная стойкость сварных соединений не ниже прочности и коррозионной стойкости основного металла. Сварные соединения стали в среде синтеза карбамида имеют скорость коррозии 0,041–0,11 мм/год, стойки к межкристаллитной коррозии и не подвержены ножевой коррозии.

6.3. СТАЛЬ 03X18H16M3-ВД (ВИП33-ВД)

Применение	ГОСТ, ТУ
В медицинской промышленности для изготовления хирургических имплантатов (использующихся при лечении костных переломов) в виде пластин, костных винтов, гвоздей, штифтов и спиц скелетного натяжения	ТУ 14-1-5191-92 ТУ 14-1-4913-90 ТУ 14-123-134-95

Примечание. Сталь выплавляют в открытой индукционной печи с последующим рафинирующим переплавом.

Химический состав, ТУ 14-1-5191-92

Массовая доля компонентов, %									
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	S	P	Fe
≤ 0,030	≤ 0,4	≤ 2,0	17–18,5	14,5–16,5	2,6–3,1	≤ 0,1	≤ 0,010	≤ 0,025	Ост.

Примечание. Содержание хрома и молибдена удовлетворяет соотношению $Cr^+ + 3Mo \geq 26$

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Прутки со специальной отделкой поверхности, горячекатаный	Ø 4 – 20	ТУ 14-1-5191-92	ОАО “Златоустовский метзавод”
	Ø 1,5	Технический договор № 8	ОАО “Серп и Молот”
	Ø 18; 20	Технический договор № 121	ОАО “Златоустовский метзавод”

Лист:

горячекатаный 4–11×1000×1200–2000 ТУ 14-1-4913-90 ОАО “Ашинский
холоднокатаный 0,8–3,9×1000×2000 ТУ 14-123-134-95 метзавод”

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки (по ТУ 14-1-4913-90, ТУ 14-123-134-95, техническое соглашение № 121, ТУ 14-1-5191-92): закалка с 1080–1100 °С в воде; по ТУ 4-1-5191-92 и техническому договору № 8 сталь также поставляется в нагретом состоянии.

Нормированные механические свойства при 20 °С

Техническая документация	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Состояние поставки
		не менее			
ТУ 14-1-5191-92	Пруток	490-690	185	40	Термообработанное
		860-1100	690	12	Нагартованное
Технический договор № 8	Пруток	1320	–	–	Нагартованное
ТУ 14-1-4913-90	Лист горячекатаный	490	196	40	Термообработанное
ТУ 14-123-134-95	Лист холоднокатаный	490-690	196	40	Термообработанное
Технический договор № 121	Пруток горячекатаный	470	165	40	Горячекатаное

Механические свойства при комнатной и повышенных температурах
(пруток горячекатаный)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
18*	615	345	51	81	400	400	140	42	80
20	510	240	64	83	600	355	130	45	74
180	420	170	46	81					

*Состояние поставки — горячекатаное.

Механические свойства при высоких температурах
(пруток после закалки)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
900	180	110	78	80
1020	60	52	79	60
1200	20	19	86	79

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной пластической деформации (лист после прокатки)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Твердость HV
0	580	274	47	160
10	670	576	26	240
20	755	690	16	260
30	861	806	8	300
50	1128	1033	6	340
60	1191	1013	5	360
70	1273	1026	3	360
80	1328	1029	2	360
90	1580	1329	2	—

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной пластической деформации (проволока Ø 4,6 мм, закалка перед холодной деформацией с 1080 °С в воде, данные ОАО "Серп и Молот")

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	ψ , %	Твердость HV
0	530	200	79	—
10	710	460	75	—
20	820	650	70	—
30	950	800	66	—
40	1070	910	62	—
50	1170	1030	59	360
60	1260	1120	57	—
70	1350	1200	55	360
80	1430	1270	52	370
90	1510	1340	38	—

Механические свойства при комнатной и повышенных температурах (пруток горячекатаный Ø 20 мм, поставка ОАО "Златоустовский метзавод", закалка с 1080 °С в воде)

$t_{\text{исп}}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	$t_{\text{исп}}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
20*1	615	345	51	81	400	400	140	42	80
20	510	240	64	83	600	355	130	45	74
200	420	170	46	81					

Примечание: *1 – Состояние поставки – горячекатаное.

Механические свойства при высоких температурах (пруток горячекатаный Ø 20 мм, поставка ОАО "Златоустовский метзавод", закалка с 1080 °С в воде)

$t_{\text{исп}}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
800	185	110	78	83
1000	61	52	79	60
1200	20	19	86	79

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной пластической деформации (прокатка) (лист исходной толщины 1,5 мм, закалка перед холодной деформацией с 1080 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Твердость HV
0	578	274	47	160
10	668	576	26	240
20	755	690	16	260
30	861	806	8	300
50	1128	1033	6	340
60	1191	1013	5	360
70	1273	1026	3	360
80	1328	1029	2	360
90	1577	1329	2	—

**Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной
пластической деформации (волочение)**

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Твердость HV
0	530	200	79	—
10	720	460	75	—
20	820	650	70	—
30	950	800	66	—
40	1080	910	62	—
50	1170	1030	59	—
60	1240	1120	57	—
70	1350	1200	55	370
80	1430	1270	52	380
90	1520	1340	38	—

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-5191-92, ТУ 14-1-4913-90, ТУ 14-123-134-95 сталь в состоянии поставки должна быть стойка против межкристаллитной коррозии на образцах без провоцирующей термообработки и испытания по методу АМ ГОСТ 6032-89 в течение 24 ч. Сталь обладает высокой стойкостью к питтинговой коррозии в средах, содержащих ионы хлора в закаленном и нагартованном состояниях.

**Скорость коррозии стали 03X18H16M3-ВД (промышленной поставки) и
12X18H9Т в 10%-ном FeCl₃ · 6H₂O (время испытания 5 ч при 20 °С после
различных степеней холодной пластической деформации)**

Сталь	Сортамент	Скорость коррозии(г/ · м ² ч) после различных степеней обжатия, %									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
03X18H16M3-ВД	Лист (δ = 1,5 мм)	0,10	0,17	0,10	0,11	0,08	0,22	0,12	0,17	0,18	0,09
	Пруток ($\varnothing$ 4,5 мм)	0,28	—	—	0,27	—	—	—	—	0,21	—
12X18H9Т	Пруток ($\varnothing$ 4,0 мм)	16	—	11	—	13	—	15	—	24	—

По данным НПО "Мединструмент" (г. Казань) и ВНИИМТ (г. Москва) штифты из стали 03X18H16M3-ВД (ЗИ133-ВД) успешно прошли токсикологические испытания на животных методом имплантирования. Сталь отвечает требованиям, предъявляемым к изделиям для эндопротезирования и пригодна для остеосинтеза в травматологии.

Физические свойства.

Плотность — $8,03 \cdot 10^3$ кг/м³.

Удельное электросопротивление — $0,804 \cdot 10^{-6}$ Ом · м при 20 °С.

Магнитная проницаемость ($\mu_{отн}$) мкТл · м/А — 1,0 при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения (α) — $16,0 \cdot 10^{-6}$, К⁻¹ в интервале температур 0–100 °С.

Плотность определена для отожженного прутка, остальные свойства — для нагартованного прутка $\varnothing$ 4,1 мм с $\sigma_B \geq 833$ Н/мм², а в состоянии поставки ОАО "Златоустовский метзавод".

Технологические параметры. Сталь деформируется в горячем и холодном состоянии. Температурный интервал горячей пластической деформации 900–1200 °С.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1080–1100 °С. Поставляется в закаленном и в нагартованном состояниях. Сталь имеет аустенитную структуру, немагнитна в закаленном и нагартованном состояниях; она не должна содержать α -фазу и имеет нормированное содержание неметаллических включений (сульфиды, алюминаты, силикаты, оксиды глобулярные) и нормированную величину зерна. Загрязненность неметаллическими включениями не должна превышать по ТУ 14-1-5191–92:

Вид включений	Величина в баллах, не более для серий	
	тонкой	толстой
Сульфиды (А)	1,5	1,0
Алюминаты (В)	1,5	1,0
Силикаты (С)	1,5	1,0
Оксиды глобулярные (D)	1,5	1,0

Сталь 03X18H16M3-ВД разработана с учетом требований международного стандарта ИСО 5832/1-87 "Имплантаты для хирургии. Металлические материалы". В НПО "Мединсумент" (г. Казань) изготовлены партии имплантатов из листовой и сортовой металлопродукции (штифты, винты, пластины) и проведены необходимые медицинские испытания с положительными результатами.

6.4. СТАЛЬ 03X21H21M4НБ (ЗН-35)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления сварной химической аппаратуры, эксплуатирующейся в средах производства экстракционной фосфорной кислоты, комплексных минеральных удобрений, ацетилцеллюлозы, винилацетата и в других агрессивных средах	ГОСТ 5632-72
	ГОСТ 5582-84
	ГОСТ 7350-77
	ТУ 14-1-1190-75
	ТУ 14-1-3262-81
	ТУ 14-3-694-78
	ТУ 14-3-696-78
	ТУ 14-3-751-78
	ТУ 14-1-4319-87
	ТУ 14-1-2134-77

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	Nb	Fe
≤ 0,03	≤ 0,6	1,8–2,5	20–22	20–22	3,4–3,7	≤ 0,020	≤ 0,030	C · 15–0,8	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный, кованный, круглый и квадратный	До $\varnothing 200$	ТУ 14-1-1190-75	ОАО "Златоустов- ский метзавод"
Лист:			
горячекатаный	4-11×1000×1200-2000	ГОСТ 7350-77	ОАО "Ашинский метзавод"
	10-20×1400-1500× ×4000-6000		ОАО "Мечел"
холоднокатаный	0,8-3,9×1000×2000	ГОСТ 5582-84	ОАО "Ашинский метзавод"
Труба бесшовная:			
горячепрессованная	$\varnothing 89-152 \times 6-10 \times L$	ТУ 14-3-696-78	ОАО "Никополь- ский ЮТЗ"
холоднодефор- мированная	$\varnothing 95-110 \times 3,0 \times 6,0 \times L$	ТУ 14-3-751-78	
	$\varnothing 14-95 \times 1,0-6,0 \times L$	ТУ 14-3-694-78	
Заготовка трубная:			
горячекатаная	$\varnothing 170-250$, $L = 300-1200$	ТУ 14-1-4319-87	ОАО "Волжский трубный завод"
кованая	$\varnothing 180-270$, длина кратная 430	ТУ 14-1-2134-77	ОАО "Днепроспец- сталь"
	$\varnothing 250-350$, $L = 200-1000$	ТУ 14-1-4319-87	ОАО "Волжский трубный завод"
	$\varnothing 2-5$	ТУ 14-1-3262-81	ОАО "Серп и Молот"
Проволока сварочная			

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки по ГОСТ 5582-84, ГОСТ 7350-77, ТУ 14-3-751-78, ТУ 14-3-696-78, ТУ 14-3-694-78: закалка с 1050-1120 °С, охлаждение в воде или на воздухе.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
		не менее		
ТУ 14-1-1190-75	Прутки: горячекатаный кованный	490	215	30
	Лист:			
ГОСТ 7350-77	горячекатаный	590	295	30
ГОСТ 5582-75	холоднокатаный	540	245	25
	Заготовка трубная:			
ТУ 14-1-4319-87	горячекатаная, кованая	490	-	30
ТУ 14-1-2134-77	кованая	490	216	30
	Труба бесшовная			
ТУ 14-3-696-78	горячепрессованная	490	215	30
ТУ 14-3-694-78	холоднопрессованная	490	215	30
ТУ 14-3-751-78				

Механические свойства при 20 °С

Толщина листа, мм	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
4-11	(744) 666 (607)	(411) 362 (294)	(55) 40 (30)
10-20	(674) 647 (598)	(468) 411 (323)	(45) 38 (30)

Примечание. В скобках указаны максимальные и минимальные значения механических свойств.

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(пруток, продольные образцы, закалка с 1080 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
-196	1200	650	59	59,5	135	200	565	230	41	61	240
-100	835	435	60,5	71	185	300	560	190	40,5	65,5	300
-60	775	400	62	70,5	155	400	540	200	40	61	230
0	700	340	49,5	71	280	500	540	195	37	56	200
20	675	335	49	67	240	600	490	200	43	57	210
100	595	235	43	66	260	700	360	180	36	54	200

Механические свойства в зависимости от степени холодной деформации
(продольные образцы, закалка с 1080 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
0	670	330	49	40	1080	1020	10
10	700	630	25	50	1120	1070	8
20	920	830	17	60	1170	1120	6
30	950	840	17				

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 7350-77, ГОСТ 5582-75, ТУ 14-1-1190-75, ТУ 14-1-4319-87, ТУ 14-3-696-78, ТУ 14-3-694-78, ТУ 14-3-751-78 сталь 03Х21Н21М4ГБ должна быть стойка против межкристаллитной коррозии после провоцирующего отпуска при 700 °С, 1 ч. Испытания проводят по методу ВУ ГОСТ 6032-89.

Сталь в закаленном состоянии и ее сварные соединения обладают высокой стойкостью к общей, межкристаллитной и питтинговой коррозии.

В промышленных средах производства экстракционной фосфорной кислоты: в пульпе (32 % P_2O_5 , 2 % F, 2 % SO_3 , фосфогипс) и упаренной кислоте (54 % P_2O_5 , 0,5 % F) межкристаллитная коррозия отсутствует до температуры среды 85 и 110 °С соответственно.

Скорость коррозии стали не превышает 0,1 мм/год в серной кислоте: 10-20%-ной до 80 °С; 10%-ной с примесью SO_2 (7-9 %) до 30 °С; 95%-ной до 70 °С; уксусной кислоте до 96%-ной концентрации при 120 °С.

Сталь имеет высокую коррозионную стойкость в среде производства борной кислоты: скорость коррозии в боратовой пульпе, содержащей до 0,6 % H_2SO_4 ; 6,03 % B_2O_3 ; 5,08 % MgO при 90 °С составляет $\leq 0,001$ мм/год. Из нее изготавливают мешалки турбинного типа (высота 4500 мм, диаметр 300 мм, скорость вращения 700 об/мин) для перемешивания пульпы, содержащей 32 % P_2O_5 , 1,8 % F (в виде H_2SiF_6 , 2,5 % SO_4 (в виде H_2SO_4)) и фосфогипс при 70 °С; пульпопроводы (28-36 % P_2O_5), 1,6-1,85 % F; 1,6-3,0 % SO_2 при 70-88 °С), сепараторы, экстракторы (диаметром до 8000 мм и высотой до 5500 мм) при производстве экстракционной фосфорной кислоты с примесью ионов фтора.

Сталь 03X21H21M4ГБ рекомендована НИИхиммаш для изготовления оборудования на заводах химического машиностроения в производствах экстракционной фосфорной кислоты, сульфитцеллюлозы, основы пленки и ацетилцеллюлозы.

Физические свойства.

Плотность — $8,0 \cdot 10^3$ кг/м³.

Модуль упругости — $18 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С; $15,9 \cdot 10^4$ Н/мм² при 300 °С.

Теплопроводность — 17,2 Вт/(м · К) при 20 °С.

Магнитная проницаемость — 1,252(мкТл · м)/А.

Температурный коэффициент линейного расширения α		
$t, ^\circ\text{C}$	20–200	20–300
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	15,30	16,75

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации стали: ковка, прокатка 1200–850 °С, штамповка 1100–900 °С. Сталь хорошо деформируется в холодном и горячем состоянии и удовлетворительно обрабатывается резанием. При гибке заготовки из листовой стали толщиной 5 мм в холодном и горячем состоянии минимальные радиусы гибки не должны быть меньше двух толщин листа.

Термическая обработка стали 03X21H21M4ГБ: закалка с 1060–1120 °С в воде; аналогичную термическую обработку применяют для снятия наклепа после холодной или горячей пластической деформации.

Сварка. Сталь сваривается ручной электродуговой сваркой, аргоно-дуговой и автоматической сваркой. Согласно рекомендациям НИИхиммаша сталь толщиной до 10 мм удовлетворительно сваривается всеми видами ручной электродуговой сварки. Аргоно-дуговой метод рекомендуется применять при толщинах стали до 6 мм, а также для сварки корневых швов при толщине более 10 мм. Сталь толщиной более 10 мм удовлетворительно сваривается обеими видами ручной дуговой сварки при пониженном содержании ниобия в металле корневых проходов шва. Для предупреждения образования горячих трещин в сварных соединениях толщиной более 10 мм корневые швы необходимо сваривать обратно-ступенчатым способом с использованием сварочных материалов без ниобия. Для сварки стали толщиной более 12 мм рекомендуется применять комбинированный метод (аргоно-дуговую и сварку штучными электродами). При сварке с U-образной разделкой разделку кромок под сварку необходимо выполнять раскрытием со стороны действия коррозионной среды. Швы, обращенные к коррозионной среде, следует выполнять в последнюю очередь только электродом ОЗЛ-17У. Для ручной электросварки стали толщиной до 10 мм и для заполнения разделки при толщине стали более 10 мм рекомендуются электроды ОЗЛ-17У, ОЗЛ-26А, АНВ-17 с проволокой Св-01Х19Н18Г10АМ4; для сварки корневых проходов стали толщиной более 10 мм — электроды ОЗЛ-26А с покрытием без ниобия на проволоке 03X21H21M4 (ЗИ-87), ОЗЛ-17У с покрытием без ниобия на проволоке Св-03X23H28M3ДЗТ; для сварки указанной стали со сталью 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, Ст3, 20К — электроды ЭА-395/9.

Для ручной аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом стали толщиной до 10 мм и для заполнения разделки при толщине стали более 10 мм рекомендуется проволока Св-03X23H28M3ДЗТ и проволока 02X21H21M4ГБ (ЗИ69). Для сварки корневых проходов стали толщиной более 10 мм — проволока 03X21H21M4 (ЗИ87); для автоматической сварки — проволока Св-01Х19Н18Г10АМ4 (ЭП690) и флюс АН-18. Прочность сварного соединения составляет 0,9 σ_b основного металла. Сварные соединения всех видов сварки имеют высокую коррозионную стойкость и не подвергаются межкристаллитной коррозии.

6.5. СТАЛЬ 02Х21Н25М5ДБ (ЭК5)

Применение	ТУ
Для изготовления сварной химической аппаратуры, работающей в слабокислых технологических растворах при рН = 1 и температуре до 80 °С, содержащих значительные добавки ионов хлора и фтора в условиях интенсивного эрозионного износа	ТУ 14-1-3230-81 ТУ 14-1-2973-80 ТУ 14-1-4730-89 ТУ 14-3-1129-82 ТУ 14-1-3686-83

Химический состав, ТУ 14-1-2973-80

Массовая доля компонентов, %

C	Si	S	P	Mn	Cr	Ni	Fe	Mo	Cu	Nb	Ce	Ti
≤0,02	≤0,20	≤0,020	≤0,020	1,0-1,5	20,0-22,0	24,0-26,0	Осн.	4,0-5,0	1,3-1,8	0,2-0,4	Расч.	0,02 0,01-0,1

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
---------------	-------------	----	--------------------

Прутки:

горячекатаный			
круглый, квадратный	Ø □ 20-38	ТУ 14-1-2973-80	ОАО "Электро-сталь"
кованный	Ø □ 40-100		
круглый, квадратный			

Лист:

горячекатаный	4,0-8,0×1000×2000	ТУ 14-1-3230-81	ОАО "Ашинский метзавод"
	9,0-10,0×1000×1500		
холоднокатаный	1,5-3,9×1000×2000	ТУ 14-1-4730-89	
Заготовка трубная	Ø 180 и 215	ТУ 14-1-3327-81	ОАО "Электро-сталь"
кованая			
Труба бесшовная	Ø 57-89	ТУ 14-3-1129-82	ОАО "Никопольский ЮТЗ"
Проволока сварочная	Ø 1,2-5,0	ТУ 14-1-3686-83	ОАО "Белорецкий меткомбинат"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки по ТУ 14-1-3230-81, ТУ 14-1-4730-89, ТУ 14-3-1129-82: закалка с 1070-1100 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ _B , Н/мм ²	σ _T , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ТУ 14-1-2973-80	Пруток	490	245	40
ТУ 14-1-3230-81	Лист горячекатаный	490	245	40
ТУ 14-1-4730-89	Лист холоднокатаный	490	245	40
ТУ 14-3-1129-82	Труба бесшовная	588	294	30
ТУ 14-1-3686-83	Проволока сварочная	640	-	-

Механические свойства при комнатной и повышенных температурах
 (лист 6,0 мм, закалка с 1070 °С в воде)

t _{исп.} , °С	σ _B , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	KCU, Дж/см ²
20	680	340	40	150
600	518	247	33	136

Механические свойства при высоких температурах

(лист 6,0 мм, закалка с 1070 °С в воде)

$t_{\text{исп.}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_T, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/см}^2$
800	228	195	61	90	147
900	136	124	73	91	147
1000	76	66	86	75	135
1100	43	40	86	54	—
1200	25	23	56	50	—

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-2973-80, ТУ 14-1-3230-81, ТУ 14-1-4730-89, ТУ 14-1-3327-81, ТУ 14-3-1129-82 сталь должна быть стойкой против межкристаллитной коррозии после провоцирующего нагрева при 700 °С, 20 мин. Испытания проводят по методу ВУ ГОСТ 6032-89. Сталь стойка против питтинговой коррозии в галоидосодержащих средах.

Предназначена для работы в различных кислотах, загрязненных значительным количеством ионов хлора и фтора, в условиях интенсивного эрозионного износа.

Коррозионная стойкость в различных средах

Коррозионная среда	$t, ^\circ\text{C}$	$v_{\text{кор}}, \text{г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$ (не более)
$\text{Cl}^- = 25 \text{ г/л}$, $\text{F}^- = 40 \text{ г/л}$, $\text{pH} = 3,7$ при интенсивном перемешивании	80	0,1
26-52 % H_3PO_4 , $\text{F}^- = 1,5 \%$, твердые вещества до 54 %	80	0,8
60 %-ная серная кислота	60	0,03
90 %-ная серная кислота	60	0,023
20 %-ная уксусная кислота	Кипение	0,004
50 %-ная муравьиная кислота	140	0,074
	150	0,047
80 %-ная муравьиная кислота	140	0,09
28,4 %-ная муравьиная кислота	150	0,08

Физические свойстваПлотность — $8,02 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.**Температурный коэффициент линейного расширения α**

$t, ^\circ\text{C}$	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	15,3	16,1	16,4	16,9	17,1	17,7	18,4	18,7	19,0

Технологические параметры. Сталь подвергают горячей и холодной деформации практически всеми известными методами формоизменения. Температурный интервал горячей пластической деформации 1200-950 °С.

Сварка. Сталь сваривается ручной аргоно-дуговой сваркой. Для аргоно-дуговой сварки в качестве присадочного материала используют сварочную проволоку аналогичного состава: Св-02Х21Н25М5ДБ (ЭКСУ).

6.6. СТАЛЬ 12Х11Н2АУ2-17-01С10Н11В

Применение	ТУ
Для изготовления сварного химического оборудования, работающего в наиболее жестких условиях синтеза карбамида (при температуре от -70 до 200 °С и давлении до 200 Н/мм ²).	ТУ 14-1-5072-91 ТУ 14-1-5203-93 ТУ 14-134-277-91
Целесообразно также использовать для изготовления оборудования, работающего в сернокислых, азотнокислых, сероводородсодержащих средах, и вместо стали типа Х17Н14М2(3)Т в условиях, вызывающих питтинговую коррозию	ТУ 14-159-252-95

Примечание. Сталь выплавляют в плазменных печах с использованием чистых шихтовых материалов.

Химический состав, ТУ 14-1-5072-91

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	Fe	S	P
≤ 0,020	≤ 0,40	1,5-2,0	24,0-26,0	21,0-23,0	2,0-2,5	0,10-0,14	Осн.	≤ 0,015	≤ 0,020

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			
горячекатаный			
круглый	Ø 30-70	ТУ 14-1-5072-91	ОАО "Мечел"
кованный			
круглый	Ø 90-140		
Лист горячекатаный	4-7×1000×2000	ТУ 14-1-5203-93	ОАО "Ашинский метзавод"
	8-9×1000×1600-2000		
	10-11×1000×1300×1600		
Заготовка трубная	Ø 180, L-кратная 400-500	ТУ 14-134-227-91	ОАО "Мечел"
Труба бесшовная	Ø 10×1,5	ТУ 14-159-252-95	ОАО "Первоуральский новотрубный завод"
холоднодеформированная	Ø 10×2,2		
	Ø 25×2,5; Ø 31×3,0		

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки по ТУ 14-1-5203-93: закатка с 1100 ± 10 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ _B , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ТУ 14-1-5072-91	Пруток	490	196	30
ТУ 14-1-5203-81	Лист горячекатаный	540	255	40
ТУ 14-134-277-91	Заготовка трубная	540	255	40
ТУ 14-159-252-95	Труба бесшовная	539	255	35

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(сорт $\varnothing$ 40 мм, горячекатаный)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/см}^2$
-196	—	—	—	—	330
-100	—	—	—	—	375
-50	—	—	—	—	375
20	720–860	365–435	48–49	79–81	375
100	685	320	45	77	—
200	625	310	43	75	—
400	545	190	44	76	—
500	490	170	44	75	—
600	460	165	46	69	—

Примечание. Ударная вязкость после закалки от 1100 °С. Образцы не разрушились.

Механические свойства при высоких температурах (сорт $\varnothing$ 40 мм)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$n, \text{об}$
900	157	115	88	68	12
1000	88	75	100	70	24
1100	48	43	85	66	23
1200	31	26	98	71	27

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-5203-93, ТУ 14-159-252-95 сталь в состоянии поставки (закалка с 1100 °С) без провоцирующего отпуска должна быть стойка против межкристаллитной коррозии при испытании по методу ДУ ГОСТ 6032-89 (65%-ная HNO_3 , кипение, 5 циклов по 48 ч). Скорость коррозии не должна превышать 0,3 мм/год после каждого цикла.

По ТУ 14-1-5072-91 (сорт) и ТУ 14-134-277-91 (трубная заготовка) сталь также должна удовлетворять вышеуказанным требованиям. В данном случае контроль на межкристаллитную коррозию проводится на термически обработанных образцах по режиму: 1100 ± 10 °С, охлаждение на воздухе, без провоцирующего отпуска.

Фактическая коррозионная стойкость стали – образцы вырезаны из сорта $\varnothing$ 40 мм (числитель) и $\varnothing$ 120 мм (знаменатель) при испытании по методу ДУ

Режим термообработки	Скорость коррозии, г/(м ² · ч)				
	I цикл	II цикл	III цикл	IV цикл	V цикл
Горячая прокатка	0,10 / 0,13	0,06 / 0,07	0,05 / 0,07	0,06 / 0,07	0,05 / 0,04
Закалка с 1000 °С	0,11 / 0,12	0,08 / 0,08	0,05 / 0,06	0,06 / 0,06	0,07 / 0,06
Закалка с 1100 °С	0,12 / 0,12	0,07 / 0,08	0,05 / 0,06	0,06 / 0,07	0,06 / 0,07
Закалка с 1100 °С + отпуск 650 °С, 1 ч	0,15	0,11	0,11	0,05	0,05

Сталь 02Х25Н22АМ2 стойка также против межкристаллитной коррозии по методу ВУ ГОСТ 6032-89 после 5 ч отпуска при 600–800 °С. Сварные соединения стали не подвергаются межкристаллитной коррозии, в том числе коррозии ножевого типа при испытании в растворе 40 % HNO_3 + 2% HF (95 °С, 48 ч).

Сталь имеет высокую стойкость против локальных видов коррозии: питтинговой, шеллевой в средах, загрязненных хлоридами, и высокую стойкость против коррозионного растрескивания в сероводородсодержащих средах.

Особонизкоуглеродистая азотсодержащая структурностабильная сталь 02X25H22AM2 является высокоэффективным конструкционным материалом для изготовления наиболее ответственных узлов оборудования при производстве карбамида, работающего при температуре от -70 до $+200$ °С при давлении до 200 Н/мм². Сочетание повышенной прочности и коррозионной стойкости позволяет рекомендовать сталь 02X25H22AM2 взамен стали 03X17H14M3 "карбамидного качества" с целью снижения металлоемкости оборудования при одновременном увеличении его надежности и срока службы. Сталь целесообразно также использовать для работы в сернокислых, азотнокислых и фосфорнокислых средах, а также вместо стали типа X17H14M2(3)T в условиях, вызывающих питтинговую коррозию. Сталь может быть рекомендована для работы в сероводородсодержащих средах с парциальным давлением сероводорода (P_{H_2S}) до $3,0$ Н/мм² и углекислого газа (P_{CO_2}) до 30 Н/мм² при температуре до 150 °С.

Физические свойства

Плотность — $7,98 \cdot 10^3$ кг/м³.

Температурный коэффициент линейного расширения α

$t, ^\circ\text{C}$	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600	20–700	20–800	20–900	20–1000
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	15,6	16,2	17,0	17,4	17,8	18,2	18,7	19,1	19,5	19,9

Технологические параметры. Сталь 02X25H22AM2-ПТ имеет высокую технологичность при горячей и холодной деформации. Температурный интервал горячей пластической деформации $1200^{+30}-980$ °С. Термическая обработка металлопродукции состоит в нагреве до 1100 ± 10 °С и охлаждения в воде. Аналогичную термическую обработку применяют для снятия наклепа после горячей и холодной пластической деформации.

Структура стали в горячекатаном состоянии аустенитная мелкозернистая (№ 9–10); феррита практически нет ($< 0,5$ %). Металл чист по неметаллическим включениям. Рекристаллизация зерен аустенита в образцах листового проката происходит при нагреве до 1100 °С. После выдержки при этой температуре структура листового проката имеет размер зерна № 7–8.

Сварка. Сталь 02X25H22AM2-ПТ сваривается ручной аргоно-дуговой сваркой с использованием присадочной проволоки Св-01X23H23M3ТЗ. Сварные соединения стали не подвержены межкристаллитной и ножевой коррозии при эксплуатации в окислительных средах.

СТАЛЬ 02X25H22AM2 (02X25H22AM2)

Применение	ТУ
Для изготовления сварного химического оборудования, работающего под воздействием концентрированной азотной кислоты при высоких температурах (85%-ная концентрация и выше при температуре до 100 °С)	ТУ 14-1-3812-84
	ТУ 14-1-3801-85
	ТУ 14-1-5076-91
	ТУ 14-1-3233-81
	ТУ 14-1-1024-81
	ТУ 14-1-3164-81
	ТУ 14-1-3660-83

Примечание. Сталь выплавляют с использованием специальных методов выплавки: электрошлакового переплава, плазменно-дугового и вакуумно-дугового переплава.

Химический состав, ТУ 14-1-3233-81

Массовая доля компонентов, %							
C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Fe
≤ 0,02	≤ 0,6	5,4-6,7	7,5-10,0	21,0-23,0	≤ 0,02	≤ 0,03	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			
горячекатаный круглый	Ø 12-38	ТУ 14-1-3233-81	ОАО "Электро- сталь"
кованый круглый	Ø 55-100		
квадратный	□ 75-125		
Лист:			
горячекатаный	4,0-6,0×1000×2000	ТУ 14-1-3801-84	ОАО "Ашинский метзавод"
	8,0-11,0×1000×1500-1000		
холоднокатаный	1,0-3,9×710-1000×2000	ТУ 14-1-5076-91	
Заготовка трубная	Ø 180	ТУ 14-1-3164-81	ОАО "Электро- сталь"
	Ø 150 и 160	ТУ 14-1-3660-83	ОАО "Мечел"
Труба бесшовная	Ø 25-57	ТУ 14-3-1024-81	ОАО "Никополь- ский ЮТЗ"
Проволока сва- рочная	Ø 2,0-4,0	ТУ 14-1-3233-83	ОАО "Электро- сталь"

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	KCU , Дж/см ²
		не менее			
ТУ 14-1-3812-84	Пруток	520	175	45	70
ТУ 14-1-3801-85	Лист горячекатаный	540	195	40	-
ТУ 14-1-5076-91	Лист холоднокатаный	540	195	40	-
ТУ 14-3-1024-81	Труба бесшовная	588	195	35	-
ТУ 14-1-3233-81	Проволока сварочная	Не контролируются			

**Механические свойства при высоких температурах
(сорт Ø 15 мм, закалка с 1050 °С в воде)**

$t_{исп}$, °С	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	KCU , Дж/см ²	n , об	$M_{кр}$, Н·м
700	320	280	77	-	9	-
800	200	190	112	370	17	31
900	90	80	133	350	29	18
1000	50	30	153	260	38	11
1100	33	17	147	220	43	60
1150	20	15	140	120	24	-
1200	15	10	112	30	12	40
1250	-	-	-	30	-	-

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной деформации

Степень обжатия, %	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta, \%$	Степень обжатия, %	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta, \%$
0	720	300	72	70	1340	1230	5
10	820	600	45	80	1390	1340	3
30	1030	940	23	90	1500	1430	2
50	1190	1110	8				

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-3801-84, ТУ 14-1-5076-91 сталь 02Х8Н22С6 не должна быть склонна к межкристаллитной коррозии после испытания в кипящем 72%-ном растворе азотной кислоты в течение 24 ч. Перед испытанием сталь подвергается провоцирующему нагреву при 600 °С в течение 20 мин, охлаждение на воздухе.

Скорость коррозии стали в азотной кислоте

HNO ₃ , %	$v_{\text{кор}},$ мм/год, при температурах		HNO ₃ , %	$v_{\text{кор}},$ мм/год, при температурах	
	90 °С	100 °С		90 °С	100 °С
65	0,33	0,71	85	0,11	0,20
75	0,22	0,50	93	0,05	0,14

Примечание. Сталь обладает повышенной стойкостью к коррозионному растрескиванию в 42%-ном растворе хлористого магния.

Физические свойства. Плотность — $7,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность — $0,134 \cdot 10^2$ Вт/(м · К) при 20 °С.

Модуль упругости — $17,8 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Модуль упругости (E) и температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{\text{исп}},$ °С	$E \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²	$t_{\text{исп}},$ °С	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
100	17,0	20-100	12,3
200	16,4	20-200	14,4
400	15,2	20-400	15,7
600	14,0	20-600	16,6
700	13,2	20-800	17,4
800	12,2	20-900	17,9
		20-1000	18,0

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации стали 02Х8Н22С6 составляет 1150-850 °С, в горячем и холодном состоянии сталь хорошо подвергается гибке, а также штамповке.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1050 °С в воде; время нагрева и выдержки задают из расчета 2 мин/мм толщины полуфабриката или изделия. Аналогичную обработку применяют и для снятия наклепа после горячей и холодной пластической деформации.

Сварка. Сталь 02Х8Н22С6 сваривается ручной и автоматической сваркой. Для ручной электродуговой сварки используют электроды марки ОЗЛ-24 с проволокой из стали 02Х17Н14С4. Для автоматической электродуговой и ручной аргоно-дуговой сварки рекомендуется проволока из стали 02Х8Н22С6. Скорость коррозии сварных соединений, выполненных всеми указанными способами, в 98%-ной HNO₃ при 100 °С составляет 0,22 мм/год. Во избежание возникновения склонности сварных соединений к межкристаллитной коррозии оборудование после сварки необходимо подвергать термической обработке (закалка с 1050 °С в воде).

Применение	ТУ
Для изготовления сварного химического оборудования по производству концентрированной азотной кислоты (85-98 %) нитрат-магниевым способом при температуре до 110 °С и для других весьма агрессивных условий эксплуатации	ТУ 14-1-4800-90 ТУ 14-1-4795-90 ТУ 14-1-4723-89 ТУ 14-1-4724-89 ТУ 14-3-1854-92 ТУ 14-1-4978-91

Примечание. Сталь выплавляют в вакуумных индукционных печах.

Химический состав, ТУ 14-1-4800-90								
Массовая доля компонентов, %								
C	Si	Cr	Ni	Nb	Fe	Ti	S	P
≤ 0,015	5,0-6,0	13,0-15,0	18,0-20,0	0,10-0,25	Осн.	≤ 0,05	≤ 0,020	≤ 0,030

Сортамент			
Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный			
круглый	Ø 30-70	ТУ14-1-4800-90	ОАО "Мечел"
кованый			
круглый	Ø 72-145		
квадратный	□ 80-125		
Лист:			
горячекатаный	8,0-20,0×1200×3500-5000	ТУ14-1-4795-90	ОАО "Мечел"
	4,0-6,0×1000×2000	ТУ14-1-4723-89	ОАО "Ашинский метзавод"
холоднокатаный	8,0-11,0×1000×1500-1000	ТУ14-1-4724-89	
	1,0-3,9×1000×2000		
Труба бесшовная	-	ТУ14-3-1854-92	ОАО "Первоуральский Новотрубный завод"
Проволока сварочная	Ø 2,0-4,0	ТУ14-1-4978-91	-

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1080 °С в воде или на воздухе.

Нормированные механические свойства при 20 °С					
ТУ	Вид продукции	σ _B , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ, %	KCU, Дж/см ²
		не менее			
ТУ 14-1-4800-84	Прутки	590	245	60	70
ТУ 14-1-4795-90	Лист горячекатаный	590	245	50	-
ТУ 14-1-4723-89	Лист холоднокатаный	590	245	50	-
ТУ 14-1-4724-89	Лист холоднокатаный	590	245	50	-
ТУ 14-3-1854-92	Труба бесшовная	590	245	50	-

Механические свойства при высоких температурах (лист, закалка с 1060 °С в воде)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$
800	160	145	62	92	1100	30	20	80	95
900	80	70	78	100	1200	20	15	80	90
1000	40	25	80	100					

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной деформации

Степень обжатия, %	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	Степень обжатия, %	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$
20	760	360	55	70	830	450	30
40	760	400	54	90	880	590	21
60	770	420	28				

Коррозионная стойкость. По ТУ14-1-4795-90, ТУ14-1-4723-89, ТУ14-1-4724-89, ТУ14-3-1854-92 сталь не должна быть склонна к межкристаллитной коррозии после испытания в кипящем 72%-ном растворе азотной кислоты в течение 24 ч. Перед испытанием сталь подвергается провоцирующему нагреву при 600 °С в течение 20 мин, охлаждение на воздухе.

Скорость коррозии стали в азотной кислоте

Концентрация кислоты	72 % HNO_3			85 % HNO_3			98 % HNO_3		
$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	100	110	120	100	110	120	100	110	120
$v_{кор}, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	0,22-0,33	0,50	0,47	0,16-0,21	0,19-0,30	0,22	0,4-0,5	0,49-0,68	0,58-0,60

Физические свойства.

Плотность — $7,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Модуль упругости — $18 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения α

$t, ^\circ\text{C}$	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900	20-1000
$\alpha \cdot 10^6, \text{ К}^{-1}$	16,0	17,0	17,7	18,0	18,1	18,6	19,0	19,4	19,7	20,1

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации стали 015Х14Н19С6Б-ВИ составляет 1150-900 °С. Сплав может подвергаться гибке, штамповке в горячем и холодном состоянии. Сталь сваривается аргоно-дуговой сваркой с использованием в качестве присадочного материала проволоки Св-015Х14Н19С6Б или Св-02Х8Н22С6.

Глава 7. СПЛАВЫ НА ЖЕЛЕЗОНИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

Согласно ГОСТ 5632–72 “Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные” к сплавам на железоникелевой основе относятся сплавы, основная структура которых является твердым раствором хрома и других легирующих элементов в железоникелевой основе (сумма никеля и железа более 65 % при приблизительном отношении никеля к железу 1 : 1,5).

Промышленное применение высоколегированных сплавов на Fe–Cr–Ni основе обусловлено благоприятным сочетанием свойств, достигаемых на их базе. В зависимости от легирования эти сплавы характеризуются высокой коррозионной стойкостью в сильно агрессивных средах, немагнитностью, окалиностойкостью, хладостойкостью, способностью к упрочнению, особыми физико-механическими свойствами [1–3].

В отечественной практике для службы в растворах серной кислоты применяют железохромоникелевые сплавы типа ХН28МДТ, которые представлены двумя модификациями: 06ХН28МДТ (ЭИ943) и 03ХН28МДТ (ЭП516) [1, 4]. Они характеризуются одинаковой стойкостью к общей коррозии в серной кислоте при более высокой стойкости к межкристаллитной коррозии сплава 03ХН28МДТ за счет пониженного содержания углерода ($\leq 0,03$ %).

После оптимальной термической обработки, состоящей в закалке с 1050–1080 °С в воду, сплавы имеют чисто аустенитную структуру с отдельными вкраплениями первичных карбонитридов титана.

В интервале 600–800 °С в сплавах выделяются по границам зерен преимущественно карбиды хрома типа $M_{23}C_6$, при 800–900 °С наблюдается выделение высокохромистой σ -фазы; образование обеих избыточных фаз, содержащих хром, может при определенных условиях стать причиной развития межкристаллитной коррозии.

Склонность к межкристаллитной коррозии сплава 06Х28МДТ наступает после нагрева при 700 °С в течение 20 мин. Снижение содержания углерода до 0,020 % увеличивает инкубационный период при наиболее опасных температурах нагрева примерно на 1,5–2 ч.

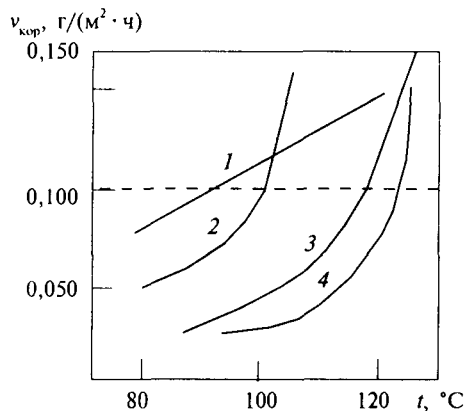
Сплавы 06ХН28МДТ ($\sigma_b \geq 550$ Н/мм², $\sigma_{0,2} \geq 220$ Н/мм², $\delta_5 \geq 35$ %) и 03ХН28МДТ предназначены для службы в условиях производства H_2SO_4 различных концентраций до 80 °С, сложных минеральных удобрений, экстракционной фосфорной кислоты и других средах повышенной агрессивности. Сплавы используют для изготовления сварной химической аппаратуры, в том числе реакторов, теплообменников, трубопроводов и т. д. В зарубежной практике для аналогичного применения используют сплавы Cronifer 2328 [5], сплав 904L [6] и другие.

Для работы в растворах серной и фосфорной кислот, загрязненных такими коррозионно-активными примесями, как хлориды, фториды (в которых вышеуказанные сплавы недостаточно стойки) создан сплав с повышенным содержанием хрома (до 27 %), никеля и молибдена марки ХН30МДБ (ЭК77) [7].

Сплав ХН30МДБ (ЭК77) ($\sigma_B \geq 540 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{0,2} \geq 290 \text{ Н/мм}^2$, $\delta_5 \geq 35 \%$) предназначен для работы в экстракционной фосфорной кислоте (до 54 % P_2O_5 + F до 1,8 %) при температуре до 120 °С ($v_{\text{кор}} \leq 0,1 \text{ мм/год}$) (рис. 1). Сплав успешно эксплуатируется в виде погружных теплообменников в производстве концентрированных и сложных минеральных удобрений [8].

Рис. 1. Влияние температуры среды на скорость коррозии высоколегированных материалов:

1 — сталь 02Х21Н25МДБ (ЭК5); 2 — сталь 06ХН28МДТ (ЭИ943); 3 — сплав Х23Н63М9 (Inconel 625); 4 — сплав ХН30МДБ (ЭК77) [7]



Кроме того, сплав ХН30МДБ обладает высокой коррозионной стойкостью в нейтральных средах, минеральных кислотах в широком диапазоне концентраций органических кислот. Сплав имеет высокую стойкость против питтинговой ($v_{\text{кор}} < 0,10 \text{ мм/год}$ в 6% FeCl_3 при 20 °С), щелевой и межкристаллитной коррозии, стоек против коррозионного растрескивания, в том числе в сероводородсодержащих средах.

Зарубежным аналогом ХН30МДБ являются сплавы Sanicro-28 и Cronifer 3127hMo (последний имеет до 6 % Mo) [5]. Сравнительные исследования сплава ХН30МДБ с зарубежными аналогами показали, что отечественный сплав по коррозионным (рис. 2) и механическим свойствам не уступает последним [7].

Сплавы системы Fe—20 % Cr—40—45 % Ni—3—7 % Mo—2 % Cu [марки ХН40МДБ (ЭП937), Nicrofer 4823hMo, Inco alloy G-3, Incoloy 825 и др.] обладают исключительно высокой стойкостью против точечной и язвенной коррозии, коррозионного растрескивания в хлоридах и сероводородсодержащих средах [5, 6, 9].

Сплав ХН40МДБ (ЭП937) [9] ($\sigma_B \geq 490 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{0,2} \geq 195 \text{ Н/мм}^2$, $\delta_5 \geq 30 \%$) весьма стоек ($v_{\text{кор}} < 0,10 \text{ мм/год}$) в растворах H_2SO_4 (при концентрации до 60 % и температуре 80 °С), в кипящих растворах HNO_3 (до 40 %) и H_3PO_4 (до 40 %), в муравьиной кислоте всех концентраций.

Сплав рекомендуется в качестве деформируемого свариваемого немагнитного материала для химического оборудования, контактирующего с сильно агрессивными средами восстановительного и окислительного характера, в том числе со средами, содержащими ионы хлора и сероводород.

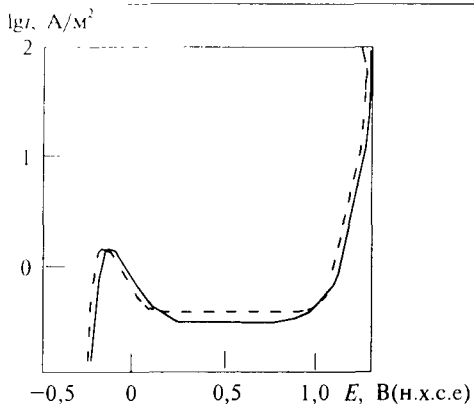


Рис. 2. Анодные поляризационные кривые сплавов марок: 1 — Microfer 3127hMo; 2 — ХН30МДБ (ЭК77) в 50% H_3PO_4 при 90 °C [7]

Для изготовления различной химической аппаратуры (центробежные сепараторы, центрифуги и др.), подвергающейся одновременному воздействию агрессивной среды и механических напряжений, применяют высокопрочный дис-

персионно-твердеющий сплав ХН40МДТЮ (ЭП543) [1, 2] (16 % Cr, 40 % Ni, 5,5 % Mo, 3 % Ti, 1 % Al, 3 % Cu при $C \leq 0,04$). В прутках диаметром 50–190 мм сплав после закалки с 1050–1100 °C, охлаждения на воздухе и старения при 750 °C имеет следующий уровень механических свойств: $\sigma_B \geq 900 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{0,2} \geq 700 \text{ Н/мм}^2$, $\delta_5 \geq 10 \%$. В нагартованной проволоке ($\varnothing 0,5$ –2,0 мм) достигается прочность $\sigma_B \geq 1500 \text{ Н/мм}^2$.

Сплав ХН40МДТЮ применяют для деталей и винтовых пружин подземного скважинного оборудования, работающего на сероводородсодержащих месторождениях. Он достаточно стоек против сероводородного растрескивания: ($\sigma_B \geq 0,8 \sigma_{0,2}$) и стоек против общей коррозии в данных средах при температуре 70 °C и давлении 1,7 Н/мм² (балл стойкости 1 по ГОСТ 13819–68).

Библиографический список

1. Ульянин Е. А. Коррозионностойкие стали и сплавы: Справочник. — М.: Металлургия, 1991. — 255 с.
2. Структура и коррозия металлов и сплавов: Справочник / Под ред. Е. А. Ульянина. — М.: Металлургия, 1989. — 397 с.
3. Ульянин Е. А., Свистунова Т. В., Левин Ф. Л. Коррозионностойкие сплавы на основе железа и никеля. — М.: Металлургия, 1986. — 262 с.
4. Бабаков А. А., Приданцев М. В. Коррозионностойкие стали и сплавы. — М.: Металлургия, 1971. — 318 с.
5. Высококачественные материалы фирмы "KRUPP VDM": Каталог / Пер. с нем. — М.: ЦНИИЧМ, 1993. Брошюра № 35 1993–10. — 84 с.
6. ASM Special Information Society: Handbook. Stainless Steel. The materials / V. R. Davis, 1994. — 577 p.
7. Свистунова Т. В., Лапшина О. Б., Фельдгандлер Э. Г. // Защита металлов. 1996. Т. 32. № 4. С. 381–385.
8. Добролюбов В. В., Петровская В. А., Свистунова Т. В., Лапшина О. Б. // Прогрессивные методы и средства защиты металлов и изделий от коррозии: Сб. трудов ВМНИИК. — М.: ВМНИИК, 1988. — 29 с.
9. Шаповалов Э. Т., Устименко М. Ю. // Защита металлов. 1993. Т. 29. № 2. С. 231–236.
10. Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов: Справочник. — М.: Металлургия, 1990. — 320 с.

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления сварной химической аппаратуры (реакторы, теплообменники, трубопроводы, емкости), работающей при температуре до 80 °С в серной кислоте (кроме 55 %), экстракционной фосфорной, уксусной и других средах повышенной агрессивности в производстве сложных минеральных удобрений	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 5949-75 ГОСТ 7350-77 ГОСТ 4986-79 ГОСТ 5582-75 ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81 ТУ 14-3-822-79 ТУ 14-3-763-78

Примечание. Сплав выплавливают в дуговых электрических печах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %											
C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Mo	Cu	S	P	Fe	
$\leq 0,06$	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	22,0-25,0	26,0-29,0	0,5-0,9	2,5-3,0	2,5-3,5	$\leq 0,020$	$\leq 0,035$	Ост.	

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			
горячекатаный круглый, квадратный	Ø □ 5–200	ГОСТ 5949–75	ОАО “Мечел” ОАО “Златоустовский метзавод”
кованный круглый, квадратный	Ø □ 40–200	ГОСТ 5949–75	ОАО “Электросталь”
Лист			
горячекатаный	δ = 4,0–50,0	ГОСТ 7350–77	ОАО “Мечел” ОАО “Красный Октябрь”
холоднокатаный	δ = 1,5–3,9	ГОСТ 5582–75	ОАО “Ашинский метзавод”
Лента холоднока- таная	0,7–3,9×1000×2000	ГОСТ 5582–75	ОАО “Серп и Молот”
	δ = 0,05–2,0, рулон	ГОСТ 4986–78	ОАО “Мечел”
Заготовка трубная кованая	–	ТУ 14-1-2214–77	ОАО “Серп и Молот”
			ОАО “Электросталь”
			ОАО “Мечел” ОАО “Златоустовский метзавод”
Труба бесшовная:			
горячедеформи- рованная холодно(тепло)- деформирован- ная	Ø 57–325	ГОСТ 9940–81	ОАО “Волжский трубный завод”

Примечание. Рекомендуют режим термической обработки: закалка с 1080 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
		не менее		
ГОСТ 5949-75	Прутки	по согласованию		
ГОСТ 7350-77	Лист горячекатаный	550	220	35
ГОСТ 5582-75	Лист холоднокатаный	550	—	35
ГОСТ 4986-78	Лента	560	—	25
ГОСТ 9940-81	Труба горячедеформированная	490	—	30
ГОСТ 9941-81	Труба холоднодеформированная	490	—	—

Механические свойства при низких и повышенных температурах

(лист 12,0 мм, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
-196	—	—	—	—	200
20	620	270	55	78	350
200	550	270	45	75	350
400	550	180	50	60	350
600	500	150	45	60	350

Механические свойства при высоких температурах

(лист 16,0 мм, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	n, об	$M_{кр}$, Н · м
800	250	180	40	45	110	3	180
900	180	150	30	40	120	6	130
1000	100	90	25	40	100	22	70
1100	50	—	35	40	100	24	100
1200	—	—	—	—	—	22	40

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной пластической деформации

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %
0	590	240	24	60	40	980	970	10	44
10	750	700	19	44	60	1050	1020	5	—
20	800	770	12	45	80	1200	—	5	—

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 5949-75, ГОСТ 7350-77, ГОСТ 4986-79, ГОСТ 9940-81 и ГОСТ 9941-81 сплав не должен быть склонным к межкристаллитной коррозии по методам В и ВУ ГОСТ 6032-89 с продолжительностью испытаний в контрольном растворе соответственно 144 и 48 ч; по ГОСТ 5582-75 предусмотрено испытание только методом В. Перед испытанием сплав подвергают провоцирующему нагреву при 700 °С в течение 20 мин по ГОСТ 5949-75, ГОСТ 7350-77 и нагреву при 650 °С в течение 1 ч по ГОСТ 5582-75.

Скорость коррозии сплава в серной кислоте при 80 °С на базе 100 ч испытаний

H ₂ SO ₄ , %	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$v_{кор}$, г/(м ² · ч)	0,015	0,0080	0,230	0,140	0,009	0,20	1,14	0,31	0,27

Основные электрохимические и коррозионные характеристики сплава в 50 %-ной серной кислоте при 50 и 80 °С

50 % H ₂ SO ₄ при температурах:	50 °С	80 °С
Стационарный потенциал (φ_c), В	0,074	0,079
Скорость саморастворения, г/(м ² · ч)	$2,73 \cdot 10^{-2}$	$2,86 \cdot 10^{-1}$
Потенциал пассивации (φ_n), В	0,15	0,15
Критический ток пассивации (i_n), А/см ²	$1,585 \cdot 10^{-5}$	$2,29 \cdot 10^{-4}$
Ток полной пассивации ($i_{п.п.}$), А/см ²	$7,67 \cdot 10^{-7}$	$1,73 \cdot 10^{-6}$
Скорость коррозии ($v_{кор}$), г/(м ² · ч)	$1,96 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$

Физические свойства.

Плотность — $7,96 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность — $0,134 \cdot 10^2$ Вт/(м · К) при 20 °С.

Удельное электросопротивление — $0,75 \cdot 10^{-6}$ Ом · м при 20 °С.

Магнитная проницаемость — 1,255 (мкТл · м)/А при 20 °С в поле 500 Э.

Модуль упругости (E), коэффициент теплопроводности (λ), температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{исп.}$ °С	$E \cdot 10^{-4}$, Н/мм ²	λ , Вт/(м · К)	$t_{исп.}$ °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	$t_{исп.}$ °С	$E \cdot 10^{-4}$, Н/мм ²	λ , Вт/(м · К)	$t_{исп.}$ °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
100	19,10	13,4	20–100	10,90	600	15,60	24,1	20–600	15,25
200	18,61	15,1	20–200	12,85	700	15,11	25,4	20–700	16,80
300	17,86	17,1	20–300	13,60	800	14,53	26,1	20–800	16,25
400	17,06	92,7	20–400	14,40	—	—	—	20–900	16,80
500	16,10	21,7	20–500	14,85					

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации сплава 06ХН28МДТ при ковке, прокатке и штамповке 1170–900 °С. Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием.

Сварка. Сплав 06ХН28МДТ сваривается ручной и автоматической сварками в защитном газе и с применением флюса. При ручной электродуговой сварке используют электроды ОЗЛ-17У и ОЗЛ-37-2 со стержнем из проволоки Св-03ХН25МДГБ и Св-03ХН25МДГ. При автоматической электродуговой сварке, а также аргонодуговой сварке применяют тот же присадочный материал. В качестве флюса рекомендуется марка АН-18.

Применение

ГОСТ, ТУ

Для изготовления сварного оборудования в производстве серной кислоты всех концентраций до 80 °С, нитрофоски, экстракционной фосфорной кислоты и других производств для сред повышенной агрессивности.

Основное отличие сплава 03ХН28МДТ от сплава 06ХН28МДТ заключается в более высокой стойкости к межкристаллитной коррозии основного металла и сварных соединений

ГОСТ 5632-72
ГОСТ 5949-75
ГОСТ 7350-77
ТУ 14-1-756-73

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %										
C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Mo	Cu	S	P	Fe
0,03 < 0,8 ≤ 0,8	22,0–25,0	26,0–29,0	0,5–0,9	2,5–3,0	2,5–3,5	≤ 0,020	≤ 0,035	Ост.		

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
---------------	-------------	----------	--------------------

Прутки:

горячекатаный

круглый, квадратный

Ø □ 5–200

ГОСТ 5949–75

С.З.

кованый

круглый, квадратный

Ø □ 40–200

ГОСТ 5949–75

Лист:

горячекатаный

δ = 5,0–20,0

ГОСТ 7350–77

С.З.

холоднокатаный

δ = 1,6–4,0

ТУ 14-1-756–73

Проволока

Ø 1,2–7,5

ГОСТ 2246–70

ОАО “Электросталь”

(Св-01Х23Н28М3Д3Т)

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅
		не менее		
ГОСТ 5949–75	Прутки	По согласованию		
ГОСТ 7350–77	Лист горячекатаный	550	220	35
ТУ 14-1-756–73	Лист холоднокатаный	550	220	35

Механические свойства при высоких температурах

(лист 12,0 мм, закалка с 1050 °С в воде)

t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %	n, об	M _{кр} , Н · м
800	190	160	64	66	2,5	34
900	95	85	85	77	7,8	24
1000	60	40	81	65	12,6	18
1100	40	25	54	47	12,6	11
1200	30	25	54	43	13,8	80

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 5949–75, ГОСТ 7350–77 сплав 03ХН28МДТ не должен быть склонным к межкристаллитной коррозии по методу В и ВУ ГОСТ 6032–89 с продолжительностью испытания в контрольном растворе соответственно 144 и 48 ч. По ТУ 14-1-756–73 предусмотрено испытание только по методу В. Испытания на межкристаллитную коррозию проводят после провоцирующего нагрева при 700 °С в течение 60 мин (ГОСТ 5949–75, ГОСТ 7350–77) и 20 мин (ТУ 14-1-756–73).

По сравнению со сплавом 06ХН28МДТ низкоуглеродистый сплав 03ХН28МДТ обладает более высокой стойкостью к межкристаллитной коррозии в сварных соединениях. Стойкость сплава 03ХН28МДТ против общей коррозии аналогична сплаву 06ХН28МДТ.

Коррозионная стойкость в серной кислоте различной концентрации при 80 °С

H ₂ SO ₄ , %	10	20	30	40	50	60	70	80	90
v _{кор} , г/(м ² · ч)	0,015	0,0080	0,230	0,140	0,009	0,20	1,14	0,31	0,27

Для сплава 03ХН28МДТ в закаленном состоянии механические и физические свойства, склонность к наклепу, а также технологичность при операциях горячей и холодной пластической деформации и обработка резанием близки к сплаву 06ХН28МДТ.

Сварка. Сплав 03ХН28МДТ удовлетворительно сваривается электродуговой, аргоно-дуговой ручной и автоматической сваркой. В качестве присадочного материала при всех методах сварки используют проволоку Св-01ХН28МДТ; для ручной электродуговой сварки применяют электроды ОЗЛ-17У; для автоматической электродуговой сварки — флюс АН-18.

7.3. СТАЛЬ ХИМИКА (03ХН28МДТ)

Применение	ТУ
Для изготовления сварной химической аппаратуры, работающей в особо агрессивных средах производства сложных минеральных удобрений (в фосфорной и серной кислотах, сильно загрязненных галогенами), в целлюлозно-бумажной и нефтеперерабатывающей промышленности.	ТУ 14-1-4056-85 ТУ 14-1-5156-92 ТУ 14-1-5155-92 ТУ 14-1-4745-89 ТУ 14-1-4998-91 ТУ 14-3-1711-90
Рекомендуется для изготовления деталей и узлов газопроводного оборудования, работающего в сероводород-содержащих средах	

Примечание. Сплав выплавляют в индукционных печах, а также методом электрошлакового переплава.

Химический состав, ТУ14-1-4056-85

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	S	P	Fe
≤ 0,02	≤ 0,2	0,5-1,8	27,0-29,0	29,0-31,0	2,8-3,5	0,9-1,5	0,05-0,2	≤ 0,020	≤ 0,020	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			
горячекатаный			
круглый	Ø 20–38	ТУ 14-1-4056–85	ОАО “Электро-сталь”
круглый, квадратный	Ø □ 40–100; L > 500		
Лист:			
горячекатаный	4,0–8,0×1000×2000 9,0–10,0×1000×1300–1600	ТУ 14-1-5156–92	ОАО “Ашинский метзавод”
холоднокатаный	1,5–3,9×1000×2000	ТУ 14-1-5155–92	
Проволока сварочная	Ø 1,2–5,0	ТУ 14-1-4998–91	ОАО “Белорецкий меткомбинат”
Заготовка трубная кованая	Ø 180	ТУ 14-1-4745–89	ОАО “Электросталь”
Труба бесшовная холодно(тепло)деформированная	Ø 20–85	ТУ 14-3-1711–90	ОАО “Никопольский ЮТЗ”

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1070 ± 10 °С, охлаждение в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %
		не менее		
ТУ 14-1-4056-85	Пруток	490	295	30
ТУ 14-1-5156-92	Лист горячекатаный	540	290	35
ТУ 14-1-5155-92	Лист холоднокатаный	540	290	35
ТУ 14-3-1711-90	Труба бесшовная	588	294	34

Механические свойства при низких и повышенных температурах

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	Твердость НВ
<i>Лист 10 мм, закалка с 1070 °С в воде</i>					
20	760	420	45	50	189
500	600	250	40	55	—
700	520	250	38	58	—
<i>Труба $\varnothing 57 \times 3,0$ мм, закалка с 1100 °С в воде</i>					
20	680-760	350-390	40-42	—	—
100	651-670	340-350	40-42	—	—
200	600-610	290-300	36-38	—	—
300	570-575	260-280	34-35	—	—
400	550-560	240-250	35-37	—	—
500	540-560	230-250	38-41	—	—

Механические свойства при высоких температурах

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	n, об	$M_{кр}$, Н · м
<i>Лист 10 мм, закалка с 1070 °С в воде</i>							
900	240	170	70	89	137	—	—
1000	95	78	96	81	135	—	—
1050	68	60	83	72	—	—	—
1100	54	46	66	61	85	—	—
1150	43	38	51	48	40	—	—
<i>Пруток $\square 90$ мм, закалка с 1100 °С в воде</i>							
800	250	240	70	75	180	—	—
900	200	180	100	100	200	—	—
1000	130	80	80	90	170	6	200
1100	60	50	80	75	80	11	120
1200	30	30	70	55	30	12	60

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-4056-85, ТУ 14-1-5156-92, ТУ 14-1-5155-92, ТУ 14-1-4745-89, ТУ 14-3-1711-90 сплав не должен быть склонен к межкристаллитной коррозии по методу ВУ ГОСТ 6032-89. Перед испытаниями сплав подвергают нагреву при 700 °С в течение 60 мин с последующим охлаждением на воздухе.

Сплав коррозионностоек в технической фосфорной кислоте, загрязненной ионами хлора и фтора.

Коррозионная стойкость сварных соединений сплава ХН30МДБ-Ш в различных промышленных средах производства экстракционной фосфорной кислоты

Аппарат	Состав среды	$t, ^\circ\text{C}$	Фаза установки образца	$v_{\text{кор}}, \text{мм/год}$
Погружной теплообменник (стадия упарки ЭФК)	$\text{P}_2\text{O}_5 = 46-54 \%$; $\text{F}^- = 0,1-1,8 \%$; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,4-0,5 \%$	120	Жидкая	0,1
Экстрактор (дигидратный процесс)	$\text{P}_2\text{O}_5 = 28-30 \%$; $\text{F}^- = 2 \text{ г/м}^3$; $\text{SO}_3 = 2-2,5 \text{ г/м}^3$	75-80	Жидкая	0,01
Экстрактор (полугидратный процесс)	$\text{P}_2\text{O}_5 = 36-38 \%$; $\text{F}^- = 2 \text{ г/м}^3$;	95-100	Жидкая	0,04
	$\text{F}^- = 1-3 \text{ г/м}^3$	60-70	Газовая	0,006

Примечание. Сплав обладает высокой коррозионной стойкостью в нейтральных средах, минеральных кислотах, в широком диапазоне концентраций органических кислот; имеет высокую стойкость против питтинговой, шелевой и межкристаллитной коррозии и коррозионного растрескивания под напряжением, в том числе в сероводородсодержащих средах.

Коррозионная стойкость сплава ХН30МДБ (в закаленном состоянии)

Тип коррозии	Методика испытаний	Стойкость
Питтинговая	6 % FeCl_3 , 20 $^\circ\text{C}$, 72 ч	$v_{\text{кор}} < 0,1 \text{ мм/год}$
Шелевая	1 % $\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$ при $\text{pH} = 1$	Удовлетворительная
Сероводородное коррозионное растрескивание	50 г/л NaCl , насыщенного H_2S (2,8-2,3 г/л) и подкисленного CH_3COOH до $\text{pH} = 2,9-3,0$; 720 ч	$v_{\text{кор}} < 0,01 \text{ мм/год}$

Примечание. Сплав рекомендуется для работы в сероводородсодержащих средах с парциальным давлением сероводорода до 3,0 Н/мм² и углекислого газа до 30 Н/мм² при температуре до 150 $^\circ\text{C}$.

Физические свойства.

Плотность — $8,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Температура плавления — 1300–1350 $^\circ\text{C}$.

Модуль упругости — $19,5 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Коэффициент теплопроводности (λ), удельное электросопротивление (ρ), температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{K)}$	$\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$	$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
20	11,4	1,0	20-100	15,2
100	12,9	1,07	20-200	16,1
200	14,3	1,16	20-300	16,8
300	15,5	1,22	20-400	17,0
400	16,7	1,25		

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации сплава ХН30МДБ при ковке, прокатке и штамповке 1180–950 $^\circ\text{C}$. Сплав хорошо обрабатывается в горячем и холодном состоянии; удовлетворительно обрабатывается резанием.

Сваривается аргоно-дуговой сваркой с использованием в качестве присадочного материала сварочной проволоки сплава Св-ХН30МДБ и дуговой сваркой вольфрамовым электродом в среде инертного газа.

7.4 СПЛАВ ХН40МДБ-ВИ (ЭП937-ВИ)

Применение	ТУ
В качестве деформируемого свариваемого немагнитного материала для химического оборудования, предназначенного для особо агрессивных сред с восстановительными и окислительными свойствами: технологические линии производства контактной серной кислоты, экстракционной фосфорной кислоты, сернокислые среды гидрометаллургических производств, растворы кремнефтористоводородной, муравьиной, уксусной, азотной и других кислот, а также содержащие ионы хлора и сероводород	ТУ 14-1-2121-77 ТУ 14-1-2131-77 ТУ 14-1-2149-77

Примечание. Сплав выплавляют в вакуумных индукционных печах.

Химический состав, ТУ 14-1-2121-77												
Массовая доля компонентов, %												
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	Ce	Al	N	Y	Fe
≤ 0,03	≤ 0,20	0,8—1,5	20,0—22,0	39,0—42,0	5,0—6,5	1,5—2,2	15 · C-0,8	Расч. 0,030	≤ 0,2	≤ 0,03	≤ 0,20	Ост.

Сортамент			
Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный			
круглый, квадратный	Ø □ 20-100	ТУ 14-1-2121-77	ОАО "Электро-сталь"
кованый			
круглый, квадратный	Ø □ 20-100		
Лист горячекатаный	4,0-10,0×1000× ×2000-1300	ТУ 14-1-2131-77	ОАО "Ашинский метзавод"
Проволока сварочная	Ø 1,6-4,0	ТУ 14-1-2149-77	ОАО "Серп и Молот"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1060 ± 10 °С, охлаждение в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С				
ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ТУ14-1-2131-77	Лист горячекатаный	490	195	30

Механические свойства при низких и повышенных температурах (лист 7 мм, закалка с 1060 °С в воде)						
t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ, %	ψ, %	KCU _{прод} , Дж/см ²	KCU _{попереч} , Дж/см ²
-196	—	—	—	—	290	267
-100	—	—	—	—	330	300
-60	—	—	—	—	340	—
-40	—	—	—	—	335	300
20	635	275	47	69	320	296
150	575	245	43	61	295	266
350	540	195	47	53	315	290
500	525	185	45	41	335	270
600	495	175	58	38	305	247

Механические свойства при высоких температурах

(лист 7 мм, закалка с 1060 °С в воде)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$KCU_{\text{прод}},$ Дж/см ²	$KCU_{\text{попереч}},$ Дж/см ²
700	390	165	47	65	280	220
800	255	160	75	90	240	200
900	140	125	78	90	200	190
1000	70	65	102	90	250	210
1100	45	35	123	90	210	200
1200	25	20	115	90	160	165

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-2131-77 сплав не должен быть склонен к межкристаллитной коррозии по методу ВУ ГОСТ 6032-89. Перед испытанием сплав подвергают нагреву при 700 °С в течение 20 мин.

Сплав ХН40МДБ-ВИ стоек против межкристаллитной коррозии при испытаниях методами АМ, АМУ (ГОСТ 6032-89) после нагревов при температурах 550-950 °С продолжительностью до 100 ч, а также по методу ВУ ГОСТ 6032-89 после нагрева при 800 °С в течение 2 ч.

Сплав не склонен к коррозионному растрескиванию в кипящем растворе 42 %-ного хлористого магния и кипящем растворе 50 %-ной серной кислоты.

Сплав обладает устойчивостью против точечной и язвенной коррозии при испытании в растворах хлорного железа, а также в технологических средах производства концентрированной серной кислоты, экстракционной фосфорной кислоты, в средах гидрометаллургического производства.

Скорость коррозии, г/(м² · ч), в растворах кислот различной концентрации и температур

Серная кислота							
$c, \%$	10	20	30	40	50	60	70
$t = 80 ^\circ\text{C}$	0,008	0,009	—	0,041	0,080	0,095	0,937
$t_{\text{кип}}$	0,17	0,30	0,31	0,39	1,54	—	—
Азотная кислота							
$c, \%$	5	20	40	58	65	72	
$t_{\text{кип}}$	0,006	0,033	0,063	0,23	2,27	10,46	
Фосфорная кислота							
$c, \%$	5	20	40	60	80	87	
$t_{\text{кип}}$	0,0040	0,0130	0,0730	0,3065	0,5911	1,7791	
Муравьиная кислота							
$c, \%$	5	20	40	60	80	96,5	
$t_{\text{кип}}$	0,065	0,057	0,115	0,102	0,060	0,020	

Физические свойства.

Плотность — $8,26 \cdot 10^3$ кг/м³.

Температура плавления — 1370-1400 °С.

Магнитная проницаемость — $< 1,007$ (мкТл · м)/А при 20 °С.

Модуль упругости (E), коэффициент теплопроводности (λ), удельное электросопротивление (ρ), температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{\text{исп.}}, ^\circ\text{C}$	$E \cdot 10^{-4}, \text{Н/мм}^2$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	$\rho \cdot 10^6, \text{Ом} \cdot \text{м}$	$t_{\text{исп.}}, ^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{К}^{-1}$
20	21,2	12,1	1,07	20–100	12,8
100	20,4	10,7	1,09	20–200	13,8
200	20,0	—	1,12	20–300	13,4
300	19,6	12,5	1,15	20–400	14,3
400	18,8	15,2	1,18	20–500	14,6
500	18,5	19,8	1,21	20–600	14,8
600	17,8	21,5	1,23	20–700	15,3
700	16,6	23,2	1,24	20–800	15,4
800	15,9	25,0	1,25	20–900	16,0
900	—	—	1,26	—	—
1000	—	—	1,27	—	—

Технологические параметры. Температурный интервал горячей пластической деформации сплава ХН40МДБ-ВИ при ковке, прокатке и штамповке 1180–900 °С. Хорошо обрабатывается в горячем и холодном состоянии, удовлетворительно обрабатывается резанием.

Сплав сваривается аргоно-дуговой сваркой с использованием в качестве присадочного материала проволоки сплава ХН40МДБ-ВИ и ручной дуговой сваркой электродами со стержнем из проволоки Св-ХН40МДБ-ВИ. Сплав ХН40МДБ-ВИ подвергается композиционной сварке со сплавами 06ХН28МДТ (ЭИ943) и ХН65МВ (ЭП567).

Применение	ТУ
Для изготовления различной химической аппаратуры (центробежные сепараторы, центрифуги и др.), подвергающейся при эксплуатации одновременно воздействию агрессивной среды, а также упругих чувствительных элементов (мембран, сильфонов, пружин), работающих в высокоагрессивных средах при повышенных температурах.	ТУ 14-1-4042-85 ТУ 14-1-1754-76 ТУ 14-1-3190-81 ТУ 14-1-3528-83 ТУ 14-1-3639-83
Сплав обладает высокой коррозионной стойкостью в растворах серной и фосфорной кислот, в газоконденсатных средах, содержащих повышенное количество сероводорода и углекислого газа	ТУ 14-1-1214-82 ТУ 14-1-3546-83

Химический состав, ТУ 14-1-1754-77

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Al	S	P	Fe
$\leq 0,04$	$\leq 0,50$	$\leq 0,80$	14,0–17,0	39,0–42,0	4,5–6,0	2,7–3,3	2,5–3,2	0,7–1,2	$\leq 0,020$	$\leq 0,035$	Ост.

Сортамент			
Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Пруток			
горячекатаный			
круглый	Ø 8–70	ТУ 14-1-4042–85	ОАО “Электросталь”
кованный	Ø 60–190		
пресс-изделия	Ø 80–190	ТУ 14-1-3190–81	
Поковка	Ø 200–350	ТУ 14-1-1754–76	ОАО “Электросталь”
Проволока			
пружинная	Ø 0,5–5,0	ТУ 14-1-3528–83	–
длиномерная	Ø 1,8–2,5; L = 5000–3000	ТУ 14-1-3639–83	
Канат длиномерный	Ø 4,6; L = 4000–5000	ТУ 14-1-1214–82	–
Лента холоднокатаная	0,1–2,0×400×L	ТУ 14-1-35460–83	–

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
		не менее				
ТУ 14-1-4042–85	Пруток	880*1	685	10	10	340
ТУ 14-1-1754–76	Поковка	1000*2	800	10	10	400
		900*1	700	10	10	400

*1 Закалка с 1050–1100 °С, 1,5–2,0 ч, охлаждение на воздухе, старение при 750 °С в течение 5–10 ч, охлаждение на воздухе.

*2 Старение при 600–630 °С в течение 5 ч, охлаждение на воздухе.

Механические свойства при низких и комнатной температурах
(пруток Ø 16 и □ 90 мм)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
–253	1770 / 1820	940 / 1340	18 / 11–24	13 / 6–11	74 / 17
–196	1620 / 1700	850 / 1280	28 / 13	26 / 11	90 / 20
–70	1320 / 1560	720 / 1180	32 / 19	37 / 13	100 / 22
20	1290 / 1520	720 / 1120	31 / 19	37 / 21	105 / 24

П р и м е ч а н и е. Термообработка — закалка с 1050 °С, на воздухе + старение при 650 °С в течение 5–8 ч (числитель) и деформация + старение при 650 °С в течение 5 ч (знаменатель)

Механические свойства при высоких температурах

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²	n , об	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²	n , об
900	300	46	71	100	25	1160	40	97	96	45	13
1000	100	160	95	360	50	1180	30	103	94	10	0,5
1100	60	118	88	280	37	1200	30	21	26	10	0,5
1150	50	146	98	200	23						

П р и м е ч а н и е. Пруток □ 90 мм, закалка с 1050–1100 °С, на воздухе.

Влияние степени холодной деформации (числитель) и последующего старения при 650 °С, 5 ч, охлаждение на воздухе (знаменатель) на твердость сплава
(лист 6 мм, закалка 1050 °С в воде)

Степень обжатия, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Твердость НВ	160/240	250/320	260/350	290/380	300/400	310/430	320/450	340/460	350/480

Коррозионная стойкость. Сплав ХН40МДТЮ (независимо от режима термической обработки и деформации) имеет высокую стойкость против общей коррозии в растворах серной кислоты концентрацией до 60 % при температуре до 80 °С, при этом минимальная стойкость 0,15–0,20 мм/год соответствует концентрации серной кислоты 20–30 %. В растворах фосфорной кислоты при концентрации до 70 % и температуре до 80 °С скорость коррозии сплава не превышает 0,05 мм/год. Сплав может быть использован в полифосфорной кислоте концентрацией 110–115 % при повышенных температурах (скорость коррозии при 135 °С в газовой фазе менее 0,0007 мм/год; в жидкой – 0,15 мм/год); в 10 %-ной фтористоводородной кислоте при 70 °С скорость коррозии составляет 0,11 мм/год.

Сплав применяют для аппаратурного оформления газоконденсатных месторождений с содержанием в природном газе сероводорода до 6 % и углекислого газа до 6 %. Скорость коррозии сплава в дистилляте, насыщенном сероводородом при температуре до 70 °С и давлении до 1,7 Н/мм² не более 0,0003 мм/год.

Сплав ХН40МДТЮ не склонен к коррозионному растрескиванию в кипящем 42 %-ном растворе хлористого магния при значениях напряжения, равных 0,75 и 1,2 σ_y ; 0,92 σ_y , а также технологических растворах кислородных соединений хлора, содержащих 200 г/л NaCl + окислитель при 90 °С.

Испытания коррозионной стойкости проводили для сплава, термообработанного на максимальное упрочнение по режиму: старение при 650 °С в течение 5 ч с охлаждением на воздухе непосредственно после горячей пластической деформации.

Физические свойства. Плотность – $8,05 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность – $0,121 \cdot 10^2$ Вт/(м · К) при 20 °С.

Модуль упругости – $20,84 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения α								
$t, ^\circ\text{C}$	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600	20–700	20–800
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	8,15	11,0	12,0	12,8	13,6	14,1	19,9	16,2

Технологические свойства. Горячая деформация сплава ХН40МДТЮ осуществляется в интервале температур 1160–950 °С; если старение проводить непосредственно после горячей пластической деформации, то температура конца деформации должна быть ниже температуры рекристаллизации сплава, т.е. ниже 920 °С. Смягчающей термической обработкой является закалка с 1050–1100 °С в воде или на воздухе. Сплав имеет удовлетворительную технологичность при горячей и холодной пластической деформации и обработке резанием.

Термическую обработку проводят по двум схемам в зависимости от требуемого уровня прочности:

1) горячая пластическая деформация + старение 600–650 °С, 5 ч, охлаждение на воздухе;

2) закалка с 1050–1100 °С на воздухе + старение при 650–750 °С, охлаждение на воздухе.

Сварка. Сплав может свариваться аргоно-дуговой сваркой с использованием в качестве присадочного материала проволоки Св-04ХН40МДТЮ. Однако сварные соединения без образования горячих трещин могут быть получены при толщине сварных элементов до 6 мм. Наилучшую устойчивость против образования горячих трещин в околошовной зоне сплав имеет после предварительной обработки по схеме: деформация + низкотемпературное старение (650 °С). Контактная шовная сварка сплава ХН40МДТЮ в толщинах 0,16–0,26 мм со сплавами ХН40МДТЮ и ХН28МДТ (ЭП943), а также со сталями типа Х18Н10Т обеспечивает получение качественного сварного шва высокой вакуумной плотности.

Глава 8. СПЛАВЫ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

Интенсификация существующих и развитие ряда новых технологических процессов в химической и нефтехимической промышленности с более высокими параметрами по температуре, давлению и агрессивности сред, а также ужесточение норм по охране окружающей среды, стимулируют потребность в материалах с более высокими служебными характеристиками.

Для данных отраслей, где рабочие среды (HCl , H_2SO_4 , $\text{HNO}_3 + \text{HF}$, FeCl_3 , H_2SiF_6 и др.) характеризуются особо высокой агрессивностью, в том числе при повышенных температурах, когда коррозионностойкие стали и сплавы на железоникелевой основе недостаточно стойки, в России и за рубежом разработана и внедрена большая группа коррозионностойких сплавов на основе никеля [1–11].

Для никеля характерно благоприятное сочетание свойств: высокой коррозионной стойкости во многих агрессивных средах [4], высоких механических свойств, хорошей обрабатываемости в горячем и холодном состоянии. Никель обладает способностью растворять в большом количестве многие элементы, такие как хром, молибден, железо, медь [1]. Наиболее важными легирующими элементами в коррозионностойких никелевых сплавах являются хром, молибден и медь.

Коррозионная стойкость одних никелевых сплавов связана с пассивностью, а других — с тем, что они имеют достаточно высокий равновесный потенциал и не замещают водород в кислых средах. Этим объясняется большое число сред, в которых никелевые сплавы могут с успехом использоваться: кислоты, соли и щелочи (как с окислительным, так и с неокислительным характером), морская и пресная вода, а также атмосфера.

Коррозионностойкие никелевые сплавы относятся к следующим трем основным системам легирования: Ni-Mo ; Ni-Cr и Ni-Cr-Mo [1–3, 5–11].

Современные высоколегированные свариваемые структурностабильные коррозионностойкие сплавы на основе никеля включают:

- никельмолибденовые сплавы [марок Н65М-ВИ (ЭП982-ВИ), Н70МФВ-ВИ (ЭП814А-ВИ), Hastelloy В-2, Nimofer S6928], имеющие исключительно высокую стойкость в средах неокислительного характера — в соляной, фосфорной, серной кислотах, влажном хлористом водороде, органических кислотах при повышенных температурах (рис. 1, а, б).

- никельхромомолибденовые сплавы [марок ХН63МБ (ЭП758У), ХН65МВУ (ЭП760), ХН56МД, Hastelloy С-276, Hastelloy С-22, Nicrofer 5923hMo], обладающие высокой коррозионной стойкостью в широкой гамме высокоагрессивных сред окислительного и восстановительного характера (рис. 1, б–д); в водных растворах хлоридов меди (до 20 %) и железа (до 35 %); растворах серной, фосфорной, уксусной и муравьиной кислот, за-

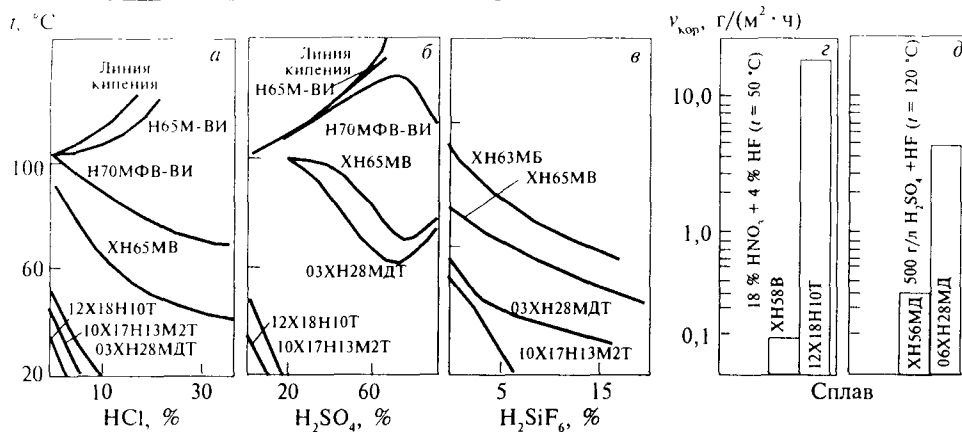


Рис. 1. Коррозионная стойкость сплавов и сталей в растворах соляной (а), серной (б) и кремнефтористоводородной (в) кислот различной концентрации и температуры ($v_{кор} = 0,1$ мм/год), а также в нитратно-фторидном (г) и сульфатно-фторидном (д) растворах [5]

грязненных ионами хлора и фтора; в сухом хлоре; мокром хлористоводородном газе; в кремнефтористоводородной кислоте; в смесях кислот и других агрессивных средах;

— никельхромовые сплавы [марок ХН58В (ЭП795), Nicrofer 6030], имеющие высокую стойкость в растворах азотной кислоты в присутствии фтор-иона при высоких температурах (рис. 1, г).

Составы сплавов характеризуются сбалансированным содержанием основных (Mo, Cr, Cr + Mo) и дополнительных (V, W, Fe) легирующих элементов, а также регламентированно низким содержанием в них примесных элементов (C, Si, S, P) [5–7]. Это обеспечивает сплавам высокую стойкость против общей коррозии в соответствующих средах и против различных видов локальной коррозии, технологичность при изготовлении различных видов металлургической и машиностроительной продукции [1, 2, 5, 11].

Наряду с высокой коррозионной стойкостью в агрессивных средах никелевые сплавы имеют ряд других особенностей, к которым относятся: высокая пластичность от отрицательных температур до 1200 °С, в 1,5–2 раза более высокие значения прочностных свойств, твердости и электросопротивления, чем у стали 12Х18Н10Т, и в 1,5–2 раза более низкие значения температурного коэффициента линейного расширения (Ni-Mo сплавы) и теплопроводности, чем у широко распространенных коррозионно-стойких сплавов на основе железа. Сплавы немагнитны, они обладают способностью к деформации в горячем и холодном состоянии, обрабатываются механическими способами и свариваются.

Опыт эксплуатации показывает, что применение материалов данной группы для сред с высокими параметрами агрессивности позволяет существенно увеличить срок службы и эксплуатационной надежности ответственного химического оборудования.

Сравнительное исследование отечественных сплавов на основе никеля (марок Н65М-ВИ; ХН65МВ; ХН63МБ) с зарубежными сплавами близкого состава (соответственно: Hastelloy В-2, Nimofe 6928; Hastelloy С-276; Nicrofer 5715hMoW; Hastelloy С-22; Nicrofer 5923 hMo [2, 8–11]), проведенное в ЦНИИЧМ и НИИХиммаше, показало, что первые не уступают, а в ряде случаев превосходят последние по комплексу эксплуатационных свойств.

В данной группе сплавов, имеющих однофазный твердый раствор с ГЦК-решеткой, высокий уровень механических свойств может быть достигнут за счет холодной пластической деформации.

В другой группе сплавов на основе никеля и железа высокий уровень прочностных свойств достигается за счет дисперсионного твердения при легировании их алюминием, титаном или ниобием.

Свариваемость никелевых и железоникелевых сплавов, упрочняемых дисперсионным твердением, в большинстве случаев ограничена из-за склонности сложнолегированных сплавов к трещинообразованию в температурном интервале старения. Критерием склонности дисперсионотверждающего сплава к трещинообразованию в околошовной зоне сварных соединений является длительность изотермической выдержки, приводящей к появлению трещин. Повышенное содержание железа в сплавах этого типа (например, ЭП666) обеспечивает повышенную пластичность сплава в диапазоне температур старения (650–850 °С). Высокой деформационной способности этого сплава при данных температурах [1, 2] способствует также то, что упрочнение в данном случае достигается за счет ниобийсодержащей γ' -фазы, кинетика образования которой предпочтительнее по сравнению с γ' -фазой на основе титана.

Библиографический список

1. Ульянов Е. А., Свистунова Т. В., Левин Ф. Л. Коррозионностойкие сплавы на основе железа и никеля. — М.: Металлургия, 1986. — 262 с.
2. Ульянов Е. А. Коррозионностойкие стали и сплавы: Справочник. — М.: Металлургия, 1991. — 255 с.
3. Высоколегированные материалы фирмы “Крупп ВДМ”: Каталог / Пер. с нем. — М.: ЦНИИЧМ, 1993. Брошюра № 351 993-10. — 84 с.
4. Туфатов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов. — М.: Металлургия, 1990. — 320 с.
5. Свистунова Т. В., Сакута Н. Д. // Тр. конф. “Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке”. — М.: Металлургия, 1994. Т. 5. С. 151.
6. Свистунова Т. В. // МИТОМ. 1994. № 9. С. 9–12.
7. Свистунова Т. В. // МИТОМ. 1995. № 7. С. 30–35.
8. Рокель М. В., Уайт Ф. Е. // Химическое и нефтяное машиностроение. 1992. № 8. С. 25–31.
9. Херда В., Рокель М. // Химическое и нефтяное машиностроение. 1995. № 7. С. 31–34.
10. Diekmann H. W. Nickel und Nickelbasislegierungen als hochkorrosionsbeständige Werkstoffe in der Chemietechnik “VDI-Ber”. 1986. № 600/2. S. 81.
11. Friend W. Z. Corrosion of Nickel and its alloys. — New York.: Wiley. 1980. V. III. — 459 p.
12. Сорокина Н. А., Ульянов Е. А., Тащилов В. С. и др. // МИТОМ. 1971. № 10. С. 20–26.

8.1. НИКЕЛЬ МАРОК НН2, НН1А, НН1А-ИД

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления сварного химического оборудования в производствах жидкого хлора, хлора, каустической соды и др. Рекомендуемые рабочие параметры: температура стенки от -70 до 500 °С; давление не более 1,6 Н/мм ²	ГОСТ 13083 ТУ 48-0815-84-92 ТУ 48-0815-80-92 ТУ 48-0814-11/0-83 ТУ 14-3-1591-88

Химический состав, % (по массе)

Марка никеля	Ni	Cu	O ₂	S	Fe	Mg	Mn	C	ТУ
	не более								
НП2	≥ 99,5	0,25	—	—	0,4	0,05	0,35	0,02	ТУ 48-0815-84-92
НП1А	Осн.	0,004	—	0,002	0,018	0,003	0,003	0,031	ТУ 14-3-1591-88
НП1А-ИД	Осн.	0,006	—	0,004	0,023	0,035	0,003	0,023	ТУ 48-0814-11/0-83

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
---------------	-------------	----------	--------------------

Никель марки НН2

Лист:

горячекатаный	4-20×400-700×1500-2000	ТУ 48-0815-84-92	ОАО "Южурал-никель"
холоднокатаный	5×710×2000; 8×600×2000	ТУ 48-0815-80-92	
Плита горячекатаная	25×600-1000×1500-2000 36×600-1000×1000-2000	ТУ 48-0815-84-82	ОАО "Южурал-никель"

Прутки:

катаный	Ø 42-60, L = 1000-4000	ГОСТ 13083	ОАО "Южурал-никель"
тянутый	Ø 5-40, L = 1500-4000		

Никель марки НН1А

Труба бесшовная холоднодеформированная	Ø 19×1,7, L = 7320	ТУ 48-0814-11/0-83	ОАО "Южурал-никель"
	Ø 22×2,0, L = 6050		
	Ø 25×2,5, L = 6000		
	Ø 30×2,5, L = 1000		

Никель марки НН1А-ИД

Труба бесшовная горячепрессованная	Ø 89×5,0, L = 1000	ТУ 14-3-1591-88	ОАО "Южурал-никель"
	Ø 114×6,0, L = 7000		
Труба бесшовная холоднодеформированная	Ø 38×1,6, L = 7500	ТУ 14-3-1591-88	ОАО "Южурал-никель"
	Ø 45×2,0, L = 6150-7100		
	Ø 48×1,5, L = 7000		
	Ø 50×2,2, L = 7000		
	Ø 60×4,0, L = 6000		

Нормированные механические свойства сплава при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %
<i>не менее</i>					
ТУ 48-0815-80-92	Лист холоднокатаный (отожженный)	430	—	25	—
ТУ 48-0815-84-92	Лист и плита горячекатаные	372	—	25	—
ТУ 14-3-1591-88	Труба: горячепрессованная	323	196	42	85,6
		382	196	40	—
ТУ 48-0814-11/0-83	Труба холоднодеформированная	392	—	25	—

Примечание. Механические свойства плит факультативные. Для никеля НП2 рекомендуется нагрев при 620–700 °С, выдержка 3 мин/мм толщины, но не менее 30 мин, охлаждение на воздухе.

Механические свойства при комнатной и повышенных температурах

$t_{исп.}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	$t_{исп.}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %
<i>Никель марки НП2 (лист толщиной 8 мм, отжиг 650 °С)</i>							
20	430	—	—	300	392	—	—
100	392	—	—	400	314	—	—
200	392	—	—	500	265	—	—
<i>Никель марки НП1А (трубы холоднокатаные $\varnothing 25 \times 2,5$ и $\varnothing 30 \times 2,5$ мм, отжиг 650 °С, 1,5 ч, охлаждение на воздухе)</i>							
100	416	298	35	400	300	200	43
300	366	251	44	500	263	237	33
<i>Никель марки НП1А-ИД (труба горячепрессованная $\varnothing 114 \times 6$ мм/холоднокатаная $\varnothing 38 \times 1,8$ мм)</i>							
20	323/382	—	—	400	288	—	—
100	357	—	—	500	225	—	—
200	350	—	—	600	166	—	—
300	337/382	—	—				

Коррозионная стойкость. Никель исключительно стоек:

— в горячих и холодных щелочных и нейтральных растворах солей (карбонаты, нитриты, сульфаты, хлориды, ацетаты), не обладающих окислительным характером;

— в разбавленных неокислительных неорганических и органических кислотах при низких или средних температурах;

— до 540 °С в контакте с сухим хлором, хлористым водородом, фтором и фтористым водородом, а в контакте с сухим диоксидом серы до 320 °С. В гидроксиды натрия и калия — при температуре до 350 °С.

Физические свойства.

Плотность — $8,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,92 \cdot 10^2$ Вт/(м К).

Сварка (режимы, свойства сварных соединений). Сварка сосудов и аппаратов из никеля осуществляется ручной аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом и ручной дуговой сваркой. При сварке никеля необходимо обеспечить защиту шва и околошовной зоны от окружающей среды. В качестве присадочного материала

та при аргоно-дуговой сварке применяют сварочную проволоку НМц АТК-0,15-2,5-0,15 по ТУ 48-21-284-73.

Режимы сварки: 40–120 А для толщин 1,0–4,0 мм, 180–250 А для толщин 6,0–12,0 мм.

Механические свойства сварного соединения, выполненного ручной аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом, следующие: $\sigma_b = 420 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{0,2} = 225 \text{ Н/мм}^2$, $KCU = 130 \text{ Дж/см}^2$.

8.2. СПЛАВ Н70МФВ-ВИ (ЭП814А-ВИ)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления сварной химической аппаратуры (емкости, теплообменники, реакторы), эксплуатирующейся при повышенных температурах в солянокислых средах, концентрированных растворах серной, фосфорной и уксусной кислот, в производстве уксусной кислоты, галоидоводородных кислот, ионообменных смол, полипропилена, в процессах органического синтеза, химико-фармацевтических препаратов. При температуре стенки от -70 до 500°C и давлении среды не более $5,0 \text{ Н/мм}^2$	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 3239-81 ТУ 14-1-2260-77 ТУ 14-1-4684-89 ТУ 14-1-2230-77 ТУ 14-3-1227-83

Примечание. Сплав выплавляют в вакуумных индукционных печах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %											
C	Si	Mn	Mo	Ni	W	V	Ti	Fe	Cr	S	P
$\leq 0,02$	$\leq 0,10$	$\leq 0,5$	25,0–27,0	Осн.	0,10–0,45	1,4–1,7	$\leq 0,15$	$\leq 0,5$	$\leq 0,3$	$\leq 0,020$	$\leq 0,025$

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный		ТУ 14-1-2260-77	ОАО "Электро-сталь"
круглый	$\varnothing 20-55$		
кованый			
круглый	$\varnothing 40-100$		
квадратный	$\square 40-100$		
Лист горячекатаный	4–7×1000×2000	ГОСТ 3239-81	ОАО "Ашинский метзавод"
	8–9×1000×2000–1300	ТУ 14-1-4684-89	
	12–20×1000×1300–500		
Лента холоднокатаная	$h = 0,4-2,0$; $b = 365$ и 400; L – рулона	ТУ 14-1-2230-77	ОАО "Серп и Молот"
Труба электросварная	$\varnothing 25-76$; $L = 3000$	ТУ 14-3-1227-83	ОАО "ФИЛИТ"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки (по ТУ 14-1-4684-89, ТУ 14-1-2230-77, ТУ 14-3-1223-83): закалка с $1070 \pm 20^\circ\text{C}$ в воде, продолжительность нагрева 4–5 мин/мм толщины.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	Твердость, НВ
		не менее			не более
ТУ 14-1-2260-77	Пруток	688	294	25	—
ТУ 14-1-4684-89	Лист горячекатаный	784	363	40	220
ТУ 14-1-2230-87	Лента	833	392	40	—
ТУ 14-3-1227-83	Труба электросварная	780	340	35	—

Механические свойства при низких и повышенных температурах

(лист 10 мм, закалка с 1070 °С в воде)

$t_{\text{исп}}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
20	930-980	450-500	45-66	55-65	200-240
500	930-980	450-500	45-50	56-65	200-240
600	500-700	300-380	20-35	30-38	150-230
700	500-580	400-420	10-20	10-30	180-210

Механические свойства при высоких температурах

(лист 10 мм, закалка с 1070 °С в воде)

$t_{\text{исп}}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
800	500-520	300-350	20-28	25-35	160-180
900	300-350	300	40-60	35-50	140-160
1000	200	150-200	60-90	40-60	120
1100	100	80	42	55	110
1200	50	50	35	65	80

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной деформации

(лист 2,0 мм, закалка перед холодной деформацией с 1070 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	KCU, Дж/см ²	Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	KCU, Дж/см ²
0	980	500	50	230	15	1150	1000	30	150
10	1050	700	50	200	25	1100	1050	15	120

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-4684-89, ТУ 14-1-2230-77, ТУ 14-3-1227-83, ТУ 14-1-2260-77 сплав должен быть стоек против межкристаллитной коррозии после провоцирующего отпуска при 800 °С в течение 30 мин и испытания в контрольном кипящем 21%-ном растворе соляной кислоты в течение 200 ч.

Имеет высокую коррозионную стойкость в широкой гамме высокоагрессивных сред восстановительного характера;

— в соляной кислоте любой концентрации и при любой температуре, включая кипение; в интервале концентраций 1-37%-ной HCl при 20 и 70 °С, в кипящих растворах соляной кислоты концентрации до 10 % скорость коррозии сплава с 27 % Mo не превышает 0,2 мм/год; в кипящих растворах соляной кислоты концентрации 15-21 % — не превышает 0,3-0,4 мм/год;

— в 10-93%-ной H₂SO₄ при 95 °С и в кипящих растворах 10-40%-ной H₂SO₄ скорость коррозии не превышает 0,1 мм/год; в 1-10%-ной H₂SO₄ при 70 °С, когда кислота обладает окислительными свойствами, скорость коррозии равна 0,2 мм/год;

— в фосфорной кислоте всех концентраций, за исключением 94%-ной, до 140 °С скорость коррозии сплава составляет менее 0,02 мм/год. В полифосфорных кислотах при 100-200 °С скорость коррозии не превышает 0,4 мм/год;

в галогенах (фтор, бром, иод), чистых или содержащих кислоты восстановительного характера, такие как фтористоводородная (концентраций до 80 % при комнатной температуре и до 10 % при 70 °С), бромистоводородная, иодистоводородная и хлорсульфоновая;

— во влажном хлористом водороде;

— в ряде органических кислот, в том числе муравьиной (при 10–90%-ной HCOOH при кипении, 50–80%-ной HCOOH при 140 °С под давлением) и уксусной (50–80%-ной CH_3COOH при кипении, 98%-ной CH_3COOH при 165 °С под давлением).

Сплав обладает также 1-м баллом стойкости в соляной (5–37%-ной концентрации до температуры кипения) и серной кислоте (до 50%-ной концентрации при температуре кипения, до 55%-ной концентрации при 120 °С), а также в хлоридах.

Никельмолибденовые сплавы не стойки в азотной кислоте, хлоридах металлов (железа, меди и т.д.) и в других средах, обладающих окислительными свойствами. Даже весьма незначительные количества (10^{-4} %) окислителей (хлора, кислорода, ионов трехвалентного железа и меди и т.п.) в растворах соляной и серной кислот резко снижают коррозионную стойкость никельмолибденовых сплавов. Присутствие в этих средах окислителей недопустимо.

Физические свойства.

Плотность — $9,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Теплопроводность — $0,113 \cdot 10^2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ при 20 °С.

Удельное электросопротивление — $1,55 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при 20 °С.

Удельная теплоемкость — $378 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ при 20 °С.

Модуль упругости сдвига — $23 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 20–100 °С; $22 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 20–400 °С; $20 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 500–700 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения α

$t, ^\circ\text{C}$	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600	20–700	20–800	20–
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	8,0	9,5	9,5	10,0	10,4	10,2	10,2	11,22	12,

Технологические параметры. Сплав подвергается горячей и холодной деформации практически всеми известными методами формоизменения (ковке, прокатке, штамповке, прессованию и волочению). Температурный интервал горячей пластической деформации 1220–950 °С; необходима длительная выдержка при температуре нагрева под деформацию.

Сплав обладает более высокой способностью к нагартовке по сравнению с аустенитными сталями типа 18-10 и поэтому требует большего числа промежуточных подогревов при обработке давлением. После окончательной обработки изделия должны обязательно подвергаться термической обработке, которая состоит из нагрева при 1070+20 °С с выдержкой 3–5 мин/мм сечения и охлаждения в воде или под водяным душем.

Обработку резанием сплава (точение, сверление, фрезерование и др.) ведут при пониженных скоростях. В качестве режущего инструмента используют твердые сплавы ВК3, ВК3М, ВК6М, а для сверления — сплавы ВК10, ВК10М, ВК15, ВК15М.

Сварка. Сплав сваривается ручной аргоно-дуговой и электродуговой сваркой. Для аргоно-дуговой сварки в качестве присадочного материала используют проволоку Н70М-ВИ (ЭП495) по ТУ 14-1-673–82) или Н65М-ВИ (ЭП982) по ТУ 14-1-3281–81, а для электродуговой — электроды ОЗЛ-23. Сварку необходимо вести с минимальным тепловложением, для чего применяют интенсивное охлаждение.

Сварные соединения обладают высокими механическими свойствами металла шва ($\sigma_{\text{ш}} = 720 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{0,2} = 350 \text{ Н/мм}^2$, $\delta_5 = 35 \%$, $KCU = 150 \text{ Дж/см}^2$) и стойки против межкристаллитной коррозии, в том числе ножевого типа.

8.3. СПЛАВ Н65М-ВИ (ЭП982-ВИ)**Применение****ТУ**

Для изготовления сварной химической аппаратуры, эксплуатирующейся в особо агрессивных средах восстановительного характера (в солянокислых, сернокислых, фосфорнокислых растворах, уксусной и галоидноводородных кислотах и т.д.) при температуре стенки от -70 до 500°C и давлении не более $5,0 \text{ Н/мм}^2$. Для аппаратурного оформления технологических процессов производства уксусной кислоты из метанола и оксида углерода, ионообменных смол, полипропилена, химико-фармацевтических препаратов, продуктов органического синтеза и т.д.

Примечание. Сплав выплавляют в вакуумно-индукционных печах.

Химический состав, ТУ 14-1-2674-79**Массовая доля компонентов, %**

C	Si	Mn	Mo	Ni	W	Fe	Cr	S	P
$\leq 0,02$	$\leq 0,05$	$\leq 0,5$	30,0–32,0	Осн.	0,05–0,45	2,0–3,0	$\leq 0,3$	$\leq 0,015$	$\leq 0,01$

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Продукт:			
горячекатаный			
круглый	$\varnothing 20-55$	ТУ 14-1-2674-79	ОАО "Электросталь"
кованный			
круглый	$\varnothing 40-100$		
квадратный	$\square 40-100$		
Лист:			
горячекатаный	4–7×1000×2000	ТУ 14-1-4719-89	ОАО "Ашинский метзавод"
	8–9×1000×2000–1600		
	10×1000×1300×1500		
	11–25×900–1200×5000–6500	ТУ 14-1-4673-89	ОАО "Мечел"
холоднокатаный	1,5–3,9×1000×2000	ТУ 14-1-2879-80	ОАО "АМЗ"
Лента холоднокатаная			
	0,4–2,0×365 и 400×	ТУ 14-1-4202-87	ОАО "Серп и Молот"
	L – рулона		
Труба электро-сварная			
	$\varnothing 25-76$; $L = 3000$	ТУ 14-3-1478-87	ОАО "ФИЛИТ"
Проволока сварочная			
	$\varnothing 1,0-3,0$	ТУ 14-1-3281-81	ОАО "Электросталь"

Примечание. Рекомендуются режим термической обработки (по ТУ 14-1-4719-89, ТУ 14-1-4673-89, ТУ 14-1-2879-80, ТУ 14-1-4202-87, ТУ 14-3-1227-83): закалка с $1100 \pm 20^{\circ}\text{C}$ в воде, продолжительность нагрева 4–5 мин/мм толщины.

Нормируемые механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	Твердость НВ
		не менее			
ТУ 14-1-2674-79	Пруток	686	294	25	—
ТУ 14-1-2879-80	Лист горячекатаный	780	365	40	241
ТУ 14-1-4673-89	Лист горячекатаный	780	365	40	—
ТУ 14-1-4719-89	Лист холоднокатаный	833	372	40	—
ТУ 14-1-4202-87	Лента	830	365	35	—
ТУ 14-3-1478-87	Труба электросварная	830	365	35	—

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(лист 10 мм, закалка с 1070 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
20	920-1050	420-520	50-60	55-62	400	620-950	350-450	45-50	40-46
100	900-1000	470-480	50-58	54-59	500	760-980	310-450	37-56	31-44
200	870-950	400-480	48-55	45-50	600	780-990	390-440	40-50	26
300	820-950	350-450	46-50	42-48	700	660-710	380-400	30-34	23-28

Механические свойства при высоких температурах
(лист 10 мм, закалка с 1100 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
800	590-630	310-430	62-73	69-76	—
900	330-380	280-380	84-89	90	190
1000	180-210	164-180	103-106	90	250
1100	96-110	88-93	82-108	63-78	>360
1200	50-70	45-70	85-125	65-87	>280
1250	40-60	40-50	50-60	40-60	260

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной деформации
(проволока Ø 3 мм, закалка перед холодной деформацией с 1100 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	ψ , %	Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	ψ , %
0	980	520	50	42	15	1180	1020	25	30
5	1100	840	35	37	20	1200	1050	20	22
10	1150	950	27	35					

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-1-2674-79, ТУ 14-1-2879-80, ТУ 14-1-4719-89, ТУ 14-3-1478-87 сплав должен быть стоек против межкристаллитной коррозии после провоцирующего отпуска при 800 °С в течение 30 мин и испытания в контрольном кипящем 21%-ном растворе HCl в течение 200 ч.

Сплав Н65М-ВИ, отличающийся от сплава Н70МФВ-ВИ более высоким содержанием молибдена, имеет более высокую коррозионную стойкость в широкой гамме высокоагрессивных сред восстановительного характера в связи с чем рекомендуется для более агрессивных сред взамен Н70МФВ-ВИ.

Физические свойства, а также **технологические параметры** для сплавов Н65М-ВИ и Н70МФВ-ВИ близки (приведены ранее).

8.4 СПЛАВ ХН58В (ЭП795)**Применение**

Для изготовления сварного оборудования, эксплуатирующегося в растворах азотной кислоты, в том числе в присутствии ионов фтора, например в плавиковоазотнокислых травильных растворах. Для изготовления сварных травильных ванн и металлоизделий, эксплуатирующихся в азотноплавиковых растворах

ГОСТ, ТУ

ГОСТ 5632-72
ГОСТ 3239-81
ТУ 14-131-756-88
ТУ 14-1-4362-87
ТУ 14-1-4363-87
ТУ 14-1-2715-79
ТУ 14-131-224-75

Примечание. Сплав выплавляют в открытых индукционных печах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72**Массовая доля компонентов, %**

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Fe	S	P
≤ 0,030	≤ 0,15	≤ 1,0	39,0-41,0	Осн.	0,5-1,5	≤ 0,8	≤ 0,012	≤ 0,015

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный круглый	Ø 20-55 по ГОСТ 22411-77 по 2-й группе точности Ø 60-70 с предельным отклонением ±2,5 мм	ТУ 14-131-756-88	ОАО "Электро- сталь"
кованый круглый	Ø 60-70 по ГОСТ 22411-77		
квадратный	□ 60-70		
Лист:			
горячекатаный	4-8×1000×2000 9-10×1000×1500-700	ГОСТ 3239-81 ТУ 14-1-4363-87	ОАО "Ашинский метзавод"
холоднокатаный	1,5-3,9×1000×2000	ТУ 14-1-4362-87	
Заготовка трубная кованая	Ø 180	ТУ 14-131-224-75	ОАО "Электро- сталь"
Проволока сва- рочная	Ø 2,0-4,0	ТУ 14-1-2715-79	ОАО "Электро- сталь"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки (по ТУ 14-1-4362-87, ТУ 14-1-4363-87): заковка с 1070 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _т , Н/мм ²	δ, %
		не менее		
ТУ 14-1-4363-87	Лист горячекатаный	735	345	30
ТУ 14-1-4362-87	Лист холоднокатаный	740	345	35
ТУ 14-131-224-75	Заготовка трубная	735	345	30

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(лист 3 мм, закалка с 1070 °С в воде)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_T, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_T, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
20	850–980	400–590	40–50	47–50	400	800–850	400–480	40–42	35–39
100	850–950	400–550	40–50	45–50	500	800–830	400–460	35–37	33–35
200	850–940	400–500	40–50	45–50	600	790–800	400–460	35–37	30–35
300	800–910	400–480	40–45	42–47					

Механические свойства при высоких температурах
(пруток 90 мм, закалка с 1100 °С в воде)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_T, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/см}^2$
900	160–240	140–180	45–80	50–90	120–290
950	120–150	100–110	45–84	50–85	240–310
1000	100–110	80–100	43–75	50–70	250–300
1100	60–80	40–50	70–100	55–70	300–320
1200	30–40	20–30	70–90	55–80	280–300
1250	35	32	95	80	230

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 3239–81, ТУ 14-1-4362–87, ТУ 14-1-4363–87, ТУ 14-131-224–75 сплав должен быть стоек против межкристаллитной коррозии после провоцирующего нагрева при 700 °С в течение 30 мин и охлаждения на воздухе, а также после испытания по методу ДУ ГОСТ 6032–89. Сварные соединения стойки против межкристаллитной коррозии в травильном растворе состава 16–18 % HNO_3 + 4 % HF при 50–60 °С.

В состоянии закалки сплав ХН58В стоек в растворах азотной кислоты (скорость коррозии в кипящих растворах 10–58 % HNO_3 не превышает 0,02 мм/год) и растворах азотной кислоты в присутствии ионов фтора.

Скорость коррозии

Коррозионная среда	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$v_{кор}, \text{мм/год}$	
		ХН58В	Х18Н10Т
16–18 % HNO_3 + 4 % HF (травильный раствор)	50–60	0,14	>1,0
14-М раствор HNO_3 + 0,05-М раствор HF	94	0,36	>1,0
14-М раствор HNO_3 + 0,1-М раствор HF	94	0,59	>1,0
40–45 % HNO_3 + 0,2–0,9 % HF + 0,2–1 % HCl	105	0,2	4–13

Физические свойства. Плотность — $8,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Теплопроводность — $0,126 \cdot 10^2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ при 100 °С.

Удельное электросопротивление — $1,18 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при 20 °С.

Удельная теплоемкость — 375 Дж/(кг · К) при 20 °С.

Модуль упругости — $22,4 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения α

$t, ^\circ\text{C}$	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600	20–700	20–800	20–900
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	10,40	10,85	10,95	11,55	11,90	12,30	12,85	12,90	13,0

Технологические параметры. Сплав подвергается горячей и холодной деформации практически всеми известными методами формоизменения. Температурный интервал горячей пластической деформации 1200–950 °С.

Термическая обработка металлопродукции или металлоизделий сплава состоит в нагреве при 1070–1100 °С с выдержкой 3–5 мин/мм максимального сечения и охлаждении в воде или ускоренно на воздухе.

Сварка. Сплав ХН58В сваривается ручной аргоно-дуговой и электродуговой сварками (последняя предпочтительнее). При аргоно-дуговой сварке в качестве присадочного материала применяют сплав основного состава, т.е. ХН58В в виде проволоки. Дуговую сварку выполняют электродами ФХ-13 и ФХ-26. Сварку выполняют на режимах с малой погонной энергией (0,6–1,5 кДж/мкм).

Сварные соединения не склонны к образованию горячих и холодных трещин, стойки против межкристаллитной коррозии в азотно-фторидных растворах.

8.5. СПЛАВ ХН65МВУ (ЭП760)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления сварной химической аппаратуры (колонны, теплообменники, реакторы), эксплуатирующейся в наиболее жестких условиях (среды окислительно-восстановительного характера) химической и нефтехимической промышленности (производство уксусной кислоты, эпоксидных смол, винилацетата, сложных органических соединений, минеральных удобрений, стирола, этилбензола и др.), целлюлозно-бумажной и других отраслей при температуре стенки от –70 до 500 °С и давлении среды не более 5,0 Н/мм ²	ГОСТ 5632–72 ГОСТ 3239–81 ТУ 14-1-4870–90 ТУ 14-1-3587–83 ТУ 14-1-2230–77 ТУ 14-3-1227–83 ТУ 14-1-3768–84 ТУ 14-3-1320–85 ТУ 14-1-2240–77

Примечание. Сплав выплавляют в открытых индукционных печах.

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, %										
C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	Fe	S	P	
≤ 0,02	≤ 0,10	≤ 1,0	14,5–16,5	Осн.	3,0–4,0	15,0–17,0	≤ 0,5	≤ 0,012	≤ 0,015	

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Пруток горячекатаный:			
круглый	Ø □ 20–120	ТУ 14-1-4870–90	ОАО “Электросталь”
квадратный			
Лист:			
горячекатаный	4–8×1000×2000	ГОСТ 3239–81	ОАО “Ашинский
холоднокатаный	9–20×1000×2000	ТУ 14-1-3587–83	метзавод”
Лента холоднокатаная	0,4–2,0×365 и 400×L рулона	ТУ 14-1-4202–87	ОАО “Серп и Молот”
Заготовка трубная	Ø 180; 185; 190	ТУ 14-1-3768–84	ОАО “Электросталь”
кованая			
Труба бесшовная	Ø 25–76	ТУ 14-3-1320–85	ОАО “Никопольский ЮТЗ”
Труба электросварная	Ø 25–76, L = 3000	ТУ 14-3-1227–83	ОАО “ФИЛИТ”
Проволока сварочная	Ø 2,0–4,0	ТУ 14-1-4727–89	ОАО “Электросталь”

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки (по ГОСТ 3239–81 и ТУ 14-1-3587–83): закалка с 1070 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %
		не менее		
ТУ 14-1-4870-90	Пруток	780	375	40
ГОСТ 3239-81	Лист горячекатаный	850	440	40
ТУ 14-1-3587-83				
ТУ 14-1-4202-87	Лента	833	392	40
ТУ 14-1-3768-84	Заготовка трубная	780	375	40
ТУ 14-3-1320-85	Труба бесшовная	833	392	35
ТУ 14-3-1227-83	Труба электросварная	830	340	35

Механические свойства при низких и повышенных температурах

(лист 10 мм, закалка с 1070 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
-70	—	—	—	—	150
20	850-950	440-460	40-55	40-60	160
100	850-930	400-480	40-45	40-48	160
200	850-930	450-480	43-48	42-48	160
300	800-920	450-460	43-46	42-45	160
400	800-870	430-480	40-42	33-36	170
500	800-850	430-480	35-36	33-35	180
600	800	480	37	33	190

Механические свойства при высоких температурах

(пруток 90 мм, закалка с 1100 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²	n , об
800	400	260	—	—	—	—
900	300	140	120	90	110	15
1000	110	—	160	80	160	28
1100	100	60	140	75	220	30
1200	60	—	100	65	>340	30
1250	50	—	80	65	300	20

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной деформации
(лист исходной толщины 2,0 мм, закалка перед холодной деформацией с 1100 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	Твердость HRC
0	800-850	440-470	55-65	20
5	850-965	460-565	51-55	20-25
10	900-1115	640-870	25-48	22-30
20	1080-1210	890-1080	15-26	28-38
30	1200-1210	1083-1240	10-15	30-39
50	1500-1680	1300-1455	4,5-7	41-45
60	—	—	—	43-50
80	1720-1780	1710	2,7	50-55

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 3239-81, ТУ 14-1-3587-83, ТУ 14-1-4202-87, ТУ 14-1-3768-84, ТУ 14-3-1320-85, ТУ 14-3-1227-83 сплав должен быть стоек против межкристаллитной коррозии после провоцирующего отпуска при 800 °С,

30 мин. Испытания проводят в кипящем 30%-ном растворе серной кислоты с 40 г/л сернистого железа в течение 48 ч. Сварные соединения стойки против межкристаллитной коррозии. В состоянии закалки сплав ХН65МВУ стоек против питтинговой коррозии в 10%-ном растворе хлорного железа и против коррозионного растрескивания в 42%-ном кипящем растворе хлористого магния.

Сплав коррозионностоек в следующих агрессивных средах:

- в растворах солей неорганических кислот (хлористый алюминий, хлористый аммоний, сернистое железо, хлорное железо, хлористый кальций и т.д.), в водных растворах хлорида меди (до 20 %) и железа (до 35 %) сплав стоек до 70–95 °С (0,05 мм/год);

- в окислительных средах хромовой (в 10–13%-ном растворе при 25 °С $v_{кор} = 0,3–0,6$ мм/год), хлорсульфоновой (при 20–200 °С $v_{кор} \leq 0,1$ мм/год), хлорной и хлорноватой (всех концентраций при 20 °С $v_{кор} \leq 0,1$ мм/год) кислот;

- во влажном и сухом хлоре, хлористом водороде до 540 °С, сухом фтористоводородном газе до 650 °С, во влажном и сухом SO₂ при 70 °С;

- в серной кислоте всех концентраций (от 1 до 93 %) вплоть до 70 °С, при температурах кипения только в разбавленных растворах (≤ 30 %). Присутствие в серной кислоте HNO₃, H₂CrO₄, Fe³⁺, Cu²⁺, H₂O₂, Cl[–] значительно повышает стойкость сплава;

- в соляной кислоте всех концентраций при комнатной температуре ($v_{кор} = 0,06$ мм/год), а при 70 °С только в очень разбавленных растворах (до 2 %). Сплав стоек в присутствии в растворах окисляющих хлоридов.

- в азотной кислоте — вплоть до 50%-ной концентрации скорость коррозии сплава при 65 °С ниже 0,5 мм/год;

- в фосфорной кислоте до 50%-ной концентрации при температуре кипения, сплав хорошо сопротивляется коррозии в смеси фосфорной кислоты с такими компонентами, как плавиковая кислота или окислительные соли;

- во фтористоводородной кислоте при 20 °С до 80%-ной концентрации, а также в 10- и 30%-ной кислоте соответственно при 95 и 75 °С;

- в органических кислотах (уксусной, муравьиной и масляной), в уксусной кислоте в присутствии перекисных соединений и гидрокарбоната;

- в продуктах сгорания диоксида углерода и гидрокарбоната при 1000 °С, гидросульфата водорода и во влажном диоксиде серы при 800 °С.

Физические свойства.

Плотность — $8,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность — $0,126 \cdot 10^2$ Вт/(м · К) при 20 °С.

Удельное электросопротивление — $1,7 \cdot 10^{-6}$ Ом · м при 20 °С.

Удельная теплоемкость — 386 Дж/(кг · К) при 20 °С.

Модуль упругости — $20 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения α

t, °С	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600	20–700	20–800	20–900
$\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$	11,75	13,25	14,05	14,50	15,10	15,20	16,0	16,75	17,90

Технологические параметры. Сплав подвергается горячей и холодной деформации практически всеми известными методами формоизменения. Температурный интервал горячей пластической деформации 1220–950 °С.

Термическая обработка металлопродукции или металлоизделий сплава состоит в нагреве при 1070+20 °С с выдержкой 3–5 мин/мм и охлаждении в воде или ускоренно на воздухе.

При обработке резанием вследствие довольно высокой склонности сплава к наклепу процесс необходимо проводить при пониженных скоростях резания, а также

применять инструмент, оснащенный либо твердосплавными пластинами, либо пластинами из быстрорежущей стали.

Сварка. Сплав сваривается ручной аргоно-дуговой и электродуговой сваркой. Для аргоно-дуговой сварки в качестве присадочного материала используют проволоку ХН65МВУ или ХН65МВ. Для электродуговой сварки применяют электрод ОЗЛ-21 по ТУ МОСЗ-1157-70.

Минимальные значения механических свойств сварного соединения при аргоно-дуговой сварке: $\sigma_{\text{н}} \geq 0,9\sigma_{\text{н}}$ основного металла. Сварные соединения не склонны к образованию горячих и холодных трещин, стойки против межкристаллитной коррозии.

8.6. СПЛАВ ХН65МВ (ЭПС67)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления сварной химической аппаратуры, эксплуатирующейся в наиболее жестких условиях (среды окислительно-восстановительного характера) химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности при температуре стенки от -70 до 500 °С, и давлении среды не более 5,0 Н/мм ²	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 3239-81 ТУ 14-1-3239-81 ТУ 14-1-2475-78 ТУ 14-1-1215-75 ТУ 14-3-1227-83

П р и м е ч а н и е. Сплав выплавляется в открытых индукционных печах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	Fe	S	P
≤ 0,03	≤ 0,15	≤ 1,0	14,5-6,5	Осн.	3,0-4,5	15,0-17,0	≤ 1,0	≤ 0,020	≤ 0,020

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный		ТУ 14-1-3239-81	ОАО "Электросталь"
круглый	Ø 12-70		
кованный			
круглый	Ø 60-120		
квадратный	□ 60-120		
Лист:			
горячекатаный	4-8×1000×2000	ГОСТ 3239-81	ОАО "Ашинский
	9-20×1000×2000	ТУ 14-1-3587-83	метзавод"
холоднокатаный	1,5-3,9×1000×2000	ГОСТ 3239-81	
Лента холоднокатаная	1,5 и 2,0×365	ТУ 14-1-1215-75	ОАО "Серп и Молот"
	400×L рулона		
Труба электросварная	Ø 25-76	ТУ 14-3-1227-83	ОАО "ФИЛИТ"

П р и м е ч а н и е. Рекомендуемый режим термической обработки (по ГОСТ 3239-81 и ТУ 14-1-2475-78): закалка с 1070 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %
		не менее			
ТУ 14-1-3239-81	Прутки	784	343	35	40
ГОСТ 3239-81	Лист горячекатаный	870	420	40	—
ТУ 14-1-3587-83					
ГОСТ 3239-81	Лист холоднокатаный	830	390	40	—
ТУ 14-1-1215-75	Лента	850	400	35	—
ТУ 14-3-1227-83	Труба электросварная	830	340	35	—

Механические свойства при низких и повышенных температурах

(лист 10 мм, закалка с 1070 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
-60	—	—	—	—	150
-40	—	—	—	—	170
-20	—	—	—	—	170
0	—	—	—	—	170
20	900	570	46-49	48-50	160
100	950	480	45	48	160
200	850-930	470-490	45-48	44-48	160
300	910-920	450-460	43-46	42-45	160
400	800-870	430-480	40-42	33-36	170
500	800-850	430-480	35-36	33-35	180
600	800	480	37	33	190

Механические свойства при высоких температурах

(пруток 90 мм, закалка с 1100 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²	$M_{кр}$, Н · м	n , об
800	400	260	77	68	—	—	—
900	300	140	80	60	170	—	—
1000	150	—	90	58	180	400	17
1100	100	60	78	50	250	250	19
1200	60	—	90	62	350	360	23

Твердость в зависимости от степени холодной деформации

Степень обжатия, %	5	10	20	30	40	50
Твердость HRC	25	28	31	35	38	43

Коррозионная стойкость. По ГОСТ 3239-81, ТУ 14-1-2475-78, ТУ 14-1-1215-75, ТУ 14-1-1227-83 сплав должен быть стоек против межкристаллитной коррозии после провоцирующего отпуска при 800 °С, 30 мин; испытания проводят в кипящем 30%-ном растворе серной кислоты с 40 г/л сернистого железа в течение 48 ч.

Коррозионная стойкость аналогична сплаву ХН65МВУ (ЭП760).

Физические свойства, технологические параметры — см. сплав ХН65МВУ (ЭП760).

8.7. СПЛАВ ХН63МБ (ЭП758У)

Примечание	ТУ
Для изготовления сварного химического оборудования (в химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной и других отраслях промышленности, системах контроля загрязнения окружающей среды и т.д.), эксплуатирующегося в особо агрессивных средах, содержащих хлориды, фториды, органические кислоты и сильно загрязненные минеральные кислоты, сложные смеси кислот и химикатов при повышенных температурах (свыше 100 °С) в производстве сложных минеральных удобрений, синтетического каучука, уксусной кислоты и уксусного ангидрида и др. при температуре стенки от -70 до 500 °С, и давлении среды не более 5,0 Н/мм ²	ТУ 14-131-755-85 ТУ 14-1-4289-87 ТУ 14-1-4881-90 ТУ 14-1-4202-87 ТУ 14-3-1478-87 ТУ 14-1-4734-89

П р и м е ч а н и е. Сплав выплавляется в открытых индукционных печах.

Химический состав, ТУ 14-131-755-85

Массовая доля компонентов, %								
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	S	P
≤ 0,02	≤ 0,10	≤ 1,0	20,0	Осн.	16,0	≤ 0,5	≤ 0,012	≤ 0,015

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			
горячекатаный		ТУ 14-131-755-85	ОАО "Электро-сталь"
круглый	Ø 10-70		
кованый			
круглый	Ø 60-100		
квадратный	□ 60-100		
Лист:			
горячекатаный	4-8×1000×2000	ТУ 14-1-4881-90	ОАО "Ашинский метзавод"
	9-20×1000×1500-700		
холоднокатаный	1,5-3,9×1000×2000	ТУ 14-1-4289-87	
Лента холоднокатаная	$h = 0,4-2,0$; $b = 365$ и 400	ТУ 14-1-4202-87	ОАО "Серп и Молот"
Труба электросварная	Ø 25-102	ТУ 14-3-1478-87	ОАО "ФИЛИТ"
Проволока сварочная	Ø 1,0-2,0	ТУ 14-1-4734-89	ОАО "Электро-сталь"

П р и м е ч а н и е. Рекомендуемый режим термической обработки (по ТУ 14-1-4881-90, ТУ 14-1-4289-87, ТУ 14-1-4202-87, ТУ 14-3-1478-87): закалка с 1100±20 °С в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %
		не менее			
ТУ 14-131-755-85	Пруток	755	353	30	40
ТУ 14-1-4881-90	Лист горячекатаный	852	441	30	—
ТУ 14-1-4289-87	Лист холоднокатаный	830	440	30	—
ТУ 14-1-4202-87	Лента	830	440	35	—
ТУ 14-3-1478-87	Труба электросварная	830	440	35	—

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(лист 10 мм, закалка с 1070 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
20	890-1000	440-660	30-54	—	180-200
100	870-950	400-500	40-50	—	210-220
200	860-930	400-500	40-50	—	210-220
300	850-920	400-500	43-55	—	210-220
400	760-880	350-450	40-55	40-50	230-250
500	750-840	320-400	40-55	32-50	220-270
600	750-850	300-400	40-58	20-40	200-250
700	620-720	300-400	38-62	30-60	180-230

Механические свойства при высоких температурах
(пруток 90 мм, закалка с 1100 °С в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
800	380-460	290-360	48-80	55-80	140-190
900	230-400	200-350	64-100	60-90	150-180
1000	100-150	100-150	65-120	60-82	180-300
1100	50-60	50-60	95-135	65-80	320-380
1200	40-50	30-40	110-135	60-70	270-310

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной
пластинчатой деформации (проволока Ø 1,5-3,0 мм, закалка перед холодной
деформацией с 1100 °С в воде)

Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	Степень обжатия, %	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %
0	950	800	45	30	1300	1200	20
10	1150	1080	35	40	1600	1500	3,0
20	1220	1150	30	50	1700	1620	2,5

Коррозионная стойкость. По ТУ 14-131-755-85, ТУ 14-1-4881-90, ТУ 14-1-4289-87, ТУ 14-1-4202-87, ТУ 14-3-1478-87 сплав должен быть стоек против межкристаллитной коррозии после провоцирующего отпуска при 800 °С, 30 мин; испытания проводят в кипящем 30%-ном растворе серной кислоты с 40 г/л серно-кислого железа в течение 48 ч (или в кипящем 50%-ном растворе серной кислоты с 40 г/л сернокислого железа в течение 18 ч). Сварные соединения стойки против межкристаллитной коррозии.

В состоянии закалки сплав ХН63МБ стоек против питтинговой коррозии в 10%-ном хлорном железе и против коррозионного растрескивания в 42%-ном кипящем хлористом магнии.

Сплав коррозионностоек в следующих сильно агрессивных средах:

- в растворах солей неорганических кислот (хлористый алюминий, хлористый аммоний, сернокислородное железо, хлорное железо, хлористый кальций и т.д.);
- в водных растворах хлоридов меди и железа, хлорсульфоновой, хлорной и хлорноватой кислот;

- во влажном и сухом хлоре;

- в серной кислоте от 20 до 98 % весьма стоек ($v_{\text{кор}} \leq 0,1$ мм/год) при температуре до 90 °С;

- в минеральных кислотах (азотная, фосфорная, серная, соляная), загрязненных хлоридами и фторидами;

- в сильно окисляющих смесях кислот и химикатов;

- в органических кислотах (уксусной, муравьиной, масляной).

Физические свойства.

Плотность — $8,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

Теплопроводность — $0,096 \cdot 10^2$ Вт/(м · К) при 20 °С.

Удельное электросопротивление — $1,75 \cdot 10^{-6}$ Ом · м при 20 °С.

Удельная теплоемкость — 392 Дж/(кг · К) при 20 °С.

Модуль упругости — $20 \cdot 10^4$ Н/мм² при 20 °С.

Магнитная проницаемость при 20 °С < 1,001.

Температурный коэффициент линейного расширения α

$t, ^\circ\text{C}$	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600	20–700	20–800	20–900
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	9,45	9,85	10,25	10,55	10,80	10,80	11,25	11,65	11,91

Технологические параметры. Сплав подвергается горячей и холодной деформации практически всеми методами формоизменения. Температурный интервал горячей пластической деформации 1220–950 °С.

Термическая обработка металлопродукции или металлоизделий сплава состоит в нагреве при 1100 ± 20 °С с выдержкой 3–5 мин/мм и охлаждении в воде или ускоренно на воздухе.

При обработке резанием вследствие довольно высокой склонности сплава к наклепу процесс необходимо проводить при пониженных скоростях резания, а также применять инструмент, оснащенный либо твердосплавными пластинами, либо пластинами из быстрорежущей стали. Технологические рекомендации по обработке резанием, при точении, сверлении, фрезеровании, давлении и ручной аргонодуговой сварке разработаны НИИХиммашем.

Сварка. Сплав сваривается ручной аргоно-дуговой и электродуговой сварками. Для аргоно-дуговой сварки в качестве присадочного материала используют проволоку ХН63МВУ-ВИ. Для электродуговой сварки применяют электрод ОЗЛ-21. При ручной аргоно-дуговой сварке необходимо выполнять сварку многослойной, усиленными (по высоте) валиками ограниченного сечения с возможно большей скоростью сварки при минимальной погонной энергии с перерывами между наложением очередных валиков.

Минимальные значения механических свойств сварного соединения при аргоно-дуговой сварке: $\sigma_{\text{в}} \geq 0,9\sigma_{\text{в}}$ основного металла.

Сварные соединения не склонны к образованию горячих и холодных трещин, стойки против межкристаллитной коррозии.

8.8. СПЛАВ ХН55МБЮ (ЭП666)

Применение	ТУ
Для изготовления штамповарных и паяных изделий, работающих при температурах от 750 °С до -253 °С, а также в качестве высокопрочного коррозионностойкого материала в окислительных средах	ТУ 14-1-2606-79 ТУ 14-1-2692-79 ТУ 14-1-3490-82 ТУ 14-1-2702-79 ТУ 14-1-3191-81

Примечание. Сплав выплавляют в открытых индукционных и дуговых печах, а также подвергают вакуумно-дуговому переплаву.

Химический состав, ТУ 14-1-2606-79

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	Al	Fe	S	P	Ce	Ni
≤ 0,06	≤ 0,5	0,4-0,8	18-20	8,5-10,0	1,5-2,5	1,2-1,8	10,5-15,0	≤ 0,015	≤ 0,015	0,01-0,2	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный			
круглый	Ø 10-55, L ≥ 500	ТУ 14-1-2606-79	ОАО "Электросталь"
кованый			ОАО "Мечел"
круглый	Ø 60-200		
Поковка	Ø 210-250	ТУ 14-1-2692-79	ОАО "Электросталь"
			ОАО "Мечел"
Лист:			
горячекатаный	4-8×1000×2000	ТУ 14-1-3191-81	ОАО "Ашинский"
	9-16×1000×1800-800	ТУ 14-1-2702-79	метзавод"
холоднокатаный	1,5-3,9×1000×2000		
	1-3×700×1200-1420	ТУ 14-1-3490-82	

Структура. После закалки с 1100-1250 °С структура представляет собой γ -твердый раствор с отдельными частицами карбидной фазы типа M_6C , расположенными внутри зерна. Твердость в закаленном состоянии 170-190 *НВ*. Нагрев сплава в интервале температур старения при 600-800 °С повышает его твердость до 290 *НВ*. Дисперсионное твердение происходит за счет выделения из пересыщенного твердого раствора дисперсных частиц интерметаллидной γ' -фазы типа $Ni_3(Nb, Al)$.

Нормированные механические свойства при 20 °С

(термическая обработка: закалка с 1050 °С + старение при 750 °С в течение 15 ч, охлаждение с печью до 660 °С, выдержка 10 ч, охлаждение на воздухе)

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	ψ , %
		не менее			
ТУ 14-1-2606-79	Пруток	950	550	17	30
		1050*1	600*1	20*1	
ТУ 14-1-2692-79	Поковка	1050*1	600*1	25*1	—
ТУ 14-1-3191-81	Лист горячекатаный	1029	588	20	—
ТУ 14-1-1887-76	Лист холоднокатаный	1100	700	20	—
ТУ 14-1-2702-79		1050	600	20	

*1 Металл ВДП.

Механические свойства при высоких температурах
(пруток Ø 20 мм, горячекатаное состояние)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/см}^2$	$n, \text{об}$
600	845	540	24	28	—	—
700	735	510	24	34	—	—
800	450	410	28	62	147	—
900	225	210	>100	>90	—	—
1000	117	111	118	88	150	10
1100	61	53	101	84	231	12,8
1200	41	29	>100	84	327	16,8
1250	—	—	—	—	268	18,0

Механические свойства при низких температурах (пруток Ø16 мм; термическая обработка — закалка с 980 °С + старение при 730 °С в течение 15 ч, охлаждение с печью до 650 °С, выдержка 10 ч, охлаждение на воздухе)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{B*1}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/см}^2$	$KCV, \text{Дж/см}^2$	$KCT^{*2}, \text{Дж/см}^2$
+20	1210	850	1150	24	48	80	60	50
-196	1520	1080	1410	22	42	60	60	40
-253	1590	1150	1430	19	36	60	50	30
-269	1550	1160	—	16	—	80	—	40

*1 — σ_B^u — сопротивление разрыву на образцах с надрезом.

*2 — KCT — ударная вязкость на образцах с усталостной трещиной.

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной деформации
(лист $\delta = 2$ мм, исходное состояние — закалка перед холодной деформацией с 1050 °С, 5 мин, охлаждение в воде)

Степень обжатия, %	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	Степень обжатия, %	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
0	860	390	51	28	1210	1170	13
15	990	870	28	50	1375	1260	10
22	1120	1060	14	60	1470	1350	4,5

Коррозионная стойкость. Сплав обладает высокой коррозионной стойкостью (1-й балл) в водном конденсате, морской воде, в азотной кислоте при 20 и 80 °С, в серной кислоте концентрацией до 37 % при 20 и 80 °С, в уксусной кислоте концентрацией до 50 % при 80 °С. Сплав стоек против охрупчивания в газообразном водороде.

Характеристики кратковременной жаропрочности (прутки $\varnothing 16$ мм; термическая обработка - закалка с 980 °С, 1 ч, на воздухе + старение при 730 °С, 15 ч, охлаждение с печью до 650 °С, 10 ч, охлаждение на воздухе)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	Время до разрушения, мин	Длительная прочность при растяжении, Н/мм ²	Предел ползучести при 1 % общей деформации, Н/мм ²
700	15	660	430
	30	620	420
	60	600	410
	120	460	390
750	15	530	—
	30	490	—
	60	430	—
	120	320	260
800	15	290	190
	30	270	180
	60	250	160
	120	150	120

Физические свойства.

Плотность — $8,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

Значение модуля упругости (E), модуля сдвига (G) и коэффициента Пуассона (ν) в зависимости от температуры			
$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$E \times 10^{-4}$, Н/мм ²	$G \times 10^{-4}$, Н/мм ²	ν
800	14,7	—	—
700	16,0	—	—
600	16,8	—	—
500	17,4	—	—
20	20,6	7,8	0,310
-196	21,8	8,3	0,303
-253	22,2	8,5	0,300

Значения теплопроводности (λ), удельной теплоемкости (C), удельного электросопротивления (ρ), температурного коэффициента линейного расширения (α)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	λ , Вт/(м · К)	C , Дж/(кг · К)	$\rho \cdot 10^6$, Ом · м	C	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
-253	0,19	—	—	-253—20	10,0
0	—	1,23	—	0—20	15,1
20	0,145	435	1,24	—	—
100	—	—	1,27	20—100	13,9
500	0,174	—	1,32	—	—
700	0,20	—	1,32	—	—

Технологические параметры. Сплав удовлетворительно деформируется в холодном и горячем состоянии. Температурный интервал горячей деформации 1150—900 °С. Коэффициент вытяжки (K_v) в холодном состоянии, определенный на листе толщиной 1,5 мм после закалки с 980 °С, составляет — 1,9.

Сварка. Сплав обладает достаточно высокой стойкостью против образования трещин при сварке и термической обработке сварных соединений. В качестве присадочного материала рекомендуется применять сварочную проволоку 06X15H60M15 (ЭП367). Особенностью сплава является удовлетворительная технологичность при

сварке с жаропрочными сплавами на медной основе и с нержавеющей стали. Может подвергаться пайке. При пайке медьсодержащими припоями в напряженном состоянии не подвержен хрупкому разрушению.

Сплав характеризуется достаточно высокой стойкостью против образования горячих трещин и растрескивания сварных соединений. Сварные соединения могут эксплуатироваться без термической обработки после сварки. Особенностью сплава является высокая технологичность при сварке с жаропрочными сплавами на медной основе и с нержавеющей стали. Сплав подвергается также пайке. При пайке медьсодержащими припоями в напряженном состоянии не подвержен хрупкому разрушению.

Часть II. ЖАРОСТОЙКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с ГОСТ 5632—72 “Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные” к группе жаростойких (окалиностойких) отнесены “стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550 °С, работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии” [1].

К сталям и сплавам этой группы предъявляют достаточно сложный комплекс требований, включающий наряду с высоким сопротивлением газовой коррозии хорошую технологичность в металлургическом переделе (изготовление листов, ленты и труб) и при изготовлении сложных сварных конструкций. Требуется также определенный уровень жаропрочности, поскольку в отличие от сплавов сопротивления, используемых для электронагревателей и также обладающих высоким сопротивлением окислению, жаростойкие конструкционные стали и сплавы в процессе эксплуатации обычно испытывают воздействие механических напряжений, хотя бы от собственной массы детали (муфели, экраны, газоходы, опоры, подвески и т.д.) [2].

Жаростойкость материалов измеряется изменением массы образца (увеличением массы в результате окисления или уменьшением после стравливания окалины) за определенное время при определенных условиях испытания (обычно при постоянных температуре и составе атмосферы) и выражается величиной изменения массы (г/м^2) за данный отрезок времени либо в единицах скорости — $[\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})]$. Чем меньше эти величины, тем выше жаростойкость. В случае хорошей жаростойкости скорость окисления при увеличении времени испытания снижается в связи с затуханием процесса [3].

Практически удобной является оценка скорости окисления в мм/год, которая определяется пересчетом величины потери массы по следующей формуле:

$$v_{\text{ок}} = (\Delta q / \gamma \cdot 10^3) \cdot 8,7,$$

где Δq — скорость окисления по убыли массы, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; γ — плотность стали, кг/м^3 .

Высокое сопротивление окислению обеспечивается обычно не низким сродством компонентов сплава к кислороду, а свойствами слоя оксидов, образующихся на сплаве. Основные требования к защитной окалине — это ее сплошность, низкая диффузионная проницаемость для ионов кислорода в направлении к поверхности раздела металл—окалина и ионов компонентов сплава к поверхности окалины—газовая среда, а также хорошая адгезия окалины с металлом.

Обеспечение этих требований зависит не только от состава стали или сплава, но и от условий эксплуатации (температуры, состава и давления

газовой среды, продолжительности, наличия теплосмен, уровня механических напряжений и т.п.).

Основным элементом, определяющим уровень жаростойкости сталей и сплавов, является хром, образующий защитную пленку, состоящую из Cr_2O_3 или шпинели $\text{NiO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ или более сложного состава типа $(\text{Fe}, \text{Ni})\text{O} \cdot (\text{Cr}, \text{Fe})_2\text{O}_3$.

Поскольку хром определяет также и коррозионную стойкость сталей, в процессе развития качественной металлургии высоколегированных сталей было установлено, что целый ряд материалов обладает как коррозионной стойкостью, так и жаростойкостью. К таким материалам относятся стали типа 15Х25Т, Х18Н(9-12), 10Х14Г14Н4Т и сплав ХН78Т. Поэтому четкую границу между коррозионнотойкими и жаростойкими материалами провести нельзя [1].

Безникелевые хромистые стали с 20–25 % Cr относятся к ферритному классу, и жаропрочность их при высоких температурах невысока. Сталь 15Х25Т имеет ряд недостатков (в частности, ограниченную свариваемость), что, несмотря на высокую жаростойкость и относительную дешевизну, сдерживает ее широкое применение.

Улучшение характеристик хромистой основы было достигнуто:

- введением 2,5–3,5 % Al, что позволило значительно повысить жаростойкость за счет образования в окалине защитных фаз Al_2O_3 и $\text{FeO} \cdot (\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_3$;
- использованием внепечного рафинирования металла, существенно снижающего количество примесей внедрения и, как следствие, повышающего технологические свойства стали в холодном состоянии. Кроме того, при выплавке стали может быть использовано до 100 % отходов [4].

Наиболее широкое распространение находят хромоникелевые и хромоникельмарганцовистые стали аустенитного класса. Основные преимущества этих сталей — более высокая жаропрочность и хорошая технологичность как в горячем, так и в холодном состоянии, хорошая свариваемость, ремонтоспособность.

Из сталей этого класса можно отметить не имеющие зарубежных аналогов экономнолегированные никелем стали 12Х25Н16Г7АР и 07Х25Н16АГ6Ф (вторая с улучшенной свариваемостью), нашедшие применение в ракетно-космической технике (сопла, диафрагмы) [5].

Легированная алюминием сталь 10Х18Н18Ю4Д имеет высокую жаростойкость до температуры 1100 °С.

Сталь 20Х25Н20С2, легированная кремнием, также имеет высокую жаростойкость, устойчива в серосодержащих средах, однако технологичность ее хуже, вероятно, за счет сочетания высокого содержания хрома и кремния.

Сплав на железоникелевой основе ХН32Т, являющийся аналогом зарубежного сплава Incoloy 800, обладает высокой структурной стабильностью и предназначен для длительной эксплуатации в аппаратуре нефтехимических производств (листы, трубы) при температурах до 850 °С.

Сплав ХН45Ю был разработан в результате систематического исследования сплавов системы Fe-Ni-Cr(9–20 %)-Al(0–4 %). Предложенное оп-

гимальное сочетание легирующих элементов позволило создать экономнолегированный технологичный сплав, обладающий наиболее высокой жаростойкостью из известных в настоящее время сплавов (до 1200–1300 °С) и являющийся полноценным заменителем сплавов на никелевой основе для ряда применений при значительной экономии никеля (до 330 кг на 1 т сплава) [6].

Сплавы на никелевой основе могут быть рекомендованы к применению только для весьма ответственных назначений в авиационной и ракетно-космической технике (камеры сгорания, форсажные камеры).

Библиографический список

1. ГОСТ 5632–72 “Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные”. — М.: Госстандарт СССР.
2. Киреев В. Б., Куликова Л. В., Козлова Н. Н. // Проблемы, поиски, решения. Сб. трудов. — М.: Металлургия, 1989. С. 217–220.
3. ГОСТ 6130–71. “Металлы. Методы определения жаростойкости”. — М.: Госстандарт СССР.
4. Козлова Н. Н., Доронина Е. В., Киреева Т. С., Фуфаева Е. Н. // Оптимизация легирования и термической обработки качественных сталей. Сб. трудов ЦНИИЧМ. — М.: 1987. С. 68–72.
5. Козлова Н. Н., Доронина Е. В., Матросов Ю. И. // Проблемы современной металлургии. Сб. трудов ЦНИИЧМ. — М.: Металлургия, 1983. С. 169–173.
6. Козлова Н. Н., Ляпунов А. И. и др. // Специальные стали и сплавы: Сб. трудов ЦНИИЧМ. — М.: Металлургия, 1970. Вып. 77. С. 27–32.
7. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В. Г. Сорокина. — М.: Машиностроение, 1989. — 640 с.

Глава 1. ХРОМИСТЫЕ СТАЛИ ФЕРРИТНОГО КЛАССА

1.1. СТАЛЬ 03Х20ЮЗНТБ (К0-4)

Применение	ТУ
Для изготовления слабонагруженных деталей котельного оборудования (сопла, горелки, экраны) с рабочей температурой до 1100–1150 °С. Аналог стали 15Х25Т с улучшенной свариваемостью и жаростойкостью	

Химический состав, ТУ 14-1-4645–89

Массовая доля компонентов, %											
C	Si	Mn	Cr	Ni	N	Al	Ti	Nb	S	P	Fe
≤ 0,035	≤ 0,8	≤ 0,5	19–21	0,2–1,5	≤ 0,035	2,5–3,5	0,01–0,08	0,01–0,08	≤ 0,02	≤ 0,035	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Листы горячекатаные	4–12×1200×6000	ТУ 14-1-4645–89	ОАО “Красный Октябрь”

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки по ТУ 14-1-4645–89: заковка с 840–880 °С в воде.

Нормированные механические свойства при температуре 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ТУ 14-4645–89	Лист горячекатаный	550	450	16

Механические свойства при высоких температурах

(лист 4–12 мм, заковка с 850 °С в воде)

t _{исп} , °С	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %
800	40–50	35–45	90–100	90
900	20–40	15–25	110–120	90
1000	15–30	10–20	110–120	90
1100	5–10	—	110–120	90

Жаростойкость в атмосфере спокойного воздуха

t _{исп} , °С	Температура испытания 1200 °С		
	увеличение массы, г/м ²	ν _{ок} , г/м ² ·ч	ν _{ок} , мм/год
100	17–30	0,3	—
200	20–40	0,2	—
300	26–43	0,14	—
400	30–45	0,11	—
500	35–48	0,09	—
600	38–52	0,08	0,28

Примечание. ν_{ок} — скорость коррозии.

Технологические параметры. Основные параметры обработки давлением — температура нагрева 950–1000 °С; температура конца деформации 800 °С; термическая обработка: заковка с 850 °С (выдержка 30 мин) в воде.

Свариваемость стали удовлетворительная.

1.2 СТАЛЬ 15Х25Т (ЭИ439)

Применение	ГОСТ
Для изготовления деталей печной арматуры с рабочей температурой до 1000 °С: чехлы термопар, электроды искровых зажигательных свечей, трубы пиролизных установок, теплообменники.	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 5949-75 ГОСТ 5582-75
В качестве коррозионностойкого материала при температурах эксплуатации до 300-350 °С преимущественно в средах окислительного характера, а также при производстве каустической соды	ГОСТ 7350-77 ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81

Примечание. Сталь выплавляют в открытых электропечах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %							
C	Si	Mn	Cr	Ti	S	P*1	Fe
≤ 0,15	≤ 1,0	≤ 0,8	24,0-27,0	5 · C-0,90	≤ 0,025	≤ 0,035	Осн.

*1 Для ЭШП содержание фосфора ≤ 0,015 %.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			
горячекатаный			
круглый	Ø 5–200	ГОСТ 5949–75	ОАО “Электросталь”
квадратный	□ 5–200		ОАО “Златоустовский метзавод”
кованый			
круглый	Ø 40–200	ГОСТ 5949–75	ОАО “Красный Октябрь”
квадратный	□ 40–200		
Полоса:			
горячекатаная	δ = 3–80	ГОСТ 5949–75	ОАО “Красный Октябрь”
кованая	δ = 3–80		
Лист:			
горячекатаный	δ = 4,0–50,0	ГОСТ 7350–77	ОАО “Красный Октябрь”
	δ = 1,5–3,9	ГОСТ 5582–75	ОАО “Ашинский метзавод”
холоднокатаный	δ = 0,7–3,9	ГОСТ 5582–75	ОАО “Серп и Молот”
Труба бесшовная:			
горячедеформированная	Ø 57–325	ГОСТ 9940–81	ОАО “Первоуральский Новотрубный завод”
холодно(тепло)деформи- рованная	Ø 21–273	ГОСТ 9941–81	ОАО “Никопольский ЮТЗ”
Трубная заготовка:			
горячекатаная	До Ø 200	ТУ 14-1-565–84	ОАО “Электросталь”
	Ø 170–250	ТУ 14-1-4319–87	ОАО “Златоустовский метзавод”
кованая	До Ø 200	ТУ 14-1-565–84	ОАО “Златоустовский метзавод”
	Ø 200–250	ТУ 14-1-416–72	
	Ø 250–350	ТУ 14-1-4319–87	

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: по ГОСТ 5582-75 и ГОСТ 7350-77 — отжиг при 740-780 °С, охлаждение в воде; по ГОСТ 5949-75 — отжиг при 730-770 °С, охлаждение в воде или на воздухе.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
		не менее				
ГОСТ 5949-75	Пруток	440	295	20	45	—
	Полоса					
ГОСТ 7350-77	Лист толстый	440	—	14	—	20
ГОСТ 5582-75	Лист тонкий	530	—	17	—	—
ТУ 14-1-416-72	Заготовка трубная	440	—	15	—	—
ТУ 14-1-565-84						
ТУ 14-1-4319-87						
ГОСТ 9940-81	Труба бесшовная горячедеформиро- ванная	440	—	17	—	—
ГОСТ 9941-81	Труба бесшовная холодно-(тепло) деформированная	460	—	17	—	—

Механические свойства при высоких температурах

(прутки горячекатаные, отжиг при 760–780 °С, охлаждение в воде)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
700	77	48	93	1000	11	148	100
800	26	104	99	1100	8,0	139	99
900	19	153	99				

Жаростойкость. Скорость окисления ($v_{ок}$) в различных условиях

Условия испытания	$t_{исп}$, ч	$v_{ок}$, мм/год
Поток чистого воздуха при 900 °С	500	0,39
Поток воздуха, содержащего 1,5 % SO ₂ при 900 °С	500	0,54
Спокойный воздух при 1050 °С	1500	0,35
Поток продуктов сгорания природного газа при 1050 °С	—	“Катастрофическое окисление”

Пределы длительной прочности и ползучести

(прутки, отжиг при 730–770 °С, охлаждение на воздухе)

$t_{исп}$, °С	σ_{1000} , Н/мм ²	$\sigma_{1 \cdot 10^{-3}}$, Н/мм ²	$\sigma_{1 \cdot 10^{-4}}$, Н/мм ²	$t_{исп}$, °С	σ_{1000} , Н/мм ²	$\sigma_{1 \cdot 10^{-3}}$, Н/мм ²	$\sigma_{1 \cdot 10^{-4}}$, Н/мм ²
700	18	12	7,8	875	3,5	2,5	1,8
800	8	—	—	1000	2,5	0,2	0,1

Коррозионная стойкость. Сталь рекомендуется контролировать на стойкость против межкристаллитной коррозии по методикам АМ и АМУ ГОСТ 6032-89 с продолжительностью испытаний в контрольных растворах соответственно 24 и 8 ч. Перед испытанием сталь подвергают провоцирующему нагреву при 1100 °С продолжительностью 30 мин.

Скорость коррозии стали 15Х25Т в азотной кислоте (до 40%-ной концентрации) при температуре кипения составляет 0,1 мм/год; в 10–90%-ной фосфорной кислоте при 20–70 °С — менее 0,01 мм/год; в калии двуххромовокислом (K₂Cr₂O₇) при концентрации 10,7 % (при 20 °С) и температуре кипения составляет 0,1–1,0 мм/год.

Сталь 15Х25Т имеет высокую стойкость в сернощелочных отходах нефтеперерабатывающих заводов. Скорость коррозии в среде щелока (16–79 % Na_2S ; 1,2–37 % NaHS при 120–180 °С) составляет 0,011 мм/год.

Физические свойства.

Плотность — $7,6 \cdot 10^3$ кг/м³.

Значения модуля упругости (E), температурного коэффициента линейного расширения (α)

$t_{\text{исп}},$ °С	$E \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6,$ К ⁻¹	$t_{\text{исп}},$ °С	$E \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6,$ К ⁻¹
20	20,4	—	—	600	14,0	50–600	11,5
100	20,0	50–150	9,5	700	12,4	50–700	11,6
200	19,7	50–200	10,0	800	11,9	50–800	11,6
300	18,9	50–300	10,6	900	10,9	50–900	12,2
400	17,6	50–400	10,8			50–1000	12,2
500	16,4	50–500	11,3				

Технологические параметры. Сталь 15Х25Т имеет хорошую технологичность при горячей пластической деформации. Для окончательной горячей обработки стали рекомендуется температурный интервал 1000–700 °С, а для получения промежуточного профиля — интервал 1100–800 °С. При холодной деформации, особенно связанной с большими степенями, сталь 12Х25Т рекомендуется подогреть до 150–200 °С.

Свариваемость стали ограничена. Применяют ручную дуговую сварку. Перед сваркой рекомендуется предварительный подогрев, после сварки — термическая обработка: отпуск при 750–780 °С, охлаждение на воздухе.

Глава 2. ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ АУСТЕНИТНО-ФЕРРИТНОГО КЛАССА

2.1 СТАЛЬ 20Х20Н14С2 (ЭИ 211)

Применение

ГОСТ

Для изготовления деталей печных конвейеров, ящиков для цементации, печной арматуры с рабочей температурой до 1000 °С	ГОСТ 5632-72
	ГОСТ 5949-75
	ГОСТ 5582-75
	ГОСТ 1133-71

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu	Ti	Fe
≤ 0,20	2,0-3,0	≤ 1,5	19,0-22,0	12,0-15,0	≤ 0,025	≤ 0,035	≤ 0,30	≤ 0,20	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ	Завод-изготовитель
Пруток горячекатаный	5-200	ГОСТ 5949-75	ОАО "Электросталь" ОАО "Днепропетросталь" ОАО "Мечел"
Полоса: горячекатаная кованая	δ = 3-80 δ = 3-80	ГОСТ 5949-75	ОАО "Златоустовский метзавод"
Поковка и кованая заготовка		ГОСТ 1133-71	ОАО "Электросталь" ОАО "Днепропетросталь" ОАО "Мечел"
Лист: горячекатаный холоднокатаный	δ = 1,5-3,9 δ = 0,7-3,9	ГОСТ 5582-75	ОАО "Серп и Молот"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки стали: закалка 1000-1150 °С, охлаждение на воздухе или в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ	Вид продукции	σ _B , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %
		не менее			
ГОСТ 5949-75	Пруток	590	295	35	35
ГОСТ 5582-75	Лист	590	—	40	—

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: по ГОСТ 5949-75 — закалка с 1000-1150 °С, охлаждение на воздухе или в воде; по ГОСТ 5582-75 — закалка с 1000-1080 °С, охлаждение на воздухе или в воде.

Механические свойства при высоких температурах
(пруток, закалка с 1100–1150 °С на воздухе)

$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
700	300	110	36	44	800	225	98	41	55
750	265	110	39	49	900	110	39	49	60

Пределы длительной прочности и ползучести

$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_L \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²
875	9,8
1000	1,4

Технологические параметры. Температура началаковки, 1170 °С, конца 850 °С.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1000–1080 °С на воздухе или в воде.

Глава 3. ХРОМОНИКЕЛЕВЫЕ СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

3.1. СТАЛЬ 12Х18Н9

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления муфелей термических печей, деталей печных конвейеров и крепежа теплообменников, деталей печей с шагающим подом, кожухов, кронштейнов, опорных элементов кладки печей для работы при температурах до 800 °С.	ГОСТ 5632-72 ГОСТ 5949-75 ГОСТ 5582-75 ГОСТ 7350-77
В закаленном состоянии сталь 12Х18Н9 по коррозионной стойкости близка стали типа 12Х18Н10Т, а по прочности несколько превосходит ее	ГОСТ 4986-79 ГОСТ 18143-72 ГОСТ 9940-81 ГОСТ 9941-81 ТУ 14-1-377-72 ТУ 14-1-565-84 ТУ 14-1-416-72

Примечание. Сталь выплавляют в открытых электропечах.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %							
С	Si	Mn	Cr	Ni	S	P*	Fe
≤ 0,12	≤ 0,8	≤ 2,0	17,0-19,0	8,0-10,0	≤ 0,020	≤ 0,035	Осн.

Примечание. Для ЭСП содержание P ≤ 0,015 %.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
1	2	3	4

Прутки:

горячекатаный
круглый

Ø5-200 ГОСТ 5949-75 ОАО "Электросталь"
Ø5-250 ТУ 14-1-377-72 ОАО "Мечел"
ОАО "Златоустовский
метзавод"

квадратный

□ 5-200 ГОСТ 5949-75 ОАО "Серп и Молот"
□ 5-250 ТУ 14-1-377-72 ОАО "Новосибпрокат"

кованый

круглый

Ø40-200
□ 40-200 ГОСТ 5949-75

квадратный

Полоса:

горячекатаная
кованая

δ = 3-80 ГОСТ 5949-75
δ = 3-80

Лист:

горячекатаный

δ = 4,0-50,0 ГОСТ 7350-77 ОАО "Красный
Октябрь"
δ = 1,5-3,9 ГОСТ 5582-75 ОАО "Серп и Молот"
δ = 0,7-3,9 ГОСТ 5582-75

холоднокатаный

Сортамент (продолжение)			
1	2	3	4
Лента холоднокатаная	$\delta = 0,05-2,0$	ГОСТ 4986-79	ОАО «Серп и Молот»
Проволока холоднотянутая	$\varnothing 0,2-7,5$	ГОСТ 18143-72	ОАО «Новосибпрокат»
Груба бесшовная:			
горячедеформированная	$\varnothing 57-325$	ГОСТ 9940-81	ОАО «Первоуральский
теплодеформированная	$\varnothing 5-273$	ГОСТ 9941-81	Новотрубный завод»
холоднодеформированная	$\varnothing 5-273$	ГОСТ 9941-81	ОАО «Синарский труб-
			ный завод»
			ОАО «Никопольский
			ЮТЗ»
Трубная заготовка:			
горячекатаная	До $\varnothing 200$	ТУ 14-1-565-84	ОАО «Электросталь»
кованая	До $\varnothing 200$	ТУ 14-1-565-84	ОАО «Златоустовский
			метзавод»
	$\varnothing 200-250$	ТУ 14-1-416-72	ОАО «Мечел»

Примечание. Рекоменгуемый режим термической обработки: по ГОСТ 7350-77: закалка с 1050-1120 °С, охлаждение в воде или под водяным душем; по ГОСТ 4986-79, ГОСТ 5582-75 - закалка с 1050-1080 °С, охлаждение в воде или на воздухе; по ГОСТ 5949-75 - закалка с 1050-1100 °С, охлаждение на воздухе, в масле или в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С					
ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
		не менее			
ГОСТ 5949-75	Пруток, полоса	490	196	45	55
ГОСТ 7350-77	Лист толстый	530	215	38	—
ГОСТ 5582-75	Лист тонкий	540	—	35	—
ГОСТ 4986-79	Лента холоднокатаная	530	—	35(δ_4)	—
ГОСТ 9940-81	Труба бесшовная горячеде-	530	—	40	—
	формированная				
ГОСТ 9941-81	Труба бесшовная:				
	холоднодеформированная	550	—	37	—
	теплодеформированная				
ТУ 14-1-416-72	Заготовка трубная	530	—	40	—
ТУ 14-1-565-84					

Механические свойства при низких и повышенных температурах (прутки $\varnothing 25$ мм, закалка с 1080 °С в воде)					
$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
-196	1770	430	40	61	
-183	1820	410	37	61	
-70	1290	350	46	67	
20	600	240	64	74	
200	440-500	177-245	36-41	68-74	250-370
300	410-490	157-216	29-41	66-73	260
400	410-490	147-216	26-40	61-70	290-310
500	390-470	137-206	30-42	60-70	200-360
600	340-410	118-206	28-38	51-74	200-360
700	260-360	118-196	20-38	40-70	260-360

Механические свойства при высоких температурах
(пруток $\varnothing$ 20 мм, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²	$n,$ об	$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²	$n,$ об
800	122	57,2	69,5	252	11	1100	31	63,8	59,6	143	48
900	69	64,8	66,1	216	25	1200	16	44,8	70,9	122	—
1000	39	56,1	60,4	190	43	1300	—	—	—	106	—

Механические свойства в зависимости от степени холодной деформации

Степень обжатия, %	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	Степень обжатия, %	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %
0	830	500	67	40	1230	1140	21
10	950	750	45	50	1300	1220	18
20	1050	900	38	60	1350	1280	17
30	1150	1030	25	70	1400	1350	12

Жаростойкость. Скорость окисления ($v_{ок}$) в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп},$ °С	$v_{ок},$ мм/год
700	0,06
800	0,17

Предел длительной прочности и ползучести (закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_{1000},$ Н/мм ²	$\sigma_{10000},$ Н/мм ²	$\sigma_1 \cdot 10^{-3},$ Н/мм ²	$\sigma_1 \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²
600	147	98	152	98
700	78	49	29	15
800	29	15	10	5

Коррозионная стойкость.

По ГОСТ 7350–77, ГОСТ 5582–75, ГОСТ 4986–78, ГОСТ 5949–75, ГОСТ 9940–81, ГОСТ 9941–81 сталь 12Х18Н9 не должна быть склонна к межкристаллитной коррозии после испытаний по методам АМ и АМУ ГОСТ 6032–89 с продолжительностью выдержки в контрольном растворе соответственно 15 и 8 ч. Испытания проводят на образцах в состоянии поставки в соответствии с нормативно-технической документацией, но без провоцирующего нагрева.

Физические свойства.

Плотность стали — $7,92 \cdot 10^3$ кг/м³.

**Коэффициент теплопроводности (λ), удельное электросопротивление (ρ),
тепловой коэффициент линейного расширения (α)**

$t_{исп},$ °С	$\lambda,$ Вт/(м · К)	$\rho \cdot 10^6,$ Ом · м	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6,$ К ⁻¹
20	15,9	0,71	—	—
100	16,3	0,74	20–100	15,5
200	18,0	0,82	20–200	18,1
300	18,9	0,89	20–300	18,4
400	20,1	0,95	20–400	19,1
500	21,4	1,0	20–500	19,7
600	23,9	1,05	20–600	20,3
700	25,6	1,09	20–700	20,8
800	26,8	—	20–800	20,8
900	26,8	—	20–900	20,6
1000	28,1	—	20–1000	20,7

Технологические параметры.

Температура началаковки 1200 °С, конца 850 °С; сечение до 350 мм охлаждается на воздухе.

Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки. При ручной электродуговой сварке рекомендуется применять электроды на базе проволоки типа Х18Н9.

Сталь 12Х18Н9 применяют в основном в виде холоднокатаного листа и ленты для тонкостенных конструкций, свариваемых, как правило, точечной сваркой, а также для изделий, которые могут быть подвергнуты после сварки термической обработке.

3.2. СТАЛЬ 10Х18Н18Ю4Л (ЭП841)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления деталей, работающих в различных газовых средах при температурах 900–1100 °С: муфели, реторты, детали газовых горелок, газопроводные системы	ГОСТ 5632–72 ТУ 14-131-404–78 ТУ 14-130-60–73 ТУ 14-1-1197–75 ТУ 14-1-1964–77 ТУ 14-1-2075–77 ТУ 14-159-93–77 ТУ 14-131-195–77

Примечание Сталь выплавляют в дуговых или индукционных печах.

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, %										
C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Cu	Ce	S	P	Fe
0,07–0,13	≤ 0,8	≤ 0,8	18,0–19,5	18,0–19,5	3,2–4,2	0,4–0,6	≤ 0,03	≤ 0,020	≤ 0,035	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Пруток	Ø 8–120	ТУ 14-131-404–78	ОАО “Электросталь”
Проволока	Ø 3–6	ТУ 14-130-60–73	ОАО “Серп и Молот”
Лист:			
горячекатаный	δ = 4,0–11,0	ТУ 14-1-1197–75	ОАО “Ашинский метзавод”
холоднокатаный	δ = 0,9–3,5	ТУ 14-1-1964–77	
Лента	δ = 0,2–2,0	ТУ 14-1-2075–77	ОАО “Электросталь”
Труба бесшовная	Ø 28–32	ТУ 14-159-93–77	ОАО “Синарский трубный завод”
Заготовка трубная	Ø 90–115	ТУ 14-131-195–77	ОАО “Электросталь”

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1130 °С, охлаждение на воздухе или в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %
		не менее		
ТУ 14-131-404–78	Пруток	670	285	50
ТУ 14-1-1197–75	Лист толстый	600	—	40
ТУ 14-1964–77	Лист тонкий	500	—	40

Механические свойства при высоких температурах
(пруток, закалка с 1130 °С в воде)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$KCU,$ Дж/см ²	$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$KCU,$ Дж/см ²
600	520	221	48	44	196	1000	55	34	90	87	157
700	340	182	—	47	137	1100	25	20	109	90	206
800	185	162	60	78	147	1200	22	15	147	90	216
900	95	83	86	86	157						

Жаростойкость. Скорость коррозии ($v_{ок}$) в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп},$ °С	$v_{ок},$ мм/год
950	0,1
1000	0,2
1100	0,5

Предел длительной прочности и ползучести
(закалка с 1130 °С, охлаждение на воздухе)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_{1000},$ Н/мм ²	$\sigma_1 \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,5} \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²
800	33	—	—
900	12	—	—
1000	7	1,6	0,9
1200	3	—	—

Физические свойства.

Плотность — $7,63 \cdot 10^3$ кг/м³.

**Модуль упругости (E), коэффициент теплопроводности (λ),
температурный коэффициент линейного расширения (α)**

$t_{исп},$ °С	$E \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²	$\lambda,$ Вт/(м · К)	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
20	18,6	—		—
100	18,2	12,4	20–100	15,5
200	17,8	13,4	20–200	16,5
300	17,1	15,4	20–300	17,0
400	16,5	17,1	20–400	17,4
500	16,1	18,4	20–500	17,65
600	15,6	20,5	20–600	18,2
700	14,6	21,7	20–700	18,4
800	13,8	23,0	20–800	18,8
900	12,7	—	20–900	18,6
1000	—	—		—

Технологические параметры. Температура началаковки 1180 °С, конца — выше 900 °С, охлаждение на воздухе.

Рекомендуемый режим термической обработки — закалка с 1130 °С, охлаждение на воздухе или в воде.

Свариваемость стали удовлетворительная; при аргонодуговой сварке рекомендуется применять электроды типа ОЗЛ-25.

3.3. СТАЛЬ 20Х23Н18 (ЭИ417)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления печного оборудования: муфелей, экранов, деталей горелочных устройств с рабочей температурой до 1050 °С; в качестве жаропрочного материала (лопатки, бандажи) — до 700–800 °С	ГОСТ 5632–72 ГОСТ 5949–75 ГОСТ 5582–75 ГОСТ 7350–77 ГОСТ 4986–79 ТУ 14-1-377–72

Примечание. Сталь выплавляют в открытых электропечах.

Химический состав, ГОСТ5632–72

Массовая доля компонентов, %							
C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Fe
≤ 0,20	≤ 1,0	≤ 2,0	22,0–25,0	17,0–20,0	≤ 0,020	≤ 0,035	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Прутки			
горячекатаный			
круглый	∅ 5–200	ГОСТ 5949–75	ОАО “Электросталь”
	∅ 5–250	ТУ 14-1-377–72	ОАО “Мечел”
			ОАО “Златоустовский метзавод”
квадратный	□ 5–200	ГОСТ 5949–75	ОАО “Красный Октябрь”
	□ 5–250	ТУ 14-1-377–72	ОАО “Сибэлектросталь”
кованный			
круглый	∅ 40–200	ГОСТ 5949–75	ОАО “Днепроспецсталь”
квадратный	□ 40–200		
Лист:			
горячекатаный	δ = 4,0–20,0	ГОСТ 7350–77	ОАО “Мечел”
	δ = 1,5–3,9	ГОСТ 5582–75	ОАО “Серп и Молот”
холоднокатаный	δ = 0,7–3,9	ГОСТ 5582–75	ОАО “Красный Октябрь”
Лента холоднокатаная	δ = 0,05–2,0	ГОСТ 4986–79	ОАО “Серп и Молот”
			ОАО “Ашинский метзавод”

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки стали: по ГОСТ 5949–75 — закалка с 1100–1150 °С; по ГОСТ 7350–77 — закалка с 1030–1130 °С; по ГОСТ 5582–75 — закалка с 1080–1150 °С, по ГОСТ 4986–79 — закалка с 1050–1080 °С. Во всех случаях охлаждения в воде или на воздухе.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %
		не менее			
ГОСТ 5949–75	Пруток и полоса	490	196	35	50
ГОСТ 7350–77	Лист толстый	540	265	35	—
ГОСТ 5582–75	Лист тонкий	510	—	35	—
ГОСТ 4986–79	Лента	570	—	38(δ ₄)	—

Механические свойства при низких и повышенных температурах

(прутки, режим термической обработки: закалка с 1180 °С в воде + старение при 800 °С, выдержка 4 ч, охлаждение на воздухе)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²	$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²
20	610	300	29	47	140	600	450	200	23	45	180
300	530	240	25	45	150	700	320	190	19	34	170
400	550	230	24	39	150	800	190	160	19	34	180
500	530	210	25	41	170						

Механические свойства при высоких температурах (лист, закалка с 1050 °С в воде)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %
500	510	42	37	800	210	56	60
600	450	41	39	900	100	75	61
700	310	58	58				

Жаростойкость. Скорость коррозии в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп},$ °С	800	900	1000	1100	1200
$v_{ок},$ мм/год	0,05	0,05	0,5	“Катастрофическое” окисление	“Катастрофическое” окисление

Предел длительной прочности (Н/мм²)

$t_{исп},$ °С	σ_{1000}	σ_{10000}	$t_{исп},$ °С	σ_{1000}	σ_{10000}
800	39	23	1000	7,5	3,3
900	20	10	1050	5	2,1

Физические свойства.

Плотность — $7,88 \cdot 10^3$ кг/м³.

Модуль упругости (E), коэффициент теплопроводности (λ), температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{исп},$ °С	$E \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²	$\lambda,$ Вт/(м · К)	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6,$ К ⁻¹
20	20,4	13,8	20–100	14,9
100	—	15,9	20–200	15,7
300	18,6	18,8	20–300	16,6
400	18,0	—	20–400	17,3
500	17,3	—	20–500	17,5
600	16,3	21,7	20–600	17,85
650	15,9	—	20–700	17,85
700	15,3	—	—	—
800	14,4	—	—	—
1000	—	31,7	—	—

Технологические параметры. Температура началаковки 1180 °С, конца 900 °С.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1050–1150 °С на воздухе или в воде.

Сталь сваривается всеми видами сварки. При ручной электродуговой сварке рекомендуется применять электроды марки ОЗЛ-6.

3.4. СТАЛЬ 12Х25Н16Г7АР (ЭИ835)

Применение	ГОСТ, ТУ
В турбостроении для изготовления деталей газопроводных систем, камер сгорания, диафрагм, листовых деталей для эксплуатации при температурах до 1050 °С	ГОСТ 5632-72
	ГОСТ 5949-75
	ГОСТ 5582-75
	ГОСТ 7350-77
	ГОСТ 4986-79
	ТУ 14-1-225-72
	ТУ 14-1-2478-78
	ТУ 14-1-1747-76

Примечание. Сталь выплавляют в открытых электропечах или с применением электрошлакового переплава.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %									
C	Si	Mn	Cr	Ni	N	B	S	P	Fe
≤ 0,12	≤ 1,0	5,0-7,0	23,0-26,0	15,0-18,0	0,30-0,45	≤ 0,010	≤ 0,020	≤ 0,035	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
---------------	-------------	----------	--------------------

Прутки:

горячекатаный

круглый

Ø 5-200

Ø 35-180

квадратный

□ 5-200

□ 35-180

кованный

круглый

Ø 35-180

Ø 40-200

ГОСТ 5949-75
ТУ 14-1-225-72

ОАО "Электросталь"
ОАО "Мечел"

ОАО "Красный Октябрь"
ОАО "Днепропетросталь"

квадратный

□ 35-180

□ 40-200

Полоса:

горячекатаная

δ = 3-80

ГОСТ 5949-75

кованая

δ = 3-80

Лист:

горячекатаный

δ = 6,0-40,0

ГОСТ 5582-75

ОАО "Красный Октябрь"

δ = 1,5-3,9

ГОСТ 7350-77

ОАО "Серп и Молот"

δ = 4,0-11,0

ТУ 14-1-2478-78

ОАО "Серп и Молот"

холоднокатаный

δ = 0,7-3,9

ГОСТ 5582-75

δ = 0,8-3,0

ТУ 14-1-1747-76

Лента холоднокатаная δ = 0,05-2,0

ГОСТ 4986-79

ОАО "Серп и Молот"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки стали: по ГОСТ 5949-75, ГОСТ 7350-77 и ТУ 14-1-1747-76 — закалка с 1050-1150 °С; по ГОСТ 5582-75, ГОСТ 4986-79 — закалка с 1050-1100 °С; по ТУ 14-1-225-72 — закалка с 1050 °С; по ТУ 14-1-2478-78 — закалка с 1050-1080 °С. Во всех случаях охлаждение в воде или на воздухе.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
		не менее			
ГОСТ 5949-75	Пруток и полоса	690	325	40	45
ТУ 14-1-225-72		740	340	45	45
ГОСТ 7350-77	Лист толстый	740	390	50	—
ТУ 14-1-2478-78		980	—	35	—
ГОСТ 5582-75	Лист тонкий	980	—	35	—
ТУ 14-1-1747-76		980	—	35	—
ГОСТ 4986-79	Лента	690	—	30(δ_4)	—

Механические свойства при высоких температурах

(пруток, закалка с 1200 °С на воздухе)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
700	370-440	177-216	19-36	22-40	1000	80-130	49-98	20-50	20-45
800	260-360	167-206	15-25	18-30	1100	50-60	—	60-70	30-40
900	160-220	127-177	18-40	21-45	1200	30-40	—	50-60	25-45

Жаростойкость. Скорость окисления в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп}$, °С	900	1000	1100	1200
$v_{ок}$, мм/год	0,3	0,9	1,2	1,5

Предел длительной прочности (Н/мм²)

$t_{исп}$, °С	σ_{1000}	σ_{10000}
900	23	11
1000	8	3,5
1050	5	2

Физические свойства

Плотность — $7,76 \cdot 10^3$ кг/м³.Коэффициент теплопроводности (λ),
температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{исп}$, °С	λ , Вт/(м · К)	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	$t_{исп}$, °С	λ , Вт/(м · К)	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
100	15,1	20-100	16,6	600	22,2	20-600	18,3
200	16,3	20-200	16,2	700	23,9	20-700	18,5
300	17,6	20-300	16,8	800	25,6	20-800	18,7
400	19,3	20-400	17,4	900	27,7	20-900	18,9
500	20,9	20-500	18,0				

Технологические параметры. Температура началаковки 1160 °С, конца 900 °С.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1050-1200 °С на воздухе.

Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки.

3.5. СТАЛЬ 07Х25Н16АГ6Ф (ЭП 750)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления штамповарных конструкций сложной формы с рабочей температурой до 850 °С	ГОСТ 5632-72 ТУ 14-1-3109-81 ТУ 14-1-911-74 ТУ 14-1-1644-76 ТУ 14-1-1731-76

Примечание. Сталь выплавляют в открытых электропечах или с последующим электрошлаковым переплавом.

Химический состав, ГОСТ 5632-72

Массовая доля компонентов, %										
C	Si	Mn	Cr	Ni	V	N	Ce	S	P	Fe
≤ 0,07	≤ 0,6	5,0-7,0	23,0-26,0	14,0-18,0	0,2-0,5	0,30-0,45	≤ 0,2	≤ 0,015	≤ 0,035	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
---------------	-------------	----	--------------------

Прутки:

горячекатаный круглый	Ø10-180	ТУ 14-1-3109-81 ТУ 14-1-911-74	ОАО "Электросталь"
кованный круглый	Ø10-180	ТУ 14-1-3109-81	

Лист:

горячекатаный	δ = 3,0-3,9	ТУ 14-1-1644-76	ОАО "Серп и Молот"
	δ = 4,0-11,0	ТУ 14-1-1731-76	ОАО "Агинский метзавод"

холоднокатаный δ = 0,8-3,0 ТУ 14-1-1644-76 ОАО "Серп и Молот"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: по ТУ 14-1-911-74, ТУ 14-1-3109-81, ТУ 14-1-1644-76 — закалка с 1050-1150 °С; по ТУ 14-1-1731-76 — закалка с 1050-1100 °С; охлаждение на воздухе или в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ _B , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %
		не менее			
ТУ 14-1-911-74	Прутки	740	345	40	45
ТУ 14-1-3109-81		740	345	40	45
ТУ 14-1-1731-74	Лист толстый	740	345	35	—
ТУ 14-1-1644-76	Лист тонкий	740	345	25(δ ₄)	—

Механические свойства прутка (листа) при 20 °С и повышенных температурах (закалка с 1150 °С на воздухе)

t _{исп.} , °С	σ _B , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %	KCU, Дж/см ²
20	760 (780)	345 (345)	65 (55)	78	380 (250)
600	470 (470)	177 (196)	45 (32)	52	—
700	360 (390)	147 (—)	25 (16)	28	—
800	260 (290)	127 (147)	21 (16)	21	—
850	220 (250)	118 (167)	27 (15)	26	330

Жаростойкость. Скорость окисления в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	850
$v_{ок}, \text{мм/год}$	0,1–0,2

Физические свойства

Плотность – $7,83 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Модуль нормальной упругости – $19,3 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$

Коэффициент теплопроводности (λ), температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	Температурный интервал, $^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{К}^{-1}$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	Температурный интервал, $^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{К}^{-1}$
100	15,1	20–100	16,2	500	20,9	20–500	18,0
200	16,3	20–200	16,6	600	22,2	20–600	18,3
300	17,6	20–300	16,8	700	23,9	20–700	18,5
400	19,3	20–400	17,4	800	25,6	—	—

Технологические параметры. Температура началаковки $1160 ^\circ\text{C}$, конца $900 ^\circ\text{C}$.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с $1050 - 1150 ^\circ\text{C}$ на воздухе или в воде.

Сталь сваривается всеми видами сварки; при ручной дуговой сварке рекомендуется применять электроды марки ОЗЛ-9А.

3.6. СТАЛЬ 20Х25Н20С2 (ЭИ 283)

Применение	ГОСТ, ТУ
В печестроении для изготовления листовых деталей печных роликов, подвесок и опор в котлах, экранов печей для работы при температурах до $1100 ^\circ\text{C}$	ГОСТ 5632–72 ГОСТ 5949–75 ГОСТ 5582–75 ТУ 14-1-5350–97 ТУ 14-1-5361–98

Примечание. Сталь выплавляют в открытых электропечах.

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Fe
$\leq 0,20$	2,0–3,0	$\leq 1,5$	24,0–27,0	18,0–21,0	$\leq 0,020$	$\leq 0,035$	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
1	2	3	4

Прутки:

горячекатаный

круглый

квадратный

$\varnothing 5-200$

$\square 5-200$

ГОСТ 5949–75

ОАО “Электросталь”

ОАО “Мечел”

ОАО “Златоустовский метзавод”

ОАО “Днепроспецсталь”

кованый

круглый

квадратный

$\varnothing 40-200$

$\square 40-200$

Сортамент (продолжение)

1	2	3	4
Лист:			
горячекатаный	$\delta = 1,5-3,9$	ГОСТ 5582-75	ОАО "Серп и Молот"
	$\delta = 4,0-20,0$		ОАО Мечел"
холоднокатаный	$\delta = 0,7-3,9$	ТУ 14-1-5350-97	ОАО "Электросталь"
Проволока		ТУ 14-1-5361-98	ОАО "Электросталь"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки стали: по ГОСТ 5949-75 — закалка с 1100–1150 °С; по ГОСТ 5582-75 — закалка с 1050–1100 °С, охлаждение на воздухе или в воде

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
		не менее			
ГОСТ 5949-75	Полоса и пруток	590	295	35	50
ГОСТ 5582-75	Лист тонкий	490	—	35	—

Механические свойства при высоких температурах

(пруток, закалка с 1100–1150 °С на воздухе)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
500	520	255	30	47	700	320	165	40	55
600	490	210	35	50	800	195	110	50	63

Жаростойкость

Скорость окисления в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп}$, °С	900	1050	1150
$v_{ок}$, мм/год	0,08	0,34	0,45

Скорость окисления в атмосфере воздуха, содержащем 1,5 % SO₂

$t_{исп}$, °С	900
$v_{ок}$, мм/год	0,1

Предел длительной прочности и ползучести (Н/мм²)

$t_{исп}$, °С	σ_{1000}	σ_{10000}	$\sigma_{1 \cdot 10^{-3}}$	$\sigma_{1 \cdot 10^{-4}}$	$t_{исп}$, °С	σ_{1000}	σ_{10000}	$\sigma_{1 \cdot 10^{-3}}$	$\sigma_{1 \cdot 10^{-4}}$
800	34	20	—	—	1050	4	2	—	—
900	10	7	9	3	1100	—	—	0,7	1
1000	7	3	4	1,5					

Физические свойства.

Плотность — $7,72 \cdot 10^3$ кг/м³.

Модуль упругости (E), температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{\text{исп.}},$ °C	$E \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²	Температур- ный интер- вал, °C	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	$t_{\text{исп.}},$ °C	$E \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²	Температур- ный интер- вал, °C	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
20	19,5	—	—	500	17,5	—	—
100	19,2	20–100	12,0	600	15,0	20–600	20,5
200	18,6	20–200	14,0	700	14,0	20–700	22,0
300	18,5	—	—	800	13,0	20–800	23,5
400	18,0	20–400	17,0	900	12,0	20–900	25,0

Технологические параметры.

Температура начала ковки 1170 °C, конца 850 °C.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1100–1200 °C на воздухе или в воде.

Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки.

Глава 4. СПЛАВЫ НА ЖЕЛЕЗОНИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

4.1. СПЛАВ ХН32Л (ЭП-670)	
Применение	ГОСТ, ТУ
В нефтехимическом машиностроении для изготовления газо-отводящих труб, листовых деталей высокотемпературных установок с длительным сроком службы при температурах 700–850 °С; в нефтеперерабатывающей и газоперерабатывающей промышленности, в производстве аммиака	ГОСТ 5632–72 ГОСТ 24982–81 ТУ 14-1-284–72 ТУ 14-1-625–73 ТУ 14-1-2111–77 ТУ 14-1-4319–87 ТУ 14-1-489–76
Примечание. Сплав выплавляется в открытых электропечах.	

Химический состав, ГОСТ 5632-72									
Массовая доля компонентов, %									
C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al	S	P	Fe
≤ 0,05	≤ 0,7	≤ 0,7	19,0–22,0	30,0–34,0	0,25–0,60	≤ 0,5	≤ 0,020	≤ 0,030	Осн.

Сортамент			
Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный круглый	Ø 20–180		
кованый круглый	Ø 20–180	ТУ 14-1-284-72	ОАО “Электросталь”
Лист:			
горячекатаный	δ = 2,0–11,0	ГОСТ 24982–81	
	δ = 5,0–10,0	ТУ 14-1-625–73	ОАО “Красный
холоднокатаный	δ = 0,8–3,9	ГОСТ 24982–81	Октябрь”
Заготовка трубная:			
горячекатаная	Ø 90–160	ТУ 14-1-2111–77	
	Ø 170–250	ТУ 14-1-4319–87	ОАО “Электросталь”
кованая	Ø 251–350	ТУ 14-1-4319–87	
Труба	Ø 25–159	ТУ 14-3-489–76	ОАО “Первоуральский Новотрубный завод” ОАО “Никопольский ЮТЗ”

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки сплава: по ТУ 14-1-284–72, ТУ 14-1-2111–77, ТУ 14-3-489–76 и ГОСТ 24982–81 (х/к лист) – закалка с 1100–1150 °С в воде или на воздухе; по ГОСТ 24982–81 (г/к лист) и ТУ 14-1-625–73 – закалка с 1080–1120 °С в воде или на воздухе.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
		не менее			
ТУ 14-1-284-72	Прутки	470	175	40	60
ГОСТ 24982-81	Лист толстый	490	175	30	—
ТУ 14-1-625-73		490	175	30	—
ГОСТ 24982-81	Лист тонкий	470	196	25	—
ТУ 14-3-489-76	Труба горячекатаная и холоднокатаная	470	175	35	60
ТУ 14-1-4319-87	Заготовка трубная	470	—	40	—

Механические свойства при 20 °С и при высоких температурах
(прутки, закалка с 1100–1150 °С в воде или на воздухе)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
20	520	196	54	80	> 350	20	520	196	54	80	> 350
600	390	108	50	72	> 300	600	390	108	50	72	> 300
700	250	98	60	60	> 300	700	250	98	60	60	> 300
800	200	78	88	60	> 300	800	200	78	88	60	> 300
850	180	74	75	70	> 300	850	180	74	75	70	> 300
900	110	69	90	80	> 300	900	110	69	90	80	> 300
1000	60	39	100	90	250	1000	60	39	100	90	250

Жаростойкость. Скорость окисления в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп}$, °С	800
$v_{ок}$, мм/год	0,03

Пределы длительной прочности (Н/мм²)

$t_{исп}$, °С	σ_{1000}	σ_{10000}	$t_{исп}$, °С	σ_{1000}	σ_{10000}
650	108	77	650	108	77
700	78	54	700	78	54
750	55	38	750	55	38
800	39	27	800	39	27
850	24	15	850	24	15

Физические свойства. Плотность — $8,16 \cdot 10^3$ кг/м³.Коэффициент теплопроводности (λ) и температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{исп}$, °С	λ , Вт/(м · К)	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	$t_{исп}$, °С	λ , Вт/(м · К)	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	15,9	—	—	500	19,3	20–500	18,0
100	13,4	20–100	13,7	600	20,5	20–600	18,4
200	15,1	20–200	15,6	700	21,8	20–700	18,9
300	16,8	20–300	17,2	800	23,5	20–800	19,0
400	18,0	20–400	18,0	900	24,7	20–900	19,0

Технологические параметры. Температура началаковки 1130 °С, конца 850 °С.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1100–1150 °С на воздухе или в воде.

Сплав сваривается всеми видами сварки.

4.2. СПЛАВ ХН45Ю (ЭП 747)

Применение	ГОСТ, ТУ
В пещестроении для изготовления роликов в шелевых печах для обжига керамической плитки; печных конвейерных сеток; деталей горелочных устройств, чехлов термопар, оснастки печей обжига эмалированной посуды, для работы при температурах до 1250–1300 °С при незначительных механических напряжениях	ГОСТ 5632–72 ГОСТ 24982–81 ТУ 14-1-941–74 ТУ 14-1-2075–87 ТУ 14-1-2396–78 ТУ 14-1-4082–86

Примечание. Сплав выплавляется в открытых электропечах.

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, %										
C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Ba	Ce	S	P	Fe
≤ 0,10	≤ 1,0	≤ 1,0	15,0–17,0	44,0–46,0	2,9–3,9	≤ 0,10	≤ 0,03	≤ 0,020	≤ 0,025	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			
горячекатаный круглый	Ø 8–100	ТУ 14-1-941–74	ОАО “Электросталь”
кованый круглый	Ø 8–100		
Лист:			
горячекатаный	δ = 2,0–11,0	ГОСТ 24982–81	ОАО “Ашинский
холоднокатаный	δ = 0,8–3,9		метзавод”
Лента холоднокатаная	δ = 0,2–2,0	ТУ 14-1-2075–87	ОАО “Электросталь” ОАО “Серп и Молот”
Проволока холоднотянутая	δ = 2,5–5,0	ТУ 14-1-2396–78	ОАО “Электросталь”
Заготовка трубная	Ø 170–180	ТУ 14-1-4082–86	

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки сплава: закалка с 1050–1150 °С на воздухе или в воде.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %
		не менее			
ТУ 14-1-941–74	Пруток	590	215	15	20
ГОСТ 24982–81	Лист	590	—	30	—
ТУ 14-1-2075–87	Лента	590	—	35	—
ТУ 14-1-4082–86	Заготовка трубная	540	—	35	—

Примечание. Термическая обработка: для прутка – закалка с 1050–1150 °С на воздухе; для листа – закалка с 1060–1100 °С в воде, под водяным душем или на воздухе; для ленты – закалка с 1100 °С на воздухе; для заготовки трубной – закалка с 1130–1180 °С на воздухе.

Механические свойства при 20 °С и при высоких температурах

(лист 2 мм, закалка с 1150 °С на воздухе)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
20	590–740	295–340	50–60	55–58	1000	50–60	29–39	40–50	40–50
800	150–180	98–147	33–36	30–36	1100	30–40	20–29	70–80	55–60
900	70–90	59–69	35–40	35–40	1200	20–30	—	90–100	75–85

Жаростойкость. Скорость окисления в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп},$ °С	1200	1250	1300
$v_{ок},$ мм/год	0,08	0,1	0,24

Предел длительной прочности (Н/мм²)

$t_{исп},$ °С	σ_{1000}
1100	5
1150	4
1200	2,5

Физические свойства

Плотность — $7,7 \cdot 10^3$ кг/м³.Модуль упругости (E), коэффициент теплопроводности (λ), температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{исп},$ °С	$E \cdot 10^{-4},$ Н/мм ²	$\lambda,$ Вт/(м · К)	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
20	20,7	—	—	—
100	20,1	10,5	20–100	15,8
200	19,2	12,2	20–100	15,9
300	18,7	13,8	20–300	15,95
400	17,8	15,5	20–400	16,55
500	17,1	17,6	20–500	—
600	15,6	19,3	20–600	16,6
700	14,8	20,9	20–700	17,7
800	12,4	22,6	20–800	19,0
900	12,0	24,3	20–900	19,7
1000	—	—	20–1000	19,85

Технологические параметры.

Температура: началаковки 1150–1180 °С, конца — не ниже 850 °С.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1100–1200 °С на воздухе или в воде.

Сплав сваривается хорошо всеми видами сварки. Для ручной электродуговой сварки применяют электроды марок ОЗЛ-25 и ОЗЛ-35.

Глава 5. СПЛАВЫ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

5.1 СПЛАВ ХН70Ю (ЭИ 652)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления деталей камер сгорания и форсажных камер (карманы, диффузоры, экраны и др.), работающих при незначительных напряжениях и температурах 1100–1200 °С	ГОСТ 5632–72 ГОСТ 24982–81 ГОСТ 12766.4–77 ТУ 14-1-1497–75 ТУ 14-1-493–72 ТУ 14-1-810–73 ТУ 14-1-833–74

Примечание. Сплав выплавляют в открытых индукционных печах или с применением электрошлакового переплава.

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, % (по массе)								
C	Si	Mn	Cr	P	Al	Fe	S	Ni
≤ 0,10	≤ 0,8	≤ 0,3	26,0–29,0	≤ 0,015	2,8–3,5	≤ 1,0	≤ 0,012	Осн.

Сортамент сплава

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный круглый	Ø 6–25	ГОСТ 12766.4–77	ОАО “Электросталь”
	Ø 20–38	ТУ 14-1-1497–75	ОАО “Златоустовский метзавод”
кованный круглый	Ø 40–100	ТУ 14-1-1497–75	
Лист:			
горячекатаный	δ = 2,0–11,0	ГОСТ 24982–81	ОАО “Мечел”
	δ = 5–15	ТУ 14-1-493–72	ОАО “Электросталь”
	δ = 8–20	ТУ 14-1-810–73	ОАО “Серп и Молот”
холоднокатаный	δ = 0,8–3,9	ГОСТ 24982–81	
Лента холоднокатаная	δ = 0,2–1,2	ТУ 14-1-833–74	ОАО “Серп и Молот”
Проволока	δ = 1,0–7,0	ГОСТ 12776.1–77	ОАО “Электросталь”

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки сплава: закалка с 1100–1200 °С на воздухе или в воде.

Нормированные механические свойства при температуре 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
		не менее			
ТУ 14-1-1497-75	Пруток	740	—	30	—
ГОСТ 12766.1-77	Проволока	813	—	37,5 (δ_{200})	—
ТУ 14-1-833-74	Лента	930	—	30 (δ_4)	—
ГОСТ 24982-81	Лист холоднокатаный	980	—	30	—
ТУ 14-1-493-72	Лист горячекатаный	740	—	30	—
ТУ 14-1-810-73		780	—	37	50

Примечание. Термическая обработка: для прутка — закалка с 1200 °С на воздухе; для проволоки — закалка с 1000 °С на воздухе; для ленты — закалка с 1100–1130 °С на воздухе; для листа холоднокатаного — закалка с 1100–1150 °С в воде под водяным душем или на воздухе.

Механические свойства при 20 °С и при высоких температурах
(пруток, закалка с 1200 °С на воздухе)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
20	880	480	35	700	480	320	37
200	880	490	37	900	225	170	38
300	760	370	37	1000	145	—	50
500	730	360	35	1100	88	—	61

Жаростойкость. Скорость окисления в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп}$, °С	1150	1200
$v_{ок}$, мм/год	0,03	0,06

Предел длительной прочности (Н/мм²)

$t_{исп}$, °С	σ_{1000}
1150	3,0
1200	2,2

Физические свойства. Плотность — $7,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

Модуль упругости (E), коэффициент теплопроводности (λ), температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{исп}$, °С	$E \cdot 10^{-4}$, Н/мм ²	λ , Вт/(м · К)	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	22	11,7	—	—
100	21	12,6	20–100	13,1
200	21	13,9	20–100	13,9
300	20	13,6	20–300	14,8
400	19,5	17,3	20–400	15,7
500	19	18,9	20–500	16,4
600	17	18,9	20–600	17,8
700	—	23,1	20–700	22,4
800	—	24,8	20–800	25,5
900	—	26,9	20–900	21,3
	—	—	20–1000	21,2

Технологические параметры. Температура: началаковки — 1150 °С, конца — 900 °С.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1100–1200 °С на воздухе или в воде.

Сплав сваривается всеми видами сварки.

5.2. СПЛАВ ХН78Г (ЭИ 435)

Применение	ГОСТ, ТУ
В различных областях техники для изготовления слаботягнутых ответственных деталей с рабочей температурой до 1000–1100 °С (жаровые трубы, камеры сгорания, газоходы, чехлы термопар и т. д.).	ГОСТ 5632–72 ГОСТ 24982–81 ТУ 14-1-1671–76 ТУ 14-1-2752–79 ТУ 14-1-975–74 ТУ 14-1-4319–87 ТУ 14-1-4009–85 ТУ 14-1-895–74 ТУ 14-1-4319–87

П р и м е ч а н и е. Сплав выплавляют в открытых электропечах, а также с применением различных способов переплава.

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, %									
C	Si	Mn	Cr	P	Ti	Al	Fe	S	Ni
≤ 0,12	≤ 0,8	≤ 0,7	19,0–22,0	≤ 0,015	0,15–0,35	≤ 0,15	≤ 1,0	≤ 0,010	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
---------------	-------------	----------	--------------------

Прутки:

горячекатаный

круглый

До Ø 180

ОАО “Электросталь”

квадратный

До □ 180

ТУ 14-1-1671–76

ОАО “Мечел”

кованный

круглый

До Ø 180

ОАО “Златоустовский

квадратный

До □ 180

метзавод”

Лист:

горячекатаный

δ = 4,0–11,0

ТУ 14-1-2752–79

ОАО “Красный Октябрь”

δ = 2,0–11,0

ГОСТ 24982–81

ОАО “Мечел”

холоднокатаный

δ = 0,8–3,9

ГОСТ 24982–81

ОАО “Серп и Молот”

Лента холоднокатаная

δ = 0,1–2,0

ТУ 14-1-975–74

ОАО “Серп и Молот”

ОАО “Электросталь”

Заготовка трубная:

горячекатаная

Ø 170–250

ТУ 14-1-4319–87

кованая

Ø 85–120

ТУ 14-1-4009–85

ОАО “Электросталь”

Ø 180, 215, 250

ТУ 14-1-895–74

Ø 251–350

ТУ 14-1-4319–87

П р и м е ч а н и е. Рекомендуемый режим термической обработки сплава: закалка с 1000–1150 °С в воде или на воздухе.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ГОСТ, ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
		не менее			
ТУ 14-1-1671-76	Прутки ¹	640	165	35	50
ТУ 14-1-895-74	Заготовка трубная ²	590	255	40	—
ТУ 14-1-4009-85	Заготовка трубная ²	640	165	35	50
ТУ 14-1-4319-87	Заготовка трубная ⁴	650	—	35	—
ТУ 14-1-975-74	Лента ³	830	—	25 (δ_4)	—
ГОСТ 24982-81	Лист горячекатаный ³	880	—	30	—
ТУ 14-1-2752-79	Лист холоднокатаный ³	640-880	275	30	—

¹ закалка с 980-1020 °С на воздухе; ² закалка с 1080-1100 °С на воздухе; ³ закалка с 980-1020 °С в воде, под водяным душем, на воздухе; ⁴ закалка по режиму завода поставщика.

Механические свойства при 20 °С и при высоких температурах
(холоднокатаный лист, закалка с 1000 °С, выдержка 10 мин, охлаждение на воздухе)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
20	720	265	38-40	1000	60	—	100-105
700	390	186	35-38	1100	40	—	110-115
800	180	98	60-70	1200	20	—	120-130
900	100	—	80-90				

Жаростойкость. Скорость окисления в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп}$, °С	1150
$v_{ок}$, мм/год	0,2

Пределы длительной прочности (Н/мм²)

$t_{исп}$, °С	σ_{1000}	$t_{исп}$, °С	σ_{1000}
800	46	1000	8
900	21	1100	4

Физические свойства.

Плотность — $8,4 \cdot 10^3$ кг/м³.

Модуль упругости (E), коэффициент теплопроводности (λ), температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{исп}$, °С	$E \cdot 10^{-4}$, Н/мм ²	λ , Вт/(м · К)	Температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	21	—	—	—
100	—	10,5	20-100	12,28
200	—	13,0	20-200	13,08
300	—	15,9	20-300	13,42
400	—	19,6	20-400	14,20
500	—	24,0	20-500	14,22
600	—	29,3	20-600	14,59
700	—	34,5	20-700	15,11
800	16,9	40,2	20-800	15,18
900	—	47,4	20-900	15,88

Технологические параметры. Температура: началаковки 1160 °С, конца 950 °С.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1000–1150 °С на воздухе или в воде.

Сплав удовлетворительно сваривается всеми видами сварки; при ручной дуговой сварке применяют электроды марок ОЗЛ-25, ОЗЛ-25Б, ЦТ-28.

5.3. СПЛАВ ХН60ВТ (ДИ 868)

Применение	ГОСТ, ТУ
Для изготовления деталей камер сгорания, форсажных камер и других деталей с рабочей температурой до 1000–1100 °С	ГОСТ 5632–72 ТУ 14-1-286–72 ТУ 14-1-3148–81 ТУ 14-1-1494–75 ТУ 14-1-4296–87 ТУ 14-1-1747–76 ТУ 14-1-927–74 ТУ 14-1-230–72

П р и м е ч а н и е. Сплав выплавляют в открытых электропечах, и с применением плазменно-дугового переплава.

Химический состав, ГОСТ 5632–72

Массовая доля компонентов, %										
C	Si	Mn	Cr	P	W	Ti	Al	Fe	S	Ni
≤ 0,10	≤ 0,8	≤ 0,5	23,5–26,5	≤ 0,013	13,0–16,0	0,3–0,7	≤ 0,5	≤ 4,0	≤ 0,013	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный круглый	Ø 10–120	ТУ 14-1-286–72	ОАО “Электросталь”
кованый квадратный	□ 60–120	ТУ 14-1-286–72	ОАО “Златоустовский метзавод”
пресс-изделия	Ø 80–120	ТУ 14-1-3148–81	ОАО “Электросталь”
Лист:			
горячекатаный	δ = 2,0–3,9	ТУ 14-1-1494–75	ОАО “Серп и Молот”
	δ = 4,0–11,0	ТУ 14-1-4296–87	ОАО “Ашинский
холоднокатаный	δ = 0,8–3,0	ТУ 14-1-1747–76	метзавод”
Лента холоднокатаная	δ = 0,2–1,2	ТУ 14-1-927–74	ОАО “Серп и Молот”
Заготовка трубная	Ø 180, 185, 190	ТУ 14-1-230–72	ОАО “Электросталь”

П р и м е ч а н и е. Рекомендуемый режим термической обработки сплава: закалка с 1150–1200 °С в воде или на воздухе.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
		не менее			
ТУ 14-1-286-72	Прутки* ¹	750	—	30	—
ТУ 14-1-1747-76	Лист холоднокатаный* ²	1030	—	40	—
ТУ 14-1-1494-75	Лист горячекатаный* ⁴	1030	—	35	—
ТУ 14-1-4296-87	Лист горячекатаный* ²	980	—	40	—
ТУ 14-1-927-74	Лента холоднокатаная* ²	980	—	35	—
ТУ 14-1-230-72	Заготовка трубная* ³	690	—	30	—

Примечание. Термическая обработка: *¹ закалка с 1150–1200 °С на воздухе; *² закалка с 1150–1200 °С в воде, под водяным душем или на воздухе; *³ закалка с 1200 °С на воздухе; *⁴ термическая обработка по режиму завода-поставщика.

Механические свойства при 20 °С и при высоких температурах
(пруток, закалка с 1150–1200 °С на воздухе)

$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
20	740–880	295–390	45–60	52–60
800	370–410	196–255	40–55	60–65
900	210–250	186–216	55–58	60–70
1000	130–160	78–118	55–68	60–70
1100	70–90	—	102–107	80–85
1200	40–60	—	145–150	75–80

Жаростойкость. Скорость окисления в атмосфере спокойного воздуха

$t_{исп}$, °С	1100	1200
$\nu_{ок}$, г/(м ² · ч)	0,37	0,6

Пределы длительной прочности (Н/мм²)

$t_{исп}$, °С	σ_{100}	σ_{200}	σ_{300}
800	108	93	87
900	51	42	39

Физические свойства.

Плотность — $8,35 \cdot 10^3$ кг/м³.

Модуль упругости (E), коэффициент теплопроводности (λ), температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$E \cdot 10^{-4}, \text{Н/мм}^2$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	Температурный интервал, $^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{К}^{-1}$
20	21,8	9,6	—	—
100	—	10,5	20—100	12,7
200	—	11,7	20—200	13,2
300	—	13,8	20—300	13,6
400	—	16,3	20—400	14,1
500	—	18,8	20—500	14,5
600	19,2	21,3	20—600	15,1
700	18,4	23,4	20—700	15,6
800	17,6	25,5	20—800	16,0
900	16,6	28,0	20—900	16,2
1000	15,3	—	20—1000	16,8
1100	14,2	—	—	—

Технологические параметры. Температура: началаковки 1180 $^\circ\text{C}$, конца 1050 $^\circ\text{C}$.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1150—1200 $^\circ\text{C}$ на воздухе или в воде.

Сплав сваривается всеми видами сварки.

Часть III. ВЫСОКОПРОЧНЫЕ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИЕ СТАЛИ

ВВЕДЕНИЕ

Развитие авиации, космонавтики, ракетостроения — областей техники, где соотношение общей массы конструкции и полезной грузоподъемности приобретает решающее значение, — привело к созданию новых видов сталей и сплавов, на которых посредством легирования и соответствующей термической обработки можно достичь высокий уровень прочности ($\sigma_{\text{н}} = 2000\text{--}2500 \text{ Н/мм}^2$) при хороших значениях пластичности и вязкости.

К середине 60-х годов эту группу материалов, получивших наименование “стареющий мартенсит” (Maraging steels), начала выпускать промышленность в виде металлопродукции различного сортамента: толстый и тонкий лист, сортовые виды проката, поковки, ленту, трубу.

В России стали этого типа известны под названием “мартенситно-стареющие стали”. Благодаря усилиям специалистов ряда российских предприятий и организаций (ЦНИИЧМ им. И. П. Бардина, ВИАМ, ЦНИИМВ и др.) они достаточно хорошо изучены и их производство освоено отечественной промышленностью.

Мартенситно-стареющие стали содержат от 8 до 24 % Ni с добавками, чаще всего значительными, кобальта (8–12 %), молибдена (3–6 %), а также титана (1–2 %), алюминия (1–2 %) и др.

Высокий уровень прочности, достигаемый в этих сталях, обусловлен процессами старения в безуглеродистом ($< 0,03 \text{ \% C}$) мартенсите, который в исходном, несостаренном, состоянии обладает высокой пластичностью и относительно малой прочностью. Упрочнение сталей осуществляется при старении и обусловлено процессами “предвыделения” и образования высокодисперсных интерметаллидных фаз типа NiTi, Ni₃Ti, Ni(Ti Al), Ni₃(Ti Al), Fe₂Mo и др., когерентно связанных с матрицей.

Углерод для этих сталей является вредным элементом, т.к. при его наличии в стали вместо интерметаллидных фаз образуются карбиды, в том числе по границам зерен, что снижает пластичность и вязкость, а также уменьшает эффект интерметаллидного упрочнения.

Мартенситно-стареющие стали весьма технологичны в металлургическом и машиностроительном производстве. В закаленном состоянии мартенсит этих сталей пластичен и может подвергаться деформации, обработке режущим инструментом и т.д.

Исследованиями [1–6] установлено, что оптимальное сочетание прочности, пластичности, вязкости имеют сложнелегированные стали, содержащие: 9–18 % Ni, 7–9 % Co, 4–6 % Mo, 0,5–1,0 % Ti. После закалки с 800–850 °C в сталях формируется следующий комплекс механических свойств: $\sigma_{0,2} = 950\text{--}1100 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{\text{н}} = 1100\text{--}1200 \text{ Н/мм}^2$, $\delta_5 = 18\text{--}20 \text{ \%}$, $\psi = 70\text{--}80 \text{ \%}$. Старение при 480–500 °C повышает прочность до $\sigma_{0,2} = 1800\text{--}2000 \text{ Н/мм}^2$,

$\sigma_{0.2} = 1900-2100 \text{ Н/мм}^2$ при сохранении пластичности ($\delta_5 = 8-12 \%$, $\psi = 40-60 \%$) [7, 9]. Кроме того, мартенситно-стареющие стали с повышенным содержанием никеля (21–23%) обладают эливарными свойствами ($\text{ТКЧ} = \pm 10 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ [10]. Такое сочетание свойств мартенситно-стареющих сталей позволило решить ряд сложных технических задач в авиации, ракетостроении, судостроении, криогенной технике и др.

Библиографический список

1. *Smith H., Anderson R., Bigham G.* // Metal Progress. 1962. V. 82. № 5. P. 24–28.
2. *Decker R., Yeo R., Eash J., Bieber C.* // Mater. Design Engng. 1962. V. 55. № 5. P. 31–38.
3. *Перкас М. Д.* // ФММ. 1963. Т. 15. № 4. С. 20–26.
4. *Peterson W.* The Relation between the Structure and Mechanical Properties of Metals. Symposium 15. Teddington. 1963. — 160 p.
5. *Peters D., Cupp G.* // TAIME. 1966. V. 236. № 10. P. 49–53.
6. *Спектор Я. И., Воронина С. Н.* // МИТОМ. 1964. № 11. С. 50–55.
7. *Перкас М. Д.* // МИТОМ. 1968. № 6. С. 48–53.
8. *Перкас М. Д., Кардонский В. М.* Высокопрочные мартенситно-стареющие стали. — М.: Металлургия, 1970. — 224 с.
9. *Потак Я. М.* Высокопрочные стали. — М.: Металлургия, 1972. — 208 с.
10. *Перкас М. Д., Русаненко В. В.* // ФММ. 1987. Т. 63. № 2. С. 371–380.

Глава 1. КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИЕ СТАЛИ

1.1. СТАЛЬ 13Х9К14Н6М3Г (ЭП92)

Применение	ТУ
Для изготовления сварных тяжело нагруженных деталей и конструкций при температуре от 400 до -196 °С при воздействии слабоагрессивных сред; обладает высокой эрозионной стойкостью (износостойкие клапана запорных узлов кислородных установок)	ТУ 14-1-1785-76 ТУ 14-1-3049-80 ТУ 14-1-2070-77 ТУ 14-1-2071-77

Примечание. Сталь выплавляют в открытых индукционных печах, а также методами ВДП и ЭСП.

Химический состав, ТУ 14-1-1785-76

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	Cr	Co	Ni	Mo	Cu	V	Fe	S	P
≤ 0,03	≤ 0,1	0,2-0,6	8,5-9,5	13,0-14,0	6,0-7,0	3,0-4,0	1,0-1,5	0,1-0,25	Ост.	≤ 0,01	≤ 0,01

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный		ТУ 14-1-1785-76	ОАО "Электро-сталь"
круглый	Ø 35-180		
квадратный	□ 35-180		
прессованный			
круглый	Ø 80-200 (ВДП) Ø 80-150 (ЭСП)	ТУ 14-1-3049-80	

Лист:

горячекатаный 3-16×710-1000×1000-2000 ТУ 14-1-2070-77 ОАО "Ашинский
холоднокатаный 1,5-3,0×до 1000×до 2000 ТУ 14-1-2071-77 метзавод"

Примечание. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 860-880 °С, 1 ч, в воде + закалка с 730±10 °С, 1 ч, в воде + старение при 540-550 °С, 3 ч.

Нормированные механические свойства при 20 °С

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	KCU, Дж/см ²
не менее					
ТУ 14-1-2070-77	Лист горячекатаный	1300	1200	15	60
ТУ 14-1-2071-77	Лист холоднокатаный	1400	1300	15	-

Примечание. Для прутков свойства не нормируются.

Механические свойства при низких и повышенных температурах
(горячекатаный пруток, Ø140 мм)

$t_{исп},$ °C	$\sigma_{в},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²	$t_{исп},$ °C	$\sigma_{в},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²
-253	2050	1710	10,5	11,0	45	100	1010	920	10,0	56,0	190
-196	1957	1497	12,2	13,0	72	200	1060	920	9,0	56,0	160
-100	1650	1290	20,2	55,3	74	300	1040	870	8,0	55,0	150
-70	1553	1253	22,0	60,3	83	400	1070	950	11,0	53,0	110
20	1380	1200	22,7	61,7	100	500	1100	1010	18,0	47,0	90
						600	580	520	25,0	76,0	120

Механические свойства при высоких температурах
(горячекатаный пруток Ø140 мм)

$t_{исп},$ °C	$\sigma_{в},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²	$n,$ об	$t_{исп},$ °C	$\sigma_{в},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²	$n,$ об
800	300	130	20	40	210	—	1100	44	35	50	50	160	11,1
900	120	100	50	62	260	14,0	1200	33	26	50	50	140	11,0
1000	50	37	50	52	210	11,5	1250	—	—	—	—	120	11,0

**Механические свойства при 20 °C в зависимости от степени
холодной деформации (лист 3,0 мм, закалка перед холодной
деформацией с 880 °C, 20 мин, воздух)**

Степень обжатия, %	$\sigma_{в},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	Степень обжатия, %	$\sigma_{в},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %
0	1402	1316	16,8	30	1539	1316	7,1
10	1454	1316	14,1	40	1610	1541	6,3
				60	1682	1625	5,1

Коррозионная стойкость. Скорость коррозии стали после термической обработки на максимальную прочность $\sigma_{0,2} = 1400$ Н/мм² (закалка с 880 °C, 1 ч, в воде + старение при 500 °C, 5 ч) после испытания в течение 15000 ч составляет: 0,4 мм/год — в водопроводной воде; 0,8 мм/год — в 3%-ном растворе NaCl.

Физические свойства.

Плотность — $7,85 \cdot 10^3$ кг/м³.

Температурный коэффициент линейного расширения α

$t, ^\circ\text{C}$	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600	20–700	20–800	20–900	20–1000
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	12,23	12,68	12,91	13,34	13,50	13,14	12,01	11,65	12,60	13,49

Теплопроводность при различных температурах

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	20	-73	-193	-253
$\lambda \cdot 10^{-2}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$	0,165	0,135	0,086	0,023

Теплоемкость при различных температурах

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	20	-140	-183	-253
$C \cdot 10^{-3}, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$	0,240	0,182	0,113	0,023

Технологические параметры. Сталь хорошо деформируется в горячем и холодном состоянии. Температурный интервал горячей обработки давлением 1200–900 °C. Сталь

хорошо обрабатывается резанием в закаленном состоянии. После полного цикла упрочняющей термической обработки рекомендуются операции шлифования и полировки. Стабильность размеров изготовленных деталей, подвергнутых термической обработке, сохраняется в течение длительного времени.

Для удаления окалины рекомендуется только кислотное травление во избежание охрупчивания в щелочных расплавах при 400–450 °С.

Сварка. Сталь сваривается аргоно-дуговой сваркой с применением присадочной проволоки 03X12H9M2C-ВИ или вольфрамовым электродом. Сварные соединения обладают высокой стойкостью против образования горячих и холодных трещин. В отличие от других мартенситно-старееющих сталей при сварке стали ЭП921 блуждания дуги не наблюдается.

Механические свойства сварных соединений (лист $\delta = 10$ мм)

Вид сварки	Термическая обработка после сварки	σ_b при 20 °С, Н/мм ²	KCU при -196 °С, Дж/см ²
Аргоно-дуговая (без присадки)	Без термической обработки	1133	120
	Нагрев до 1020 °С, охлаждение до 600 °С + 750 °С, 1 ч, на воздухе + 575 °С, 3 ч, на воздухе	1400	20
Аргоно-дуговая (проволока ЭИ659А-ВИ)	Закалка с 950 °С на воздухе + закалка с 750 °С + отпуск 575 °С, 3 ч, на воздухе	1150	20

1.2. СТАЛЬ 03X12H9M2C (ЭП699)

Применение	ТУ
Для изготовления силовых элементов сварных конструкций, работающих при температурах от 20 до -196 °С	ТУ 14-1-1655-75 ТУ 14-1-2176-77

Примечание. Сталь выплавляется в открытых индукционных печах.

Химический состав, ТУ 14-1-1655-75

Массовая доля компонентов, %										
C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Ti	Cu	Mo	Fe
$\leq 0,03$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	12,0–13,0	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	7,8–8,8	0,7–1,0	1,5–2,0	0,25–0,75	Осн.

Примечание. Сталь относится к мартенситно-старееющим. После закалки сталь имеет мартенситно-аустенитную структуру (~80 % мелкоигльчатого мартенсита, остальное – аустенит). При последующем старении в мартенсите образуются комплексы меди и интерметаллидная фаза Ni₃Ti.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			
горячекатаный			
круглый	Ø 8–38, $l > 1000$	ТУ 14-1-1655-75	ОАО “Электро-сталь”
кованый			
круглый	□ Ø 90–180,		
квадратный	$l > 500$		
Лента	$\delta = 2,0$ и $3,0$ $b = 90, l \geq 600$	ТУ 14-1-2176-77	ОАО “Серп и Молот”

Механические свойства при низких и комнатной температурах

(лист 2 мм; закалка с 880 °С, 40 мин, в воде + старение при 600 °С, 2 ч)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²	$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$\psi,$ %	$KCU,$ Дж/см ²
-253	1780	1685	12	38	49	-70	1310	1080	19	65	75
-196	1600	1405	19	50	70	20	1170	990	19	65	75

Механические свойства при высоких температурах

(пруток Ø16 мм; закалка с 880 °С, 1 ч в воде)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %
1000	53,5	47	111	1100	32	23	90,5
1050	42,5	34,5	111	1150	24,5	17,5	107,5
				1200	17	12,5	78

Механические свойства при 20 °С в зависимости от степени холодной деформации

(лист 2,0 мм, закалка с 880 °С, 20 мин на воздухе)

Степень обжатия, %	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %	Степень обжатия, %	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5,$ %
0	1267	1136	20,9	20	1525	1376	8
10	1340	1218	14,5	40	1612	1405	6
				60	1662	1585	4

Коррозионная стойкость. Сталь является стойкой в атмосферных условиях, не склонна к коррозионному растрескиванию в условиях промышленной атмосферы (в присутствии 0,01 % SO_2), в условиях 98%-ной влажности и в солевом тумане.

Физические свойства.Плотность — $7,8 \cdot 10^3$ кг/м³.Теплопроводность — $0,19 \cdot 10^2$ Вт/(м · К) при 20 °С.Коэффициент Пуассона — 0,250 при 20 °С;
— 0,235 при -196 °С.Модуль сдвига — $7,8 \cdot 10^{-4}$ Н/мм² при 20 °С.Модуль упругости — $19,5 \cdot 10^{-4}$ Н/мм² при 20 °С.**Температурный коэффициент линейного расширения α**

$t,$ °С	(-196)–(20)	(-253)–(20)
$\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$	10,2	8,5

Технологические параметры. Сталь удовлетворительно деформируется в горячем и холодном состоянии. Температурный интервал горячей обработки давлением 1160–850 °С.

Охлаждение термообработанной стали до -50, -196 и -253 °С вызывает незначительные изменения размеров (от +0,003 до -0,004 мм).

Сталь азотируется на глубину до 0,3 мм, твердость HV составляет 9000 Н/мм².

Рекомендуемые режимы термической обработки: 1) закалка с 880 °С на воздухе (при обработке на прочность $\sigma_B \geq 900$; $\sigma_{0,2} \geq 850$ Н/мм²); 2) закалка с 880 °С на воздухе + старение при 600 °С, 2 ч (при обработке на прочность $\sigma_B \geq 1100$; $\sigma_{0,2} \geq 950$ Н/мм²).

Сварка. Сталь сваривается ручной и автоматической аргоно-дуговой сваркой. В качестве присадочного материала можно применять проволоку из сталей марок ЭП699 и ЭП225.

Сварные соединения не склонны к образованию горячих и холодных трещин.

**Механические свойства сварных соединений, выполненных
аргоно-дуговой сваркой вольфрамовым электродом (лист 2 мм)**

Термическая обработка		σ_b , Н/мм ² , при температурах, °С			KCU , Дж/см ² , при температурах, °С			Угол загиба, град
До сварки	После сварки	20	-196	-253	20	-196	-253	
Закалка с 880 °С, 20 мин на воздухе	Старение при 600 °С, 2 ч	1175	1599	1530	73	59	46	80
		1030	1485	1760	84	64	60	180

Глава 2. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИЕ СТАЛИ

2.1. СТАЛЬ 03Н18К8М5Т-ВД (0К21-ВД)

Применение	ТУ
Для изготовления тяжело нагруженных деталей: крепежных болтов, осей и емкостей высокого давления	ТУ 14-1-4479-88 ТУ 14-1-3140-81
Примечание. Сталь выплавляется в открытых индукционных печах с последующим вакуумно-дуговым переплавом.	

Химический состав, ТУ 14-1-4479-88

Массовая доля компонентов, %										
C	Si	Mn	S	P	Ni	Co	Mo	Ti	Al	Fe
≤ 0,03	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,01	17,7-19,0	7,5-8,5	4,2-5,0	0,2-0,4	≤ 0,15	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
кованный			
круглый	Ø 70-200	ТУ 14-1-4479-88	ОАО "Электросталь"
квадратный	□ 70-200		
Полоса	—	ТУ 14-1-4479-88	ОАО "Электросталь"
		ГОСТ 4405-75	

Нормированные механические свойства при 20 °С (после закалки и старения)

ТУ	Вид продукции	$\sigma_{\text{в}}$, Н/мм ²	ψ , %	KCU , Дж/см ²
		не менее		
ТУ 14-1-4479-88	Пруток:			
	продольные образцы	1570	50	49
	поперечные образцы	1570	50	34

Механические свойства при низких и повышенных температурах (пруток, Ø, □ 70-100 мм)

t _{исп.} , °С	E · 10 ⁻⁴ , Н/мм ²	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	σ _{ту} , Н/мм ²	δ ₅ , %	ψ, %
-196	—	1900	1800	1700	7	40
-130	—	1800	—	—	7	50
-70	20,25	1700	1600	1300	8	50
20	19,00	1600	1550	1300	9	55
200	17,50	1450	1400	1100	9	55
300	16,40	1400	1300	1100	10	55
400	—	1300	1200	1050	8	50

Прутки и полосы поставляются без термической обработки.

В технической документации на поставку металлопродукции гарантируются нормы контроля качества стали:

- химический состав по легирующим элементам;
- предельное содержание примесей;
- механические свойства;
- размер аустенитного зерна не ниже 5-го балла по ГОСТ 10234–75;
- макроструктура темплетов: отсутствие усадочной раковины, подусадочной рыхлости, нузурей, трещин и шлаковых включений;
- неметаллические включения, балла: сульфиды 1–2, силикаты 1–2,5, оксиды 1–2, нитриды 1,5–3,0 по шкалам ГОСТ 1778–70;
- ультразвуковой контроль на отсутствие трещин;
- размеры и геометрия (допустимые отклонения, кривизна, качество поверхности).

2.2. СТАЛИ 03Н18М2Т2-ВИ, 03Н14Х4М2Т2-ВИ

Применение	ТУ
Для изготовления тяжело нагруженных деталей, крепежных деталей, болтов, осей и емкостей	ТУ 14-1-5201–93
Примечание. Сталь выплавляют вакуумно-индукционным способом.	

Химический состав, ТУ 14-1-5201–93

Сталь	Массовая доля компонентов, %									
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	Ti	Fe
1	≤ 0,03	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,01	17,5–18,5	–	1,7–2,2	1,5–2,0	Осн.
2	≤ 0,03	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,01	14,5–15,5	3,7–4,2	1,7–2,2	1,5–2,0	Осн.

Примечание. 1 — сталь марки 03Н18М2Т2-ВИ; 2 — сталь марки 03Н14Х4М2Т2-ВИ.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			
горячекатаный			
круглый	Ø 8-16	ТУ 14-1-5201-93 ЦНИИЧМ	
квадратный	□ 8-14		
кованный			
круглый	Ø 20-100	ТУ 14-1-5201-93 ЦНИИЧМ	
квадратный	□ 20-100		
Лист горячекатаный 4-20x50-300x200-500			
		ТУ 14-1-5201-93 ЦНИИЧМ	

Нормированные механические свойства при 20 °С (после закалки и старения)

ТУ	Вид продукции	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	ψ , %	KCU , Дж/см ²
		не менее			
ТУ 14-1-5201–93	Прутки, лист	1900–2100	1800–2000	40–50	35–40

Прутки и листы поставляются без термической обработки.

При поставке металлопродукции гарантируются нормы контроля качества стали:

химический состав и предельное содержание примесей;
 механические свойства;
 макроструктура стали, размеры, геометрия и качество поверхности прутков и листов.

2.3. СТАЛИ 03Н18К9М5Т-ВД (ЭП637-ВД, ВКС210-ВД), 02Н18К9М5Т-ИД (ЭП637-ИД, ВКС210-ИД), 01Н18К9М5Т-ИЛ (ЭП637-ИЛ, ВКС210-ИЛ)

Применение	ТУ
Для изготовления тяжело нагруженных деталей ответственного назначения, валы вертолетов. Сварные корпуса двигателей, резервуары высокого давления больших размеров, детали крепежа, зубчатых передач двигателей	ТУ 14-1-3039-80 ТУ 14-1-2227-77 ТУ 14-1-1531-75 ТУ 14-1-4896-90

Выплавка стали.

1. Сталь 03Н18К9М5Т-ВД (ЭП637-ВД) выплавляют в открытых индукционных печах с последующим вакуумно-дуговым переплавом.
2. Сталь 02Н18К9М5Т-ИД (ЭП637-ИД) выплавляют в вакуумных индукционных печах с последующим вакуумно-дуговым переплавом.
3. Сталь 01Н18К9М5Т-ИЛ (ЭП637-ИЛ) выплавляют в вакуумных индукционных печах с последующим электронно-лучевым переплавом.

Химический состав, ТУ 14-1-4896-90 и ТУ 14-1-1531-75

Сталь	Массовая доля компонентов, %										
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Co	Mo	Ti	Al	Fe
1	≤ 0,03	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,01	17,7-19,0	8,5-9,5	4,6-5,5	0,6-0,8	≤ 0,15	Осн.
2	≤ 0,02	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,01	17,7-19,0	8,5-9,5	4,6-5,5	0,6-0,8	≤ 0,15	Осн.
3	≤ 0,01	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,01	17,7-19,0	8,5-9,5	4,6-5,5	0,6-0,8	≤ 0,15	Осн.

Примечание. 1 — 03Н18К9М5Т-ВД (ЭП637-ВД); 2 — 02Н18К9М5Т-ИД (ЭП637-ИД); 3 — 01Н18К9М5Т-ИЛ (ЭП637-ИЛ).

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			ОАО "Электро-
горячекатаный		ТУ 14-1-4896-90	сталь"
круглый	Ø 40-180		
квадратный	□ 40-180		
кованный	—	ТУ 14-1-4896-90	
	—	ГОСТ 1133-71	
Полоса		ТУ 14-1-4896-90	ОАО "Электро-
		ГОСТ 4405-75	сталь"
Лист горячекатаный	4-12×710-1000×1200-2000	ТУ 14-1-2227-77	ОАО "Ашинский метзавод"
Поковка-штанга	Ø 210-240	ТУ 14-1-1531-75	ОАО "Электро-
	l = 1100-2500		сталь"
	Ø 275-450	ТУ 14-1-1531-75	
	l = 600-2500		

Нормированные механические свойства сталей 02Н18К9М5Т-ИД (ЭП637-ИД) и 01Н18К9М5Т-ИЛ (ЭП637-ИЛ) при 20 °С (после закалки и старения)

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	ψ , %	KCU , Дж/см ²
		не менее		
ТУ 14-1-4896-90	Пруток:			
	продольные образцы	1910	40	30
	поперечные образцы	1910	30	25

Механические свойства стали 03Н18К9М5Т-ВД (ЭП 637-ВД) в состоянии поставки

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
		не менее		
ТУ 14-1-2227-77	Лист	900	400	12

Физические свойства стали 03Н18К9М5Т-ВД (ЭП637-ВД) при температуре 20 °С (после закалки и старения).

Плотность — $8,05 \cdot 10^3$ кг/м³.

Модуль упругости — $18,6 \cdot 10^4$ Н/мм².

Удельное электросопротивление — $(0,38-0,39) \cdot 10^{-6}$ Ом · м.

Коэрцитивная сила — 26–28 Э.

Индукция насыщения — 10–12 кГс.

Коэффициент магнитострикции — $17-19 \cdot 10^{-6}$.

Точка Кюри — 50–60 °С.

Температурный коэффициент линейного расширения — $10,1 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹.

Коэффициент Пуассона — 0,30.

Прутки, полосы, листы, поковки поставляются без термической обработки.

Нормы контроля качества стали гарантируются аналогично стали марки 03Н18К9М5Т-ВД (ЭК21-ВД).

**2.4. СТАЛИ 03Н15К10М5Ф5-ВД (ЭК169-ВД)
03Н15К10М5Ф5-ИЛ (ЭК169-ИЛ)
02Н15К10М5Ф5-ВИ**

Применение	ТУ
Для изготовления крупногабаритных высокооборотных маховиков, крупногабаритных тяжело нагруженных деталей, валов, осей, болтов и бандажей роторов	ТУ 14-1-5201-93 ТУ 14-1-5258-94

Выплавка стали.

1. Сталь 03Н15К10М5Ф5-ВД выплавляют в открытых индукционных печах с последующим вакуумно-дуговым переплавом.

2. Сталь 03Н15К10М5Ф5-ИД выплавляют в вакуумных индукционных печах с последующим вакуумно-дуговым переплавом.

3. Сталь 02Н15К10М5Ф5-ВИ выплавляют в вакуумно-индукционных печах.

Химический состав, ТУ 14-1-5201-93 и ТУ 14-1-5268-94

Сталь	Массовая доля компонентов, %										
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Co	Mo	V	Al	Fe
1, 2	≤ 0,03	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,01	14,5–15,5	9,0–9,7	4,6–5,3	5,0–5,7	≤ 0,15	Осн.
3	≤ 0,02	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,01	14,5–15,5	9,0–9,7	4,6–5,3	5,0–5,7	≤ 0,15	Осн.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Поковка-шайба	Ø 340–430 δ = 100–115	ТУ 14-1-5268-94	ОАО “Электро- сталь”

Пруток:

горячекатаный

круглый

Ø 8–16

квадратный

□ 8–14

ТУ 14-1-5201-93 ОАО “Суперметалл”

кованый

круглый

Ø 20–100

квадратный

□ 20–100

Лист горячекатаный 4–20×50–300×200–500 ТУ 14-1-5201-93 ОАО “Суперметалл”

Проволока

Ø 0,2–3,5

–

ЦНИИЧМ

Механические свойства при 20 °С (после закалки и старения)

ТУ	Вид продукции	σ _в , Н/мм ²	σ _{0,2} , Н/мм ²	ψ, %	KCU, Дж/см ²
		не менее			
ТУ 14-1-5268-94	Поковка-шайба Ø 350–450 мм	2000–2100	1900–2000	40–45	35–40
ТУ 14-1-5201-93	Пруток, лист	2100–2400	2000–2300	45–55	35–45

Беститановая мартенситно-стареющая сталь марок 03Н15К10М5Ф5-ВД, 03Н15К10М5Ф5-ИД, 02Н15К10М5Ф5-ВИ обладает высокой стойкостью к тепловому охрупчиванию и замедленному хрупкому разрушению, что важно для крупногабаритных деталей. Испытания образцов с пониженной скоростью растяжения показали, что в этой стали наблюдается уменьшение пластических свойств на 10 %, а в титансодержащих сталях — на 90 % (при одинаковом уровне прочности).

Результаты испытания образцов сталей с пониженной скоростью

Сталь	Относительное сужение ψ, %, при скорости нагружения		Относительное удлинение δ, %, при скорости нагружения	
	стандартной, 10 ⁻³ с ⁻¹	малой, 10 ⁻⁵ с ⁻¹	стандартной, 10 ⁻³ с ⁻¹	малой, 10 ⁻⁵ с ⁻¹
03Н15К10М5Ф5-ВД	45–50	40–45	8–9	7–8
03Н18К9М5Т-ВД	45–50	5–10	8–9	1–2

Примечание. Сталь после закалки имеет твердость 31–32 HRC; обладает хорошей обрабатываемостью резанием и свариваемостью.

Физические свойства стали 03Н15К10М5Ф5-ВД (ЭК169-ВД) при 20 °С (после закалки и старения).

Плотность — $8,1 \cdot 10^3$ кг/м³.

Модуль упругости — $19-20 \cdot 10^4$ Н/мм².

Удельное электросопротивление — $0,38-0,40 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.

Индукция насыщения — 8–14 кГс.

Остаточная индукция — 5–8 кГс

Температурный коэффициент линейного расширения — $10,0-10,5 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹.

Прутки и листы поставляются без термической обработки.

В технической документации на поставку металлопродукции гарантируются нормы контроля качества стали:

- химический состав по легирующим элементам;
- предельное содержание примесей;
- механические свойства;
- макроструктура темплетов: отсутствие усадочной рыхлости, пузырей, трещин, шлаковых включений;
- ультразвуковой контроль на отсутствие трещин;
- размеры и геометрия (допускаемые отклонения, кривизна, качество поверхности).

2.5. СТАЛЬ 01Н17К12М5Т-ИЛ (ЭП845-ИЛ)

Применение

ТУ

Для изготовления тяжело нагруженных деталей, деталей крепе- ТУ 14-1-1846-76
жа, крепежных болтов, осей и шпилек

П р и м е ч а н и е. Сталь выплавляется в вакуумно-индукционных печах с электроннолучевым переплавом.

Химический состав, ТУ 14-1-1846-76

Массовая доля компонентов, %

C	Si	Mn	S	P	Ni	Co	Mo	Ti	Fe
≤ 0,01	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,01	17,0–18,0	11,5–12,5	4,5–5,0	1,1–1,3	Осн.

П р и м е ч а н и е. Расчетное содержание модификаторов и раскислителей: Mg, Ca, Ba, Hf, В устанавливают с учетом технологических инструкций поставщика металла и остаточное содержание их в металле химическим анализом не определяют. Допускаются отклонения: по +0,1 % по титану; 0,3 % по никелю; +0,005 % по углероду.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Пруток:			
горячекатаный			
круглый	Ø 12–40	ТУ 14-1-1846-76	ОАО “Электросталь”
шестигранный	12–38		ОАО “Серп и Молот”

Нормированные механические свойства при 20 °С (после старения)

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	ψ , %	KCU, Дж/см ²
		не менее		
ТУ 14-1-1846-76	Прутки	2254	40	19,6

Примечание. Прутки поставляют без термической обработки.

2.6. СПЛАВ 21НКТ-ВИ (ВЭС-130)

Применение

ТУ

Для изготовления упругих чувствительных элементов сложной формы, подвесов, роторов, гироскопов

Примечание. Сплав выплавляется вакуумно-индукционным способом.

Химический состав, ТУ 14-1-5366-98

Массовая доля компонентов, % (по массе)

C	Ni	Co	Mo	Ti	Y	Si	Mn	S	P	Cr	Al	Fe
≤ 0,03	20,5-21,5	8,5-9,5	4,5-5,5	0,6-0,9	Расч. 0,01	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,3	≤ 0,2	Ост.

Сортамент

Вид продукции	Размеры, мм	ТУ	Завод-изготовитель
Прутки:			
горячекатаный		ТУ 14-1-5366-98	ЦНИИЧМ
круглый	∅ 8-16		
квадратный	□ 8-14		
кованный			
круглый	∅ 20-100		
квадратный	□ 20-100		
Лист горячекатаный	4-20×50-300×200-500	ТУ 14-1-5366-98	ЦНИИЧМ
		ТУ 14-1-5201-93	

Физико-механические свойства при температуре 20 °С

(после прецизионной термической обработки)

ТУ	Вид продукции	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	$\sigma_{0,005}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Температурный коэффициент частоты 10 ⁶ , К ⁻¹
ТУ 14-1-5366-98	Прутки, лист	1400-1800	1300-1700	1000-1400	6-8	±10

Примечание. Эливарный мартенситно-аустенитный сплав 21НКТ-ВИ превосходит в 1,5-2,0 раза по уровню прочности и упругости (при одинаковой эливарности) традиционные аустенитные сплавы типа 45НХТ, ВУС-22. Комплекс высоких механических и эливарных свойств достигается как в малых (1-10 мм), так и в крупных сечениях (20-100 мм) без применения холодной деформации.

Сплав поставляют после специальной термической обработки.

При поставке металлопродукции гарантируются нормы контроля качества сплава:

- химический состав и предельное содержание примесей;
- физико-механические свойства;
- микроструктура сплава не должна иметь усадочной раковины, рыхлости, трещин, шлаковых включений;
- размеры и геометрия (допускаемые отклонения, кривизна, качество поверхности).

Часть IV. КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ И ЖАРОСТОЙКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ ФИРМЫ "KRUPP VDM"

Глава 1. КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

1.1. Cronifer 1713 LCN – СПЛАВ 317 LN (№ 1.4439)

Применение

Аустенитная, низкоуглеродистая сталь с азотом на основе системы железо—хром—никель—молибден с высоким сопротивлением питтинговой и щелевой коррозии при температурах окружающей среды.

Для изготовления конденсаторов электростанций, работающих на природном топливе и атомных станций, для оборудования химической, текстильной, целлюлозно-бумажной отраслей, для оборудования нефтеперегонных предприятий, где осуществляется переработка нефти

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Ni	Mo	N	Fe
≤ 0,03	17,0–18,5	13,0–14,0	4,0–4,5	0,12–0,20	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, трубы, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1,0}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	> 580	> 285	> 315	> 35
100	—	> 225	> 255	—
200	—	> 185	> 210	—
300	—	> 165	> 190	—
400	—	> 150	> 175	—

Физические свойства при 20 °С.

Плотность — 8,0 г/см³.

Удельная теплоемкость — 500 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 14,0 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 85 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $17,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °С.

Модуль упругости — $20 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — X2CrNiMo18 16 5.

Электроды с покрытием — тот же сплав или EL-18 16 5L, AWS E 317 L.

1.2. Cronifer 1815 LCSi – СПЛАВ 1815 (№ 1.4361)**Применение**

Кремнийсодержащая, низкоуглеродистая сталь на основе системы железо–хром–никель, стойкая в азотной кислоте высокой концентрации при температурах окружающей среды и высоких температурах.

Для изготовления элементов трубопроводов, теплообменников в производстве азотной кислоты с концентрацией > 90 % и емкостного оборудования для ее хранения

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Ni	Si	Mo	Cu	N	Fe
≤ 0,010	17,0–18,5	14,5–15,5	3,7–4,3	≤ 0,20	≤ 0,50	≤ 0,08	Ост.

Сортамент

Тонкий лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (только тонкий лист)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1,0}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	> 500	> 225	> 265	> 30
100	—	> 170	> 200	—
200	—	> 130	> 160	—
300	—	> 110	> 140	—
350	—	> 105	> 135	—

Физические свойства при 20 °С.

Плотность — 7,8 г/см³

Удельная теплоемкость — 500 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 14,6 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 75 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $17,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ при 20–300 °С.

Модуль упругости — $20,3 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — удовлетворительная.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Cronifer S 1815 – FM 1815.

1.3 Cronifer 1925 hMo (№ 1.4529)**Применение**

Сплав имеет аустенитную структуру, обладает: исключительной коррозионной стойкостью против общей коррозии, высоким сопротивлением питтинговой и щелевой коррозии, а также коррозионному растрескиванию под напряжением. Используют в средах серной и фосфорной кислот, содержащих хлориды, при процессах концентрирования и выпаривания солей, для оборудования морских платформ

Химический состав										
Массовая доля компонентов, %										
Ni	Cr	C	Mn	Si	S	P	Cu	Mo	N	Fe
24,5–25,5	20,0–21,0	≤ 0,020	≤ 1,0	≤ 0,5	≤ 0,005	≤ 0,030	0,8–1,0	6,0–6,8	0,18–0,20	Осн.

Сортамент										
Толстый и тонкий лист, сорт, труба										

Нормированные механические свойства при 20 °С				
Сортамент (размеры, мм)	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	KCV, Дж/см ²
	не менее			
Лист:				
толстый (до 20)	300	650	40	
тонкий (до 5,0)	300	650	40	
Прутки (диаметр до 100)	300	650	40	120*1
Труба (до 200/10)	300	650	35	100*2
Поковка (диаметр до 160)	300	650	35	

*1 Вдоль волокна.

*2 Поперек волокна.

Значение предела текучести $\sigma_{0,2}$ при повышенных температурах, Н/мм ²					
t, °С	100	200	300	400	500
$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	230	190	170	160	120
					105

Физические свойства.

Плотность – 8,1 г/см³.

Температура плавления – 1320–1390 °С.

Магнитная проницаемость $\mu \approx 1,01$ при 20 °С.

Удельная теплоемкость (C), теплопроводность (λ), удельное электросопротивление (ρ), модуль упругости (E) и температурный коэффициент линейного расширения (α) при различных температурах

t, °С	C, Дж/(кг · К)	λ , Вт/(м · К)	ρ , мкОм · см	E · 10 ⁻⁵ , Н/мм ²	Температурный коэффициент линейного расширения	
					температурный интервал	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	415	12	96	1,93	–	–
100	435	12,9	99	1,86	20–100	15,0
200	470	14,4	104	1,79	20–200	15,7
300	495	16,5	108	1,73	20–300	16,1
400	510	18,5	112	1,68	20–400	16,4
500	520	20,1	115	1,63	20–500	16,7
600	525	21,6	117	–	–	–

Технологические параметры.

Имеет высокую технологичность при холодной и горячей деформации. Температурный интервал горячей обработки: 1200–900 °С, охлаждение в воде или с максимально возможной скоростью.

Термическая обработка.

Закалка с 1150–1200 °С.

Свариваемость.

Сплав может свариваться всеми обычными способами, не требуется предварительная и последующая (после сварки) термическая обработка.

1.4. Cronifer 2205 LCN – C22H25N5 (EN 1.4462)**Применение**

Аустенитно-ферритная, низкоуглеродистая сталь с азотом, имеющая высокие значения параметров прочности и отличное сопротивление коррозионному растрескиванию под напряжением, питтинговой и щелевой коррозии.

Для изготовления химического и нефтехимического оборудования, оборудования, работающего в морской воде, в установках опреснения морской воды. Рабочая температура до 280 °С, допустимо кратковременное повышение до 300 °С

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Ni	Mo	N	Fe
≤ 0,03	21,0–23,0	4,5–6,5	2,5–3,5	0,08–0,20	Ост.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>680	>480	>520	>25	280	—	>286	>325	—
100	—	>360	>400	—	300	—	>280	>320	—
200	—	>310	>350	—					

Физические свойства при 20 °С.Плотность — 7,8 г/см³.

Удельная теплоемкость — 450 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 15,0 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 80 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $13 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °С.Модуль упругости — $20 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.**Технологические параметры.**

Деформируемость — удовлетворительная.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — тот же сплав.

Электроды с покрытием — тот же сплав или EL-2293 NL.

1.5. Cronifer 2328 (№ 1.4503)

Применение

Стабилизированный титаном низкоуглеродистый аустенитный сплав на основе системы железо—хром—никель с молибденом и медью, обладающий весьма высоким сопротивлением коррозии в серной кислоте любой концентрации при температурах до 80 °С. Характеризуется хорошей устойчивостью к питтинговой и щелевой коррозии, что обеспечивает его эффективное применение при производстве, хранении и транспортировке кислот, а также в процессах выщелачивания руд с использованием серной кислоты

Химический состав

Массовая доля компонентов, %						
C	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Fe
≤ 0,03	22,0–24,0	26,0–28,0	2,5–3,0	2,5–3,5	0,4–0,7	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>500	>210	>240	>35	300	>370	>135	>160	—
100	>420	>180	>210	—	400	>330	>125	>150	—
200	>400	>150	>180	—					

Физические свойства при 20 °С.

Плотность — 8,0 г/см³.

Удельная теплоемкость — 500 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 14,5 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 90 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $18 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °С.

Модуль упругости — $20 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 4225-(FM 65).

Электроды с покрытием — 2.4652 или EL-NiCr26Mo.

1.6. Cronifer 2525 LCN (№ 1.4465)

Применение

Аустенитная нержавеющая сталь с высоким содержанием хрома и молибдена. Обладает высоким сопротивлением коррозии, особенно стойка против щелевой коррозии в кипящей азотной кислоте с концентрацией до 70 %.

Для изготовления оборудования, работающего в тяжелых условиях эксплуатации при производстве мочевины (стрипперы и конденсаторы для установок, использующих процесс Stamicarbon)

Химический состав

Массовая доля компонентов, %					
C	Cr	Ni	Mo	N	Fe
≤ 0,02	22,0–25,5	24–25	2,0–2,5	0,10–0,16	Ост.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{исп},$ °C	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{исп},$ °C	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>540	>255	>295	>30	400	—	>125	150	—
100	—	>195	225	—	500	—	>115	140	—
200	—	>155	185	—	550	—	>110	135	—
300	—	>135	160	—					

Физические свойства при 20 °С.Плотность — 8,0 г/см³.

Удельная теплоемкость — 450 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 12 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 100 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $16,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °С.Модуль упругости — $19,7 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.**Технологические параметры.**

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — 1.4466.

Электроды с покрытием — 1.4466 или EL-25 20 2, AWS E310Mo.

1.7. Nicrofer 3127 hMo — CUNIF 31 (№ 1.4562)**Применение**

Низкоуглеродистый железоникельхромомолибденовый сплав с аустенитной структурой. Благодаря высокому содержанию хрома и молибдена и сверхнизкому содержанию углерода сплав обладает высокой коррозионной стойкостью в нейтральных средах, минеральных кислотах и широком диапазоне концентраций органических кислот.

Обладает исключительно высокой стойкостью против питтинговой, щелевой и межкристаллитной коррозии и коррозионного растрескивания под напряжением.

Имеет хорошие обрабатываемость и свариваемость. Для оборудования по производству фосфорной кислоты; труб, кондиционеров, холодильников с морской водой; для обустройства установок по добыче газа; теплообменников при производстве натриевой щелочи; оборудования целлюлозно-бумажной промышленности.

Nicrofer 3127 hMo значительно превосходит Nicrofer 3127 LC и Cronifer 1713 LCN по стойкости против питтинговой коррозии. Коррозионные свойства сплава близки к достигаемым на высоконикелевых сплавах

Химический состав

Массовая доля компонентов, %									
Ni	Cr	C	Mn	Si	S	P	Cu	Mo	Fe
30–32	26–28	≤ 0,015	≤ 2,0	≤ 0,3	≤ 0,02	≤ 0,01	1,0–1,4	6,0–6,7	Осн.

Сортамент

Все стандартные виды металлопродукции в широком размерном сортаменте

Механические свойства при 20 °С и повышенных температурах (лист, плита)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
не менее				не менее			
20	320	690	50	300	200	530	50
100	270	630	50	400	180	500	50
200	230	580	50	500	170	470	50

Физические свойства.

Плотность – 8,1 г/см³.

Температура плавления 1300–1350 °С.

Удельная теплоемкость – 440 Дж/(кг · К).

Коэффициент теплопроводности – 12 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление – 100 мкОм · см.

Модуль упругости – $19,5 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Температурный коэффициент линейного расширения α

Температурный интервал, °С	20–100	20–200	20–300	20–400
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	14,3	14,7	15,1	15,5

Технологические параметры.

Хорошо обрабатывается в горячем и холодном состоянии. Температурный интервал горячей обработки: 1200–1050 °С, охлаждение в воде.

Термическая обработка: закалка от 1100–1150 °С.

Свариваемость.

Сплав Nicrofer 3127 hMo сваривается всеми обычными способами.

1.8. Nicrofer 3621 Ni – СТАЛЬ 30 (№ 2.4660)

Применение

Сплав на основе системы никель–хром–молибден с медью обладает исключительно высоким сопротивлением коррозии в серной и других восстановительных кислотах, в том числе при высокой температуре.

Для изготовления теплообменников и трубопроводов в установках по производству серной и сернистой кислот

Химический состав

Массовая доля компонентов, %						
C	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	Fe
≤ 0,02	19,0–21,0	36,5–38,0	2,0–3,0	3,0–4,0	0,1–0,3	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	>550	>240	>30	200	>500	>180	40
100	>520	>210	40	300	>480	>140	40

Физические свойства при 20 °С.Плотность — 8,1 г/см³.

Удельная теплоемкость — 456 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 11,5 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 107 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $16,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °С.Модуль упругости — $20,2 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.**Технологические параметры.**

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — удовлетворительная.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 6020 — (FM 625) или Nicrofer S 4225 (FM 65).

Электроды с покрытием — 2.4621 или EL-NiCr20Mo9Nb, EL-NiCr26Mo, AWS ENiCrMo-3.

1.9. Nicrofer 4221 — СШТАВ 825 (№ 2.4858)**Применение**

Железохромоникелевый сплав, стабилизированный титаном, с добавками молибдена и меди характеризуется стойкостью против коррозионного растрескивания под напряжением; удовлетворительной стойкостью против питтинговой и щелевой коррозии; стойкостью в окислительных и неокислительных горячих кислотах; высокими механическими свойствами при комнатной и повышенной температуре приблизительно до 550 °С.

Широко используют до температуры 550 °С при изготовлении: компонентов оборудования травильных установок с использованием серной кислоты (емкости, змеевики, клетки, корзины, цепи); установок для растворения оболочек ТВЭЛ; теплообменников, охлаждаемых морской водой; труб и компонентов оборудования газодобычи на морских шельфах; трубопроводов влажного диоксида серы и автоклавов пульпы в бумажном производстве; теплообменников, испарителей, скрубберов, погружных труб в производстве фосфорной кислоты; воздухоохлаждаемых теплообменников в процессе сжижения нефтяного газа; сосудов высокого давления при температуре стенки до 425 °С

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

Ni	Cr	C	Mn	Si	Cu	Mo	Ti	Al	P	S	Fe
38,0–46,0	19,5–23,5	≤ 0,025	≤ 1,0	≤ 0,5	1,5–3,0	2,5–3,5	0,6–1,2	≤ 0,2	≤ 0,02	≤ 0,01	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, сорт, труба

Нормированные механические свойства при 20 °С после стабилизирующего отжига

Вид металлопродукции (размеры, мм)	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Твердость <i>HV</i>
	не менее			
Пластина горячекатаная (5–100)	585	240	30	135–165
Пруток горячекатаный: (25–100) (100–240)	550	220	35	—
Труба: горячекатаная (64–240) холоднокатаная (5–100)	530	180	30	—
Трубы теплообменные и конденсаторные (16–76)	585	240	30	—

*¹ Вдоль волокна.**Нормированные значения предела текучести ($\sigma_{0,2}$) при повышенных температурах**

Сортамент	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ² , при $t_{исп}$, °С				
	100	200	300	400	450
Лист, полоса, пластина, труба	205	180	170	160	155
Пруток, стержень	190	165	155	145	140

Физические свойства. Плотность — 8,1 г/см³.

Температура плавления — 1370–1400 °С.

Магнитная проницаемость $\mu < 1,004$ при 20 °С.**Удельная теплоемкость (*C*), теплопроводность (λ), удельное электросопротивление (ρ), модуль упругости (*E*) и температурный коэффициент линейного расширения (α)**

t , °С	<i>C</i> , Дж/(кг · К)	λ , Вт/(м · К)	ρ , мкОм · см	$E \cdot 10^{-5}$, Н/мм ²	Температурный коэффициент линейного расширения	
					температурный интервал	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	440	10,8	112	1,95	—	—
100	462	12,4	114	1,90	20–100	14,1
200	488	14,1	118	1,85	20–200	14,9
300	514	15,6	120	1,79	20–300	15,2
400	540	16,9	124	1,74	20–400	15,6
500	565	18,3	126	1,68	20–500	15,8
600	590	19,6	126	1,61	20–600	16,0
700	615	21,0	127	1,54	20–700	16,7
800	655	23,2	128	1,42	20–800	17,2
900	680	25,7	129	1,30	20–900	17,6
1000	710	28,1	130	1,19	20–1000	17,9

Технологические параметры.

Хорошо обрабатывается в горячем и холодном состоянии.

Температурный интервал горячей обработки: 1150 – 900 °С, охлаждение в воде или более ускоренное.

Термическая обработка: стабилизирующий отжиг при 920–980°С, предпочтительно при 940±10 °С, закалка в воде или в потоке воздуха для толщин более 1,5 мм.

Свариваемость. Сваривается всеми обычными способами, не требуется предварительная или последующая (после сварки) термическая обработка.

Все стандартные виды металлопродукции в широком размерном сортаменте.

Глава 2. СПЛАВЫ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

2.1. VDM Nickel 99.2 — СПЛАВ 200 (№ 2.4066)

2.2. VDM LC-Nickel 99.2 — СПЛАВ 201 (№ 2.4068)

Применение

VDM Nickel 99.2 — сплав 200 — нелегированный деформированный никель. Обладает хорошей коррозионной стойкостью, высокими механическими, магнитными и магнитострикционными свойствами и удовлетворительными тепло- и электропроводностью. VDM LC-Nickel 99.2 — сплав 201 с уменьшенным содержанием углерода (макс. 0,02 %) имеет улучшенную коррозионную стойкость при повышенных температурах (более 300 °С) благодаря отсутствию графитизации.

Сплавы характеризуются: высокой коррозионной стойкостью во многих кислотных и щелочных средах; хорошими механическими свойствами в широком диапазоне температур; непрерывным уменьшением намагничивания в интервале температур от -273 до 360 °С и парамагнетизмом выше точки Кюри.

Сплавы обычно применяют в восстановительных условиях, однако, когда сформирован пассивный оксид, их можно использовать в окислительных условиях. Основное достоинство сплавов — чрезвычайно высокая стойкость в каустических щелочах, включая их расплавы.

VDM LC-Nickel 99.2 не склонен к МКК до 315 °С. Наличие хлоратов увеличивает скорость коррозии. В деаэрированных растворах минеральных кислот коррозионная стойкость выше.

Сплавы подвергаются значительной коррозии в окислительных растворах солей. Они стойки во всех сухих газах при комнатной температуре.

VDM LC-Nickel 99.2 можно использовать в сухом хлоре и хлористом водороде до температуры 550 °С.

Для пищевой промышленности в контакте с рассолами, жирными кислотами, фруктовыми соками; аппаратов синтеза фторидов и их реакций с углеводородами; хранения и транспортировки фенола; производства гидроксида натрия, особенно при температурах более 300 °С; вязкого волокна и мыла; хлористого водорода и хлорирования углеводородов, таких как бензол, метан и этан; мономера винилхлорида

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

Сплав	Ni (не менее)	Fe	C	Mn	Si	Cu	Mg	S	Ti
		не более							
200	99,2	0,4	0,10	0,3	0,1	0,25	0,05	0,005	—
201	99,2	0,4	0,02	0,3	0,1	0,25	0,05	0,005	0,01—0,10
205	99,6	0,2	0,02	0,3	0,1	0,1	0,05	0,005	—

Сортамент

Тонкий и толстый лист, сорт, труба

Нормированные механические свойства при 20 °С			
Сплав	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
	не менее		
VDM Nickel 99.2	440	150	44
VDM LC-Nickel 99.2	415	125	47

Нормированные механические свойства при повышенных температурах					
$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	$t_{исп}$, °С	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²
не менее			не менее		
100	290	70	400	240	55
200	275	65	500	210	50
300	260	60	600	150	40

Физические свойства.Плотность — 8,9 г/см³.

Температура плавления — 1435–1445 °С

Точка Кюри — 360 °С.

Удельная теплоемкость (С), теплопроводность (λ), удельное электросопротивление (ρ), модуль упругости (Е) и температурный коэффициент линейного расширения (α)							
$t_{исп}$, °С	С, Дж/(кг · К)	λ , Вт/(м · К)		ρ , мкОм · см	$E \cdot 10^{-5}$, Н/мм ²	Температурный коэффициент линейного расширения	
		Nickel 99,2	LC Nickel 99,2			температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
–200	150	78,5	93	2,0	—	—	—
–100	355	75	87	4,5	—	—	—
20	456	70,5	79	9	2,05	—	—
100	475	66,5	73	13	2,00	20–100	13,3
200	500	61,5	67	19	1,96	20–200	13,9
300	570	57	60	26	1,90	20–300	14,3
400	530	56	57	33	1,82	20–400	14,8
500	525	57,5	58	37	1,75	20–500	15,2
600	535	60	61	40	1,65	20–600	15,6
700	550	62	63,5	43	1,53	20–700	15,8
800	565	64	65,5	45	1,40	20–800	16,2
900	580	66,5	68	48	1,34	20–900	16,5
1000	590	69	70,5	51	—	20–1000	16,7

Технологические параметры.

Хорошо обрабатываются в горячем и холодном состояниях.

Температурный интервал горячей обработки: 1200–800 °С, охлаждение на воздухе.

Термическая обработка: отпуск при 700–850 °С, выдержка 3 мин на 1 мм толщины листа; отпуск для снятия напряжений при 550–650 °С; охлаждение после обеих операций на воздухе.

Свариваемость.

Сплавы свариваются всеми обычными способами, не требуется предварительная и последующая (после сварки) термическая обработка.

2.3. Nicrofer 5219 Nb — СПЛАВ 718 (№ 2.4668)**Применение**

Аустенитный дисперсионно-твердеющий хромоникелевый на основе железа сплав устойчив против коррозии под напряжением. Обладает высокой прочностью до температур 700 °С.

Для авиационных газовых турбин, а также для изготовления пружин, крепежных деталей, дисков, валов, втулок и других деталей, работающих как при низких, так и при высоких температурах. Среди других дисперсионно-твердеющих сплавов для пружин и крепежа, этот сплав занимает особое положение благодаря высокой пластичности и хорошей свариваемости.

Хорошо зарекомендовал себя при использовании для оборудования газовых скважин добычи кислого газа. Устойчив при эксплуатации в морской среде

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Ni	Mo	Nb	Ti	Al	S	P	B	Fe
0,02–0,08	17,0–21,0	50,0–55,0	2,8–3,3	4,8–5,5	0,7–1,15	0,3–0,7	≤ 0,010	≤ 0,015	0,002–0,006	Ост.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	>1240	>1035	>12	500	>980	—	—
100	>1060	—	—	600	>950	—	—
200	>1040	—	—	700	>870	—	—
300	>1020	—	—	800	>640	—	—
400	>1000	—	—				

Примечание. Свойства после закалки на твердый раствор и дисперсионного твердения.

Предел ползучести (Н/мм²)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{1,0/10^4}$	$\sigma_{\text{в}/10^4}$	$\sigma_{1,0/10^5}$	$\sigma_{\text{в}/10^5}$
600	620	650	—	—
700	180	220	—	—

Примечание. Свойства после закалки на твердый раствор и дисперсионного твердения.

Физические свойства при 20 °С.

Плотность — 8,2 г/см³.

Удельная теплоемкость — 432 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 11,1 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 123 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $13,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °С.

Модуль упругости — $20,5 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая после закалки.

Свариваемость — удовлетворительная после закалки.

После дисперсионного твердения сварку не применяют.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока Nicrofer S 5219 — FM 718.

2.4. Nicrofer 5621 hMoW — СПЛАВ 22 (№ 2.4602)

Применение

Никелевый сплав, имеющий более высокое содержание хрома, чем сплав Nicrofer 5716 — сплав С-276, и поэтому, повышенную устойчивость в окислительных средах. Для изготовления оборудования, работающего в сильно окислительных средах, загрязненных горячими серной и фосфорной кислотами, и другими смешанными окислительными растворами минеральных кислот и сложными смесями кислот и химикатов. Обладает прекрасным сопротивлением против коррозионного воздействия уксусной кислоты и уксусного ангидрида. Структурная стабильность сплава позволяет применять его в состоянии непосредственно после сварки

Химический состав

Массовая доля компонентов, %								
C	Cr	Fe	Mo	Co	W	V	Si	Ni
≤ 0,010	20,0–22,5	2,0–6,0	12,5–14,5	≤ 2,5	2,5–3,5	≤ 0,35	≤ 0,08	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1,0}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	> 690	> 310	> 335	> 45
100	—	> 270	> 290	—
200	—	> 225	> 245	—
300	—	> 195	> 215	—
400	—	> 175	> 195	—

Физические свойства при 20 °С.

Плотность — 8,7 г/см³.

Удельная теплоемкость — 406 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 9,4 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 114 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $12,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °С.

Модуль упругости — $20,6 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 5621 — FM 22/Nicrofer S 5923 — FM 59.

Электроды с покрытием 2.4639, 2.4609, EL-NiCr21Mo14W, EL-NiCr22Mo16, AWS ENiCrMo-10.

2.5. Nicrofer 5716 hMoW – СПЛАВ С-276 (№ 2.4819)**Применение**

Никельхромомолибденовый аустенитный сплав с добавкой вольфрама и сверх-низким содержанием углерода и кремния.

Характеризуется отличной стойкостью в окислительной и восстановительной коррозионных средах; высоким сопротивлением щелевой и питтинговой коррозии, а также коррозионному растрескиванию под напряжением; отличной стойкостью в средах, содержащих хлор ионы

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

Cr	Fe	Mo	W	V	C	Mn	Si	Co	Ni
не более									Осн.
15,0–16,0	4,0–7,0	15,0–17,0	3,0–4,5	0,1–0,3	0,010	1,0	0,08	2,5	

Сортамент

Тонкий и толстый лист, сорт, полоса, труба

Нормированные механические свойства при 20 °С

Вид продукции (размеры, мм)	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Твердость НВ	КСУ, Дж/см ²
	не менее				
Лист (< 5)	750	310	30	240	120 (вдоль волокна) 90 (поперек волокна)
Лист (5–20)	700	280	35		
Пруток (< 100)	700	280	35		
Труба (толщина стенки 0,5–5)	690	280	40		

Предел текучести ($\sigma_{0,2}$) при повышенных температурах

Сортамент	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ² , при $t_{исп}$, °С			
	100	200	300	400
Лист тонкий	280	250	220	200
Лист толстый, прутки	255	225	200	180

Физические свойства.

Плотность — 8,9 г/см³.

Температура плавления — 1325–1370 °С.

Удельная теплоемкость (C), теплопроводность (λ), удельное электросопротивление (ρ), модуль упругости (E) и температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t, ^\circ\text{C}$	C , Дж/(кг · К)	λ , Вт/(м · К)	ρ , мкОм · см	$E \cdot 10^{-5}$, Н/мм ²	Температурный коэффициент линейного расширения	
					температурный интервал, $^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
20	407	10,6	125	2,08		
100	430	12,0	127	2,04	20–100	11,7
200	454	13,7	128,5	2,00	20–200	12,1
300	474	15,4	129	1,95	20–300	12,8
400	492	17,1	129,5	1,88	20–400	13,1
500	503	18,7	129	1,82	20–500	13,5
600	517	20,7	128,5	1,75	20–600	14,0
700	527	22,6	128	1,68	20–700	14,7
800	536	24,3	126,5	1,60	20–800	15,5
900	545	26,2	126	1,51	20–900	16,0
1000	551	28,0	125,5	1,43	20–1000	16,5

Технологические параметры.

Хорошо обрабатывается в горячем и холодном состояниях.

Температурный интервал горячей обработки: 1200–950 $^\circ\text{C}$, охлаждение в воде или воздушном потоке.

Термическая обработка: закалка от 1100–1160 $^\circ\text{C}$.

Свариваемость.

Сплав сваривается всеми обычными способами, не требуется предварительная и последующая (после сварки) термическая обработка.

2.6. Nicrofer 5923 hMo – СПЛАВ 59 (№ 2 4605)

Применение

Никельхромомолибденовый аустенитный сплав с особо низким содержанием углерода и кремния. Характеризуется высокой стойкостью: в широком диапазоне агрессивных восстановительных и окислительных сред; против питтинговой и щелевой коррозии; в минеральных кислотах (азотной, фосфорной, серной, соляной); в минеральных кислотах, содержащих примеси, а также отсутствием склонности к хлоридному коррозионному растрескиванию под напряжением.

Сплав широко применяют в химической и нефтехимической промышленности, из которого изготавливают: оборудование для органических процессов, включающих хлориды, особенно с применением соляной кислоты как катализатора; варочное и отбеливающее оборудование в бумажном производстве; скрубберы, подогреватели, влажные вентиляторы в мусоросжигающих станциях и установках для десульфурации топочных газов; оборудование для газодобычи; реакторы получения уксусной кислоты и уксусного ангидрида; холодильники серной кислоты.

Химический состав

Массовая доля компонентов, %										
Cr	Mo	Al	Fe	C	Mn	Si	Co	P	S	Ni
не более										
22,0–24,0	15,0–16,5	0,1–0,4	1,5	0,010	0,5	0,10	0,3	0,015	0,005	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, сорт, полоса, труба

Нормированные механические свойства при 20 °С

Вид металлопродукции (размеры, мм)	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	KCV, Дж/см ²
	не менее			
Лист, полоса (холоднокатаные) (0,5–6,4)	710	350	45	200
Пластина (горячекатаная) (5–30)				

Нормированные значения предела текучести ($\sigma_{0,2}$) при повышенных температурах

Сортамент	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ² при $t_{исп}$, °С				
	100	200	300	400	500
Лист, полоса, пластина	310	270	240	210	180

Физические свойства.Плотность — 8,8 г/см³.

Температура плавления 1310–1360 °С.

Магнитная проницаемость $\mu < 1,001$ при 20 °С.**Удельная теплоемкость (C), теплопроводность (λ), удельное электросопротивление (ρ), модуль упругости (E) и температурный коэффициент линейного расширения (α)**

t , °С	C, Дж/(кг · К)	λ , Вт/(м · К)	ρ , мкОм · см	$E \cdot 10^{-5}$, Н/мм ²	Температурный коэффициент линейного расширения	
					температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	414	10,4	126	2,10	—	—
100	425	12,1	127	2,07	20–100	11,9
200	434	13,7	129	2,00	20–200	12,2
300	443	15,4	131	1,96	20–300	12,5
400	451	17,0	133	1,90	20–400	12,7
500	459	18,6	134	1,85	20–500	12,9
600	464	20,4	133	1,78	20–600	13,1

Технологические параметры.

Легко обрабатывается в горячем и холодном состоянии.

Температурный интервал горячей обработки: 1180–950 °С, охлаждение в воде.

Термическая обработка: закалка в воде с 1100–1140 °С (предпочтительнее 1120 °С).

Свариваемость.

Сплав сваривается всеми обычными способами. Перед сваркой необходима термическая обработка на твердый раствор (закалка). Не требуется последующая (после сварки) термическая обработка.

2.7. Nicrofer 6030 – СПЛАВ 690 (№ 2.4642)**Применение**

Коррозионностойкий сплав на основе никель–хром–железо с повышенным содержанием хрома ($\approx 30\%$) для работы в сильно окислительных средах, например в установках по переработке ядерного топлива. Характеризуется прекрасным сопротивлением не только коррозии в горячей азотной кислоте с примесями фтористых соединений, но и растрескиванию в едкой среде, в т.ч. в кислородсодержащих растворах едкого натра. Высокое содержание хрома и низкое содержание углерода в сплаве предотвращает склонность к выделению карбидов по границам зерен в процессе сварки. Благодаря высокому содержанию хрома сплав может быть использован при высоких температурах в окислительных и серосодержащих атмосферах, а также в контакте с продуктами сгорания топлива, в условиях коррозионного воздействия оксидов щелочных металлов, расплавленного стекла или силикатов.

Сплав стоек в окислительной среде даже при весьма высоких температурах – порядка 1150°C

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Fe	Cu	Ti	Al	Si	Ni
$\leq 0,02$	27,0–30,0	8,0–10,0	$\leq 0,5$	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$	Осн.

Сортамент

Тонкий лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{H/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{H/мм}^2$	$\sigma_{1,0}, \text{H/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{H/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{H/мм}^2$	$\sigma_{1,0}, \text{H/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	>586	>240	>270	>35	400	>500	>180	>220	>45
100	>586	>260	>290	>45	500	>490	>170	>200	>45
200	>550	>220	>260	>45	600	>470	>160	>195	>45
300	>520	>200	>240	>45					

Предел ползучести (H/мм²)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{1,0/10^4}, \text{H/мм}^2$	$\sigma_{\text{в}/10^4}, \text{H/мм}^2$	$\sigma_{1,0/10^5}, \text{H/мм}^2$	$\sigma_{\text{в}/10^5}, \text{H/мм}^2$	$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{1,0/10^4}, \text{H/мм}^2$	$\sigma_{\text{в}/10^4}, \text{H/мм}^2$	$\sigma_{1,0/10^5}, \text{H/мм}^2$	$\sigma_{\text{в}/10^5}, \text{H/мм}^2$
600	—	105	—	70	900	7,8	14	4,5	9
700	—	55	—	36	950	4,9	9,8	2,8	6,1
800	19,1	29	11,5	19	1000	3,1	6,7	—	3,5

Физические свойства при 20°C .Плотность – $8,2 \text{ г/см}^3$.Удельная теплоемкость – $450 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$.Удельная теплопроводность – $12,0 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$.Удельное электросопротивление – $115 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$.Температурный коэффициент линейного расширения – $14,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при $20\text{--}300^\circ\text{C}$.

Модуль упругости — $21,5 \cdot 10^4$ Н/мм².

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 6030 — FM 690, Nicrofer S 7020 — FM 82.

Электроды с покрытием 2.4648, EL-NiCr19Nb, AWS ENiCrFe-3.

2.8. Nicrofer 6020 hMo — СПЛАВ 625 (№ 2.4856)

Применение

Никелевый сплав на основе системы никель—хром—молибден с исключительно высоким сопротивлением коррозии в широком диапазоне окислительных и восстановительных агрессивных сред.

Устойчив против коррозионного растрескивания под напряжением, питтинговой и межкристаллитной коррозии даже после сварки, не требует термообработки сварных соединений.

Для изготовления скрубберов, предназначенных для дымовых газов; аппаратов и конструкций для производства суперфосфорной кислоты; оборудования для обработки радиоактивных отходов.

Перспективен для производства скважинного оборудования при добыче кислого газа, для систем трубопроводов шельфовой добычи нефти и газа

Химический состав

Массовая доля компонентов, %					
C	Cr	Mo	Nb	Fe	Ni
≤ 0,025	21,0–23,0	8,0–10,0	3,2–3,8	≤ 3,0	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}},$ °C	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{\text{исп}},$ °C	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>830	>415	>445	>35	300	>685	>300	—	—
100	>740	>350	—	—	400	>670	>280	—	—
200	>700	>320	—	—	450	>660	>270	—	—

Физические свойства при 20 °C.

Плотность — 8,5 г/см³.

Удельная теплоемкость — 415 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 9,8 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 128 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $13,4 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ при 20–300 °C.

Модуль упругости — $20,9 \cdot 10^4$ Н/мм².

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 6020 — (FM 625).

Электроды с покрытием 2.4621, EL-NiCr20Mo9Nb, AWS ENiCrMo-3.

2.9. Nicrofer 6616 hMo — СПЛАВ С-4 (№ 2.4610)

Применение

Никельхромомолибденовый аустенитный низкоуглеродистый сплав характеризуется высокой стойкостью в широком диапазоне агрессивных сред, особенно в сильноокислительных условиях; против питтинговой и щелевой коррозии, а также коррозионного растрескивания под напряжением, в том числе в горячих хлоридных растворах.

Для изготовления оборудования, эксплуатирующегося в широком диапазоне химических сред при комнатной и повышенных температурах, в частности: абсорберов при десульфурации дымовых газов; ванн травления и установки регенерации кислот; установок для производства уксусной кислоты и агрохимикатов

Химический состав

Массовая доля компонентов, %										
Cr	Mo	Fe	C	Mn	Si	Co	Ti	P	S	Ni
не более										
14,5–17,5	14,0–17,0	3,0	0,009	1,0	0,05	2,0	0,7	0,020	0,010	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, сорт, труба

Нормированные механические свойства при 20 °С

Вид продукции (размеры, мм)	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Твердость НВ	KCV, Дж/см ²
	не менее				
Полоса (< 5)		305		—	
Лист (5,1–20)		300		320	
Пластина (21–65)	700	300	40	—	120
Пруток		280		—	
Труба		280		—	

Нормированные значения предела текучести ($\sigma_{0,2}$) при повышенных температурах

Вид продукции (размеры, мм)	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ² , при $t_{исп}$, °С			
	100	200	300	400
	не менее			
Полоса (< 5)	285	255	245	225
Лист (5,1–20)	270	245	220	205
Пластина (20–65)				
Поковка, прутки, стержень (< 160)	260	235	215	205
Труба (< 75)				

Физические свойства.Плотность — 8,6 г/см³.

Температура плавления — 1335–1380 °С.

Удельная теплоемкость (C), теплопроводность (λ), удельное электросопротивление (ρ), модуль упругости (E) и температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{\text{исп}},$ °С	$C,$ Дж/(кг · К)	$\lambda,$ Вт/(м · К)	$\rho,$ мкОм · см	$E \cdot 10^{-5},$ Н/мм ²	Температурный коэффициент линейного расширения	
					температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
20	408	10,1	124	2,11		
100	426	11,4	125	2,07	20–100	10,9
200	448	13,2	126	2,02	20–200	11,9
300	465	15,0	127	1,95	20–300	12,5
400	477	16,7	128	1,88	20–400	12,9
500	490	18,4	129	1,81	20–500	13,2
600	502	20,5	132	1,75	20–600	13,6
700	512	22,6	135	1,68	20–700	14,0
800	522	24,8	138	1,58	20–800	14,5

Технологические параметры.

Хорошо обрабатывается в горячем и холодном состояниях. Температурный интервал горячей обработки: 1180–900 °С, охлаждение в воде или еще более быстрое.

Термическая обработка: закалка от 1050–1100 °С. Для толщин более 1,5 мм рекомендуется охлаждение в воде или воздушным потоком.

Сварка.

Сплав сваривается всеми обычными способами, не требуется предварительная или последующая (после сварки) термическая обработка.

2.10: Nimofer 6928 – СЦЛАВ В-2 (№ 2-4617)**Применение**

Никельмолибденовый аустенитный сплав с низким содержанием углерода и кремния характеризуется высокой стойкостью в восстановительных средах; в чистой серной кислоте и ряде неокисляющих кислот; против хлоридного коррозионного растрескивания под напряжением; в большинстве органических кислот.

Широко применяют в химической промышленности, в процессах с использованием серной, соляной, фосфорной и уксусной кислот.

Не рекомендуется применение сплава в окислительных атмосферах при температурах выше 540 °С и восстановительных — ниже 820 °С; при 540–820 °С имеет пониженную пластичность

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

Mo	Cr	Fe	C	Mn	Si	Cu	Co	P	S	Ni
	не более									
26–30,0	1,0	2,0	0,01	1,0	0,08	0,5	1,0	0,02	0,010	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, сорт, труба

Нормированные механические свойства при 20 °С

Вид продукции (размеры, мм)	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	Твердость <i>НВ</i>
	<i>не менее</i>			
Лист:				
холоднокатаный (< 5)	760	350	—	—
горячекатаный (5,1–65)	—	340	—	—
Полоса	760	350	40	250
Пруток	745	325	—	—
Труба	760	350	—	—

Нормированные значения предела текучести ($\sigma_{0,2}$) при повышенных температурах

Сортамент	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ² , при $t_{исп}$, °С			
	100	200	300	400
	<i>не менее</i>			
Лист	315	285	270	255
Пруток, стержень, поковка	300	275	255	240

Физические свойства.Плотность — 9,2 г/см³.

Температура плавления — 1330–1380 °С.

Магнитная проницаемость $\mu < 1,001$ при 20 °С.**Удельная теплоемкость (C), теплопроводность (λ), удельное электросопротивление (ρ), модуль упругости (E) и температурный коэффициент линейного расширения (α)**

$t_{исп}$, °С	C , Дж/(кг · К)	λ , Вт/(м · К)	ρ , мкОм · см	$E \cdot 10^{-5}$, Н/мм ²	Температурный коэффициент линейного расширения	
					температурный интервал, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	377	11,1	137	2,17		
100	389	12,2	138	2,13	20–100	10,3
200	406	13,4	138	2,08	20–200	10,8
300	423	14,6	139	2,03	20–300	11,1
400	431	16,0	139	1,47	20–400	11,4
500	444	17,3	141	1,91	20–500	11,6
600	456	18,7	146	1,84	20–600	11,8

Технологические параметры.

Температурный интервал горячей обработки давлением: 1160–900 °С.

Термическая обработка: закалка от 1060–1080 °С, охлаждение в воде или интенсивное воздухом для толщин более 1,5 мм.

Свариваемость.

Сплав сваривается всеми обычными видами сварки, в том числе дуговой с неплавящимся электродом в атмосфере защитного газа, дуговой с плавящимся электродом в атмосфере защитного газа и ручной с плавящимся электродом. Для достижения оптимальной коррозионной стойкости предпочтительна аргоно-дуговая сварка. Не требуется предварительная и последующая (после сварки) термическая обработка.

2.11. Nicorros – СПЛАВ 400 (№ 2.4360)**Применение**

Сплав на основе никель-медь обладает отличным сопротивлением коррозии в морской воде и паре при высоких температурах, а также в солевых и едких растворах.

Изготавливают морские и шельфовые сооружения, оборудование для обогащения и кристаллизации соли и переработки нефти. Используют в судостроении, в экономайзерах на электростанциях, работающих на природном топливе

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Ni	Cu	Mn	Ti	Al	Fe
≤ 0,15	> 63,0	28–34	≤ 1,25	≤ 0,2	≤ 0,5	1,0–2,5

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}},$ °C	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{\text{исп}},$ °C	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>450	>175	>205	>35	300	>380	130	190	30
100	>420	150	220	30	400	>370	130	180	30
200	>390	135	210	30	425	>360	130	—	30

Предел ползучести

$t_{\text{исп}},$ °C	$\sigma_{1,0/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{\text{в}/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0/10^5},$ Н/мм ²	$\sigma_{\text{в}/10^5},$ Н/мм ²	$t_{\text{исп}},$ °C	$\sigma_{1,0/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{\text{в}/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0/10^5},$ Н/мм ²	$\sigma_{\text{в}/10^5},$ Н/мм ²
400	150	280	130	240	600	17	42	8	20
500	75	125	62	75	650	7	23	3	13

Физические свойства при 20 °C.

Плотность — 8,8 г/см³.

Удельная теплоемкость — 430 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 26 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 51,3 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $15,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °C.

Модуль упругости — $18,2 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Технологические параметры.

Деформируемость — отличная.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicorros S 6530 – FM 60.

Электроды с покрытием — 2.4366, EL-NiCu30Mn, AWS ENiCu-7.

Глава 3. ЖАРОСТОЙКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

3.1. Nicrofer 3220 — СПЛАВ 800 (№ 14876)
3.2. Nicrofer 3220H — СПЛАВ 800 H (№ 14958)
3.3. Nicrofer 3220HT — СПЛАВ 800 HT (№ 14959)

Применение

Сплавы Nicrofer 3220 и 3220H — аустенитные высокопрочные сплавы системы никель—железо—хром с контролируемым содержанием углерода, алюминия, титана, кремния и марганца, а также суммы титана и алюминия. Отличительная особенность сплава Nicrofer 3220HT — повышенная сумма титана и алюминия.

Сплавы Nicrofer 3220 и Nicrofer 3220H характеризуются: высокой жаропрочностью при температурах выше 600 °С без снижения пластичности в процессе длительной службы ниже 700 °С; хорошей стойкостью в восстановительной, окислительной и азотсодержащей атмосферах; структурной стабильностью при длительной эксплуатации при высоких температурах.

Сплав Nicrofer 3220HT имеет те же положительные характеристики, но может работать при температурах выше 700 °С.

Применяют в нефтехимической промышленности для изготовления пиролизных труб в печах этилирования, коллекторов и гибких соединений установок каталитического крекинга углеводородов, для элементов крекинг-установок по производству хлористого винила, дефинила и уксусного ангидрида, а также для транспортных линий, соединительных и других деталей, работающих при температурах 500–950 °С

Химический состав

Массовая доля компонентов, %											
Сплав	Ni	Cr	C	Mn	Si	Al	Ti	Al+Ti	Cu	P	S
									не более		
Nicrofer 3220	30–32	19–21,5	0,04–0,08	0,5–1,0	0,2–0,6	0,20–0,40	0,20–0,50	0,7	0,5	0,015	0,010
Nicrofer 3220H —	30–32	19–22	0,06–0,08	0,5–1,0	0,2–0,6	0,20–0,40	0,20–0,50	1,0	0,5	0,015	0,010
Nicrofer 3220HT —	30–32	19–22	0,06–0,10	0,5–1,0	0,2–0,6	0,3–0,6	0,30–0,60	1,2	0,5	0,015	0,010

Сортамент

Тонкий и толстый лист, сорт, труба

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$KCV,$ Дж/см ²	$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$KCV,$ Дж/см ²
20	500	170	35/30	150/100	400	<380>	85	—	—
100	<425>	140	—	—	500	<360>	80	—	—
200	<400>	115	—	—	600	<300>	75	—	—
300	<390>	95	—	—					

Примечания. 1. Цифры в скобках <> даны только для информации. 2. В числителе — вдоль волокна, в знаменателе — поперек волокна.

Предел длительной прочности (σ) на базе испытаний 10^5 ч

Сплав	σ , Н/мм ² , при $t_{исп}$, °C							
	600	650	700	750	800	850	900	950
Nicrofer 3220	114	73	47	30	19	10	4	—
Nicrofer 3220H	114	77	53	36	24	16	10,5	7,0
Nicrofer 3220HT	126	84	57	37	26	17,5	11,3	6,6

Физические свойства.

Плотность — 8,0 г/см³.

Температура плавления — 1350–1400 °C.

Магнитная проницаемость $\mu < 1,01$ при 20 °C.

Удельная теплоемкость (C), теплопроводность (λ), удельное электросопротивление (ρ), модуль упругости (E) и температурный коэффициент линейного расширения (α)

$t_{исп}$, °C	C , Дж/(кг · K)	λ , Вт/(м · K)	ρ , мкОм · см	$E \cdot 10^{-5}$, Н/мм ²	Температурный коэффициент линейного расширения	
					температурный интервал, °C	$\alpha \cdot 10^6$, K ⁻¹
20	455	11,6	98	1,98	—	—
100	472	13,0	102	1,93	20–100	14,4
200	500	15,0	107	1,87	20–200	15,2
300	525	16,2	112	1,80	20–300	15,8
400	550	17,8	116	1,73	20–400	16,2
500	577	19,2	119	1,66	20–500	16,6
600	605	21,0	122	1,58	20–600	17,0
700	633	22,7	125	1,51	20–700	17,4
800	660	24,5	127	1,44	20–800	17,8
900	685	26,8	128	1,36	20–900	18,2
1000	715	29,0	129	1,27	20–1000	18,8

Технологические параметры.

Хорошо обрабатываются в холодном и горячем состоянии.

Температурный интервал горячей обработки: 1200–900 °C, охлаждение в воде или максимально быстрое при 760–540 °C.

Термическая обработка: сплав Nicrofer 3220 — при 1100–1150 °C; сплавы Nicrofer 3220H и 3220HT — при 1150–1200 °C, охлаждение в воде. Для толщин более 1,5 мм — охлаждение воздушным потоком.

Свариваемость.

Сплавы свариваются всеми обычными способами, не требуется предварительная и последующая (после сварки) термическая обработка.

3.4. Nicrofer 3220 LC – СПЛАВ 800 L (№ 1.4558)

Применение

Аустенитный коррозионностойкий хромоникелевый сплав на основе железа. Устойчив против коррозии под напряжением и против растрескивания в полиэтиленовой кислоте. По коррозионной стойкости значительно превосходит сплав Nicrofer 3220 – сплав 800.

Для производства парогенераторов и экономайзеров на атомных и тепловых электростанциях, химического оборудования, работающего в контакте с жидкостями при очень высоких температурах, например в производстве аммиака

Химический состав

Массовая доля компонентов, %									
C	Cr	Ni	Mn	Si	Cu	Ti	Al	Al+Ti	S
≤ 0,025	20,0–22,0	30,0–34,0	0,5–1,0	0,2–0,6	≤ 0,5	0,35–0,60	0,15–0,40	≤ 1,0	≤ 0,010
Ост.									

Сортамент

Тонкий и толстый лист, сорт, полоса, труба

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{исп},$ °C	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{исп},$ °C	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>450	>180	>210	>35	400	—	>120	>150	—
100	—	>155	>185	—	500	—	>100	>130	—
200	—	>140	>170	—	550	—	>90	>120	—
300	—	>130	>160	—					

Физические свойства при 20 °С.

Плотность — 8,0 г/см³.

Удельная теплоемкость — 455 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 11,6 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 98 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $16,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °С.

Модуль упругости — $19,8 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Технологические параметры.

Деформируемость — удовлетворительная.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока Nicrofer S 7020 – FM 82.

Электроды с покрытием — 2.4648, EL-NiCr19Nb, AWS ENiCrFe-3.

3.5. Nicrofer 3228 NbCe – СПЛАВ AC 66 (№ 1.4877)

Применение

Жаростойкий сплав на основе железохромникель с церием обладает исключительно высоким сопротивлением против высокотемпературной коррозии. В сплаве снижена тенденция к внутреннему межзеренному окислению благодаря низкому содержанию алюминия и кремния. Обладает прекрасной стойкостью в науглероживающих атмосферах при высоких температурах, например, в установках газификации угля, имеет высокую стойкость в серосодержащих средах, не склонен к избирательному окислению

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Ni	Ce	Nb	Al	Si	Fe
0,04-0,08	26,0-28,0	31,0-33,0	0,05-0,1	0,6-1,0	≤ 0,025	≤ 0,3	Ост.

Сортамент

Тонкий лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{исп},$ °C	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{исп},$ °C	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>500	>185	>215	>35	400	>390	>105	>130	—
100	>450	>160	>190	—	500	>370	>95	>115	—
200	>430	>140	>170	—	600	>340	>90	>110	—
300	>410	>120	>145	—	700	>250	>80	>100	—

Предел ползучести

$t_{исп},$ °C	$\sigma_{1,0/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{B/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0/10^5},$ Н/мм ²	$\sigma_{B/10^5},$ Н/мм ²	$t_{исп},$ °C	$\sigma_{1,0/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{B/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0/10^5},$ Н/мм ²	$\sigma_{B/10^5},$ Н/мм ²
600	—	175	—	140	850	—	15	—	9
700	—	80	—	52	900	—	10	—	5
800	—	24	—	16	950	—	6	—	3

Физические свойства при 20 °C.Плотность — 8,0 г/см³.

Удельная теплоемкость — 445 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 12,0 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 96 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $15,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °C.Модуль упругости — $19,1 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.**Технологические параметры.**

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — тот же сплав или Nicrofer S 6020 — FM 625.

Электроды с покрытием — 2.4621, EL-NiCr20Mo9Nb, AWS ENiCrMo-3.

3.6. Nicrofer 4626 MoW — СПЛАВ 333 (№ 2.4608)**Применение**

Жаростойкий сплав на основе никель-хром-железо с добавками молибдена, вольфрама и кобальта, разработан для рабочих температур, превышающих 1000 °C. Имеет отличное сопротивление окислению, науглероживанию, сульфидированию (сульфидной коррозии) и термической усталости и в силу этого весьма пригоден в качестве конструкционного материала для камер сгорания газовых турбин, для конструктивных элементов оборудования нефтехимического синтеза и оборудования термических печей

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Ni	Mo	Co	W	Mn	Si	Fe
0,03–0,06	24,0–26,0	44,0–47,0	2,5–3,5	2,5–3,5	2,5–3,5	1,2–2,0	0,8–1,2	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	>550	>240	>30	500	>530	>190	>50
100	>650	>280	>40	600	>500	>180	>45
200	>620	>240	>40	700	>440	>180	>40
300	>580	>210	>40	800	>320	>180	>50
400	>550	>190	>45				

Предел ползучести

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{B/10^4}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{B/10^5}, \text{Н/мм}^2$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{B/10^4}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{B/10^5}, \text{Н/мм}^2$
600	150	110	900	17,5	12
700	80	60	1000	7,0	4
800	42	32	1050	3,5	—

Физические свойства при 20 °С.Плотность — 8,2 г/см³.

Удельная теплоемкость — 441 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 11,1 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 114 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $14,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °С.Модуль упругости — $20,1 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.**Технологические параметры.**

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 4626 – FM 333.

3.7. Nicrofer 4722 Co – СПЛАВ X (№ 2.4665)**Применение**

Дисперсионно-твердеющий сплав на основе системы никель–хром–железо с 9 % Мо с добавками кобальта и вольфрама. Предназначен для работы при высоких температурах в окислительных, науглероживающих и азотирующих атмосферах, в которых сплав имеет отличное сопротивление коррозии. При высоких температурах сохраняет высокую прочность, благодаря чему его используют для элементов промышленных печей и как подложку для катализаторов в нефтехимических процессах; для изготовления кожухов и камер сгорания газовых турбин и ракетных двигателей и других различных узлов аэрокосмической техники

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Fe	Mo	Co	W	Al	Si	Ni
0,05–0,15	20,5–23,5	17–20	8–10	0,5–2,5	0,2–1,0	≤ 0,1	≤ 1,0	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	>725	>310	>30	500	>640	>230	>45
100	>720	>310	>40	600	>600	>220	>40
200	>710	>290	>40	700	>510	>210	>40
300	>700	>270	>40	800	>400	>200	>40
400	>680	>250	>45				

Предел ползучести

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{1,0/10^4}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B/10^4, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1,0/10^5}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B/10^5, \text{Н/мм}^2$	$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{1,0/10^4}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B/10^4, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1,0/10^5}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B/10^5, \text{Н/мм}^2$
600	123	231	100	186	900	18,5	31	9,6	14
700	74	122	60	97	1000	4,9	7,4	2,3	3,2
800	42	59	29	38					

Физические свойства при 20 °С.Плотность — $8,3 \text{ г/см}^3$.Удельная теплоемкость — $435 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$.Удельная теплопроводность — $11,3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.Удельное электросопротивление — $115 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$.Температурный коэффициент линейного расширения — $14,3 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ при 20–300 °С.Модуль упругости — $20,5 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.**Технологические параметры.**

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 4722 — FM X.

Электроды с покрытием — AWS ENiCrMo-2.

3.8. Nicrofer 5120 CoTi — СПЛАВ C-263 (№ 2.4650)**Применение**

Дисперсионно-твердеющий сплав на основе системы никель–хром–кобальт для работы при температурах до 850 °С в газотурбинных установках.

Для изготовления камер сгорания авиационных двигателей

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Fe	Mo	Co	Al	Al+Ti	Ni
0,04–0,08	19,0–21,0	≤ 0,7	5,6–6,1	19,0–21,0	0,3–0,6	2,4–2,8	Осн.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	>970	>570	>30	500	—	>480	—
100	—	>520	—	600	—	>470	—
200	—	>490	—	700	—	>460	—
300	—	>480	—	800	—	>410	—
400	—	>480	—				

Физические свойства при 20 °С.

Плотность — 8,4 г/см³.

Удельная теплоемкость — 426 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 11,7 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 115 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $12,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ при 20–300 °С.

Модуль упругости — $22,2 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая в отожженном состоянии.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 5120 — FM 263.

3.9. Nicrofer 5520 Co — СПЛАВ 617 (№ 2.4663)**Применение**

Жаростойкий сплав на никелевой основе отличается высокой стойкостью в атмосфере окислительных и науглероживающих газов при температурах до 1100 °С и высоким сопротивлением ползучести.

Для изготовления элементов газовых турбин, воздухонагревателей, печей и радиантных труб.

Также используют в гелии-гелиевых теплообменниках, работающих при температуре 950 °С и предназначенных для отвода тепловой энергии в высокотемпературных ядерных реакторах, а также при жестких условиях эксплуатации в нефтехимической промышленности

Химический состав**Массовая доля компонентов, %**

C	Cr	Fe	Mo	Co	Ti	Al	Mn	Si	S	P	Ni
0,05–0,1	20,0–23,0	≤ 2,0	8,0–10,0	10,0–13,0	0,2–0,6	0,6–1,5	≤ 1,0	≤ 0,1	≤ 0,01	≤ 0,015	Ост.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1,0}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$	$t_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{1,0}, \text{Н/мм}^2$	$\delta_5, \%$
20	>750	>350	>380	>35	500	>540	>200	>225	—
100	>650	>270	>300	—	600	>510	>190	>210	—
200	>620	>230	>260	—	700	>400	>185	>205	—
300	>600	>220	>250	—	750	>340	>180	>200	—
400	>570	>210	>240	—					

Предел ползучести

$t_{исп},$ °C	$\sigma_{1,0/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{в/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0/10^5},$ Н/мм ²	$\sigma_{в/10^5},$ Н/мм ²	$t_{исп},$ °C	$\sigma_{1,0/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{в/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0/10^5},$ Н/мм ²	$\sigma_{в/10^5},$ Н/мм ²
600	220	260	140	190	900	19	30	10	16
700	99	123	66	95	1000	5,5	10	1,0	4,5
800	45	65	28	43					

Физические свойства при 20 °С.

Плотность — 8,4 г/см³.

Удельная теплоемкость — 420 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 13,4 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 122 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $13,1 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ при 20–300 °С.Модуль упругости — $21,2 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 5520 — FM 617.

Электроды с покрытием — 2.4628, EL-NiCr21Co12Mo, AWS ENiCrCoMo-1

3.10. Nicrofer 6023H — СПЛАВ 601H (№ 2.4851)

Применение

Жаростойкий сплав на основе железо—хром—никель отличается высокой стойкостью против высокотемпературной коррозии и одновременно повышенными характеристиками ползучести.

Для нагревательных элементов и экранов печей, транспортирующих роликов в печах обжига керамики, в трубопроводах подогрева кислорода при производстве диоксида титана и во многих других жестких условиях эксплуатации, где требуется стойкость к окислению при высоких температурах, а также для камер сжигания твердых отходов в установках по сжиганию бытовых и промышленных отходов

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Ni	Mn	Si	Zr	Ti	Al	S	P	Fe
≤ 0,10	22,0–24,0	≤ 59,0	0,5–1,0	≥ 0,5	≤ 0,03	0,3–0,6	1,1–1,6	≤ 0,010	≤ 0,015	Ост.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{исп},$ °C	$\sigma_{в},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{исп},$ °C	$\sigma_{в},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>600	>240	>270	>30	400	>580	>180	—	>45
100	>670	>260	—	>45	500	>540	>170	—	>45
200	>630	>220	—	>45	600	>500	>170	—	>45
300	>600	>200	—	>45					

Предел ползучести

$t_{исп},$ °C	$\sigma_{1,0/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{в/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0/10^5},$ Н/мм ²	$\sigma_{в/10^5},$ Н/мм ²	$t_{исп},$ °C	$\sigma_{1,0/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{в/10^4},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0/10^5},$ Н/мм ²	$\sigma_{в/10^5},$ Н/мм ²
600	151	205	116	156	800	22	31	11,8	16,7
700	69	101	39	55	900	10,1	2,2	3,7	8

Физические свойства при 20 °С.

Плотность — 8,1 г/см³.

Удельная теплоемкость — 450 Дж/(кг·К).

Удельная теплопроводность — 11,3 Вт/(м·К).

Удельное электросопротивление — 119 мкОм·см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $14,9 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ при 20–300 °С.

Модуль упругости — $20,7 \cdot 10^4$ Н/мм².

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — удовлетворительная.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 6023 — FM 601 или Nicrofer S 5520 — FM 617.

Электроды с покрытием — 2.4628, EL-NiCr21Co12Mo (до толщины 10 мм) и AWS ENiCrCoMo-1 (финишный).

3.11. Nicrofer 7016 T1NB — СЛЛАВ X-750 (№ 2.4669)

3.12. Nicrofer 7016 T1A1 — СЛЛАВ X-751 (№ 2.4690)

Применение

Дисперсионно-твердеющие сплавы на основе никель-хром-железо с высокой коррозионной стойкостью и высокой прочностью, особенно до температур порядка 800 °С.

Для производства конструкций и узлов, а также крепежных деталей газовых турбин, атомных электростанций и нефтехимического производства; для изготовления пружин, работающих при высоких температурах в различных областях промышленности, в том числе для изготовления пружин выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Fe	Ti	Al	Nb	Ni
≤ 0,08	14,0–17,0	5,0–7,0	2,25–2,75 (2,0–2,6)	0,4–1,0 (1,0–1,6)	0,7–1,2 (0,8–1,2)	≥ 70,0

Примечание. В скобках — для сплава X-751.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{исп},$ °C	$\sigma_{в},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{исп},$ °C	$\sigma_{в},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>1190	>800	>30	500	>1020	>740	40
100	>1170	>790	30	600	>880	>720	30
200	>1150	>780	35	700	>700	>650	45
300	>1120	>770	40	800	>450	>450	65
400	>1080	>750	40				

Физические свойства при 20 °С.Плотность — 8,3 г/см³.

Удельная теплоемкость — 430 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 12,0 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 121 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $14,0 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ при 20–300 °С.Модуль упругости — $21,4 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.**Технологические параметры.**

Деформируемость — в отожженном состоянии хорошая.

Свариваемость — в отожженном состоянии хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 7020 — FM 82.

Электроды с покрытием — 2.4648, EL-NiCr19NB, AWS ENiCrFe-3.

3.13. Nicrofer 7216 — СПЛАВ 600 (№ 2.4816)**3.14. Nicrofer 7216 Н — СПЛАВ 600 Н (№ 2.4816)****Применение**

Сплавы на основе системы никель–хром–железо с высокой коррозионной стойкостью в науглероживающих и хлорирующих средах. Для низкотемпературных химических процессов, таких как производство винилхлорида, а также для изготовления компонентов промышленных печей, муфелей печей светлого отжига, радиантных труб, корзин печей, парогенераторов на атомных электростанциях

Химический состав

Массовая доля компонентов, %

C	Cr	Fe	Ti	Al	Si	Ni
0,05–0,08	14,0–17,0	6,0–10,0	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,5	≥ 72,0

Примечание: Сплавы содержат медь в количестве не более 0,5%.

Сортамент

Тонкий и толстый лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{\text{исп}},$ °С	$\sigma_{\text{в}},$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>550	>240	265	>30	300	>485	>155	—	35
100	>520	>180	—	35	400	>480	>150	—	35
200	>500	>165	—	35	450	>475	>145	—	40

Физические свойства при 20 °С.Плотность — 8,4 г/см³.

Удельная теплоемкость — 455 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 14,8 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 103 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $14,4 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ при 20–300 °С.Модуль упругости — $21,4 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.**Технологические параметры.**

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 7020 — FM 82.

Электроды с покрытием — 2.4648, EL-NiCr19Nb, AWS ENiCrFe-3.

3.15. Nicrofer 7520 — СЛЛАВ 75 (№ 2.4951)

Применение

Высокопрочный, высокотемпературный сплав на основе системы никель—хром—железо с очень хорошим сопротивлением коррозии в окислительной среде до температуры 1100 °С. Благодаря высокой стойкости против окалинообразования и отличным механическим свойствам при высоких температурах широко применяются для изготовления деталей промышленных печей и газовых турбин

Химический состав

Массовая доля компонентов, %							
C	Cr	Fe	Cu	Ti	Al	Si	Ni
0,08–0,13	19,0–21,0	≤ 5,0	≤ 0,5	0,2–0,6	≤ 0,3	0,3–0,7	Осн.

Сортамент

Тонкий лист, полоса, труба, сортовой прокат

Нормированные механические свойства (толстый и тонкий лист)

$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$	$t_{исп},$ °С	$\sigma_B,$ Н/мм ²	$\sigma_{0,2},$ Н/мм ²	$\sigma_{1,0},$ Н/мм ²	$\delta_5, \%$
20	>650	>240	270	>25	400	>750	>425	—	>30
100	>800	>450	—	>30	500	>680	>400	—	>30
200	>790	>445	—	>30	600	>580	>350	—	>30
300	>780	>435	—	>30	700	>400	>250	—	>40

Предел ползучести

$t_{исп},$ °С	$\sigma_B/10^4,$ Н/мм ²	$\sigma_B/10^5,$ Н/мм ²	$t_{исп},$ °С	$\sigma_B/10^4,$ Н/мм ²	$\sigma_B/10^5,$ Н/мм ²
500	295	160	800	16	11,5
600	100	68	900	9,5	7
700	36	23			

Физические свойства при 20 °С.

Плотность — 8,4 г/см³.

Удельная теплоемкость — 445 Дж/(кг · К).

Удельная теплопроводность — 12,1 Вт/(м · К).

Удельное электросопротивление — 109 мкОм · см.

Температурный коэффициент линейного расширения — $13,25 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при 20–300 °С.

Модуль упругости — $22,1 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$.

Технологические параметры.

Деформируемость — хорошая.

Свариваемость — хорошая.

Сварочные материалы.

Сварочная проволока — Nicrofer S 7020 — FM 82.

Электроды с покрытием — 2.4648, EL-NiCr19Nb, AWS ENiCrFe-3.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Сравнительная таблица составов различных коррозионностойких

№	РФ ГОСТ 5632-72 ТУ	Германия		США AISI/SAE
	марка	марка	номер/DIN	марка
1.	20X13	X20Cr13	1.4021/17440	420
2.	30X13	X30Cr13	1.4028/17440	
3.	40X13	X38Cr13	1.4031/17440	
4.	65X13	X65Cr13	1.4037/17440	
5.	50X14MФ	X45CrMoV15	1.416/17440	
6.	95X18			440B
7.	90X18MФ	X90CrMoV18	1.4112/SEW-400	
8.	08X18Ti			430Ti
9.	01X18M2T-ВИ	X1CrMoTi182	1.4521/17440	
10.	12X18H9T	X10CrNiTi189	1.4541/17440	
11.	08X18H10T	X6CrNiTi1810	1.4541/17440	321
12.	12X18H9	X12CrNi188	1.4310/17440	301
13.	08X18H10	X5CrNi1810	1.4301/17440	304
14.	08X18H12Б	X10CrNiNb189	1.4550/17440	347
15.	03X18H11	X2CrNi189	1.4306/17440	304L
16.	03X24H6AM3			
17.	08X17H13M2T	X10CrNiMoTi1810	1.4571/17440	316Ti
18.	08X17H15M3T			317
19.	03X17H14M3	X2CrNiMo1812	1.4435/17440	316L
20.	03X18H16M3	X2CrNiMo18153	1.4441/17443	
21.	03X21H25M5ДБ	X1NiCrMoCuN25205	1.4539/17440	N08904
22.	02X25H22AM2-ПТ	X1CrNiMo25252	1.4465/17440	N08310
23.	06XH28МДТ	X3NiCrCuMoTi2723	1.4503/17440	
24.	ХН30МДБ	X1NiCrMoCuN31274	1.4563/17440	N08028
25.	ХН40МДБ-ВИ	Nicrofer 4823hMo		
26.	Н65М-ВИ	Nimofer 6928		Хастеллой В-2 №10665
27.	ХН65МБУ	Nicrofer 5716hMoW		Хастеллой С-276
28.	ХН63МБ	Nicrofer 5923hMo		Хастеллой С-22

Примечание. 1. Nicrofer, Nimofer — торговая марка фирмы “Krupp VDM” (Германия).

2. Hastelloy — торговая марка фирмы “Cabot Corporation” (США).

3. Sanicro — торговая марка фирмы “Sandvik” (Швеция).

сталей и сплавов согласно стандартам стран-изготовителей

Англия EN/BS	Франция A.F.N.O.R.	Швеция SIS	Япония JIS	ИСО
марка	марка	марка	марка	марка
56C (EN)	Z20C13	2303		
	Z30C13	2304	SEC4	
56M (EN)	Z40C14		SEH2	
		13C26		ИСО7153/1-88 ГОСТ Р 50328.1-92 ИСО 7153/1-88
58C (EN)	Z10CNT18-10	2334		
58C (EN)	Z10CNTi1810	2334		
58A (EN)	Z12CN1810	2330/31	SEC7	
58E (EN)	Z6N1810		SEC8	
		SAF2205		
				Д1505832/1-87
	Z1NC DU2520			
	Z1CND2522Az	2RE69		
	Z1NC DU3127	Sanicro-28		
Incoloy 825	NiMo28 2.4617			

**Информация о металлургических предприятиях России и Украины,
металлопродукция которых представлена в справочнике**

РОССИЯ			
Название	Адрес	Телефон	Факс
ОАО "Челябинский металлургический комбинат" "Мечел"	454047, г. Челябинск, ул. 2-я Павелецкая, 14	(3512)24-46-61	24-16-83
ОАО "Ашинский металлургический завод"	456000, Челябинская обл., г. Аша, ул. Мира, 9	(35159)29-37-10	2-20-42
ОАО "Электрометаллургический завод "Электросталь"	144000, Московская обл., г. Электросталь, ул. Железнодорожная, 1	(09657)712-52	(09657)431-80, 260-40
ОАО "Металлургический завод "Красный Октябрь"	400060, г. Волгоград, пр-т Ленина, 102	(8442)79-07-54	71-59-39
ОАО "Златоустовский металлургический завод"	456203, Челябинская обл., г. Златоуст, ул. Кирова, 1	(35136)2-15-21	2-14-00
ОАО "Московский металлургический завод "Серп и Молот"	109033, г. Москва, Золотородский вал, 11	(095)278-40-92	274-00-95
ОАО "Ижорские заводы"	189630, г. С-Петербург, Колпино, пр-т Ленина, 1	(812)481-81-02	463-92-69
ОАО "Металлургический завод "Сибэлектросталь"	660050, г. Красноярск, ул. Кутузова, 1	(3912)33-66-61	33-30-45
ОАО "Кузнецкий металлургический комбинат"	654010, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, пл. Победы, 1	(3843)49-11-20	44-41-00

РОССИЯ

ОАО "Новосибпрокат" - Новосибирский металлургический завод	630032, г. Новосибирск, ул. Станционная, 28	(3832)41-36-44	41-18-56
ОАО "Белорецкий металлургический комбинат"	453500, Республика Башкортостан, г. Белорецк, ул. Блюхера, 1	(34792)4-05-04	4-04-64
ОАО "Южно-Уральский Никелевый комбинат"	462424, Оренбургская обл., г. Орск, Призаводная, 1	57-25-02 57-21-29	(телетайп 144563АНОА)
АООТ "Суперметалл"	107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 9/23	(095)261-93-09	267-99-44
ОАО "Волжский трубный завод" - ВТЗ	404119, Волгоградская обл., г. Волжский	(8443)22-21-50	25-52-25
ОАО "Первоуральский Новотрубный завод" - ПНТЗ	623112, Свердловская обл., г. Первоуральск, ул. Торговая, 1	(34392)7-56-56	2-44-76
ОАО "ФИЛИТ" "Московский трубный завод"	121087, г. Москва, ул. Барклай, 6	(095)148-02-13	148-68-91
ОАО "СинТЗ" - "Синарский трубный завод"	623401, Свердловская обл., г. Каменск-Уральский, Заводской пр-д, 1	(34378)6-34-03	3-47-01

УКРАИНА

Название	Адрес	Телефон	Факс
ОАО "Запорожский металлургический комбинат "Запорож- сталь"	330008, Украина, г. Запорожье, Южное шоссе, 72	(0612)34-40-01	35-03-24 35-02-02
ОАО "Электрометал- лургический завод "Днепроспецсталь"	330008, Украина, г. Запорожье, Южное шоссе, 8	(0612)39-77-43	39-87-67 33-10-00
АП "Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича"	341004, Украина, Донецкая обл., г. Мариуполь, ул. Левченко, 1	(0629)38-34-49	32-23-05
Никопольский госу- дарственный Южно- трубный завод	322901, Украина, Днепропетровская обл., г. Никополь	(05662)2-50-43	2-11-15 2-21-32

22196

Справочное издание

**КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ, ЖАРОСТОЙКИЕ
И ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ**

Анатолий Петрович Шлямнев
Тамара Васильевна Свистунова
Ольга Борисовна Лапшина
Наталья Александровна Сорокина
Владимир Иванович Маторин
Владимир Иванович Столяров
Сергей Дмитриевич Боголюбский
Наталья Николаевна Козлова
Александр Федорович Еднерал

*Редактор Э.М. Щербинина
Корректор Ю.И. Королева
Компьютерная верстка О.А. Москвина*

Лицензия код 221 ЛР № 090171 от 17.04.97.

Подписано в печать 29.12. 99 г.

Формат издания 70×100¹/₁₆

Бумага офсетная

Печать офсетная

Усл.печ.л. 19,5

Усл. кр.-отт. 20,15

Уч.-изд. л. 17,94

Тираж 1000 экз.

Заказ № 1565

Дог. № И-20/10

ООО "Интермет Инжиниринг"
103006, Москва, Старопименовский пер., д. 8, стр. 1-1А

Отпечатано с оригинал-макета в ППП «Типография «Наука»
121009 Москва, Шубинский пер., д. 6