

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ, ЖАРОСТОЙКИЕ
И ЖАРОПРОЧНЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Методическая разработка

Куйбышев 1990

Составитель проф. Ю.К.Ф а в с т о в

УДК 621.002.3

Коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы: Метод. разработка /Куйбышев, авиац. ин-т.; Сост. Ю.К.Фавстов. Куйбышев, 1990, 30 с.

Даны краткие сведения о коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных материалах, рекомендованных к применению в авиационной промышленности. Основное внимание уделено рекомендациям по применению сплавов в конкретных узлах авиационных двигателей.

Метод. разработка рассчитана для студентов механических специальностей авиационного института, а также может быть использована инженерами-конструкторами и инженерами-технологами. Работа выполнена на кафедре технологии металлов и авиаматериаловедения.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.П.Королева

Рецензенты: Г.А.К о т е л ь н и к о в, В.А.Б у - з и ц к и й

I. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В авиационно-космической технике чрезвычайно большую роль играют коррозионно-стойкие, жаростойкие, жаропрочные стали и сплавы на железной, железоникелевой, никелевой и кобальтовой основах.

К сплавам на железной основе (высоколегированные стали) относятся сплавы, содержание железа в которых более 45%, а содержание легирующих элементов в сумме больше 10%.

К сплавам на железоникелевой основе относятся сплавы, основная структурная составляющая 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)

К сплавам на никелевой (кобальтовой) основе относятся сплавы, основная структурная составляющая которых является твердым раствором хрома и других легирующих элементов в никелевой (кобальтовой) основе. Содержание никеля (кобальта) в сплаве не менее 55%.

К коррозионно-стойким (нержавеющим) относятся стали и сплавы, обладающие стойкостью против электрохимической и химической коррозии (атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой), межкристаллитной коррозии, коррозии под напряжением.

К теплостойким сталям относятся стали, предназначенные для деталей, работающих длительное время при температурах до 600°C (ГОСТ 20072-74).

К жаростойким относятся стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550°C.

К жаропрочным относятся стали и сплавы, предназначенные для деталей силовых конструкций, эксплуатируемых при температурах выше 550°C.

Основными специфическими механическими характеристиками метал-

лов, эксплуатируемых при повышенных температурах, являются предел ползучести и предел длительной прочности.

Предел ползучести — это наибольшее растягивающее напряжение, при котором скорость или деформация ползучести за определенное время имеет заданную величину. В обозначении предела ползучести указывают температуру эксплуатации в °С и установившуюся скорость ползучести или величину деформации и время, за которое она образуется. Например, $\sigma_{1/10000}^{850} = 20$ МПа означает, что при напряжении 20 МПа за 10000 часов при температуре 850°С материал деформировался пластически на 1%; $\sigma_{1,10^{-5}}^{850} = 20$ МПа означает, что при напряжении 20 МПа и температуре 850°С имеет место ползучесть с установившейся скоростью деформации $1 \cdot 10^{-5}$ %/час.

Предел длительной прочности — это наибольшее напряжение, при котором материал при данной температуре разрушается только после заданного промежутка времени. Например, $\sigma_{1000}^{300} = 300$ МПа означает, что при напряжении 300 МПа и температуре 600°С материал не разрушается по крайней мере 1000 часов.

В зависимости от структуры, получаемой при охлаждении на воздухе образцов сечением 25x25 мм после высокотемпературного нагрева, коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали согласно ГОСТ 5632-72 подразделяются на шесть классов:

1. Стали мартенситного класса со структурой мартенсита (20Х13, 95Х18).

2. Стали ферритного класса со структурой феррита (ферритные стали в качестве конструкционных в авиационной промышленности не нашли применения).

3. Стали аустенитно-мартенситного класса, имеющие структуру аустенита и мартенсита, относительное качество которых можно изменять в широких пределах (07Х16Н6-Ш, 08Х17Н5М3, 08Х17Н5Д2Т-Ш, 12Х17Т9АН4, 14Х17Н2Л).

4. Мартенситно-ферритные стали, содержащие в структуре кроме мартенсита не менее 10% феррита (14Х17Н2, 13Х15Н4М3-Ш, 15Х18Н2АМ-Ш, 15Х12Н2МВФАБ-Ш, 15Х16К4Н2МВФАБ-Ш, 16Х16Н3МАД, 11Н2НМБФ-Ш, 11Н5Д2Т-Ш, 08Х14Н5М2Л).

5. Стали аустенитно-ферритного класса, имеющие структуру аустенита и феррита (06Х14Н6Д2МОТ-Ш).

6. Стали аустенитного класса, имеющие структуру аустенита (03X1H10M2T-ВД, 10X1H20T3P, 12X18H9T, 12X18H10T, 90T29Ю9BC(Ф)БМ-Ш, 10X18H9БЛ).

Химические элементы в марках стали обозначены следующими буквами:

А - азот,	М - молибден,	Б - алюминий,
В - вольфрам,	Н - никель,	К - кобальт,
Г - марганец,	Р - бор.	Х - хром,
Д - медь,	С - кремний,	Ц - цирконий,
Е - селен,	Т - титан,	
	Ф - ванадий	

Применительно к деталям двигателестроения в наиболее тяжелых условиях работают лопатки турбин. Условия их работы характеризуются высокой температурой, теплосменами, значительной механической нагрузкой и вибрацией. Материал лопаток должен обладать высокой жаростойкостью и жаропрочностью, высоким сопротивлением термоусталости и механической усталости, запасом пластичности, трещиностойкостью, высоким сопротивлением абразивному износу (в двигателях, предназначенных для компрессорных станций магистральных газопроводов) и хорошей технологичностью.

С целью повышения отдельных эксплуатационных свойств (жаростойкость, износостойкость и др.) лопатки могут быть подвергнуты химико-термической обработке или термонапылению. Для повышения жаростойкости рекомендуется диффузионное насыщение поверхности элементами $Al-Cr$, $Al-V$, $Al-Ti$, $Al-Cr-Si$, $Al-Cr-V-Ni$; $Al-Cr-V-Co$ или напыление элементами и соединениями $Ni-Al$ (5...20%), $Al_2O_3 + TiO_2$, $ZrO_2 + MgO$, $ZrO_2 + (Ni-Al-Cr-V)$. Высокотемпературная износостойкость повышается при насыщении поверхности элементами $Al-B$, $Ti-B$, $W-Si$ и напылением соединениями $Cr_2C_3 + NiCr$, CrB_2 , $TiC + Ni(Co)$.

Повышенным сопротивлением ползучести обладают лопатки, полученные методами направленной и высоконаправленной кристаллизации (НК и ВНК), монокристаллические лопатки (Моно).

Комплексное повышение эксплуатационных свойств достигается вакуумно-индукционной выплавкой (ВИ).

Перспективными материалами для лопаток являются естественные и искусственные композиты, сплавы на основе тугоплавких металлов и керамические материалы.

Турбинные диски работают при менее высоких температурах, но более высоких напряжениях в зоне соединения с лопатками. К механическим характеристикам материалов для дисков предъявляются повышенные требования.

Камера сгорания, форсажная камера, сопла требуют от материалов высокой жаростойкости. Последняя может быть в значительной степени повышена путем напыления соединениями $Cr_2O_3 + NiCr_2$.

Корпуса турбины и кольцевые детали работают при меньших напряжениях, но при более резких теплосменах и требуют от материалов повышенной термоусталости.

К листовым материалам одним из основных требований является хорошая свариваемость.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ, ЖАРСТОЙКИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Применение коррозионно-стойких сталей для силовых конструкций и внутреннего набора летательных аппаратов

Номер марки	Марка стали	Максим. температура, °C	Применение
I.I.1	06X14H6L2MBT-III (ЭП817-III)	300	Сварные и несварные детали и конструкции из прутков, поковок, прессованных полуфабрикатов
I.I.2	I5X15H4M3-III (ЭП310-III, ДНС-5III)	320	
I.I.3.	90Г29Ж9В (ЛД38-III, ЗИ93-III, ЭП839П)	350	То же. Допускается кратковременный нагрев до 500 °C
I.I.4.	I2X17Г9АН4 (ЭИ878)	400	Силовые сварные конструкции, детали из сорта, штамповка, трубные заготовки
I.I.5.	I2X18Н9Т	800	То же

Продолжение

Номер	Марка стали	Максим. температура, °С	Применение
I.I.6	08ХТ5Н5Д2Т-Ш (ЭП4Ю-Ш, ВНС-2-Ш)	300	Листовые сварные конструкции. Допускается контакт только с топливами при отсутствии контакта с влагой
I.I.7	ЭП4ЮУ-Ш (ВД)		Листовые сварные конструкции, детали из прутков и профилей, поковки, трубопроводы, работающие под внутренним давлением
I.I.8	07ХТ6Н6-Ш	400	Силовые сварные конструкции, в том числе для баллонов, работающих под давлением как в атмосферных условиях, так и в уксуснокислых и других солевых растворах
I.I.9	08ХТ7Н5МЗ (ЭИ925, СН-3)	500	Для силовых сварных конструкций из листа и ленты, в том числе для гофрированных панелей сотовых парных конструкций, работающих как в атмосферных, так и в солевых и сернокислых средах
I.I.10	ХТ8Н9Б	800	Арматура и другие литые детали трубопроводов
I.I.11	ВНЛ-3	350	Фасонные отливки. После сварки не требуется термообработка
I.I.12	ВНЛ-5-ВИ	400	Для фасонных отливок
I.I.13	ВНЛ-8-ВИ	500	Для отливок деталей шасси

Применение коррозионно-стойких сталей для агрегатов
топливных и масляных систем и деталей передаточных механизмов

Номер марки	Марка стали	Максим. температура, °С	Применение
I.2.1	20X13	400	Детали топливных и масляных систем агрегатов, работающих на трение без концентраторов напряжений в слабоагрессивных средах
I.2.2	I4X17H2	400	То же. Сталь I4X17H2 имеет лучшую технологичность
I.2.3	I2X17Г9АН4 (ЭИ878)	400	Сварные и штампованные детали из листа и сорта
I.2.4	I2X18H9T	800	То же при температурах эксплуатации выше 400°С
I.2.5.	I2X18H10T	800	То же
I.2.6.	I5X16H2AM-III (ЭП479-III)	500	Цементируемая и нитроцементируемая сталь для деталей, работающих на трение с большой удельной нагрузкой
I.2.7	03X1H10M2T-ВД (ЭП678-ВД, ВНС-I7-ВД)	500	Азотируемая сталь
I.2.8	03X17H8Г5МФАБ-П, ПШ (ВНС-3Г-П, ПШ)	600	Азотируемая сталь для особо тяжелых условий эксплуатации
I.2.9	96X18 (ЭИ229)	200	Сталь высокой твердости для прецизионных пар трения
I.2.10	65KH8X20ML (ВНС-I3)	500	То же для деталей, изготовляемых литьем
I.1.11	3X13H6M2K3ДБЛ-ВИ (ВНС-32-ВИ)	450	Для золотниковых пар подшипников
I.2.12	I6X16H3МАД (ЭП811, ВНС-21)	I50	Автоматная сталь для деталей передаточных механизмов

Продолжение

Номер марки	Марка стали	Максим. температура, °С	Применение
I.2.13	9Х16НМ2Д (ЭП887, ВНС-28)	150	Автоматная сталь для деталей высокой твердости и износоустойчивости, работающих в легких условиях эксплуатации (герметичные приборы, масло, топливо)
I.2.14	03Х1Н10М2Т2Ю-ВД (ЭК19-ВД, ВНС-17У-ВД)	300	Для пружин и упругих чувствительных элементов
I.2.15	ХН68ВК1Ю-ВИ (ЭП578-ВИ)	500	То же
I.2.16	ХН60ВЮС	500	"
I.2.17	Х15Н27Т3МР-ИД (ЭП700-ИД)	600	"
I.2.18	ВКС-127	600	"
I.2.19	НХ1Г	600	"
I.2.20	НХ58ВКЕ1Ю-ВИ (ЭП877-ВИ, ВУС-5-ВИ)	600	"
I.2.21	ХН71МВЮ-ИЛ (ЭЛ-950-ИЛ)	750	Для пружин и упругих чувствительных элементов, изготавливаемых методом литья
I.2.22	95Н1М-ВИ	400	То же
I.2.23	27НКБ1ЮВ-ВИ (ВУС № 15, ЭК-20-ВИ)	500	То же
I.2.24	ЭП578-ВИ	500	Немагнитные упругие чувствительные элементы и ленточные пружины
I.2.25	ЭП877-ВИ	600	То же

Коррозионно-стойкие стали для силовых конструкций
двигателей летательных аппаратов

I.3.1	Х12НМБФ-Ш (ЭП609-Ш)	600	Сварные конструкции из листа и сорта
-------	------------------------	-----	--------------------------------------

Продолжение

Номер марки	Марка стали	Максим. температура, °С	Применение
I.3.2.	I5X12H2MBФAB-III (ЭП517-III)	600	То же и вальцованные лопатки
I.3.3	I5X16K4H2MBФAB-III (ЭП866-III, ВНС-30-III)	650	То же и вальцованные лопатки
I.3.4	IOX12HMBФ-III (ЭП609-III)	600	Для сварных колец поставки КМЗК
I.3.5	I2X18H1TT	800	То же и кожуха камеры сгорания
I.3.6	ВНЛ-3	350	Фасонные отливки
I.3.7	ВНЛ-5-ВИ	400	То же
I.3.8	ВНЛ-9	500	—"

Применение жаростойких и жаропрочных сталей
и сплавов для двигателей летательных аппаратов

I.4.1	XH73MBTЮ-ВД (ЭИ698-ВД)	700	Диски и дефлекторы турбин и дисков компрессоров (КВД)
I.4.2	ЭП74I-ИЛ	850	То же
I.4.3	ВЖ135-ВД	750	—"
I.4.4	ЭП975-ИД, ИЛ (ВДС-75-ИД, ИЛ, ЖС6УД-ИД, ИЛ)	870	—"
I.4.5.	XH60KMБBТФ-ИЛ (ЭП962-ИЛ, ВЖ122-ИЛ)	700	То же. Штамповка дисков только на прессах
I.4.6	XH62BMKTЮ-ИД, ПД (ЭП742-ИД, ПД)	750	То же. Штамповка крупногабаритных дисков только на прессах
I.4.7	ЭП74I-ИП		То же. Порошковый сплав
I.4.8	ЭП962-П		Рекомендуется вместо ЭП74I-ИП

Номер марки	Марка стали	Максим. температура, °С	Применение
I.4.9	ЭП742У-ИД, ЦД	750	Рекомендуется вместо ЭП742-ИД, ЦД
I.4.10	ХН35ВТЮ-ВД (ЭИ787-ВД)	700	Экономичный сплав на железоникелевой основе для вальцованных лопаток КВД и КНД
I.4.11	ХН68ВМТЮК-ВД (ЭП693-ВД)	950	Дефлекторы лопаток турбин, валы
I.4.12	ХН45МВТЮБФ-ИД (ЭП718-ИД, ВЖ105-ИД)	700	Рабочие лопатки турбин и КВД
I.4.13	ВЖ15И	700	То же
I.4.14	ХН70ВМТЮФ-ВД (ЭИ826-ВД)	850	—"
I.4.15	ВНС-45	850	Рекомендуется вместо ЭИ826-ВД
I.4.16	ЖС6КП-ИД	1000	То же
I.4.17	ХН61КМОВБ-ВД (ЭП874-ВД)	950	То же. Только для крупногабаритных лопаток
I.4.18	ВЖЛ12Б-ВИ	1000	Лопатки рабочие турбинные, литые (вместо сплава ВЖЛ12У-ВИ)
I.4.19	ВКЛС-20	1050	То же. Вместо ЖС6У-ВИ
I.4.20	ЖС32-ВНК	1050	То же. Вместо ЖС6У-НК
I.4.21	ЖС30 Моно	1050	То же. Вместо ЖС6Ф-НК
I.4.22	ЖС3ДК-ВИ	900	Литые крыльчатки и цельнолитые роторы
I.4.23	ЖС26У-ВНК	1000	То же
I.4.24	ВЖЛ12Э	1000	То же. Вместо ЖС6К-ВИ
I.4.25	ЖС16	1000	То же
I.4.26	ХН38ВТ (ЭИ703)	800	Сварные и несварные детали статора, СА намер стгорания, торговые детали

Продолжение

Номер марки	Марка стали	Максим. температура, °С	Применение
I.4.27	ХН78Т (ЭИ435)		То же
I.4.28	ХН65ВМБ-ВИ, ИД (ЭП886-ВИ, ИД, ВЖШ-ВИ, ИД)	1000	"-
I.4.29	ВЖ135	1000	То же. Вместо ЭП866-ВИ, ИД
I.4.30	ВЖ145	1000	То же
I.4.31	ХН40МТЮБР-ИД (ЭК2-ИД, ВНС-39-ИД)	650	Сварные силовые конст- рукции статора, камер сгорания
I.4.32	ХН62МЮТ-ВД (ЭП708-ВД)	900	То же
I.4.33	ХН65ВМБЮ-ВИ (ЭП914-ВИ, ВЖ131-ВИ)	800	То же для сложных крупногабаритных сварных узлов
I.4.34	ВЖ151	800	То же. Вместо ЭП914-ВИ
I.4.35	ХН68ВМТЮК-ВД (ЭП693М-ВД)	950	То же
I.4.36	ХН50ВМТЮБ-ВИ (ЭП648-ВИ, ВХ4А-ВИ)	1100	"-
I.4.37	ВХ9	1100	То же. Вместо ВХ4А-ВИ
I.4.38	ВХ6-ЧИ	1300	То же. Детали изготов- ливаются только из сорта
I.4.39	ХН77ТЮР-ВД (ЭИ437-ВД, ЭИ437БУ-ВД)	750	Кольцевые раскатные детали ротора
I.4.40	ХН73МБТЮ-ВД (ЭИ698-ВД)	800	То же
I.4.41	ГОХ1Н20Т2Р (ЭИ696А)	700	Кольцевые раскатные и сварные детали стато- ра
I.4.42	ХН45ВМТЮБР-ИД (ЭП718-ИД, ВЖ105-ИД)	700	То же

Продолжение

Номер марки	Марка стали	Максим. температура, °С	Применение
I.4.43	ВЖ151	700	То же. Вместо ЭП718-ИД
I.4.44	ХН78Т (ЭИ435)	950	Кольцевые детали жаровых труб, сварные
I.4.45	ХН65ВМБ-ВИ, ВД (ЭП886-ВИ, ВД, ВЖ1-ВИ, ВД)	1000	То же
I.4.46	ВЖ135	1000	То же. Вместо ЭП886-ВИ, ВД
I.4.47	ХН50ВМТЮБ-ВИ (ЭП648-ВИ, ВХ4А-ВИ)	1100	То же
I.4.48	ВХ9	1100	То же. Вместо ВХ4А-ВИ
I.4.49	ХН62ВМЮТ-ВД (ЭП708-ВД)	900	Кольцевые сварные детали форсажных камер
I.4.50	ХН68ВМТЮК-ВД (ЭП693М-ВД)	950	То же
I.4.51	ВЖЛ14Н-ВИ	800	Литые фасонные детали камер сгорания, форсажных
I.4.52	ВЖ19	1000	То же
I.4.53	ВЖЛ6-ВИ	1000	"
I.4.54	ВХ4Л-ВИ	1100	"
I.4.55	ВХ9Л-ВИ	1100	То же. Вместо ВХ4Л-ВИ
I.4.56	ВХ10Л-ВИ	1100	То же
I.4.57	ВХ6Л-ВИ	1300	"

Применение жаропрочных износостойких сплавов
для агрегатов и систем летательных аппаратов и двигателей

I.5.1	ВЖЛ1	500	Муфты газопроводов, поворотные втулки соплового аппарата, подшипники скольжения
-------	------	-----	---------------------------------------------------------------------------------

Продолжение

Номер марки	Марка стали	Максим. температура, °С	Применение
I.5.2	ВЖЛ2	800	Высокотемпературные, тяжело-нагруженные сферические подшипники и скользящие контакты
I.5.3	ВЖЛ15	900	Пары трения, работающие при возвратно-поступательном движении, детали трения исполнительных механизмов
I.5.4	ВЖЛ16	700 в вакууме	Сферические подшипники, работающие в экстремальных условиях (в вакууме). Отсутствует склонность к захватыванию в условиях разрежения
I.5.5	ВЖЛ2М	950	Сплав для упрочнения бандажных полок лопаток турбин
I.5.6	ВЖНА-2М	1100	Сплав для упрочнения и восстановления рабочих поверхностей лопаток и сплавов типа ЖС6У

3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ, ЖАРОСТОЙКИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Химический состав коррозионно-стойких деформируемых сталей

Номер марки	Марка стали	C, %	Cr, %	Ni, %	Другие элементы	Источник
2.7	03X11H10M2T-ВД ЭП678-ВД; ВНС-17-ВД	≤ 0,03	10,0- 11,3	1,8- 2,3	Mo 0,6-1,0; Al ≤ 0,20; Nb ≤ 0,16	2
1.1	06X14H6Д2М6Т-III ЭП817-III	0,05- 0,08	13,5- 14,8		Mo 1,4-1,7; Mn ≤ 1,0; Cu 1,8-2,5; Nb 0,25-0,40	3

Продолжение

Номер марки	Марка стали	C, %	Cr, %	Ni, %	Другие элементы	Источник
1.8	07X16H6-III ЭП288-III; CH-2A-III	0,05- 0,09	15,5- 17,5	5,0- 8,0	Al 0,5-0,8	I
1.9	08X17H5M3 ЭИ925, CH-3	0,06- 0,10	16,0- 17,5	4,5- 5,5	Mo 3,0-3,5	I
1.6	08X15H5Д2Т-III	≤ 0,08	14,0- 15,0	4,7- 5,5	Ti 0,6-1,0 Cu 1,75-2,50	4
4.4I	10X11H20T3P ЭИ696A	≤ 0,10	10,0- 12,5	18,0- 21,0	Ti 2,3-2,8 B ≤ 0,008; Al ≤ 0,8	I
1.4 2.3	12X17Г9АН4 2.3 ЭИ878	≤ 0,12	16,0- 18,0	3,5- 4,5	Mn 8,0-10,5 N 0,15-0,25	I
1.5 2.4	12X18H9T	≤ 0,12	17,0- 19,0	8,0- 9,5	Ti 5.С-0,8	I
2.5 3,5	12X18H10T	≤ 0,12	17,0- 19,0	9,0- 11,0	Ti 5.С-0,8	I
1.2	13X15H4M3-III ЭП310; ВНС-5-III	0,11- 0,16	14,0 15,5	2,3- 2,8		5
2.2	14X17H2 ЭИ268	0,11- 0,17	16,0- 18,0	1,5- 2,5		I
3.2	15X12H2МВФАБ-III ЭП517-III	0,13- 0,18	11,0 12,5	1,7- 2,1	Mo 1,35-1,65 V 0,18-0,30 W 0,65-1,00	5
3.3	15X15K4H2МВФАБ-III ЭП866-III; ВНС-30-III	0,13- 0,18	15,0- 16,0	1,7- 2,1	Mo 1,35-1,65 Co 4,5-5,5 V 0,18-0,30 W 0,65-1,00	6
2.12	16X16H3МАД ЭП811; ВНС-2I	0,13- 0,19	15,0- 16,5	2,0- 4,0	Mo 1,4-1,9 Mn 0,05-0,10 Mn 0,6-1,0 Cu 1,0-1,5	7
2.6	15X16H2AM-III ЭП479-III	0,12- 0,18	15,0- 16,0	2,0- 3,0	Mo 0,35-0,50 V 0,15-0,25 Nb 0,05-0,15	8
2.1	20X13	0,16- 0,25	12,0- 14,0			I

Окончание

Номер марки	Марка стали	C, %	Cr, %	Ni, %	Другие эле- менты	Источ- ник
3.1	XI2HMБФ-III ЭП669-III	0,05- 0,09	10,5- 12,0	1,4- 1,6	Mo 0,35-0,50 V 0,15-0,25 Nb 0,05-0,15	9
-	XI5H5Д2ТУ-III, ВД	0,08	13,5- 14,8	4,8- 5,8	Ti 0,03-0,15 Cu 1,75-2,50	10
I.3	90Г29Ю9В(Ф)БМ-III ДИЗ8-III; ЭП839П-III ЗИ-93-III	0,85- 0,95			Mo 0,3-0,5 W 0,6-0,9 Fe 8,3-9,3 Nb 0,3-0,6 Mn 28,0-30,0	II
2.9	95XI8, ЭИ229	0,9- 1,0	17,0- 19,0			I

Источники:	1. ГОСТ 5632-72	7. ТУ4-I-379I-84
	2. ТУ4-I-2I00-77	8. ТУ4-I-3575-83
	3. ТУ4-I-3607-83	9. ТУ4-I-24I2-78
	4. ТУ4-I-2907-80	10. ТУ4-I-744-78
	5. ТУ4-I-2902-80	II. ТУ4-I-2258-77
	6. ТУ4-I-2756-79	

Химический состав легированных коррозионно-стойких сталей

Номер марки	Марка стали	C, %	Cr, %	Ni, %	Другие эле- менты	Источ- ник
I.10	10XI8H9ВЛ	≤ 0,10	17,0- 10,0	8,0- 12,0	Nb (8.С.-0,9)	I
-	08XI4H5M2ГЛ	≤ 0,08	13,0- 14,5	4,5 5,5	Mo 1,5-2,0 Cu 1,20-1,75 Nb < 0,1	I
I.12 3,7	14XI1H6M5-Л ВЛ-5-ВЛ	0,11- 0,16	11,5- 12,0	6,0- 6,8	Mo 4,0-5,0 Cu < 0,30	I
-	14XI7H2Л 268Л	0,05- 0,10	15,0- 18,0	2,8- 3,8	Mn 0,3-0,8	2
-	13XI4H3B2ФРА 5I3Л; ЭИ736-Л	0,09- 0,15	11,5- 13,5	2,3- 3,0	V 1,6-2,2 Mn 0,2-0,8 B 0,003-0,006	2

Источники: 1. ОСТ 92-1160-86
2. ОСТ 1 90090-79

Химический состав деформируемых жаропрочных сплавов
(основные элементы)

Номер марки	Марка сплава	Ni, %	Cr, %	Mo, %	W, %	Другие элементы	Источ- ник
—	XI5H27T3MF ЭП700	25,0- 28,0	14,0- 16,0	1,0- 6,0	—	Ti 2,6-3,2	3
—	XH35BTЮ-ВД ЭП787-ВД	33,0- 37,0	14,0- 16,0	—	2,8- 3,5	Al 0,7-1,4 Ti 2,4-2,3	I
—	XH38BT ЭП703	35,0- 39,0	20,0- 23,0	—	2,8- 3,5	Ti 0,7-1,2	I
—	XH40MTЮСЕР-ИД ЭК-2-ИД ВНС-39-ИД	35,0- 40,0	14,0- 16,0	5,5- 6,5	—	Al 1,0-1,5 Ti 2,0-2,5 Nb 0,6-1,0 V 0,3-0,5	4
—	XH45MTЮСЕР-ИД ЭП718-ИД ВН105-ИД	43,0- 47,0	14,0- 16,0	4,0- 4,2	2,5- 3,5	Al 0,9-1,4 Ti 1,9-2,4 Nb 0,8-1,4	5
—	XH60KMBBT-ИЛ ЭП962-ИЛ ВН122-ИЛ	Осн.	12,0- 15,0	4,2- 5,0	2,4- 3,0	Co 9,0-12,0 Al 3,1-4,0 Ti 2,4-3,0 Nb 3,1-3,7 V 0,1-0,5	6
—	XH62BMKTЮ-ИД, ИД, ЭП742-ИД,ИД	Осн.	13,0- 15,0	4,5- 5,5	—	Co 9,0-11,0 Al 2,4-2,8 Ti 2,4-2,8 Nb 2,4-2,8	7
—	XH65BMB-ТМ, ИД	Осн.	23,0- 26,0	3,0- 4,5	5,0- 7,0	Al 0,4-1,0 Ti 0,2-0,8	8
—	XH62BMT-ВД ЭП708-ВД	Осн.	17,5- 20,0	4,0- 6,0	5,5- 7,5	Al 1,9-2,3 Ti 1,0-1,4	9
—	XH65BMTС-ТМ ЭП914-ТМ	Осн.	17,0- 18,5	—	5,5- 7,5	Al 1,5-1,9 Nb 4,0-4,7	10
—	XH65BMTС-ВД ЭП993-ВД ЭП995-ВД	Осн.	17,0- 20,0	3,0- 3,5	5,0- 7,0	Co 5,0-8,0 Al 1,6-2,3 Ti 1,1-1,6	11

Окончание

Номер марки	Марка сплава	Ni, %	Cr, %	Mo, %	W, %	Другие элементы	Источ- ник
—	ХН70ВМТЮФ-ВД ЭИ826-ВД	Осн.	13,0- 16,0	2,5- 4,0	5,0- 7,0	Al 2,4-2,9 Ti 1,7-2,2 V 0,2-1,0	I
—	ХН73МБТЮ-ВД ЭИ698-ВД	Осн.	13,0- 16,0	2,8- 3,2		Al 1,45-1,80 Ti 2,35-2,75 Nb 1,90-2,20	7
4.39	ХН77ТЮР-ВД ЭИ437Б-ВД ЭИ437БУ-ВД	Осн.	19,0- 22,0			Al 0,6-1,0 Ti 2,4-2,8	I
4.27 4.44	ХН78Т ЭИ435	Осн.	19,0- 22,0			Ti 0,15-0,35	I
4.2 4.7	ЭП74I-ИЛ (гранулы) ЭП74I-ИП (порошок)	Осн.	8,0- 10,0	2,2- 3,0	6,5- 7,2	Co 15,0-16,5 Al 4,75-5,15 Ti 1,3-1,7 Nb 1,2-1,6	2
4.9	ЭП742У-ИД	Осн.	10,0- 12,0		2,0- 3,0	Co 12,5-16,6 Al 2,8-3,3 Ti 2,4-3,0 Nb 2,5-3,0 V 0,4-0,8	I2
—	ЖС6КП-ИД, ВД	Осн.	10,0- 12,0	5,0- 6,5	3,0- 5,0	Al 4,3-5,0 Ti 2,6-3,5 Co 5,0-9,0	I3
—	ЖС6Ф-ВИ	Осн.	4,0- 7,0	0,8- 1,5	11,0- 13,0	Co 6,0-11,0 Al 5,1-5,0 Ti 0,8-1,5 Nb 1,2-1,7 V 0,8-1,2 Hf 1,0-1,5	I4

Источники:

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1. ГОСТ 5632-72 | 8. ТУ14-2760-79 |
| 2. ОСТ1 90126-74 | 9. ТУ14-I-1040-74 |
| 3. ТУ14-I3I-73 | 10. ТУ14-I-3986-85 |
| 4. ТУ14-I-2913-80 | 11. ТУ14-I-2552-78 |
| 5. ТУ14-I-3905-85 | 12. ТУ14-I3I-56I-83 |
| 6. ТУ14-I-2345-78 | 13. ТУ14-92-55-77 |
| 7. ТУ14-I-285-72 | 14. ТУ14-92-45-79 |

Химический состав литейных жаропрочных сплавов
(основные элементы)

Номер марки	Марка сплава	Ni, %	Cr, %	Mo, %	W, %	Другие элементы	Источ- ник
4.22	ЖСЗДК-ВИ	Осн.	11,0- 12,5	3,8- 4,5	3,8- 4,5	CO 8,0-10,0 Al 4,0-4,8 Ti 2,5-3,2	I
—	ЖС6К-ВИ	Осн.	9,5- 12,0	3,5- 4,5	4,5- 5,5	CO 4,0-5,5 Al 5,0-6,0 Ti 2,5-3,2	I
—	ЖС6Ф-НК	Осн.	4,0- 7,0	0,8- 1,0	11,0- 13,0	CO 6,0-10,5 Al 5,1-6,0 Ti 0,8-1,5 Hf 1,0-1,5	I
—	ЖС6У-ВИ, НК	Осн.	8,0- 9,5	1,2- 2,4	9,5- 11,0	CO 9,0-10,5 Al 5,0-6,0 Ti 1,4-2,3 Nb 0,8-1,2	I
4.25	ЖС16-ВИ	Осн.	4,6- 5,2		15,3- 16,5	CO 6,0-8,0 Al 5,6-6,2 Ti 0,7-1,2 Nb 1,6-2,1	I
4.2I	ЖС30-ВИ, МОНО	Осн.	5,0- 9,0	0,4- 1,0	10,5- 12,5	CO 7,5-9,5 Al 4,8-5,8 Ti 1,4-2,3 Nb 0,4-1,4 Hf 0,3-1,2	I
5.1	ВЖЛ1-ВИ	Осн.	15,0- 17,0	3,5- 5,0	2,0- 2,5	Al 2,0-2,8 Ti 2,0-3,0	I
5.2	ВЖЛ2-ВИ	Осн.	12,0- 15,0	12,0- 15,0	8,0- 10,0	Al 1,5-3,0 Ti 2,0-3,2	I
5.5	ВЖЛ2М	Осн.	12,0- 15,0	4,0- 6,0	14,0- 16,0	Al 2,0-2,5 Si 1,3-1,7 Fe 5,0-6,0 B 0,15-0,2 Hf 1,0-2,0	2
—	ВЖЛ12У-ВИ	Осн.	8,5- 10,5	2,7- 3,4	1,0- 1,8	CO 12,0-15,0 Al 5,0-5,7 Ti 4,2-4,7 Nb 0,5-1,0	I

Окончание

Номер марки	Марка сплава	Ni, %	Cr, %	Mo, %	W, %	Другие элементы	Источник
4.24	ВЖЛ12Э-ВИ	Осн.	8,5-10,5	2,7-3,4	1,0-1,8	Co 8,0-10,0 Al 5,0-5,7 Ti 4,2-4,7 Nb 0,5-1,0	I
4.5I	ВЖЛ14-ВИ	Осн.	18,0-20,0	4,0-5,0		Al 1,2-1,5 Ti 2,5-2,9 Nb 1,8-2,8	I
5.3	ВЖЛ15	Осн.	23,0-26,0		4,8-6,0	Al 5,5-6,0 Ti 2,1-2,6 Si 1,5-1,8	2
5.4	ВЖЛ16	Осн.	—	16,0-18,0	3,0-5,0	Al 1,5-2,0 Ti 1,5-2,5 Nb 0,7-1,0 Si 1,5-2,0 Fe 3,0-3,5 Z ₂ O ₂ 3,0-5,0	2
4.54	ВХ4Л	Осн.	32,0-35,0	2,3-3,5	4,3-5,5	Al 0,7-1,3 Ti 0,7-1,3 Nb 0,7-1,3	I
4.55	ВХ9Л	Осн.	30,0-35,0	2,9-3,5	4,7-5,3	Co 0,2-0,8 Al 1,0-1,6 Ti 0,7-1,3	I
—	В56	Осн.	13,5-14,5		1,5-2,0	Al 1,5-2,0 Ti 1,2-1,5 Si 1,8-2,2 Fe 6,5-7,5 B 0,08-0,10	2

Источники: 1. ОСТ1 90126-85
2. ОСТ1 90035-77

4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ,
ЖАРОСТОЙКИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Механические свойства деформируемых
коррозионно-стойких сталей

Марка стали	Вид и состояние металлопродукции	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5 %	Источ- ник
		не менее	МПа (кгс/мм ²)		
07Х16Н6-Ш	Тонколистовой прокат. Т0-1	880 (90)	1180 (120)	20	1
07Х16Н6-Ш	Тонколистовой прокат. Т0-2	835 (85)	1080 (110)	12	2
07Х16Н6-Ш	Тонколистовой прокат. Т0	860 (88)	1180 (120)	15	2
07Х16Н6-Ш	Сорт калиброванный	880 (90)	1080 (110)	12	3
08Х17Н5М3	Тонколистовой прокат. Т0-1	610 (62)	1180 (120)	20	1
08Х17Н5М3	Тонколистовой прокат. Т0-2	885 (90)	1180 (120)	9	1
08Х17Н5М3	Холоднокатанная лента. Полунагартованная (ПН)		1150 (115)	3-5	3
08Х17Н5М3	То же. Нагартованная (Н)		1250 (125)	4-2	5
08Х17Н5М3	Поковка	735 (75)	882 (90)	13	4
10Х11Н20Т2Р	Тонколистовой прокат. Т0-1		960 (98)	20	1
10Х11Н20Т2Р	То же. Т0-2		590 (60)	10	1
12Х17Г9АН4	Тонколистовой прокат. Т0		690 (70)	40	1
12Х17Г9АН4	Толстолистовой прокат. Т0	340 (39)	688 (70)	40	2
12Н17Г9АН4	Сорт калиброванный	340 (39)	690 (70)	45	3
12Н17Г9АН4	Холоднокатанная лента. Полунагартованная (ПН)		830 (85)	30-15	5
12Н17Г9АН4	То же. Нагартованная (Н)		1000 (102)	13-7	5

Продолжение

Марка стали	Вид и состояние металлопродукции	$\sigma_{0.2}$	σ_B	δ_2 %	Источ- ник
		не менее МПа (кгс/мм ²)			
I2X18H9T	Холоднокатаная лента. Высокона- гартованная (ВН)		I200 (I23)	5-3	5
I2X18H9T	Тонколистовой прокат. Т0		540 (55)	38	I
I2X18H9T	То же. Нагарто- ванный (Н)		930-I230 (95-I25)	13	I
I2X18H9T	Толстолистовой прокат. Т0-1	216 (22)	520 (54)	38	2
I2X18H9T	Толстолистовой прокат. Т0-2	255 (26)	550 (56)	37	2
I2X18H9T	Сорт калиброван- ный	200 (20)	540 (55)	40	3
I2X18H8T	Проволока нагар- тованная ϕ I-6 мм		I080 (I10)		7
I2X18H9T	Проволока, Т0		540-880 (55-90)	20	7
I2X18H9T	Поковки	I96 (20)	510 (52)	35	4
I2X18H10T	Тонколистовой прокат. Т0-1	205 (21)	530 (54)	40	I
I2X18H10T	Тонколистовой прокат. Т0-2		250 (25)	40	I
I2X18H10T	Толстолистовой прокат	236 (24)	530 (54)	38	2
I2X18H10T	Тонколистовой прокат. Полуна- гартованный (ПН)		740 (75)	10	I
I2X18H10T	То же. Нагарто- ванный (Н)		880-I080 (90-I00)	10	I
I2X18H10T	Сорт калиброван- ный	200 (20)	510 (52)	40	3
I2X18H10T	Лента мягкая. Толщина до 2 мм		540 (54)	18-35	5
I2X18H10T	Проволока Т0		540-880 (55-90)	20	7
I2X18H10T	Проволока нагар- тованная		I080 (I10)		7
I2X18H10T	Труба горячедефор- мированная		529 (54)	40	8

Данные для сравнительной оценки прочности
коррозионно-стойких деформируемых сталей

Марка стали	Максимальная температура применения, °С	Предел прочности, σ_B , МПа (кгс/мм ²)	Твердость, HRC
03Х11Н10М2ТЮ-ВД	500	1810 (185)	—
06Х14Н6Д2НБТ-Ш	300	1225-1375 (125-140)	—
07Х16Н6-Ш	400	1080-1375 (110-140)	—
08Х17Н5М3	500	1175-1375 (120-140)	—
08Х15Н5Д2Т-Ш	300	1225-1470 (125-150)	—
12Х17Г9АН4	400	345-390 (35-40)	—
12Х18Н9Т	800	510-530 (52-54)	—
12Х18Н10Т	800	510-550 (52-56)	—
13Х15Н4М3-Ш	320	1375-1670 (140-170)	—
14Х17Н2	300	875-1080 (80-110)	—
15Х12Н2МВФАБ-Ш	600	1130-1275 (115-130)	36-39
	650	1030-1175 (105-120)	33-37
15Х16К4Н2МВФАБ-Ш	650	1080-1275 (110-130)	34-39
16Х16Н3МАД	150	≥ 1670 (≥ 170)	44-48
16ХНКТ4МБ-ВИ	400	≥ 1615 (≥ 165)	44-48
20Х13	400	835-1030 (85-105)	25-33
Х12НМВФ-Ш	600	835-1030 (85-105)	27-34
	500	980-1175 (100-120)	30-37
3Х13Н6М2К3ДБЛ-ВИ	450	2060-2345 (210-245)	58-62
65КН8Х20МЛ	500	2060-2160 (210-220)	≥ 58
9Х16НМ2Д	150	≥ 1810 (≥ 185)	55-60
90729Ю9В(Ф)БМ-Ш	350	825-980 (85-100)	—
95Х18	200		≥ 55

Данные для сравнительной оценки прочности
коррозионно-стойких литейных сталей

Марка стали	Максимальная температура применения, °С	Предел прочности σ_B , МПа (кгс/мм ²)	Твердость, HRC
08Х14Н5М2ГЛ ВНЛ-3	350	1125-1415 (125-145)	—
13Х14Н3В2ФРЛ 513Л	550	≥ 885 (≥ 90)	—
14ХН6М5Л ВНЛ-5-ВИ	400	≥ 1470 (≥ 150)	—
14Х17Н2Л	500	≥ 930 (≥ 95)	—
268Л	400	835-1030 (85-105)	25-33
ВНЛ-8-ВИ	500	1570-1670 (160-170)	—
10Х18Н9БЛ	800	≥ 450 (≥ 45)	—

Термическая обработка и механические свойства коррозионно-

Номер марки	Марка стали	Рекомендуемые режимы термической обработки
I.8	07X16N6-III 10X1H20T3P	Закалка (3) при 975-1000°C, охлаждение в воде, масле или на воздухе, последующая обработка холодом при -70°C, выдержка 2 часа или при -50°C выдержка 4 часа, старение при 350-400°C, выдержка 1 час, охлаждение на воздухе 3 при 1000-1170°C, охлаждение на воздухе или в масле, старение при 700-750°C, 15-25 ч, охлаждение на воздухе
I.4	12X17Г9АН4 ЭИ878	3 при 1050-1100°C, охлаждение в воде, масле или на воздухе
I.5 2.4	12X18N9T	3 при 1020-1100°C, охлаждение в воде, масле или на воздухе
2.5	12X18N10T	3 при 1020-1100°C, охлаждение в воде, масле или на воздухе
2.1	20X13	I вариант. 3 при 1000-1050°C, охлаждение в масле или на воздухе. Отп. 660-770°C, охлаждение в масле или на воздухе. II вариант. 3 при 1000-1050°C, охлаждение в масле или на воздухе. Отп. 600-700°C, охлаждение в масле или на воздухе
2.14	03X11N10M2T2Ю-ВД ВНС-17У-ВД: ЭП679-ВД	I вариант. 3 при 900°C, охлаждение на воздухе. II вариант. 3 при 900°C, охлаждение на воздухе, старение 500-525°C, 2 часа
2.7	03X11N10M2T-ВД ВНС-17-ВД ЭП678-ВД	3 при 860°C, охлаждение на воздухе, старение 500°C - 2 часа 3 при 860°C, охлаждение на воздухе
I.9	08X17H5M3 И9925, СН-3	Нормализация с 1030-1080°C. 3 при 950°C, охлаждение на воздухе; обработка холодом при -70°C, 2 часа, старение 450°C - 1 час
I.10	X18N9БЛ	3 при 1100-1150°C
I.2	13X15H4M3-III ЭП310-III, ВНС-5-III	3 при 1070°C, охлаждение на воздухе, в воде или в масле, обработка холодом при -70°C - 2 часа, отпуск при 450°C - 1 ч 3 при 1070°C, охлаждение на воздухе, в воде или масле, обработка холодом при -70°C, 2 часа, отпуск при 200°C - 2 часа

стойких и жаропрочных сталей

σ_{β} , МПа	σ_{γ} , МПа	δ , % не менее	ρ , %	KCU , Дж/см ²
1080	880	12	50	69
880	590	10	15	29
690	345	45	55	-
540	196	40	55	-
510	196	40	55	-
650	440	16	55	78
830	635	10	50	59
960	860	10	-	155
1560	1500	5	-	50
145	130	8	35	30
86	96	13	67	20
90	35	18	-	-
120	90	9	-	-
20	45	25	35	48
145	105	15	55	100
150	110	15	50	100

Номер марки	Марка стали	Рекомендуемые режимы термической обработки
2.9	95X18 ЭИ229	3 при 1010-1065°C в масле или на воздухе, отпуск при 150-370°C
I.12	I4X11H6M5L-BИ	Гомогенизация при 1130°C, охлаждение на воздухе 3 при 1130°C, 3 ч охлаждение на воздухе, обработка холодом при -70°C, 2 ч, отпуск при 500°C, 2 ч, охлаждение на воздухе
2.17	X15H27T3MP-ИД	3 при 1050°C, 2 мин в воде, холодная деформация 30%, старение при 700°C, 5 ч, охлаждение на воздухе (проволока \varnothing 2,5 мм)
2.15	XН68ВК10-ВИ ЭП578-ВИ	Закалка + наклеп на 33% и ступенчатое старение при 800°C, 1 ч и 700°C, 2 ч
2.10	65KH8X2MLI ВНС-13	Закалка при 1160°C в масле, 2-3-кратный отпуск при температуре 675°C по 4 часа
I.11	ВНЛ-3	Гомогенизация при 1110°C, охлаждение на воздухе. 3 при 970°C, охлаждение на воздухе, старение при 460°C, 1 ч, охлаждение на воздухе
I.8	07X16H6	3 при 1000°C в воду, обработка холодом при -70°C, 2 ч, отпуск 360-380°C, 1 ч

Окончание

$\sigma_{\text{ср}}$, МПа	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	δ , % не менее	ρ , %	KCl_2 , Дж/см ²
200	190	2	10	—
150	120	12	30	40
145	—	—	—	—
150	110	2	—	— 9
125	90	12	35	40
1100	900	11	50	—

КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ ЖАРСТОЙКИЕ
И ЖАРОПРОЧНЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Составитель Ф а в с т о в Юрий Константинович

Редактор Т.К.К р е т и н и н а

Корректор Е.Г.Ф и л и п п о в а

Подписано в печать 01.03.91. Формат 60x84^I/₁₆
Бумага оберточная. Печать офсетная. Усл.печ.л. I,6.
Усл.кр.-отт. I,7, Уч.-изд.л. I,5 Тираж 400 экз.
Заказ № 1505. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086. г. Куйбышев, Московское шоссе, 34.

Типография им. В.П.Мяги Куйбышевского полиграфического
объединения. 443099. г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.