

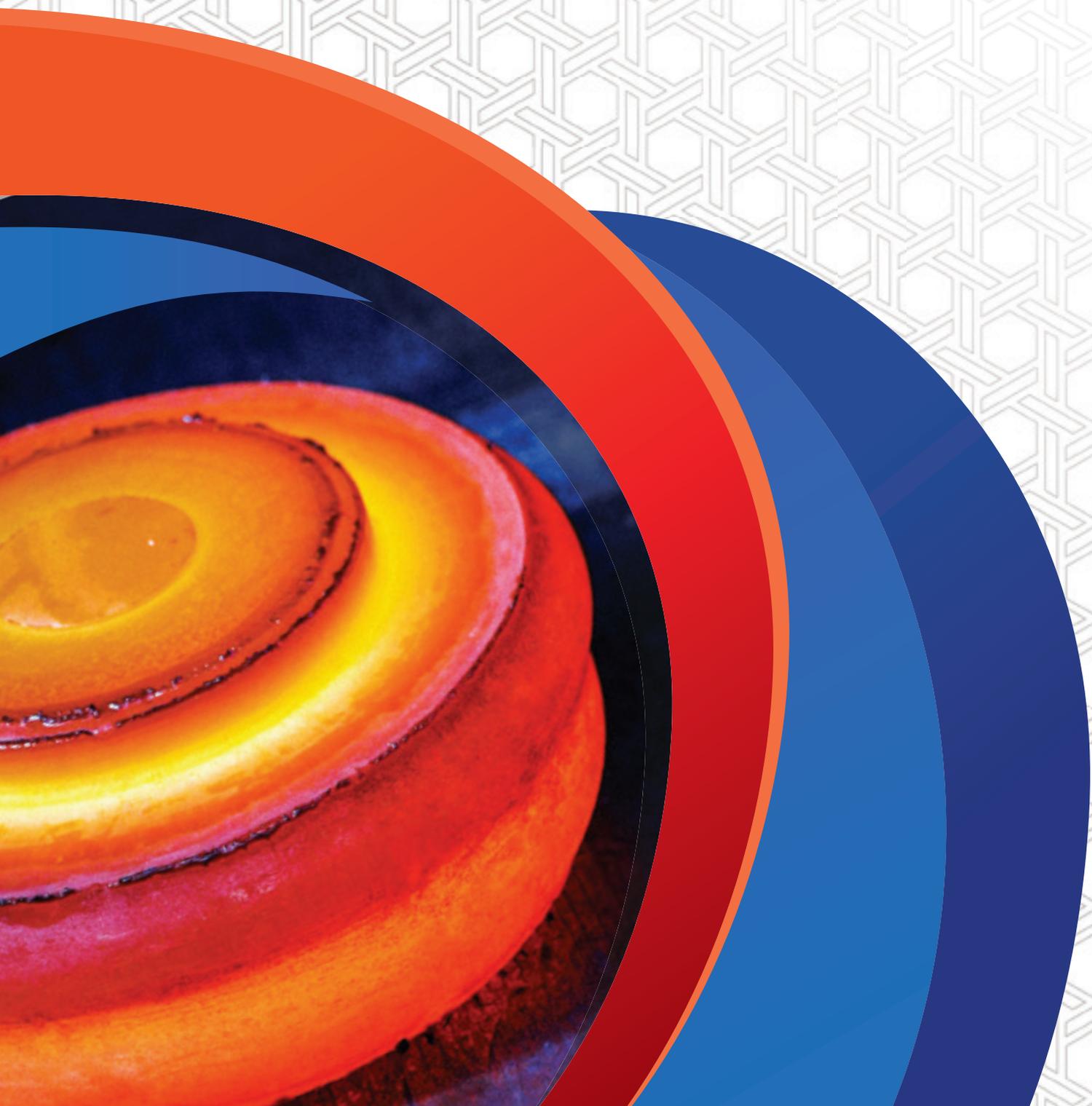


НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Всероссийский научно-исследовательский институт
авиационных материалов



ЖАРОПРОЧНЫЕ НИКЕЛЕВЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ





**ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

ЖАРОПРОЧНЫЕ НИКЕЛЕВЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ

Жаропрочные никелевые литейные и деформируемые сплавы, созданные в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, обладают высоким комплексом эксплуатационных характеристик.

Сплавы нашли свое применение в авиационной, атомной промышленности, в энергетике и железнодорожной технике, и других отраслях промышленности.

Производство полуфабрикатов по технологиям разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ освоено на ведущих отечественных металлургических заводах. Качество продукции контролируется по согласованной документации и поддерживается разработчиками сплавов при научно-техническом сопровождении и авторском контроле.

На созданных малотоннажных производствах из жаропрочных никелевых сплавов выпускают: литые прутковые заготовки; лигатуры редких и редкоземельных металлов; отливки, в том числе монокристаллические; штамповки дисков малоразмерных газотурбинных двигателей; листовой средне- и мелкосортовой круглый прокат. Изготавливаем и обрабатываем серийные и новые перспективные сплавы на основе никеля и интерметаллида Ni_3Al . Производство оснащено современным высокопроизводительным оборудованием, применяются новейшие технологии выплавки и обработки давлением, используется компьютерное моделирование и мониторинг. Обслуживают производство работники высокой квалификации, в том числе для особо ответственных процессов задействованы научные сотрудники.

Предлагаем как продукцию из жаропрочных никелевых сплавов, так и услуги в освоении и сопровождении их производства на металлургических заводах, разрабатываем новые материалы и технологии по техническому заданию Заказчика.





ЖАРОПРОЧНЫЕ НИКЕЛЕВЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ

ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ.....	5
ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЕЙНЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ И ЛИГАТУР.....	29
ЛИГАТУРЫ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ.....	30
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ.....	32

ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ



**ВЫСОКАЯ КОРРОЗИОННАЯ
СТОЙКОСТЬ**



**ТОЧНОЕ ЛИТЬЕ ПО
ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ
МОДЕЛЯМ**



Литейные жаропрочные никелевые сплавы для изготовления деталей методом точного литья по выплавляемым моделям, в том числе турбинных лопаток с поликристаллической равноосной, направленной (столбчатой) и монокристаллической структурами.

СПЛАВ ВЖ159Л

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1675–2017.

Жаропрочный сплав предназначен для деталей камеры сгорания и других деталей ГТД, работающих при температурах до 1000 °С в течение 500 ч.

Основные преимущества:

- высокая коррозионная стойкость;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖ159Л ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	800
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	550
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	21
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
650	540
1000	30

Плотность материала – 8200 кг/м³.

СПЛАВ ЖС6УМ

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-879–2005.

Жаропрочный сплав предназначен для изготовления турбинных лопаток с поликристаллической равноосной структурой, работающих длительно при температурах до 1050 °С.

Основные преимущества:

- высокий уровень фазовой стабильности;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ЖС6УМ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	1010
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	875
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	7
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
800	540
900	355
1000	170

Плотность материала – 8400 кг/м³.

СПЛАВ ВЖЛ21

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-1343–2012.

Жаропрочный сплав предназначен для изготовления турбинных лопаток с поликристаллической равноосной структурой, работающих длительно при температурах до 1050 °С, допускаются кратковременные забросы температуры до 1100 °С.

Основные преимущества:

- низкая плотность;
- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖЛ21 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	1000
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	930
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	7,5
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
900	350
1000	180
1050	120

Плотность материала – 8105 кг/м³.

СПЛАВ ВЖЛ23

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1748–2018.

Жаропрочный сплав предназначен для изготовления турбинных лопаток с поликристаллической равноосной структурой для стационарных энергетических газовых турбин перспективных высокоресурсных ГТУ и морских ГТД, эксплуатирующихся при температурах до 900 °С.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов ЧС70 и ЦНК-7П;
- высокая коррозионная стойкость;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖЛ23 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_r , МПа, при температуре испытания 20 °С	960
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	910
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	4,5
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
700	850
800	525
900	310

Плотность материала – 8244 кг/м³.



СПЛАВ ВЖЛ20

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-718–2003.

Жаропрочный сплав предназначен для турбинных лопаток с направленной (столбчатой) и монокристаллической структурой, работающих длительно при температурах до 1000 °С, допускаются кратковременные забросы температуры до 1050 °С.

Основные преимущества:

- низкая плотность;
- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов;
- высокая коррозионная стойкость;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации;
- допускается заделка технологических отверстий методом пайки.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖЛ20 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	1130
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	950
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	7,5
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
900	345
1000	185

Плотность материала – 8040 кг/м³.

СПЛАВ ЖС32У (ВЖМ3)

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-827–2013.

Жаропрочный сплав предназначен для турбинных лопаток с направленной (столбчатой) и монокристаллической структурой, работающих длительно при температурах до 1100 °С, допускаются кратковременные забросы температуры до 1150 °С.

Основные преимущества:

- высокая фазовая стабильность;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ЖС32У ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	1175
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	930
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	15,5
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
900	460
1000	265
1100	120

Плотность материала – 8869 кг/м³.

СПЛАВ ВЖМ4

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-948–2006.

Жаропрочный сплав предназначен для турбинных лопаток с монокристаллической структурой, работающих длительно при температурах до 1100 °С, допускаются кратковременные забросы температуры до 1150 °С.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖМ4 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	1220
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	865
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	20
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
900	575
1000	305
1100	170
1150	125
1200	55

Плотность материала – 8871 кг/м³.

СПЛАВ ВЖМ5

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-1073–2009.

Жаропрочный сплав предназначен для турбинных лопаток с монокристаллической структурой, работающих длительно при температурах до 1100 °С, допускаются кратковременные забросы температуры до 1150 °С.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖМ5 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	1085
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	1045
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	14,8
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
900	525
1000	275
1100	150

Плотность материала – 8790 кг/м³.

СПЛАВ ВЖМ5У

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-1088–2013.

Жаропрочный сплав предназначен для турбинных лопаток с монокристаллической структурой, работающих длительно при температурах до 1100 °С, допускаются кратковременные выбросы температуры до 1150 °С.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖМ5У ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	1085
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	1045
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	14,8
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
900	530
1000	285
1100	155

Плотность материала – 8800 кг/м³.



СПЛАВ ВЖМ6

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-1117–2009.

Жаропрочный сплав предназначен для турбинных лопаток с монокристаллической структурой, работающих длительно при температурах до 1150 °С, допускаются кратковременные забросы температуры до 1175 °С.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖМ6 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	1200
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	880
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	17
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
1000	315
1100	180
1150	130

Плотность материала – 8900 кг/м³.

СПЛАВ ВЖМ7

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-1342–2012.

Жаропрочный сплав предназначен для турбинных лопаток с монокристаллической структурой, работающих длительно при температурах до 1100 °С, допускаются кратковременные забросы температуры до 1150 °С.

Основные преимущества:

- низкая плотность;
- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖМ7 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	1040
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	820
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	22
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
900	430
1000	220
1100	120

Плотность материала – 8393 кг/м³.



СПЛАВ ВЖМ9

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1747–2018.

Жаропрочный сплав предназначен для турбинных лопаток с монокристаллической структурой для стационарных энергетических газовых турбин перспективных высокоресурсных ГТУ и морских ГТД, эксплуатируемых при температурах до 1000 °С.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплава-аналога ЦНК-8МП;
- высокая коррозионная стойкость;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖМ9 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	1030
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	970
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	9,9
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
800	680
900	380
1000	200

Плотность материала – 8354 кг/м³.

СПЛАВ ВЖМ10

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1811–2019.

Жаропрочный сплав предназначен для изготовления рабочих лопаток ТВД методом монокристаллического литья, работоспособных при температурах до 1200 °С и кратковременно до температуры 1250 °С.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖМ10 ПОСЛЕ ГОРЯЧЕГО ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	1350
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	980
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	11,5
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
1000	360
1100	200
1200	80

Плотность материала – 9110 кг/м³.

Литейные импортозамещающие жаропрочные никелевые сплавы

СПЛАВ ВЖЛ738 (IN738LC)

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1807–2019.

Жаропрочный коррозионностойкий сплав предназначен для литья лопаток ГТУ с поликристаллической равноосной структурой, в том числе крупногабаритных, работоспособных до температуры 900 °С, для высокоресурсных энергетических ГТУ и морских ГТД.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов ЧС88У, ЗМИЗУ и ЦНК-7;
- высокая коррозионная стойкость;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям;
- возможность применения в аддитивном производстве.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПО ТУ СПЛАВА ВЖЛ738 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Температура испытания, °С	Механические свойства (не менее)			Длительная прочность	
	предел прочности при растяжении σ_{B2} , МПа	предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	относительное удлинение δ_5 , %	напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч (не менее)
20	930	827	5	–	–
650	930	680	5	–	–
760	–	–	–	586	50
982	–	–	–	150	50

Плотность материала – 8155 кг/м³.

СПЛАВ ВЖЛ792 (IN792)

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1727-2018.

Жаропрочный коррозионностойкий сплав предназначен для литья лопаток ГТУ с поликристаллической равноосной структурой, в том числе крупногабаритных, работоспособных до температуры 900 °С, для высокоресурсных энергетических ГТУ и морских ГТД.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов ЧС88У, ЧС70 и ЦНК-7;
- высокая коррозионная стойкость;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПО ТУ СПЛАВА ВЖЛ792 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Температура испытания, °С	Механические свойства (не менее)				Длительная прочность		
	предел прочности при растяжении σ_{B2} , МПа	предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	относительное		напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч	относительное удлинение δ_5 , %
			удлинение δ_5 , %	сужение ψ , %			
20	950	800	6	8	–	–	–
650	900	700	5	7	–	–	–
927	–	–	–	–	282	30	5

Плотность материала – 8280 кг/м³.

СПЛАВ ВЖЛ939 (IN939)

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1777–2018.

Жаропрочный коррозионностойкий сплав предназначен для литья лопаток ГТУ с поликристаллической равноосной структурой, в том числе крупногабаритных, работоспособных до температуры 900 °С, для высокоресурсных энергетических ГТУ и морских ГТД.

Основные преимущества:

- высокая коррозионная стойкость;
- хорошая свариваемость;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям;
- возможность применения в аддитивном производстве.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПО ТУ СПЛАВА ВЖЛ939 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Температура испытания, °С	Механические свойства (не менее)				Длительная прочность		
	предел прочности при растяжении σ_B , МПа	предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	относительное		напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч	относительное удлинение δ_5 , %
			удлинение δ_5 , %	сужение ψ , %			
20	900	700	3	5	–	–	–
850	562	437	4	–	–	–	–
870±7	–	–	–	–	280	50	4

Плотность материала – 8130 кг/м³.

СПЛАВ GTD-111 DS

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1761–2018.

Жаропрочный коррозионностойкий сплав предназначен для литья лопаток с направленной структурой, в том числе крупногабаритных, работоспособных до температуры 1000 °С, для высокоресурсных энергетических ГТУ и морских ГТД.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплавов-аналогов;
- высокая коррозионная стойкость;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПО ТУ СПЛАВА GTD-111 DS ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Температура испытания, °С	Механические свойства (не менее)				Длительная прочность				Твердость HRC
	предел прочности при растяжении σ_B , МПа	предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	относительное		напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч	относительное		
			удлинение δ_5 , %	сужение ψ , %			удлинение δ_5 , %	сужение ψ , %	
20	1000	860	5	5	–	–	–	–	32–42
650	1000	760	5	5	–	–	–	–	–
980	–	–	–	–	185	30	5	6	–

Плотность материала – 8255 кг/м³.



СПЛАВ ВЖМ11

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1859–2020.

Жаропрочный коррозионностойкий сплав предназначен для литья лопаток ГТУ с монокристаллической структурой, работоспособных до температуры 1000 °С, для высокоресурсных энергетических ГТУ и морских ГТД.

Основные преимущества:

- высокая жаропрочность, превосходящая жаропрочность сплава-аналога GTD-111 DS;
- высокая коррозионная стойкость;
- низкая стоимость из-за отсутствия в системе легирования дорогостоящих элементов Re и Ta;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖМ11 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_r , МПа, при температуре испытания 20 °С	1270
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	1050
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	11,2
Относительное сужение ψ , %, при температуре испытания 20 °С	13,1
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	900
	1000
Длительная прочность на базе 1000 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	900
	1000

Плотность материала – 8275 кг/м³.

СПЛАВ ВЖМ200

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1843–2019.

Жаропрочный сплав предназначен для литья рабочих лопаток ГТД и ГТУ с направленной (столбчатой) структурой, работоспособных до температуры 1000 °С.

Основные преимущества:

- высокий уровень кратковременных механических свойств, длительной прочности и многоциклового усталости, превосходящий уровень свойств сплава-аналога DS200Hf;
- высокая жаростойкость;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖМ200 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С	1230
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С	990
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С	12,5
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания 1000 °С	200
Длительная прочность на базе 1000 ч, МПа, при температуре испытания 1000 °С	125

Плотность материала – 8568 кг/м³.

СПЛАВ ВЖЛ718

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1659–2017.

Жаропрочный сплав предназначен для литья корпусных деталей ГТД и ГТУ, работоспособных при температурах до 650 °С.

Основные преимущества:

- высокая коррозионная стойкость;
- хорошая свариваемость;
- высокая прочность;
- хорошая технологичность при изготовлении деталей методом точного литья по выплавляемым моделям;
- возможность применения в аддитивном производстве.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ВЖЛ718 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, при температуре испытания 20 °С*	1060
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре испытания 20 °С*	940
Относительное удлинение δ_5 , %, при температуре испытания 20 °С*	17
Относительное сужение ψ , %, при температуре испытания 20 °С*	27
Время до разрушения τ , ч, при температуре испытания 650 °С и напряжении $\sigma = 620$ МПа*	≥23
Длительная прочность на базе 100 ч, МПа, при температуре испытания, °С:	
600	765
650	610
(средние паспортные значения)	

* ТУ 1-595-3-1659–2017.

Плотность материала – 8218 кг/м³.

Литейные жаропрочные интерметаллидные сплавы на основе Ni₃Al

СПЛАВ ВКНА-4

Нормативная документация: ТУ 1-92-86–88.

Сплав предназначен для теплонагруженных деталей ГТД (жаровые трубы, створки регулируемого сопла, сопловые аппараты и др.), работающих в общеклиматических условиях при температурах 900–1200 °С.

Основные преимущества

Сплав представляет собой интерметаллидное соединение Ni₃Al, упрочненное дисперсными частицами тугоплавких карбидов. Материал имеет низкую плотность (7840 кг/м³).

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВКНА-4 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката	Свойства	Значения свойств при температуре испытания, °С				
		20	1100	1150	1200	
Прутки литой с поликристаллической равноосной структурой	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	705	330	245	120	
	Относительное удлинение δ_5 , %	15,5	5,0	12,0	14,5	
	Предел длительной прочности	напряжение σ , МПа	–	55	40	20
		время до разрушения τ , ч	–	100		

Сплав выплавляют в вакуумных индукционных печах. Отливки деталей из сплава изготавливают методом точного литья по выплавляемым моделям.



СПЛАВ ВКНА-4У

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-664–2018.

Сплав предназначен для сопловых лопаток авиационных ГТД, работающих при температурах до 1200 °С в общеклиматических условиях в продуктах сгорания авиационного топлива.

Основные преимущества

Сплав на основе интерметаллида Ni_3Al имеет низкую плотность (7910 кг/м³) и высокие характеристики длительной прочности при температуре 1200 °С.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВКНА-4У ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката	Свойства	Значения свойств при температуре испытания, °С			
		20	1100	1200	
Прутки литой, отлитый методом направленной кристаллизации	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	755	410	185	
	Относительное удлинение δ_5 , %	30	28	38	
	Предел длительной прочности	напряжение σ , МПа	–	95	45
		время до разрушения τ , ч	–	100	
	Жаростойкость при испытании на воздухе – привес массы за 100 ч, г/м ² (не более)	–	6	16	
Прутки литой с монокристаллической структурой КГО <111>, полученный методом направленной кристаллизации	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	1315	410	165	
	Относительное удлинение δ_5 , %	16	36	40	
	Предел длительной прочности	напряжение σ , МПа	–	110	50
		время до разрушения τ , ч	–	100	

Сплав выплавляют в вакуумных индукционных печах. Отливки деталей из сплава изготавливают методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации с жидкометаллическим охлаждением литейной формы.

СПЛАВ ВКНА-1В

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-977–2020.

Сплав предназначен для сопловых лопаток МГТД, элементов жаровых труб, реактивного сопла и других деталей ГТД различного назначения, работающих в общеклиматических условиях в интервале температур 900–1250 °С (длительно) и до 1300 °С (кратковременно – не более 10 ч).

Основные преимущества

Сплав имеет низкую плотность (7938 кг/м³) и превосходит по кратковременной и длительной прочности при температурах 900–1300 °С сплавы-аналоги, экономичен по содержанию легирующих элементов (вольфрама и кобальта).

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВКНА-1В ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката	Свойства	Значения свойств при температуре испытания, °С					
		20	1100	1200	1250	1300	
Пруток литой, отлитый методом направленной кристаллизации	Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	725	400	215	155	70	
	Относительное удлинение δ_5 , %	59	35	28	29	31	
	Предел длительной прочности	напряжение σ , МПа	–	65	40	10	10
		время до разрушения τ , ч	–	100			10
Жаростойкость при испытании на воздухе – привес массы за 100 ч, г/м ² (не более)	–	5,8 (1000 °С)	20,0	25,0	–		
Пруток литой с монокристаллической структурой КГО <111>, полученный методом направленной кристаллизации	Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	1325	400	225	–	–	
	Относительное удлинение δ_5 , %	14	22	24	–	–	
	Предел длительной прочности	напряжение σ , МПа	–	100	50	–	–
		время до разрушения τ , ч	–	100		–	–

Литые прутковые (шихтовые) заготовки сплава получают вакуумным индукционным методом. Отливки деталей из сплава изготавливают методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации с жидкометаллическим охлаждением литейной формы.

СПЛАВ ВКНА-1ВР

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-783–2017.

Сплав предназначен для изготовления сопловых лопаток, створок-проставок, элементов камеры сгорания и других деталей горячего тракта ГТД, работающих в общеклиматических условиях в интервале температур 900–1200 °С.

Основные преимущества

Сплав имеет высокую рабочую температуру – до 1200 °С, допускаются кратковременные (не более 10 ч) забросы температуры до 1250 °С. Материал имеет низкую плотность (7938 кг/м³).

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВКНА-1ВР ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката	Свойства	Значения свойств при температуре испытания, °С				
		20	1150	1200	1250	
Пруток литой с поликристаллической равноосной структурой	Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	580	265	180	96	
	Относительное удлинение δ_5 , %	5,0	3,9	2,3	3,7	
	Предел длительной прочности	напряжение σ , МПа	–	30	20	20
		время до разрушения τ , ч	–	100		10

Литые прутковые (шихтовые) заготовки сплава получают вакуумным индукционным методом. Отливки деталей из сплава изготавливают методом точного литья по выплавляемым моделям.



СПЛАВ ВКНА-25 (ВИН1)

Нормативная документация: ТУ 1-595-3-1040–2008.

Сплав предназначен для сопловых лопаток и других деталей горячего тракта ГТД с монокристаллической структурой, работающих при температурах до 1200 °С.

Основные преимущества

Сплав с плотностью 8105 кг/м³ по своим физико-механическим свойствам в интервале температур 900–1200 °С превосходит интерметаллидный зарубежный аналог – сплав IC-6. Особенностью сплава являются его высокая жаропрочность и жаростойкость при температурах 1100–1200 °С.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВКНА-25 (ВИН1) ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката	Свойства	Значения свойств при температуре испытания, °С			
		20	1100	1200	
Пруток литой с монокристаллической структурой КГО <111>, полученный методом направленной кристаллизации	Предел прочности при растяжении σ_r , МПа	1470	400	180	
	Относительное удлинение δ_5 , %	8,0	7,5	14,0	
	Предел длительной прочности	напряжение σ , МПа	–	130	45
		время до разрушения τ , ч	–	100	
	Жаростойкость при испытании на воздухе – привес массы за 100 ч, г/м ² (не более)	–	–	12,5	20,0

Литые прутковые (шихтовые) заготовки сплава получают вакуумным индукционным методом. Отливки деталей из сплава изготавливают методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации с жидкометаллическим охлаждением литейной формы.

СПЛАВ ВИН3

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-1301–2012.

Сплав предназначен для сопловых и рабочих монокристаллических лопаток газовых турбин, работающих при температурах до 1200 °С.

Основные преимущества

Сплав относится к классу жаропрочных интерметаллидных сплавов и имеет плотность 8262 кг/м³. По основным механическим свойствам существенно превосходит зарубежный интерметаллидный сплав IC438 аналогичного назначения.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВИН3 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката	Свойства	Значения свойств при температуре испытания, °С			
		20	1100	1200	
Прутки литой с монокристаллической структурой КГО <001>, полученный методом направленной кристаллизации	Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	970	405	250	
	Относительное удлинение δ_5 , %	23,5	53	44	
	Предел длительной прочности	напряжение σ , МПа	–	85	50
		время до разрушения τ , ч	–	100	
	Жаростойкость при испытании на воздухе – убыль массы, г/м ² (не более)	за 100 ч	–	0,5	–
		за 500 ч	–	2,7	–

Сплав выплавляют в вакуумных индукционных печах. Отливки деталей из сплава изготавливают методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации с жидкометаллическим охлаждением литейной формы.

СПЛАВ ВИН4

Нормативная документация: ТУ 1-595-1-1335–2012.

Сплав предназначен для сопловых монокристаллических лопаток, а также других высокотемпературных деталей ГТД, работающих при температурах до 1200 °С.

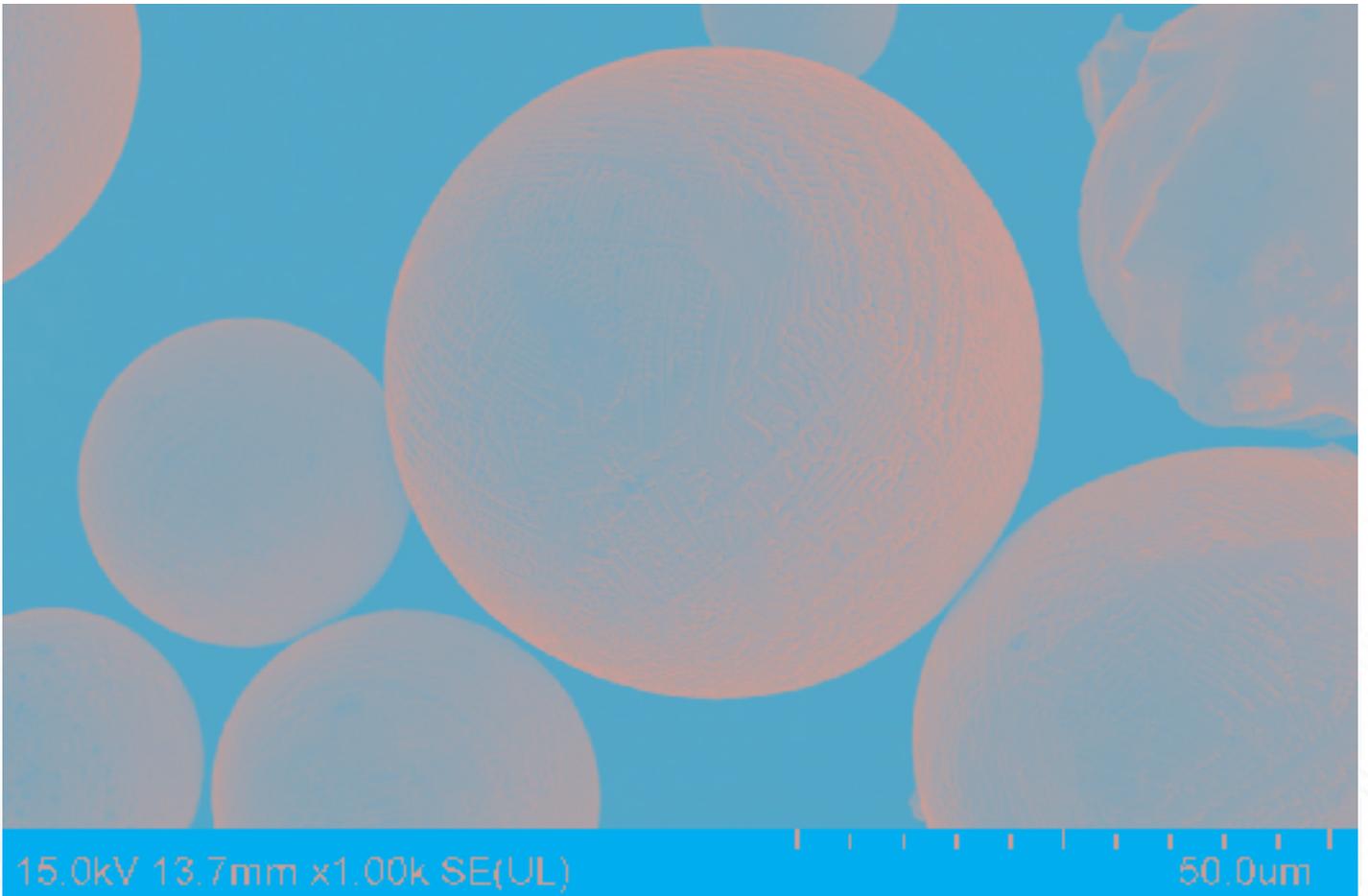
Основные преимущества

Сплав относится к литейным жаропрочным конструкционным материалам, созданным на основе интерметаллида никеля Ni₃Al. Материал с плотностью 8129 кг/м³ обладает высокой жаропрочностью и жаростойкостью при температурах 1100–1200 °С. По характеристикам кратковременной прочности при температуре 20 °С и жаропрочности при температуре 1200 °С существенно превосходит зарубежные сплавы-аналоги IC438 и IC-6SX.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВИН4 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката	Свойства	Значения свойств при температуре испытания, °С			
		20	1100	1200	
Прутки литой с монокристаллической структурой КГО <001>, полученный методом направленной кристаллизации	Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	1355	395	280	
	Относительное удлинение δ_5 , %	17	26	12	
	Предел длительной прочности	напряжение σ , МПа	–	65	40
		время до разрушения τ , ч	–	100	
	Жаростойкость при испытании на воздухе – привес массы за 100 ч, г/м ² (не более)		–	14,4	19,8

Сплав выплавляют в вакуумных индукционных печах. Отливки деталей из сплава изготавливают методом точного литья по выплавляемым моделям на установках для направленной кристаллизации с жидкометаллическим охлаждением литейной формы.



Деформируемые жаропрочные никелевые сплавы

СПЛАВ ВЖ175-ИД

Нормативная документация на полуфабрикат: ТУ 14-131-1121–2019 – на крупногабаритные штамповки и ТУ 1-595-3-1400–2013 – на малогабаритные штамповки.

Высокожаропрочный сплав предназначен для изготовления дисков и других деталей ГТД и ГТУ, работающих при температурах до 750 °С с кратковременными забросами до 800 °С.

Основные преимущества

Сплав превосходит серийные деформируемые и гранульные сплавы (ЭК151, ЭП741НП, ВВ751П) по комплексу свойств; по длительной прочности и МЦУ преимущество достигает 10 и 25 % соответственно.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖ175-ИД ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Температура испытания, °С	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Длительная прочность		МЦУ на базе 10^4 циклов: $\sigma_{R=0}$, МПа
			напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч	
	не менее				не менее
20	1570	1175	–	–	–
650	–	–	1049	100	1275
760	–	–	650	100	1130

Промышленное производство прутков и штамповок дисков диаметром до 700 мм из этого материала освоено на АО «Металлургический завод «Электросталь»», АО СМК; штамповок диаметром до 350 мм – в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.



СПЛАВ ВЖ172

Высокопрочный свариваемый сплав предназначен для высоконагруженных сварных узлов горячего тракта ГТД, работающих длительно при температурах до 800 °С и кратковременно до 900 °С, – корпусов, кожухов, сварных роторных конструкций, работающих до 750 °С.

Основные преимущества

Сплав, изготавливаемый в виде широкой номенклатуры полуфабрикатов и заготовок, превосходит лучшие отечественные и зарубежные серийные свариваемые материалы на 15–20 % по значениям жаропрочности при температурах от 650 до 750 °С, наряду с высокими механическими характеристиками обладает хорошими показателями технологической пластичности и сваривается всеми видами сварки.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ВЖ172 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Сплав, назначение	Рекомендуемая максимальная температура эксплуатации, °С	Вид полуфабриката, (нормативная документация)	Температура испытания, °С	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, МПа (не менее)	Длительная прочность	
					напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч (не менее)
ВЖ172- ИШД (ИШ) – для роторных деталей КВД	До 750	Заготовки дисков (средние справочные значения)	20	1355	–	–
			650	1040	775	100
			750	890	465	100
		Поковки штампованные (диски) (ТУ 14-131-1142–2020)	20	1280	–	–
			700	–	588	100
ВЖ172-ВИ (ИШ) – для корпусных деталей статора	До 900	Листы холоднокатаные толщиной 1,6 мм (средние паспортные значения)	20	1460	–	–
			600	1315	975	100
			700	1135	620	100
		900	435	80	100	
		Листы холоднокатаные толщиной от 0,8 до 3,9 мм (ТУ 14-123-245–2015)*	20	1370	–	–
			700	–	588	100
ВЖ172- ИШ, ИШД		Кольца цельнокатаные (ТУ 14-131-1222–2017)*	20	1265	–	–
			650	–	772	100

* Факультативные свойства.

Разработаны и внедрены в промышленное производство технологии получения из сплава листового проката, крупногабаритных полуфабрикатов для корпусов: поковок, прутков, раскатных колец (АО «Металлургический завод «Электросталь», АО «Русполимет», ПАО «Ашинский метзавод»), а также штамповок дисков.

СПЛАВ ВЖ176

Высокопрочный свариваемый сплав с низким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) предназначен для изготовления деталей и узлов корпуса ГТД с рабочей температурой до 600 °С.

Основные преимущества

Сплав наряду с высокими прочностью и жаропрочностью, а также показателями технологической пластичности и свариваемости обладает более низкими значениями (на 20 %) ТКЛР по сравнению с серийными материалами.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ВЖ176 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката, (нормативная документация)	Температура испытания, °С	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, МПа (не менее)	Длительная прочность	
			напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч (не менее)
Листы холоднокатаные толщиной 1,6 мм (средние паспортные значения)	20	1370	–	–
	550	1200	945	100
	600	1200	905	100
Холоднокатаные листы толщиной от 0,8 до 3,9 мм (ТУ 14-123-257–2018)*	20	1300	–	–
	600	–	900	100

* Факультативные свойства.

Производство листового проката освоено на ПАО «Ашинский метзавод».

СПЛАВ ВЖ159

Свариваемый жаростойкий сплав предназначен для изготовления деталей статора ГТД – жаровых труб, камер сгорания, сопел, экранов, кожухов и других деталей, работающих при температурах до 1000 °С.

Основные преимущества

Высокотехнологичный ремонтоспособный сплав сохраняет механические свойства и структурную стабильность в течение длительной эксплуатации, сваривается всеми видами сварки, в упрочненном состоянии превосходит серийный сплав ЭП648.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ВЖ159 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката (нормативная документация)	Температура испытания, °С	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, МПа (не менее)	Длительная прочность	
			приложенное напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч (не менее)
Пруток горячекатаный диаметром от 12 до 55 мм, кованный пруток диаметром от 60 до 75 мм (ТУ14-131-1041–2008), прессованный пруток диаметром от 80 до 180 мм (ТУ 14-131-1042–2008)	20	960	–	–
	850	290	–	–
	900	–	59	50
Лист холоднокатаный толщиной от 0,8 до 3,0 мм (средние паспортные значения)	20	1000	–	–
	800	580	175	100
	1000	120	26	100

Промышленное производство полуфабрикатов из этого материала освоено на АО «Металлургический завод «Электросталь», АО «Русполимет», ПАО «Ашинский метзавод» (штанги, прутки, поковки, кольцевые заготовки, листы холодно- и горячекатаные, ленты). Из сплава ВЖ159 также освоено производство порошков и заготовок из них по технологии СЛС.

СПЛАВ ВЖ171

Жаропрочный и жаростойкий свариваемый сплав предназначен для изготовления деталей ГТД толщиной до 3,0 мм, работающих при температурах до 1250 °С, – жаровых труб камеры сгорания, стабилизаторов пламени, теплозащитных экранов, форсунок, дефлекторов и др. Упрочняется в готовом изделии путем химико-термической обработки (ХТО).

Основные преимущества

В состоянии поставки – технологичность и свариваемость всеми видами сварки на уровне гомогенных сплавов, после ХТО по комплексу свойств и рабочей температуре сплав значительно превосходит все отечественные и зарубежные материалы аналогичного применения.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ВЖ171 ПОСЛЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката	Температура испытания, °С	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, МПа (не менее)	Длительная прочность	
			напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч (не менее)
Лист толщиной от 0,8 до 1,8 мм (средние паспортные значения)	20	870	–	–
	1000	205	60	100
	1200	80	23	100

В условиях опытно-промышленного производства НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработана технология изготовления из сплава листовых полуфабрикатов, проведено технологическое опробование в качестве материала для жаровых труб в промышленном производстве моторостроительных заводов (ОАО «НПП «Аэросила», Производственный комплекс «Салют» АО «ОДК», АО «ОДК-Климов»). Разработана технология производства деталей методом аддитивных технологий со сваркой в сочетании с листовым материалом.

Жаропрочные никелевые сплавы, изготовленные гранульной металлургией

СПЛАВ ВЖ178П

Гранулируемый жаропрочный никелевый сплав предназначен для заготовок дисков и валов компрессора и турбины высокого давления (КВД и ТВД) ГТД и ГТУ, работающих при температурах до 750 °С.

Основные преимущества

Сплав превосходит серийные деформируемые и гранульные сплавы по комплексу механических свойств: по прочности при комнатной температуре, жаропрочности и МЦУ на 10–15 %.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ПАСПОРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ) СПЛАВА ВЖ178П ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката	Температура испытания, °С	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Длительная прочность		МЦУ на базе 10^4 циклов: $\sigma_{R=0}$, МПа
				напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч	
		не менее				не менее
Заготовка диска диаметром 750 мм, массой 120–190 кг (ТУ 1-595-16-1649–2017)	20	1650	1180	–	–	1400
	650	1490	1090	1130	100	1300
	750	1230	1080	620	100	1150

СПЛАВ ВЖ179

Гранулируемый жаропрочный никелевый сплав предназначен для лопаток последних ступеней компрессора высокого давления (КВД) с рабочей температурой до 800 °С газотурбинных двигателей (ГТД) большой тяги.

Основные преимущества

По комплексу механических свойств (кратковременной, длительной и усталостной прочности) сплав ВЖ179 обладает значительным превосходством перед зарубежными и отечественными аналогами, в том числе применяемыми в настоящее время для лопаток КВД сплавом ЭП718 и лучшим серийным деформируемым сплавом ЭП220. Сплав ВЖ179 при испытании на длительную прочность не чувствителен к надрезу в диапазоне температур 650–850 °С.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ВЖ179 ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Вид полуфабриката	Температура испытания, °С	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Длительная прочность		
				напряжение σ , МПа	время до разрушения τ , ч	Коэффициент чувствительности к надрезу K_σ , $\alpha_\sigma=3,75$
		не менее				
Прутки диаметром 50–70 мм (средние паспортные значения)	20	1400	960	–	–	–
	650	1310	900	1040	100	1,15
	750	1130	890	680	100	1,15
	800	1000	860	510	100	1,2
Прутки и прутки пресс-изделия (ТУ 14-131-1296–2020)*	20	1275	980	–	–	–
	800	1030	735	490	100	–

* Факультативные свойства.

Промышленное производство прутков диаметром 50–70 мм освоено на АО «Металлургический завод «Электросталь»».

ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЕЙНЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ И ЛИГАТУР



**СОВРЕМЕННОЕ
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ**



**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ**



Научно-производственный комплекс предназначен для серийного производства литых прутковых заготовок (до 400 тонн в год) из жаропрочных сплавов на никелевой основе для последующего изготовления рабочих и сопловых лопаток и других литых деталей газотурбинных двигателей и установок.

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ производят более 30 марок жаропрочных никелевых сплавов, в том числе новые высоколегированные рений-рутенийсодержащие сплавы ВЖМ4, ВЖМ5, ВЖМ6, ВЖМ10; интерметаллидные сплавы серии ВКНА (ВКНА-1В, ВКНА-1ВР, ВКНА-4, ВКНА-4У, ВКНА-25, ВИН3, ВИН4), а также ряд отечественных импортозамещающих сплавов ВЖМ11, ВЖЛ738, ВЖЛ792, ВЖЛ939, ВЖМ200 и ВЖЛ718. Сплавы применяются в отечественных авиационных двигателях, в том числе в новом двигателе ПД-14 и перспективных двигателях ПД-8 и ПД-35.

Комплекс оснащен современным высокотехнологичным оборудованием с вакуумом до 0,8 – 3 мкм.рт.ст. и емкостью тигля до 1000 кг, которое позволяет реализовать новейшие разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Применение ресурсосберегающих технологий получения сплавов с использованием до 100 % литейных отходов сплавов ВЖМ4, ВЖМ5, ЖС32-ВИ, ЖС26, ЖС30, ЖС6У, ЖС6К, ЖС6Ф, ЖСЗДК, ВЖЛ12У, ВХ4Л и других обеспечивает:

- высокое качество металла по химическому составу и механическим свойствам: не уступает металлу, изготовленному из свежих шихтовых материалов;
- снижение стоимости по сравнению со сплавами, изготовленными из свежих шихтовых материалов;
- замкнутый цикл с возвратом в производство дефицитных и дорогостоящих легирующих элементов (никель, кобальт, молибден, вольфрам, рений, тантал и других) и их экономией.

ЛИГАТУРЫ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ



ПАТЕНТ РФ

Лигатуры редких металлов получают в вакуумной дуговой печи с нерасходуемым электродом. Разработанная в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ технология обеспечивает равномерное распределение основных компонентов и высокую чистоту по вредным примесям и газам в объеме лигатуры. Технология защищена патентом РФ.

ЛИГАТУРЫ РУТЕНИЙ-НИКЕЛЬ RuNi-1 и RuNi-2

Нормативная документация:
ТУ 1-595-3-1904–2020.

Содержание рутения в лигатуре в зависимости от марки – от 49 до 66 % (по массе).

Лигатура предназначена для легирования монокристаллических высокожаропрочных безуглеродистых никелевых сплавов ВЖМ4, ВЖМ6 и др.

ЛИГАТУРА РЕНИЙ-НИКЕЛЬ ReNi-1

Нормативная документация:
ТУ 1-595-3-1905–2020.

Содержание рения в лигатуре – от 74 до 76 % (по массе).

Лигатура предназначена для легирования монокристаллических высокожаропрочных никелевых сплавов ЖС32, ЖС36, ВЖМ4, ВЖМ6 и др.

ЛИГАТУРЫ ГАФНИЙ-НИКЕЛЬ GfNi5, GfNi10, GfNi25

Нормативная документация:
ТУ 1-595-3-1906–2020.

Содержание гафния в лигатуре в зависимости от марки – от 4 до 30 % (по массе).

Лигатура предназначена для легирования литейных жаропрочных никелевых сплавов:

- ЖС16, ЖС26У, ЖС30 и др.;
- новых импортозамещающих сплавов ВЖМ200, ВЖЛ718 и др.;
- интерметаллидного сплава ВКНА-1ВР.



Лигатуры редкоземельных металлов производства НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ обладают высокой стабильностью химического состава и ультранизким содержанием вредных примесей и газов во всем объеме слитка. Технология защищена патентом РФ.

ЛИГАТУРА НИКЕЛЬ-ЦЕРИЙ NiCe-1

Нормативная документация:
ТУ 1-92-200–2000.

Лигатура предназначена для раскисления и микролегирования литейных и деформируемых жаропрочных никелевых сплавов и сталей.

ЛИГАТУРА НИКЕЛЬ-ИТТРИЙ NiIt-1

Нормативная документация:
ТУ 1-92-200–2000.

Лигатура предназначена для микролегирования литейных жаропрочных и коррозионностойких сплавов на никелевой и кобальтовой основах.

ЛИГАТУРА НИКЕЛЬ-ЛАНТАН NiLa-1

Нормативная документация:
ТУ 1-92-200–2000.

Лигатура предназначена для микролегирования литейных жаропрочных, коррозионностойких и интерметаллидных никелевых сплавов.

ЛИГАТУРА НИКЕЛЬ-НЕОДИМ НиНд-1

Нормативная документация:
 ТУ 1-595-16-1431–2014.

Лигатура предназначена для микролегирования литейных жаропрочных никелевых сплавов ЖС32У, ВИН4М, ЦНК-8МП и др.

ЛИГАТУРА НИКЕЛЬ-ЭРБИЙ НиЭр-1

Нормативная документация:
 ТУ 1-595-16-1431–2014.

Лигатура предназначена для микролегирования жаропрочного интерметаллидного никелевого сплава ВИН4М и др.

ЛИГАТУРА НИКЕЛЬ-ПРАЗЕОДИМ НиПр-1

Нормативная документация:
 ТУ 1-595-3-1715–2018.

Лигатура предназначена для раскисления и микролегирования монокристаллических коррозионно-стойких жаропрочных никелевых сплавов ВЖМ11, ЦНК-8МП и др.

ЛИГАТУРА НИКЕЛЬ-ГАДОЛИНИЙ НиГд-1

Нормативная документация:
 ТУ 1-595-3-1884–2020.

Лигатура предназначена для микролегирования новых импортозамещающих литейных жаропрочных никелевых сплавов ВЖЛ125, ВЖЛ220 и др.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛИГАТУР РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ*

Лигатура	Массовая доля элементов, %														
	никель	РЗМ	железо	кремний	медь	углерод	сера	фосфор	кислород	азот	сурьма	висмут	олово	свинец	цинк
НиЦе-1	Основа	От 25 до 37 в зависимости от марки	0,4	–	0,05	0,1	–	–	0,4	–	–	–	–	–	–
НиИт-1			0,4	–	0,05	0,1	–	–	0,4	–	–	–	–	–	–
НиЛа-1			0,4	–	0,05	0,1	–	–	0,4	–	–	–	–	–	–
НиНд-1			0,4	0,5	0,05	0,1	0,050	0,04	0,1	0,01	0,0001	0,0001	0,0010	0,0001	0,0005
НиЭр-1			0,4	0,5	0,05	0,1	0,050	0,04	0,1	0,01	0,0001	0,0001	0,0010	0,0001	0,0005
НиПр-1			0,5	0,2	0,05	0,1	0,005	0,01	0,1	0,01	0,0005	0,0005	0,0015	0,0010	0,0015
НиГд-1			0,5	0,2	0,05	0,1	0,005	0,01	0,1	0,01	0,0005	0,0005	0,0015	0,0010	0,0015

* Приведены данные из ТУ 1-92-200–2000, ТУ 1-595-16-1431–2014, ТУ 1-595-3-1715–2018, ТУ 1-595-3-1884–2020.

Преимущества введения редких и редкоземельных металлов (РМ и РЗМ) в виде лигатур с никелем:

- плотность и температура плавления лигатур близки к аналогичным характеристикам для жаропрочных никелевых сплавов и сталей;
- повышается технологичность – лигатуры легко дробятся;
- увеличивается срок хранения РЗМ, которые связаны в лигатуры с никелем.

Легирование РМ в виде лигатур с никелем при выплавке жаропрочных никелевых сплавов в вакуумной индукционной печи повышает эффективность усвоения РМ, стабильность химического состава и структуры сплавов, что обеспечивает высокий уровень механических свойств и длительной прочности.

Микролегирование РЗМ в виде лигатур на основе никеля при вакуумной индукционной плавке жаропрочных никелевых сплавов и сталей повышает эффективность рафинирования расплава от вредных примесей и газов, стабильность усвоения РЗМ в металле, что обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик материалов.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ



**ШИРОКИЙ СПЕКТР
ПРИМЕНЕНИЯ**



**СЕРИЙНОЕ
ПРОИЗВОДСТВО**



Участок изотермической штамповки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ оснащен специализированными прессами и изотермическими установками, которые позволяют изготавливать опытно-промышленные и серийные партии штамповок дисков и других деталей. Участок малотоннажного производства листового проката и горячекатаных прутков, организованный во ВЭТЦ ВИАМ, позволяет получать полуфабрикаты в виде листов, лент и прутков.

Наименование полуфабрикатов:

- штамповки дисков из жаропрочных никелевых сплавов ЭИ437БУ, ЭИ698, ЭП742, ЭП975, ЭК79, ЭК151, ВЖ175 и др.;
- листы из жаропрочных никелевых сплавов и сталей ХН78Т, ХН77ТЮР, НЗ3Ю1, ВЖ171, ВЖ172, ВЖ159, ВЖ176;
- прокат круглого сечения (прутки) из специальных сталей и сплавов ВЖ175, ЭП202, ЭИ698, ХН77ТЮР, ХН78Т, ВЖ179 и др.

Габариты полуфабрикатов:

- штамповки из жаропрочных никелевых сплавов до 300 мм;
- листы и ленты из жаропрочных никелевых сплавов и сталей толщиной от 0,1 до 2,0 мм, шириной до 250 мм, длиной до 2800 мм;
- прокат круглого сечения (прутки) диаметром от 10 до 60 мм из специальных сталей и сплавов, в том числе со специальной отделкой поверхности.

Предназначаются для широкого применения в изделиях авиационно-космической техники и энергетического машиностроения: детали турбин ГТД, МГТД, ВСУ, энергетических установок, ДВС тепловозов.



**ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
Всероссийский научно-исследовательский институт
авиационных материалов



ЖАРОПРОЧНЫЕ НИКЕЛЕВЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ

НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ
Россия, 105005, Москва, ул. Радио, 17
Тел.: +7 (499) 261-86-77, факс: +7 (499) 267-86-09
E-mail: admin@viam.ru
www.viam.ru