



*Справочник*  
ПО  
АВИАЦИОННЫМ  
МАТЕРИАЛАМ

КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ  
И ЖАРОПРОЧНЫЕ  
СТАЛИ И СПЛАВЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АС

10-0-5

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В III томе справочника приводятся свойства коррозионностойких и жаропрочных сталей по ГОСТам и техническим условиям (минимальные гарантируемые свойства) и типичные характеристики каждой марки, дополненные в ряде случаев минимальными значениями.

В настоящем 5-м издании расширены и уточнены характеристики материалов, включенных в III-й том предыдущего издания, приводятся свойства новых жаропрочных и коррозионностойких сталей и сплавов, и сплавов на основе тугоплавких металлов. Впервые в справочнике описываются методы контроля полуфабрикатов и деталей без их разрушения. Такой контроль может проводиться как при изготовлении полуфабрикатов и деталей, так и в процессе эксплуатации.

Работы по улучшению свойств сталей и сплавов, выпускаемых серийно, также нашли свое отражение в справочнике. Так например, приводятся данные, характеризующие металл, выплавленный в вакууме. Установлено, что такой метод плавки обеспечивает стабильность свойств, повышение пластичности и ударной вязкости металла.

В связи с задачей повышения ресурса изделий авиационной техники особое значение приобретают характеристики длительной прочности и ползучести материалов. В справочнике приводятся показатели этих свойств за 1000 и более часов. Даются также характеристики секундной и минутной прочности.

Для облегчения выбора материала с теми или иными свойствами в настоящее издание включены сводные сравнительные характеристики сталей и сплавов по длительной прочности, ползучести и выносливости, представленные графически (фиг. 1—29).

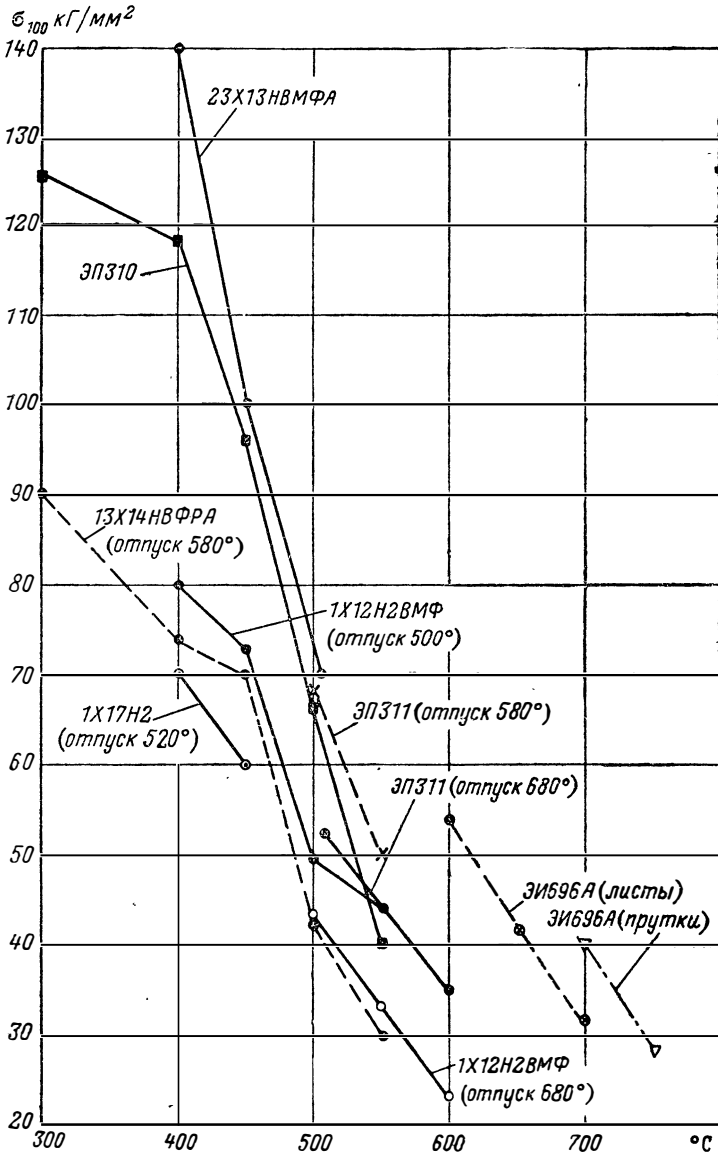
Таким образом, III том 5-го издания справочника существенно пополнен новыми данными, необходимыми конструкторам, металлургам и технологам ОКБ и заводов авиационной промышленности.

Справочник подготовлен коллективом научных сотрудников ВИАМ совместно с работниками авиационных заводов и завода «Электросталь», а также ЦКТИ и ЦНИИЧЕРМЕТА.

Состав авторского коллектива: М. Ф. Алексеенко, А. Г. Андреева, Т. П. Байкова, Д. С. Балковец, В. П. Батраков, С. Е. Беляев, И. П. Булыгин, Б. Н. Васильев, В. С. Виноградова, М. И. Гаврилюк, Д. Е. Герасимов, М. Д. Глезер, А. Т. Горбодей, В. П. Гречин, Л. Я. Гурвич, А. Л. Дорофеев, В. С. Егоров, Е. М. Ермакова, С. Л. Жуков, И. И. Захаров, Г. В. Захарова, С. Т. Кишкин, А. И. Ковалев, А. Т. Козлов, А. Н. Кокошвили, Н. И. Корнеев, В. М. Королев, Б. М. Колобашкин, Л. Е. Конторович, Н. Н. Куркина, В. И. Лавров, Н. Ф. Лашко, Д. Е. Лившиц, М. А. Люстров, М. Я. Львовский, Б. Ф. Масленников, А. Д. Маслов, Н. И. Михеев, Л. Б. Мишина, Г. Е. Москаленко, Г. М. Мороховец, З. П. Некрасова, Е. С. Овсепян, Г. Н. Орехов, С. В. Оржеховский, И. О. Панасюк, В. С. Петрова, А. А. Платонов, Г. В. Покровский, Л. С. Попова, Я. М. Потак, Е. Н. Рахлеева, О. К. Ревякина, С. Г. Рождественский, В. В. Сачков, П. М. Селиверстова, М. В. Сергеев, И. Г. Скугарев, Е. В. Сивакова, И. К. Складнов, Н. М. Скляр, А. С. Строев, К. И. Терехов, Е. Ф. Трусова, Н. М. Тучкевич, Т. М. Федорова, Л. С. Федотова, Л. А. Филимонова, С. П. Филиппова, Ф. Ф. Химушин, В. В. Чугунов, З. А. Шеванкова, К. Я. Шпунт.

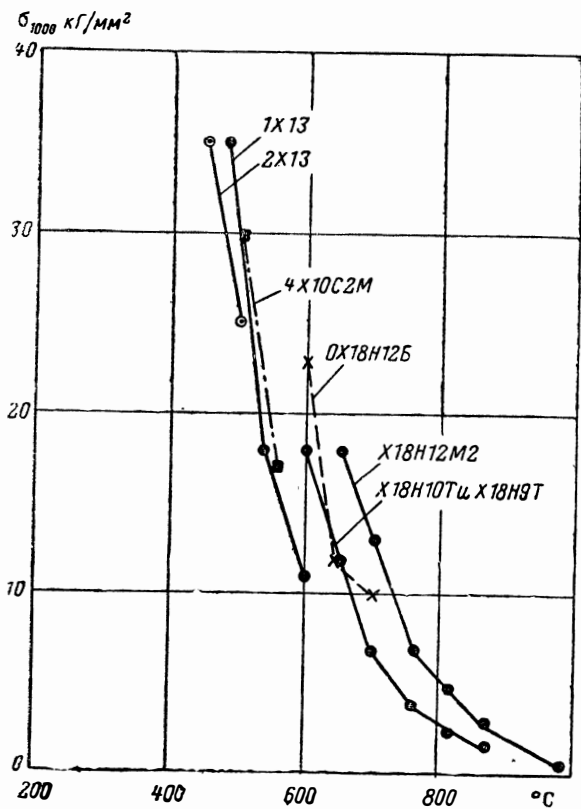
---

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ, ПОЛЗУЧЕСТИ И ВЫНОСЛИВОСТИ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ**

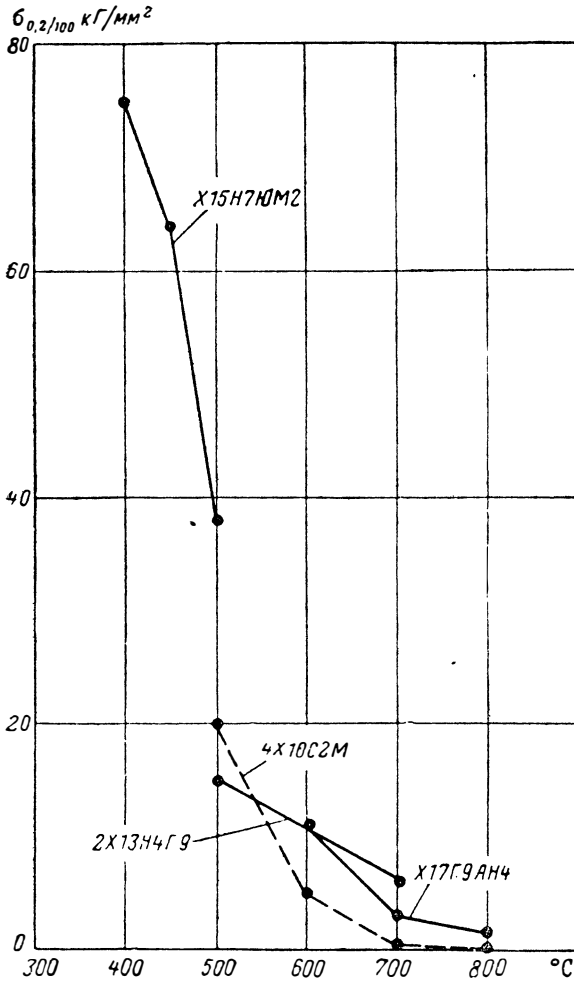


Фиг. 1. Кривые длительной прочности (за 100 час) жаропрочных деформируемых свариваемых сталей.

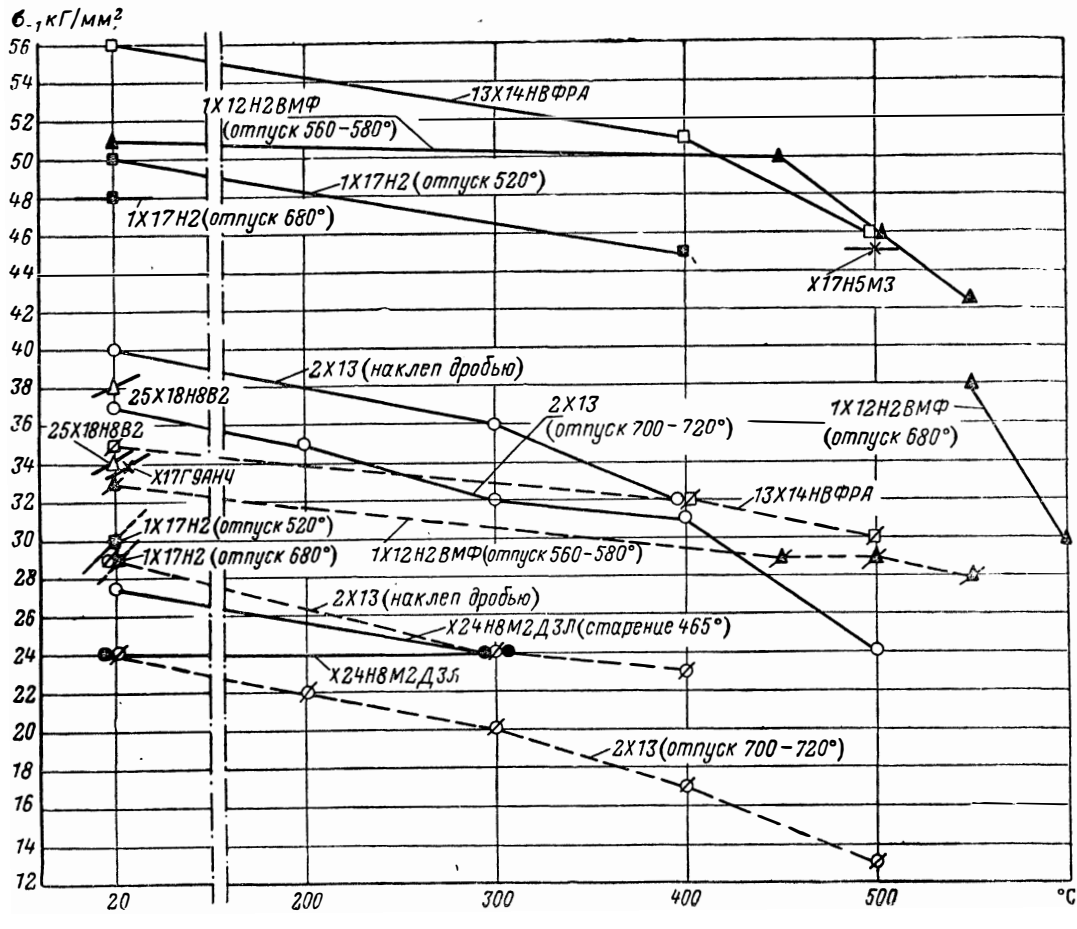




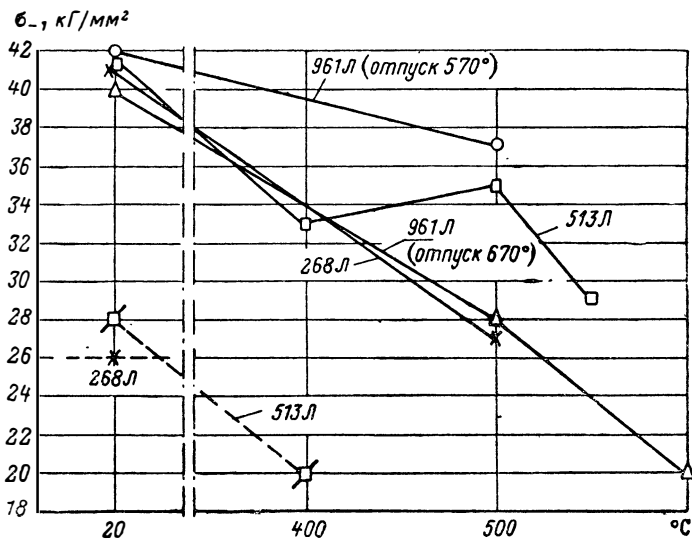
Фиг. 2. Кривые длительной прочности (за 1000 час) коррозионностойких и жаростойких деформируемых сталей.



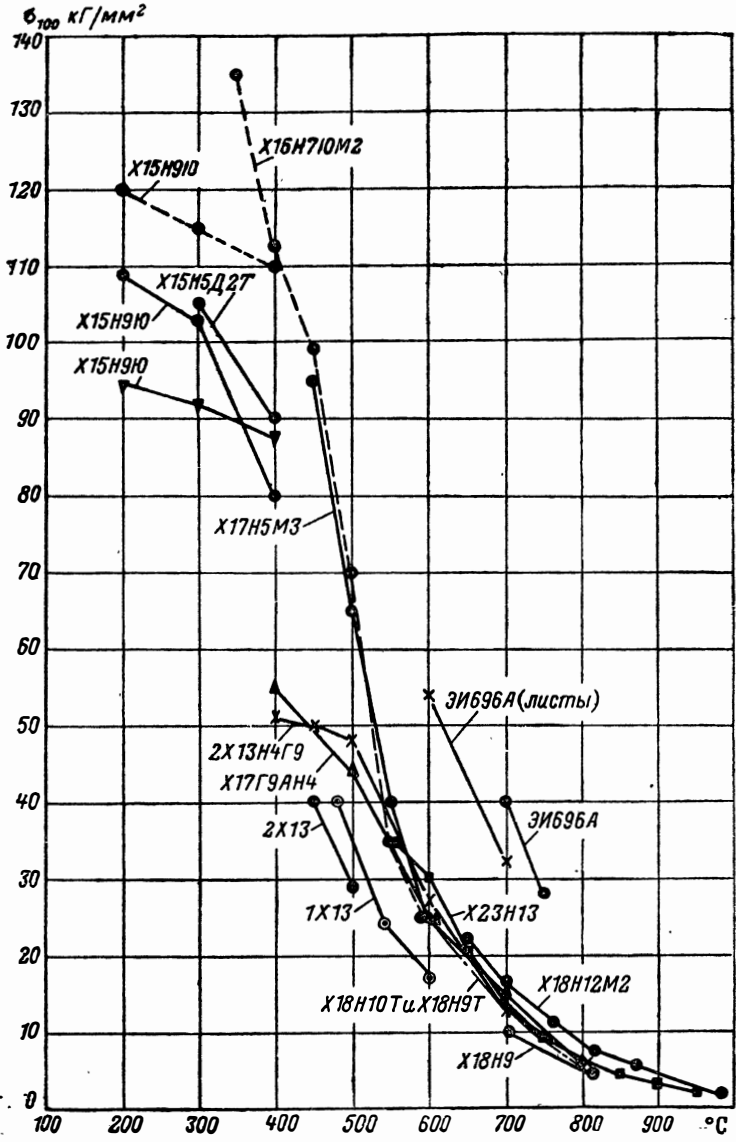
Фиг. 3. Кривые ползучести коррозионностойких и жаростойких деформируемых сталей.



Фиг. 4. Кривые выносливости коррозионностойких и жаропрочных деформируемых и литейных сталей:  
сплошные кривые — образцы гладкие;  
пунктир — образцы с надрезом.

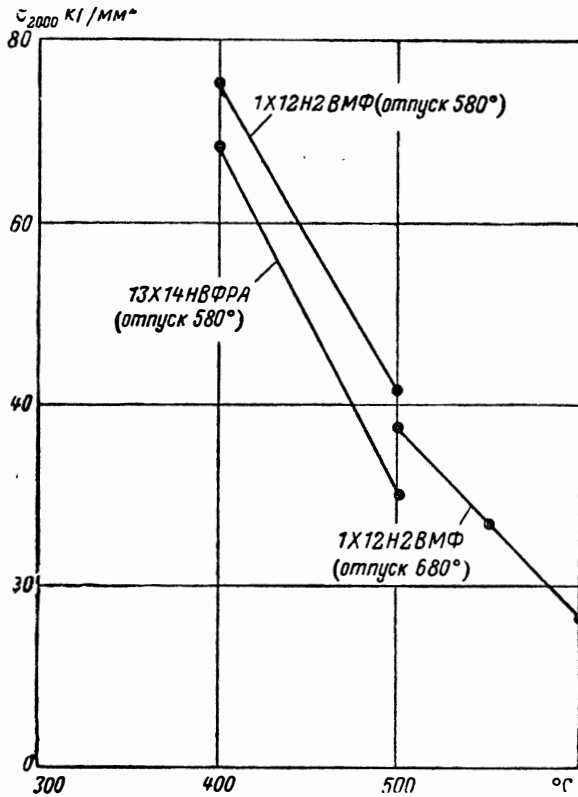


Фиг. 5. Кривые выносливости жаропрочных литейных сталей: сплошные кривые — образцы гладкие, пунктир — образцы с надрезом.



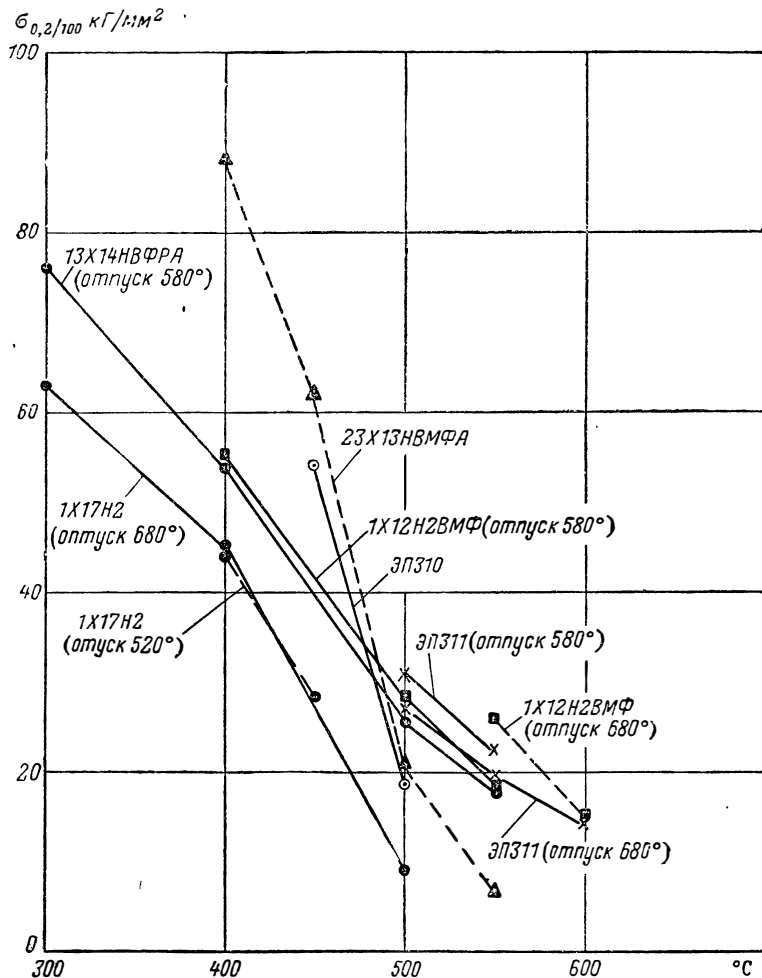
Фиг. 6. Кривые длительной прочности (за 100 час) коррозионно-стойких и жаропрочных деформируемых сталей.

- — нагартованное состояние, старение при 480° в течение 1 часа;
- — мягкое состояние, старение при 425° в течение 1 часа;
- ▼ — полунгартованное состояние, старение при 480° в течение 1 часа.

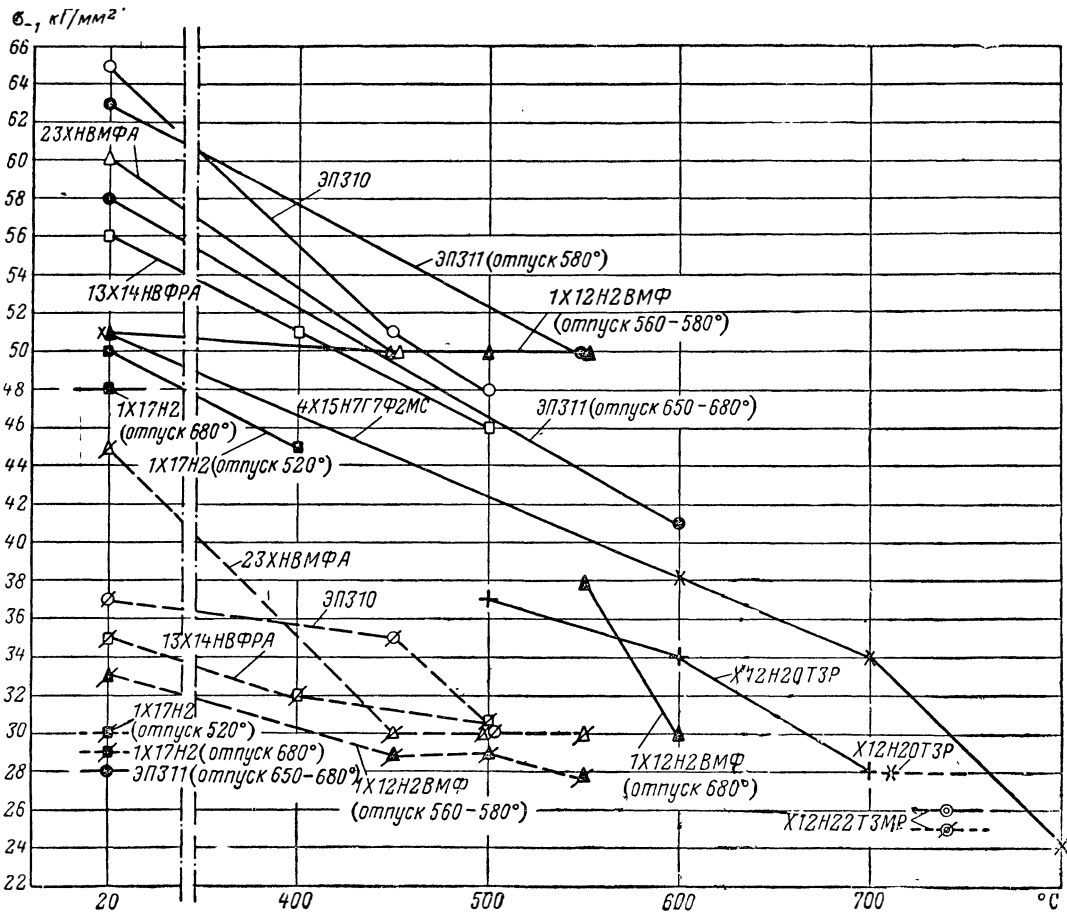


Фиг. 7. Кривые длительной прочности (за 2000 час) жаропрочных деформируемых сталей для дисков компрессора.



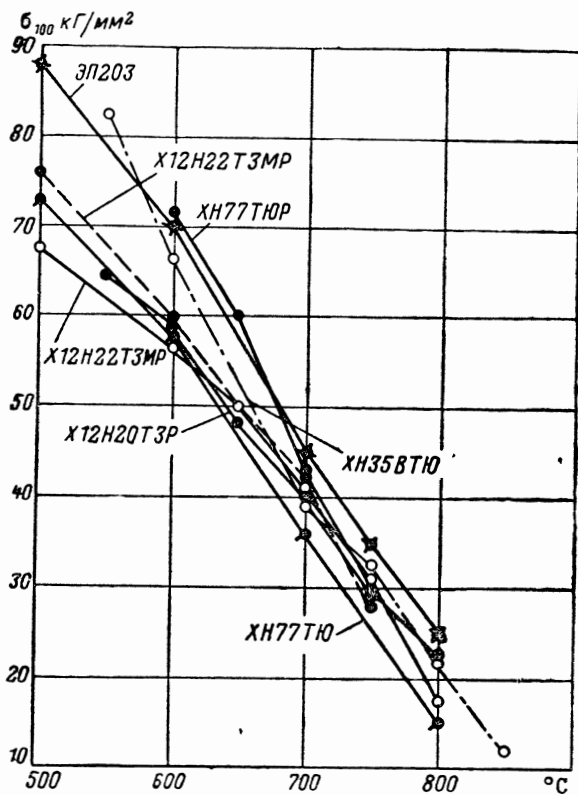


Фиг. 8. Кривые ползучести жаропрочных деформируемых сталей для дисков компрессора.



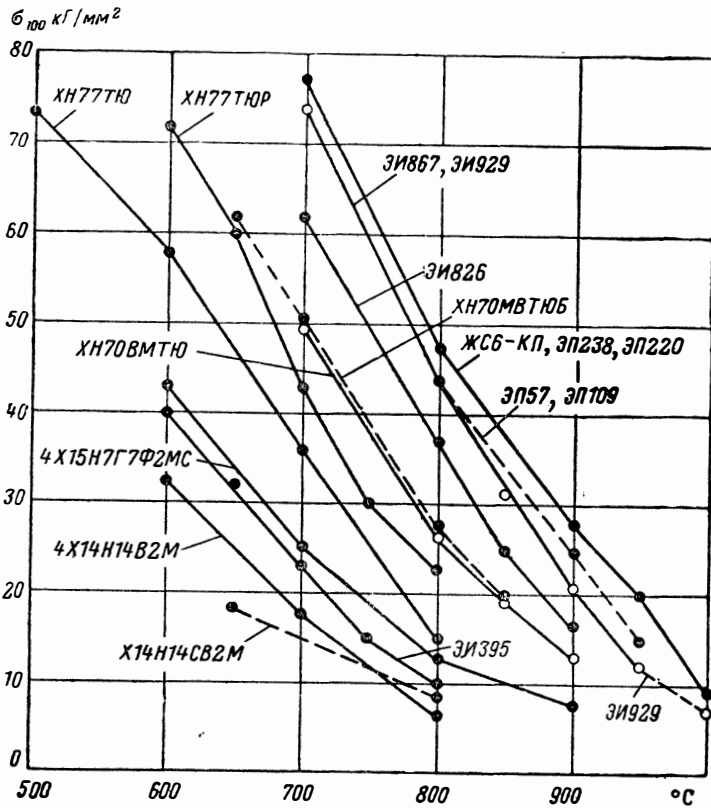
Фиг. 9. Кривые выносливости жаропрочных деформируемых сталей для дисков компрессора:

сплошные кривые — образцы гладкие,  
пунктир — образцы с надрезом.

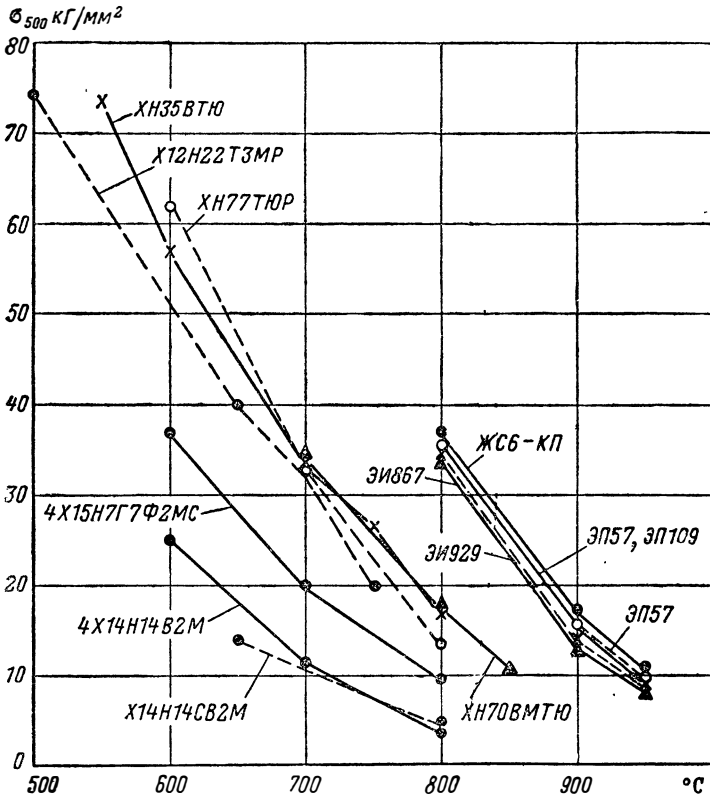


Фиг. 10. Кривые длительной прочности (за 100 час) жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для рабочих лопаток:

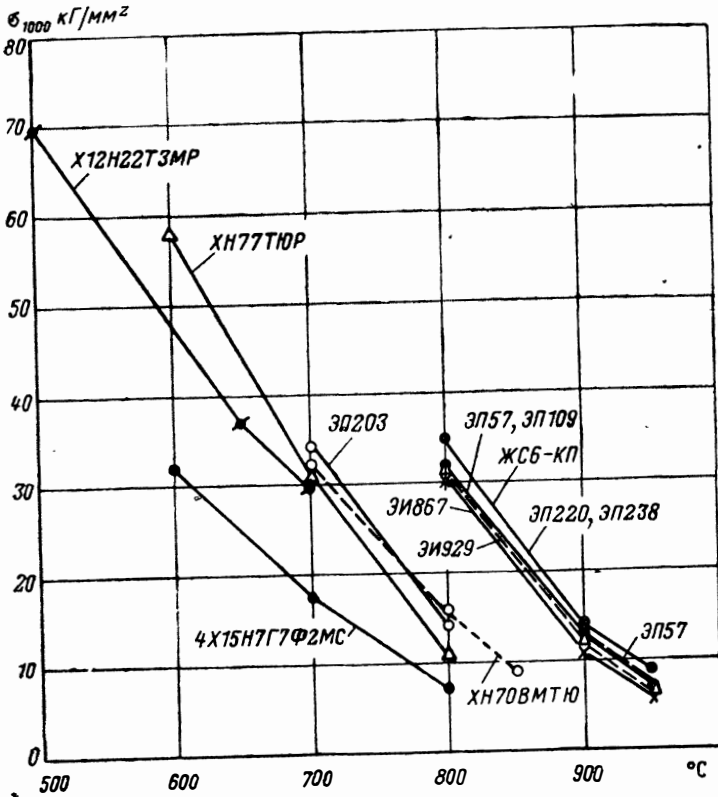
- — — ● — после термической обработки по режиму: закалка с 1100—1130° С (3—5 час) в масле, старение при 720—750° С в течение 16 час, охлаждение с печью до 600—650° С в течение 16—20 час;  
 ○ — ○ — после термической обработки по режиму: закалка с 1160—1180° С (2—8 час) на воздухе, старение при 775° С в течение 16—25 час.
- Х12Н22ТЗМР



Фиг. 11. Кривые длительной прочности (за 100 час) жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для рабочих лопаток.

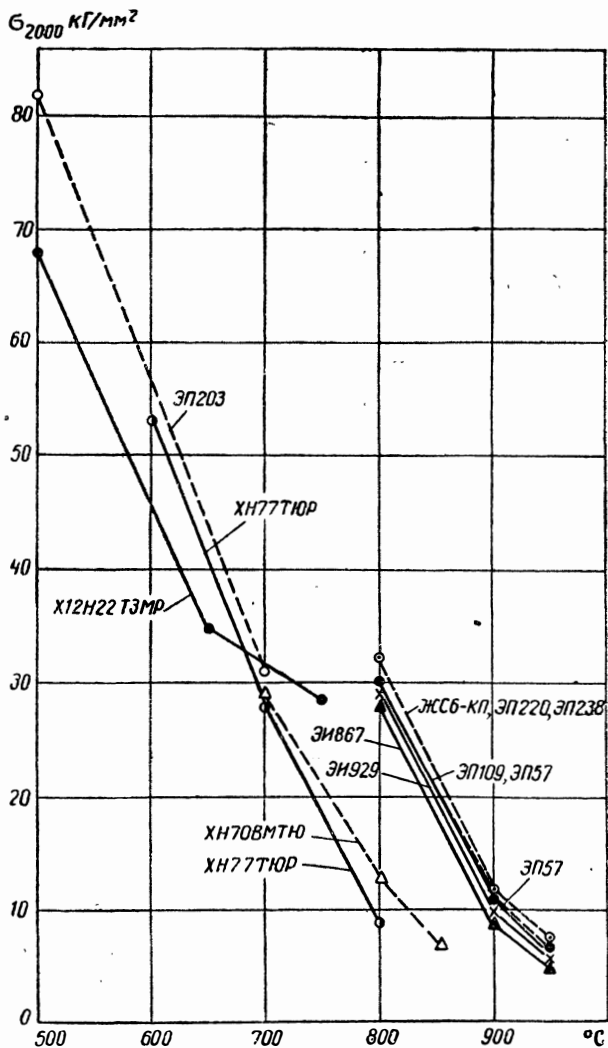


Фиг. 12. Кривые длительной прочности (за 500 час) жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для рабочих лопаток.

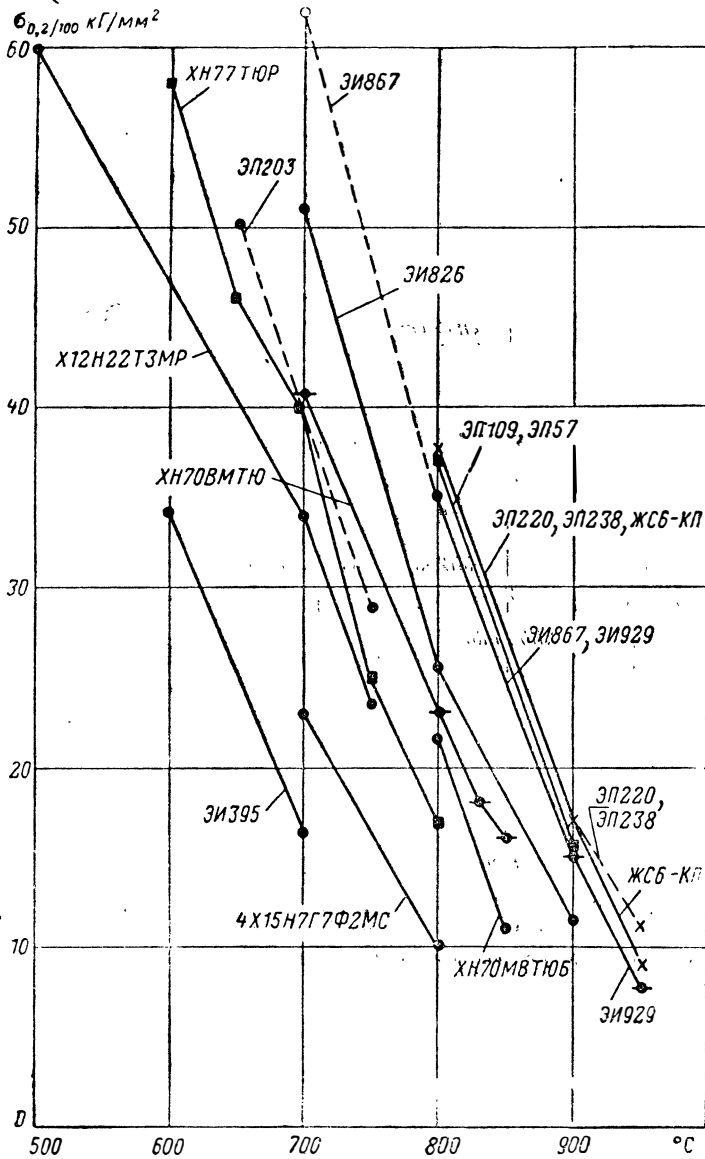


Фиг. 13. Кривые длительной прочности (за 1000 час) жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для рабочих лопаток.

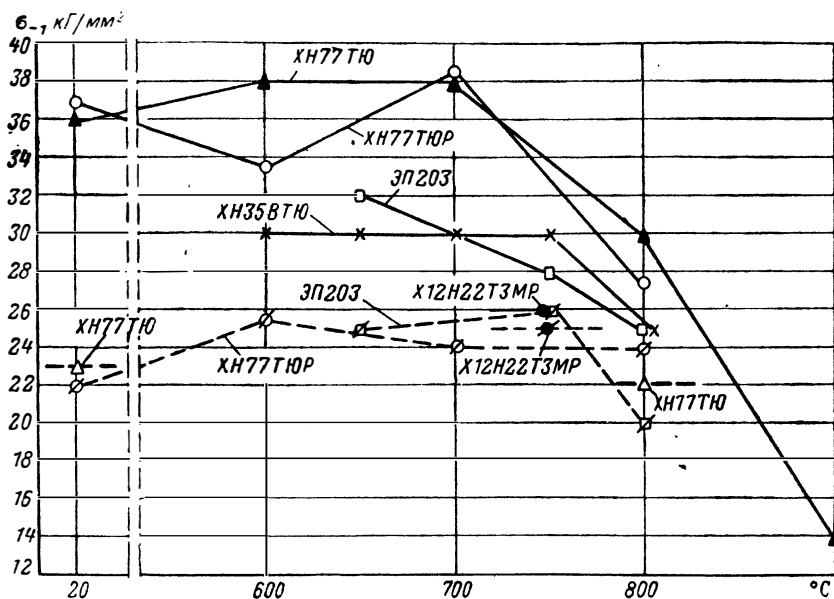




Фиг. 14. Кривые длительной прочности (за 2000 час) жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для рабочих лопаток.

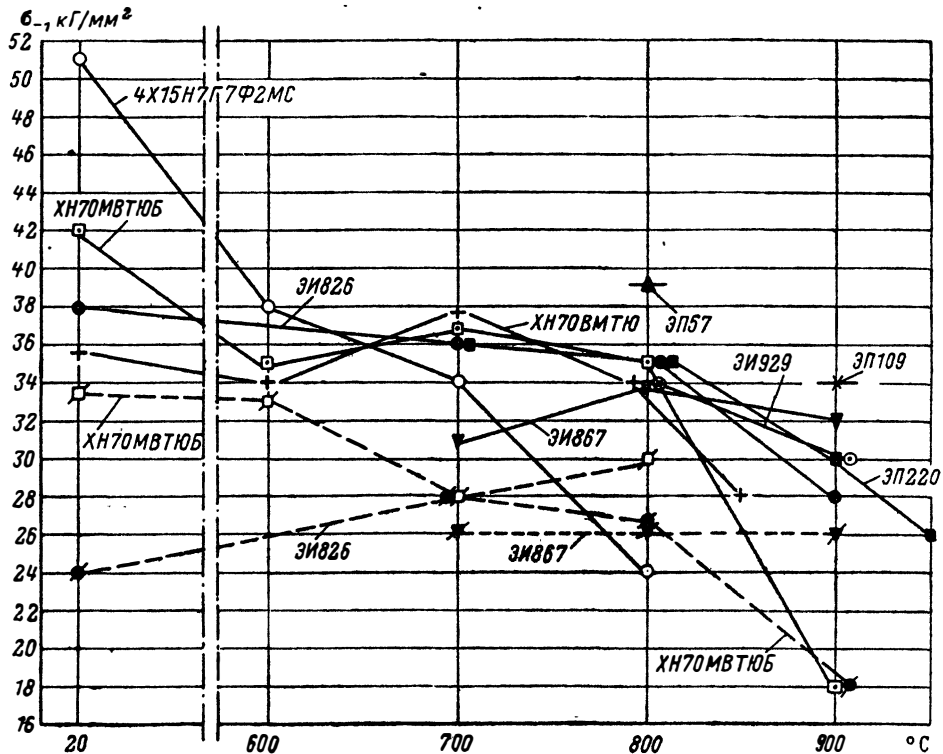


Фиг. 15. Кривые ползучести жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для рабочих лопаток.



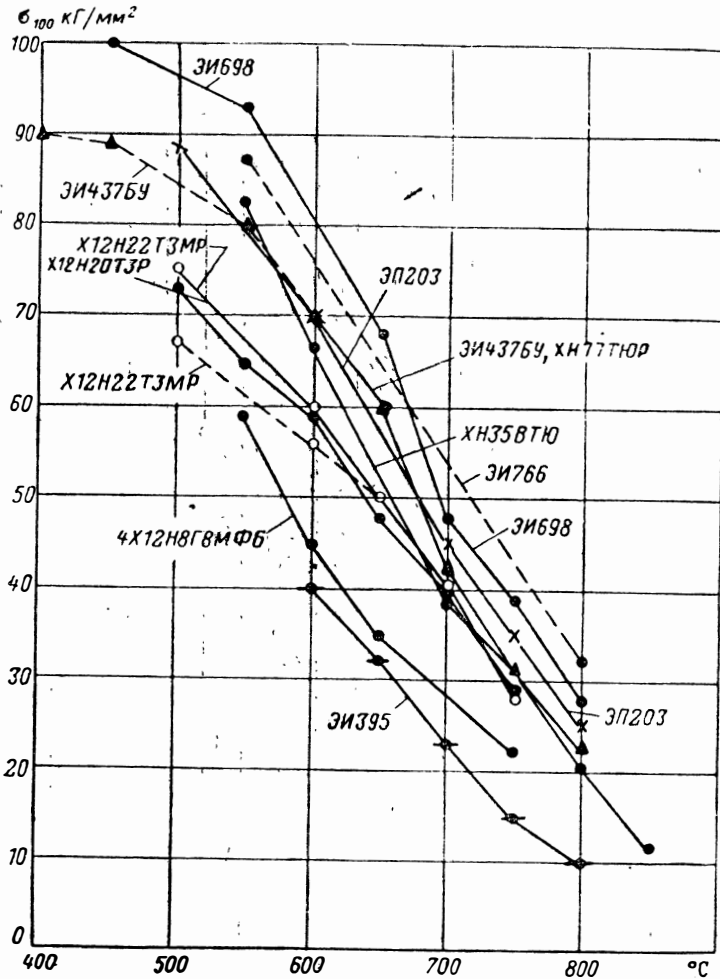
Фиг. 16. Кривые выносливости жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для рабочих лопаток:

сплошные кривые—образцы гладкие, пунктир—образцы с надрезом.



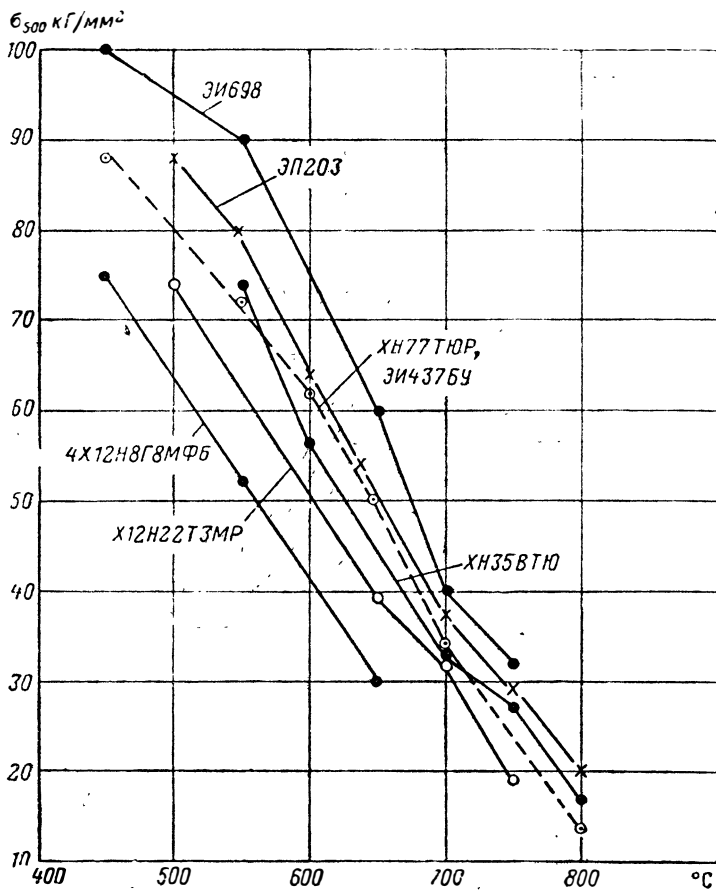
Фиг. 17. Кривые выносливости жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для рабочих лопаток:

сплошные кривые—образцы гладкие, пунктир—образцы с надрезом.



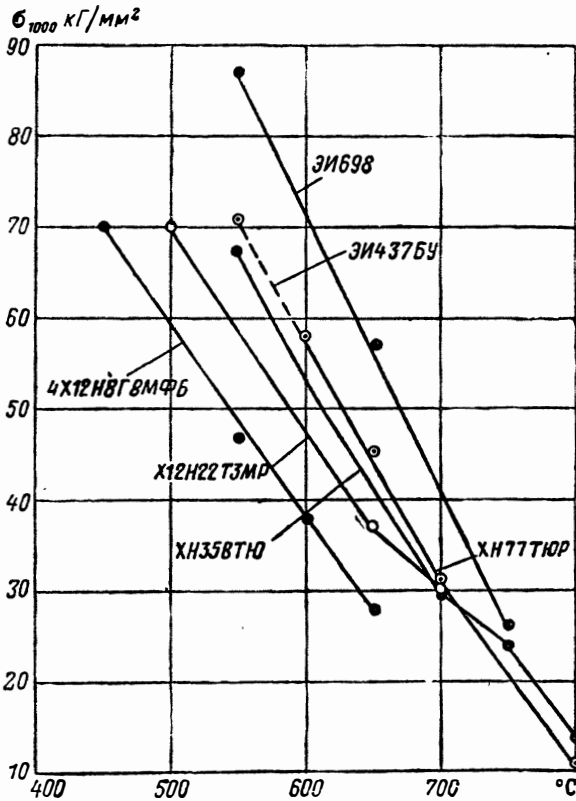
Фиг. 18. Кривые длительной прочности (за 100 час) жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для дисков турбин:

- X12Н22Т3МР
- — ○ — после термической обработки по режиму: закалка с 1100—1130° С (3—5 час) в масле, старение при 720—750° С в течение 16 час, охлаждение с печью до 600—650° С в течение 16—20 час;
  - — — ○ — после термической обработки по режиму: закалка с 1160—1180° С (2—8 час) на воздухе, старение при 775° С в течение 16—25 час.

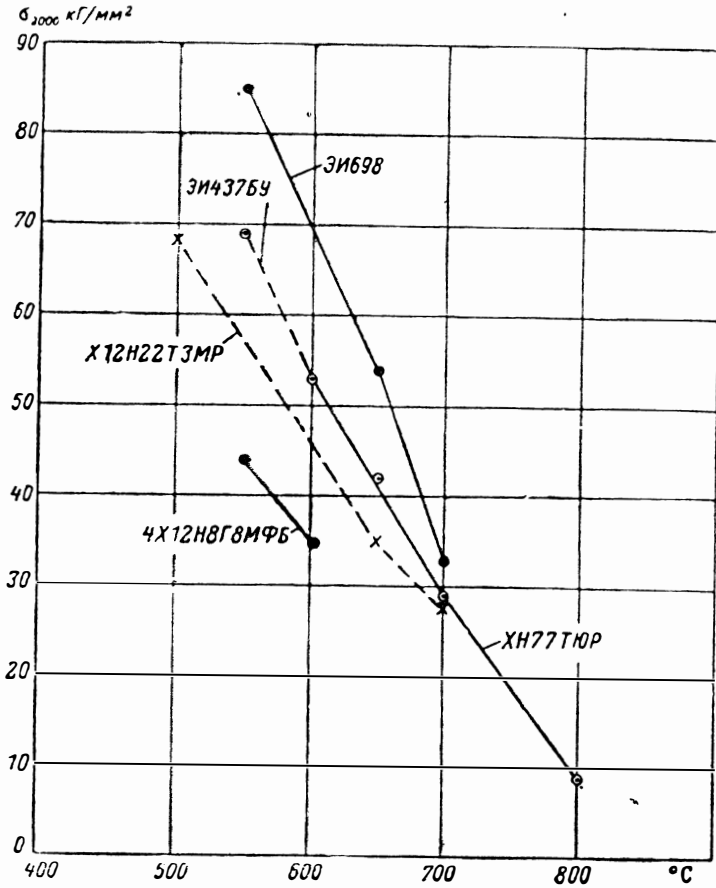


Фиг. 19. Кривые длительной прочности (за 500 час) жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для дисков турбин.

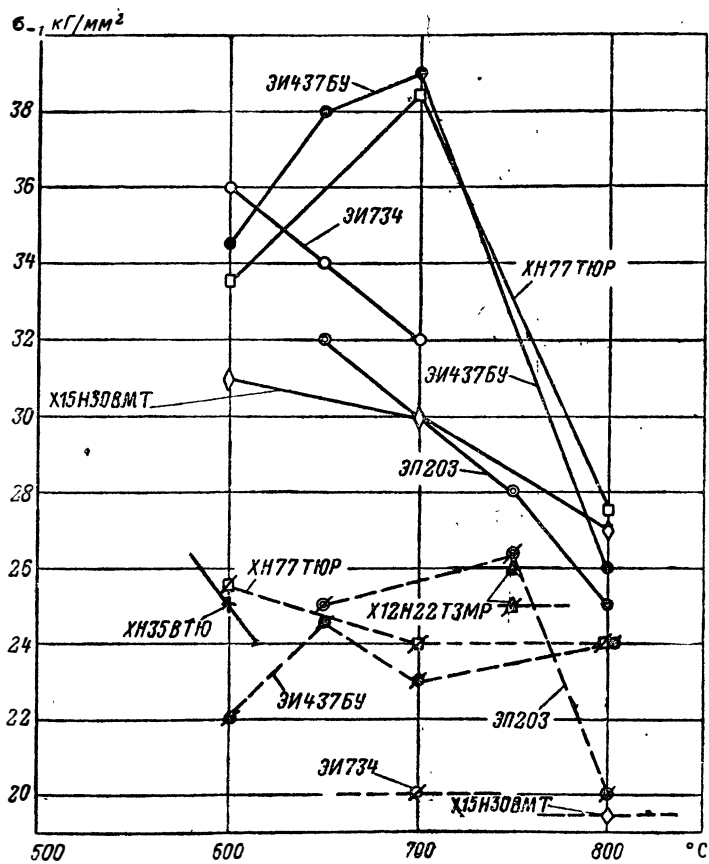




Фиг. 20. Кривые длительной прочности (за 1000 час) жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для дисков турбин.

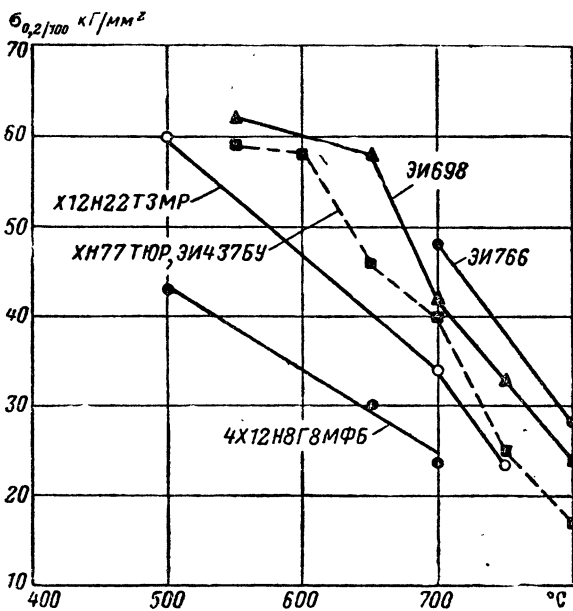


Фиг. 21. Кривые длительной прочности (за 2000 час) жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для дисков турбин.



Фиг. 22. Кривые выносливости жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для дисков турбин.

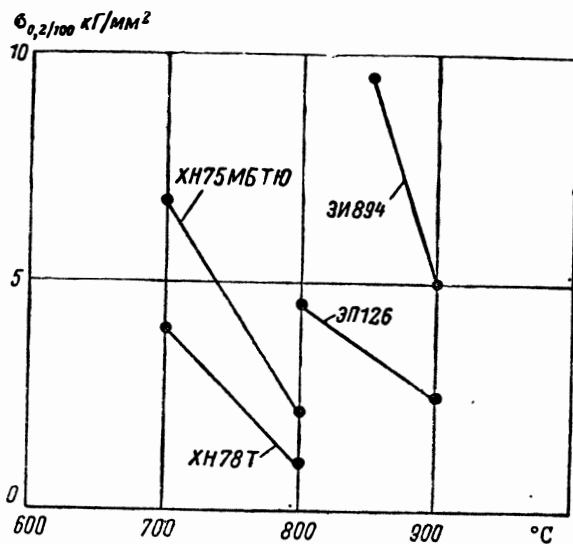
сплошные кривые—образцы гладкие, пунктир—образцы с надрезом.



Фиг. 23. Кривые ползучести жаропрочных деформируемых сталей и сплавов для дисков турбин.

X12H22T3MP—после термической обработки по режиму: закалка с 1170—1180° С (2 часа) на воздухе, старение при 775° С в течение 20 час.

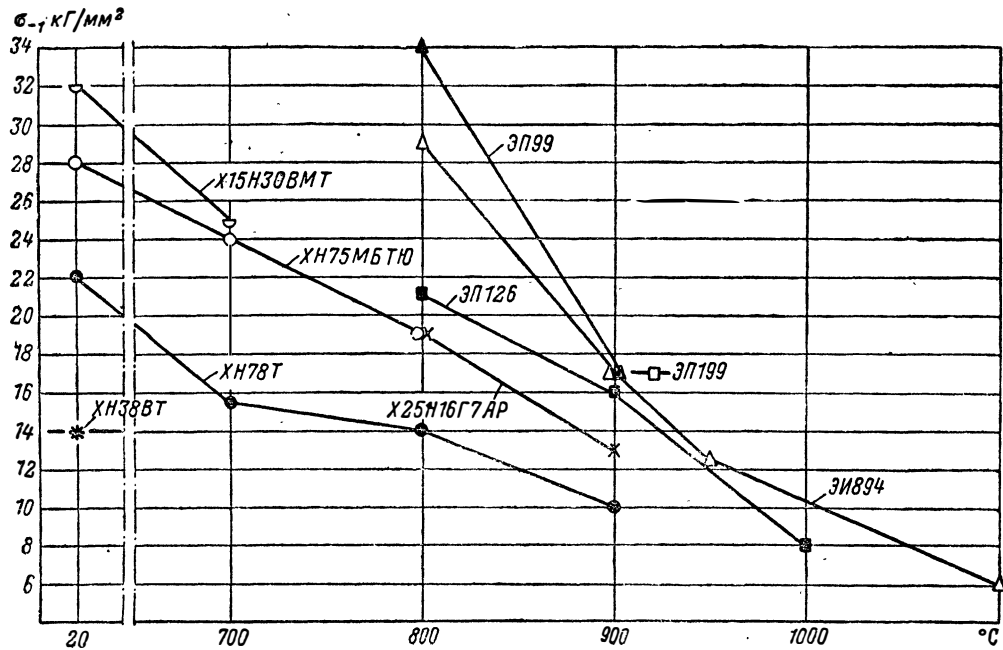




Фиг. 25. Кривые ползучести жаростойких и жаропрочных деформируемых сталей и сплавов.

ХН75МБТЮ—после термической обработки по режиму: закалка с 1080° С на воздухе.

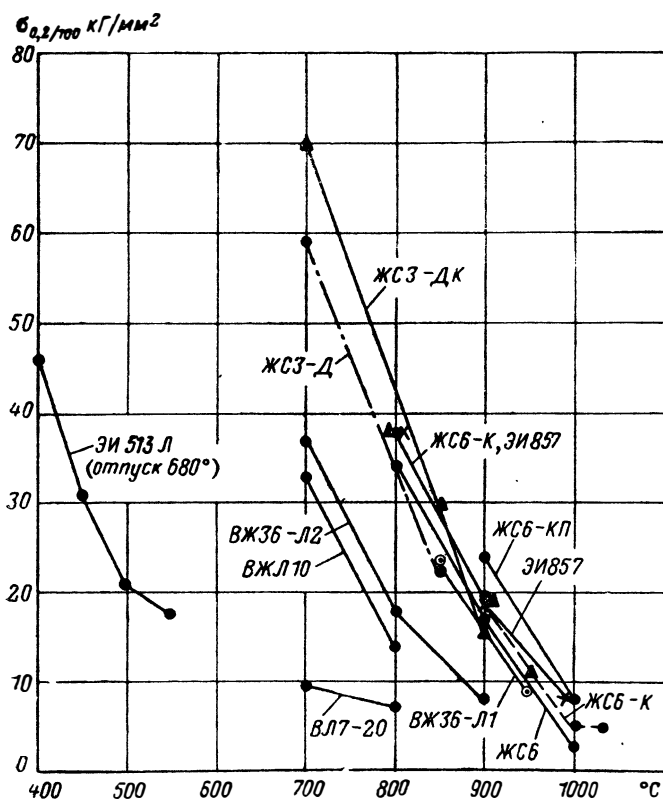




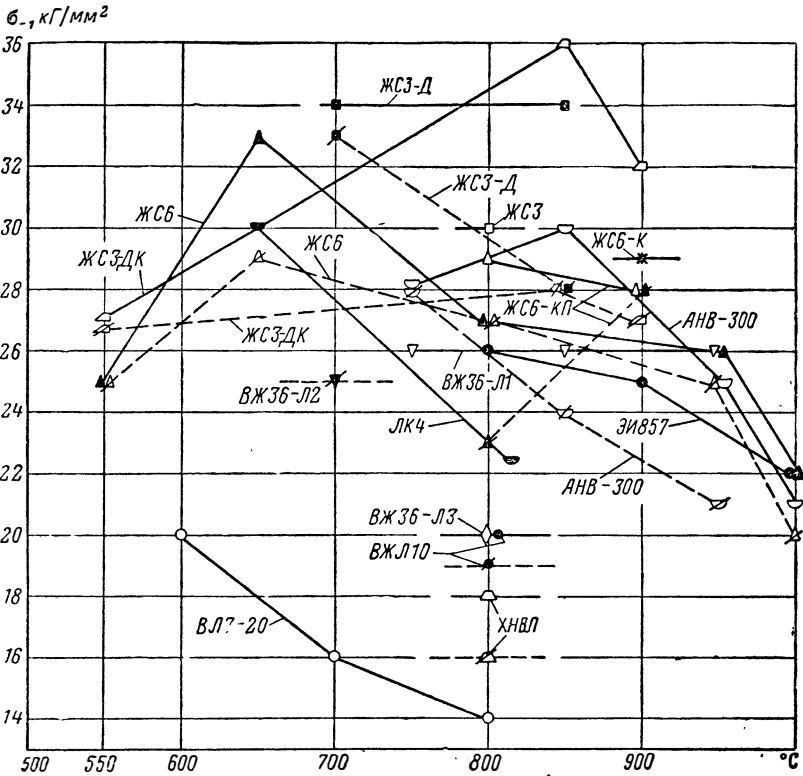
Фиг. 26. Кривые выносливости жаростойких и жаропрочных деформируемых сталей и сплавов.

Образцы гладкие.





Фиг. 28. Кривые ползучести жаропрочных литейных сталей и сплавов для сопловых и рабочих лопаток.



Фиг. 29. Кривые выносливости жаропрочных литейных сталей и сплавов для сопловых и рабочих лопаток.

Сплошные кривые—образцы гладкие, пунктир—образцы с надрезом.

**ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ**

Наименование свойства	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Модуль нормальной упругости при растяжении, определенный статическим методом	$E$	$\text{кг/мм}^2$	$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Модуль нормальной упругости, определенный динамическим методом	$E_d$	$\text{кг/мм}^2$	$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Предел прочности при растяжении	$\sigma_B$	$\text{кг/мм}^2$	$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Предел прочности при растяжении надрезанного образца	$\sigma_B^H$	$\text{кг/мм}^2$	$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Предел пропорциональности при растяжении	$\sigma_{пц}$	$\text{кг/мм}^2$	$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Предел текучести условный при растяжении (остаточная деформация 0,2%)	$\sigma_{0,2}$	$\text{кг/мм}^2$	$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Предел выносливости при изгибе (при симметричном цикле) гладкого образца	$\sigma_{-1}$	$\text{кг/мм}^2$	$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Предел выносливости при изгибе (при симметричном цикле) образца с надрезом	$\sigma_{-1}^H$	$\text{кг/мм}^2$	$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Предел ползучести при высоких температурах (напряжение, вызывающее деформацию 0,2% за 100 час, 200 час и т. д.)	$\sigma_{0,2/100}$ $\sigma_{0,2/200}$	$\text{кг/мм}^2$	$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Предел длительной прочности при высоких температурах (напряжение, которое доводит образец до разрушения за определенное число часов: 50, 100 и т. д.)	$\sigma_{50}$ $\sigma_{100}$	$\text{кг/мм}^2$	$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$

Продолжение

Наименование свойства	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Относительное удлинение после разрыва: на длине $l=5d$ ; $l=10d$ ; на длине $l=5,65\sqrt{F}$ ; $l=11,3\sqrt{F}$	$\delta_5$ ; $\delta_{10}$ $\delta_{5,65\sqrt{F}}$ $\delta_{11,3\sqrt{F}}$	%	—
Относительное сужение после разрыва	$\psi$	%	—
Число циклов до разрушения образца при испытании на статическую выносливость	$N$	цикл	—
Удельная ударная вязкость при изгибе образца размером $10 \times 10 \times 55$ мм с полукруглым надрезом глубиной 2 мм и радиусом 1 мм	$a_n$	кГ·м/см <sup>2</sup>	$1 \text{ кГ} \cdot \text{м} / \text{см}^2 \approx \approx 9,8 \cdot 10^4 \text{ Дж} / \text{м}^2$
Твердость по Бринеллю (шарик $d=10$ мм, нагрузка $P$ для сталей 3000 кГ) или диаметр отпечатка	$HB$ $d$	кГ/мм <sup>2</sup> мм	$1 \text{ кГ} / \text{мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н} / \text{м}^2$ —
Твердость по Роквеллу при вдавливании алмазного конуса с углом при вершине 136° под нагрузкой 150 кГ	$HRC$	—	—
Плотность	$d$	г/см <sup>3</sup>	$1 \text{ г} / \text{см}^3 = 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$
Термический коэффициент линейного расширения	$\alpha$	1/°С	$1 / ^\circ\text{C} = 1 / ^\circ\text{K} = 1 / 273 \text{ град}$
Коэффициент теплопроводности	$\lambda$	кал/см·сек·°С	$1 \text{ кал} / \text{см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C} \approx \approx 4,18 \cdot 10^3 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{град}$
Удельная теплоемкость	$c$	кал/г·°С	$1 \text{ кал} / \text{г} \cdot ^\circ\text{C} \approx \approx 4,18 \cdot 10^3 \text{ Дж} / \text{г} \cdot \text{град}$
Удельное электросопротивление	$\rho$	ом·мм <sup>2</sup> /м	$1 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м} = = 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{м}^2 / \text{м}$

## Глава I

### СТАЛИ

#### КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СТАЛИ

<b>ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ</b>	<b>0X13 (ЭИ496)</b>
------------------------	---------------------

#### Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Fe	S	P
					не более	
<0,08	≤0,6	≤0,6	11—13	Основа	0,025	0,030

#### Механические свойства по ГОСТу (не менее)

Вид полу- фабриката	ГОСТ	Состояние (контроль- ные образцы)	Темпера- тура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ %
Листы толщи- ной 4—25 мм	ГОСТ 7350—55	Отпущенные при 680— 780° с охлаждением в печи или на воздухе	20	43	23

#### Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления при температурах до 750—800°С.

#### Физические свойства

$d=7,76$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6=10,2$  (20—100°); 11,1 (20—200°); 11,5 (20—300°); 12 (20—400°); 12,4 (20—500°); 12,6 (20—600°); 12,9 (20—700°); 13,2 (20—800°) 1/°С.  
 $\lambda=0,060$  (20°) кал/см·сек °С.  
 $c=0,115$  (20—100°) кал/г·°С.

#### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—850°С. Охлаждение после деформации медленное. Для снятия внутренних напряжений и наклепа немедленно послековки необходимо отпустить при 730—780°С в течение 1—3 час, охлаждение с печью.

Рекомендуемая термическая обработка деталей и полуфабрикатов: 1) закалка с 980—1020°С на воздухе или в масле; отпуск при 230—370°С в течение 1—3 час, охлаждение на воздухе или 2) закалка с 920—950°С на воздухе или в масле, отпуск при 540—700°С на требуемую твердость.

Сталь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в речной и водопроводной воде и удовлетворительной стойкостью в азотной кислоте при комнатной температуре. Наивысшая коррозионная стойкость достигается после закалки и полирования.

Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки. После сварки необходима термическая обработка по режиму: отжиг при 760—780°С с последующим медленным охлаждением.

### Применение

Сварные детали невысокой прочности.



## ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ

1X13 (ЭЖ1)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Fe	S	P
					не более	
0,09—0,15	≤0,6	≤0,6	12—14	Основа	0,025	0,030

## Механические свойства по ТУ или ГОСТу (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ или ГОСТ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$\frac{a_{сч}}{кГ \cdot м/см^2}$	HВ (d мм)
				кГ/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки	МПТУ 2362—49	Отожженные или отпущенные	20	—	—	—	—	—	4,4—5,4
		Термически обработанные по режиму: закалка с 1050° С на воздухе или в масле; отпуск при 680—780° С, охлаждение в масле	20	60	42	20	60	9	—
Листы тонкие	ЧМТУ 3126—52	Отожженные при 740—780° С	20	40	—	21	—	—	—
Проволока	ГОСТ 5548—50	Нормализованная или отожженная	20	55	—	16	—	—	—

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65 \sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Механические свойства при комнатной температуре

Состояние материала	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	HB
	кг/мм <sup>2</sup>		%		
Отожженный. Промежуточный отжиг при 760° С (2 часа)	63	42	30	72	170—195 (86—92 HRB)
Отожженный. Полный отжиг при 870° С (2 часа), охлаждение со скоростью 25° С в час	55	28	35	73	135—160 (75—83 HRB)
Закаленный с 925—1000° С на воздухе или в масле	—	—	—	—	380—415 (39—43 HRC)
Закаленный и отпущенный при 230—370° С (2 часа)	130	95	15	60	360—380 (37—40 HRC)
Закаленный и отпущенный: при 540° С (2 часа)	100	80	20	65	260—330 (25—34 HRC)
при 600° С (2 часа)	80	63	22	65	210—250 (95—100 HRB)
при 650° С (2 часа)	73	60	23	68	200—230 (93—97 HRB)
при 700° С (2 часа)	70	55	25	69	195—220 (92—96 HRB)
при 760° С (2 часа)	63	42	30	72	170—195 (86—92 HRB)

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65\sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{10\ 000}$
		кг/мм <sup>2</sup>			
Термически обработанный по режиму: закалка с 1050° С на воздухе; отпуск при 720° С	480	40	39	35	30
	540	24	21	18	14
	600	17	14	11	7

### Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления в воздушной среде при температурах до 800°С.

При 200-часовых испытаниях в воздушной среде потеря в весе составляет: 0,5 при 800°С; 1,5 при 900°С; 14 при 1000°С; 24 при 1100°С; 50 г/м<sup>2</sup>час при 1200°С.

### Физические свойства

$$d=7,74 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 10,2$  (20—100°); 11,1 (20—200°); 11,5 (20—300°); 12 (20—400°); 12,4 (20—500°); 12,6 (20—600°); 12,9 (20—700°); 13,2 (20—800°) 1/°С;

$\lambda^* = 0,060$  (100°); 0,062 (200°); 0,064 (300°); 0,067 (400°); 0,069 (500°) кал/см·сек·°С;

$\rho^* = 0,50$  (20°); 0,58 (100°); 0,68 (200°); 0,77 (300°); 0,85 (400°); 0,93 (500°); 1,02 (600°); 1,10 (700°) ом·мм<sup>2</sup>/м.

$c = 0,113$  (50—100°); 0,121 (100—200°); 0,130 (200—300°); 0,142 (300—400°); 0,156 (400—500°); 0,180 (500—600°); 0,202 (600—700°); 0,216 (700—750°); 0,165 (750—800°); 0,123 (800—850°) кал/г·°С.

Сталь магнитна.

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—850°С. Охлаждение после деформации медленное. Для снятия внутренних напряжений и наклепа немедленно послековки необходим отпуск при 730—780°С в течение 1—3 час, охлаждение на воздухе или отжиг при 850—900°С в течение 1—2 час, охлаждение с печью.

Рекомендуемая термическая обработка деталей или полуфабрикатов: 1) закалка с 980—1020°С на воздухе или в масле; отпуск при температуре 230—370°С в течение 1—3 час, охлаждение на воздухе (на твердость *НВ* 360—380 кг/мм<sup>2</sup>) или 2) закалка с 920—950°С на воздухе или в масле; отпуск при 540—700°С на требуемую твердость.

Для повышения износоустойчивости может быть применено азотирование.

Сталь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в речной и водопроводной воде и удовлетворительной стойкостью в азотной кислоте при комнатной температуре. Наивысшая коррозионная стойкость достигается после закалки и полирования.

Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки. После сварки необходима термическая обработка по режиму: отжиг при температуре 760—780°С с последующим медленным охлаждением.

### Применение

Детали средней твердости и повышенной пластичности, работающие на удар при воздействии коррозионной среды. Детали авиационных приборов, держатели, винты, болты, гайки, небольшие шестерни, детали зацепления и лопатки компрессоров. Лопатки компрессора рекомендуется термически обрабатывать на твердость *HRC* ≤ 35. При более высокой твердости лопатки разрушаются от коррозии под напряжением.

\* По данным «Справочника машиностроения», том III, Машгиз, 1948.

<b>ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ</b>	<b>2Х13 (ЭЖ2)</b>
------------------------	-------------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Fe	S	P
					не более	
0,16—0,24	≤0,6	≤0,6	12—14	Основа	0,025	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$\frac{a_{нч}}{a_{н}}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки	МПТУ 2362—49	Отпущенные или отожженные	20	—	—	—	—	—	≥4,4
		Термически обработанные по режиму: закалка с 1050°С на воздухе или в масле; отпуск при 600—700°С, охлаждение в масле	20	85	65	10	50	6	3,9—3,3
Листы тонкие	ЧМТУ 3126—52	Отожженные при 740—780°С	20	50	—	20	—	—	—

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65 \sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_{\text{н}}$ кГ/мм <sup>2</sup> ·м/с.м <sup>2</sup>
		кГ/мм <sup>2</sup>			%		
Отожженный при 860°С	20	—	50	—	22	65	9
Термически обработанный по режиму: закалка с 1050°С на воздухе; отпуск при 500°С	20	—	125	—	7	45	5
Термически обработанный по режиму: закалка с 1020°С в масле; отпуск при 720°С	20	—	75	59	23	68	20
	200	—	67	55	15	69	25
	300	—	63	51	10	68	21
	400	—	60	50	12	65	22
	500	—	50	43	20	75	24
Термически обработанный по режиму: закалка с 1020°С на воздухе; отпуск при 720—750°С**	20	22 300	72	52	21	65	7—17
	300	20 400	55	40	18	66	20
	400	19 300	53	40	16	58	20
	450	—	49	38	17	57	24
	475	—	49	42	22	71	—
	500	18 400	44	36	26	68	25
	550	—	35	28	36	83	22

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65 \sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

\*\* По данным ЦКТИ.

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{10\,000}$
		кГ/мм <sup>2</sup>			
Термически обработанный по режиму: закалка с 1000—1020°С на воздухе; отпуск при 720—750°С	450	40	37	35	30
	500	29	27	25	20

## Пределы ползучести

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,2/2000}$	$\sigma_{0,2/5000}$
		кг/мм <sup>2</sup>		
Термически обработанный по режиму: закалка с 1000—1020°С; отпуск при 700—750°С	450	18	13	8
	475	12	8	4
	500	7	5	3

## Пределы выносливости \*

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^H$ **
		кг/мм <sup>2</sup>	
Термически обработанный по режиму: закалка с 1020—1050°С (1 час) в масле; отпуск при 700—720°С (3 часа), охлаждение на воздухе	20	37	24
	200	35	22
	300	32	20
	400	31	17
	500	24	13
Наклепанный дробью после закалки и отпуска	20	40	29
	300	36	24
	400	32	23

\* По данным ЦНИИТМАШ. Пределы выносливости при изгибе определялись на базе  $10^7$  циклов.

\*\* Радиус надреза 0,5 мм.

## Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления в воздушной среде при температурах до 700°С.

## Физические свойства

$d=7,7$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6=9,6$  (0—100°); 10,4 (0—200°); 10,6 (0—300°); 10,9 (0—400°); 11,3 (0—500°) 1/°С.  
 $\alpha \cdot 10^6=10,2$  (20—100°); 11,1 (20—200°); 11,5 (20—300°); 12 (20—400°); 12,4 (20—500°); 12,6 (20—600°); 12,9 (20—700°); 13,2 (20—800°) 1/°С.  
 $\lambda^*=0,053$  (100°); 0,056 (200°); 0,059 (300°); 0,061 (400°); 0,063 (500°) кал/см·сек·°С.

\* По данным справочника «Теплофизические свойства веществ», ГЭИ, 1956.

$c^* = 0,122$  (20—300°); 0,127 (20—400°); 0,131 (20—500°); 0,137 (20—600°) *кал/г.°С*.

$q^* = 0,64$  (20°); 0,69 (100°); 0,76 (200°); 0,83 (300°); 0,91 (400°); 0,97 (500°); 1,04 (600°); 1,08 (700°) *ом·мм<sup>2</sup>/м*.

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—900°С. Охлаждение после деформации медленное.

Межоперационную термическую обработку полуфабрикатов (отпуск для снятия наклепа) рекомендуется проводить при 730—780°С с охлаждением на воздухе. Рекомендуемая окончательная термическая обработка деталей: закалка с 980—1040°С в масле или на воздухе; отпуск при 150—370°С (на требуемую твердость).

Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки. После сварки необходима термическая обработка по режиму, указанному для межоперационной термообработки.

Обрабатываемость резанием хорошая.

Коррозионная стойкость в атмосферных условиях, в речной и водопроводной воде высокая. Наивысшая коррозионная стойкость достигается после термической обработки и полирования.

### Применение

Карбюраторные иглы, втулки, шестерни авиационных приборов, детали аппаратуры для непосредственного впрыскивания топлива. Лопатки компрессора при твердости стали  $HRC \leq 35$ . При более высокой твердости лопатки компрессора разрушаются от коррозии под напряжением.

---

\* По данным справочника «Теплофизические свойства веществ», ГЭИ, 1956.

<b>ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ</b>	<b>3X13 (ЭЖЗ)</b>
--	-------------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Fe	S	P
					не более	
0,25—0,34	≤0,6	≤0,6	12—14	Основа	0,025	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кГ/мм <sup>2</sup>	$\delta^*$ %	НВ (d мм)
Прутки	МПТУ 2362—49	Отпущенные или отожженные	20	—	—	≥4,2
		Термически обработанные по режиму: закалка с 1000—1050°С на воздухе или в масле; отпуск при 200—300°С	20	—	—	HRC ≥48
Листы тонкие	ЧМТУ 3126—52	Отожженные при 740—780°С	20	50	18	—

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65 \sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$a_n$ кГ·м/см <sup>2</sup>	НВ
		кГ/мм <sup>2</sup>			%			
Отожженный. Полный отжиг при 870—900°С (1—2 часа), охлаждение до 600°С со скоростью 15—25°С в час	20	—	68	42	25	60	—	155—180 (81 HRB)



								Продолжение	
Состояние материала	Температура испытания °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$a_{ch}$ кг/мм <sup>2</sup>	НВ	
		кг/мм <sup>2</sup>			%				
Отожженный. Промежуточный отжиг при 760°С (2—6 час), охлаждение на воздухе	20	—	72	55	22	55	—	205—225 (86—92 HRB)	
Закаленный с 980—1050°С	20	—	—	—	—	—	—	530—560 (53—56 HRC)	
Закаленный и отпущенный при 150—370°С (2 часа)	20	—	175*	155*	8*	4*	—	470—530 (48—53 HRC)	
Нормализованный при 1000°С и отпущенный при 650°С**	20	22 350	96	71	16	52	5,5	—	
	200	21 400	83	67	14	57	13,0	—	
	300	20 600	79	64	13	53	12,5	—	
	400	20 000	72	58	12	52	16,0	—	
	450	—	—	—	—	—	17,0	—	
	500	18 500	62	54	14	54	16,5	—	
	550	—	54	49	16	69	16,0	—	
600	17 400	46	42	21	80	16,0	—		

\* Средние показатели свойств.

\*\* По данным ЦКТИ.

#### Релаксационная стойкость при температуре 450°С

Начальное напряжение кг/мм <sup>2</sup>	Остаточное напряжение в кг/мм <sup>2</sup> за время в часах					
	25	100	500	1000	2000	3000
25	14	13	10	9,5	8,6	6,8
20	12	11	9,4	8,6	7,5	6,4
15	9,1	8,2	7,2	6,3	5,4	4,6

#### Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления при температурах до 750°С.

## Физические свойства

$d=7,74 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^5=10,2 (20-100^\circ); 11,1 (20-200^\circ); 11,5 (20-300^\circ); 12 (20-400^\circ); 12,4 (20-500^\circ); 12,6 (20-600^\circ); 12,9 (20-700^\circ); 13,2 (20-800^\circ) 1/^\circ\text{C}$ .  
 $\lambda^*=0,060 (100^\circ); 0,061 (200^\circ); 0,061 (300^\circ); 0,061 (500^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C}$ .  
 $\rho^*=0,52 (20^\circ); 0,59 (100^\circ); 0,68 (200^\circ); 0,77 (300^\circ); 0,85 (400^\circ); 0,93 (500^\circ); 1,01 (600^\circ); 1,09 (700^\circ) \text{ ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ .  
 $c=0,113-0,117 (50-100^\circ); 0,120 (100-200^\circ); 0,129 (200-300^\circ); 0,139 (300-400^\circ); 0,156 (400-500^\circ); 0,179 (500-600^\circ); 0,210 (600-700^\circ); 0,237 (700-750^\circ); 0,187 (750-800^\circ); 0,157 (850-900^\circ) \text{ кал/г } ^\circ\text{C}$ .

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—900°С. Охлаждение после деформации медленное.

Рекомендуемая термическая обработка деталей: закалка с 980—1040°С на воздухе или в масле; отпуск при температуре 150—370°С (на требуемую твердость).

Межоперационную термообработку полуфабрикатов рекомендуется проводить при температуре 730—780°С в течение 2—6 час с охлаждением на воздухе.

Сваривается сталь плохо; после сварки детали следует немедленно подвергать термической обработке.

## Применение

Пружины, предназначенные для работы при температурах до 300—350°С, и другие детали, работающие при высоких напряжениях.

\* По данным справочника «Теплофизические свойства веществ», ГЭИ, 1956.

<b>ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ</b>	<b>4X13 (ЭЖ4)</b>
------------------------	-------------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	С	Fe	S	P
					не более	
0,35—0,44	≤0,6	≤0,6	12—14	Основа	0,025	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полу-фабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кГ/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %	НВ (d мм)
Прутки	МПТУ 2362—49	Отпущенные или отожженные	20	—	—	≥4
		Закаленные с 1050—1100°С в масле и отпущенные при 200—300°С	20	—	—	≥50HRC
Листы тонкие	ЧМТУ 3126—52	Отожженные при 740—780°С	20	60	15	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	НВ
		кГ/мм <sup>2</sup>			%		
Закаленный с 1050°С и отпущенный при 200°С	20	—	168	140	4	8	>500 (≥52 HRC)
То же, но отпущенный при 510°С	20	—	170	142	9	20	≥480 (≥50 HRC)

Состояние материала	Температура испытания °С	Продолжение					
		$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	HB
		кг/мм <sup>2</sup>			%		
Отожженный. Полный отжиг при 870—900°С (1—2 часа), охлаждение со скоростью 15—25°С в час до 600°С	20	—	68	42	25	60	155—185 (≥91 HRB)
Отожженный при 760°С (2—6 часа), охлаждение на воздухе	20	—	72	55	22	55	205—225
Закаленный с 1030—1050°С на воздухе	20	—	—	—	—	—	(51—52 HRC)
То же, но отпущенный при 530°С (2 часа)	20	21 900	—	—	—	—	(39—40 HRC)
	100	21 400	—	—	—	—	—
	200	20 600	—	—	—	—	—
	300	19 800	—	—	—	—	—
	400	18 800	—	—	—	—	—
	500	17 600	—	—	—	—	—
	600	16 300	—	—	—	—	—
	700	14 800	—	—	—	—	—
	800	14 000	—	—	—	—	—

## Физические свойства

$$d=7,72 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=10,2$  (20—100°); 11,1 (20—200°); 11,5 (20—300°); 12 (20—400°); 12,4 (20—500°); 12,6 (20—600°); 12,9 (20—700°); 13,2 (20—800°) 1/°С.

$\lambda=0,069$  (20°); 0,067 (100°); 0,070 (200°); 0,070 (300°); 0,070 (400°); 0,069 (500°); 0,068 (600°); 0,067 (700°) кал/см·сек·°С.

$\rho=0,59$  (20°); 0,65 (100°); 0,71 (200°); 0,79 (300°); 0,86 (400°); 0,94 (500°); 1,00 (600°); 1,08 (700°) ом·мм<sup>2</sup>/м.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Вследствие склонности стали к растрескиванию при горячей обработке рекомендуется производить медленный ступенчатый нагрев. Температурный интервал деформации 1150—900°С. Охлаждение после деформации медленное.

Рекомендуемая термическая обработка\*: закалка с 980—1050°С (время выдержки при этой температуре 15—30 мин) в подогретом масле или на воздухе (HRC 53—56). Немедленно после закалки, во избежание самопроизвольного растрескивания, детали в зависимости от требуемой твердости подвергают отпуску по следующему режимам:

\* Термическая обработка по указанному режиму дала лучшие результаты, чем закалка с 1100°С (т. е. с верхнего предела температуры закалки).

а) для снятия напряжений: нагрев в течение 1—2 час при 150—370°С с охлаждением на воздухе или в воде (*HRC* 48—53);

б) для облегчения механической обработки: нагрев в течение 1—4 час при 600—700°С;

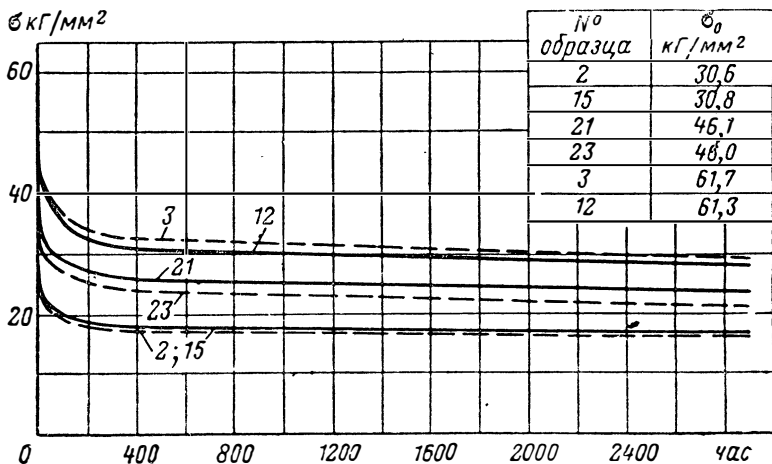
в) промежуточный (высокий) отпуск: нагрев в течение 2—6 час при 735—790°С с охлаждением на воздухе или в воде (*HV* 205—225);

г) полный отжиг: нагрев в течение 1—2 час при 870—900°С, медленное охлаждение с печью (со скоростью 15—25° в час) до 540—650°С и далее на воздухе или в воде (*HV* 155—180).

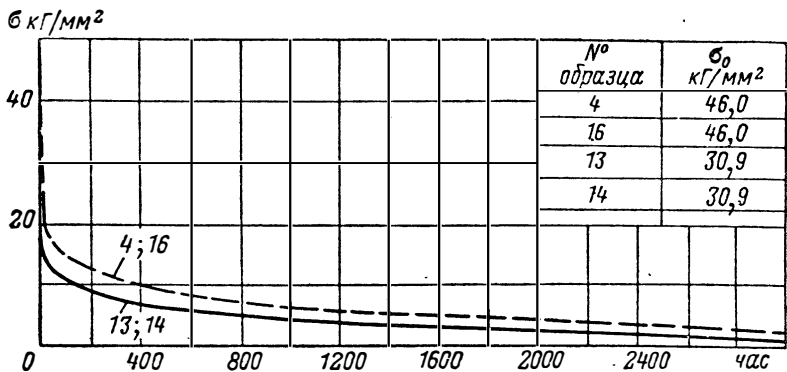
Подвергать детали травлению следует после отпуска для снятия напряжений.

### Применение

Детали высокой твердости, работающие на износ при больших механических нагрузках, а также в условиях релаксации (нержавеющие пружины, болты, пальцы, штуцеры, оси и подшипники приборов и т. п.).



Фиг. 1. Кривые релаксации стали 4X13 при температуре 410°С (образцы, закаленные с 1050°С в масле и отпущенные при 550°С в течение 10 час).



Фиг. 2. Кривые релаксации стали 4X13 при температуре 470°С (образцы, закаленные с 1050°С в масле и отпущенные при 550°С в течение 10 час).

**ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ****9X18 (X18, ЭИ229)****Химический состав в %**

С	Si	Mn	Cr	Fe	S	P
					не более	
0,9—1,0	≤0,8	≤0,7	17—19	Основа	0,025	0,030

**Механические свойства по ТУ (не менее)**

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	Темпе- ратура испыта- ния °С	НВ	
				кг/мм <sup>2</sup>	d мм
Прутки горячека- танные	МПТУ 2362—49	Отпущенные или ото- жженные	20	269	3,7
		Закаленные с 1010— 1040°С в масле и отпу- щенные на требуемую твердость*	20	—	55 (HRC)

**Механические свойства при комнатной температуре**

Состояние материала	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	HRC
	кг/мм <sup>2</sup>		%		
Закаленный с 1010—1065°С в масле или на воздухе	—	—	—	—	60—62
Закаленный и отпущенный при 150—370°С	~200	~190	2	10	55—60
Отожженный. Промежуточ- ный отжиг при 730—790°С (2—6 час)	88	77	12	25	22—27
Отожженный. Полный от- жиг при 885—920°С (1—2 час)	77	42	15	30	95—99 (HRB)

Примечание. После отпуска в интервале температур 450—600°С сталь обладает наименьшим сопротивлением удару. Нагрев под закалку выше 1060°С вызывает рост зерна и снижает вязкость стали. Оптимальное сочетание вязкости и твердости достигается отпуском при температуре ниже 425°С.

**Физические свойства**

$d=7,75 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6=11,8 \text{ (20—100}^\circ\text{); } 12,3 \text{ (20—200}^\circ\text{); } 12,7 \text{ (20—300}^\circ\text{); } 13,1 \text{ (20—400}^\circ\text{); } 13,4 \text{ (20—500}^\circ\text{) } 1/^\circ\text{C.}$   
 $\alpha \cdot 10^6=12,8 \text{ (100—200}^\circ\text{); } 13,6 \text{ (200—300}^\circ\text{); } 14,4 \text{ (300—400}^\circ\text{); } 14,6 \text{ (400—500}^\circ\text{) } 1/^\circ\text{C.}$   
 $\lambda=0,058 \text{ (20}^\circ\text{) кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C.}$   
 $\epsilon=0,115 \text{ (20—100}^\circ\text{) кал/г}\cdot^\circ\text{C.}$   
Сталь магнитна.

**Технологические данные**

Сталь деформируется в горячем состоянии с небольшим обжатием. Нагрев под деформацию необходимо производить медленно. Температурный интервал деформации 1130—950°С. Охлаждение после деформации медленное.

Рекомендуемая термическая обработка деталей: закалка с 1010—1070°С в масле или на воздухе и последующий низкий отпуск на требуемую твердость.

Сталь сваривается плохо, резанием обрабатывается удовлетворительно.

**Применение**

Детали высокой твердости, работающие на износ в условиях влажной атмосферы (нержавеющие шарикоподшипники и обоймы подшипников, втулки, детали насосов и т. п.).

---

\* После термической обработки по режиму: закалка с 1050°С (выдержка 45 мин) в масле, отпуск при 425°С (выдержка 1 час), охлаждение на воздухе.

**ХРОМОНИКЕЛЬВОЛЬФРАМОВАЯ  
АЗОТИРУЕМАЯ СТАЛЬ**
**25X18H8B2 (ЭИ946)**
**Химический состав в %**

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Fe	S	P
							не более	
0,21—0,28	0,3—0,8	≤0,7	17—19	7,5—8,5	2,0—2,5	Основа	0,030	0,030

**Механические свойства по ТУ (не менее)**

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\frac{\sigma_H}{\sigma_B}$ кг/мм <sup>2</sup>	$\frac{H_B}{H_V}$ (д.мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки диаметром 120 мм	ЧМТУ	Отожженные при 820°С (2 часа) и охлажденные на воздухе	20	78	35	20	35	6	3,5
	ЦНИИЧМ 433—61								

**Механические свойства при различных температурах**

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_5$	$\psi$
		кг/мм <sup>2</sup>			%	
Отожженный при 820°С (2 часа) и охлажденный на воздухе	20	95	45	40	15	40
	200	70	45	40	15	50
	300	69	45	40	15	50
	400	61	45	40	15	44
	500	57	44	38	17	48
	600	51	37	37	16	50
	—40	—	—	—	—	—
	—70	—	—	—	—	—
	—196	—	—	—	—	—



Продолжение

Состояние материала	Температура испытания °С	<i>G</i>	$\tau_B$	$\tau_{0,3}$	$\tau_{пл}$	$a_H$ кг·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_{100}$	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^H$
		кг/мм <sup>2</sup>					кг/мм <sup>2</sup>		
Отожженный при 820°С (2 часа) и охлажденный на воздухе	20	7500	100	36	21	8	—	38	34
	200	—	—	—	—	—	—	—	—
	300	—	—	—	—	—	—	—	—
	400	5600	60	30	18	—	50	—	—
	500	—	—	—	—	—	—	—	—
	600	—	—	—	—	—	23	—	—
	—40	—	—	—	—	5,5	—	—	—
	—70	—	—	—	—	4,3	—	—	—
	—196	—	—	—	—	2	—	—	—

Твердость и толщина азотированного слоя в зависимости от режима азотирования

Температура азотирования °С	Продолжительность азотирования час	Толщина мм	Твердость HV
560	24	0,12—0,14	950—1000
560	40	0,16—0,20	900—950
560	48	0,18—0,22	900—950
600	24	0,12—0,16	900—950
600	48	0,20—0,24	800—850

Твердость азотированного слоя в зависимости от температуры: HRC 68 (20°С); 66 (200°С); 63 (300°С); 60 (400°С); 58 (500°С); 46 (600°С).

Износостойкость и коэффициент трения азотированной стали при повышенных температурах \*

Температура °С	Весовой износ мг·10 <sup>-3</sup> /кг·м	Коэффициент трения
200	0,90	0,60
300	0,60	0,60
500	0,30	0,40
600	0,90	0,20

\* Испытания проводились на машине трения ИМаш АН СССР.

## Физические свойства

$$d = 7,98 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 15,1$  (20—100°); 15,7 (20—200°); 16,3 (20—300°); 16,8 (20—400°); 17,1 (20—500°); 17 (20—600°); 17,1 (20—700°); 17,5 (20—800°); 18 (20—900°); 18,4 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,035$  (25°); 0,038 (100°); 0,042 (200°); 0,047 (300°); 0,051 (400°); 0,055 (500°); 0,060 (600°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1180—900°С. Охлаждение после деформации медленное.

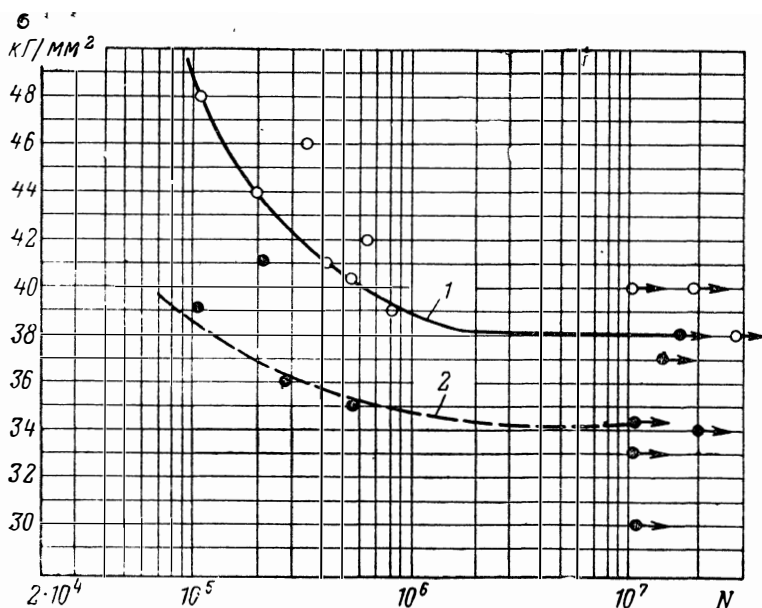
Рекомендуемая термическая обработка: отжиг при температуре 820°С в течение 2 час, охлаждение на воздухе.

Режим азотирования выбирается в зависимости от требуемых твердости и толщины азотированного слоя. При работе деталей во влажной атмосфере или в воде азотированный слой сошлифовывается на глубину 0,03 мм.

Сталь обрабатывается резанием.

## Применение

Азотируемые детали, работающие на износ во влажной атмосфере при температурах до 500°С, в том числе детали топливной аппаратуры (втулки, поршни, клапаны, гильзы), детали РД, работающие на износ, клапаны судовых дизелей и др.



Фиг. 1. Кривые выносливости стали 25X18H8B2 при комнатной температуре (испытание при консольном изгибе).

1—образцы гладкие, 2—образцы с надрезом.

## ХРОМОНИКЕЛЬАЛЮМИНИЕВАЯ СТАЛЬ

X15N9Ю (СН-2, ЭИ904)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Al	S	P
						не более	
0,05—0,09	≤0,8	≤0,8	14,0—15,7	7,0—9,4	0,7—1,3	0,020	0,035

## Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$a_n, \text{кг}\cdot\text{м}/\text{см}^2$
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки, поковки	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: закалка с 975°С на воздухе или в воде; обработка холодом при -70°С в течение 2 час; старение при 425°С (1 час)	20	≥120	≥90	≥12 ( $l=5d$ )	≥45	≥4
	ЦНИИЧМ 194—59							
Листы толщиной 0,8—2,0 мм, шириной 1000—1150 мм, длиной до 5 м	ЧМТУ	Мягкие, в состоянии поставки после нормализации (без дополнительной термической обработки)	20	≤115	≤35	≥20 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
	ЦНИИЧМ 27—58							
		Мягкие, после нормализации (после дополнительной термической обработки)	20	≥130	≥105	≥10 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
		Полунагартованные (после дополнительной термической обработки)	20	≥120	≥95	≥15 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
	Нагартованные (после дополнительной термической обработки)	20	≥140	≥115	≥8 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—	

Продолжение								
Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$\varphi_{ц}$ , кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup> .		%		
Листы толщиной 0,8—3,6 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 5881—57	Мягкие, в состоянии поставки после нормализации (без дополнительной термической обработки)	20	$\leq 115$	$\leq 35$	$\geq 20$ ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	—	—
		Мягкие после нормализации (после дополнительной термической обработки)	20	$\geq 130$	$\geq 110$	$\geq 10$ ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	—	—
		Полунагартованные (после дополнительной термической обработки)	20	$\geq 125$	$\geq 110$	$\geq 15$ ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	—	—
		Нагартованные (после дополнительной термической обработки)	20	$\geq 140$	$\geq 130$	$\geq 8$ ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	—	—
Ленты толщиной 0,1—1,2 мм, шириной до 400 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 1113—64	Мягкие, в состоянии поставки после нормализации (без дополнительной термической обработки)	20	$\leq 115$	$\leq 45$	$\geq 20$ ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
		Мягкие, после нормализации (после дополнительной термической обработки)	20	$\geq 120$	$\geq 95$	$\geq 9$ ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
		Полунагартованные (после дополнительной термической обработки)	20	$\geq 120$	$\geq 105$	$\geq 12$ ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
		Нагартованные (после дополнительной термической обработки)	20	$\geq 130$	$\geq 120$	$\geq 8$ ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
Профили горяче-прессованные	СТУ 17-24—59	Нагартованные растяжкой (после дополнительной термической обработки)	20	110—140	$\geq 90$	$\geq 6$ ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$ %	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>				
Закаленный с 1050° С на воздухе	20	—	85— 110	—	—	—
	300	—	46	—	—	—
	400	—	45	—	—	—
	500	—	43	—	—	—
Термически обработанный по режиму: закалка с 950° С (для листов, ленты) или с 975° С (для прутков, поковок) на воздухе или в воде; обработка холодом при —70° С в течение 2 час; старение при 375° С (1 час)	20	19 500	110	98	16	—
	200	—	100	88	10	100
	300	—	95	83	10	95
	400	—	91	78	10	—
	500	16 000	72	50	12	—
То же, но старение при 425° С (1 час)	20	—	125	102	12	—
	200	—	109	90	8	109
	300	—	103	85	8	103
	400	—	100	80	8	≥80
	500	—	74	50	12	—
Полунагартованный; старение при 480° С (1 час)	20	—	110	85	24	—
	200	—	94	78	8	94
	300	—	92	76	6	92
	400	—	88	74	6	88
	500	—	78	55	10	—
Нагартованный; старение при 480° С (1 час)	20	—	140	115	8	—
	200	—	120	98	6	120
	300	—	115	95	4	115
	400	—	110	90	6	110
	500	—	95	70	10	—

Предел выносливости листового материала при симметричном закономерном изгибе составляет  $\approx 0,38 \sigma_B$ .

## Механические свойства при низких температурах

(Пруток диаметром 22 мм)

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>		%		
Термически обработанный по режимам: 1) закалка с 975°С; обработка холодом при -70°С в течение 2 час 2) закалка с 1050°С 3) закалка с 975°С; обработка холодом при -70°С в течение 2 час; старение при 300°С (1 час) 4) закалка с 975°С; обработка холодом при -70°С в течение 2 час; старение при 450°С (1 час)	20	117	67	19	58	8
	-70	141	69	19	57	7
	-196	182	104	21	55	5,5
	20	101	38—40	26	60	—
	-70	128	96	22	60	—
	-196	183	53	26	56	—
	20	115	94	23	61	8
	-70	146	103	22	58	7
	-196	175	113	23	55	5,5
	20	125	110	20	56	7
	-70	153	122	21	51	6
	-196	191	149	10	16	1,5

## Пределы секундной прочности

Вид полуфабриката	Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{10^*}$	$\sigma_{60^*}$	$\sigma_{120^*}$	$\sigma_{180^*}$	$\sigma_{300^*}$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Листы	Полунагартованные и состаренные при 480°С (1 час) ( $\sigma_B^{20}=120$ кг/мм <sup>2</sup> )	350	95	—	—	—	94
		400	90	—	—	—	89
		450	85	—	—	—	84
		500	82,5	80,5	80	79,5	79
		550	69	62,5	58	55	52

**Прочность сварных соединений листов (толщиной 1 мм)  
в зависимости от вида сварки \***

Вид сварки	Свойство	Состояние материала		
		после сварки, без термической обработки		после сварки и термической обработки**
		20°	350°	
Аргоно-дуговая	$\sigma_B$ в кг/мм <sup>2</sup> (не менее)	85	45	110
Роликовая	$\sigma_B$ в кг/мм <sup>2</sup> (не менее)	95	60	—
Точечная	Разрушающая нагрузка на сварную точку диаметром 5 мм в кг	1200	750	—

\* При применении усиливающих накладок, прихваченных к основному материалу точечной сваркой, прочность выполненного аргоно-дуговой сваркой соединения составляет как при комнатной, так и повышенных температурах 85% предела прочности основного материала.

\*\* Нормализация с 975°С; обработка холодом при -50-;-70°С в течение 2-4 час; старение при 400°С (1 час).

**Физические свойства**

$d=7,75$  г/см<sup>3</sup> (мягкий материал).

$d=7,66$  г/см<sup>3</sup> (упрочненный материал).

$\alpha \cdot 10^6=10,3$  (20-100°); 11,9 (20-200°); 12,2 (20-300°); 12,5 (20-450°); 12,7 (20-500°) 1/°С.

$\lambda=0,038$  (25°); 0,040 (100°); 0,043 (200°); 0,046 (300°); 0,049 (400°); 0,052 (500°); 0,053 (600°); 0,053 (700°); 0,055 (800°); 0,058 (900°) кал/см·сек·°С.

$c^*=0,11$  (100°); 0,12 (200°); 0,14 (300°); 0,15 (400°); 0,175 (500°); 0,20 (600°); 0,185 (700°); 0,165 (800°) кал/г·°С.

Степень черноты (для травленной поверхности): 0,19 (100°); 0,2 (200°); 0,21 (300°); 0,22 (400°); 0,23 (500°).

**Магнитные свойства**

Вид полуфабриката	Состояние	Магнитное насыщение ( $4\pi I_s$ ) гс
Листы	Мягкие (после закалки с 1050°С)	500-2000
	Упрочненные (после закалки с 950°С, обработки холодом и старения)	9000-13000
	Полунагартованные	6000-10000
	Нагартованные	10000-13000

\* После термической обработки по режиму: закалка с 950°С; обработка холодом при -70°С в течение 2 час; старение при 500°С - 1 час.

## Технологические данные

Сталь в процессе выплавки контролируется по фазовому составу магнитным методом. Для уменьшения содержания газовых и неметаллических включений и повышения пластических свойств в поперечном направлении сталь рекомедуется переплавлять в вакуумных дуговых печах с расходуемым электродом.

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—850° С. Охлаждение после деформации заготовок сечением более 150 мм медленное.

Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Состояние материала	Вытяжка		Гибка (при линии изгиба вдоль прокатки) радиусгиба
	$K_{пр}$	$K_{раб}$	
Мягкий (после закалки с 1050° С)	2,04	1,80—1,85	(1,5—2,0) S*
Термически обработанный по режиму: закалка с 950—975°; обработка холодом при —70° в течение 2 час	1,86	1,62—1,72	(2,0—4,0) S*
Полунагартованный	1,95	1,75—1,80	(2,0—4,0) S*
Нагартованный	1,85	1,60—1,70	(4,0—7,0) S*

\* S — толщина листа.

Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки.

## Термическая обработка

I. Для смягчения листового материала между операциями холодной штамповки: закалка с 1050° С (выдержка 2 мин+1 мин на 1 мм толщины) на воздухе.

II. Для улучшения обрабатываемости резанием: отжиг при 760° С, выдержка 2 часа, охлаждение на воздухе до комнатной температуры; отжиг при 650° С — 2 часа, охлаждение на воздухе.

III. Для упрочнения деталей и узлов, изготовленных из мягких листов, лент, прессованных профилей, прутков и поковок:

1. Закалка на аустенит с охлаждением на воздухе (при толщине детали менее 8 мм) или в воде (при толщине детали более 8 мм). Температура закалки для деталей, изготовляемых из прутков и поковок, должна быть 975—1000° С, время выдержки 10 мин+1 мин на 1 мм толщины; для деталей, изготовляемых из листов, лент и прессованных профилей — 950÷975° С, время выдержки 2 мин+1 мин на 1 мм толщины.

2. Обработка холодом при температуре —70° С с выдержкой в течение 2 час или при температуре —50° С с выдержкой в течение 4 час.

Перед обработкой холодом не допускаются нагрев деталей до 100—550° С и длительное воздействие пониженных температур (от 0 до —40° С), а также малые пластические деформации. После обработки холодом размеры заготовки по сравнению с закаленной увеличиваются на 4 мм/м для листового материала и на 2—3 мм для пруткового материала.

3. Старение при температурах 350—500° С с выдержкой в течение 1 часа,



охлаждение на воздухе. Для получения максимальной ударной вязкости и коррозионной стойкости старение рекомендуется проводить при возможно более низкой температуре. Если при первом старении твердость получается недостаточной, следует проводить повторное старение при более высокой температуре.

Для получения различного уровня прочности рекомендуются следующие температуры старения:

350—375°С для  $\sigma_b \geq 110$  кг/мм<sup>2</sup>;

400°С для  $\sigma_b \geq 120$  кг/мм<sup>2</sup>;

425°С для  $\sigma_b \geq 125$  кг/мм<sup>2</sup>.

Повышать температуру старения более 425°С можно только в тех случаях, когда не достигается заданный предел прочности. Если после первого старения не получена требуемая прочность, температуру повторного старения по сравнению с первым можно повысить на 30°С при разрыве в значениях  $\sigma_b$  5 кг/мм<sup>2</sup>, на 50°С при разрыве в 5—10 кг/мм<sup>2</sup>; на 75—125°С (но не превышая 500°С) при 10—15 кг/мм<sup>2</sup>. В процессе старения размеры деталей практически не изменяются.

IV. Для упрочнения деталей и узлов, изготавливаемых из полунагартованных и нагартованных листов, лент и прессованных профилей: старение при температуре 480°С с выдержкой в течение 1 часа, охлаждение на воздухе. Прочностные свойства ( $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$ ) деталей, изготовленных из полунагартованных листов и лент, можно повысить на 15—20 кг/мм<sup>2</sup> обработкой холодом перед старением.

V. Элементы сварных деталей и узлов, не подвергающиеся термической обработке после сварки, проходят полный цикл упрочняющей термической обработки или старение до сварки.

Термическая обработка сварных деталей и узлов после сварки проводится по режимам, применяемым для деталей, изготавливаемых из прутков и поковок; обработка этих деталей ведется на  $\sigma_b = 110—130$  кг/мм<sup>2</sup>.

VI. После полной упрочняющей термической обработки при температуре старения 350°С сталь обладает наиболее высокой коррозионной стойкостью. После старения при температурах выше 425°С коррозионная стойкость стали значительно снижается, и сталь становится склонной к межкристаллитной коррозии.

Для защиты от коррозии сварные детали окрашивают, несварные — пассивируют. Наиболее высокой коррозионной стойкостью обладают детали после полирования и пассивирования или электрополирования.

### Применение

Обшивки и детали внутреннего набора изделий, работающих кратковременно при температурах до 500°С в контакте с топливом и в атмосферных условиях с соответствующей защитой от коррозии.

Несвариваемые детали, а также сварные детали, подвергающиеся термической обработке и термически не обрабатываемые после сварки, работающие кратковременно при температурах до 500°С и длительно до 400°С.

## ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВАЯ СТАЛЬ

X17H5M3 (СН-3, ЭИ925)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
						не более	
0,06—0,10	≤0,7	≤0,7	16,0—17,5	4,5—5,5	3,0—3,5	0,020	0,035

## Механические свойства по ТУ

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (кон- трольные образцы)	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%		
Листы толщиной 0,8—4,0 мм	ЧМТУ 5781—57	В состоянии по- ставки	95	35	15 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
		Термически обра- ботанные по режи- му: закалка с $950 \pm$ $\pm 10^\circ\text{C}$ на воздухе; обработка холодом при $-70^\circ\text{C}$ в тече- ние 2 час; старение при $450 \pm 10^\circ\text{C}$ (1 час)	120	85	8 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
Листы толщиной 1—4 мм и шириной 1000 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 317—60	Нормализованные с $1050 \pm 20^\circ\text{C}$	≤120	≤48	20 ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	—	—
		Термически обра- ботанные по режи- му: закалка с $940 \pm$ $\pm 10^\circ\text{C}$ на воздухе или в воде; обработка холодом при $-70^\circ\text{C}$ в течение 2 час; ста- рение при $450 \pm 10^\circ\text{C}$ (1 час)	≥120	≥80	8 ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	—	—
Листы толщиной 8—11 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 325—60	Нормализованные с $1050 \pm 20^\circ\text{C}$	≤120	≤60	18 ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	—	—
		Термически обра- ботанные по режиму: нормализация или закалка с $940^\circ\text{C}$ в	≥120	≥80	8 ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	—	—

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (кон- трольные образцы)	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$\frac{a_{CH}}{kT} \cdot \frac{M}{C \cdot M^2}$
			$kT/мм^2$	%			
		воде; обработка хо- лодом при $-70^\circ C$ в течение 2 час; ста- рение при $450^\circ C$ (1 час)					
Прутки и поковки	ЧМТУ	Нормализованные с $1050 \pm 10^\circ C$	$\geq 100$	$\leq 45$	20 ( $l=5 d$ )	55	—
	ЦНИИЧМ 194—59	Термически обра- ботанные по режи- му: нормализация с $950 \pm 10^\circ C$ ; обработ- ка холодом при $-70^\circ C$ в течение 2 час; старение при $450^\circ C$ (1 час)	$\geq 120$	$\geq 85$	12 ( $l=5 d$ )	50	6
Лента толщиной 0,1—1,2 мм	ЧМТУ	Нормализованная с $1050 \pm 10^\circ$	$\leq 115$	$\leq 45$	15 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
	ЦНИИЧМ 1113—64	Термически обра- ботанная по режи- му: нормализация с $950 \pm 10^\circ$ ; обработка холодом при $-70^\circ$ в течение 2 час; ста- рение при $450 \pm 10^\circ$ (1 час)	$\geq 120$	$\geq 90$	9 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
		Полунагартован- ная (старение при $450 \pm 10^\circ C$ в течение 1 часа)	$\geq 115$	$\geq 95$	10 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
		Нагартованная (старение при $450 \pm$ $10^\circ$ в течение 1 ча- са)	$\geq 125$	$\geq 110$	7 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{11,3V}^F$ %
			кг/мм <sup>2</sup>			
Листы	Термически обработан- ные по режиму: нормали- зация с 950° С; обработка холодом при -70° С в те- чение 2 час; старение при 450° С (1 час)	20	19 000	120	85	8
		400	—	110	85	—
		450	16 000	105	80	7
		500	—	95	65	—
		550	—	70	50	10
		600	—	50	40	—

## Пределы секундной прочности

Вид полу- фабри- ката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Листы	Нагартованные и от- пущенные при 450° С (1 час) ( $\sigma_B^{20} = 120$ кг/мм <sup>2</sup> )	500	97	96	95	94,9	94,7
		550	75	68	66	65,8	65
		600	66	60	59	58,7	58
		700	48	43,5	42,7	42	41

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Темпе- ратура испыта- ния °С.	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,2/100}$ (по остаточной деформации)	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^H$
				на базе 10 <sup>-7</sup> циклов	
кг/мм <sup>2</sup>					
Термически обрабо- танный по режиму: нормализация с 950° С; обработка холодом при -70° С в течение 2 час; старение при 450° С (1 час)	20	—	—	47	30
	450	95	—	—	—
	500	65	21—23	45	—
	550	40	—	—	—
	600	25	—	—	—

## Физические свойства

$d^* = 7,88 \text{ з/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 10,4 (20-100^\circ); 11,4 (100-200^\circ); 12,4 (200-300^\circ); 13,4 (300-400^\circ)$   
 $14,5 (400-500^\circ); 12,1 (500-600^\circ) 1/^\circ\text{С}$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 10,9 (20-200^\circ); 11,4 (20-300^\circ); 11,9 (20-400^\circ); 12,4 (20-500^\circ);$   
 $12,4 (20-600^\circ) 1/^\circ\text{С}$ .  
 $\lambda^{**} = 0,041 (25^\circ); 0,044 (100^\circ); 0,048 (200^\circ); 0,052 (300^\circ); 0,057 (400^\circ); 0,060$   
 $(500^\circ); 0,065 (600^\circ); 0,070 (700^\circ); 0,074 (800^\circ); 0,079 (900^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{С}$ .  
 $\lambda^* = 0,038 (25^\circ); 0,041 (100^\circ); 0,045 (200^\circ); 0,049 (300^\circ); 0,053 (400^\circ); 0,057$   
 $(500^\circ); 0,060 (600^\circ); 0,064 (700^\circ); 0,068 (800^\circ); 0,073 (900^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{С}$ .  
 $c^* = 0,10 (20^\circ); 0,11 (100^\circ); 0,12 (200^\circ); 0,13 (300^\circ); 0,145 (400^\circ); 0,16$   
 $(500^\circ) \text{ кал/г}\cdot^\circ\text{С}$ .  
 $q^{**} = 0,670 \text{ ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ .  
 $q^* = 0,767 \text{ ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ .

## Коррозионные свойства

Сталь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, топливе и морской воде.

## Технологические данные

Сталь в процессе выплавки контролируется по фазовому составу магнитным методом.

Для уменьшения содержания газовых и неметаллических включений и повышения пластических свойств в поперечном направлении волокна сталь рекомендуется переплавлять в вакуумных дуговых печах с расходуемым электродом.

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1050—850°С. В связи с наличием в структуре стали δ-феррита степень деформации не должна превышать 40% за обжатие. Охлаждение после деформации заготовок сечением более 150 мм медленное. Листовой материал между операциями холодной формовки рекомендуется для смягчения подвергать нормализации с 1050±10°С. Детали и узлы, изготовленные из листа и ленты, термически обрабатывают на прочность  $\sigma_b \geq 120 \text{ кг/мм}^2$  по режиму: нормализация с 950±10°С; обработка холодом при -70°С в течение 2 час; старение при 450±10°С в течение 1 часа (для отдельных плавок разрешается температуру нормализации перед обработкой холодом снизить с 950 до 900°С или повышать с 950 до 1000°С).

Для лучшей обрабатываемости резанием рекомендуется проводить термическую обработку по режиму: отжиг при 760°С (выдержка 1 час 30 мин), охлаждение на воздухе и отпуск при 650°С (выдержка 1 час 30 мин), охлаждение на воздухе.

Сталь в мягком и упрочненном состоянии хорошо сваривается аргоно-дуговой (ручной и автоматической), а также контактной сваркой.

Изделия, работающие под давлением, рекомендуется изготовлять из деталей, свариваемых между собой после термической обработки мягкими кольцевыми швами. Присадочным материалом для кольцевых швов служит проволока из стали Св.08Х20Н10Г6, для термически обрабатываемых швов — из стали Х16Н6(СН-2А). Термическая обработка сварных изделий, работающих под давлением: закалка с 980°С на воздухе или в воде; обработка холодом при -70°С в течение 2 час или при -50°С в течение 4 час; отпуск при 650°С в течение 1 часа. Механические свойства таких изделий после термической обработки приведены в таблице.

\* После нормализации при 950°С, обработки холодом при -70°С в течение 2 час и старения при 450°С в течение 1 часа.

\*\* После нормализации с 1050°С.

Температура °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0.2}$	$\delta_5$ %	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
	кг/мм <sup>2</sup>			
20	95—115	≥75	≥8.	≥6
450	80	65	—	—
500	75	64	—	—
550	68	55	—	—

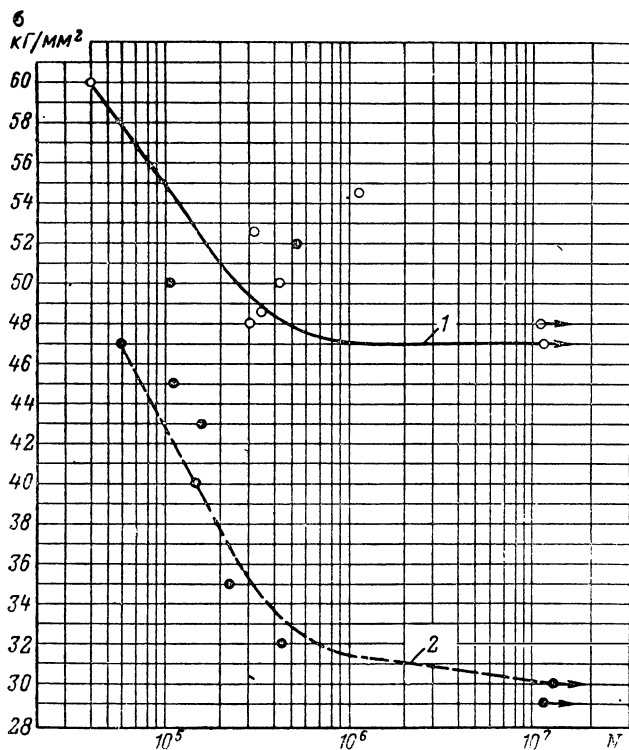
Применение прутков и поковок из стали Х17Н5М3, как правило, нецелесообразно, так как свойства этой стали в поперечном и особенно в третьем направлении понижены. Исключение может быть сделано для деталей, в которых усилие при работе направлено вдоль волокна. В связи с пониженной вязкостью сталь для литых деталей применять нецелесообразно.

Сталь хорошо паяется. В нормализованном состоянии удовлетворительно (аналогично стали Х18Н9Т) обрабатывается резанием; после отжига обрабатываемость хорошая; после обработки холодом без операции старения — аналогична стали 30ХГСА с  $\sigma_B=110-130$  кг/мм<sup>2</sup>.

### Применение

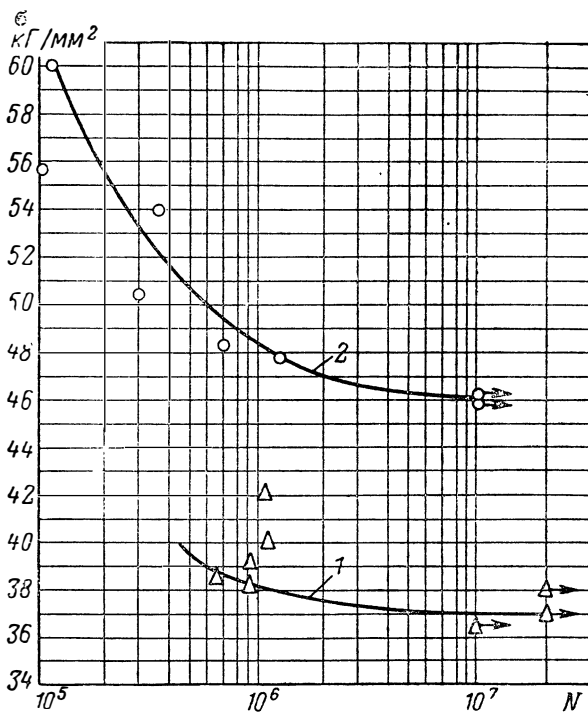
Обшивка, детали внутреннего набора, а также сварные узлы двигателей изделей, кратковременно работающих при температурах до 550°С и длительно — до 500°С.

Для механически обрабатываемых деталей, изготавливаемых из прутков и поковок, рекомендуется вместо стали Х17Н5М3 (СН-3) использовать сталь Х16Н6 (СН-2А), а для литых деталей — сталь ВНЛ-1 (СН-2АЛ).



Фиг. 1. Кривые выносливости стали X17H5M3 при комнатной температуре (испытание при изгибе).

1—образцы гладкие, 2—образцы с надрезом.



Фиг. 2. Кривые выносливости стали X17H5M3 при комнатной температуре (испытание при изгибе в одной плоскости образцов толщиной 0,9 мм;  $\sigma_{в} = 130-138$  кг/мм<sup>2</sup>).

1—образцы в состоянии поставки (мягкие), 2—образцы, термически обработанные по режиму: нормализация с 950° С, обработка холодом при -70° С в течение 2 час, старение при 450° С (1 час).



## ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

X16H6 (СН-2А, ЭП288)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
0,05—0,09	≤0,7	≤1	15,5—17,5	5—8	Основа	0,020	0,035

## Механические свойства по ТУ\* (не менее)

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	Температура ис- пытания в °С	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	a <sub>n</sub> кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки, поковки	ЧМТУ ЦНИИЧМ 1088—64	Термически обрабо- танные по режиму: за- калка с 975—1000°С в воде; обработка холо- дом при —70°С в тече- ние 2 час; отпуск при 350—425°С (1 час)	20	110	90	12	50	7
Листы горяче- катаные толщиной 5—12 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 876—63	Нормализованные или закаленные с 1040 ± 10°С	20	≤110	≤40	15	—	—
Листы горяче- катаные толщиной 6—20 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 1082—64	Термически обрабо- танные по режиму: нормализация с 975°С; обработка холодом при —70°С в течение 2 час; отпуск при 425°С (1 час)	20	110	85	10	—	—

\* Показатели механических свойств факультативны.

Продолжение								
Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	Температура ис- пытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Листы горячекатаные толщиной 2,0—4,0 мм и холоднокатаные толщиной 0,8—3,0 мм	ЧМТУ	Нормализованные или закаленные с 1050°	20	≤110	≤35	20	—	—
	ЦНИИЧМ 822—62							
Листы горячекатаные толщи- ной 3—4 мм и холоднокатаные толщиной 1—4 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 1184—64	Термически обрабо- танные по режиму: нормализация с 975° С, обработка холодом при —70° С в течение 2 час; отпуск при 350—425° С (1 час)	20	110	85	12	—	—

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабриката	Темпера- тура испы- тания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	Вид полу- фабриката	Темпера- тура испы- тания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$
		кг/мм <sup>2</sup> не менее				кг/мм <sup>2</sup> не менее	
Прутки	20	110	90	Листы	20	110	85
	450	107	85		450	95	70
	500	80	70		500	75	55
	550	55	50		550	55	50
	600	43	35		600	43	35

Механические свойства при комнатной и низких температурах

Темпе- ратура испыта- ния °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
	кг/мм <sup>2</sup>		%		
20	130	110	16	60	11,5
—70	145	120	21	60	9,5
—196	180	155	27	50	8

## Механические свойства при комнатной температуре

Состояние материала	Направление волокна в образце	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{II}$ кг·м/см <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>				
Термически обработанный по режиму: нормализация с 1000°С; обработка холодом при -70°С в течение 2 час; отпуск при 425°С (1 час)	Продольное	128,8	122,8	20,5	67,1	12,8
	Поперечное	124,3	119,9	16,9	56,8	8,2

## Физические свойства

$$d=7,80 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 11,3$  (20—100°); 12,1 (100—200°); 12,9 (200—300°); 13,6 (300—400°); 14,4 (400—500°) 1/°С.

$$\alpha \cdot 10^6 = 11,7$$
 (20—200°); 12,1 (20—300°); 12,5 (20—400°); 12,9 (20—500°) 1/°С.

$\lambda = 0,040$  (25°); 0,042 (100°); 0,045 (200°); 0,048 (300°); 0,052 (400°); 0,055 (500°); 0,059 (600°); 0,062 (700°) кал/см·сек·°С.

$c = 0,11$  (100°); 0,12 (200°); 0,13 (300°); 0,14 (400°); 0,15 (500°); 0,16 (600°); 0,17 (700°) кал/г·°С.

$$q = 0,836$$
 (20°) о.м·мм<sup>2</sup>/м.

Магнитность стали в мягком состоянии небольшая ( $4\pi I_s = 2500-3000$  гс) После полной упрочняющей термической обработки (нормализация с 1000°С; обработка холодом при -70°С в течение 2 час; отпуск при 425°С в течение 1 часа) сталь становится магнитной ( $4\pi I_s = 10\,000-13\,000$  гс).

## Технологические данные

Сталь в процессе выплавки контролируется по фазовому составу магнитным методом. Для уменьшения содержания газовых и неметаллических включений и повышения пластических свойств в поперечном направлении сталь можно переплавлять в вакуумных дуговых печах с расходуемым электродом.

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1200—800°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

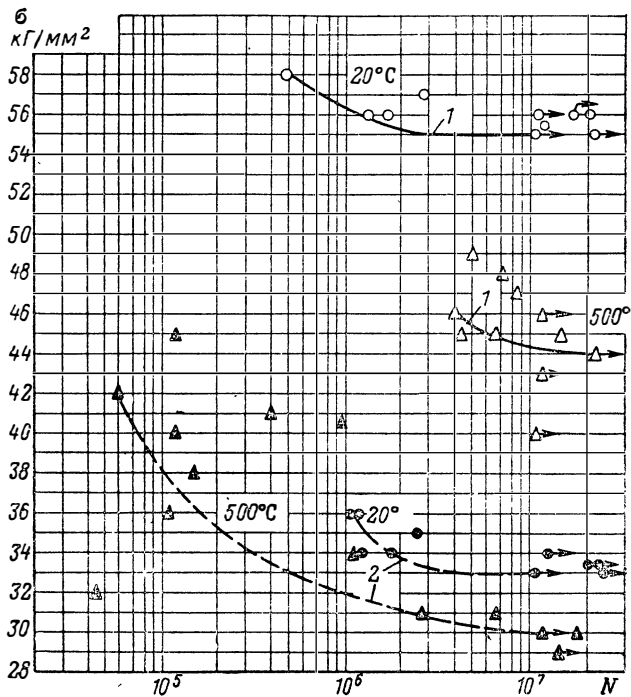
Рекомендуемая термическая обработка: закалка с 975—1000°С в воде; обработка холодом при -70°С в течение 2 час или при -50°С в течение 4 час; отпуск при 350—400°С в течение 1 часа.

Сталь хорошо сваривается аргоно-дуговой (ручной и автоматической, контактной), точечной и роликовой сваркой.

Для повышения коррозионной стойкости сварные детали, работающие в атмосферных условиях, окрашивают; несварные — пассивируют. Наиболее высокой коррозионной стойкостью обладают детали после полирования и пассивирования.

## Применение

Силовые детали, работающие длительно при температурах до 400°С и кратковременно до 500°С в контакте с топливом и в атмосферных условиях; сварные окрашиваемые детали и несварные детали, подвергаемые пассивированию, работающие в атмосферных условиях; баллоны для сжатых газов, а также паяные детали, паяемые в интервале температур 930—1200°С.



Фиг. 1. Кривые выносливости стали X16N6 при температурах 20 и 500°C (испытание при изгибе).

1—образцы гладкие, 2—образцы с надрезом.

## ХРОМОНИКЕЛЬАЛЮМИНИЕВАЯ СТАЛЬ

X15H7ЮМ2 (СН-4, ЭП35)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Mo	Fe	S	P
								не более	
0,05— 0,10	≤0,7	≤0,7	14,2— 15,8	7,0—8,5	1,2—1,8	1,6—2,4	Основа	0,02	0,03

## Механические свойства по ТУ

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (кон- трольные образцы)	Температура испытания °С	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5,65√F</sub> %
				кГ/мм <sup>2</sup>		
Листы толщиной 0,8—3,0 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 85—58	Нормализованные с 1050±20° (мягкие)	20	≤115	≤50	≥18
		Термически обра- ботанные по режи- му: нормализация с 925—950° С; обработ- ка холодом при —70° С в течение 2 час; старение при 500° С (1 час)	20	≥150	≥130	≥8
Лента толщиной 0,1—0,8 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 86—59	Нормализованная с 1050±20° С (мяг- кая)	20	≤115	≤40	≥18 (l=11,3√F)
		Термически обра- ботанная по режи- му: нормализация с 925—950° С; обра- ботка холодом при —70° С в течение 2 час; старение при 500° С (1 час)	20	≥150	≥130	≥8 (l=11,3√F)

Продолжение						
Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (кон- трольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %
				кг/мм <sup>2</sup>		
Лента толщиной 0,1—0,8 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 86—59	Полунагартован- ная после старения при 400—480° С в те- чение 1 часа	20	≥ 130	≥ 115	≥ 10
Фольга, толщиной 0,02—0,05 мм	СТУ	Нагартованная	20	—	—	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабри- ката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$ %	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,2/100}$
			кг/мм <sup>2</sup>				кг/мм <sup>2</sup>	
Листы, лента	Термически обра- ботанные по режи- му: нормализация с 950° С; обработка холодом при —70° С в течение 2 час; ста- рение при 500—520° С (1 час)	20	19 000	150	130	7,0	—	—
		250	17 200	140	120	5,0	—	—
		350	—	130	105	6,5	135	—
		400	16 200	125	100	6,5	112	75
		450	—	120	90	8,0	99	64
		500	15 300	105	75	8,5	70	38
		550	—	85	70	9,0	35	—
600	—	—	—	—	25	—		

## Пределы секундной прочности

Вид полу- фабри- ката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Листы	В состоянии поставки ( $\sigma_B^{20} = 90$ кг/мм <sup>2</sup> )	400	57	—	—	—	56,5
		500	54	—	—	—	53
		600	48	—	—	—	47
		700	38	33	30,5	30	29

		Продолжение					
Вид полу-фабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{10^*}$	$\sigma_{60^*}$	$\sigma_{120^*}$	$\sigma_{180^*}$	$\sigma_{300^*}$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Листы	Термически обработанные по режиму: закалка с 1050° С в воде; обработка холодом при -70° С в течение 2 час; отпуск при 500° С (1 час) ( $\sigma_B^{20}=150$ кг/мм <sup>2</sup> )	450	115	—	—	—	113
		500	106	—	—	—	104
		550	95	91	88	87	85
		600	66	56	51	49	46

#### Физические свойства

$d^*=7,69$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha^* \cdot 10^6=10,5$  (20—100°); 10,9 (20—200°); 11,3 (20—300°); 11,6 (20—400°); 11,9 (20—500°); 11,8 (20—600°) 1/°С.  
 $\alpha^* \cdot 10^6=11,3$  (100—200°); 12 (200—300°); 12,6 (300—400°); 13,4 (400—500°); 10,8 (500—600°) 1/°С.  
 $\lambda^*=0,038$  (25°); 0,041 (100°); 0,045 (200°); 0,049 (300°); 0,054 (400°); 0,058 (500°); 0,061 (600°) кал/см·сек °С.  
 $c^*=0,115$  (100°); 0,12 (200°); 0,13 (300°); 0,14 (400°); 0,15 (500°); 0,165 (600°) кал/г °С.  
 $c^{**}=0,10$  (100°); 0,12 (200°); 0,13 (300°); 0,145 (400°); 0,175 (500°); 0,21 (600°) кал/г °С.  
 $\rho^*=0,854$  ом·мм<sup>2</sup>/м.  
 $\rho^{**}=0,852$  ом·мм<sup>2</sup>/м.  
 Степень черноты \*\*: 0,60 (200°); 0,59 (300°); 0,60 (400°); 0,62 (500°) 0,66 (600°); 0,80 (700°).

#### Магнитные свойства

Сталь в нормализованном состоянии слабомагнитна; в упрочненном состоянии магнитна; магнитное насыщение  $4\pi I_s=14800$  гс.

#### Технологические данные

Для уменьшения содержания газовых и неметаллических включений и улучшения пластических свойств в поперечном направлении сталь рекомендуется переплавлять в вакуумных дуговых печах с расходуемым электродом.

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1050—800° С. Охлаждение после деформации на воздухе.

\* После нормализации с 1050° С.

\*\* После термической обработки по режиму: нормализация с 950° С; обработка холодом при -70° С в течение 2 час; старение при 500° С — 1 час.

## Термическая обработка

Максимальную пластичность сталь приобретает после закалки в воде или в масле с  $1050^{\circ}\text{C}$  (образуется структура аустенита и  $\delta$ -феррита). В этом состоянии сталь легко поддается штамповке, гибке, отбортовке и другим аналогичным технологическим операциям. Для смягчения листового материала между операциями холодной деформации рекомендуется проводить нормализацию с  $1030$ — $1050^{\circ}\text{C}$ .

Основной метод упрочнения стали: нормализация с  $930$ — $950^{\circ}\text{C}$ , обработка холодом при  $-70^{\circ}\text{C}$  в течение 2 час или при  $-50^{\circ}\text{C}$  в течение 4 час, старение при  $450$ — $550^{\circ}\text{C}$ .

Нагартовка с последующим старением не обеспечивает высоких механических свойств.

Высокие прочностные свойства ( $\sigma_b=190 \text{ кг/мм}^2$ ) могут быть получены после нагартовки стали, предварительно обработанной холодом.

## Сварка

Сталь хорошо сваривается ручной сваркой электродами НИАТ-6, аргодуговой, роликовой и точечной сваркой как в мягком, так и в упрочненном состоянии. При этом образуются вязкие сварные швы, термическая обработка которых после сварки не является обязательной. В качестве присадочного материала применяется проволока из стали Х17Н5М3 (СН-3). Прочность сварного соединения без последующей термической обработки при комнатной температуре составляет не менее  $90 \text{ кг/мм}^2$ , а при температуре  $450^{\circ}\text{C}$  — не менее  $60 \text{ кг/мм}^2$ . Прочность сварных соединений может быть повышена путем применения накладок, прихваченных к основному материалу точечной сваркой.

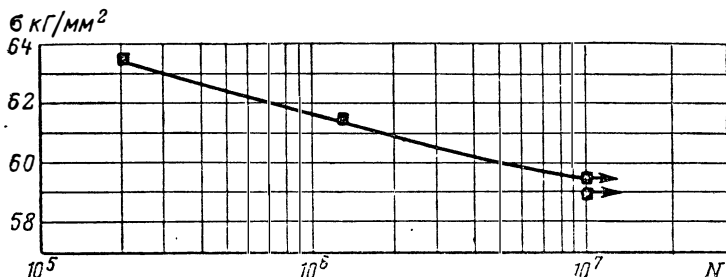
Для повышения пластичности сварного шва деталей, если их необходимо подвергать полной упрочняющей обработке после сварки, старение должно проводиться при  $600^{\circ}\text{C}$  в течение 1 часа на  $\sigma_b=125$ — $130 \text{ кг/мм}^2$ . Может быть применен также местный отпуск сварных швов при  $600^{\circ}\text{C}$ .

Для лучшей обрабатываемости резанием сталь необходимо подвергать двойному нагреву: при  $760$  и  $650^{\circ}\text{C}$  с выдержкой не менее 1,5—2 час при указанных температурах и последующим охлаждением на воздухе.

Для повышения коррозионной стойкости сварные детали окрашивают, неварные — пассивируют. Наиболее высокой коррозионной стойкостью обладают детали после полирования и пассивирования или после электрополирования.

## Применение

Обшивка и детали внутреннего набора изделий, работающие в атмосферных условиях и в контакте с топливом кратковременно при температурах до  $550^{\circ}\text{C}$  и длительно — до  $500^{\circ}\text{C}$ .



Фиг. 1. Кривая выносливости стали Х15Н7ЮМ2 при комнатной температуре (испытание при изгибе в одной плоскости образцов толщиной 1 мм;  $\sigma_b=161 \text{ кг/мм}^2$ ).



<b>ХРОМОМАНГАНЦЕВОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ С АЗОТОМ</b>	<b>X17Г9АН4 (ЭИ878)</b>
--	-------------------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	N	Fe	S		P	
							не более			
≤0,12	≤0,8	8,0—10,5	16—18	3,5—4,5	0,15—0,25	Основа	0,020	0,035		

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	Темпе- ратура испыта- ния °С	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ*	ψ
				кг/мм <sup>2</sup>		%	
Прутки горячекатаные и кованные	ЧМТУ 498—59 ГОСТ 5949—61	Закаленные с 1075— 1100° С в воде	20	70	35	45	55
	ЧМТУ ЦНИИЧМ 579—61	Закаленные с 1075— 1100° С в воде	20	70	35	45	—
То же, нагартованные		Без дополнительной термической обработки	20	100	75	80	—
Прутки и поковки	ЧМТУ	Закаленные с 1075— 1100° С в воде	20	70	35	45	55
	ЦНИИЧМ 498—61						
Листы горячекатаные, толщиной 0,8—4,0 мм и холоднокатаные не более 3,6 мм	ГОСТ 5582—61	Закаленные с 1050— 1080° С в воде или на воздухе	20	70	—	35	—
	ЧМТУ						
Листы горячекатаные толщиной 6—20 мм	ЧМТУ	Закаленные с 1075— 1100° С в воде или на воз- духе	20	70	35	45	—
	ЦНИИЧМ 1083—64						

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	Темпе- ратура испыта- ния °С	Продолжение			
				$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$
				кг/мм <sup>2</sup>		%	
Листы хо- лоднока- танные, толщиной 0,8—3,0 мм, мягкие	ЧМТУ	Закаленные с 1050— 1080°С в воде или на воздухе	20	70	35	45	—
	ЦНИИЧМ 198—59						
	То же, нагарто- ванные						
То же, осо- бо нагарто- ванные			20	120	95	10	—
Лента толщиной 0,1—1,2 мм мягкая	ЧМТУ	Закаленная с 1050— 1080°С в воде или на воздухе	20	70	35	40	—
	ЦНИИЧМ 1113—64						
	То же, на- гартован- ная						
То же, особо нагарто- ванная			20	120	95	8	—
Трубы бес- шовные хо- лоднока- танные и холоднотя- нутые, мягкие	ЧМТУ	Закаленные с 1050— 1080°С в воде или на воздухе	20	70	35	40	—
	Укр. НИТИ 355—62						
	То же, на- гартован- ные						
Кольца сварные из профи- лей	ЧМТУ ЦНИИЧМ 661—62	Закаленные с 1075— 1100°С в воде: основной металл сварной шов	70 63	35 28	45 32	55 39	— —

\* Удлинение для листов определено на образцах с расчетной длиной  $l=5,65\sqrt{F}$ , для образцов из ленты  $l=11,3\sqrt{F}$ , для сортовой стали и поковок  $l=5d$ .

## Механические свойства листов при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$
		кг/мм <sup>2</sup>			%
Закаленные с 1075°С в воде или на воздухе	20	20 000	78	39	68
	300	17 200	60	23	39
	450	—	53	20	43
	500	—	52	19	44
	600	14 900	42	18	37
	700	—	33	13	40
	800	—	23	12,5	44
Нагартованные	20	19 500	113	95	24
	300	16 800	82	69	14
	450	—	74	62	14
	500	—	72	60	13
	600	14 500	63	56	11
Особо нагартованные	20	19 500	130	112	20
	300	16 800	103	82	9
	450	—	94	74	9
	500	—	90	72	8
	600	14 500	78	66	7

## Механические свойства прутков при низких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	Образцы гладкие				Образцы* с надрезом		$a_H$ кг/мм <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_H}{\sigma_B}$
		$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\psi$ %		
		кг/мм <sup>2</sup>		%					
Закаленные с 1050°С на воздухе	20	78	—	68	70	100	23	30	1,25
	-70	114	—	50	55	145	15	28	1,20
	-196	135	—	23	22	158	3,3	15	1,02
Закаленные с 1075°С в воде	20	75	37	46	68	—	—	34	—
	-70	111	59	55	67	—	—	32	—
	-196	130	84	23	21	—	—	18	—

\* Испытания проводились на образцах диаметром в надрезе 7 мм, глубина надреза 1,5 мм, угол надреза 60°, радиус надреза  $r=0,1$  мм.

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости листов

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/300}$	$\sigma_{-1}$ (на базе $10^7$ циклов)
		кг/мм <sup>2</sup>			
Закаленные с 1075° С в воде или на воздухе	20	—	—	—	32
	400	55	—	—	32
	500	44	—	—	—
	600	25	11	13	—
	700	15	3	4	—
	800	6	1,5	1,7	8

Механические свойства сварных соединений  
(Аргоно-дуговая электросварка с присадкой стали X18H9T)

Температура испытания °C	$\sigma_B$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{-1}$ на базе $10^7$ циклов
	кг/мм <sup>2</sup>		
20	77,7	—	24,5
500	48,4	41—42	—
600	45,6	18—19	—
700	34,5	12—13	—
800	21,8	4	—

## Физические свойства

$d=7,86$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6=15,9$  (100—200°); 17,3 (200—300°); 18,7 (300—400°); 20,2 (400—500°); 21,2 (500—600°) 1/°C.  
 $\lambda=0,036$  (25°); 0,038 (100°); 0,042 (200°); 0,045 (300°); 0,048 (400°); 0,050 (500°); 0,053 (600°); 0,056 (700°); 0,058 (800°) кал/см·сек·°C.  
 $c=0,11$  (100°); 0,12 (200°); 0,125 (300°); 0,13 (400°); 0,135 (500°); 0,14 (600°); 0,145 (700°); 0,15 (800°) кал/г·°C.

Сталь не магнитна в закаленном состоянии.

## Коррозионные свойства

Сталь (основной материал и сварные соединения толщиной до 3 мм) не склонна к межкристаллитной коррозии при испытании по ГОСТ 6032—58 (методы А и АМ), но склонна к межкристаллитной коррозии после дополнительного нагрева при 650°С.

## Технологические данные

Для уменьшения содержания газовых и неметаллических включений и повышения пластических свойств в поперечном направлении сталь рекомендуется переплавлять в вакуумных дуговых печах с расходуемым электродом.

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1160—850°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Состояние материала	Вытяжка		Отбортовка		Выдавка				Гибка	
	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	плоская		сфериче- ская		$r_{мин}$	$r_{раб}$
					$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$		
Мягкий	2,10— 2,15	1,75— 1,80	1,95— 2,00	1,65— 1,70	0,25— 0,29	0,21— 0,24	0,35— 0,40	0,30— 0,35	0,55	0,7
Нагартованный	1,96— 2,05	1,65— 1,70	—	—	—	—	—	—	0,75	1
Особо нагартованный	1,85— 1,90	1,57— 1,65	1,5— 1,6	1,30— 1,35	—	—	—	—	2	3

При штамповке нагартованного металла во избежание растрескивания, штампованную деталь следует подвергать отпуску при температуре 400°С в течение 1 часа.

Рекомендуемая термическая обработка: закалка с 1050—1100°С в воде или на воздухе.

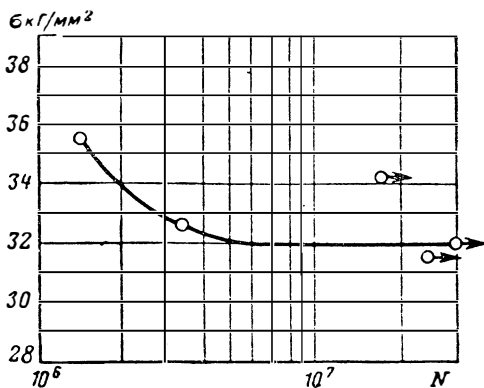
Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки. Сварные соединения из тонколистового материала защищают от коррозии аналогично сварным соединениям из стали X18H9T. Несварные детали пассивируют; наиболее высокой коррозионной стойкостью обладают детали после пассивирования и полирования. Обрабатывается резанием так же, как сталь X18H9T.

### Применение

Детали, в том числе сварные, работающие длительно в атмосферных условиях при температурах до 400°С и кратковременно в тех же условиях при температурах до 800°С, а также в контакте с топливом.

Детали авиационных двигателей, в том числе сварные (за исключением трубопроводов), работающие в атмосферных условиях и в среде продуктов сгорания топлива при температурах до 800°С.

При применении стали X17Г9АН4 взамен стали марок X18Н10Т и X18Н9Т достигается экономия никеля до 50—60 кг на тонну стали.



Фиг. 1 Кривая выносливости стали X17Г9АН4 при комнатной температуре (испытание при изгибе в одной плоскости).

## ХРОМОМАНГАНЦЕВОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

X14Г14Н3Т (ЭИ711)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe	S	P
							не более	
≤0,1	≤0,8	13—15	13—15	2,5—3,5	До 0,6	Основа	0,020	0,035

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$ %
				кг/мм <sup>2</sup>		
Листы	ЧМТУ 328—60	Закаленные с 1050°С на воздухе или в воде	20	70	35	35
Лента	ЧМТУ 329—60	Закаленная с 900—1000°С на воздухе или в воде	20	70	35	35

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$ %	$\sigma_{ch}$ кг/с.мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				
Листы	Закаленные с 1050°С в воде или на воздухе	20	19 800	75	35	60	20
		100	19 300	50	20	60	20
		200	18 500	40	15	45	20
		300	17 300	40	15	45	20
		400	16 700	40	15	40	20
		500	16 200	40	15	40	20
		600	—	33	12	35	—

## Механические свойства в зависимости от степени обжатия

Вид полуфабриката	Состояние	Степень обжатия %	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$ %	Число изгибов $r=3S^*$
			кг/мм <sup>2</sup>			
Листы	Закаленные с 1050°С в воде или на воздухе	0	75	35	62	10
		10	85	55	36	8
		20	90	65	29	5
		30	105	85	22	5
		40	110	86	14	3
		50	130	125	9	1

\*  $S$  — толщина листа.

## Физические свойства

$d=7,8$  г/см<sup>3</sup>.

$\alpha \cdot 10^6 = 16$  (20—100°); 17,4 (100—200°); 19,3 (200—300°); 20,6 (300—400°); 21,8 (400—500°); 22,1 (500—600°); 23,6 (600—700°); 24,3 (700—800°); 24,8 (800—900°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 16,7$  (20—200°); 17,6 (20—300°); 18,3 (20—400°); 19 (20—500°); 19,7 (20—600°); 20,1 (20—700°); 20,6 (20—800°); 21,1 (20—900°) 1/°С.

$\lambda = 0,041$  (25°); 0,043 (100°); 0,046 (200°); 0,051 (400°); 0,054 (500°); 0,057 (600°); 0,061 (700°) кал/см·сек·°С.

## Коррозионные свойства

Сталь обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях.

## Технологические данные

Для уменьшения содержания газовых и неметаллических включений и повышения пластических свойств в поперечном направлении сталь рекомендуется переплавлять в вакуумных дуговых печах с расходоуемым электродом.

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1200—850°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

Рекомендуемая термическая обработка: закалка с 1020—1050°С в воде или на воздухе.

Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки.

Хорошо обрабатывается резанием (аналогично стали 2Х13Н4Г9).

## Применение

Детали, работающие при температурах до 400°С в атмосферных условиях. Рекомендуется как заменитель стали 2Х13Н4Г9 (Х13Н4Г9); может в некоторых случаях заменять стали Х18Н9Т и Х18Н9.

## ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

0X18N10  
(0X18N9, ЭЯ0)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
≤0,08	≤0,8	1—2	17—19	9—11	Основа	0,020	0,035

## Механические свойства по ГОСТу или ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	Темпе- ратура испыта- ния °С	$\sigma_b$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ %
Листы тонкие	ГОСТ 5582—61	Закаленные с 1050— 1080°С в воде или на воздухе	20	52	45 ( $l=5,65\sqrt{F}$ )
Листы мягкие	ЧМТУ 3126—52	Закаленные с 1030— 1070°С в воде	20	54	45 ( $l=5,65\sqrt{F}$ )
Листы полу- нагарто- ванные		Без термической об- работки	20	75—95	25 ( $l=5,65\sqrt{F}$ )
Лента мягкая	ГОСТ 4986—54	Закаленная с 1050— 1080°С в воде	20	54	45 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )
Лента полу- нагарто- ванная		Без термической об- работки	20	75—95	45 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )
Трубы	ЧМТУ 4871—54	В состоянии поставки	20	54	45



## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$
			кг/мм <sup>2</sup>		%
Листы	Закаленные с 1050°С в воде	20	58	21	60
		400	42	11	46
		480	39	10	45
		540	37	9,8	44
		600	34	8,4	39
		650	30	7,7	37
		700	24	7,5	35
		750	19	7,4	31
		800	15	7,0	30

## Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления в атмосфере нагретого воздуха при температурах до 900°С.

## Физические свойства

$$d=7,85 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=16,5$  (20—100°); 17,2 (100—200°); 17,7 (200—300°); 18,1 (300—400°) 18,3 (400—500°); 18,6 (500—600°); 19 (600—700°); 19,5 (700—800°); 19,7 (800—900°); 20 (900—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6=16,9$  (20—200°); 17,1 (20—300°); 17,4 (20—400°); 17,6 (20—500°) 17,7 (20—600°); 17,9 (20—700°); 18,1 (20—800°); 18,3 (20—900°); 18,5 (20—1000°) 1/°С.

$$\lambda=0,04$$
 (20°); 0,053 (500°); 0,057 (600°); 0,06 (700°) кал/см·сек·°С.

$$\rho=0,8$$
 (20°) ом·мм<sup>2</sup>/м.

$$c=0,12$$
 (20—100°) кал/г·°С.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1160—850°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

Рекомендуемая термическая обработка деталей: закалка на аустенит с 1000—1120°С в воде.

Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки.

Детали при длительной работе в агрессивных средах, в воде или в среде пара могут разрушаться межкристаллитной коррозией.

## Применение

Сварные баллоны для кислорода и присадочная проволока для сварки стали X18H9T. При температурах выше 450°С применять не рекомендуется.

## ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

## X18H9 (1X18H9, ЭЯ1)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
≤0,12	≤0,8	1—2	17—19	8—10	Основа	0,020	0,035

## Механические свойства по ГОСТу или ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки горячекатаные	МПТУ 2362—49	Закаленные с 1100—1150° С в воде	20	55	20	45	60	12,5
Листы толщиной от 0,5 до 3,6 мм холоднокатаные мягкие	ЧМТУ 3126—52	Закаленные с 1030—1070° С в воде	20	56	—	35	—	—
Листы толщиной от 0,5 до 3,6 мм холоднокатаные нагартованные		Без термической обработки	20	100—125	—	15	—	—
Лента холоднокатаная толщиной от 0,1 до 2,0 мм мягкая	ГОСТ 4986—54	Закаленная с 1080—1130° С в воде	20	54	—	35	—	—
То же, полунагартованная		Без термической обработки	20	80	—	20	—	—
Нагартованная		Без термической обработки	20	100	—	13	—	—
Особо нагартованная		Без термической обработки	20	115	—	8	—	—

Продолжение								
Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Трубы бесшовные горячекатаные	ГОСТ 9940—62	Термически обработанные	20	56	—	40	—	—
Трубы бесшовные холоднокатаные		Термически обработанные	20	56	—	37	—	—

\* Удлинение определено для листов на расчетной длине  $l=5,65\sqrt{F}$ ; для ленты  $l=11,3\sqrt{F}$ ; для прутков  $l=5d$ .

#### Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пл}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	$HV$ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				%			
Прутки	Закаленные с 1150°С	20	—	60	24	19	64	74	≥25	140
		650	—	38	10	7	33	40	—	—
		760	—	21	10	6	17	18	—	—
		870	—	14	7	5,5	19	27	—	—
Листы, толщиной 1,5 мм	Холоднокатаные	20	18 000—19 500	70	47	—	55	—	—	90
Листы	Закаленные с 1050°С	20	—	65	39	—	69	82	—	94
	Закаленные с 1200°С	20	—	59	30	—	63	51	—	77
	Закаленные с 1080—1130°С	20	18 500—20 600	—	—	—	—	—	—	—

		Продолжение								
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	<i>НВ</i> кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				%			
Лента	Закаленная с 1100° С	20	—	64	25,6	—	—	—	—	—
		540	—	37	10	—	44	—	—	—
	Закаленная с 1080—1130° С	650	—	30	7,7	—	37	—	—	—
		760	—	19	7,4	—	31	—	—	—
		870	—	12	—	—	31	—	—	—
930	—	7	—	—	47	—	—	—		
Отливки	Закаленные с 1095—1100° С	20	—	50	22	—	61	63	12	131
		540	—	34	—	—	38	40	—	—
		650	—	28	—	—	37	50	—	—
	Закаленные с 1040° С	20	—	50	22	11	55	62	—	128
		540	—	36	10	—	39	48	—	—
		650	—	29	9,8	5,3	30	42	—	—
870	—	11	7,6	—	16	39	—	—		
Листы толщиной 1,26 мм	Сваренные	20	—	72	38	—	68	—	—	—

\* Удлинение определено для листов на расчетной длине  $l=5,65\sqrt{F}$ ; для ленты  $l=11,3\sqrt{F}$ ; для прутков и отливок  $l=5d$ .

### Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	По общей деформации							$\sigma_{-1}$ (на базе 10 <sup>7</sup> циклов)
			$\sigma_{10}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,01/250}$	$\sigma_{0,02/1000}$	$\sigma_{0,03/1000}$	$\sigma_{0,1/1000}$	$\sigma_{0,5/500}$	
			кг/мм <sup>2</sup>							
Листы	Закаленные с 1080—1130° С	20	—	—	—	—	—	—	—	27
		704	13	10	—	—	—	—	—	—
		815	6,7	4,4	—	—	—	—	—	—

		Продолжение															
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_{10}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,01/250}$	$\sigma_{0,02/1000}$	$\sigma_{0,03/1000}$	$\sigma_{0,1/1000}$	$\sigma_{0,5/500}$	$\sigma_{1,0/1000}$	$\sigma_{-1}$ (на базе 10 <sup>7</sup> циклов)						
												По общей деформации					
												кг/мм <sup>2</sup>					
Прутки диаметром 19 мм	Закаленные с 1050°С	540	—	—	—	—	—	—	—	12	—						
		650	—	—	7	—	—	—	—	4,9	—						
		730	—	—	—	—	—	—	—	2,1	—						
		815	—	—	—	—	—	—	—	0,6	—						
		870	—	—	—	—	—	—	21	—	—						
Отливки	Закаленные с 1095°С в воде	540	—	—	—	13,7	—	18,6	—	—	—						
		650	—	—	—	—	5,8	6,4	—	9	—						

### Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления в воздушной среде при температурах до 850°С, а в атмосфере продуктов сгорания авиационного топлива — до 750°С. Устойчива в концентрированной азотной кислоте.

### Физические свойства

$$d = 7,92 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 16$  (20—100°); 18,1 (100—200°); 18,4 (200—300°); 19,1 (300—400°); 19,7 (400—500°); 20,3 (500—600°); 20,8 (600—700°); 20,8 (700—800°); 20,6 (800—900°); 20,7 (900—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 17$  (20—200°); 17,5 (20—300°); 17,9 (20—400°); 18,5 (20—500°); 18,6 (20—600°); 18,9 (20—700°); 19,1 (20—800°); 19,3 (20—900°); 19,5 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda^* = 0,038$  (20°); 0,039 (100°); 0,043 (200°); 0,045 (300°); 0,048 (400°); 0,051 (500°); 0,057 (600°); 0,061 (700°); 0,064 (800°); 0,064 (900°); 0,067 (1000°); кал/см·сек·°С.

$\rho = 0,71$  (20°); 0,74 (100°); 0,82 (200°); 0,89 (300°); 0,95 (400°); 1,00 (500°); 1,05 (600°); 1,09 (700°) ом·мм<sup>2</sup>/м.

$c = 0,122$  (50—100°); 0,126 (100—200°); 0,130 (200—300°); 0,135 (300—400°); 0,141 (400—500°); 0,152 (500—600°); 0,150 (600—700°); 0,153 (700—800°); 0,154 (800—900°); 0,155 (900—1000°) кал/г °С.

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—850°С. Охлаждение после деформации заготовок

\* По данным справочника «Теплофизические свойства веществ», ГЭИ, 1956.

сечением более 150 мм медленное. Пластичность в закаленном состоянии высокая. Предельный коэффициент вытяжки ( $K_{пр}$ ) 2,08; рабочий ( $K_{раб}$ ) 1,8—1,9. Радиус закругления рабочей кромки матрицы ( $r_m$ ) составляет (6—8)  $S$ ; радиус закругления рабочей кромки пуансона ( $r_n$ ) — (0,5—1)  $r_m$ . Утонение материала в готовых деталях в критическом сечении при  $K_{раб}$  составляет 10—15%. Утонение кромки 20—30%.

В нагартованном состоянии листы должны выдерживать не менее двух перегибов (ЧМТУ 3126—52), при этом радиус закругления губок должен быть равен пяти толщинам ( $S$ ) испытываемого листа.

Рекомендуемая термическая обработка деталей: закалка с 1000—1120°С в воде.

Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки. После сварки (кроме роликовой и точечной) рекомендуется закалка с 1100—1150°С (время выдержки при этой температуре 5—10 мин) на воздухе или в воде (быстрое охлаждение предохраняет сталь от межкристаллитной коррозии).

### Применение

Детали самолетных конструкций и других летательных аппаратов, изготовляемые из холоднокатаных листов или лент и соединяемые сваркой.

<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ</b>	<b>2Х18Н9 (ЭЯ2)</b>
-----------------------------	---------------------

## Химический состав в % \*

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
0,15—0,25	≤0,8	≤2	17—20	8—11	Основа	0,020	0,035

\* Допускается содержание остаточного титана до 0,5% и остаточного молибдена до 0,3%.

## Механические свойства по ГОСТу или ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_{\text{н}}$ кГ·м/см <sup>2</sup>
				кГ/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки горячекатаные	МПТУ 2362—49	Закаленные с 1100—1150° С в воде	20	60	22	40	55	12,5
Листы толщиной от 0,5 до 3,6 мм	ГОСТ 5582—50	То же	20	60	—	38	—	—
То же, мягкие	ЧМТУ 3126—52	Закаленные с 1080—1120° С в воде или на воздухе	20	60	—	38	—	—
То же, нагартованные		Без термической обработки	20	100—125	—	15	—	—
Лента толщиной от 0,1 до 2,0 мм мягкая	ГОСТ 4986—54	Закаленная с 1120—1150° С	20	58	—	35	—	—
То же, полунангартованная		Без термической обработки	20	80	—	20	—	—
То же, нагартованная		То же	20	100	—	13	—	—
То же, особо нагартованная		"	"	20	115	—	8	—

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65 \sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания в °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$\sigma_H$ кг·м/см <sup>2</sup>	<i>HВ</i> кг/мм <sup>2</sup>	
			кг/мм <sup>2</sup>			%				
Прутки	Закаленные с 1100— 1150° С	20	—	60	22	40	55	12	—	
		704	—	29	—	—	—	—	—	
		815	—	19	—	—	—	—	—	
		926	—	12	—	—	—	—	—	
	Кованые	20	—	88	47	42	46	6,9	190	
		—	—	—	—	—	—	—	—	
	Отожженные	20	21 100	86	30	51	42	—	—	
		—40	—	128	35	34	30	—	—	
	Холоднотянутые	20	19 700	102	45	38	52	5,9	307	
		—40	—	139	42	33	35	2,6	323	
	Листы холоднока- танные толщиной 1,5 мм	Закаленные с 950° С	20	—	71	39	52	—	—	—
		Закаленные с 1050° С	20	—	69	42	57	—	—	—
Закаленные с 1100° С		20	—	63	28	60	59	—	—	
Закаленные с 1200° С		20	—	62	29	59	59	—	—	
Листы горячеката- нанные толщиной 1,5 мм	Без термической обра- ботки	20	—	84	66	37	43	—	100	
	Закаленные с 1050° С	20	—	65	36	57	—	—	80	
	Закаленные с 1150° С	20	—	63	31	67	63	—	80	
	Закаленные с 1200° С	20	—	55	32	—	—	—	68	

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65\sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления на воздухе при температурах до 850° С, а в атмосфере продуктов сгорания авиационного топлива — до 700° С.



## Физические свойства

$$d=7,85 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha$  такой же, как у стали X18H9.

$\lambda^*=0,042$  (20°); 0,045 (100°); 0,048 (200°); 0,050 (300°); 0,053 (400°); 0,056 (500°); 0,059 (600°); 0,062 (700°); 0,064 (800°); 0,067 (900°) кал/см·сек·°С.

$\rho^*=0,72$  (20°); 0,73 (100°); 0,85 (200°); 0,92 (300°); 0,97 (400°); 1,03 (500°); 1,08 (600°); 1,11 (700°); 1,15 (800°); 1,18 (900°) ом·мм<sup>2</sup>/м.

$$c=0,12 \text{ (20—100°) кал/г } ^\circ\text{С}.$$

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—850°С. Охлаждение после деформации заготовок сечением более 150 мм медленное. Пластичность в закаленном состоянии высокая. Предельный коэффициент вытяжки ( $K_{пр}$ ) 2,08; рабочий ( $K_{раб}$ ) 1,8—1,9. Радиус закругления рабочей кромки матрицы ( $r_m$ ) составляет (6—8)  $S$ ; радиус закругления рабочей кромки пуансона ( $r_{п}$ ) — (0,5—1)  $r_m$ . Утонение материала в готовых деталях в критическом сечении при  $K_{раб}$  составляет 10—15%. Утонение кромки 20—30%.

В нагартованном состоянии листы должны выдерживать не менее двух перегибов (ЧМТУ 3126—52), при этом радиус закругления губок должен быть равен пяти толщинам ( $S$ ) испытуемого листа.

Рекомендуемая термическая обработка деталей на заводах-потребителях: закалка с 1100—1150°С в воде.

Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки. После сварки рекомендуется закалка с 1100—1150°С (время выдержки при этой температуре 5—10 мин) на воздухе или в воде (быстрое охлаждение предохраняет сталь от межкристаллитной коррозии).

## Применение

Детали самолетных конструкций, изготавливаемые из холоднокатаной ленты или листа и соединяемые точечной сваркой.

\* По данным справочника «Теплофизические свойства веществ», ГЭИ, 1956.

<b>ХРОМОНИКЕЛЕВЫЕ СТАЛИ</b>	<b>X18H10T и X18H9T (1X18H9T, ЭЯ1T)</b>
-----------------------------	---

## Химический состав в %

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni
X18H10T	≤0,12	(C-0,02)·5-0,70	1-2	17-19	9-11
X18H9T	≤0,12	(C-0,02)·5-0,70	1-2	17-19	8,0-9,5

Продолжение

Марка стали	Ti	Fe	S	P
			не более	
X18H10T	≤0,8	Основа	0,020	0,035
X18H9T	≤0,8	Основа	0,020	0,035

## Механические свойства по ГОСТу или ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	Темпе- ратура испыта- ния °С	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ*	ψ	a <sub>н</sub> кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки	МПУ 2362-49	Закаленные с 1100- 1150° С в воде	20	55	20	40	55	12,5
Листы	ЧМТУ 3126-52	Закаленные с 1030- 1070° С в воде или на воздухе	20	54	—	40	—	—
Профили прессован- ные	АМТУ 361-56	Закаленные с 1100- 1150° С в воде	20	55	20	40	55	—
Трубы холодно- тянутые	ЧМТУ 4870-54	Термообработанные	20	56	—	40	—	—
Кольца, бандажи	АМТУ 326-55	—	В соответствии с требова- ниями ТУ					—

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65\sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta^*$	$\psi$
			кг/мм <sup>2</sup>				%	
Прутки	Закаленные с 1050°С в воде или на воздухе	20	18 800	62	28	11	41	63
		300	16 200	46	20	—	31	65
		400	—	45	18	—	31	65
		500	—	45	18	11	29	65
		600	14 000	40	18	11	25	61
		700	12 250	28	16	7,6	26	59
		800	9 100	18	10	3,6	35	69
Листы	Закаленные с 1050°С на воздухе	20	—	66	—	—	59	—
		500	—	45	—	—	34	—
		600	—	40	—	—	35	—
		700	—	29	—	—	44	—
		800	—	19	—	—	53	—

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65 \sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$ %	$\sigma_B^*$ кг/мм <sup>2</sup> сварного шва	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				
Прутки диаметром 25 мм	Состояние поставки (закаленные с 1050°С в воде)	-70	119	31	38	—	21
		-196	175	49	27	—	14
Листы толщиной 1,5 мм	Состояние поставки	20	66	28	65	66	13
		-196	154	55	36	147	19
		-253	185	71	37	—	15
	Наклепанные	20	96	89	14	—	10
		-196	151	116	39	—	14
		-253	187	114	38	—	17

\* Аргоно-дуговая сварка.

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания °C	σ <sub>50</sub>	σ <sub>100</sub>	σ <sub>200</sub>	σ <sub>500</sub>	σ <sub>1000</sub>	σ <sub>5000</sub>	σ <sub>10 000</sub>
		кг/мм <sup>2</sup>						
Закаленный с 1050° C в воде	600	26	25	23	—	—	—	—
	700	14	13	12	—	—	—	—
	800	6	5	3	—	—	—	—
Закаленный с 1050— 1100° C на воздухе	600	—	—	—	—	18	—	—
	650	—	—	—	—	14	—	—
	700	—	—	—	—	7	—	—
	760	—	—	—	—	3,8	—	—
	815	—	—	—	—	2,6	—	—
	870	—	—	—	—	1,9	—	—
Закаленный с 1050— 1100° C на воздухе*	550	—	—	31	28	25	20	18
	600	—	—	24	21	18	14	13
	650	—	20	18	15	14	10	8

\* По данным ЦКТИ.

## Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления на воздухе и в атмосфере продуктов сгорания топлива при температуре до 800° C (при работе с перерывами в условиях частых теплосмен) и до 900° C при непрерывной работе.

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде привес составляет: при 800° C — 0,03 г/м<sup>2</sup>·час; при 900° C — 0,20 г/м<sup>2</sup>·час; при 1000° C — 1,2 г/м<sup>2</sup>·час; при 1100° C — 3,3÷9 г/м<sup>2</sup>·час.

## Физические свойства

$$d=7,9 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 16,1$  (20—100°); 17 (20—200°); 17,4 (20—300°); 17,8 (20—400°); 18,2 (20—500°); 18,6 (20—600°); 19,1 (20—700°); 19,4 (20—800°) 1/°C.

$\lambda = 0,039$  (100°); 0,042 (200°); 0,045 (300°); 0,049 (400°); 0,052 (500°); 0,056 (600°); 0,059 (700°); 0,063 (800°); 0,068 (900°) кал/см·сек·°C.

$\rho^* = 0,75$  (20°); 0,80 (100°); 0,87 (200°); 0,94 (300°); 0,99 (400°); 1,05 (500°); 1,09 (600°); 1,14 (700°) ом·мм<sup>2</sup>/м.

$c = 0,112$  (100°); 0,118 (200°); 0,123 (300°); 0,130 (400°); 0,136 (500°); 0,141 (600°); 0,146 (700°) кал/г °C.

\* По данным справочника «Теплофизические свойства веществ», ГЭИ, 1956.

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—850°С. Охлаждение после деформации заготовок сечением более 150 мм медленное. Пластичность в закаленном состоянии очень высокая. Предельный коэффициент вытяжки ( $K_{пр}$ ) 2,12.

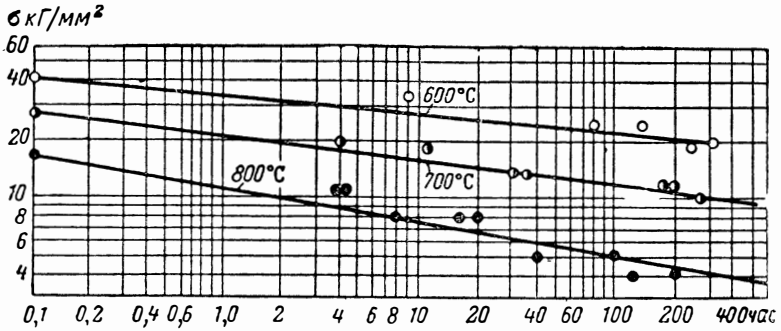
Рекомендуемая термическая обработка прутков и деталей на заводах-потребителях: закалка с 930—1070°С (выдержка при этой температуре 10—30 мин) на воздухе.

Рекомендуемая термическая обработка деталей из листового материала, изготавливаемых на заводах-потребителях: закалка с 930—1070°С (выдержка при этой температуре 3—15 мин) на воздухе.

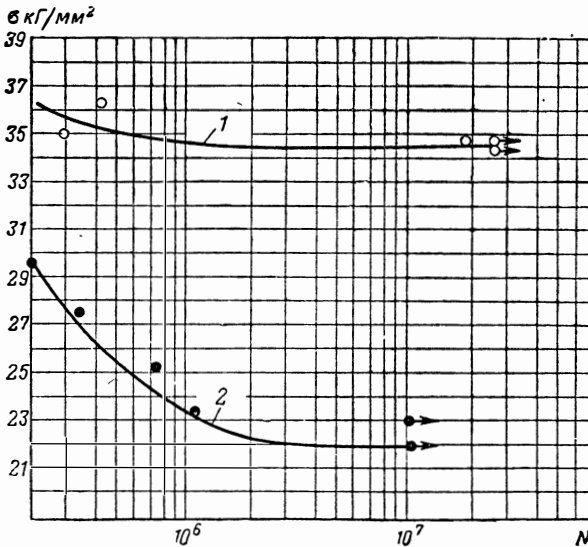
Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки.

### Применение

Детали коммуникаций горячих газов, выхлопные коллекторы и патрубки двигателей. Детали реактивного растреба и конуса. Детали и сварные изделия, работающие в условиях влажной среды.



Фиг. 1. Кривые длительной прочности стали X18H9T при различных температурах.



Фиг. 2. Кривые выносливости стали X18H9T при комнатной температуре (испытание при изгибе в одной плоскости образцов толщиной 1,5 мм).

1—образцы не сваренные, 2—образцы, сваренные аргоно-дуговой сваркой.

<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ</b>	<b>0X18H12B (X18H11B, ЭИ402)</b>
-----------------------------	--------------------------------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb*	Fe	S	P
							не более	
<0,08	<0,8	1—2	17—19	11—13	(8·C)—1,2	Основа	0,020	0,035

\* Нижний предел содержания ниобия с примесью тантала должен быть не менее 8-кратного содержания углерода.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_{\text{н}}$ кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки	МПТУ 2362—49	Закаленные с 1100—1150° С в воде	20	55	20	40	50	12,5
Листы	ЧМТУ 3126—52	Закаленные с 1030—1070° С в воде или на воздухе	20	54	—	40	—	—

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65\sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{\text{н}}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>			%			
Прутки	Закаленные с 1100° С в воде	20	20 600	64	29	46	63	≥ 15	135—185
		540	—	41	19	45	65	—	—
		650	—	35	18	44	67	—	—
		700	—	29	17	52	74	—	—
		760	—	26	—	23	40	—	—
		815	—	23	—	22	46	—	—
		870	—	18	—	25	39	—	—

## Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$ %	Поглощенная работа при ударе (по Йзоду) кГ·м*
			кГ/мм <sup>2</sup>			
Листы	Состояние поставки	20	64	26	62	11—15
		—70	98	31	53	10—17
		—196	137	35	42	11—14
		—253	161	45	40	8

\* Образец с острым V-образным надрезом.

## Пределы длительной прочности и ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{10000}$	$\sigma_{0,1/10000}$ (по остаточной деформации)
			кГ/мм <sup>2</sup>		
Прутки	Закаленные с 1100°С в воде	540	—	—	15,8
		600	23	16	13
		650	12	7	—
		700	10	4	2,7
		760	—	—	1,8

## Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления на воздухе при температурах до 900°С.

## Физические свойства

$d=7,9$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6=16,7$  (20—100°); 16,9 (20—200°); 17,1 (20—300°); 17,7 (20—400°); 18,3 (20—500°); 18,8 (20—600°); 19,3 (20—700°); 19,9 (20—800°) 1/°С.  
 $\lambda^*=0,038$  (100°); 0,042 (200°); 0,046 (300°); 0,049 (400°); 0,053 (500°); 0,055 (600°); 0,063 (800°) кал/см·сек °С.  
 $\rho=0,8$  (20°); 1,0 (400°); 1,1 (600°); 1,2 (800°) ом·мм<sup>2</sup>/м.  
 $c=0,12$  (20—100°) кал/г·°С.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1160—900°С. Заготовки больших сечений под деформацию до температуры 850°С нагревают медленно и медленно охлаждают после деформации. Пластичность в закаленном состоянии очень высокая. Предельный

\* По данным справочника «Теплофизические свойства веществ», ГЭИ, 1956.



коэффициент вытяжки ( $K_{пр}$ ) 2,08; рабочий ( $K_{раб}$ ) — 1,80—1,90. Радиус закругления рабочей кромки пуансона ( $r_{п}$ ) составляет  $(0,5—1)r_{м}$ ; радиус закругления рабочей кромки матрицы — ( $r_{м}$ ) —  $(6—8)S$ . Утонение материала в готовых деталях в критическом сечении при  $K_{раб}$  составляет 10—15%. Утолщение кромки составляет 22—28%. Рекомендуемая термическая обработка деталей на заводах-потребителях: закалка с 930—1090°С в воде или на воздухе.

Сталь не приобретает склонности к межкристаллитной коррозии при содержании нобия более 8—10-кратного содержания углерода.

Свариваемость стали всеми видами сварки хорошая, однако в наплавленном металле возможно образование горячих трещин.

### Применение

Выхлопные патрубки, коллекторы двигателей, система коммуникации горячих газов турбокомпрессоров, детали соплового аппарата, а также другие детали, работающие при небольших напряжениях и температурах не выше 850°С; сварная аппаратура и детали, работающие в среде азотной кислоты.

## ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВАЯ СТАЛЬ

X18H12M2 (ЭИ401)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	S	P
							не более	
≤0,1	≤1	≤1,5	16—19	10—14	2—3	Основа	0,020	0,035

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %
Листы	ЧМТУ 3126—52	Закаленные с 1030—1070° С в воде	20	54	40

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{H_2}$ кг·м/с·м <sup>2</sup>	НВ
		кг/мм <sup>2</sup>					
Закаленный с 1100° С в воде	20	75	25	59	77	≥ 15	145—200
	540	52	14	46	65	—	—
	590	49	14	43	65	—	—
	650	42	14	41	51	—	—
	700	35	13	43	50	—	—
	760	27	13	50	58	—	—
	815	22	12	55	63	—	—
	870	12	12	54	63	—	—

## Механические свойства при низких температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпера- тура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$ %	Поглощен- ная работа при ударе (по Изоду) кГ·м
			кГ/мм <sup>2</sup>			
Листы тол- щиной 1,5 мм	Закаленные с 1050° С в воде	-70	82	33	66	15
		-196	126	51	58	15
-253		147	58	54	—	
	Нагартованные на 25%	-70	94	63	48	—
		-196	140	76	44	—
		-253	—	81	30	—

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Темпера- тура испытания °С	$\sigma_{10}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$
		кГ/мм <sup>2</sup>				
Закаленный с 1100—1150° С в воде	650	27	22	20	19	18
	700	21	16	15	14	13
	760	14	11	9,3	8,4	7,3
	815	10	7,5	6,6	6,1	4,9
	870	7,5	5,2	4,2	3,9	3
	980	3,5	1,9	1,3	1	0,8

## Жаростойкость

Сталь жаростойка при температурах до 850° С.

## Физические свойства

$$d=7,9 \text{ г/см}^3.$$

$$\alpha \cdot 10^6=15,7 \text{ (20—100°) } 1/^\circ\text{С.}$$

$$\lambda=0,038 \text{ (20°) кал/см·сек·}^\circ\text{С.}$$

$$q=0,8 \text{ (20°) ом·мм}^2/\text{м.}$$

$$c=0,12 \text{ (20—100°) кал/г }^\circ\text{С.}$$

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1160—850° С. Заготовки больших сечений под деформацию до температуры 850° С нагревают медленно и медленно охлаждают после деформации.

Пластичность стали в закаленном состоянии очень высокая. Предельный коэффициент вытяжки ( $K_{пр}$ ) — 2,12; рабочий ( $K_{раб}$ ) — 1,85—1,95. Радиус за-

кругления рабочей кромки матрицы ( $r_m$ ) составляет  $(6-8)S$ ; радиус закругления рабочей кромки пуансона ( $r_n$ ) составляет  $(0,5-1)r_m$ . Утонение материала в готовых деталях в критическом сечении при  $K_{раб}$  составляет 10—15%.

Термическая обработка деталей на заводах-потребителях: закалка с 1020—1100°С в воде.

Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки.

Необходимо учитывать склонность стали к межкристаллитной коррозии после сварки или замедленного охлаждения. В этом состоянии детали могут разрушаться в условиях воздействия агрессивной среды (морская вода, конденсаты продуктов сгорания авиационного бензина и т. п.). Рекомендуется добавлять к стали X18H12M2 титан. Сталь с титаном, известная под марками X18H12M2T или X18H12M3T, более коррозионностойка.

### Применение

Ресивер и часть коллектора горячих газов турбокомпрессора. Сварочная проволока для приварки лопаток турбокомпрессора.

## ХРОМОНИКЕЛЬМАРГАНЦОВИСТАЯ СТАЛЬ

2Х13Н4Г9  
(Х13Н4Г9, ЭИ100)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
0,15—0,30	≤0,8	8—10	12—14	3,7—4,7	Основа	0,025	0,050

## Механические свойства по ГОСТу или ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ГОСТ или ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Темпе- ратура испыта- ния °С	$\sigma_B$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\psi$
				кг/мм <sup>2</sup>	%	
Прутки	МПУ 2362—49	Закаленные с 1120—1150°С в воде	20	65	—	40
Листы мягкие		Закаленные с 1080—1120°С в воде	20	65	40	—
Листы нагар- тованные*	ЧМТУ 3126—52	Без термичес- кой обработки	20	100	15	—
Листы нагар- тованные		То же	20	100—120	—	—
Лента мягкая		В состоянии по- ставки	20	60	40	—
Лента полу- нагартованная		Без термичес- кой обработки	20	80	20	—
Лента нагар- тованная	ГОСТ 4986—54	То же	20	100	15	—
Лента особо нагартован- ная		»	20	115	8	—
Проволока	ГОСТ 5548—50	В состоянии по- ставки	—	—	—	—

\* Поставляются по требованию завода-потребителя.

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	<i>HВ</i> кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>			%	
Листы	Закаленные с 1100°С в воде	20	20 600	71	36	64	160—200
	Закаленные с 1200°С в воде	20	—	69	34	62	—
	Закаленные с 1150°С в воде	20 600 700 800 900	— — — — —	70 43 29 20 11	36 — — — —	73 44 47 50 —	— — — — —
Прутки	Закаленные с 1150°С в воде	20	—	70	—	—	—
		600	—	44	—	—	—
		700	—	26	—	—	—
		800	—	17	—	—	—
		900	—	11	—	—	—

## Пределы длительной прочности и ползучести

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,2/100}$
		кг/мм <sup>2</sup>	
Закаленный с 1150°С в воде	400	51	—
	450	50	—
	500	48	15
	600	27	11
	700	13	6
	800	6	—

## Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления в атмосфере горячего воздуха при температурах до 750—800°С.

## Физические свойства

$d=8,5$  г/см<sup>3</sup>.  
 $q=0,90$  (20°) ом·мм<sup>2</sup>/м.  
 $c=0,118$  (20—100°) кал/г °С.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—850°С. Пластичность стали в закаленном состоянии очень высокая.

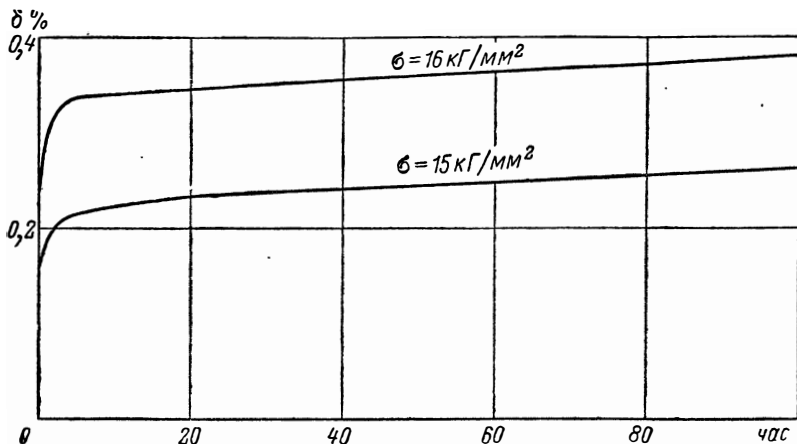
Рекомендуемая термическая обработка деталей на заводах-потребителях: закалка с 1120—1150°С в воде.

Сталь хорошо сваривается точечной и роликовой сваркой. После других видов сварки необходима термическая обработка. Коррозионная стойкость стали в атмосферных условиях высокая. Склонна к межкристаллитной коррозии.

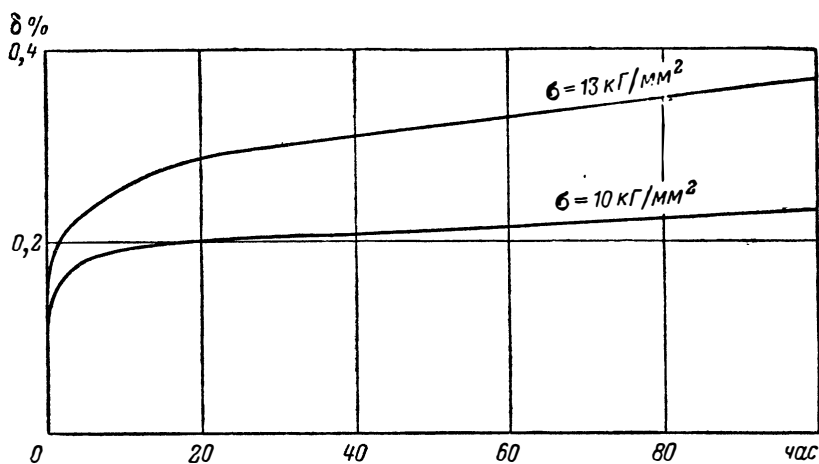
## Применение

Элементы высокопрочных нержавеющей конструкций самолетов, деталей вооружения, противопожарные перегородки, работающие при температурах до 450°С.

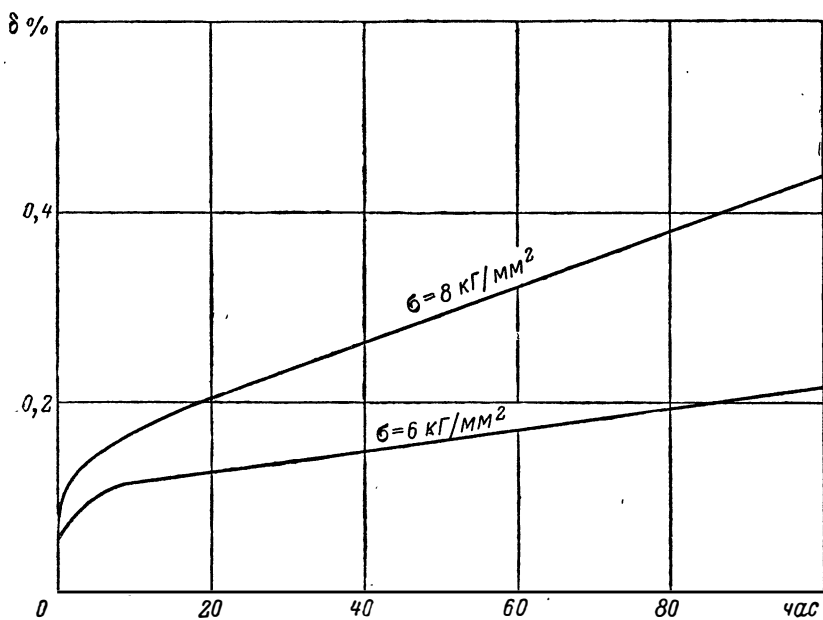
Не рекомендуется к применению в агрессивных средах при температуре выше 450°С ввиду склонности к межкристаллитной коррозии.



Фиг. 1. Кривые ползучести стали 2Х13Н4Г9 при 500°С.



Фиг. 2. Кривые ползучести стали 2X13N4Г9 при 600° С.



Фиг. 3. Кривые ползучести стали 2X13N4Г9 при 700° С.



<b>ВЫСОКОХРОМИСТАЯ СТАЛЬ</b>	<b>X28АН (ЭИ657)</b>
------------------------------	----------------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	N	Fe	S	P
							не более	
≤0,15	≤1,0	1,0—1,5	25—28	1—2	0,18—0,25	Основа	0,03	0,03

## Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %
				кГ/мм <sup>2</sup>		
Листы	ТУ МУ МОС 119—60	Холоднокатаные Горячекатаные	20	65—67	50—54	25
			20	62—65	46—48	25

## Механические свойства при высоких температурах

Температура испытания °С	$\sigma_B$ кГ/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %
200	57	24
300	57	24
400	55	25
500	43	29

## Механические свойства сварных соединений \*

(Сварка плавлением, толщина свариваемых листов 1,5 мм)

Вид сварки	Режим сварки			$\sigma_B$ , кГ/мм <sup>2</sup>		$\delta$ , % сварного соединения	Угол изгиба град
	сила тока а	скорость сварки м/час	расход аргона л/мин	сварного соединения	сварного шва		
Автоматическая аргоно-дуговая без присадки	80	27	6	69	83	13	115

\* Испытание плоских образцов по ГОСТу 6991—54.

Вид сварки	Режим сварки			Продолжение			
	сила тока <i>a</i>	скорость сварки <i>м/час</i>	расход аргона <i>л/мин</i>	$\sigma_b, \text{кг/мм}^2$			Угол изгиба <i>град</i>
				сварного соедине- ния	сварного шва	$\delta$ %	
Ручная аргоно-дуговая с присадкой в виде полосок из основного материала	75	12	5	69,5	—	14	160
Ручная аргоно-дуговая с присадкой в виде проволоки Св. Х18Н9Т	75	12	5	70	—	17	160
Газовая с присадкой в виде проволоки Св. Х18Н9Т	—	4	—	68	76,5	14	145

## Точечная сварка

Толщина свариваемых листов в <i>мм</i>	Разрывное усилие на точку в <i>кг</i>	
	при срезе	при отрыве
1,0	936	594
1,5	1630	908

## Коррозионные свойства сварных соединений

(испытание образцов после 100-часового кипячения в 65%ном растворе  $\text{HNO}_3$ )

Вид сварки		Уменьше- ние веса образца <i>г</i>	Площадь образца <i>мм}^2</i>	Скорость растворе- ния металла за 400 час <i>г/мм}^2</i>	Проникно- вание коррозии <i>мм/год</i>
Дуговая	Односторонняя	0,6312	0,00214	14,57	0,131
	Двусторонняя	0,0336	0,00227	14,8	0,133
Аргоно- дуговая	Односторонняя	0,0330	0,0226	14,6	0,131
	Двусторонняя	0,0362	0,00229	15,8	0,142

## Жаростойкость

Сталь не обнаруживает склонности к межкристаллитной коррозии даже после нагрева при 650°С.

Привес за 100 час испытания при 1000°С в воздушной среде составляет  $1 \text{ г/м}^2 \cdot \text{час}$ .

### Физические свойства

$$d = 7,6 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 8,64$  (20—100°); 9,63 (100—200°); 10,65 (200—300°); 11,91 (300—400°); 12,6 (400—500°); 12,62 (500—600°); 13,89 (600—700°); 15,86 (700—800°); 17,19 (800—900°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\lambda = 0,062$  (20°); 0,062 (300°); 0,063 (400°); 0,066 (500°); 0,069 (600°); 0,075 (700°); 0,081 (800°); 0,086 (900°)  $\text{кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$ .

### Технологические данные

Сталь поставляется после нормализации с 900°С. Сваривается всеми видами сварки. В качестве присадочного материала рекомендуются полоски из этой же стали или электродная проволока из стали типа X18H9T и стали 0X18H12B (ЭИ402). Детали до сварки и после нее термической обработке не подвергаются.

Для снятия напряжений после сварки и штамповки, а также для снятия наклепа после холодной деформации сложные узлы рекомендуется подвергать нормализации с 900°.

Сталь обладает высоким сопротивлением термической усталости, что свидетельствует об отсутствии склонности к образованию трещин.

### Применение

Детали и узлы, работающие кратковременно при температурах до 500°С в атмосферных условиях и в некоторых агрессивных средах со специальной защитой. Сталь рекомендуется в качестве заменителя сталей типа X18H9, X14Г14НЗТ (ЭИ711), 1X21H5T (ЭИ811), X17Г9АН4 (ЭИ878) и X18H9T. При применении стали X28АН вместо X18H9T экономия никеля составляет 75 кг на тонну стали.

<b>ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНМЕДИСТАЯ СТАЛЬ С ТИТАНОМ</b>	<b>X20H6MD2T (ЭП309, ВНС-4)</b>
--	-------------------------------------

Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti*	Fe	S	P
									не более	
≤0,1	≤0,8	≤1	19,5—21,5	5,0—7,5	1,3—1,8	1,8—2,5	≤0,65	Основа	0,020	0,030

\* Титан вводится по расчету. Содержание его (нижний предел) рекомендуется устанавливать по формуле: % Ti ≥ (% C—0,03) · 5+0,2.

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ*	ψ	a <sub>н</sub> кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки, поковки	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: закалка с 1050°С в воде; старение при 550°С (8 час), охлаждение на воздухе	20	80	60	20	50	6
	ЦНИИЧМ 548—61							
Листы холоднокатаные толщиной от 0,8 до 3,0 мм	ЧМТУ	Мягкие (после закалки с 1050°С в воде)	20	70	55	20	—	—
	ЦНИИЧМ 549—61	Мягкие (термически обработанные по режиму: закалка с 1050°С в воде; старение при 500°С (8 час), охлаждение на воздухе)	20	85	75	12	—	—
		Нагартованные (термически обработанные по режиму: нагартовка; старение при 500° (2 часа), охлаждение на воздухе)	20	110	105	4	—	—

\* Удлинение определено на образцах с расчетной длиной  $l=5,65\sqrt{F}$  для листов,  $l=11,3\sqrt{F}$  для ленты,  $l=5d$  для прутков.

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	Продолжение				
				$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_{\text{н}}$ кг·м/с·мм <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Лента холоднокатаная толщиной от 0,2 до 1,2 мм	ЧМТУ	Мягкая (после закалки с 1050°С в воде)	20	70	55	20	—	—
	ЦНИИЧМ 550—61	Мягкая (термически обработанная по режиму: закалка с 1050°С в воде; старение при 500°С (8 час), охлаждение на воздухе)	20	85	75	12	—	—
		Нагартованная (термически обработанная по режиму: нагартовка; старение при 500°С (2 часа), охлаждение на воздухе)	20	110	105	4	—	—

\* Удлинение определено на образцах с расчетной длиной  $l=5,65 \sqrt{F}$  для листов,  $l=11,3 \sqrt{F}$  для ленты,  $l=5d$  для прутков.

#### Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$E$			$\delta$	$\psi$	$a_{\text{н}}$ кг·м/с·мм <sup>2</sup>	$\sigma$	
			$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$				$\sigma_{100}$	$\sigma_{-1}$
			кг/мм <sup>2</sup>						%	
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1050°С в воде; старение при 550°С (8 час), охлаждение на воздухе	20	20 000	90	72	27 ( $l=5 d$ )	65	13	—	—
		350	—	70	52	22 ( $l=5 d$ )	54	—	65	—

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	Продолжение							
			$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{-1}$	
			кг/мм <sup>2</sup>			%				кг/мм <sup>2</sup>
Листы	Мягкие, термически обработанные по режиму: закалка с 1050° С в воде; старение при 500° С (8 час), охлаждение на воздухе	20 350	— —	94 74	84 64	24 ( $l=5,65\sqrt{F}$ ) 8 ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	— —	— —	— 70	48* —

\*  $\sigma_{-1}$  сварного соединения составляет 29,5 кг/мм<sup>2</sup>.

#### Физические свойства

$$d=7,81 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=12,0$  (20—100°); 12,5 (20—200°); 13,1 (20—300°); 13,7 (20—400°); 14,0 (20—500°); 14,4 (20—600°); 14,8 (20—700°); 15,5 (20—800°); 16,3 (20—900°); 16,9 (20—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6=13,1$  (100—200°); 14,0 (200—300°); 14,9 (300—400°); 15,8 (400—500°); 16,7 (500—600°); 17,1 (600—700°); 20,7 (700—800°); 22,4 (800—900°); 22,1 (900—1000°) 1/°С.

$\lambda=0,043$  (100°); 0,047 (200°); 0,051 (300°); 0,056 (400°); 0,059 (500°); 0,064 (600°); 0,067 (700°); 0,072 (800°) кал/см·сек °С.

$c=0,11$  (100°); 0,115 (200°); 0,12 (300°); 0,13 (400°); 0,145 (500°); 0,15 (600°); 0,15 (700°); 0,15 (800°) кал/г·°С.

$q=0,850$  ом·мм<sup>2</sup>/м (после закалки с 1050°).

$q=0,805$  ом·мм<sup>2</sup>/м (после закалки с 1050° и старения при 550° в течение 8 час).

Магнитное насыщение  $4\pi I_s=5000-7000$  гс (после закалки с 1050° С).

#### Коррозионные свойства

Сталь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в контакте с топливом Т-1. Удовлетворительная стойкость стали в некоторых агрессивных средах со специальной защитой. Наиболее коррозионностойка сталь в полированном и пассивированном состоянии.

Сталь (основной материал и сварные соединения) не склонна к межкристаллитной коррозии, в том числе и после дополнительных нагревов до 650° С (испытание по ГОСТу 6032—58, методы А и АМ).

#### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1100—800° С. Охлаждение после деформации на воздухе. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка		Гибка	
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{мин}$	$r_{раб}$
2,02	1,72	1,42	1,25	1S*	2S*

\* S — толщина листа.

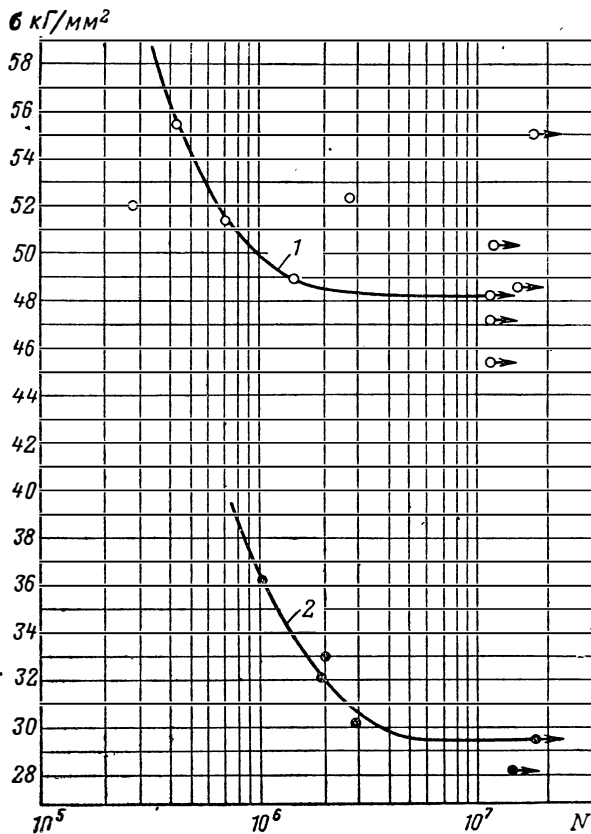
Рекомендуемая термическая обработка: для смягчения листового и пруткового материала применяется закалка с  $1050^{\circ}\text{C}$  в воде (материал толщиной до 3 мм можно охлаждать на воздухе); время выдержки выбирается из расчета 2—1 мин на 1 мм толщины. Для упрочнения прутки подвергают старению при  $550^{\circ}\text{C}$  в течение 2—8 час, а листы — при  $500^{\circ}\text{C}$  в течение 2—8 час; нагартованные листы — при  $500^{\circ}\text{C}$  в течение 2 час, охлаждение на воздухе.

Сталь хорошо сваривается аргоно-дуговой, ручной дуговой, роликовой и точечной сваркой с присадочной проволокой из основного металла или стали X18H9T (при ручной дуговой сварке применяется обмазка НЖ-2); не склонна к образованию трещин при сварке. Сварные соединения из-за интенсивного охрупчивания подвергать старению не рекомендуется. При необходимости термической обработки сварных соединений в процессе изготовления деталей из листового материала рекомендуются следующие режимы термической обработки после сварки: а) закалка с  $1050^{\circ}\text{C}$ , старение при  $500$ — $600^{\circ}$  или б) старение при  $500$ — $600^{\circ}$ , кратковременный отпуск токами высокой частоты при  $900$ — $1050^{\circ}\text{C}$ . Предел прочности сварного соединения, обработанного по режиму а, практически равен пределу прочности основного материала, а по режиму б — пределу прочности сварного соединения без термической обработки после сварки.

Сталь обрабатывается резанием аналогично стали 1X21H5T (ЭИ811).

### Применение

Детали и узлы, в том числе сварные, длительно работающие в атмосферных условиях, а так же в среде продуктов сгорания топлива при температурах до  $300^{\circ}\text{C}$  и кратковременно — при температурах до  $800^{\circ}\text{C}$ ; емкости и другие сварные и несварные детали, работающие в контакте с топливом Т-1, а также с некоторыми агрессивными средами при условии применения специальной защиты; тонкостенные изделия сложной формы, плохо поддающиеся правке после термической обработки.



Фиг. 1. Кривые выносливости стали X20H6MD2T при комнатной температуре (испытание при изгибе в одной плоскости).

1—образцы не сваренные ( $\sigma_B = 93 \div 97 \text{ кг/мм}^2$ ), 2—образцы, сваренные аргоно-дуговой сваркой (перед сваркой образцы термически обработаны по режиму: старение при  $500^\circ \text{C}$  в течение 8 час.)



<b>ХРОМОНИКЕЛЬТИТАНИСТАЯ СТАЛЬ С МЕДЬЮ</b>	<b>X15H5D2T (ЭП225, ВНС-2)</b>
--	------------------------------------

## Химический состав в % \*

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	Fe	S	P
								не более	
≤0,08	≤0,7	≤1,0	14,1—15,5	4,5—5,5	0,25—0,50	1,75—2,50	Основа	0,025	0,030

\* Сталь с пониженным содержанием титана (0,10—0,30%) обозначается маркой ЭП410.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (кон- трольные образцы)	Температура °С испытания	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>				
Прутки	ЧМТУ	Закаленные с 950°С на воздухе	20	90	70	12 (l=5d)	35	5
	ЦНИИЧМ 393—60							
Листы хо- лоднока- танные, толщиной 0,8—3,0 мм и горяче- катанные, толщиной 3,0—4,0 мм и 4,5 мм	ЧМТУ	Закаленные с 950° на воздухе	20	90	80	9	—	—
	ЦНИИЧМ 391—60							
	Закаленные с 950° на воздухе и соста- ренные при 450±10°С (1 час), охлаждение на воздухе	20	125	110	9	—	—	
		Нагартованные и состаренные при 450±10°С (1 час)	20	140	130	4	—	—
Сварочная проволока	ЧМТУ	Нагартованная	В соответствии с требова- ниями ТУ					
	ЦНИИЧМ 392—60							

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$E_d$	$E$	$\sigma_B^{**}$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{10}$ кг·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_{100}^{**}$	$\sigma_{-1}^{***}$
		кг/мм <sup>2</sup>				%			кг/мм <sup>2</sup>	
Термически обработанный по режиму****: заковка с 950°С на воздухе; старение при 450°С (1 час)	20	20 200	19 000	125—135	105—120	6—12	50—60	3,5—6,0	—	42—48
	300	18 500	17 000	105—115	90—100	5—7	50—60	—	105	—
	400	17 600	16 000	100—110	85—95	5—7	50—60	—	90	—

\* Определено на образцах с расчетной длиной 100 мм и рабочим диаметром 10 мм.

\*\* Определено на образцах с расчетной длиной 25 мм и рабочим диаметром 5 мм.

\*\*\* Определено для листа на консольных образцах при знакопеременном изгибе на базе  $10 \cdot 10^6$  циклов.

\*\*\*\* Свойства для прутков.

Физические свойства

$d=7,76 \text{ г/см}^3$   
 $\alpha \cdot 10^6=9,9 \text{ (20—100°); } 10,6 \text{ (20—200°); } 10,9 \text{ (20—300°); } 11 \text{ (20—400°); } 10,9 \text{ (20—500°) } 1/^\circ\text{C.}$   
 $\alpha \cdot 10^6=11 \text{ (100—200°); } 11,4 \text{ (200—300°); } 12,1 \text{ (300—400°); } 10,9 \text{ (400—500°) } 1/^\circ\text{C.}$   
 $\lambda=0,042 \text{ (25°); } 0,046 \text{ (100°); } 0,050 \text{ (200°); } 0,054 \text{ (300°); } 0,059 \text{ (400°); } 0,063 \text{ (500°); } 0,066 \text{ (600°); } 0,066 \text{ (700°) кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C.}$   
 $\epsilon=0,11 \text{ (100°); } 0,12 \text{ (200°); } 0,14 \text{ (300°); } 0,16 \text{ (400°); } 0,19 \text{ (500°); } 0,21 \text{ (600°); } 0,19 \text{ (700°) кал/г} \cdot ^\circ\text{C.}$

Технологические данные

Для уменьшения содержания газовых и неметаллических включений и повышения пластических свойств в поперечном направлении сталь рекомендуется переплавлять в вакуумных дуговых печах с расходным электродом.

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—850°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

После заковки сталь обладает высокой пластичностью и в этом состоянии из нее можно изготавливать детали холодной штамповкой, гибкой, отбортовкой.

Рекомендуемая термическая обработка:

1. При обработке на  $\sigma_B \geq 90 \text{ кг/мм}^2 - a$ ) заковка с 950°С на воздухе; отпуск при 200—300°С (для емкостей, работающих под длительным давлением);

б) отпуск при  $650^{\circ}\text{C}$  (для деталей, изготовляемых сваркой из предварительно закаленных элементов, и работающих в относительно более жестких коррозионных условиях).

2. При обработке на  $\sigma_{\text{в}} \geq 110 \text{ кг/мм}^2$  — закалка с  $950^{\circ}\text{C}$  на воздухе; старение при  $375\text{—}385^{\circ}\text{C}$  (для различных деталей, в том числе и для емкостей, испытывающих кратковременное давление).

3. При обработке на  $\sigma_{\text{в}} \geq 125 \text{ кг/мм}^2$  — закалка с  $950^{\circ}\text{C}$  на воздухе; старение при  $450^{\circ}\text{C}$  (для тонкостенных деталей, сварка в этом случае производится до старения).

Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки как в закаленном, так и состаренном состоянии; детали перед сваркой не нагревают. Сварные узлы после сварки подвергаются термической обработке не обязательно. Сталь не склонна к образованию холодных и горячих трещин при сварке. Сварные соединения, выполненные автоматической аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом и сваркой под флюсом, равнопрочны с основным металлом, а при ручной — прочность сварного шва составляет не менее 90% прочности основного металла. В качестве присадки применяется проволока из основного металла.

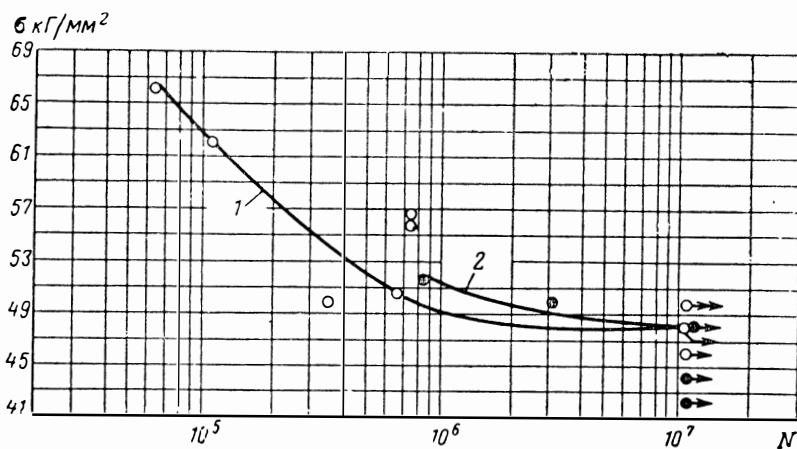
Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием, аналогично другим сталям мартенситного класса такой же прочности.

Детали, от которых требуется повышенная коррозионная стойкость, должны подвергаться после закалки старению при температурах не выше  $400^{\circ}\text{C}$  или отпуску при  $650^{\circ}\text{C}$ . Сварные детали, работающие в этих же условиях, нужно либо закалять после сварки и подвергать старению при температурах не выше  $400^{\circ}\text{C}$  или отпуску при  $650^{\circ}\text{C}$ , либо только отпуску при  $650^{\circ}\text{C}$  после сварки без промежуточной закалки.

Сварные детали, работающие в атмосферных условиях, окрашивают. Несварные детали могут применяться после пассивирования без лакокрасочных покрытий. Наиболее высокая коррозионная стойкость достигается после полирования и пассивирования или электрополирования.

### Применение

Детали, работающие в атмосферных условиях при температурах до  $400^{\circ}\text{C}$ ; емкости и другие детали, работающие в контакте с топливом, а также в контакте с некоторыми агрессивными средами при применении специальной защиты.



Фиг. 1. Кривые выносливости стали X15H5D2T (ЭП225) при комнатной температуре (испытание при изгибе в одной плоскости).

1—образцы, закаленные с 950° С на воздухе, старение при 450° С (1 час), 2—образцы, закаленные с 950° С на воздухе, старение при 400° С (1 час).

## ХРОМОНИКЕЛЬТИТАНИСТАЯ СТАЛЬ С МЕДЬЮ

X15H5ДТ  
(ЭП410, ВНС-2)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	Fe	S	P
								не более	
≤0,08	≤0,7	≤1	14,1—15,5	4,5—5,5	0,1—0,3	1,75—2,50	Основа	0,025	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\psi$	$\sigma_{нч}$ кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки	ЧМТУ	Закаленные с 950°С на воздухе	20	100	80	10 ( <i>l</i> =5 <i>d</i> )	45	8
	ЦНИИЧМ 808—62							
Листы холоднокатаные толщиной 0,8—3,0 мм и горячекатаные толщиной 3,0—4,0 мм шириной 710 мм	ЧМТУ	То же	20	100	80	8	—	—
	ЦНИИЧМ 784—62	Закаленные и состаренные при 450±10°С (1 час)	20	125	110	9	—	—
Листы холоднокатаные толщиной 0,8—2,5 мм	ЧМТУ	Закаленные с 950°С на воздухе	20	100	80	8	—	—
	ЦНИИЧМ 605—61							
		Закаленные и состаренные при 450±10°С (1 час)	20	135	115	9	—	—

Продолжение

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\psi$	$\frac{a_{ч}}{a_0}$ кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Листы нагартованные	ЧМТУ ЦНИИЧМ 605—61	Состаренные при 450°С (1 час)	20	140	130	4	—	—
		Закаленные с 950°С на воздухе	20	100	80	8	—	—
		Закаленные и состаренные при 450±10°С (1 час)	20	125	110	9	—	—
Листы горячекатаные толщиной 3,0—5,0 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 768—62	Отожженные	20	<105	<95	10	—	—
		Листы горячекатаные толщиной 5,0—20,0 мм, шириной 1000—1400 мм, длиной 5000 мм						
Лента толщиной 0,3—1,2 мм, шириной 400 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 785—62	Закаленная с 950° на воздухе	20	100	80	8	—	—
		Закаленная и состаренная при 450±10°С (1 час)	20	125	110	9	—	—
		Нагартованная и состаренная при 450±10°С (1 час)	20	140	130	4	—	—

## Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$E_d$	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$\sigma_{ц}$ кг·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_{с-1}$ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				%			
Прутки и листы	Термически обработанные по режиму: закалка с 950°С на воздухе; старение при 450°С (1 час)	20	20 200	19 000	125—140	110—130	6—12	50—60	6—10	42—48* 30—35**
		300	18 500	17 000	110—120	100—110	5—7	50—60	—	—
		400	17 600	16 000	105—115	90—100	5—7	50—60	—	—
Листы и лента	Нагартованные и состаренные при 450°С (1 час)	20	—	—	140—155	130—145	3—6	—	—	—
Прутки и листы	Термически обработанные по режиму: закалка с 950°С на воздухе; отпуск при 250°С	20	—	—	105—120	80—100	( $\delta_5$ ) 8—12	50—65	10—14	—
		-196	—	—	135—150	120—135	15—20	50—60	3—5	—
	То же, но отпуск при 650°С	20	—	—	95—105	80—90	12—18	60—65	—	—
		-196	—	—	130—145	115—125	15—20	50—60	—	—

\* Определено для листа на консольных образцах при знакопеременном изгибе на базе  $10 \cdot 10^6$  циклов.

\*\* Для сварного соединения листа.

## Физические свойства

$$d=7,76 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=9,9$  (20—100°); 10,6 (20—200°); 10,9 (20—300°); 11 (20—400°); 10,9 (20—500°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\alpha \cdot 10^6=11$  (100—200°); 11,4 (200—300°); 12,1 (300—400°); 10,9 (400—500°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\lambda=0,042$  (25°); 0,046 (100°); 0,050 (200°); 0,054 (300°); 0,059 (400°); 0,063 (500°); 0,066 (600°); 0,066 (700°)  $\text{кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C}$ .

$c=0,11$  (100°); 0,12 (200°); 0,14 (300°); 0,16 (400°); 0,19 (500°); 0,21 (600°); 0,19 (700°)  $\text{кал/г}\cdot^\circ\text{C}$ .

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—850°С. Охлаждение после деформации на воздухе. После закалки сталь обладает высокой пластичностью.

Рекомендуемая термическая обработка:

1. При обработке на  $\sigma_b \geq 105 \text{ кг/мм}^2$  — закалка с 950°С на воздухе; отпуск при 200—300°С (для емкостей, в том числе работающих при длительном давлении).

2. При обработке на  $\sigma_b \geq 125 \text{ кг/мм}^2$  — закалка с 950°С на воздухе; старение при 450°С. Старение может быть применено после сварки только для тонколистовых деталей, сваренных аргоно-дуговой сваркой без присадки (например, обшивки), за исключением баллонов и других емкостей, работающих при значительных внутренних давлениях.

3. При обработке на  $\sigma_b \geq 140 \text{ кг/мм}^2$  — нагартовка или растяжка на  $\geq 0,5\%$  (после закалки) и старение при 450°С (для обшивки и деталей внутреннего набора).

4. При обработке на  $\sigma_b \geq 105 \text{ кг/мм}^2$  — закалка с 950°С на воздухе; отпуск при 200—300°С и на  $\sigma_b \geq 95 \text{ кг/мм}^2$  — закалка с 950°С на воздухе, отпуск при 650°С (рекомендуется для деталей, работающих при температурах до —196°С).

Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки как в закаленном, так и в состаренном состоянии; не склонна к образованию холодных и горячих трещин при сварке. Детали перед сваркой не нагревают.

Сварные соединения, выполненные автоматической аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом и сваркой под флюсом, равнопрочны с основным металлом, а при ручной — прочность сварного шва составляет не менее 90% прочности основного металла. В качестве присадки применяют основной металл или проволоку из стали ЭП225.

Сталь обрабатывается резанием, аналогично другим сталям мартенситного класса такой же прочности.

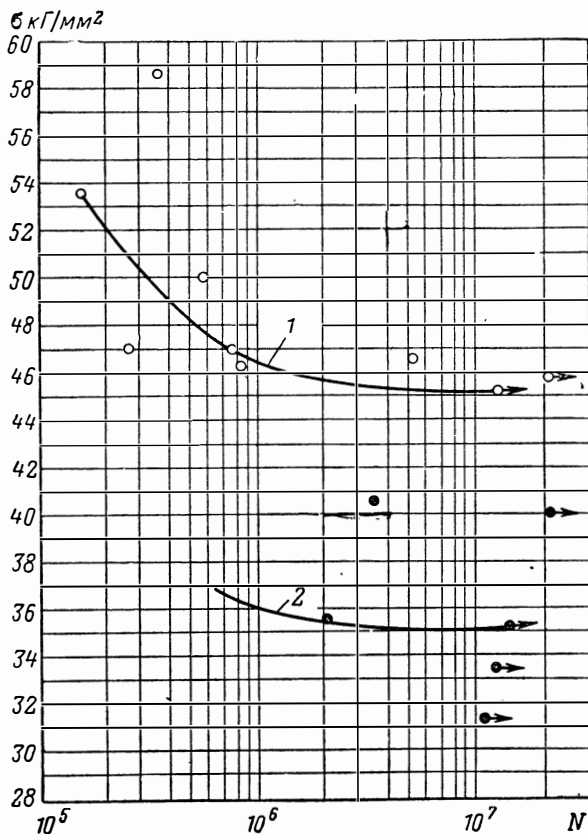
Детали, от которых требуется повышенная коррозионная стойкость, должны подвергаться после закалки старению при температурах не выше 400°С или отпуску при 650°С. Сварные детали, работающие в таких же условиях, после сварки следует подвергать либо закалке и старению при температурах не выше 400°С или отпуску при 650°С, либо только отпуску при 650°С без промежуточной закалки.

Для повышения коррозионной стойкости сварные детали окрашивают, несварные детали могут применяться без окраски после пассивирования. Наиболее высокая коррозионная стойкость достигается после полирования и пассивирования или электрополирования.

## Применение

Обшивки и детали внутреннего набора, работающие в атмосферных условиях при температурах до 400°С; баллоны высокого давления; емкости и другие детали, работающие в контакте с топливом; детали, работающие при температурах до —196°С.





Фиг. 1. Кривые выносливости стали X15H5Д2Т (ЭП410) при комнатной температуре (испытание при изгибе в одной плоскости).

1—образцы не сваренные, 2—образцы, сваренные аргонодуговой сваркой со скоростью 48 м/час.

## ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

1Х21Н5Т (ЭИ811)

## Химический состав в %

С	Cr	Mn	Ni	Fe	Si	Ti	S	P
							не более	
0,09—0,14	20—22	0,4—0,8	4,8—5,8	Основа	до 0,8	0,25—0,5	0,03	0,035

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$	$\psi$	$a_{H_2}$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки	ЧМТУ	Закаленные с 900— 1000°С в воде или на воздухе					
	ЦНИИЧМ 291—60 группа 1 группа 2		70 60	35 35	$\delta_5$ 20 20	45 45	6 6
Листы толщиной 0,8—4 мм	ЧМТУ	Закаленные с 1050°С в воде или на воздухе	70	45	18	—	—
	ЦНИИЧМ 290—60						
Листы толщиной >4 мм	ЧМТУ	Закаленные с 950— 980°С в воде	70	45	25	—	—
	ЦНИИЧМ 62—58						

## Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабрика- тата	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{H_2}$ кг·м/см <sup>2</sup>	HB (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>			%			
Листы	Холодно- катаные	20	18 000	70—90	45—70	20—35	—	—	4,0—4,3
		300	15 600	—	—	—	—	—	—
		400	14 800	≥ 51	≥ 36	≥ 16	—	—	—
		—50	—	90	58—75	15—20	—	—	—
		—100	—	100	70—80	15—20	—	—	—

Продолжение

Вид полу-фабриката	Состояние	Температура испытания °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{\text{н}}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>			%			
Прутки	Закаленные с 950— 1050° С в воде	20	18 000	70—85	35—55	20—35	55—65	18—24	—
		400	—	>47	≥30	≥25	≥65	—	—
		—50	—	90	—	—	—	≥6	—
		—100	—	100	40—60	—	—	≥6	—

## Физические свойства

$$d=7,8 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 13,4$  (20—100°); 14,5 (100—200°); 15,4 (200—300°); 16,3 (300—400°); 17,3 (400—500°); 18 (500—600°); 19 (600—700°); 23,6 (700—800°); 22,4 (800—900°) 1/°С.

$\lambda = 0,042$  (100°); 0,043 (200°); 0,046 (300°); 0,048 (400°); 0,055 (500°); 0,065 (600°); 0,072 (700°); 0,084 (800°); 0,088 (900°) кал/см·сек °С.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1050—800°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

Термическая обработка: закалка с 950—1050°С (выдержка из расчета 2 мин на 1 мм толщины) в воде или на воздухе.

Сталь сваривается всеми видами сварки. В качестве присадочного материала применяют проволоку из основного металла. Механические свойства сварных соединений приведены в таблице.

Вид сварки	Температура в °С					
	20	300	400	500	600	700
	$\sigma_B$ , кг/мм <sup>2</sup>					
Аргано-дуговая	72	54	54	50	35	17
Автоматическая под слоем флюса АН-26 с усилением шва	74	54	52	48	34	—

Продолжение

Вид сварки	Температура в °С					
	20	300	400	500	600	700
	$\sigma_B$ , кг/мм <sup>2</sup>					
Автоматическая под слоем флюса АН-26 без усиления шва	72	53	51	49	32	19

### Применение

Сварные и паяные конструкции, термически не обрабатываемые после сварки и пайки, работающие в атмосферных условиях и при кратковременных нагревах до 400°С; изделия, работающие в некоторых агрессивных средах; конструкции, работающие в среде топлива.

СТАЛЬ						ЭИ654		
Механические свойства по ТУ (не менее)								
Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>				
Прутки горячекатаные и кованные	МПТУ 4200—53	Закаленные с 950° С в воде	20	73	38	25 ( $l=5d$ )	40	8 (в продольном направлении), 3,5 (в поперечном направлении)
Прутки горячекатаные и кованные	ЧМТУ 5718—57	Закаленные с 950° С в воде	20	73	40	25 ( $l=5d$ )	40	8 (в продольном направлении), 3,5 (в поперечном направлении)
Прутки кованные (из металла, полученного методом электрошлакового переплава)	ЧМТУ 353—60	Закаленные с 950° в воде	20	73	38	25 ( $l=5d$ )	40	8 (в продольном направлении), 3,5 (в поперечном направлении)
Листы толщиной 2,5 мм	ЧМТУ 3753—53	Нагартованные	20	80	60	10	—	—
Листы толщиной 2,5 мм*	То же	Нагартованные	20	90	70	10	—	—
Листы толщиной 3,0—3,8 мм	"	Мягкие. Закаленные с 1020—1050° С на воздухе или в воде	20	75	35	30	—	—
Листы толщиной < 2,5 мм	"		20	73	35	30	—	—
Лента	ЧМТУ 5380—56	Нагартованная	20	90—100	—	15	—	—
Лента		Мягкая	20	75	—	30	—	—

\* Поставляются по требованию завода-потребителя.

**Механические свойства металла вакуумной выплавки**  
(Индукционная печь)

Вид полу-фабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
				%		
Прутки кованые	Закаленные с 950°С в воде	20	80—90	48—67	68—76	9—16,2 (в поперечном направлении)

**Механические свойства при различных температурах**

Вид полу-фабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	HRC
			кг/мм <sup>2</sup>			%			
Листы**	Нагартованные	—196	—	150	105	35	—	3***	—
		—70	—	116	88	38	—	—	—
		20	16 000	90	75	25	—	4***	27—34
		300	15 000	75	65	11	—	—	—
		350	14 500	74	64	11	—	—	—
		400	14 000	73	64	11	—	—	—
	Мягкие	—196	—	150	85	40	—	7***	—
		—70	—	105	70	45	—	7***	—
		20	18 000	78	50	42	—	7***	—
		450	—	60	—	32	—	—	—
		400	—	59	—	32	—	—	—
		500	—	—	—	—	—	—	—
Прутки диаметром до 60 мм	Закаленные с 950—1050° в воде	—70	—	109	—	47	60	14	—
		—196	—	125	65	25	30	4****	—
Прутки диаметром до 150 мм		20	18 000	80	51	33	60	—	—
		300	—	64	40	28	57	—	—
		400	—	62	35	26	56	—	—

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=11,3\sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

\*\* Для лент и листов, поставляемых по ЧМТУ 4986—55 с  $\sigma_B \geq 90$  кг/мм<sup>2</sup>, типичное значение  $\sigma_B$  при 20°С составляет 95 кг/мм<sup>2</sup>.

\*\*\* Испытания проводились на уменьшенных образцах (3×6×40 мм).

\*\*\*\* При содержании феррита до 20%.

## Физические свойства

$$d = 7,51 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 16,31$  (20—100°); 16,51 (100—200°); 18,51 (200—300°); 19,57 (300—400°); 20,42 (400—500°); 21,24 (500—600°); 21,04 (600—700°); 21,60 (700—800°); 21,66 (800—900°) 1/°С.

$\lambda = 0,029$  (20°); 0,032 (100°); 0,035 (200°); 0,038 (300°); 0,042 (400°); 0,046 (500°); 0,051 (600°); 0,054 (700°); 0,058 (800°) кал/см·сек °С.

$$q = 1,04$$
 (20°); 1,08 (100°) о.м.·мм<sup>2</sup>/м.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—900°С. Для ответственных деталей обжатие должно быть не менее 50%. Штампуемость листовой стали в холоднокатаном и горячекатаном состоянии хорошая.

Оптимальная термическая обработка стали перед штамповкой: заковка с 1020—1150°С в воде (с повышением температуры в указанных пределах пластичность увеличивается \*).

Сталь хорошо сваривается автоматической сваркой под слоем флюса АН-348А; сваркой плавящимся электродом с применением чистого аргона, аргона с добавкой до 1% углекислого газа и гелия; ручной дуговой сваркой металлическим электродом (ЭИ654) с покрытием флюсами марок НЖ-1, НИАТ-1, ЦЛЗ-М, ручной аргоно- или гелиеводуговой сваркой с присадочным материалом ЭИ654, контактной точечной и роликовой сваркой.

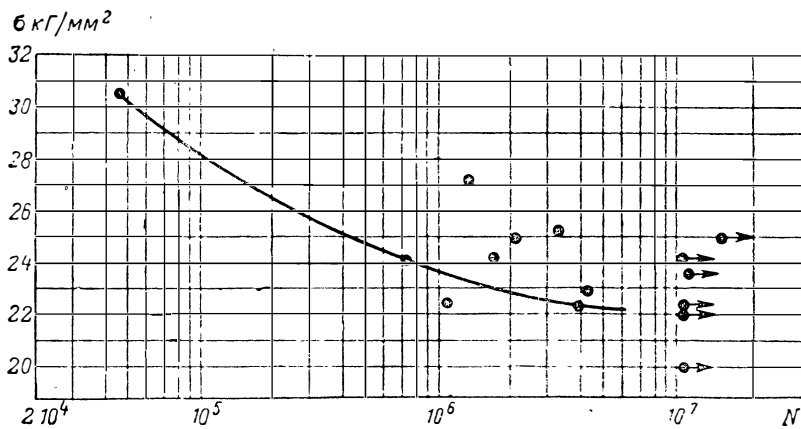
Сварные изделия термической обработке не подвергаются. Поковки, штамповки и другие полуфабрикаты, изготавливаемые горячей обработкой давлением, а также детали, изготавливаемые из прутков после холодной обработки, закаляют с температуры 950—1050°С в воде. С повышением температуры закалки пластичность стали увеличивается; для изделий, работающих при низких температурах, закалка должна производиться с температуры не ниже 1000°С. Сталь не склонна к образованию трещин и к коррозии под напряжением.

Герметичные детали должны изготавливаться из металла вакуумной выплавки или полученного электрошлаковым переплавом. Для деталей, предназначенных для работы при низких и повышенных температурах, а также крупногабаритных изделий, изготавливаемых с применением таких операций, как пайка в контейнере или сварка толстых листов с крупногабаритными деталями из прутков, должны применяться прутки, поставляемые по МПТУ 4200—53. Прутки, поставляемые по ЧМТУ 5718—57, содержат больше ферритообразующих элементов. При повышенном содержании феррита снижается пластичность стали при низких температурах и проявляется чувствительность к охрупчиванию после медленного охлаждения в интервале температур 700—800°С; оптимальное содержание феррита в стали, предназначенной для изделий, работающих при низких температурах, должно быть до 20%.

## Применение

Сварные изделия, работающие в воздушной и агрессивных средах.

\* Предельный коэффициент вытяжки в закаленном состоянии  $K_{пр} = 2,05 \div 2,08$ . Рабочий коэффициент вытяжки  $K_{раб} = 1,8 \div 1,85$ .



Фиг. 1. Кривая выносливости стали ЭИ654 при комнатной температуре (испытание при изгибе в одной плоскости сварного соединения).



СТАЛЬ						ЭИ759			
-------	--	--	--	--	--	-------	--	--	--

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	
				кг/мм <sup>2</sup>				%	
Прутки горяче- катаные и кованные	ЧМТУ 5165—55	Закаленные с 950±10° С в воде	20	80	40	25 ( <i>l</i> =5 <i>d</i> )	40	8	3,5
			20	80	35	25	—	—	—
Листы толщиной 0,8—3,8 мм	ЧМТУ 5166—55	Закаленные с 1000—1050° С в воде	20	80	35	25	—	—	—
			20	100	70	10	—	—	—

## Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабрика- тата	Состояние	Темпера- тура испытания °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^{**}$
			кг/мм <sup>2</sup>			
Листы холодно- катаные	Мягкие	—196	—	128	—	17
		20	17 000	80	35	30
		350	15 800	70	—	—
		500	14 800	59	27	30
		600	13 700	46	22	34
		700	12 300	31	17	55
Листы холодно- катаные	Нагартованные	—196	—	123	—	16
		20	16 600	100	70	10
		350	15 500	85	—	12
		500	14 600	62	35	30
		600	13 600	45	27	34
		700	12 200	31	15	56
Прутки	Закаленные с 950° С в воде*	20	—	80	—	25
		350	16 000	—	—	—
		500	15 200	59	—	30
		600	14 000	47	—	31
		700	12 500	31	—	39

\* При —196° С  $a_n \geq 4$  кг·м/см<sup>2</sup>.\*\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65\sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Пределы длительной прочности и ползучести

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_5$	$\sigma_{0,2/5}$
			кг/мм <sup>2</sup>	
Листы	Нагартованные	400	65	—
		500	57	30
		600	32	—

Термостойкость при 700°С — более 100 циклов.

## Физические свойства

$d=7,51 \text{ г/см}^3$   
 $\alpha \cdot 10^6=15,7 (20-100^\circ); 18,0 (100-200^\circ); 19,5 (200-300^\circ); 19,5 (300-400^\circ);$   
 $20,6 (400-500^\circ); 21,7 (500-600^\circ); 21,6 (600-700^\circ); 22,7 (700-800^\circ); 23,7$   
 $(800-900^\circ) 1/^\circ\text{С}.$   
 $\lambda=0,027 (20^\circ); 0,030 (100^\circ); 0,034 (200^\circ); 0,038 (300^\circ); 0,044 (400^\circ); 0,048$   
 $(500^\circ); 0,053 (600^\circ); 0,057 (700^\circ); 0,063 (800^\circ); 0,070 (900^\circ) \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{С}.$   
 $\rho=1,06 (20^\circ) \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}.$

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—950°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Штампуемость листовой стали в холодном и горячекатаном состоянии хорошая. Оптимальная термическая обработка стали перед штамповкой: закалка с 1050—1100°С в воде.

Поковки, штамповки и другие полуфабрикаты, изготавливаемые горячей обработкой давлением, а также детали из прутков, подвергаются закалке с 950—1050°С в воде.

Сталь хорошо сваривается автоматической сваркой под слоем флюса АН-348А, автоматической аргоно-дуговой, ручной аргоно-дуговой с электродом из стали ЭИ759 с покрытием флюсами марок НЖ-1, НИАТ-1, ЦЛЗ-М, контактной точечной и роликовой сваркой. Сварные изделия термообработке не подвергаются. Сталь не склонна к образованию трещин и к коррозии под напряжением; по сравнению со сталью ЭИ654 менее склонна к образованию  $\sigma$ -фазы.

Для деталей особо ответственного назначения рекомендуется применять металл вакуумной выплавки или полученный электрошлаковым переплавом.

## Применение

Наружные и внутренние рубашки камер сгорания ЖРД и другие детали, длительно работающие в агрессивных средах при температурах до 600°С и кратковременно выше 600°С, а также детали, работающие при температурах до —196°С.

<b>СТАЛЬ</b>	<b>ВНС-3 (ЭП492)</b>
--------------	----------------------

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$	$\psi$	$\frac{a_n}{k\Gamma \cdot M/cm^2}$
			кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки горяче- катаные и кованные	ЧМТУ	Закаленные с 1000°С в воде	80	50	25 (l=10d)	50	10
	ЦНИИЧМ 1047—63						
Листы толщиной <2,5 мм	ЧМТУ	Мягкие	85	48	35	—	—
	ЦНИИЧМ 1125—64	Нагартованные	110	80	10	—	—

## Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабри- ката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$	$\psi$	$\frac{a_n}{k\Gamma \cdot M/cm^2}$
			кг/мм <sup>2</sup>			%		
Листы горяче- катаные	Мягкие	-70	—	107	—	—	—	—
		20	17 000	85	48	35	—	—
		300	16 500	63	32	30	—	—
		400	15 600	63	29	28	—	—
		500	14 500	50	26	30	—	—
Листы	Нагартованные	20	—	125	100	7,5	—	—
		300	—	100	76	7	—	—
		400	—	98	73	7	—	—
		500	—	97	72	7	—	—
Прутки диамет- ром до 150 мм	Закаленные с 950—1050°С в воде	-196	—	—	—	—	—	1,5
		-70	—	—	—	—	—	5
		20	18 400	80	50	34 (l=10d)	50	10

## Физические свойства

$d=7,55 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6=14,4$  (20—100°); 15,5 (100—200°); 16,5 (200—300°); 17,4 (300—400°);  
 18,3 (400—500°); 19,2 (600—700°); 21,3 (800—900°) 1/°С.  
 $\lambda=0,033$  (100°); 0,036 (200°); 0,039 (300°); 0,043 (400°); 0,046 (500°); 0,050  
 (600°); 0,053 (700°); 0,056 (800°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1100—950°. Охлаждение после деформации на воздухе. Штампуемость листовой стали в холоднокатаном и горячекатаном состоянии хорошая. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка		Гибка
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{мин}$
2,02	1,7	1,73	1,47	0,5S*

\* S — толщина листа.

Оптимальная термическая обработка стали перед штамповкой: закалка с 1020—1150°С в воде. Поковки, штамповки и другие полуфабрикаты, изготавливаемые горячей обработкой давлением, а также детали, изготавливаемые из прутков холодной деформацией, закаливают с 950—1050°С в воде. С повышением температуры закали пластичность стали увеличивается.

Сталь хорошо сваривается дуговой и аргоно-дуговой (ручной и автоматической) сваркой. Сварные изделия термической обработке не подвергают.

Сталь не склонна к образованию трещин и к коррозии под напряжением. Для деталей ответственного назначения рекомендуется применять металл, полученный электрошлаковым переплавом.

## Применение

Сварные емкости и другие изделия, работающие в агрессивных средах и в атмосферных условиях.

## ИЗНОСОСТОЙКАЯ СТАЛЬ

ВНС-7

## Типичные механические свойства при температуре 20° С

Вид полу- фабриката	Состояние	$E$	$\sigma_B$	$a_H$ кг·м/см <sup>2</sup>	HRC
		кг/мм <sup>2</sup>			
Прутки диаметром 15—25 мм	Термически обрабо- танные по режиму: за- калка с 1000° С в мас- ле; старение при 525° С (3 часа)	20 000	110—125	0,1—0,3	49—51

## Физические свойства

$d=7,42$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6=9,3$  (20—100°); 9,7 (20—200°); 10,2 (20—300°); 10,7 (20—400°); 11,1 (20—500°) 1/°С.  
 $\alpha \cdot 10^6=10,0$  (100—200°); 11,2 (200—300°); 12,3 (300—400°); 12,9 (400—500°) 1/°С.  
 $\lambda=0,029$  кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1100—900° С. Охлаждение после деформации медленное. Рекомендуемая термическая обработка: закалка с 1000—1050° С в масле; старение при 525±10° С в течение 3 час. Для деталей ответственного назначения рекомендуется применять металл вакуумной выплавки.

Технологическая пластичность и обрабатываемость стали резанием аналогичны стали 9Х18. Коррозионная стойкость выше, чем стали 9Х18.

Сталь может свариваться различными видами электросварки. Устойчива против коррозии в агрессивных средах.

## Применение

Детали трения насосной аппаратуры, регуляторов давления и другие, работающие в агрессивных средах при температурах до 50° С.

## КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ ЛИТЕЙНЫЕ СТАЛИ

СТАЛИ	ЭИ654Л и ЭИ654ЛК
-------	------------------

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$ %	$A_{gt}$ кг·м/см <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>			
Фасонные отливки из стали ЭИ654Л	АМТУ 433—58 и СТУ	Закаленные с 950—1100° С в воде	20	68	35	20	4
Фасонные отливки из стали ЭИ654ЛК	СТУ	Закаленные с 1100° С в воде	20	65	—	16	2,8

## Минимальные механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$	$\psi$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Образцы из тренообразных заготовок	Закаленные с 1150° С в воде		Сталь ЭИ654Л				
		20	15 500	68	32	36	34
		300	13 200	52	19	41	42
		400	12 250	51	19	44	44
Образцы из тренообразных заготовок	Закаленные с 1150° С в воде		Сталь ЭИ654ЛК				
		20	15 700	65	29	46	40
		400	13 500	48	16	51	43

## Физические свойства

Сталь ЭИ654Л

$$d = 7,67 \text{ г/см}^3.$$

$$\alpha \cdot 10^6 = 16,3 (20-100^\circ); 16,5 (100-200^\circ); 18,5 (200-300^\circ); 19,6 (300-400^\circ); 20,4 (400-500^\circ); 21,2 (500-600^\circ); 21,0 (600-700^\circ); 21,6 (700-800^\circ); 21,7 (800-900^\circ) \text{ } 1/^\circ\text{С}.$$

$$\lambda = 0,024 (20^\circ); 0,027 (100^\circ); 0,031 (200^\circ); 0,034 (300^\circ); 0,038 (400^\circ); 0,041 (500^\circ); 0,045 (600^\circ); 0,049 (700^\circ); 0,053 (800^\circ); 0,059 (900^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{С}.$$

## Сталь ЭИ654ЛК

$$d=7,67 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 16,3$  (20—100°); 17,4 (100—200°); 18,5 (200—300°); 19,6 (300—400°); 19,5 (400—500°); 19,5 (500—600°); 20,6 (600—700°); 21,6 (700—800°); 22,7 (800—900°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\lambda = 0,026$  (20°); 0,029 (100°); 0,032 (200°); 0,036 (300°); 0,039 (400°); 0,043 (500°); 0,046 (600°); 0,050 (700°); 0,055 (800°); 0,061 (900°)  $\text{кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$ .

## Технологические данные

Сталь выплавляют в индукционных печах с основной футеровкой. В шихте используют до 50% отходов этой же стали. Плавку и заливку металла рекомендуется производить в защитных средах или в вакууме. Жидкотекучесть металла хорошая. Температура заливки форм 1570—1650°. Линейная усадка составляет 2,5—3,0%, поэтому материал форм должен обладать большой податливостью. Минимальная толщина стенок отливок при габаритах 400×600 мм — 3—4 мм. Прибыли и литники удаляют анодной резкой, электрической дугой или механическим путем.

Оптимальная термическая обработка отливок: закалка с 1100—1150° С в воде.

Сталь хорошо сваривается.

## Применение

Сталь ЭИ654Л — применяется для изготовления несварных деталей, работающих в агрессивных средах, и сварных деталей, работающих в атмосферных условиях.

Сталь ЭИ654ЛК — применяется для изготовления сварных деталей, работающих в агрессивных средах.

<b>ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВАЯ СТАЛЬ С МЕДЬЮ</b>	<b>X24H8M2ДЗЛ (ВКЛ-1)</b>
--	---------------------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe	S	P
								не более	
≤0,07	0,4—0,8	0,3—0,8	23—25	8—9	1,75—2,25	2,75—3,25	Основа	≤0,04	≤0,04

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	a <sub>н</sub> кГ·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кГ/мм <sup>2</sup>		%			
Образцы из трефо- образных заготовок	АМТУ 476—61	Закаленные с 1100±20°С в воде	65	40	20	50	12	4,1— 4,6
		Термически обрабо- танные по режиму: закалка с 1100±20°С в воде; старе- ние при 465±10°С (8 час), охлаждение на воздухе	80	45	15	30	5	3,6— 4,0

## Механические свойства при различных температурах

Состояние материала	Темпе- ратура испыта- ния °С	E	E <sub>d</sub>	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	σ <sub>пц</sub>	δ <sub>10</sub>	ψ	a <sub>н</sub> кГ·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
		кГ/мм <sup>2</sup>					%			
Закаленный с 1100± 20°С в воде	-70	—	—	—	—	—	—	—	12	—
	-40	—	—	—	—	—	—	—	12	—
	20	18 000	—	65	40	—	18	50	12	4,1
	300	16 500	—	58	30	—	18	45	—	—
	400	14 500	—	55	27	—	17	45	—	—
Термически обрабо- танный по режиму: за- калка с 1100±20°С в воде; старение при 465±10°С (8 час), ох- лаждение на воздухе	-70	—	—	—	—	—	—	—	1	—
	-40	—	—	—	—	—	—	—	2	—
	20	18 000	19 500	80	45	18	13	30	5	3,6
	300	16 500	17 500	75	32	10	11	25	—	—
	400	15 500	16 500	70	32	9	10	15	—	—



## Пределы длительной прочности и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{100}$	$\delta_5$	$\sigma_{-1}$ на базе 10·10 <sup>6</sup> циклов
		кг/мм <sup>2</sup>	%	кг/мм <sup>2</sup>
Закаленный с 1100° С в воде	20 300	— 45	— 30	22—26 24
Термически обработанный по режиму: закалка с 1100° С в воде; старение при 465° С (8 час), охлаждение на воздухе	20 300	— 50	— 20	25—30 24

## Физические свойства

$d=7,85 \text{ г/см}^3$ ,  
 $\alpha \cdot 10^6=12,9$  (20—100°); 13,4 (20—200°); 13,8 (20—300°); 14,2 (20—400°);  
 14,6 (20—500°) 1/°C.  
 $\alpha \cdot 10^5=12,9$  (20—100°); 13,9 (100—200°); 14,5 (200—300°); 15,7 (300—400°);  
 16,0 (400—500°) 1/°C.  
 $\lambda=0,036$  (100°); 0,040 (200°); 0,043 (300°); 0,047 (400°); 0,050 (500°)  
 кал/см·сек·°C.

## Технологические данные

Сталь выплавляют в индукционных печах с основной футеровкой. Жидкотекучесть металла хорошая. Температура заливки форм 1590—1650° С. Линейная усадка составляет 2%. Для уменьшения газовых и неметаллических включений и повышения пластических свойств сталь рекомендуется выплавлять в индукционных вакуумных печах.

После пассивирования сталь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных и морских условиях, а также в ряде агрессивных сред со специальной защитой; не склонна к межкристаллитной коррозии.

Сталь хорошо сваривается; трещины в сварных швах не образуются. Присадочным материалом служит проволока из основного металла. Механические свойства сварных соединений при комнатной температуре приведены в таблице.

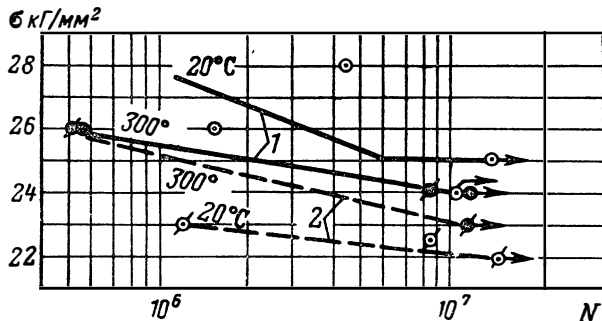
Вид сварки*	Состояние материала	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	Коэффициент ослабления сваркой	Угол изгиба сварного соединения град
Ручная дуговая	Сваренный после закалки	75	—	65
	Сваренный после закалки и старения	80	—	55
	Закаленный после сварки	65	1,0	80
	Закаленный и состаренный после сварки	90	1,0	65

Продолжение				
Вид сварки*	Состояние материала	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	Коэффициент ослабления сваркой	Угол изгиба сварного соединения град
Аргонно-дуговая ручная	Сваренный после закалки	70	—	≥ 80
	Сваренный после закалки и старения	70	—	≥ 80
	Закаленный после сварки	65	0,95	≥ 90
	Закаленный и состаренный после сварки	85	0,90	≥ 90

\* Испытание проводилось на образцах толщиной 5 мм.

### Применение

Детали, работающие в некоторых агрессивных средах в интервале температур эксплуатации сред; детали, работающие в атмосферных условиях при температурах до 300° С длительно и до 700° С кратковременно, а также в морских условиях.



Фиг. 1. Кривые выносливости стали X24H8M2ДЗЛ при температурах 20 и 300° С (испытание при изгибе).

1—образцы гладкие, 2—образцы с надрезом.

## ЖАРОСТОЙКИЕ (ОКАЛИНОСТОЙКИЕ) ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СТАЛИ

ХРОМОНИКЕЛЬКРЕМНИСТАЯ СТАЛЬ	4X10C2M (X10C2M, ЭИ107)
-----------------------------	----------------------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	S	P
							не более	
0,35—0,45	1,9—2,6	≤0,7	9,0—10,5	≤0,5	0,7—0,9	Основа	0,025	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$	НВ (д.мм)
				кг/мм <sup>2</sup>					
Прутки	МПТУ 2362—49	Термически обработанные по режиму: закалка с 1010—1050°С в масле или на воздухе; отпуск при 750±30°С, охлаждение в масле	20	95	75	10	35	2	3,7—3,3
		Термически обработанные по режиму: отжиг при 1020±20°С (1 час), охлаждение с печью до 750°С (3—4 часа), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	4,3—3,7

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta$	$\psi$	$a_n$
			кг/мм <sup>2</sup>						
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1030°С, отпуск при 750°С	20	19 200	103	80	59	15	46	—
		300	17 400	98	68	48	13	47	—
		400	16 800	88	62	34	13	54	—
		500	13 200	66	46	24	19	65	—
		600	—	39	22	—	28	85	—
		700	—	15	5	—	46	96	—
		800	—	6	—	—	—	—	—
		900	—	3	—	—	—	—	—

Продолжение									
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				%		
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1100°С в масле; отпуск при 800°С (3 часа), охлаждение в воде*	20	21 000	96	68	—	19	40	3,0
		100	21 000	86	58	—	13	26	—
		200	21 000	83	52	—	17	39	7,0
		300	20 600	85	53	—	14	35	8,3
		400	20 000	78	49	—	13	24	8,9
		500	17 100	68	46	—	21	41	11
		600	17 600	44	37	—	30	70	—
700	15 400	22	20	—	41	91	—		

\* По данным ЦКТИ.

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{10\,000}$
		кг/мм <sup>2</sup>		
Термически обработанный по режиму: закалка с 1100°С в масле; отпуск при 800°С (3 часа), охлаждение в воде	500	—	30	20
	550	25	17	—

## Пределы ползучести (по общей деформации)

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/300}$	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,5/100}$	$\sigma_{1/100}$
		кг/мм <sup>2</sup>				
Термически обработанный по режиму: закалка с 1030°С в масле; отпуск при 750°С	500	20	—	—	33	42
	600	5,0	—	—	8	10
	700	0,5	—	—	2	3,5
	800	0,14	—	—	—	—
Термически обработанный по режиму: закалка с 1100°С в масле; отпуск при 800°С (3 часа), охлаждение на воздухе*	500	—	22	18	—	—
	550	—	8	6,5	—	—

\* По данным ЦКТИ.

## Жаростойкость

Сталь жаростойка при температурах до 850°С.

## Физические свойства

$$d=7,62 \text{ г/см}^3.$$

$$\alpha \cdot 10^5=10,0 \text{ (20—100°); } 11,0 \text{ (0—800°) } 1/^\circ\text{C}.$$

$$\lambda=0,040 \text{ (20°); } 0,047 \text{ (200°); } 0,054 \text{ (400°); } 0,059 \text{ (600°) кал/см}\cdot\text{сек } ^\circ\text{C}.$$

$$c=0,111 \text{ (0—20°); } 0,114 \text{ (200°); } 0,121 \text{ (400°); } 0,132 \text{ (600°) кал/г}\cdot^\circ\text{C}.$$

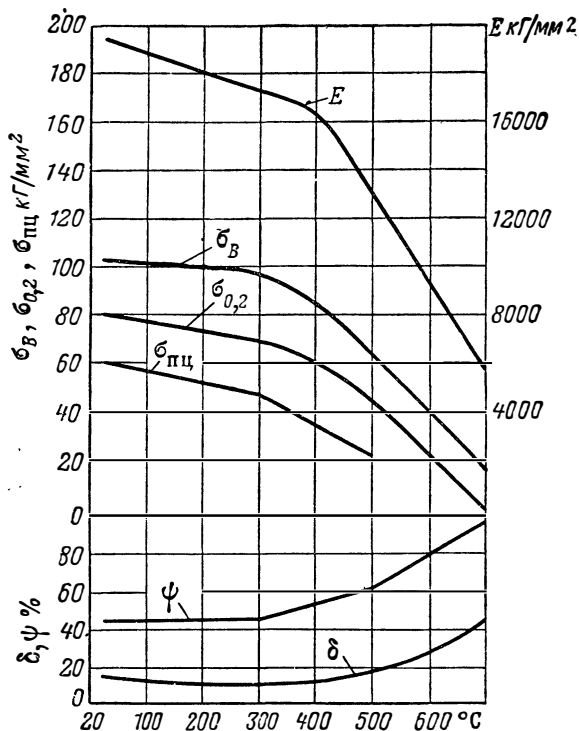
## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1100—900°С. Нагрев под деформацию и охлаждение после деформации производится медленно.

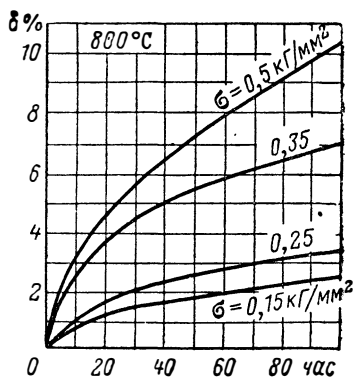
Режим термической обработки: закалка с 1010—1040°С в масле или на воздухе; отпуск при температуре 750°С с последующим охлаждением на воздухе. Сталь наплавляется стеллитом и нихромом. После наплавки необходимо провести термическую обработку. Азотируется отлично.

## Применение

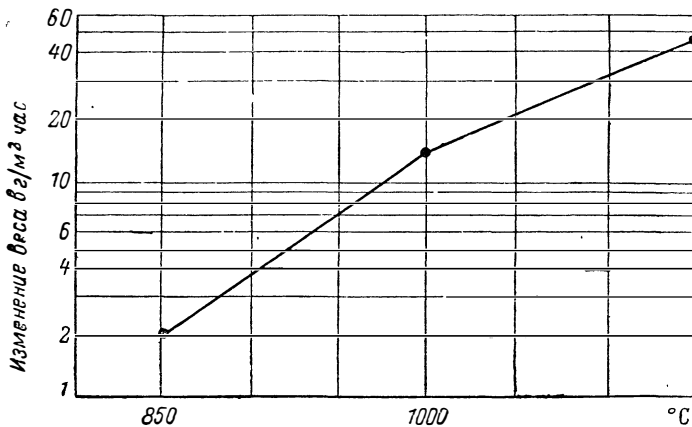
Клапаны выпуска поршневых двигателей.



Фиг. 1. Изменение механических свойств стали 4Х10С2М в зависимости от температуры испытания (образцы, закаленные с 1030°С и отпущенные при 750°С).



Фиг. 2. Кривые ползучести стали 4X10C2M при температуре 800°C.



Фиг. 3. Кривая жаростойкости стали 4X10C2M.

## ХРОМОНИКЕЛЬКРЕМНИСТАЯ СТАЛЬ

3X13H7C2  
(X13H7C2, ЭИ72)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
0,25—0,34	2—3	≤0,7	12—14	6,0—7,5	Основа	0,025	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки	МПТУ 2362—49	Термически обработанные по режиму: закалка с $1050 \pm 10^\circ\text{C}$ в воде; отжиг при $860\text{—}880^\circ\text{C}$ (6 час), охлаждение до $700^\circ\text{C}$ в течение 2 час и далее вместе с печью; нормализация с $660\text{—}680^\circ\text{C}$ (30 мин) на воздухе; повторная закалка с $790\text{—}810^\circ\text{C}$ в масле	20	120	80	10	25	2	3,3—3,05

## Механические свойства при высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$
			%	
Термически обработанный по ТУ	500	80	12	56
	600	40	25	60
	700	30	31	56
	800	20	15	40
	900	15	4,5	13
	1000	6	—	—

### Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления в воздушной среде при температурах до 1000° С.

При 24-часовых испытаниях в воздушной среде привес составляет: 1,16 при 800° С; 3,16 при 900° С; 3,32 г/м<sup>2</sup>· час при 1000° С.

### Физические свойства

$$d=8,0 \text{ г/см}^3.$$

$$\alpha \cdot 10^6=14,5 (20-100^\circ); 18,5 (700-800^\circ) 1/^\circ\text{С}.$$

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1100—850° С. Следует избегать образования грубозернистой структуры, так как аустенит в данном случае обладает малой склонностью к распаду.

### Применение

Клапаны выпуска поршневых двигателей.



## ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

Х23Н13 (ЭИ319)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
≤0,2	≤1	≤2	22—25	12—15	Основа	0,025	0,035

## Механические свойства по ГОСТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\psi$
				кг/мм <sup>2</sup>		%	
Прутки	ГОСТ 5949—61	Закаленные с 1100—1150°С в масле, в воде или на воздухе	20	50	30	35 ( $l=5d$ )	50
Листы толщиной 0,8—4 мм	ГОСТ 5582—61	Закаленные с 1100—1150°С в воде	20	55	—	35	—
	ГОСТ 7350—55		20	56	—	34	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$\alpha_{II}$ кг-м/см <sup>2</sup>	$\sigma_{100}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{10\,000}$
		кг/мм <sup>2</sup>		%			кг/мм <sup>2</sup>		
Закаленный на аустенит с 1050°С в воде	20	66	36	37	60	21	—	—	—
	550	59	28	26	60	21	35	30	25*
	600	53	29	29	64	>30	30	23	17*
	650	48	31	31	67	>30	20	17	11*

\* По данным ЦКТИ.

Состояние материала	Температура испытания °С	Продолжение							
		$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$a_{\text{н}}$ кг·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_{100}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{10000}$
		кг/мм <sup>2</sup>		%			кг/мм <sup>2</sup>		
Закаленный на аустенит с 1050°С в воде	700	39	—	34	58	>30	13	8,5	6
	750	28	—	35	58	—	9	6	3,5
	800	18	—	30	60	—	6,5	3,5	2
	850	—	—	—	—	—	4,5	2,5	1
	900	—	—	—	—	—	3	1,4	—
	950	—	—	—	—	—	2	0,9	—

## Влияние старения на удельную ударную вязкость

Состояние материала	Температура старения °С	Время старения час	$a_{\text{н}}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ кг/мм <sup>2</sup>
Закаленный на аустенит с 1050°С в воде	600	1000	10,2	207
		2000	0,8	282
		8800	1,6	246
	750	1000	5,6	216
		2000	0,8	288
		8800	—	—

## Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления в атмосфере воздуха при температурах до 1100°С, а в условиях частых теплосмен — до 980°С.

## Физические свойства

$$d=7,81 \text{ г/см}^3.$$

$$\alpha \cdot 10^6=15,7 (0-300^\circ); 18,6 (0-600^\circ) 1/^\circ\text{С}.$$

$$\lambda^*=0,033 (100^\circ); 0,045 (500^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{С}.$$

$$c=0,121 (20^\circ) \text{ кал/г}\cdot^\circ\text{С}.$$

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1100—900°С.

При наличии двухфазной структуры (аустенит с прослойками феррита) деформацию следует вести с обжатием не более 25%.

Рекомендуемая термическая обработка: закалка с 1050°С в воде или на воздухе.

## Применение

Печное оборудование, работающее при небольших напряжениях в интервале температур 600—900°С. Может применяться для изготовления корпуса и кольцевых деталей газовых турбин. Под влиянием длительного воздействия температур 600—650°С вследствие образования  $\sigma$ -фазы удельная ударная вязкость стали резко понижается.

\* По данным справочника «Теплофизические свойства веществ», ГЭИ, 1956.

## ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

X23N18 (ЭИ417)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
≤0,18	≤1	≤2	22—25	17—20	Основа	0,020	0,035

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$
				кг/мм <sup>2</sup>		%	
Прутки	МПТУ 2362—49	Закаленные с 1100—1150°С в воде или на воздухе	20	58	25	35	50
Листы	ЧМТУ 3126—52	Закаленные с 1030—1070°С в воде или на воздухе	20	58	—	40	—
Кольца (бандаж)	АМТУ 326—55	В соответствии с требованиями ТУ					

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65\sqrt{F}$  для плоских и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_{40}$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>			%		
Листы	Закаленные с 1050°С (5 мин) на воздухе	20	—	69	—	49	50	—
		500	—	51	—	42	37	—
		600	—	45	—	41	39	—
		700	—	31	—	58	58	—
		800	—	21	—	56	60	—
		900	—	10	—	75	61	—

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65\sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

		Продолжение						
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_{ц}$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>			%		
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1180°С в воде; старение при 800°С (4 часа)**	20	20 400	67	33	35	51	16
		300	18 600	54	24	20	47	16
		400	18 000	56	23	28	42	16
		500	17 300	54	21	27	43	18
		600	16 300	42	20	23	45	18
		650	15 900	40	20	22	46	19
		700	15 300	33	20	22	34	18

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5,65\sqrt{F}$  для плоских образцов и  $l=5d$  для цилиндрических образцов.

\*\* По данным ЦКТИ.

#### Механические свойства при низких температурах \*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %	Поглощенная энергия при ударе* кг·м
			кг/мм <sup>2</sup>			
Листы	Отожженные	20	56	24	60	12—13
		—70	70	28	55	—
		—196	105	49	54	12
		—245	126	66	56	11

\* Образец с острым V-образным надрезом.

#### Пределы длительной прочности \*

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{10\,000}$	$\sigma_{100\,000}$
		кг/мм <sup>2</sup>					
Закаленный с 1180°С в воде	650	20	17,5	16	15	11,5	8
	700	17	12,3	10	8	6	3,5
	800	7	5	4	—	2,15	1,2

\* По данным ЦКТИ.

## Пределы ползучести \* (по общей деформации)

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/300}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,2/2000}$	$\sigma_{0,2/3000}$	$\sigma_{0,2/5000}$	$\sigma_{0,2/10\ 000}$	$\sigma_{1/100\ 000}$
		кг/мм <sup>2</sup>							
Закаленный с 1180°С в воде	650	13,5	—	12,8	12,3	11,5	10,5	7,3	5,4
	700	10,5	10	8,5	7	6,5	6	5,2	3,5
	800	5,2	4,4	3,7	3	—	1,7	1,4	1,2

\* По данным ЦКТИ.

## Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в среде воздуха привес составляет: 0,02 при 800°С; 0,10 при 900°С; 0,20 при 1000°С; 0,35 при 1100°С; 1,0 г/м<sup>2</sup>·час при 1200°С.

## Физические свойства

$$d=7,9 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=15,4$  (20—100°); 16,4 (100—200°); 17,4 (200—300°); 18,4 (300—400°); 19,2 (400—500°); 21,2 (500—600°); 22 (600—700°); 22,4 (700—800°); 23,3 (800—900°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6=15,9$  (20—200°); 16,4 (20—300°); 16,6 (20—400°); 17,4 (20—500°); 18 (20—600°); 18,6 (20—700°); 19,1 (20—800°); 19,5 (20—900°) 1/°С.

$$\lambda=0,033 \text{ (20°) кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{°С}.$$

$$\rho=1,0 \text{ (20°) ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}.$$

$$c=0,12 \text{ (20—100°) кал/г} \cdot \text{°С}.$$

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1150—900°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

Пластичность стали в закаленном состоянии высокая, но после закалки на крупное зерно (1150—1180°С) пластичность при температурах 700—800°С сильно понижается, а жаропрочность повышается. Предельный коэффициент вытяжки ( $K_{пр}$ ) — 2,08; рабочий ( $K_{раб}$ ) — 1,80÷1,90. Радиус закругления рабочей кромки матрицы ( $r_m$ ) составляет (6—8)  $S$ , радиус закругления рабочей кромки пуансона ( $r_n$ ) — (0,5—1)  $r_m$ . Утонение материала в готовых деталях в критическом сечении при  $K_{раб}$  составляет 5—10%, утолщение кромки деталей — 27—23%.

Рекомендуемая термическая обработка деталей на заводах-потребителях: закалка на аустенит с 1040—1070°С на воздухе.

Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки.

## Применение

Детали камер сгорания и жаровые трубы, работающие при температурах до 900°С; сопловые аппараты газовых турбин турбокомпрессоров, литые и деформируемые сопловые лопатки газовых турбин ТВД. Алюминированные детали (выступы смесителей) камер сгорания показывают лучшую стойкость при высоких температурах.

<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ</b>	<b>ХН38ВТ (ЭИ703)</b>
-----------------------------	-----------------------

## Химический состав в %\*

С	Si	Mn	Cr	Ni	W	Nb или Ti	Ce**	Al	Fe	S   P	
										не более	
0,06— 0,12	≤0,8	≤0,7	20—23	35—39	2,8— 3,5	1,2— 1,7	0,7— 1,2	0,05	≤0,5	Осно- ва	0,020   0,030

\* Содержание примесей в металле вакуумной выплавки: ≤0,6% Si; ≤0,6% Mn; ≤0,015% S; ≤0,025% P.

\*\* Церий вводится по расчету.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ	ψ	σ <sub>50</sub> кг/мм <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>				
Листы холоднокатаные	ЧМТУ 5093—55	Закаленные с 1100—1140°С на воздухе или в воде	20	60	—	35 ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	—	—
	ЧМТУ ЦНИИЧМ 830—62	Закаленные с 1080—1120°С на воздухе или в воде	20 800	≤85 25	—	35 40 ( $l=5,65\sqrt{F}$ ) ( $l=5,65\sqrt{F}$ )	— —	— —
Листы горячекатаные	ЧМТУ 5619—56	Закаленные с 1100—1140°С на воздухе или в воде	20 800	60 25	—	35 40	40 40	— —
Лента холоднокатаная	ЧМТУ 5482—56	То же	20	60	—	30 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )	—	—
Прутки	ЧМТУ	Закаленные с 1120—1160°С в воде или на воздухе	20	55	20	35 ( $l=5d$ )	45	—
	ЦНИИЧМ 534—61		700	—	—	—	—	20

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$	$\sigma_{-1}$ (на базе 10 <sup>7</sup> циклов) кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>			%		
Листы	Закаленные с 1120°С на воздухе	20	20 300	65—74	20—25	40—50	38	—
		600	—	52—55	12—15	40—45	38	—
		700	16 200	40—45	12—14	40—45	34	—
		800	15 200	25—27	11—12	50—60	42	13—14
		900	14 500	15	5—7	60—65	48	—
		1000	—	8—10	4	70—75	49	—
		1100	—	5	—	60—65	—	

## Пределы длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_1$	$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$
			кг/мм <sup>2</sup>						
Листы	Закаленные с 1120°С на воздухе (сталь с титаном)	800	14—15	12—13	11—12	8,5—9	8	7	6
		900	8	5,5	5	4	3,5	3	—
	Закаленные с 1120°С на воздухе (сталь с ниобием)	800	—	—	—	—	—	9	—
		900	—	—	—	—	5	4,5	—

## Пределы минутной ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{1/1'}$	$\sigma_{1/5'}$	$\sigma_{1/15'}$	$\sigma_{1/60'}$
			кг/мм <sup>2</sup>			
Листы	Закаленные с 1060—1080°С на воздухе (состояние поставки)	700	33	30	24	22
		800	20	16	14	10
		900	9	7	6	3

## Пределы ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{5/100}^*$
			общая деформация	остаточная деформация	
			кг/мм <sup>2</sup>		
Листы	Закаленные с 1120° С на воздухе	800	2,0	2,5	6,3—7,4
		900	—	—	2,1—2,8
		1000	—	—	0,9
	Закаленные с 1180° С на воздухе	800	—	—	7,3—7,9
		900	—	—	2,9—4,4
		1000	—	—	1,4—1,9

\* Испытания проводились на конических образцах. Нижний предел относится к стали с титаном, верхний — с ниобием.

## Термическая стойкость \*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	Число теплосмен для металла	
			открытой выплавки	вакуумной выплавки
Листы толщиной 1,5 мм	Закаленные с 1100—1120° С (10 мин) на воздухе	800—20	110	125
		900—20	46	60
		1000—20	22	35
		1100—20	24	—
		1200—20	22	—

\* Испытания проводились до появления трещины длиной 0,5 мм на образцах с радиусом надреза 0,1 мм.

## Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде привес составляет: 0,0820—0,1170 при 900° С; 0,0286—0,0324 при 1000° С и 0,4238 г/м<sup>2</sup>·час при 1100° С.

## Физические свойства

$d = 8,17 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 13,7$  (20—100°); 14,8 (100—200°); 15,7 (200—300°); 16,6 (300—400°); 17,5 (400—500°); 18,3 (500—600°); 19,2 (600—700°); 20,0 (700—800°); 20,4 (800—900°); 18,6 (900—1000°) 1/°С.



$\alpha \cdot 10^6 = 14,25 (20-200^\circ); 14,73 (20-300^\circ); 15,2 (20-400^\circ); 15,66 (20-500^\circ); 16,1 (20-600^\circ); 16,54 (20-700^\circ); 16,97 (20-800^\circ); 17,35 (20-900^\circ); 17,48 (20-1000^\circ) 1/^\circ\text{C}.$

$\lambda = 0,030 (100^\circ); 0,034 (200^\circ); 0,039 (300^\circ); 0,042 (400^\circ); 0,045 (500^\circ); 0,048 (600^\circ); 0,053 (700^\circ); 0,059 (800^\circ); 0,065 (900^\circ) \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}.$

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—850°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка		Гибка
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{мин}$
2,03—2,15	1,70—1,75	1,65—1,70	1,50—1,55	(1—1,2) S*

\* S — толщина листа.

Для снятия наклепа производится закалка с 1060—1080°С.

Рекомендуемая термическая обработка деталей: закалка с 1120—1150°С на воздухе.

Сталь хорошо сваривается аргоно-дуговой, дуговой и контактной сваркой, удовлетворительно обрабатывается резанием.

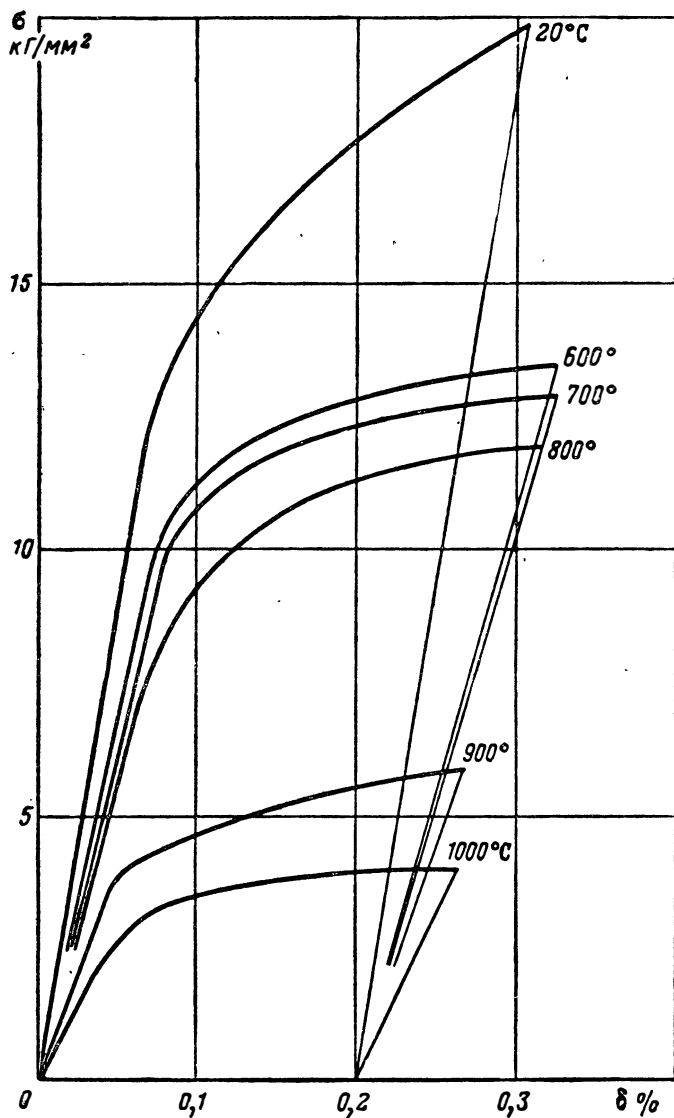
После сварки термическую обработку можно не проводить. Прочность сварных соединений показана в таблице (усиление после сварки не снято).

Вид полуфабриката	Вид сварки	Температура испытания °С	Толщина листов мм	$\sigma_{в}$ кг/мм <sup>2</sup>	Прочность сварной точки кг
Листы толщиной 0,8—2,0 мм (в состоянии поставки)	Дуговая	20 900	1,7 1,7	68—70 18	— —
	Аргоно-дуговая	20 800 900	От 0,8 до 2,0	63—70 29—32 17—18	— — —
	Точечная*	20 800 900	От 0,8 до 2,0	— — —	700—1895 270—790 180—600
	Роликовая	20 800 900	От 0,8 до 2,0	63—75 24—29 15—19	— — —

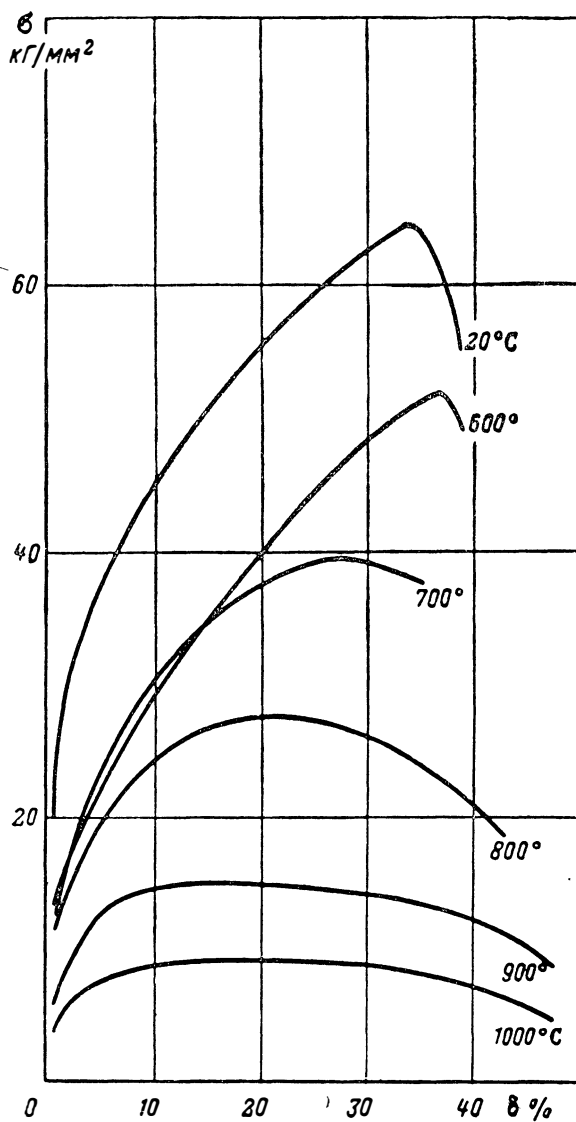
\* Минимальные цифры относятся к толщине листа 0,8 мм; максимальные — к 2,0 мм.

## Применение

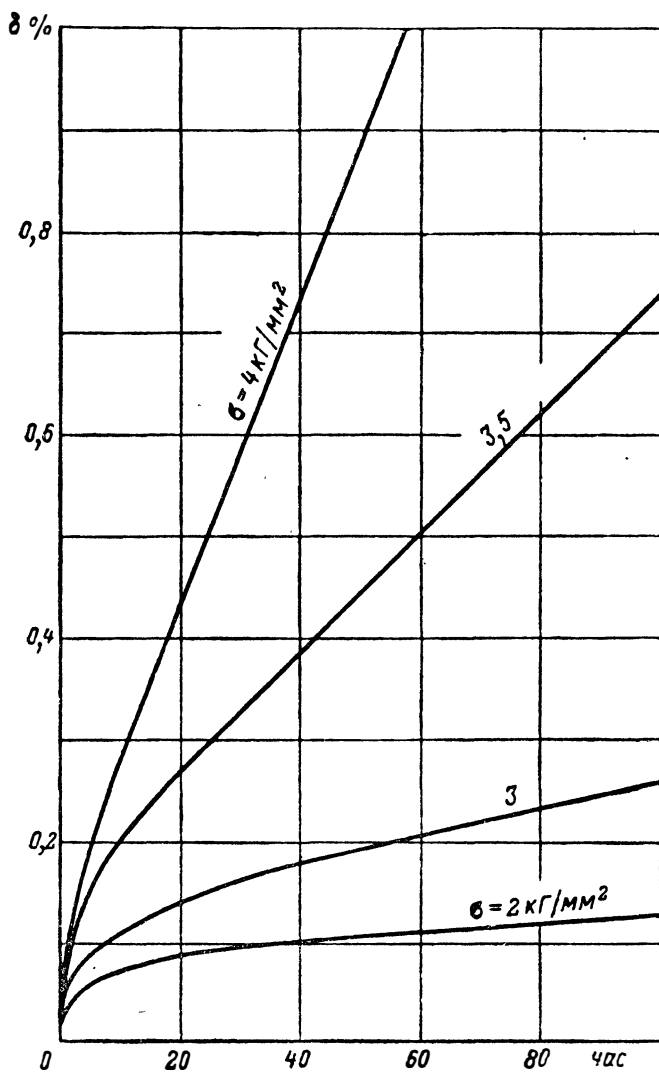
Жаровые трубы камер сгорания, форсажные камеры, оболочки летательных аппаратов. Рекомендуется взамен сплавов на никелевой основе ХН75МБТЮ (ЭИ602) и ХН78Т (ЭИ435).



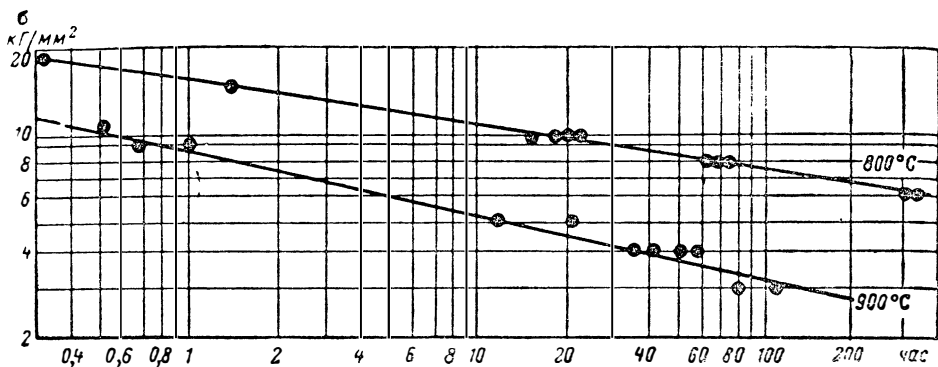
Фиг. 1. Кривые растяжения стали ХН38ВТ до предела текучести.



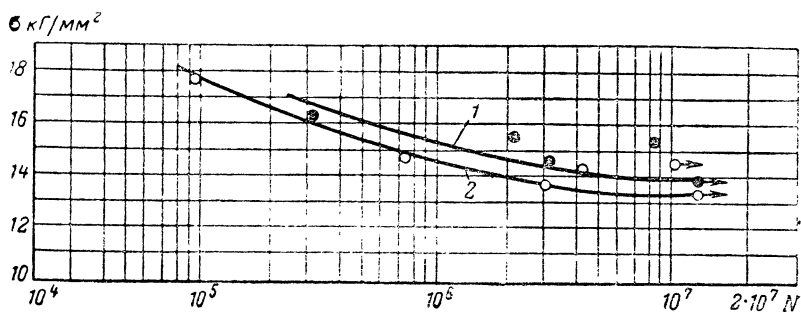
Фиг. 2. Кривые растяжения стали ХН38ВТ от предела текучести до разрушения.



Фиг. 3. Кривые ползучести стали ХН38ВТ при температуре  $800^\circ\text{C}$ .



Фиг. 4. Кривые длительной прочности стали ХН38ВТ.



Фиг. 5. Кривые выносливости стали ХН38ВТ при температуре  $800^\circ\text{C}$ . (Испытание при симметричном изгибе плоских образцов):

1—закалка с  $1170^\circ\text{C}$ , 2—закалка с  $1120^\circ\text{C}$ .

**ХРОМОНИКЕЛЬМАРГАНЦОВИСТАЯ СТАЛЬ  
С АЗОТОМ**
**X25N16Г7АР (ЭИ835)**
**Химический состав в %**

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	N	В	S   P	
								не более	
≤0,12	≤1	5—7	23—26	14—18	Основа	0,25—0,45	≤0,025	0,030	0,035

**Механические свойства по ТУ (не менее)**

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %
Листы шириной 3,6 мм	тол. 0,8 ЧМТУ ЦНИИЧМ 31—58	Закаленные с 1100°С (выдержка из расчета 1 мин на каждый мм толщины листа) на воздухе	20	70	40

**Механические свойства при комнатной и высоких температурах**

Состояние материала	Температура испытания, °С	E	$\sigma_B$			$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{Tr}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ кг/мм <sup>2</sup>
			Листы	Прутки	Прутки					
Закаленный с 1150°С на воздухе	20	19 300	80—94	79—87	39—45	47—57	50—62	—	37—38	190—220
	100	19 100	—	—	—	—	—	—	—	—
	200	18 650	—	—	—	—	—	—	—	—
	300	17 400	—	—	—	—	—	—	—	—
	500	—	57—64	57—62	—	41—51	48—57	64—76	30—37	138—145
	600	—	50—54	52—59	—	28—42	40—53	56—74	34—37	140
	700	—	40—44	39—46	—	14—18	22—33	22—34	32—35	132—135
	800	—	30—34	29—36	—	15—20	19—28	24—40	29—32	131—134
	850	—	—	24—26	—	—	20—33	24—35	24—28	130—133
	900	—	19—23	19—24	—	22—32	24—36	25—44	24—29	129—134
	950	—	—	16—17	—	—	26—39	30—39	22—26	128—129
	1000	—	10—13	10—14	—	32—50	52—64	43—60	17—26	122
	1050	—	7—9	7—8	—	35—49	51—52	47—71	17—24	109
	1100	—	4—6	4—6	—	25—50	50—70	41—62	17—22	88—95
	1150	—	4—5	4—5	—	33—41	51—89	45—59	14—19	77—78
1200	—	3—4	3—4	—	24—60	59—64	48—69	9—12	67	

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>		$\delta$ %		$\sigma_{-1}$ кг/мм <sup>2</sup> (на базе 10 <sup>7</sup> циклов)
		листы	прутки	листы	прутки	
Закаленный с 1150°С на воздухе	700	19	—	10	—	—
	800	10	11	30	22	19
	900	4	—	25	14	13
	1000	1,1—1,3	—	22	—	—

Чувствительность к надрезу  
(Прутки)

Форма образца	Температура испытания °С	$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	Время до разрушения час
Гладкий	800	10	113
Надрезанный ( $r=0,5$ мм)			198
Гладкий	900	5	55
Надрезанный ( $r=0,5$ мм)			110

## Термическая стойкость

(Испытания проводились на газовой установке ЦНИИЧМ — цикл 2 мин)

Режим термической обработки	Режим испытания 850 $\rightleftharpoons$ 200°		Режим испытания 1100 $\rightleftharpoons$ 200°	
	число теплосмен	балл коробления	число теплосмен	балл коробления
Закалка с 1080—1100°С	145—180	1—2	33—56	3—4
Закалка с 1200°С (5 мин)	80—100	1—2	60	4

## Термическая стойкость, определенная по методике ВИАМ \*

Состояние материала	Температура испытания °C	Число теплосмен
Закаленный с 1150° С	800—20	65
	900—20	23
	1000—20	20

\* Испытания проводились до появления трещины длиной 0,5 мм на образцах с радиусом надреза 0,1 мм.

## Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде при температуре 1100° С привес составляет 0,40—0,72 г/м<sup>2</sup>·час.

## Физические свойства

$d = 7,82—7,83$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6 = 16,6$  (20—100°); 16,2 (20—200°); 16,8 (20—300°); 17,4 (20—400°); 18,0 (20—500°); 18,3 (20—600°); 18,5 (20—700°); 18,7 (20—800°); 18,9 (20—900°) 1/°С.  
 $\lambda = 0,036$  (100°); 0,039 (200°); 0,042 (300°); 0,046 (400°); 0,050 (500°); 0,053 (600°); 0,057 (700°); 0,061 (800°); 0,066 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1160—900° С. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка		Гибка	
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{мин}$	$r_{раб}$
2,06—2,10	1,75—1,80	1,70—1,75	1,50—1,60	0,5S*	(1—1,5) S*

\* S — толщина листа.

Рекомендуемая термическая обработка: закалка с 1100—1150° С на воздухе.

Сталь сваривается аргоно-дуговой, точечной и роликовой сваркой при содержании бора не более 0,01%. Прочность сварных соединений показана в таблице.

Температура испытания °C	Аргоно-дуговая сварка	Роликовая сварка
	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	
20	79—86	68—69
800	22—27	26—27
900	16—20	20—21

## Применение

Детали камер сгорания.



<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ</b>	<b>ЭП126 (ВЖ100)</b>
-----------------------------	----------------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo
≤0,1	≤0,6	≤1,5	19—22	25—30	4,8—6,0	2,8—3,5

## Продолжение

Nb	Fe	N	B*	S	P
не более					
0,7—1,3	Основа	0,15—0,30	≤0,005	0,02	0,02

\* Бор вводится по расчету.

## Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$ кГ/мм <sup>2</sup>	$\delta$ $l=5,65\sqrt{F}$ %	$\sigma_{100}$ кГ/мм <sup>2</sup>
Листы холоднокатаные	ЧМТУ	Мягкие	20	≤90	≥35	—
	ЦНИИЧМ 208—59	Нагартованные	20	95—115	≥8	—
Лента холоднокатаная	ЧМТУ	Закаленная с 1080—1120° С на воздухе	20	≤90	≥35	—
	ЦНИИЧМ 288—60	Нагартованная	20	95—120	≥8 ( $l=5d$ )	—
Прутки (заготовки для труб)	ЧМТУ	Закаленные с 1110±10° С на воздухе	20	75	35 ( $l=5d$ )	—
	ЦНИИЧМ 743—62		900	20	50 ( $l=5d$ )	5

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	<i>E</i>	<i>E</i> <sub>л</sub>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{5,65}/F$	$\delta_{11,8}/F$
			кг/мм <sup>2</sup>					%	
Листы	Закаленные с 1080—1120°С на воздухе (состояние поставки)	20	18 000	20 100	80—85	37—40	22—24	50—55	31
		500	13 900	16 600	66—68	23—25	15—17	40—50	30
		600	—	15 900	63—66	—	—	40—50	—
		700	12 000	15 600	50—60	22—24	14—15	35—45	28
		800	11 100	15 200	35—40	22—24	12—14	30—35	19
		850	—	14 700	—	—	—	—	—
		900	10 000	—	22—27	14—16	7—8	60—70	33
		1000	6 200	—	12—14	6—7	3—4	75—85	40
		1100	—	—	5—7	—	—	50—60	40

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{0,5/100}$	$\sigma_{1/100}^*$	$\sigma_{-1}$ (на базе 10 <sup>7</sup> циклов)	
							остаточная деформация	общая деформация				
кг/мм <sup>2</sup>												
Листы	Закаленные с 1080—1120°С на воздухе (состояние поставки)	650	—	—	—	—	—	—	—	25,5	19	—
		700	—	—	—	—	—	—	—	—	13	—
		800	16	14	13	—	4,5	4	—	—	7	21
		900	7—7,5	6—7	5—6	—	2,5	—	—	—	4	16
		1000	—	—	—	—	—	—	—	2,4	2,2	8
	Закаленные с 1120°С (5 мин) на воздухе	800	—	—	14	—	—	—	—	—	—	—
		900	—	—	6,5	5	—	—	—	—	—	—
	Закаленные с 1180°С (1 час) на воздухе	950	—	—	4,5	3,5	—	—	—	—	—	—
		1000	—	—	2,5	2	—	—	—	—	—	—

\* Испытания проводились на стандартных листовых образцах для определения длительной прочности.

## Пределы секундной прочности и ползучести

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпера- тура испы- тания, °С	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$	
			кг/мм <sup>2</sup>					
Листы	В состоянии поставки ( $\sigma_B^{20^\circ} = 82$ кг/мм <sup>2</sup> )	700	57,5	55,5	54	53,5	52	
		800	40	38	35,5	34	32	
		900	26	23,5	21	20	18	
		$\sigma_{0,5/10''}$ $\sigma_{0,5/60''}$ $\sigma_{0,5/120''}$ $\sigma_{0,5/180''}$ $\sigma_{0,5/300''}$					кг/мм <sup>2</sup>	
		800	30,5	25	23	22	20,5	
		900	17	13	11,4	10,6	9,6	
		$\sigma_{1/10''}$ $\sigma_{1/60''}$ $\sigma_{1/120''}$ $\sigma_{1/180''}$ $\sigma_{1/300''}$					кг/мм <sup>2</sup>	
		800	33,5	29,4	25	23,8	22	
		900	18	14,6	12,8	11,8	10,8	
		$\sigma_{1,5/180''}$ $\sigma_{1,5/300''}$ $\sigma_{2/60''}$ $\sigma_{2/120''}$ $\sigma_{2/180''}$					кг/мм <sup>2</sup>	
		800	34	33,8	39	37	35,5	
		$\sigma_{2/300''}$ $\sigma_{3/60''}$ $\sigma_{3/120''}$ $\sigma_{3/180''}$ $\sigma_{3/300''}$					кг/мм <sup>2</sup>	
		800	34	42	40	38,5	36	

## Механические свойства в зависимости от степени нагартовки

Степень нагартовки %	20°			700°
	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %	$\sigma_{0,5/15^* \text{ мин}}$ кг/мм <sup>2</sup>
	кг/мм <sup>2</sup>			
0	80—85	35—40	40—50	24
10	90—97	60—64	22—28	39
15	100—105	66—70	16—18	46
20	101—109	70—80	11—14	47
25	107—111	75—84	8—10	50
30	110—116	79—89	6—7	54

\* Нагрев до заданной температуры осуществлялся внешним источником тепла за 40—60 сек.

## Термическая стойкость\*

Состояние материала	Температура испытания °C	Число теплосмен
Состояние поставки	800—20	70—80
	900—20	35—40
	1000—20	20—28
	1100—20	10—15

\* Испытания проводились до появления трещины длиной 0,5 мм на образцах с радиусом надреза 0,1 мм.

## Жаростойкость

За 100 час испытания в воздушной среде при 1100°С привес составляет 0,440—0,476 г/м<sup>2</sup>·час.

## Физические свойства

$$d = 8,33 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 15$  (20—100°); 15,5 (20—200°); 15,9 (20—300°); 16,25 (20—400°); 16,64 (20—500°); 16,95 (20—600°); 17,3 (20—700°); 17,7 (20—800°); 18,02 (20—900°) 1/°C.

$\alpha \cdot 10^6 = 16,0$  (100—200°); 16,7 (200—300°); 17,3 (300—400°); 18,2 (400—500°); 18,5 (500—600°); 19,5 (600—700°); 20,4 (700—800°); 20,6 (800—900°) 1/°C.

$\lambda = 0,026$  (25°); 0,030 (100°); 0,034 (200°); 0,038 (300°); 0,042 (400°); 0,046 (500°); 0,05 (600°); 0,053 (700°); 0,057 (800°); 0,062 (900°) кал/см·сек °C.

Сталь немагнитна.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—900°С. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка		Гибка	
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{мин}$	$r_{раб}$
2—2,05	1,70—1,75	1,60	1,40—1,35	0,5 S*	1—1,5 S*

\* S — толщина листа.

В качестве промежуточной термической обработки для снятия нагартовки рекомендуется закалка с 1060—1080°С на воздухе. Детали с незначительной степенью нагартовки термической обработке подвергать не следует, так как материал поставляется в закаленном состоянии, с оптимальными свойствами.

Рекомендуемая термическая обработка: закалка с 1100—1120°С на воздухе.

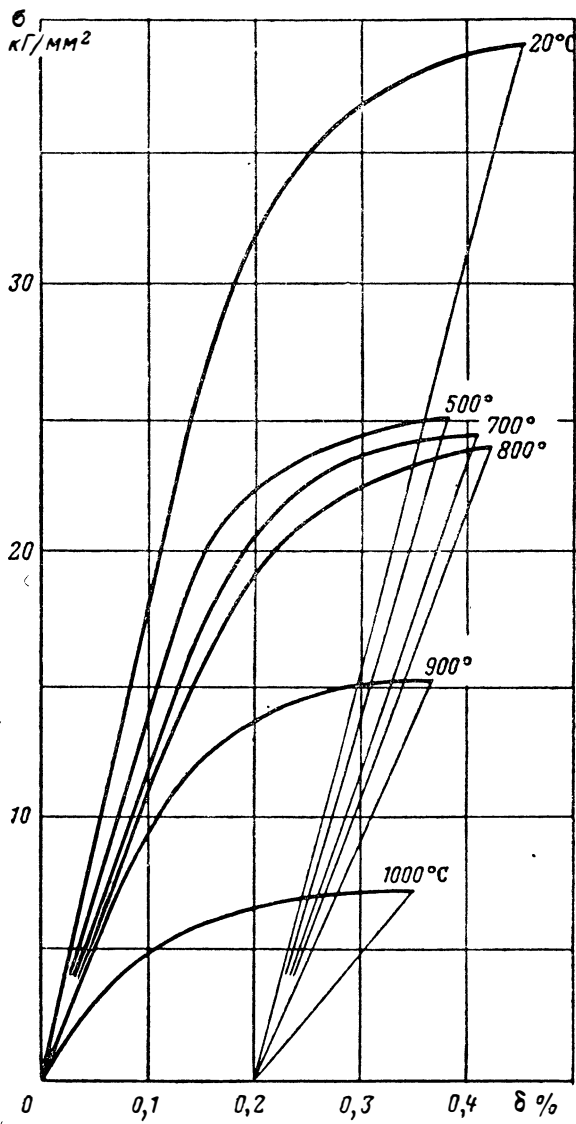
Сталь хорошо сваривается аргоно-дуговой, дуговой и контактной сваркой. В качестве присадочного материала следует применять основной материал. После сварки термическая обработка не производится. Прочность сварных соединений показана в таблице.

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	Аргоно-дуговая сварка (в стык)	Роликовая сварка (внахлестку)
			$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>
Листы толщиной 1,5 мм*	Состояние поставки	20	78—85	75—85
		800	38—39	38—39
		900	19—25	19—25
		1000	11—13	11—13

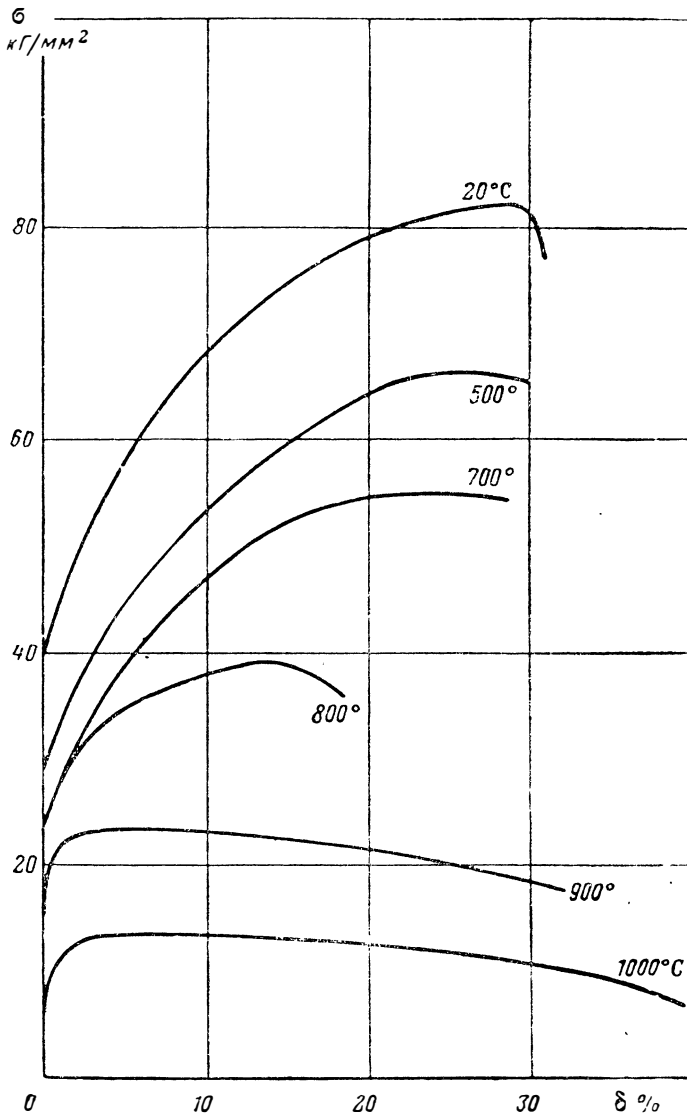
\* Испытания проводились без снятия усиления.

### Применение

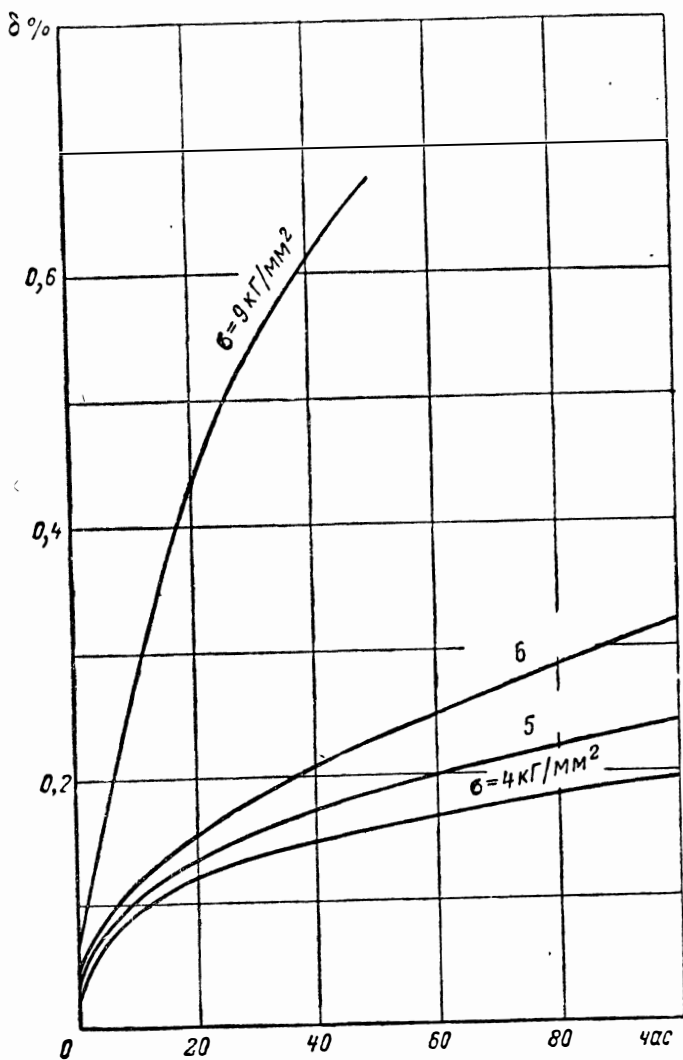
Форсажные камеры, силовые элементы и оболочки конструкций, обшивка, шпангоуты, детали изделий, работающие при температурах 700—1000° С. Рекомендуется взамен никелевого сплава ЭИ868 (ВЖ98).



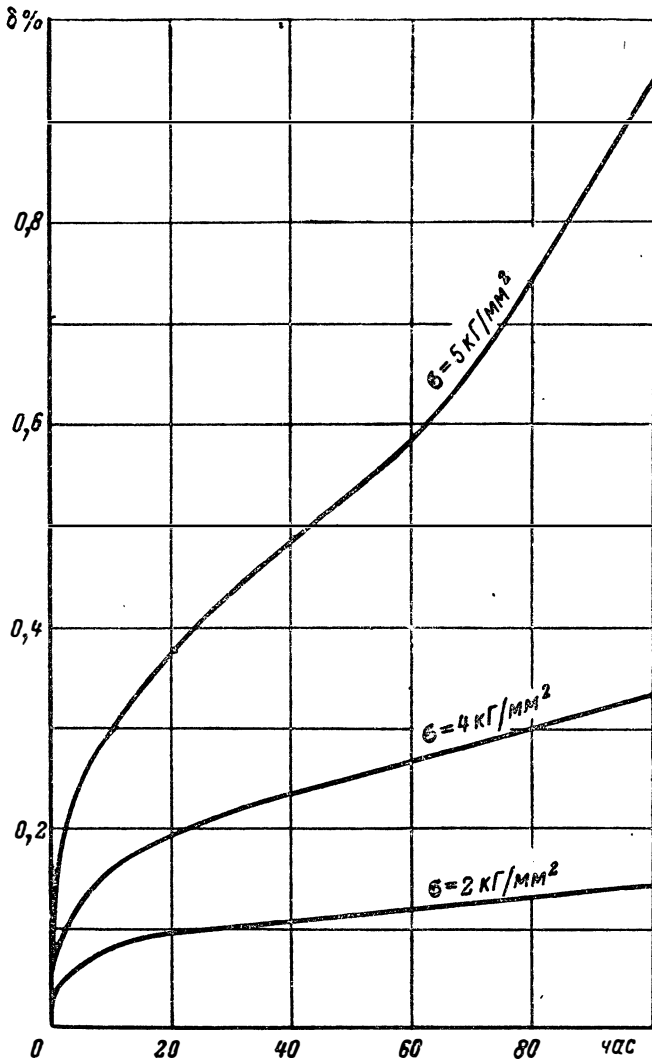
Фиг. 1. Кривые растяжения стали ЭП126 до предела текучести.



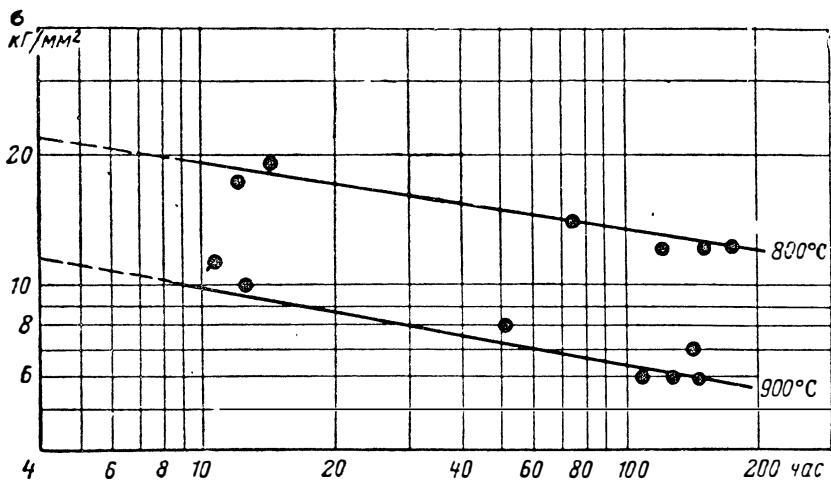
Фиг. 2. Кривые растяжения стали ЭП126 от предела текучести до разрушения.

Фиг. 3. Кривые ползучести стали ЭП126 при  $800^\circ\text{C}$ .

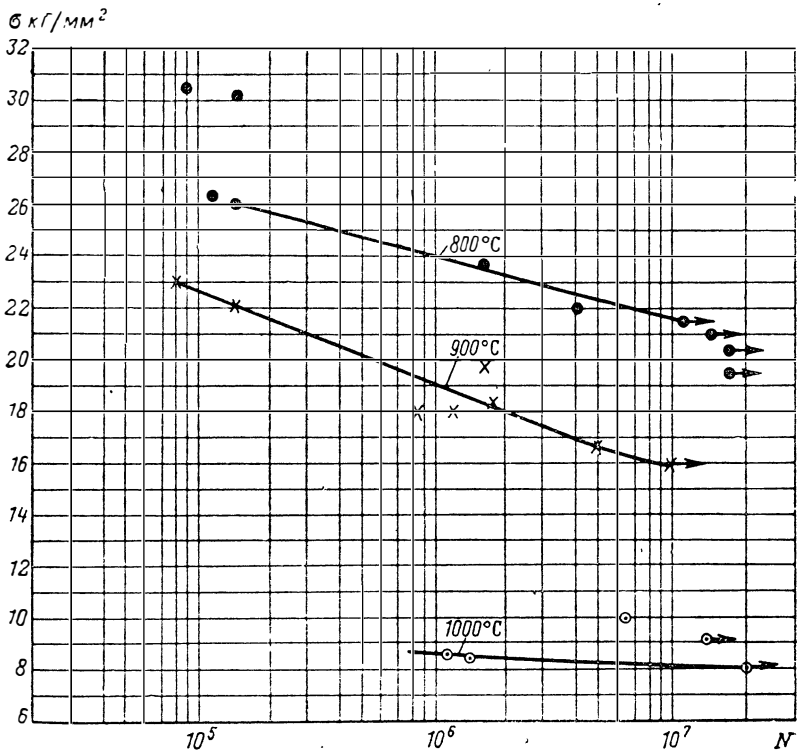




Фиг. 4. Кривые ползучести стали ЭП126 при 900° С.



Фиг. 5. Кривые длительной прочности стали ЭП126.



Фиг. 6. Кривые выносливости стали ЭП126 при высоких температурах.

## ЖАРОСТОЙКИЕ (ОКАЛИНОСТОЙКИЕ) ЛИТЕЙНЫЕ СТАЛИ

ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ	X25H20C2 (25-20Л)
----------------------	-------------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
≤0,18	0,8—2,0	0,7—1,5	22—26	17—21	Основа	0,030	0,035

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$	$\psi$
					%	
Отливки	АМТУ 433—58	Контрольные бруски, отлитые в холодные формы, закаленные с 1050—1100°С на воздухе	20	50	23	30
		Контрольные бруски, отлитые в горячие формы, закаленные с 1050—1100°С на воздухе	20	50	20	25

## Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%			
Треугообразные бруски	Закаленные с 1100°С на воздухе	20	55	—	30	35	≥10	153

Продолжение								
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%			
Треугообразные бруски	Закаленные с 1150°С на воздухе*	20	70	32,3	42,6	33,3	10,8	—
		650	37	20,8	22,9	28,2	13,5	—
		700	32	20,8	17,2	13,9	17,4	—
		750	29	21,7	8,8	7,7	12,6	—
		800	27	24,8	5	5,8	—	—
		850	26	21,4	4,9	4,5	—	—
		900	20	18,8	4	2,1	—	—

\* По данным ЦКТИ.

## Пределы длительной прочности и ползучести

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{10\ 000}$	$\sigma_{100\ 000}$	$\sigma_{1/10\ 000}$	$\sigma_{1/100\ 000}$
		кг/мм <sup>2</sup>			
Термически обработанный по режиму: закалка с 1150—1180°С на воздухе; старение при 700°С (10 час) или при 800°С (20 час)*	600	16	12,5	—	—
	650	9,7	6,2	8	3,5
	700	6,7	4,6	—	—
	750	3,3	1,7	3,4	1,6

\* По данным ЦКТИ

## Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде привес составляет 0,14 при 800°С; 0,25 при 900°С; 0,42 при 1000°С и 0,77 г/м<sup>2</sup>·час при 1100°С. Начало интенсивного окисления наступает при температурах более 1100°С.

## Физические свойства

$d^* = 7,81$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6 = 15,5$  (20—300°); 15,6 (20—400°); 15,9 (20—500°); 16,6 (20—700°); 17,2 (20—800°) 1/°С.  
 $\alpha \cdot 10^6 = 19,4$  (500—850°); 21,3 (850—1000°) 1/°С.  
 $\lambda = 0,043$  (20°) кал/см·сек °С.

\* По данным ЦКТИ.

### Технологические данные

Сталь выплавляют в электрических высокочастотных или дуговых печах с основной футеровкой.

Детали отливают методом точного литья по выплавляемым моделям, а также в песчаные стержневые формы. Литейная свободная усадка составляет 2,5%. Жидкотекучесть хорошая; минимальная толщина стенок в ребрах детали и лопатки при литье в стержневые формы 2 мм. Отрезка прибылей и литников производится механическим путем, анодной резкой, электрической дугой или газовой резкой с помощью установки УРХС.

Рекомендуемая термическая обработка: закалка с 1050—1100°С на воздухе.

Свариваемость стали удовлетворительная; отдельные дефекты завариваются дуговой сваркой. Обрабатываемость резанием удовлетворительная.

### Применение

Литые лопатки и венцы соплового аппарата газовой турбины и турбокомпрессора, а также другие детали, работающие при температурах до 900°С.

<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ</b>	<b>ВНЛ-1 (СН-2АЛ)</b>
-----------------------------	-----------------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	S	P
≤0,08	≤0,5	≤0,9	13—15	6—8,5	0,5—1,0	Основа	не более	
							0,030	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ	ψ	a <sub>н</sub> , кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Отливки, полученные методом точного литья и в керамические формы	АМТУ 495—63	Термически обработанные по режиму: нормализация с 1100° (2 часа); обработка холодом при -70°С в течение 2 час или при -55°С в течение 4 час; отпуск при 250—350°С (2 часа)	20	100	70	10	25	3	3,2—3,5

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания, °С	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	НВ (d мм)	a <sub>н</sub> при -196°С, кг·м/см <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>					
Термически обработанный по режиму: нормализация с 1100°С на воздухе; обработка холодом при -70°С в течение 2 час; отпуск при 250°С (2 часа)	20	100—117	70—84	10—18	30—55	3,20—3,5	3,0—6,0
	450	85	76	2,8—3,8	6—7	—	—
	500	70	—	4	6	—	—
	550	52	—	15	45	—	—
	575	51	48	—	—	—	—
	600	45	—	22	60	—	—

## Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_B^H$ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>					
Литые заготовки	Термически обработанные по режиму: нормализация с 1100°С на воздухе; обработка холодом при —70°С в течение 2 час; отпуск при 350°С (2 часа)	20	110	90	15	32	5	155
		—70	140	97	18	22	5	180
		—196	177	108	14	14	3	196

## Физические свойства

$$d = 7,8 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 12,2$  (20—100°); 13,2 (100—200°); 14,9 (200—300°); 15,8 (300—400°); 16,3 (400—500°) 1/°С.

$\lambda = 0,045$  (100°); 0,049 (200°); 0,053 (300°); 0,057 (400°); 0,060 (500°); 0,066 (600°); 0,070 (700°) кал/см·сек·°С.

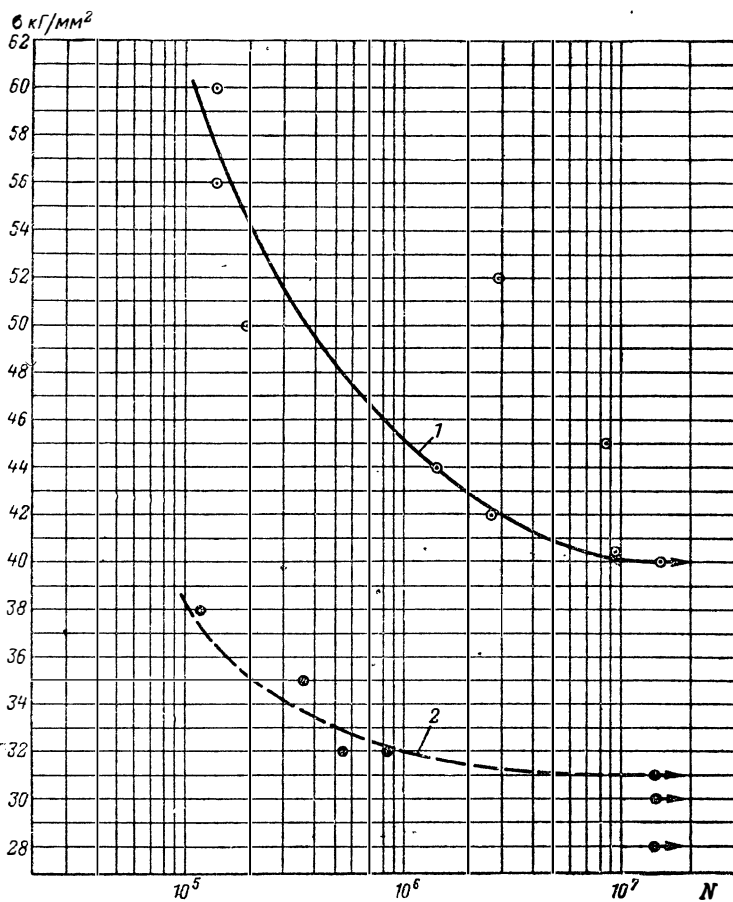
## Технологические данные

Сталь выплавляют в индукционных печах с основной футеровкой. Фазовый состав стали в процессе выплавки определяют по магнитной пробе, индукция которой перед выпуском металла должна быть в пределах 8—12 мв. В шихте используют до 40% отходов этой же стали. Жидкотекучесть металла хорошая. Температура заливки форм 1530—1580°С. Линейная усадка составляет 2%.

Детали отливают методом точного литья по выплавляемым моделям и в керамические формы. Образцы для контроля механических свойств деталей изготавливаются по инструкции ВИАМ № 780—60. Прибыли и литники удаляют анодной резкой, камнем и механическим путем.

## Применение

Фасонные детали турбонасосных агрегатов (крыльчатки, корпуса и т. д.) и другие изделия, работающие при комнатных и низких (до —196°С) температурах.



Фиг. 1. Кривые выносливости стали ВЛ-1 при комнатной температуре (испытание при консольном изгибе).

1—образцы гладкие, 2—образцы с надрезом.



<b>ХРОМОНИКЕЛЬВОЛЬФРАМОВАЯ СТАЛЬ</b>	<b>21-11-2,5</b>
--------------------------------------	------------------

## Химический состав в %\*

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,10—0,25	0,6—1,5	0,6—1,2	20—23	10,5—12,5

## Продолжение

W	V	Mo	Fe	S	P
2,4—3,0	≤0,2	≤0,25	Основа	0,040	0,045
не более					

\* Разрешается вводить титан до 0,2% для улучшения литейных свойств.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$ , кг/мм <sup>2</sup>	%		НВ (d мм)
					$\delta$	$\psi$	
Отливки	АМТУ 433—58	Контрольные бруски, отлитые в холодные формы, нормализованные с 1050—1100°С (3—8 час) на воздухе	20	50	12	14	4,3—5,0
		Контрольные бруски, отлитые в горячие формы, нормализованные с 1050—1100°С (3—8 час) на воздухе	20	50	10	10	4,3—5,0
		Контрольные бруски, отлитые в холодные формы, термически обработанные по режиму: нормализация; старение при 800—850°С (5—10 час), охлаждение на воздухе	20	48	12	14	4,3—5,0

Продолжение

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ $\psi$		НВ (d мм)
					%		
Отливки	АМТУ 433—58	Контрольные бруски, отлитые в горячие формы, термически обработанные по режиму: нормализация, старение при 800—850° С (5—10 час), охлаждение на воздухе	20	48	10	10	4,3—5,0

## Механические свойства при высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\sigma_{190}$	$\sigma_{50}$
				кг/мм <sup>2</sup>	
Нормализованный с 1050—1100° С	600	36	20	—	—
	700	25	20	12	14
	800	17	20	—	—

## Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде при 1000° С привес составляет 0,25 г/м<sup>2</sup>·час.

## Физические свойства

$d = 7,95$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6 = 14,49$  (100—200°); 16,96 (200—300°); 18,75 (300—400°); 19,56 (400—500°); 19,79 (500—600°); 20,69 (600—700°); 20,01 (700—800°) 1/°С.  
 $\lambda \cdot 10^3 = 52$  (100°); 53,6 (200°); 55,5 (300°); 57,9 (400°); 61,0 (500°); 65,0 (600°); 70,5 (700°); 76,4 (800°); 82,0 (900°) кал/см·сек·°С.  
 $\xi = 0,85$  (20°); 1,13 (500°); 1,15 (600°); 1,19 (700°); 1,21 (800°); 1,24 (900°) о.м.·мм<sup>2</sup>/м.

## Технологические данные

Сталь выплавляют в высокочастотных электрических печах. Температура заливки форм 1520—1550° С. Жидкотекучесть металла хорошая — минимальная толщина лопаток при отливке в сухие песчаные формы 2 мм. Линейная усадка

составляет 2—2,5%. Отливка кольцевых деталей производится центробежным способом в кокиль.

Свариваемость хорошая. Сварку и заварку дефектов дуговой сваркой производят с присадочным материалом из стали ЭИ334 или из этой же стали.

Обработываемость резанием удовлетворительная как до термической обработки, так и после нее.

### Применение

Литые кольцевые детали корпуса турбины, соплового аппарата, соединительных труб и другие кольцевые детали диаметром до 850 м.м. Лопатки сопловых аппаратов РД.

## ЖАРОПРОЧНЫЕ ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СТАЛИ

<b>ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ</b>	<b>1X17H2 (ЭИ268)</b>
------------------------	-----------------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
0,11—0,17	≤0,8	≤0,8	16—18	1,5—2,5	Основа	0,025	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кГ/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$a_{ch}$ кГ·м/см <sup>2</sup>
Прутки	МПУТ 2362—49	Термически обработанные по режиму: закалка с 950—1040°С в масле; отпуск при 275—350°С, охлаждение на воздухе	20	110	10	5
Листы тонкие	ЧМТУ 3126—52	Термически обработанные по режиму: закалка с 950—975°С в масле; отпуск при 275—350°С	20	110	10	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$a_{ch}$ кГ·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кГ/мм <sup>2</sup>			%			
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1030°С в масле; отпуск при 520±10°С	20	19 700	120	90	12	62	4	3,15—3,4
		300	16 700	112	84	10	52	—	—
		450	16 200	92	73	13,5	53	—	—
		500	15 100	75	67	18	64	—	—
		550	—	57	44	20	67	—	—
		600	13 600	38	—	31	87	—	—

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5d$  для цилиндрических образцов и  $l=5,65\sqrt{F}$  для плоских образцов.

Продолжение										
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta^*$	$\psi$	$\alpha_{CT}$ кг/м.с.м <sup>2</sup>	НВ ( <i>d</i> мм)	
			кг/мм <sup>2</sup>			%				
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1030°С в масле; отпуск при 680±10°С	20	—	96	77	17	59	8	3,5—3,8	
		300	—	87	70	14	53	—	—	
		400	—	80	65	13	57	—	—	
		500	—	65	55	18	66	—	—	
		600	—	36	36	29	88	—	—	
	Отожженные при 680±10°С	20	—	80	60	22	61	8	>3,5	
		300	—	68	44	17	56	—	—	
		450	—	64	43	17	52	—	—	
	Листы	Отожженные при 680±10°С	20	19 900	70	46	15	—	—	—
			300	17 000	58	36	12	—	—	—
450			16 900	50	30	9	—	—	—	

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=5d$  для цилиндрических образцов и  $l=5,65\sqrt{F}$  для плоских образцов.

### Пределы секундной прочности и ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$	$\sigma_{0,5/10''}$	$\sigma_{0,5/60''}$
			кг/мм <sup>2</sup>						
Прутки	Состояние поставки ( $\sigma_B^{20^\circ} = 98$ кг/мм <sup>2</sup> )	500	69	—	—	—	68	—	66,5
		600	50	45	42	40,5	38	41,4	35,8
		700	28	21,5	19	18	16,5	18	14,5
		800	15	13,5	12	11	10	—	—
	Термически обработанные по режиму: закалка с 1050°С в масле; отпуск при 550°С ( $\sigma_B^{20^\circ} = 120$ кг/мм <sup>2</sup> )	550	62,5	57,5	55	54	52,5	—	—
		600	50	44,5	41	39	37	—	—
		700	28	21	19	17,5	16	—	—



## Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления в атмосфере воздуха при температурах до 800°.

## Физические свойства

$d = 7,75 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 10,4 (20-100^\circ); 11,1 (100-200^\circ); 11,5 (200-300^\circ); 12,1 (300-400^\circ); 12,7 (400-500^\circ) \text{ } 1/^\circ\text{C}$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 10,8 (20-200^\circ); 11,0 (20-300^\circ); 11,3 (20-400^\circ); 11,6 (20-500^\circ) \text{ } 1/^\circ\text{C}$ .  
 $\lambda = 0,050 (20^\circ); 0,052 (100^\circ); 0,054 (200^\circ); 0,056 (300^\circ); 0,058 (400^\circ); 0,060 (500^\circ); 0,062 (600^\circ); 0,064 (700^\circ); 0,067 (800^\circ); 0,071 (900^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C}$ ,  
 $\rho = 0,73 (20^\circ) \text{ ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ .  
 $c = 0,115 (20-100^\circ) \text{ кал/г}\cdot^\circ\text{C}$ .  
 Сталь магнитна.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—850°С. Охлаждение после деформации медленное. Заготовки сечением менее 150 мм охлаждают на воздухе. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка	Выдавка			
$K_{пр}$	$K_{раб}$		плоская		сферическая	
		$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	
1,96—2,02	(0,85—0,9) $K_{пр}$	1,46—1,74	0,27	0,27	0,45	0,32

Уплотнение материала в процессе глубокой вытяжки при  $K_{пр}$  составляет 10—12% и при  $K_{раб}$  8%.

Рекомендуемые режимы термической обработки деталей на заводах-погребителях: 1) закалка с 1000—1040°С в масле или на воздухе; отпуск при температуре 230—370°С ( $HV$  355—400  $\text{кг/мм}^2$ ); 2) закалка с 980—1040°С в масле или на воздухе; отпуск при температуре 540—650°С на требуемую твердость ( $HV$  340—230  $\text{кг/мм}^2$ ).

Для повышения поверхностной твердости и износостойкости детали подвергают цементации по технологии, изложенной в инструкции ВИАМ № 778-60; режимы цементации приведены в таблице.

Режим цементации			Толщина слоя в мм		Припуск на шлифование мм
температура °С	время час	расход карбюризатора на 10 л объема печи капля/мин	общая зона	активная зона	
1000	3	18±2	0,60—0,70	0,20	0,05
950	8	25±2	0,70—0,80	0,30—0,50	0,20
1000	2	30±2	0,70—0,80	0,30—0,50	0,05
1000	3	25±2	0,70—0,80	0,30—0,50	0,10

Режим цементации			Толщина слоя в мм		Припуск на шлифование мм
Температура °С	время час	расход карбюризатора на 10 л объема печи капля/мин	общая зона	активная зона	
1050	2	18±2	0,70—0,80	0,30—0,50	0,05
950	15	18±2	0,90—1,10	0,40—0,50	0,10
1000	5	18±2	0,90—1,10	0,40—0,50	0,10
1000	7	10±2	0,90—1,10	0,40—0,50	0,20
950	15	25±2	1,20—1,30	0,60—0,70	0,20
950	30	10±2	1,20—1,30	0,60—0,70	0,20
1000	7	18±2	1,20—1,30	0,60—0,70	0,20

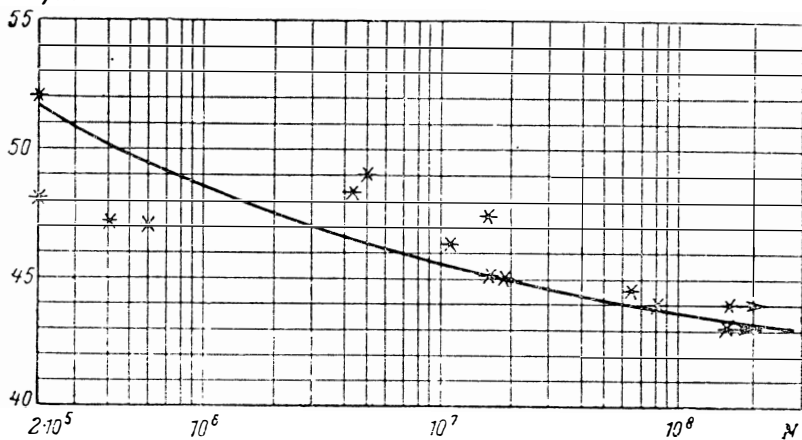
Приведенные в таблице режимы цементации и сошлифовка поверхности по указанную в таблице величину обеспечивают коррозионную стойкость поверхностного слоя в топливе и в воде. Твердость цементованного слоя  $RC \geq 58$ , глубина цементации от 0,60 до 1,30 мм.

Сталь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, топливе и в агрессивных средах при условии применения специальной защиты. Высокая коррозионная стойкость в атмосферных условиях достигается полированием и пассивированием или электрополированием; сварные узлы подлежат окраске.

Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки; в качестве присадочного металла применяют проволоку из стали ЭИ400. После сварки детали подвергают термической обработке и при необходимости — правке.

### Применение

Детали, работающие при температурах до 400°С в условиях влажной среды.



Фиг. 1. Кривая выносливости стали 1X17H2 при 400°С (отпуск при 530°С; испытание при чистом изгибе).



## ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ

13X14HВФРА (ЭИ736)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	V
0,10—0,16	≤0,6	≤0,6	13—15	2,8—3,4	0,18—0,28

## Продолжение

W	Ti	Fe	B (расчетн.)	S	P
				не более	
1,6—2,2	≤0,05	Основа	≤0,004	0,030	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_{нч}$ , МПа/с.м <sup>2</sup>	НВ (d мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки	ЧМТУ 5067—57	Термически обработанные по режиму: закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ в масле или на воздухе; отпуск при $550\text{—}580^\circ \text{C}$ , охлаждение на воздухе или отпуск при $600\text{—}680^\circ \text{C}$ , охлаждение на воздухе	20	115	90	12	50	7	3,4—3,1
			20	95	75	14	55	9	3,6—3,3

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания, °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пл}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)	
		кг/мм <sup>2</sup>				%					
Термически обработанный по режимам:	1) закалка с 1050° С в масле; отпуск при 550—580° С, охлаждение на воздухе	20	20 000	110—130	85—105	64	10—16	7	50—65	7—15	3,4—3,10
		400	—	85—100	75—85	—	10—16	—	55—65	8—15	—
		500	15 300	75—90	60—70	29	10—16	7	50—60	8—15	—
		550	14 000	65—70	45—50	20	10—16	10	50—65	10—15	—
	2) закалка с 1050° С в масле; отпуск при 650—680° С, охлаждение на воздухе	20	—	95—105	73—80	43	14—18	9	50—65	9—16	3,3—3,6
		400	—	78—85	65—75	42	12—18	7	53—63	—	—
		500	—	60—70	45—55	28	15—20	10	60—75	—	—
	3) закалка с 1050° С в масле; отпуск при 300° С	20	—	140	90	—	15	—	60	10	—
		300	—	140	85	—	14	—	48	—	—

Механические свойства при низких температурах \*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_B^H$ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки диаметром 60 мм	Термически обработанные по режиму; закалка с 1050° С в масле; отпуск при 580° С, охлаждение на воздухе	-70	126	112	14	44	3	169
		-196	156	130	7	10	0,8	118

\* Определено на образцах диаметром 5 мм.

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости \*

Состояние материала	Температура испытания, °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{0,2/100}$	
						по общей деформации	по остаточной деформации
<i>кг/мм<sup>2</sup></i>							
Термически обработанный по режимам:							
1) закалка с 1050°С в масле; отпуск при 550—580°С, охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	—
	300	90	—	—	—	32	76
	400	71—77	69—73	68—72	67—70	28	54
	450	70	—	—	—	—	38
	500	40—44	33—37	31—33	29—31	18	24—27
	550	30	—	—	—	12	18
2) закалка с 1050°С в масле; отпуск при 650—680°С, охлаждение на воздухе	500	33—37	27—31	25—28	23—26	—	—

## Продолжение

Состояние материала	Температура испытания, °С	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,2/2000}$	$\sigma_{-1}$					$\sigma_{-1}^H$ **
		(по остаточной деформации)			на базе циклов:					
					106	107	108	2·108	107	
<i>кг/мм<sup>2</sup></i>										
Термически обработанный по режимам:										
1) закалка с 1050°С в масле; отпуск при 550—580°С, охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	56	—	—	—	35
	300	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	400	48	46	44	—	51	—	—	—	32
	450	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	500	17—19	15—16	13—14	54—55	43—49	40—44	42,5	—	30
	550	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2) закалка с 1050°С в масле; отпуск при 650—680°С, охлаждение на воздухе	500	—	—	—	—	—	—	—	—	—

\* Первая цифра — минимальный показатель, вторая цифра — средний показатель длительной прочности и ползучести стали.

\*\* Радиус надреза 0,75 мм.

Пределы секундной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ <sub>10"</sub>	σ <sub>60"</sub>	σ <sub>120"</sub>	σ <sub>180"</sub>	σ <sub>300"</sub>
			кг/мм <sup>2</sup>				
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1050° в масле; отпуск при 570° С (σ <sub>в</sub> <sup>20°</sup> = 120 кг/мм <sup>2</sup> )	600	54,5	51	48	47,5	47
		650	42,5	37,5	33	30	29,5
		700	37,5	32	28,5	28	27,5

Механические свойства (при 20°) стали, полученной электрошлаковым переплавом, в сравнении со свойствами металла открытой выплавки\*

Метод выплавки	Вдоль направления волокна					Поперек направления волокна					σ <sub>-1</sub> кг/мм <sup>2</sup>
	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	σ <sub>н</sub> кг/мм <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	σ <sub>н</sub> кг/мм <sup>2</sup>	
	кг/мм <sup>2</sup>		%			кг/мм <sup>2</sup>		%			
Электрошлаковый переплав	100—108	86—95	14—17	51—62	10—15	100—107	81—95	12—16	50—57	7—13	60—62
Открытая выплавка	95—105	75—95	14—17	50—60	9—15	90—106	88—95	10—14	30—50	6—9	55—58

\* После закалки с 1050° С в масле и отпуска при 650—680° С.

Физические свойства

$d = 7,8 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 10,0$  (20—100°); 10,3 (20—200°); 10,6 (20—300°); 10,9 (20—400°); 11,1 (20—500°); 11,2 (20—600°) 1/°С.  
 $\lambda = 0,047$  (20°); 0,050 (100°); 0,053 (200°); 0,055 (300°); 0,055 (400°); 0,062 (500°); 0,064 (600°); 0,066 (700°) кал/см·сек·°С.

Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1180—850° С. Заготовки больших сечений под деформацию до температуры 600° С нагревают медленно и медленно охлаждают после деформации.

Режим предварительной термической обработки: нормализация с  $1020 \pm 10^\circ \text{C}$ , отпуск при  $680^\circ \text{C}$  (твёрдость  $HV d_{отп} = 3,55 \text{ мм}$ ). Режим окончательной термической обработки: закалка с  $1050^\circ \text{C}$  в масле или на воздухе; отпуск при  $550\text{--}580^\circ \text{C}$  ( $HV d_{отп} = 3,3\text{--}3,6 \text{ мм}$ ) или закалка с  $1050^\circ$  на воздухе или в масле; отпуск при  $650\text{--}680^\circ$ . Прокаливаемость как при закалке в масле, так и на воздухе сквозная в сечении диаметром до  $170 \text{ мм}$ .

Детали, работающие на износ при температурах до  $500^\circ \text{C}$ , подвергают азотированию по технологии, изложенной в инструкции ВИАМ № 712-58.

Режимы азотирования приведены в таблице.

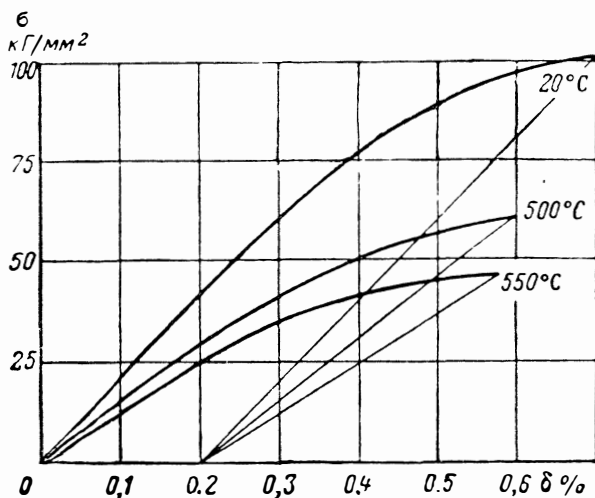
Температура азотирования $^\circ \text{C}$	Продолжительность выдержки час	Толщина азотированного слоя мм	Твёрдость азотированного слоя по Виккерсу $\text{кг/мм}^2$
560	48	0,20—0,28	900—950
600	8—16	0,11—0,22	850—900
600	24	0,22—0,30	750—800

Коррозионная стойкость стали в атмосферных условиях после полирования и пассивирования или электрополирования удовлетворительная.

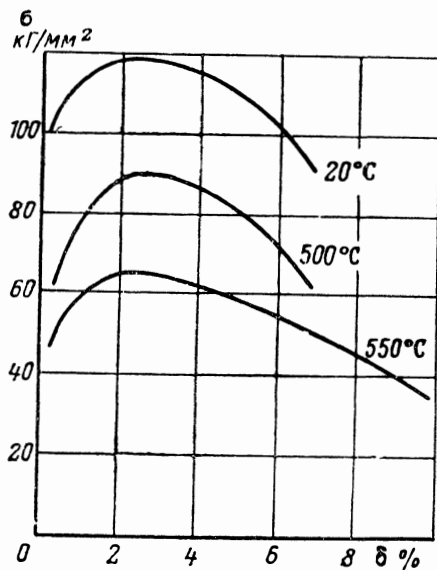
Сталь удовлетворительно сваривается, после сварки необходимо проводить отпуск.

### Применение

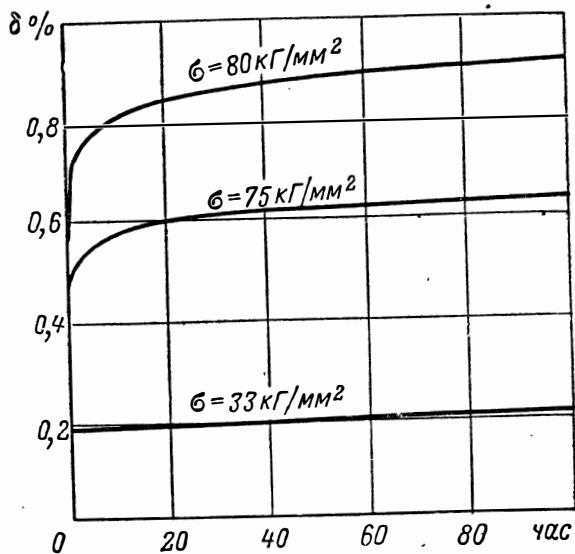
Высоконагруженные детали, в том числе диски, валы, стяжные болты, лопатки и другие детали компрессора, работающие при температурах до  $500^\circ \text{C}$  в атмосферных условиях.



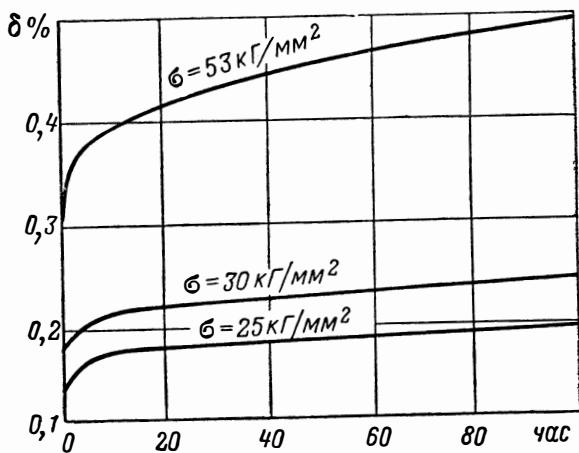
Фиг. 1. Кривые растяжения стали 13X14NBΦPA до предела текучести (отпуск при 580° С).



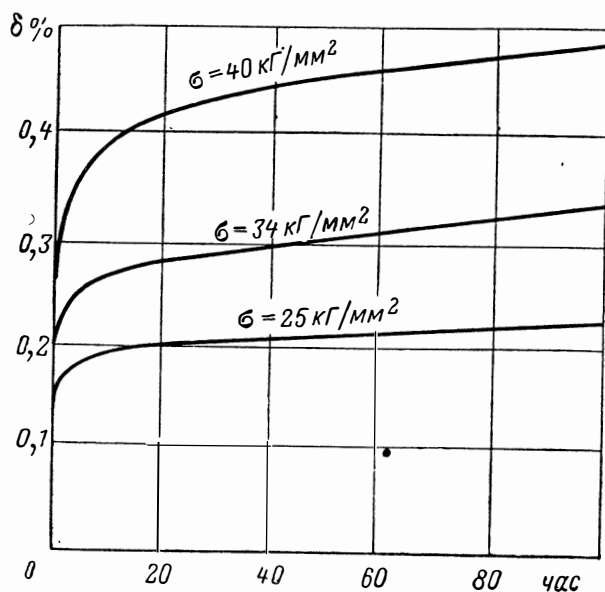
Фиг. 2. Кривые растяжения стали 13X14NBΦPA от предела текучести до разрушения (отпуск при 580° С).



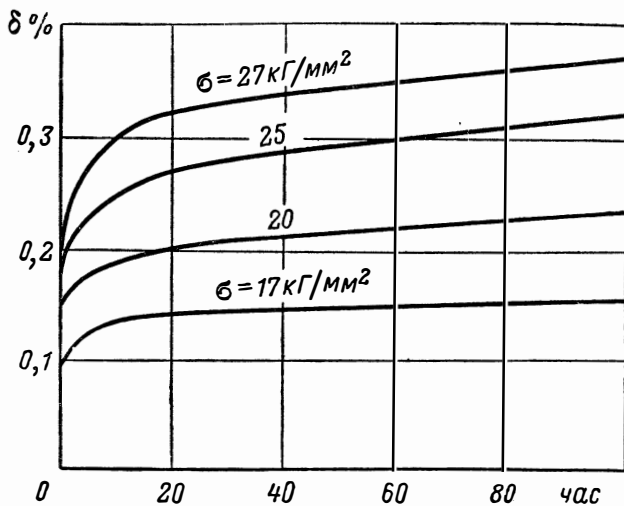
Фиг. 3. Кривые ползучести стали 13X14NBΦPA при температуре 300°С (отпуск при 580°С).



Фиг. 4. Кривые ползучести стали 13X14NBΦPA при температуре 400°С (отпуск при 580°С).

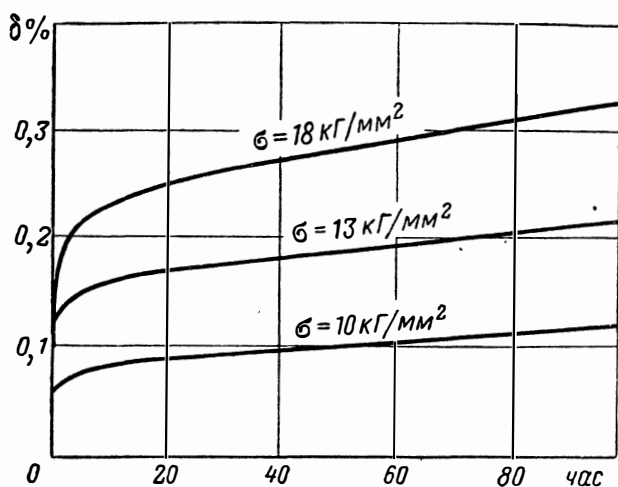


Фиг. 5. Кривые ползучести стали 13X14NBФРА при температуре 450°С (отпуск при 580°С).

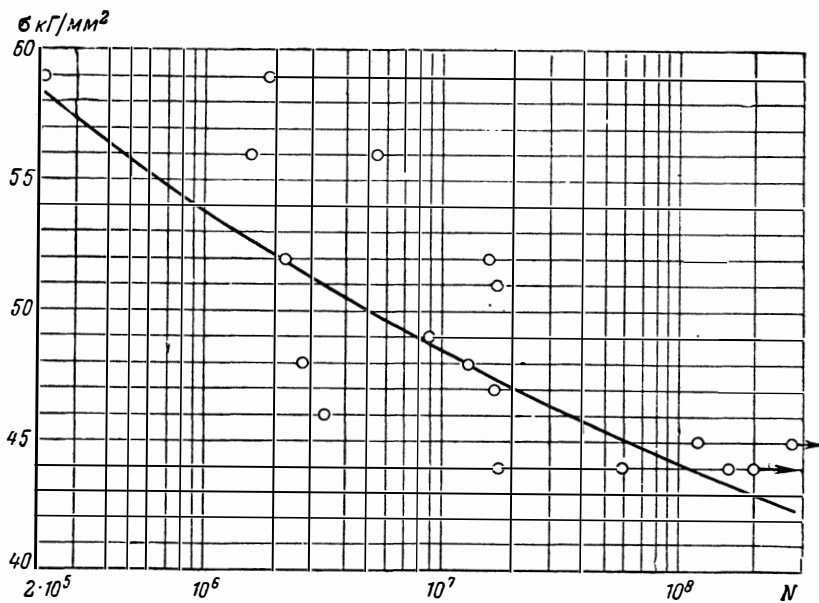


Фиг. 6. Кривые ползучести стали 13X14NBФРА при температуре 500°С (отпуск при 580°С).





Фиг. 7. Кривые ползучести стали 13X14NBΦPA при температуре 550°С (отпуск при 580°С).



Фиг. 8. Кривая выносливости стали 13X14NBΦPA при температуре 500°С (отпуск при 570°С; испытание при чистом изгибе).

## ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ

1X12H2BMΦ (ЭИ961)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	V	W	Mo	Fe	S	P
									не более	
0,10—0,16	≤0,6	≤0,6	10,5— 12,0	1,5— 1,8	0,18— 0,30	1,6— 2,0	0,35— 0,50	Основа	0,025	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	a <sub>к</sub> кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки	ЧМТУ	Термически обработанные по режимам: 1) нормализация с 1000—1020°С; закалка с 1000—1020°С в масле или на воздухе; отпуск при 660—710°С 2) нормализация с 1000—1020°С; закалка с 1000—1020°С в масле или на воздухе; отпуск при 540—600°С	20	90	75	15	55	9	3,4—3,7
	ЦНИИЧМ 72—58		20	110	90	12	50	7	3,10—3,45

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания, °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ ( <i>d</i> мм)
		кг/мм <sup>2</sup>				%				
Термически обработанный по режимам:										
1) закалка с 1000—1020° С в масле; отпуск при 560—580° С	20	20 000	110—128	95—110	75	10—16	8—10	50—60	7—15	3,10—3,45
	300	17 500	105—115	95—100	65	10—16	7—9	50—60	8—15	—
	400	16 500	95—110	85—92	56	10—16	6—8	50—60	8—15	—
	450	15 700	95—105	80—88	48	10—16	7—9	50—60	8—15	—
	500	14 500	80—90	70—77	40	12—18	8—11	55—65	10—16	—
	550	12 500	75—85	47—53	30	13—18	10—12	55—65	10—16	—
2) закалка с 1000—1020° С; отпуск при 660—680° С	20	—	90—100	80—90	—	15—20	—	55—65	10—16	3,4—3,7
	400	—	70—80	65—72	—	15—20	—	60—70	10—16	—
	500	—	60—70	52—62	—	20—25	—	70—80	12—18	—
	600	—	50—56	47—52	—	25—32	—	75—82	12—18	—

## Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1000° С в масле; отпуск при 580° С; охлаждение на воздухе	—70	122	108	17	57	3,6
		—196	148	134	15	44	0,8

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости \*

Состояние материала	Температура испытания, °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$
		кг/мм <sup>2</sup>					
Термически обработанный по режимам:							
1) закалка с 1000—1020° С в масле; отпуск при температуре 560—580° С	20	—	—	—	—	—	—
	400	77—83	76—80	75—78	74—77	55	50
	450	73	—	—	—	—	—
	500	47—52	43—46	42—45	40—43	27—30	22—24
	550	44	—	—	—	18	—
2) закалка с 1000—1020° С; отпуск при температуре 660—680° С	500	41—46	38—41	37—40	36—39	—	—
	550	32—35	28—31	27—29	26—28	26	18
	600	22—25	18—21	17—19	16—17	15	—

Продолжение

Состояние материала	Температура испытания, °С	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,2/2000}$	$\sigma_{-1}$					$\sigma_{H^{**}}_{-1}$
				на базе циклов					
		кг/мм <sup>2</sup>		10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	
		кг/мм <sup>2</sup>							
Термически сработанный по режимам:									
1) закалка с 1000—1020° С в масле; отпуск при температуре 560—580° С	20	—	—	—	—	52	—	33	
	400	47	45	—	—	—	—	—	
	450	—	—	—	—	50	—	29	
	500	21—22	19—21	—	—	46	—	29	
	550	—	—	50	46	41—43	38	28	
2) закалка с 1000—1020° С; отпуск при температуре 680°	500	—	—	—	—	—	—	—	
	550	15	13	46	39—42	36—38	34—35	—	
	600	—	—	—	—	30	—	—	

\* Первая цифра — минимальный показатель, вторая цифра — средний показатель длительной прочности и ползучести стали.

\*\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Пределы секундной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{10}^*$	$\sigma_{60}^*$	$\sigma_{120}^*$	$\sigma_{180}^*$	$\sigma_{300}^*$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1020—1050°С в масле; отпуск при 570°С ( $\sigma_B^{20} = 120$ кг/мм <sup>2</sup> )	400	97	96,5	96,5	96	96
		500	85	83,5	82,5	82	82
		550	80	74,5	72	70	69,5
		650	50,5	45	41	39,5	36

## Механические свойства стали, полученной электрошлаковым переплавом, в сравнении со свойствами металла открытой выплавки \*

Метод выплавки	Температура испытания, °С	Вдоль направления волокна				
		$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>		%		
Электрошлаковый переплав	20 500	110—130 —	100—115 —	12—17 —	60—70 —	10—15 —
Открытая выплавка	20	110—130	100—115	12—17	50—60	7—9

## Продолжение

Метод выплавки	Температура испытания, °С	Поперек направления волокна					$\sigma_{100}$ $\sigma_{-1}$ кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{-1}^H$ кг/мм <sup>2</sup>
		$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>		
		кг/мм <sup>2</sup>		%				
Электрошлаковый переплав	20 500	115—130 —	100—115 —	10—15 —	55—65 —	7—10, —	— 67 57 50	35 —
Открытая выплавка	20	110—120	90—100	10—12	36—40	4—7	—	—

\* После закалки с 1020°С в масле и отпуска при 560—580°С.

## Физические свойства

$d = 7,8 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 11,3 (20-200^\circ); 11,6 (20-300^\circ); 12,0 (20-400^\circ); 12,3 (20-500^\circ); 12,5 (20-600^\circ) 1/^\circ\text{C}$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 11,0 (20-100^\circ); 11,7 (100-200^\circ); 12,2 (200-300^\circ); 13,3 (300-400^\circ); 13,3 (400-500^\circ); 13,3 (500-600^\circ) 1/^\circ\text{C}$ .  
 $\lambda = 0,050 (20^\circ); 0,053 (100^\circ); 0,057 (200^\circ); 0,061 (300^\circ); 0,065 (400^\circ); 0,067 (500^\circ); 0,068 (600^\circ); 0,069 (700^\circ); 0,072 (800^\circ) \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$ .

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации  $1180-900^\circ\text{C}$ . Заготовки больших сечений под деформацию до температуры  $600^\circ\text{C}$  нагревают медленно и медленно охлаждают после деформации. Сталь обладает высокой пластичностью. Коэффициенты вытяжки:  $K_{пр} = 2,15$ ;  $K_{раб} = (1,85-1,90) K_{пр}$ .

Предварительная термическая обработка прутков и поковок: отжиг при  $730-750^\circ\text{C}$ . Крупногабаритные поковки перед отжигом рекомендуется подвергать нормализации с  $1000^\circ\text{C}$ . Режим окончательной термической обработки: закалка с  $1000-1020^\circ\text{C}$  на воздухе или в масле; отпуск при  $540-580^\circ\text{C}$  на твердость  $HV (d_{отп}) 3,1-3,45 \text{ мм}$ ; при  $660-680^\circ\text{C}$  на твердость  $HV (d_{отп}) 3,4-3,7 \text{ мм}$ . Сталь прокаливается в сечении до  $180 \text{ мм}$ .

Детали, работающие на износ при температурах до  $500^\circ\text{C}$ , подвергают азотированию по технологии, приведенной в инструкции ВИАМ № 712-58. Режимы азотирования приведены в таблице.

Температура азотирования $^\circ\text{C}$	Продолжительность выдержки час	Толщина азотированного слоя мм	Твердость азотированного слоя по Виккерсу $\text{кг/мм}^2$
560	48	0,20—0,28	900—950
600	8—16	0,11—0,22	850—900
600	24	0,22—0,30	750—800

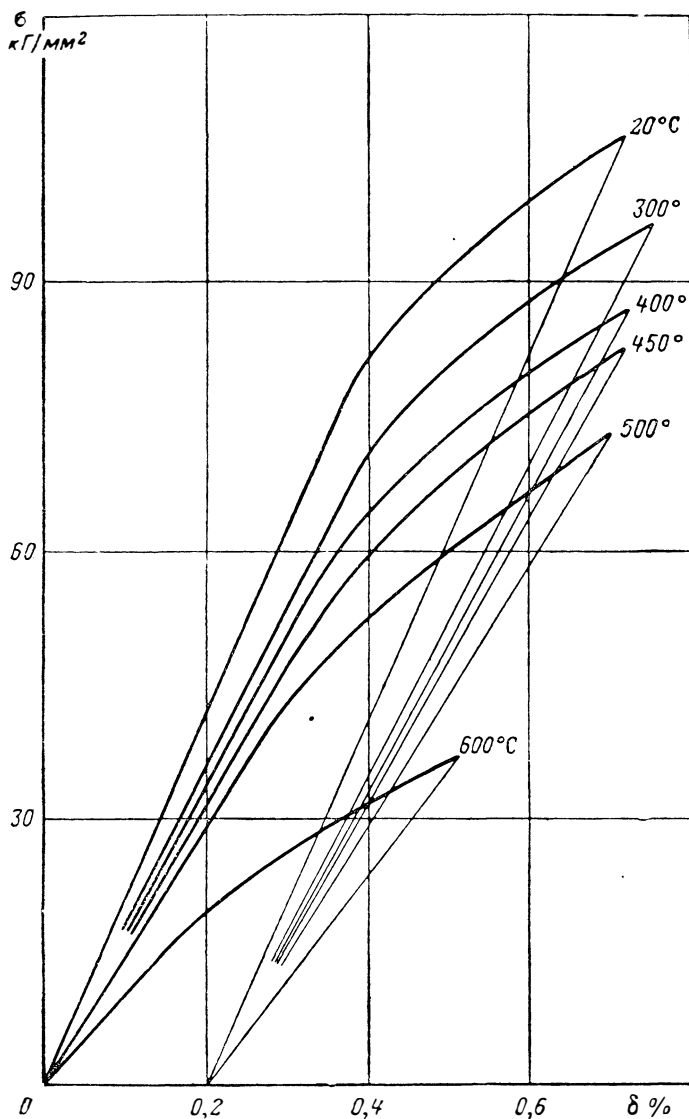
При обработке поверхности на чистоту  $\nabla 7$  и последующей пассивации сталь имеет удовлетворительную коррозионную стойкость в атмосферных условиях.

Свариваемость стали всеми видами сварки удовлетворительная. После сварки необходимо проводить отпуск при температуре  $550-580^\circ\text{C}$  для снятия внутренних напряжений.

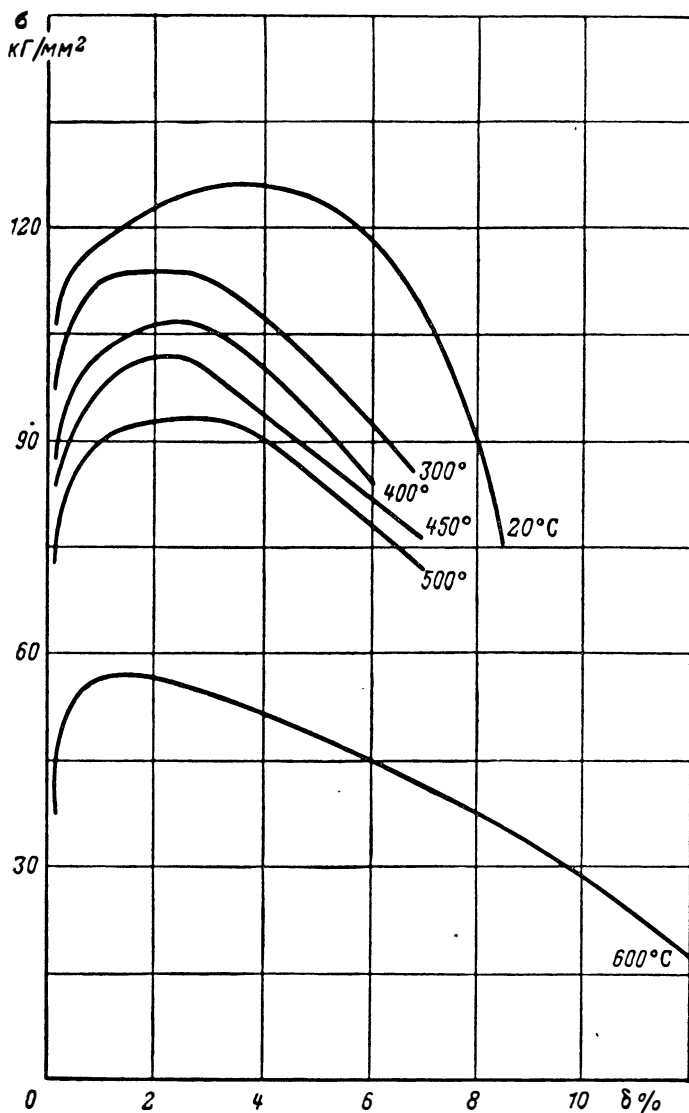
Обработка резанием в термически обработанном состоянии затруднений не вызывает.

## Применение

Высоконагруженные детали двигателей, в том числе диски, лопатки и другие детали компрессора, работающие при температурах до  $600^\circ\text{C}$ .

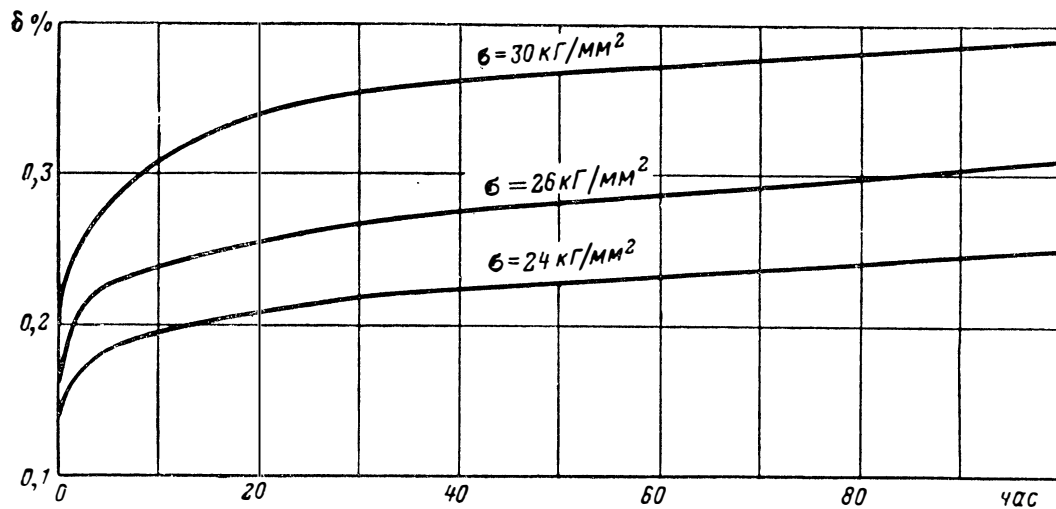


Фиг. 1. Кривые растяжения стали 1X12H2BMΦ до предела текучести (отпуск при 560—580°С).

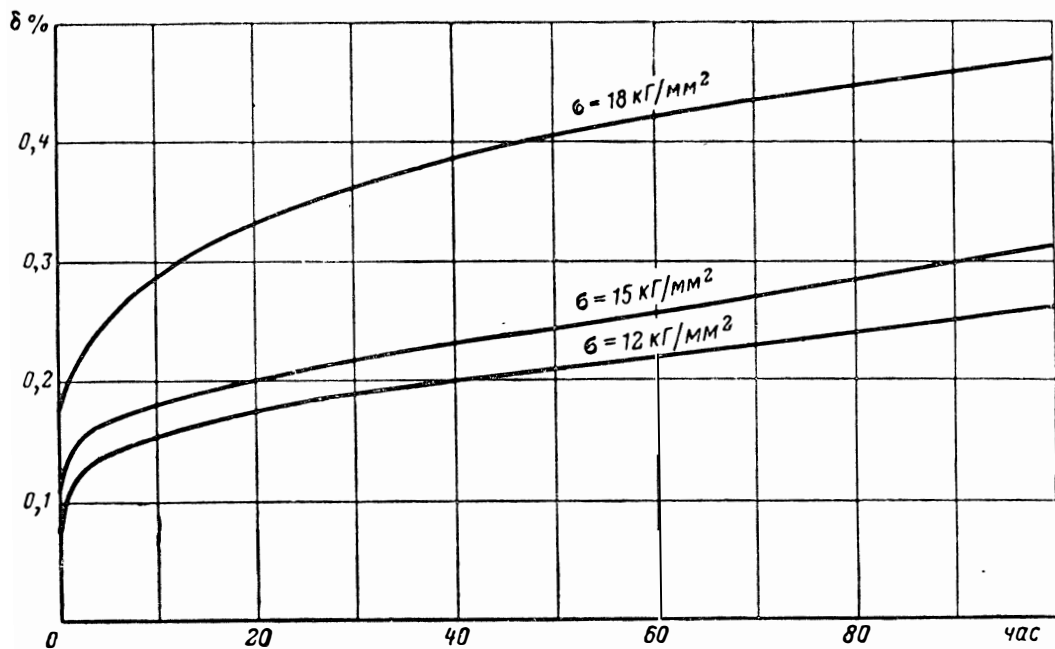


Фиг. 2. Кривые растяжения стали 1X12H2BMΦ от предела текучести до разрушения (отпуск при 560—580° С).

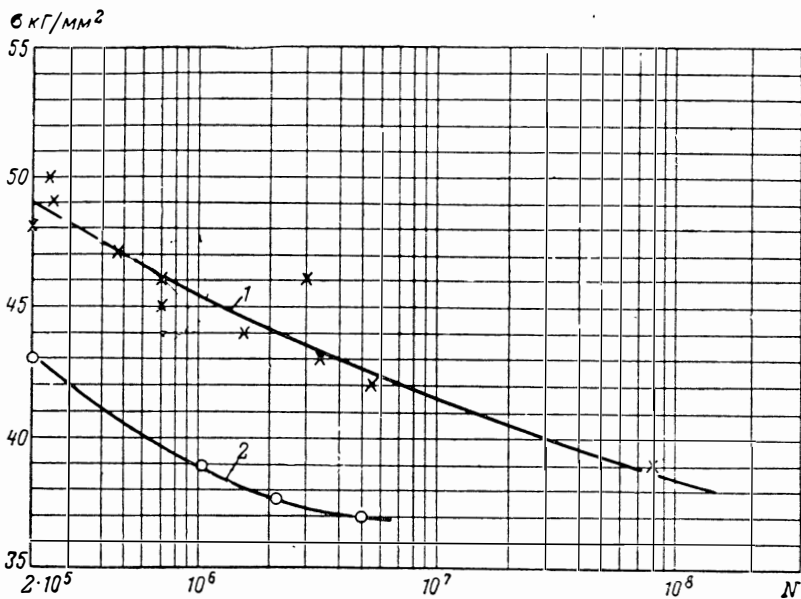




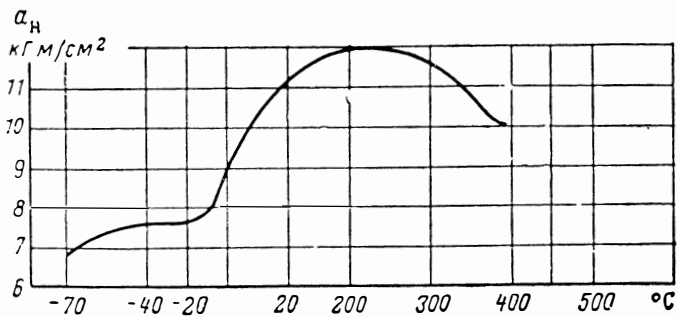
Фиг. 3. Кривые ползучести стали 1X12H2BMΦ при температуре 500°С (отпуск при 560—580°С).



Фиг. 4. Кривые ползучести стали 1X12H2BMΦ при температуре 550°С (отпуск при 560—580°С).



Фиг. 5. Кривые выносливости стали 1X12H2BMΦ при температуре 550°С (испытание при чистом изгибе).  
1—отпуск при 570°С, 2—отпуск при 680°С.



Фиг. 6. Изменение ударной вязкости стали 1X12H2BMΦ в зависимости от температуры испытания (закалка с 1000°С; отпуск при 580°С).

## ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ

10X12HBMΦА (ЭИ962)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	V	Mo	Fe	S	P
									не более	
≤0,13	≤0,6	≤0,6	10,5— 12,0	1,5— 1,8	1,6— 2,0	0,18— 0,30	0,36— 0,50	Основа	0,025	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кГ/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65V}^%$
Листы толщиной 0,8—3,0 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 618—61	Термически обработанные по режиму: закалка с 1000—1050°С; отпуск при 560—600°С	20	90	10

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma$		$\delta_{5,65V}^%$	$\sigma_{-1}^{10^7}$ (на базе 10 <sup>7</sup> циклов) кГ/мм <sup>2</sup>
			$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$		
Листы толщиной 0,8—4,0 мм	Термически обработанные по режимам: 1) высокий отпуск при 730—750°С, охлаждение на воздухе	20	60—80	40—60	16—22	—
		300	55—75	—	16—22	—
		400	50—65	—	15—20	—
		500	40—55	—	15—20	—
		600	30—45	—	25—30	—
		2) закалка с 1000°С на воздухе; отпуск при 650—680°С, охлаждение на воздухе	20	80—100	—	15
	300	75—95	—	10	—	
	400	70—80	—	10	—	
	500	60—75	—	10	—	
	600	45—65	—	20	—	



**Физические свойства**

$$d = 7,8 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 11,0$  (20—100°); 11,7 (100—200°); 12,2 (200—300°); 13,3 (300—400°); 13,3 (400—500°); 13,3 (500—600°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 11,3$  (20—200°); 11,6 (20—300°); 12,0 (20—400°); 12,3 (20—500°); 12,5 (20—600°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\lambda = 0,05$  (20°); 0,053 (100°); 0,057 (200°); 0,061 (300°); 0,065 (400°); 0,067 (500°); 0,068 (600°); 0,069 (700°); 0,072 (800°)  $\text{кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$ .

**Технологические данные**

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—900°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

Предварительная термическая обработка: высокий отпуск при 730—750°С. Окончательная термическая обработка: закалка с 1000—1050°С на воздухе; отпуск на требуемую прочность. Пластичность в отпущенном состоянии хорошая.

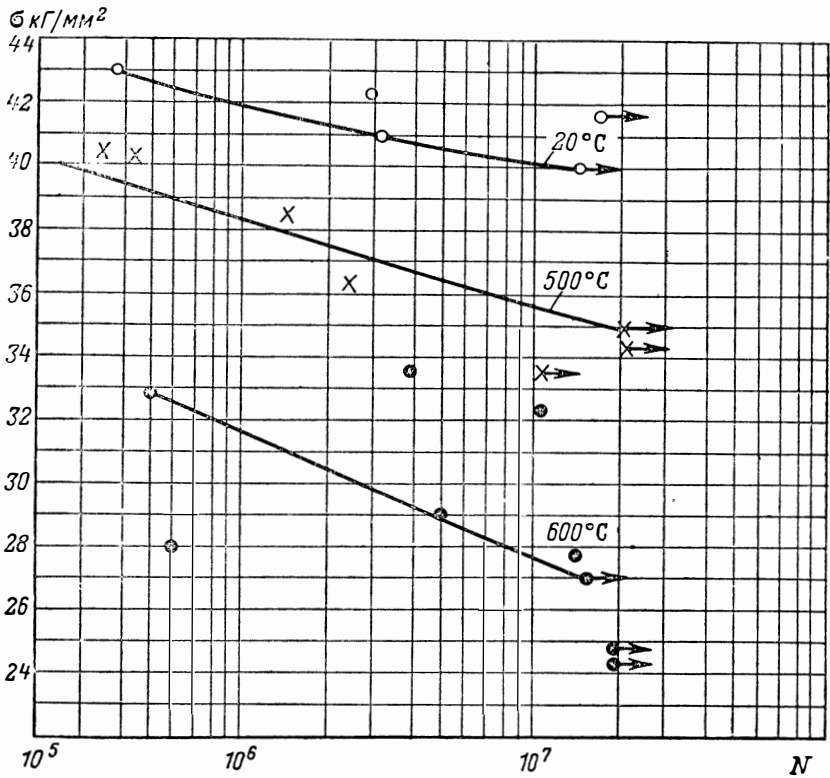
Свариваемость стали всеми видами сварки хорошая. После сварки необходимо проводить отпуск для снятия внутренних напряжений.

Для повышения коррозионной стойкости сварные детали окрашивают, несварные — пассивируют. Наиболее высокая коррозионная стойкость стали достигается после полирования и пассивирования или электрополирования.

Обработка резанием затруднений не вызывает.

**Применение**

Детали двигателей при условии защиты сварных швов; топливные емкости при условии консервации внутренней и окраски наружной поверхностей и другие изделия, работающие при температурах до 600°С.



Фиг. 1. Кривые выносливости стали 10X12HBMΦA при температурах 20, 500 и 600°С (испытание листа толщиной 1,6 мм при изгибе в одной плоскости).

## ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ

1X12HBMΦA (ЭИ962A)

## Химический состав в %

C	Mn	Si	Cr	Ni	W	V	Mo	S	P
								не более	
0,14— 0,18	≤0,6	≤0,6	10,5— 12,0	1,4—1,8	1,6—2,0	0,18—0,30	0,35—0,50	0,025	0,03

## Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65}\sqrt{F}$ %
Листы толщиной 0,8—5,0 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 487—61	Состояние поставки без дополнительной термической обработки	20	Не более 85	Не менее 22
		Термически обработанные по режиму: закалка с 960—980°С на воздухе; отпуск при 300—400°С	20	Не менее 135	Не менее 10

## Механические свойства при комнатной и высокой температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65}\sqrt{F}$ %	$\sigma_B$ сварного соединения кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>			
Листы толщиной 0,8—5,0 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 960—1000°С на воздухе; отпуск при 300—400°С	20	≥135	≥125	10	120
		400	≥125	≥115	12	115

## Физические свойства

$$d = 7,8 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 11,0$  (20—100°); 11,7 (100—200°); 12,2 (200—300°); 13,3 (300—400°); 13,0 (400—500°); 13,3 (500—600°) 1/°С.



$\alpha \cdot 10^6 = 11,4$  (20—200°); 11,6 (20—300°); 12,1 (20—400°); 12,2 (20—500°); 12,4 (20—600°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\lambda = 0,05$  (20°); 0,053 (100°); 0,057 (200°); 0,061 (300°); 0,065 (400°); 0,067 (500°); 0,068 (600°); 0,069 (700°); 0,072 (800°)  $\text{кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$ .

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—900°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

Предварительная термическая обработка: высокий отпуск при 730—750°С; окончательная термическая обработка: закалка с 960—1000°С на воздухе, отпуск при 300—400°С. Пластичность в отпущенном состоянии хорошая. Сваривается сталь всеми видами сварки хорошо. После сварки необходимо проводить отпуск для снятия напряжений. Коррозионная стойкость в атмосферных условиях после пассивирования удовлетворительная.

### Применение

Емкости, испытывающие внутренние давления, и другие изделия кратковременного действия.

## ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ (прутки, поковки)

23Х13НВМФА (ЭП65)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	V	W	Mo	S	P
									не более	
0,20— 0,28	≤0,6	≤0,6	12,0— 13,5	2,0— 2,6	Основа	0,4— 0,7	1,6— 2,2	0,45— 0,65	0,030	0,030

## Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{\text{н}}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки и поковки	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: нормализация с 1020—1050°С; промежуточный отпуск при 680—720°С; закалка с 1050—1080°С в масле или на воздухе; отпуск при 300—370°С	155	110	11	40	3	2,7—3,2
	ЦНИИЧМ 374—60							

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$ %
			кг/мм <sup>2</sup>			
Прутки и поковки	Термически обработанные по режимам: 1) закалка с 1050°С; отпуск при 530—550°С	20	20 000	155—180	110—130	11—13
		300	17 300	150—160	114—118	11—13
		400	16 200	145—155	108—114	11—13
		450	15 700	135—145	100—106	11—14
		500	15 600	120—130	90—100	11—14
		550	15 200	100—110	65—75	12—15
	2) закалка с 1050°С; отпуск при 350—370°С	20	—	155	110	11
		300	—	155	100	11

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			%			
Прутки	Термически обработанные по режимам: 1) закалка с 1050°С; отпуск при 530—550°С	20	6—8	40—45	3—5	2,7—3,25
		300	5	40—45	—	—
		400	5	40—45	5—7	—
		450	5,5	40—45	5,5—7,5	—
		500	6	43—48	5,6—7,6	—
		550	6,5	45—52	6—8	—
	2) закалка с 1050°С; отпуск при 350—370°С	20	—	40	3	2,7—3,2
		300	—	40	—	—

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания, °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}^*$	
				образцы гладкие	образцы с надрезом
кг/мм <sup>2</sup>					
Термически обработанный по режиму: закалка с 1050—1070°С; охлаждение в масле; отпуск при 550°С	20	—	—	60	45
	400	140	87—89	—	—
	450	100	62	50	30
	500	70	21	45	—
	550	—	—	38	—

\* Предел выносливости  $\sigma_{-1}$  определен на базе  $1 \cdot 10^7$  циклов; радиус надреза образца 0,75 мм.

**Механические свойства (при 20° С) стали, полученной электрошлаковым переплавом, в сравнении со свойствами металла открытой выплавки**

Метод выплавки	Вдоль направления волокна					Поперек направления волокна				
	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ч}$ кг·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ч}$ кг·м/см <sup>2</sup>
	кг/мм <sup>2</sup>		%			кг/мм <sup>2</sup>		%		
Электрошлаковый переплав*	150—160	110—120	14—15	50—55	5—9	150—160	112—120	10—12	40—45	3—5
Открытая выплавка	150—160	110—120	11—14	40—55	3—9	140—155	110—120	7—9	20—25	2

\* После термической обработки по режиму: нормализация с 1050° С, отпуск при 680—720° С; закалка в масле с 1020° С; отпуск при 350° С.

**Физические свойства**

$d = 7,84 \text{ г/см}^3$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 10,4$  (20—100°); 10,8 (20—200°); 11,2 (20—300°); 11,8 (20—400°); 12,1 (20—500°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 11,2$  (100—200°); 11,9 (200—300°); 12,6 (300—400°); 13,2 (400—500°) 1/°С.

$\lambda = 0,046$  (25°); 0,048 (100°); 0,051 (200°); 0,054 (300°); 0,057 (400°); 0,061 (500°); 0,064 (600°); 0,068 (700°); 0,072 (800°) кал/см·сек °С.

**Технологические данные**

Для уменьшения содержания газовых и неметаллических включений и повышения пластических свойств в поперечном направлении сталь рекомендуется подвергать электрошлаковому переплаву.

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1150—900° С. Заготовки под деформацию до температуры 600° С нагревают медленно и медленно охлаждают после деформации.

Послековки и прокатки для смягчения сталь подвергают нормализации с 1000—1050° С и отпуску при 700—720° С на твердость  $HV$  ( $d_{отп}$ ) > 3,65 мм.

Рекомендуемые режимы окончательной термической обработки:

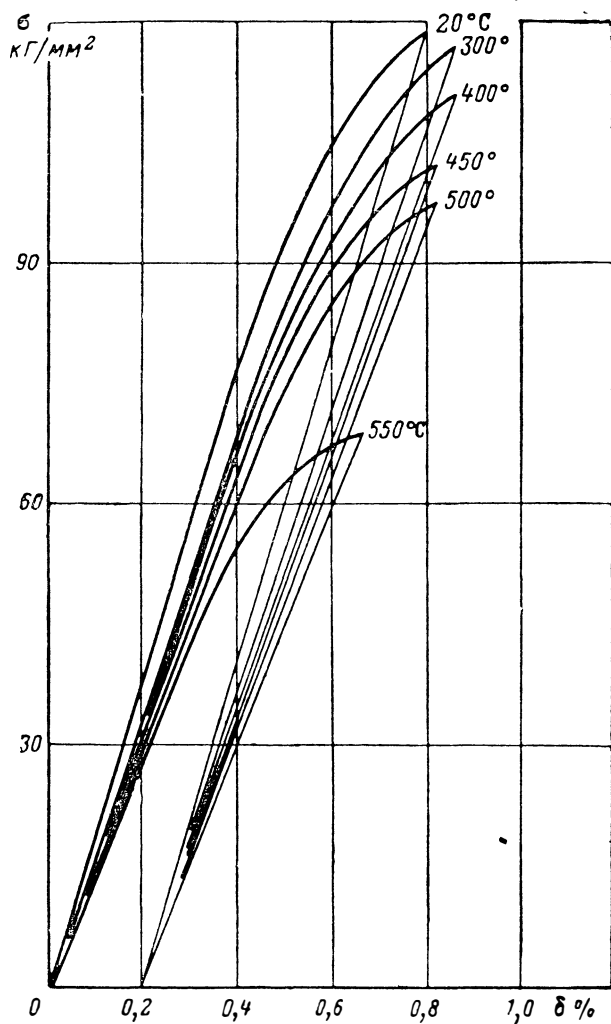
- 1) закалка с 1050° С в масле или на воздухе; отпуск при 530—550° С;
- 2) закалка с 1050° С в масле или на воздухе; отпуск при 350—370° С.

Коррозионная стойкость стали во влажной атмосфере после обработки поверхности на чистоту  $\nabla 5$  и пассивирования удовлетворительная.

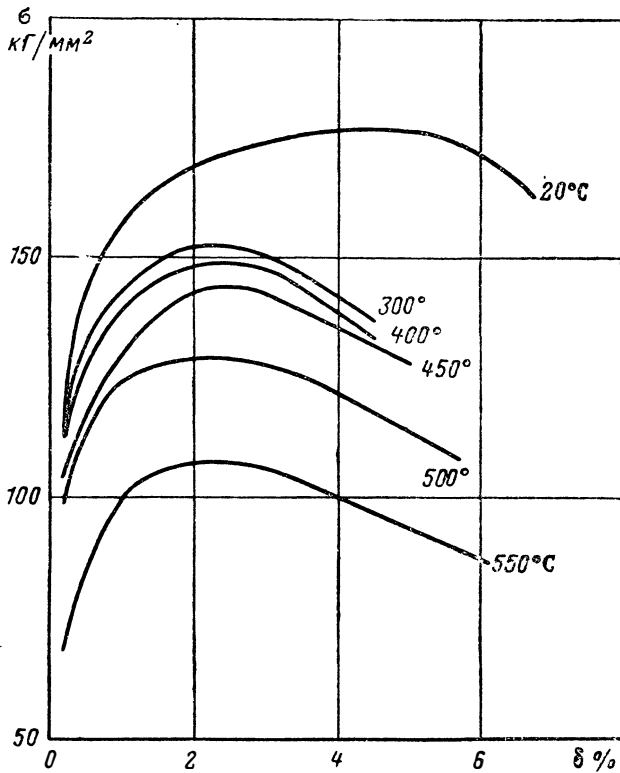
Обрабатываемость резанием в отожженном состоянии хорошая.

**Применение**

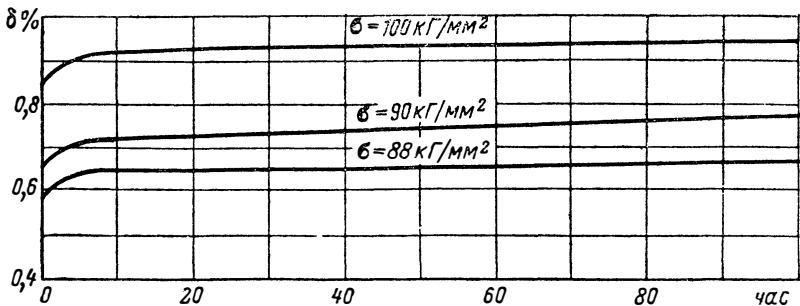
Силовые детали (кольца) и другие детали, работающие при температурах до 500° С.



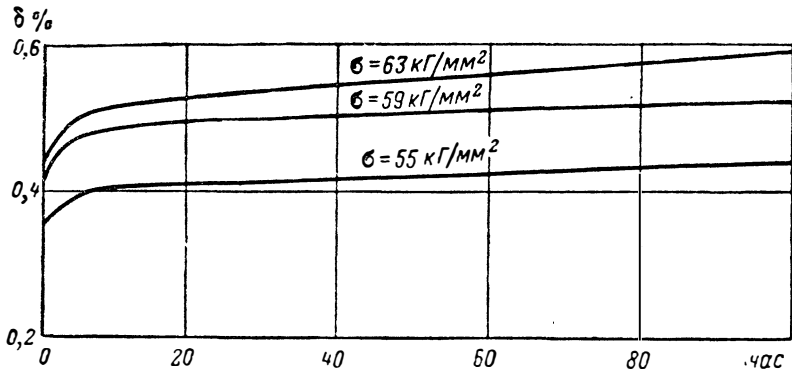
Фиг. 1. Кривые растяжения стали 23X13HBMΦA до предела текучести. (Отпуск при 550° С).



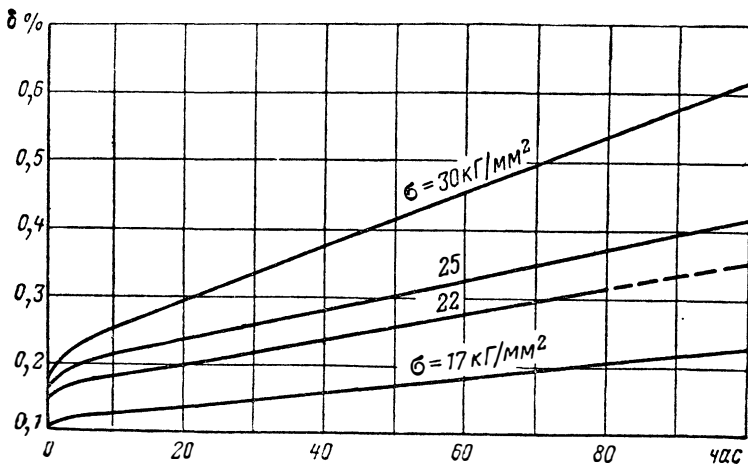
Фиг. 2. Кривые растяжения стали 23X13HBMFA от предела текучести до разрушения. (Отпуск при 550° С).



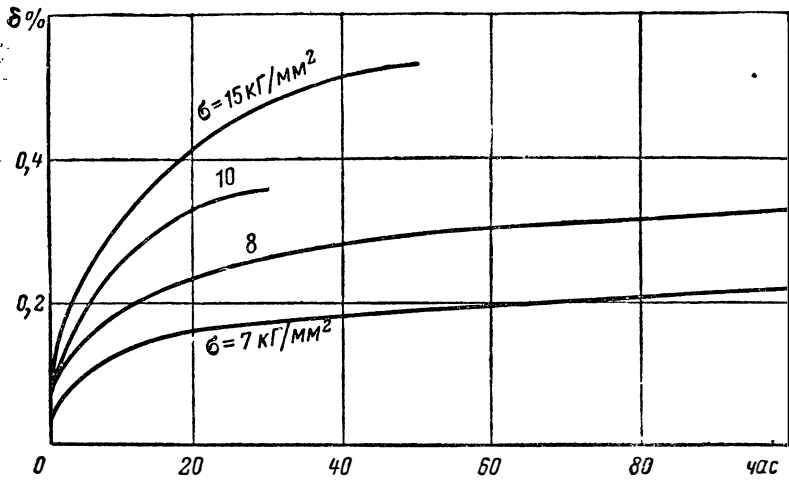
Фиг. 3. Кривые ползучести стали 23X13HBMFA при температуре 400° С. (Отпуск при 550° С).



Фиг. 4. Кривые ползучести стали 23X13HBMΦA при температуре 450°С. (Отпуск при 550°С).



Фиг. 5. Кривые ползучести стали 23X13HBMΦA при температуре 500°С. (Отпуск при 550°С).



Фиг. 6. Кривые ползучести стали 23Х13НВМФА при температуре 550°С. (Отпуск при 550°С).



## ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ (листы)

23Х13НВФМА (ЭП65)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	Fe	V	S   P	
									не более	
0,20— 0,26	≤0,6	≤0,6	12,0— 13,5	1,4— 2,0	1,6— 2,2	0,45— 0,65	Основа	0,30— 0,50	0,02	0,02

## Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %
Листы толщиной 0,8—5,0 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 601—61	Состояние поставки без дополнительной термической обработки	20	≤85	≥22
		Термически обработанные по режиму: закалка с 1000—1050°С на воздухе; отпуск при 280—350°С; охлаждение на воздухе	20	≥150	≥10

## Механические свойства при комнатной и высокой температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %
			кг/мм <sup>2</sup>		
Листы толщиной 0,8—5,0 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 1000—1050°С на воздухе; отпуск при 330°С	20	150— 160	125— 135	10
		300	150— 160	115— 125	10

## Физические свойства

$$d = 7,84 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 10,4$  (20—100°); 10,8 (20—200°); 11,2 (20—300°); 11,8 (20—400°); 12,1 (20—500°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 11,2$  (100—200°); 11,9 (200—300°); 12,6 (300—400°); 13,2 (400—500°)  
 $1/^\circ\text{C}$ .  
 $\lambda = 0,046$  (25°); 0,048 (100°); 0,051 (200°); 0,054 (300°); 0,057 (400°); 0,061  
 (500°); 0,064 (600°) кал/см·сек·°C.

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—900°С. После прокатки сталь отпускают при температурах 700—720°С для уменьшения твердости.

Штамповку можно производить и в холодном состоянии. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка	
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$
2,0—2,5	1,75—2,75	1,70—1,75	1,48—1,50

Рекомендуемая окончательная термическая обработка: закалка с 1000—1050°С на воздухе; отпуск при 280—350°С.

Коррозионная стойкость стали во влажной атмосфере после пассивирования удовлетворительная, после полирования и пассивирования или электрополирования — высокая.

Сталь малых толщин хорошо сваривается аргоно-дуговой сваркой как с присадочным металлом из стали типа 10Х12НВМФА (ЭИ962), так и без него, а также контактной сваркой (точечной, роликовой). Сварные детали, работающие в атмосферных условиях, окрашивают. несварные — пассивируют.

### Применение

Емкости, испытывающие внутренние давления, и другие детали изделий кратковременного действия.

<b>ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ</b>	<b>ЭП311 (ВНС-6)</b>
------------------------	----------------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Fe	S	P
0,23— 0,28	≤0,6	≤0,6	11,5— 13,0	1,5— 2,0	1,5— 2,0	1,6— 2,0	0,18— 0,3	Основа	0,03	0,03
									не более	

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: закалка с 1050±10°С в масле; отпуск при 650±10°С	115	95	10	45	4,5	3,2—3,4
	ЦНИИЧМ 554—61							

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания, °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
		кг/мм <sup>2</sup>			%				
Термически обработанный по режимам: 1) закалка с 1050±10°С в масле или на воздухе; отпуск при 650—680°С	20	20 000	115—125	93—105	10—15	9—13	35—50	4—8	3,2—3,4
	400	17 000	85—100	65—75	10—15	6—8	30—45	6—12	—
	450	16 000	85—95	60—70	10—15	6—8	40—50	6—12	—
	500	15 000	80—90	55—65	11—16	8—12	50—60	8—14	—
	550	14 000	60—75	40—50	12—17	8—12	60—70	8—14	—
	600	12 000	55—63	38—43	17—22	17—18	65—75	8—14	—
2) закалка с 1050°С в масле или на воздухе; отпуск при 580—600°С	20	20 000	140—160	107—115	9—13	6—9	45—55	4—8	3,0—3,25
	400	17 000	120—130	96	8—11	6—7	42—52	6—10	—
	450	16 000	115—125	86	8—11	6—7	47—55	6—10	—
	500	15 000	95—110	74	8—11	6—7	50—60	7—10	—
	550	14 000	85—100	62	11—15	6—7	55—65	7—10	—

Состояние материала	Температура испытания, °С	Продолжение							
		$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{\text{н}}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ ( $d$ мм)
		кг/мм <sup>2</sup>			%				
3) закалка с $1050 \pm 10^\circ\text{C}$ в масле или на воздухе; отпуск при $350-380^\circ\text{C}$	20	—	155—180	130—150*	11—18	—	40—55	4—8	2,7—3,15
	300	—	150—170	120—130*	11—20	—	40—55	—	—

\* Определено на образцах с рабочим диаметром 5 мм ( $l=5d$ ) по диаграмме растяжения.

**Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости**

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^H$
				на базе $10^7$ циклов	
				кг/мм <sup>2</sup>	
Термически обработанный по режимам: 1) закалка с $1050^\circ\text{C}$ в масле или на воздухе; отпуск при $650^\circ\text{C}$	20	—	—	58	28
	500	54	27	—	—
	550	44	19—20	—	—
	600	35	14—15	41	—
	2) закалка с $1050^\circ\text{C}$ в масле или на воздухе; отпуск при $580^\circ\text{C}$	20	—	—	63
500	68	30—32	—	—	
550	50	22—23	50	—	

**Физические свойства**

$d = 7,85 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 10,4 (20-100^\circ); 10,8 (20-200^\circ); 11,2 (20-300^\circ); 11,8 (20-400^\circ); 12,1 (20-500^\circ); 13,3 (20-600^\circ) \text{ } 1/^\circ\text{C}$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 11,2 (100-200^\circ); 11,9 (200-300^\circ); 12,1 (300-400^\circ); 13,2 (400-500^\circ); 13,2 (500-600^\circ) \text{ } 1/^\circ\text{C}$ .  
 $\lambda = 0,048 (100^\circ); 0,051 (200^\circ); 0,054 (300^\circ); 0,056 (400^\circ); 0,058 (500^\circ); 0,061 (600^\circ); 0,064 (700^\circ); 0,066 (800^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C}$ .  
 $c = 0,10 (100^\circ); 0,11 (200^\circ); 0,12 (300^\circ); 0,14 (400^\circ); 0,16 (500^\circ); 0,17 (600^\circ); 0,19 (700^\circ) \text{ кал/г}\cdot^\circ\text{C}$ .

**Технологические данные**

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации  $1180-900^\circ\text{C}$ . Заготовки под деформацию до температуры  $600^\circ\text{C}$  нагревают медленно и медленно охлаждают после деформации.

Предварительная термическая обработка прутков и поковок: высокий отпуск при  $720-740^\circ\text{C}$ . Крупногабаритные поковки перед высоким отпуском рекомен-

дугается подвергать нормализации с 1000—1050° С с последующим высоким отпуском при 720—740° С. Окончательная термическая обработка: закалка с 1050—1070° С на воздухе или в масле; отпуск при температурах 650—680° С ( $\sigma_{\text{в}} \geq 115 \text{ кг/мм}^2$ ), при 580—600° ( $\sigma_{\text{в}} \geq 140 \text{ кг/мм}^2$ ), при 250—320±10° ( $\sigma_{\text{в}} \geq 150 \text{ кг/мм}^2$ ).

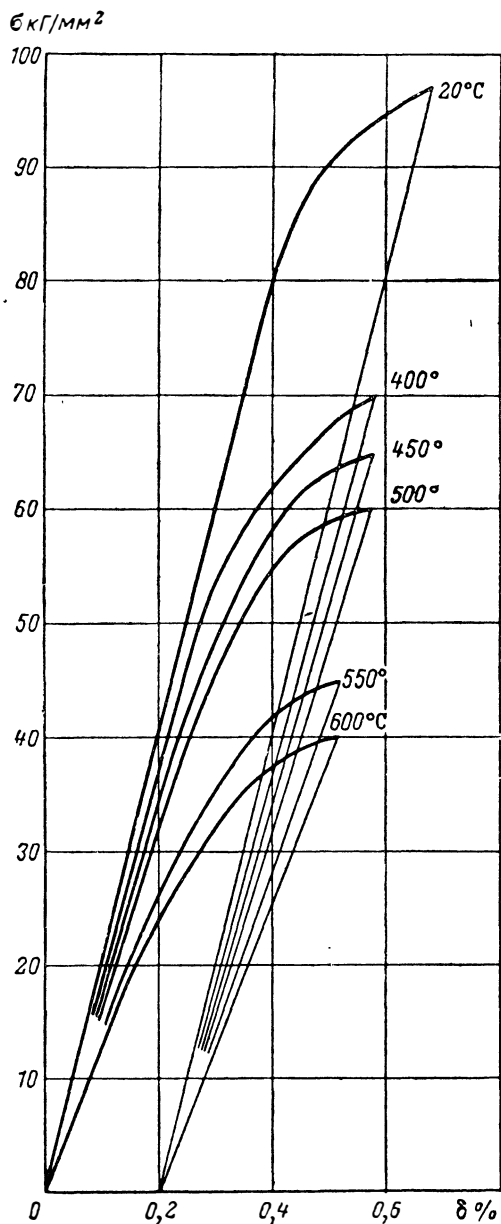
Коррозионная стойкость стали в атмосферных условиях после пассивирования удовлетворительная, после полирования и пассивирования — высокая.

Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки. После сварки необходимо проводить отпуск для снятия внутренних напряжений.

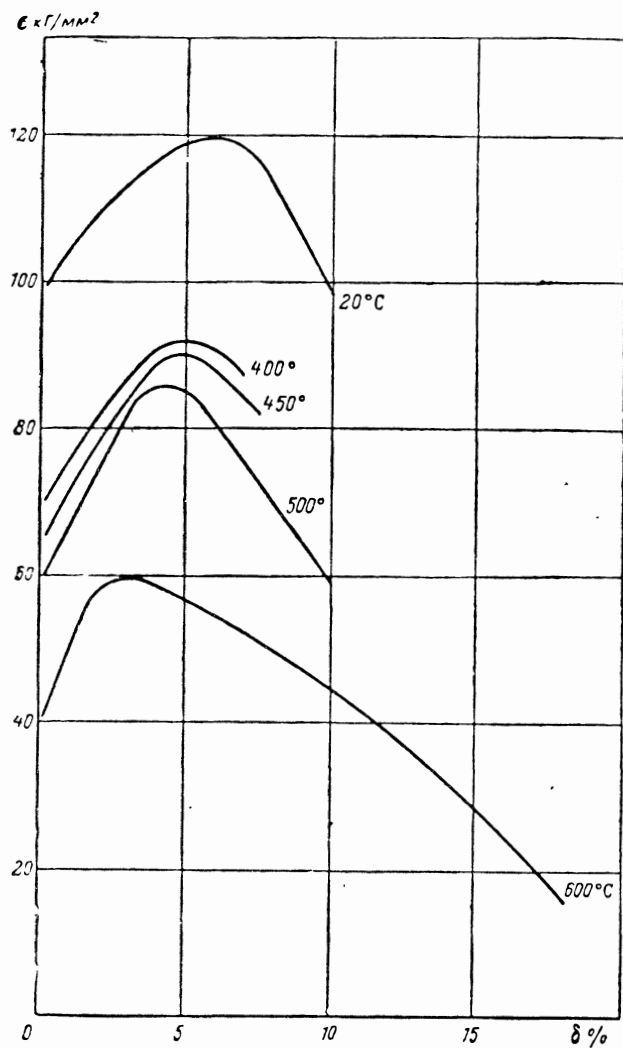
В термически обработанном состоянии обработка стали резанием затруднений не вызывает.

### Применение

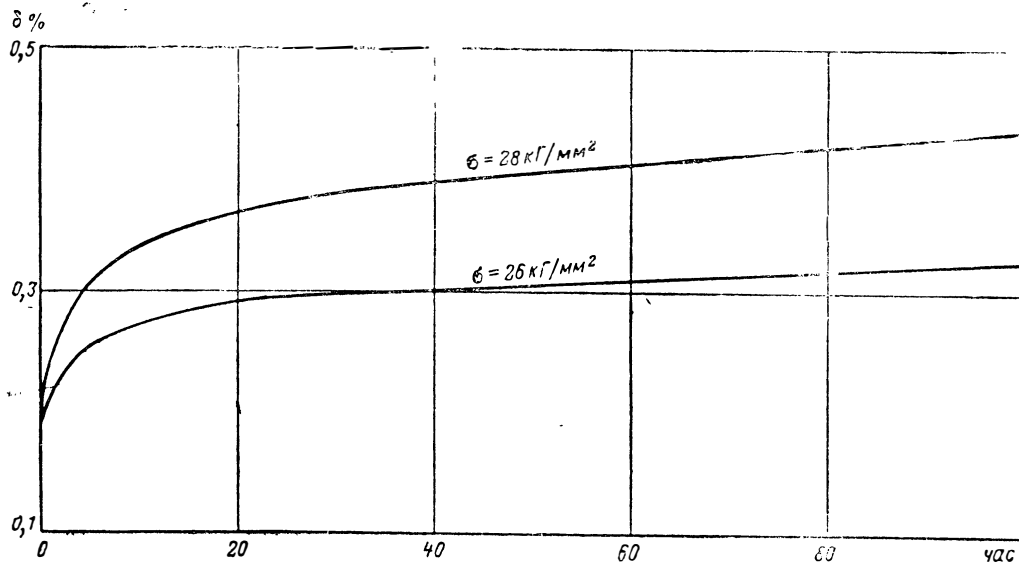
Силовые детали, работающие при температурах до 600° С.



Фиг. 1. Кривые растяжения стали ЭП311 до предела текучести (отпуск при  $650^{\circ}\text{C}$ ).

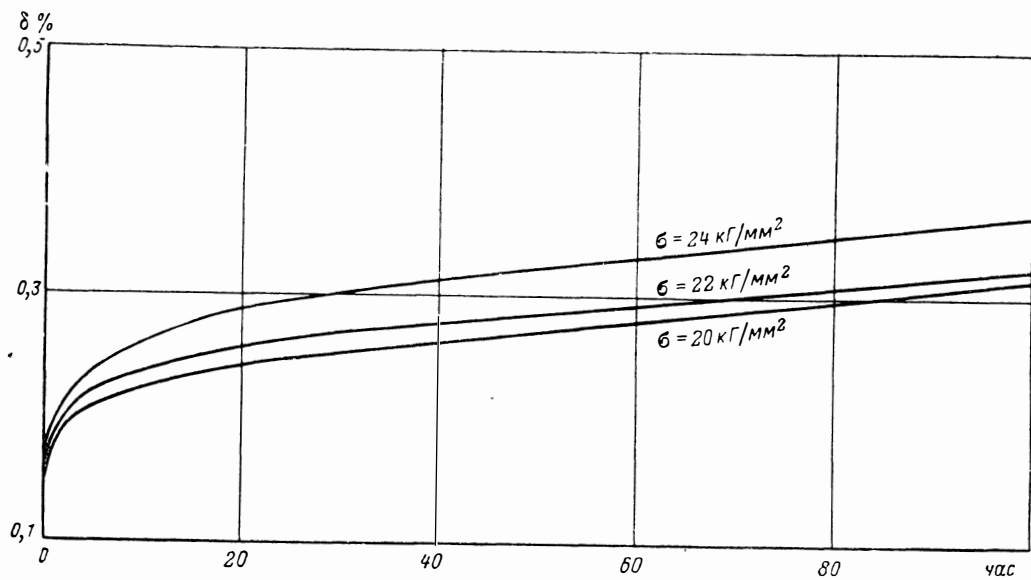


Фиг. 2. Кривые растяжения стали ЭП311 от предела текучести до разрушения (отпуск при  $650^\circ\text{C}$ ).

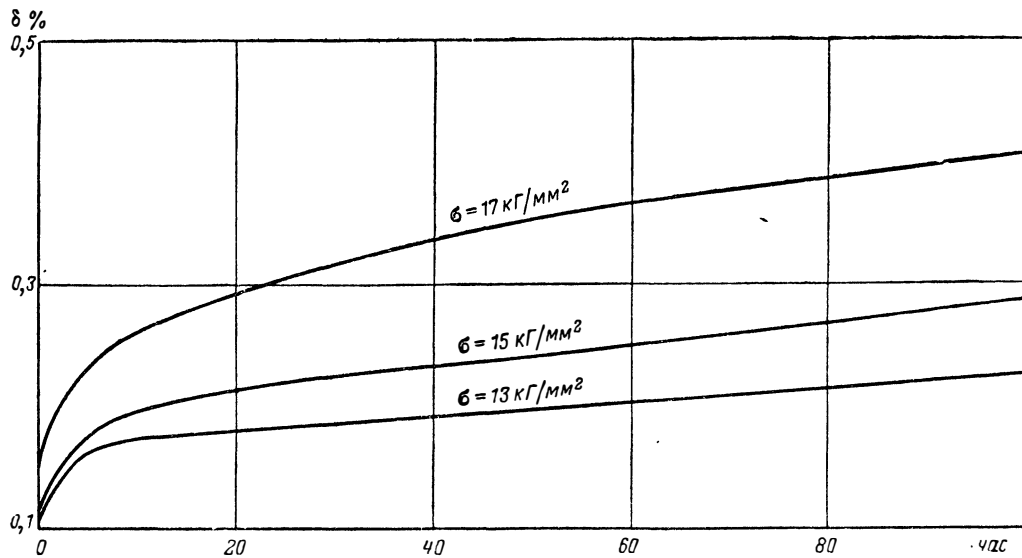


Фиг. 3. Кривые ползучести стали ЭП311 при температуре 500° С (отпуск при 650° С).





Фиг. 4. Кривые ползучести стали ЭП311 при температуре 550°С (отпуск при 650°С).



Фиг. 5. Кривые ползучести стали ЭП311 при температуре 600° С (отпуск при 650° С).

## ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВАЯ СТАЛЬ

ЭП310 (ВНС-5)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	Fe	S	P
								не более	
0,11—0,16	≤0,7	≤1,0	14,0—15,5	4—5	2,3— 2,8	0,05— 0,10	Основа	0,02	0,035

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{\text{H}}$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки и поковки	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: закалка с $1050 \pm 10^\circ\text{C}$ на воздухе или в воде, обработка холодом при $-70^\circ\text{C}$ в течение 2 час, отпуск при $450^\circ\text{C}$ (1 час)	145	105	15	50	7
	ЦНИИЧМ 545—61						

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания $^\circ\text{C}$	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{\text{H}}$ кг·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^H$	
			кг/мм <sup>2</sup>		%		кг/мм <sup>2</sup>				(на базе $10^7$ циклов)		
Прутки	Термически обработанные по режиму: нормализация с $1050^\circ\text{C}$ ; обработка холодом при $-70^\circ\text{C}$ в течение 2 час; отпуск	20	20 200	145	105	10	52	7	—	—	65—37	69	
		300	—	130	78	9	49	6,5	125	—	—	—	
		400	17 800	125	76	8,5	40	7	118	—	—	—	
		450	—	115	73	8	45	6,5	96	53—55	51	35	
		500	17 100	85	63	7	49	9	66	18—19	48	30	
		550	—	78	63*	—	66	9,5	40	—	—	—	

\* Предел текучести определен по диаграмме растяжения на образцах диаметром 5 мм.

## Физические свойства

$d = 7,82 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 9,3 (20-100^\circ)$ ;  $10,0 (100-200^\circ)$ ;  $11,2 (200-300^\circ)$ ;  $13,2 (300-400^\circ)$ ;  $14,4 (400-500^\circ)$ ;  $15,1 (500-600^\circ) 1/^\circ\text{C}$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 9,7 (20-200^\circ)$ ;  $10,2 (20-300^\circ)$ ;  $10,9 (20-400^\circ)$ ;  $11,6 (20-500^\circ)$ ;  $12,2 (20-600^\circ) 1/^\circ\text{C}$ .  
 $\lambda = 0,037 (25^\circ)$ ;  $0,04 (100^\circ)$ ;  $0,043 (200^\circ)$ ;  $0,046 (300^\circ)$ ;  $0,050 (400^\circ)$ ;  $0,053 (500^\circ)$ ;  $0,056 (600^\circ)$ ;  $0,059 (700^\circ)$ ;  $0,062 (800^\circ)$ ;  $0,065 (900^\circ) \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$ .  
 $c = 0,10 (100^\circ)$ ;  $0,11 (200^\circ)$ ;  $0,12 (300^\circ)$ ;  $0,135 (400^\circ)$ ;  $0,15 (500^\circ)$ ;  $0,17 (600^\circ)$ ;  $0,18 (700^\circ)$ ;  $0,18 (800^\circ)$ ;  $0,16 (900^\circ) \text{ кал/г} \cdot ^\circ\text{C}$ .  
 $\rho = 0,797 (25^\circ) \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ .

## Технологические данные

Сталь в процессе выплавки контролируется по фазовому составу магнитным методом. Для уменьшения содержания газовых и неметаллических включений и повышения пластических свойств в поперечном волокне направлении сталь необходимо подвергать электрошлаковому переплаву.

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—900°С.

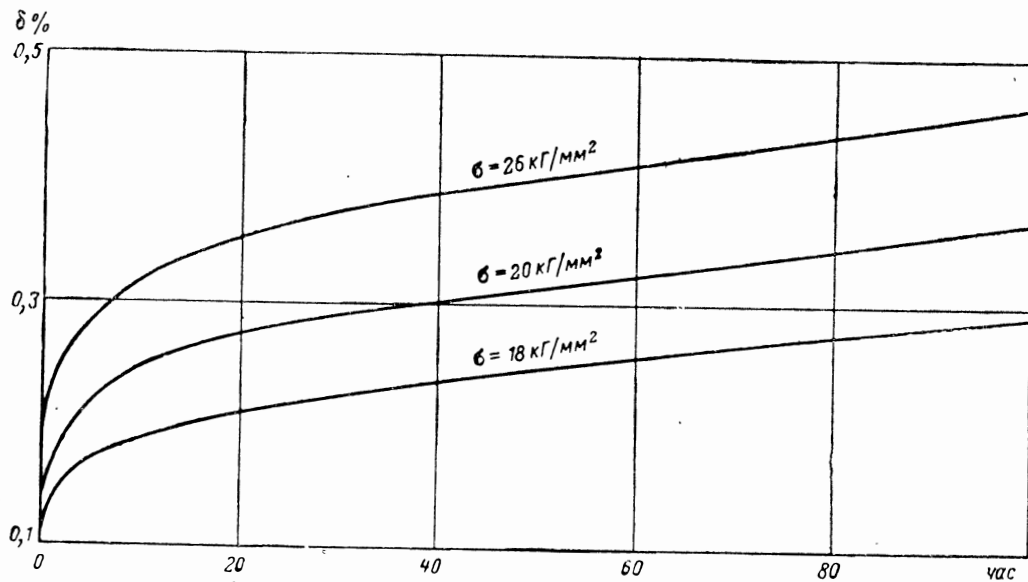
Рекомендуемая термическая обработка: закалка с 1050±10°С в воде или на воздухе; обработка холодом при —70°С в течение 2 час; отпуск при 450°С в течение 1 часа. Для лучшей механической обрабатываемости сталь рекомендуется подвергать термической обработке по режиму: высокий отпуск при 760°С в течение 4—5 час, охлаждение на воздухе; отпуск при 590°С в течение 4—5 час, охлаждение на воздухе. В таком состоянии обрабатываемость резанием аналогична обрабатываемости стали 30ХГСА с  $\sigma_b = 110 \pm 120 \text{ кг/мм}^2$ ; в упрочненном состоянии — высокопрочным сталям 30ХГСНА и ЭИ961Ф с  $\sigma_b = 140 \pm 160 \text{ кг/мм}^2$ .

Сталь хорошо сваривается автоматической и ручной аргоно-дуговой, ручной дуговой, а также контактной (точечной и роликовой) сваркой. Как правило, детали после сварки подвергают термической обработке. При сварке таких деталей применяют присадочную проволоку Св. ВНС-5 (химический состав по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 680—62). Прочность сварных соединений, выполненных по варианту: сварка, затем термическая обработка, составляет при 20°С  $\sigma_b \geq 120 \text{ кг/мм}^2$ , при 300°С  $\sigma_b \geq 110 \text{ кг/мм}^2$ . В тех случаях, когда свариваются детали, не подвергаемые термической обработке после сварки, следует применять присадочную проволоку из стали 08Х20Н10Г6. Прочность сварных соединений, выполненных по варианту: термическая обработка, затем сварка, составляет при 20°С  $\sigma_b \geq 70 \text{ кг/мм}^2$ , при 450°С  $\sigma_b \geq 50 \text{ кг/мм}^2$ .

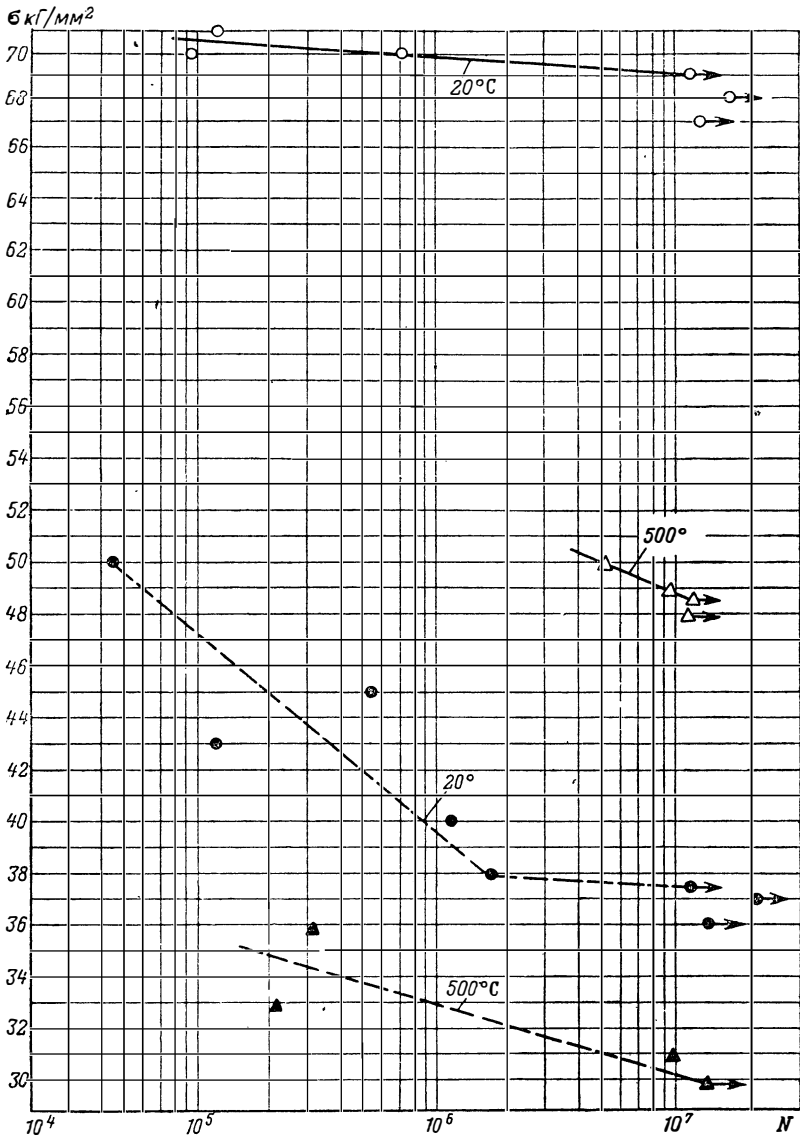
Для повышения коррозионной стойкости сварные детали, работающие в атмосферных условиях, следует окрашивать; несварные детали. могут применяться после пассивирования без лакокрасочных покрытий. Наиболее высокая коррозионная стойкость достигается после полирования и пассивирования или электрополирования.

## Применение

Силовые детали, длительно работающие при температурах до 500°С, а также детали, кратковременно работающие в атмосферных условиях и топливе при температурах до 550°С.



Фиг. 1. Кривые ползучести стали ЭП310 при температуре 500° С.



Фиг. 2. Кривые выносливости стали ЭП310 при температурах 20 и 500°С (испытание при изгибе).  
 Сплошные кривые — образцы гладкие; пунктир — образцы с надрезом.

**ХРОМОНИКЕЛЬВОЛЬФРАМОВАЯ СТАЛЬ****4Х14Н14В2М (ЭИ69)****Химический состав в %**

С	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	Fe	S	P
								не более	
0,4—0,5	≤0,8	≤0,7	13—15	13—15	2,0—2,75	0,25—0,40	Основа	0,020	0,035

**Механические свойства по ТУ (не менее)**

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	a <sub>н</sub> кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки	МПТУ 2362—49	Отожженные при 820°С	20	72	32	20	35	5	4,3—3,6
Поковки	МПТУ 2332—49	Отожженные при 820°С	20	72	40	20	35	5	4,5—3,7

**Механические свойства при комнатной и высоких температурах**

Состояние материала	Температура испытания, °С	E	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	σ <sub>пц</sub>	δ <sub>10</sub>	ψ	a <sub>н</sub> кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
		кг/мм <sup>2</sup>				%			
Отожженный при 820—850°С	20	18 100	72	40	24	20	35	5	4,5—3,7
	300	14 700	72	39	23	18	30	—	—
	400	14 400	71	36	21	18	40	—	—
	500	14 100	65	34	17	17	42	—	—
	600	12 700	58	33	14	18	48	—	—
	700	9 100	37	21	—	33	61	—	—
	800	4 750	23	11	—	38	65	—	—

**Механические свойства при низких температурах**

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	a <sub>н</sub> кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки диаметром 22 мм	Закаленные с 1180°С в воде	20	75	33	56	62	19
		—70	92	46	56	63	18
		—196	134	76	56	57	10

## Пределы длительной прочности и ползучести

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{0,2/100}$ (по общей деформации)
		кг/мм <sup>2</sup>				
Отожженный при 820° С (2 часа)	500	—	—	—	—	18
	600	35,3	32,5	29,0	25,0	11,6
	700	—	17,7	12,7	11,6	3,4
	800	8,2	6,6	4,8	3,8	1,8
Закаленный с 1080° С в воде	500	—	—	—	—	20,5
	600	—	—	—	—	10,0
	700	—	—	—	—	4,5
	800	—	—	—	—	1,6
Закаленный с 1180° С в воде	500	—	—	—	—	20,0
	600	—	—	—	—	18,0
	700	—	—	—	—	11,5
	800	—	—	—	—	6,0

## Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде привес составляет: 0,03 при 800° С; 1,01 при 900° С; 7,0 г/м<sup>2</sup>·час при 1000° С.

## Физические свойства

$d^* = 8,0$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6 = 16,6$  (20—100°); 17,2 (20—200°); 17,7 (20—300°); 17,9 (20—400°); 18,0 (20—500°); 18,6 (20—600°); 18,9 (20—700°) 1/°С.  
 $\lambda = 0,038$  (100°); 0,042 (200°); 0,046 (300°); 0,049 (400°); 0,053 (500°); 0,057 (600°); 0,061 (700°); 0,066 (800°); 0,072 (900°) кал/см·сек·°С.  
 $\rho^{**} = 0,81$  (20°); 0,87 (100°); 0,94 (200°); 1,00 (300°); 1,05 (400°); 1,10 (500°); 1,14 (600°); 1,17 (700°) г/см<sup>3</sup>.  
 $c^{**} = 0,121$  (20—300°); 0,122 (20—400°); 0,125 (20—500°); 0,126 (20—600°) кал/г·°С.

## Технологические данные

Сталь применяют в литом и деформированном состояниях. Температура литья 1490—1590° С. Линейная усадка составляет 2—2,5%. Детали можно отливать в сырых и сухих песчаных формах и в кокилях.

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температура нагрева под деформацию 1150° С (для штамповки лопаток 1100° С); температура конца деформации 900° С. Охлаждение после деформации медленное.

Термическая обработка клапанов и лопаток, работающих при температурах ниже 600° С: отжиг при 820—850° С в течение 2 час, охлаждение на воздухе. Отжиг отливок не обязателен; проведенный при температуре 1100° С он несколько увеличивает пластичность металла.

Сталь хорошо наплавляется сплавами ЭИ334, ВХН1 и стеллитом. Хорошо обрабатывается резанием; в литом состоянии сваривается удовлетворительно.

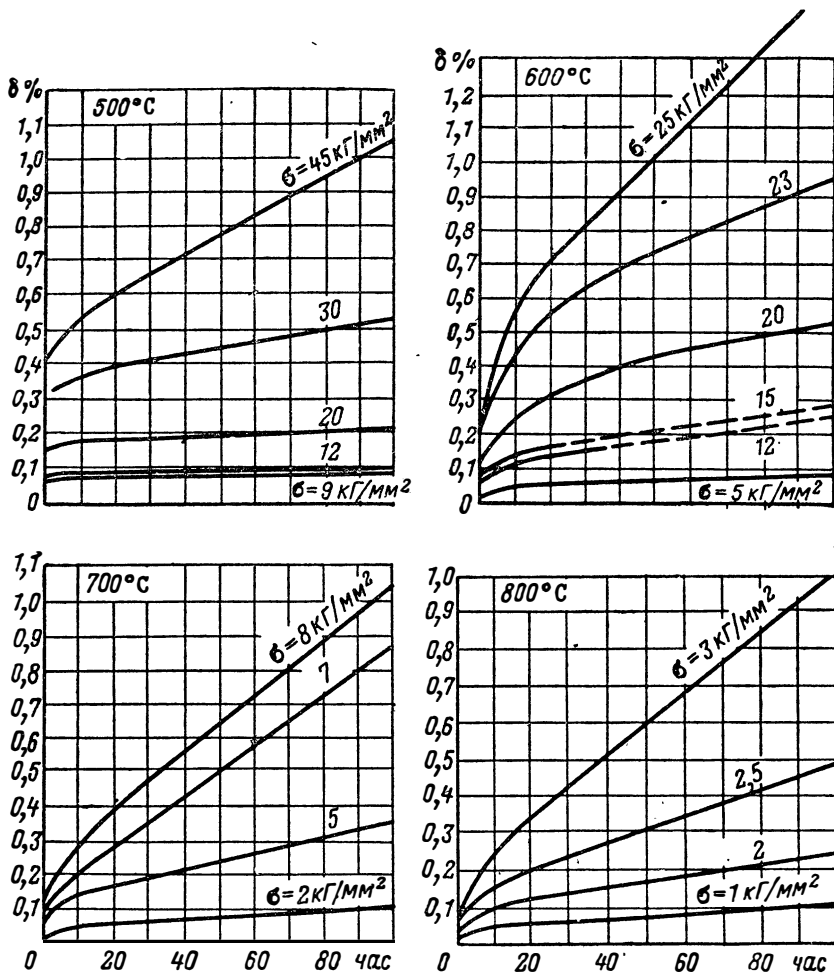
\* По данным ЦКТИ.

\*\* По данным справочника «Теплофизические свойства веществ», ГЭИ, 1956.



## Применение

Клапаны выпуска авиационных двигателей и крепежные детали. Рекомендуется для работы при температурах до  $800^{\circ}\text{C}$ .



Фиг. 1. Кривые ползучести стали 4X14H14B2M при различных температурах.

## ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

X14H14CB2M (ЭИ240)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	Fe	S	P
								не более	
0,4—0,5	2,75—3,25	≤0,7	13—15	13—15	1,75—2,75	0,25—0,40	Основа	0,020	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	НВ (d мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки	МПТУ 2362—49	Состояние поставки (после отжига при 820°С в течение ≤5 час с охлаждением на воздухе)	20	—	—	—	—	4,7—3,9
			Контрольные образцы	20	70	40	20	35

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{10}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$
		кг/мм <sup>2</sup>			
После термической обработки	650	26	18	14	13
	800	13	8,4	4,6	3,5

## Жаростойкость

Сопротивление газовой коррозии хорошее при температурах до 1000°С.

## Физические свойства

$d = 8,0 \text{ г/см}^3$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 17 \text{ (0—100°); } 20 \text{ (900—1000°) } 1/^\circ\text{С}$ .

$\lambda = 0,03 \text{ (25°) кал/см} \cdot \text{сек } ^\circ\text{С}$ .

Сталь немагнитна.

**Технологические данные**

Горячая обработка давлением проводится в интервале температур 1100—850°С.

Термическая обработка: отжиг при 820°С, выдержка не менее 5 час, охлаждение на воздухе. Удовлетворительно наплавляется стеллитом.

**Применение**

Седла клапанов выпуска авиационных двигателей, наплавленные стеллитом.

## ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВАЯ СТАЛЬ

ЭИ395 (16-25-6)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	N	S	P
								не более	
≤0,12	0,5—1,0	1—2	15,0—17,5	24—27	5,5—7,0	Основа	0,1— 0,2	0,020	0,030

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	НВ (d мм)	σ <sub>100</sub> кг/мм <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки	МПТУ 2362—49	Отожженные при 800°С в течение 5 час	20	—	—	—	—	≥3,8	—
		Термически обработанные по режиму; закалка с 1180°С (2 часа) в воде; старение при 700°С (5 час)	700	—	—	—	—	—	18
Диски	СТУ	После полугорячего наклепа (нагрев до 750°С, наклеп 10—15%) и отпуска при 650°С (4 часа)	20	84	63	12	—	3,4— 3,9	—
			700	—	—	—	—	—	20
			815	32	—	—	—	—	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	E	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	σ <sub>пц</sub>	δ <sub>10</sub>	ψ	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>				%		
Штамповки	После полугорячего наклепа (нагрев до 700—750°С, наклеп 8—15%), отпуска при 650°С (4 часа) и старения при 700°С (25 час)	20	19 600	90—95	61	43	20	26	—
		300	17 000	75	45	31	18	31	—
		400	16 000	73	44	30	21	41	—
		500	15 000	71	44	29	21	43	—
		600	14 000	65	43	24	20	41	—
		700	12 500	51	38	13	13	26	—
		800	11 000	35	23	—	10	25	—

Продолжение									
Вид полу-фабри-ката	Состояние	Темпе-ра-тура испы-тания, °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	НВ (d мм)
Диски	После полугоряче-го наклепа	20	—	≥ 90	63— 70	—	12— 20	30— 45	3,4—3,8

### Пределы длительной прочности и ползучести

Состояние материала	Темпе-ра-тура испы-тания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{0,2/100}$	
					по остаточ-ной дефор-мации	по общей дефор-мации
					кг/мм <sup>2</sup>	
После полугорячего наклепа (нагрев до 700—750° С, наклеп 8—15%), отпуска при 650° С (4 часа) и старения при 700° С (25 час)	600	40	39	38	34,5	24,0
	650	32	30	—	—	—
	700	23	20	—	16,5	14,5
	750	15	—	—	—	—
	800	10	—	—	8	—

### Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде потеря в весе составляет: 0,001 г/м<sup>2</sup>·час при 650° С; 0,003 г/м<sup>2</sup>·час при 700° С; 0,013 г/м<sup>2</sup>·час при 750° С; 0,06 г/м<sup>2</sup>·час при 800° С.

### Физические свойства

$d = 8,08$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6 = 13,97$  (20—100°); 15,38 (100—200°); 16,49 (200—300°); 17,60 (300—400°); 18,16 (400—500°) 1/°С.  
 $\lambda = 0,032$  (100°); 0,036 (200°); 0,040 (300°); 0,044 (400°); 0,050 (500°); 0,055 (600°); 0,059 (700°) кал/см·сек·°С.

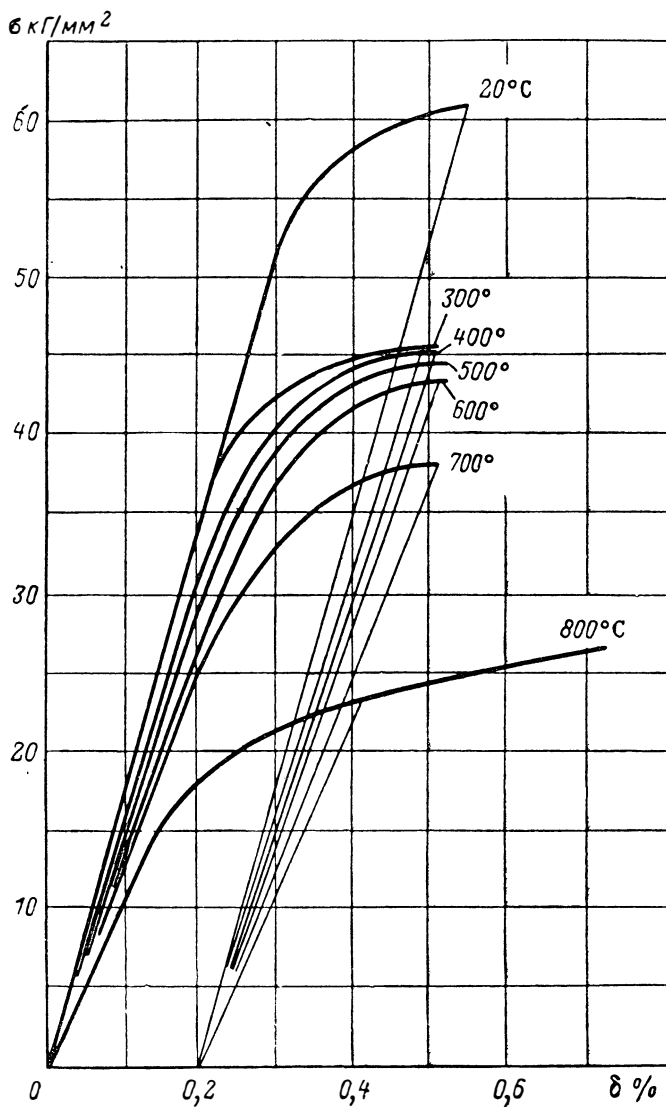
### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1100—960° С. Штамповки дисков наклепывают на 8—15% при температуре не выше 750° С. После полугорячего наклепа сталь для снятия напряжений подвергают отпуску при 650° С в течение 4 час.

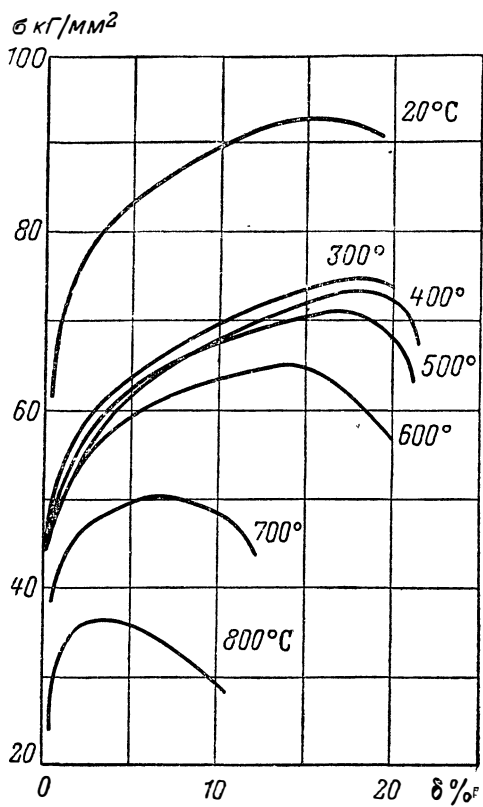
Окончательная термическая обработка: старение при 700° С в течение 25 час, охлаждение на воздухе.

### Применение

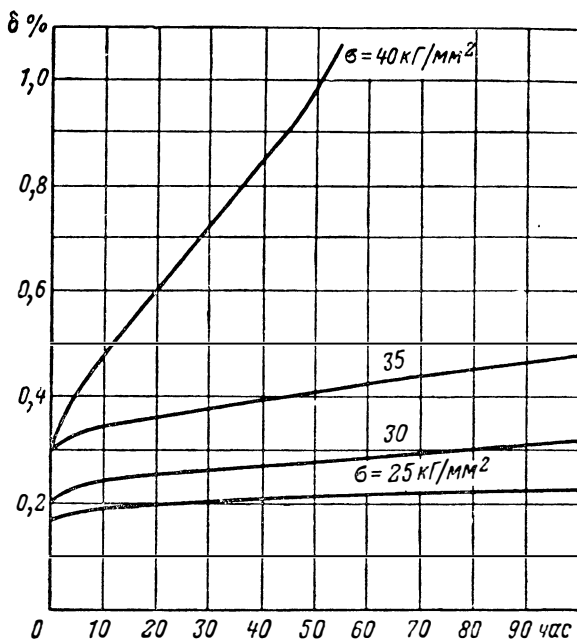
Сварные роторы газовых турбин различного назначения, работающие при температурах до 700° С.



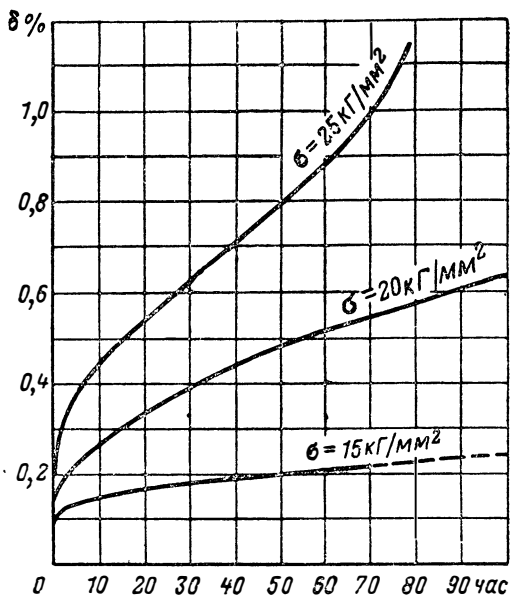
Фиг. 1. Кривые растяжения стали ЭИ395 до предела текучести.



Фиг. 2. Кривые растяжения стали ЭИ395 от предела текучести до разрушения.

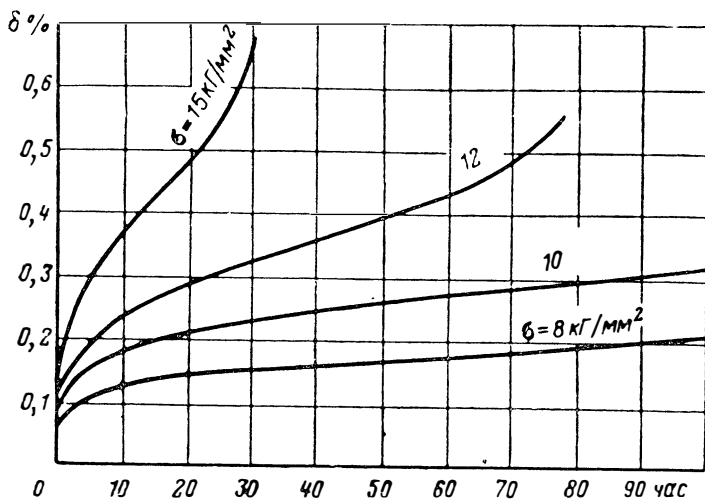


Фиг. 3. Кривые ползучести стали ЭИ395 при температуре 600°С.

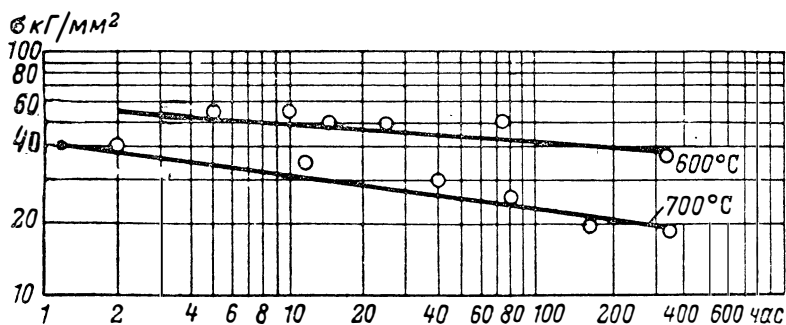


Фиг. 4. Кривые ползучести стали ЭИ395 при температуре 700°С.





Фиг. 5. Кривые ползучести стали ЭИ395 при температуре 800°С.



Фиг. 6. Кривые длительной прочности стали ЭИ395.

## ХРОМОМАНГАНЦЕВОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

4Х15Н7Г7Ф2МС  
(ЭИ388)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	V	Mo	Fe	S	P
								не более	
0,38—0,47	0,9—1,4	6—8	14—16	6—8	1,5—1,9	0,65—0,95	Основа	0,020	0,035

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d м.м.)	$\sigma_{75}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки	ЧМТУ 2897—51	Термически обработанные по режиму: закалка с 1170—1190°С (30—45 мин) в воде или на воздухе; старение при 800±20°С (8—10 час)	20 800	90 —	15 —	15 —	3,3—3,8 —	— 14

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания, °С	E	E <sub>л</sub> *	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$\sigma_{сч}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d м.м.)
		кг/мм <sup>2</sup>						%		
Термически обработанный по режиму: закалка с 1170—1190°С (30—40 мин) в воде или на воздухе; старение при 800±10°С (8—10 час)	20	19 000	19 800	100	62	30	15	15	3,0	—
	300	16 000	—	81	55	29	13	26	—	—
	400	15 200	—	78	54	28	12	23	—	—
	500	15 000	—	70	50	28	12	23	—	—
	600	14 500	15 200	64	50	27	9,5	23	—	—
	700	12 000	14 500	52	43	24	8	32	—	—
	800	11 600	13 800	38	28	14	8	17—27	—	—
	900	9 000	12 800	25	—	—	7	18	—	—
	1000	—	—	16	—	—	6	21	—	—

\* По данным ЦИАМ.

Состояние материала	Температура испытания, °С	Продолжение								
		$E$	$E_d^*$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$\sigma_{нГ} \cdot \text{м/см}^2$	$HB$ ( $d \text{ мм}$ )
		кг/мм <sup>2</sup>					%			
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с 1180°С (1 час) в воде; 2-я закалка с 1000°С (1 час) на воздухе **	20	19 000	—	94	48	—	30	28	—	3,4
	650	14 500	—	64	36	—	16	24	—	—

\* По данным ЦИАМ.

\*\* По данным ЦКТИ.

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания, °С	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{5000}$	$\sigma_{10000}$	$\sigma_{100000}$
		кг/мм <sup>2</sup>								
Термически обработанный по режиму: закалка с 1170—1190°С (30—40 мин) в воде или на воздухе; старение при 800±10°С (8—10 час)	600	45	43	40	38	37	32	27**	25**	—
	700	27	25	22	21	20	18	12,5**	11,5**	—
	800	14	13	11	—	10	8,4**	6,5**	5**	—
	900	9	7,5	6	5	—	—	—	—	—
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с 1180°С (1 час) в воде; 2-я закалка с 1000°С (1 час) на воздухе *	650	—	—	—	31	24	24	18	15,5	10

\* По данным ЦКТИ.

\*\* Данные, полученные путем экстраполяции.

Пределы ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,2/3000}$	$\sigma_{0,2/10000}$	$\sigma_{-1}$ (на базе 10 <sup>7</sup> циклов)	
		по остаточной деформации		по общей деформации					
		кГ/мм <sup>2</sup>							
Термически обработанный по режиму: закалка с 1170—1190°С (30—40 мин) в воде или на воздухе; старение при 800±10°С (8—10 час)	20	—	—	—	—	—	—	51	
	500	—	24	—	—	—	—	—	
	600	—	23	—	—	—	—	38	
	700	23	15,5	—	—	—	—	34	
	800	10	8	—	—	—	—	24	
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с 1180°С (1 час) в воде; 2-я закалка с 1000°С (1 час) на воздухе*	650	13,5	—	13	12	10	8	—	

\* По данным ЦКТИ.

Релаксационная стойкость\*

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_0$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{5000}$	$\sigma_{10000}$
		кГ/мм <sup>2</sup>							
Термически обработанный по режиму: закалка с 1170—1190°С (30—40 мин) в воде или на воздухе; старение при 800±10°С (8—10 час)	560	15	13	13	12,7	12,2	11,7	10,6	9,3
	560	20	17,7	17,6	17,1	16,5	15,7	14,5	12,3
	560	25	22	21,7	20,9	20,2	19,6	18,2	16
	580	15	13,1	12,7	12	11,8	11,2	9,4	7,2
	580	20	17,5	17,1	16,2	15,6	14,7	12	9
	580	25	21,3	20,8	19,2	18,5	17,2	14	10

\* По данным ЦКТИ.

## Зависимость термической стойкости от защитных покрытий

Состояние материала	Вид покрытия	Нагрев в течение 3—5 сек до 900—1000° С; скорость охлаждения 70 м/сек при давлении воздуха 5,3—5,5 ат			Нагрев в течение 10—15 сек до 900—1000° С; скорость охлаждения 70 м/сек при давлении воздуха 5,3—5,5 ат		
		толщина слоя покрытия мм	число циклов нагрева-охлаждения до появления трещин	примечание	толщина слоя покрытия мм	число циклов нагрева-охлаждения до появления трещин	примечание
Термически обработанный по режиму: закалка с 1170—1190° С в воде или на воздухе; старение при 800±10° С (8—10 час)	Без покрытия	—	900—1200	—	—	55	—
	Никелирование	0,015	550—800	—	0,015	450	—
	Алитирование	0,075	1550—1200	Трещины не появились	0,075	1500	Трещины не появились
	Алитирование (порошком)	0,030	1550—2000	То же	0,030	1500	То же

## Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления в воздушной среде при температурах до 750°С, а после никелирования — до 900°С.

## Физические свойства

$$d = 7,79 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 17,08$  (20—100°); 18,37 (100—200°); 19,68 (200—300°); 21,54 (300—400°); 21,8 (400—500°); 22,19 (500—600°); 22,82 (600—700°); 22,78 (700—800°); 23,32 (800—900°); 24,62 (900—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,030$  (25°); 0,034 (100°); 0,038 (200°); 0,043 (300°); 0,048 (400°); 0,052 (500°); 0,057 (600°); 0,062 (700°); 0,066 (800°); 0,071 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1130—980°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Для получения заданной зернистости заготовок необходимо строго соблюдать режимы горячей деформации.

Режим термической обработки: закалка с 1180°С в воде; старение при температуре 800±20°С в течение 8—10 час.

Заготовки перед окончательной операцией шлифования и полирования подвергают контролю на разнотерность путем травления. Диаметр зерна не должен быть больше 0,5—1,0 мм.

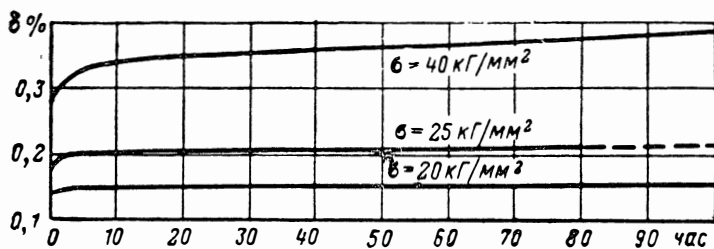
Сталь склонна к образованию волосовин, но опыт эксплуатации показал, что если они расположены продольно, то это не отражается на свойствах лопаток.

Для повышения жаростойкости детали подвергают никелированию или еще лучше — алитированию.

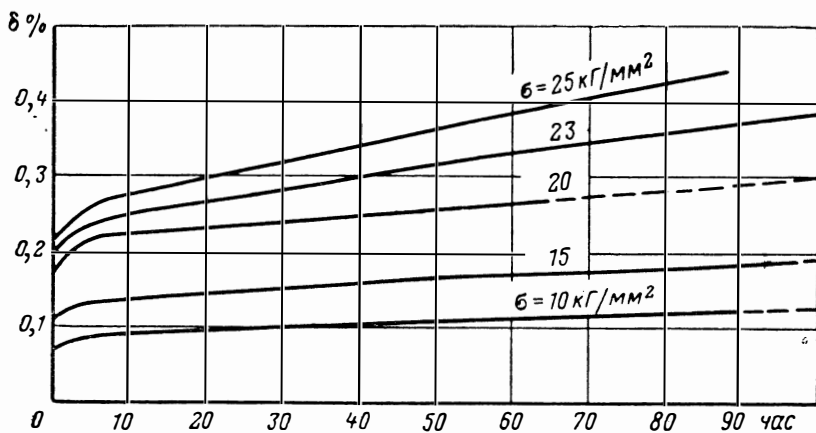
После полного цикла термической обработки сталь хорошо обрабатывается резанием.

## Применение

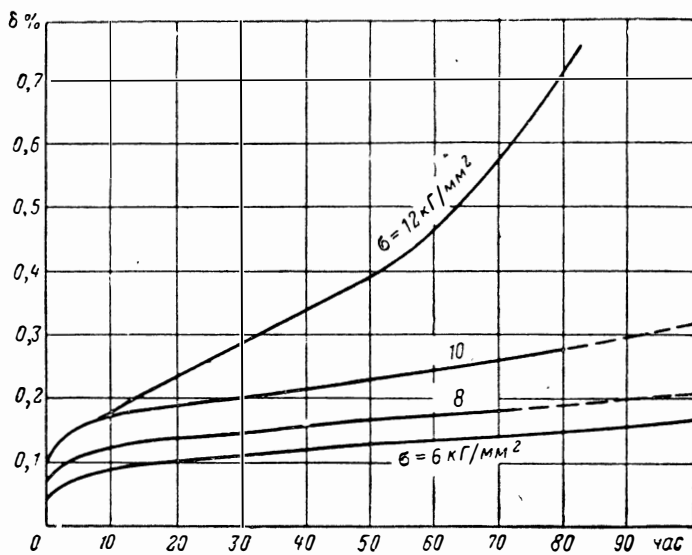
Малонагруженные лопатки газовых турбин; крепежные детали; диски турбин ТНА, корпуса турбин, сопловой аппарат, кольца, фланцы, крышки и другие детали ТНА.



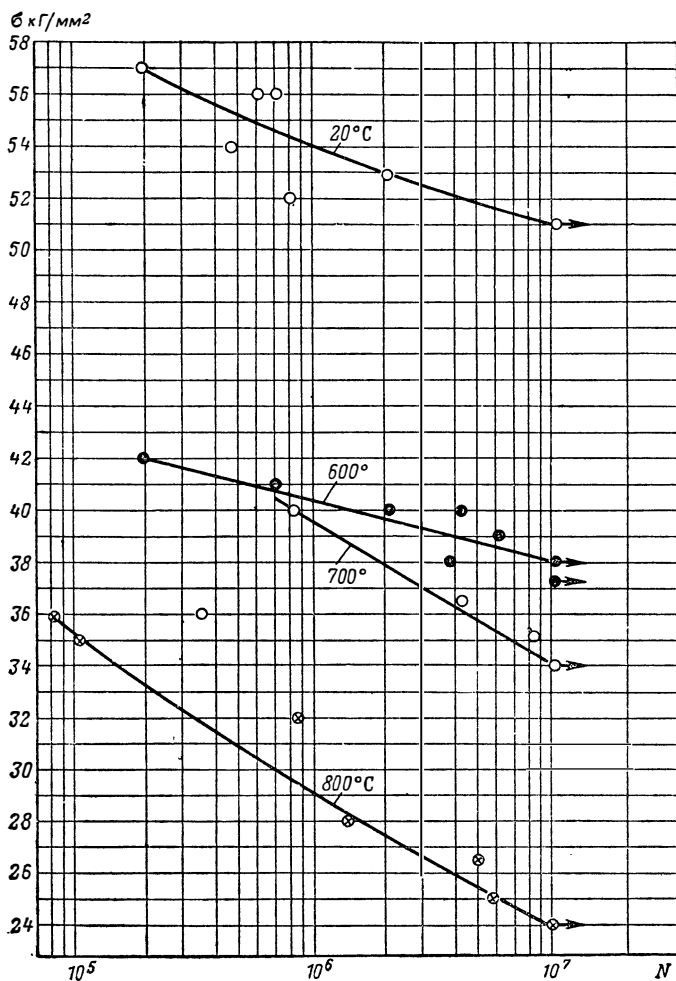
Фиг. 1. Кривые ползучести стали 4X15H7Г7Ф2МС при температуре 600°С.



Фиг. 2. Кривые ползучести стали 4X15H7Г7Ф2МС при температуре 700°С.



Фиг. 3. Кривые ползучести стали 4X15H7Г7Ф2МС при температуре 800° С.



Фиг. 4. Кривые выносливости стали 4X15H7Г7Ф2МС при комнатной и высоких температурах (испытание при изгибе гладких образцов).



<b>ХРОМОНИКЕЛЬМАРГАНЦОВИСТАЯ СТАЛЬ</b>	<b>4Х12Н8Г8МФБ (ЭИ481)</b>
--	----------------------------

## Химический состав в % \*

С	Si	Mn	Cr	Ni	V	Mo	Nb	Fe	S	P
									не более	
0,34— 0,40	0,3— 0,8	7,5— 9,5	11,5— 13,5	7—9	1,25— 1,55	1,1— 1,4	0,25—0,45	Основа	0,030	0,035

\* Допускается содержание азота до 0,1% и титана до 0,12%.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d мм)	Предел длительной прочности	
				кг/мм <sup>2</sup>		%			$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	время до разрушения час
Поковки (заготовки для дисков)	ЧМТУ 3111—52	Термически обработанные по режиму: закалка с $1150 \pm 10^\circ \text{C}$ (1 час 45 мин—2 часа) в воде; старение двухступенчатое: при $670^\circ \text{C}$ (16 час), затем при $790 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	85	60	15	20	3,45— 3,65	—	—
			650 650	— —	— —	— —	— —	38 35	> 35 > 100	
Крупногабаритные поковки дисков	СТУ	То же	20	> 90	60	13	18	3,45— 3,70	—	—
			650	—	—	—	—	32	100	
			650	—	—	—	—	38	35	

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу-фабриката	Состояние	Температура испытания, °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{нТ}$ , м/с.м <sup>2</sup>	HB ( <i>d</i> мм)
			кг/мм <sup>2</sup>				%				
Штамповки и поковки	Термически обработанные по режиму: закалка с $1150 \pm 10^\circ \text{C}$ (1 час 45 мин — 2 час 30 мин) в проточной воде; старение двухступенчатое: при $670^\circ \text{C}$ (16 час), затем при $790^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	19 000	94	60	46	16	—	36	3,5—5,0	3,45—3,65
		200	16 000	77	54	40	15	—	37	—	—
		300	15 000	74	52	38	14	—	36	—	—
		350	15 000	73	50	36	14	—	37	—	—
		400	14 300	73	50	36	15	—	36	—	—
		450	13 700	72	50	35	13	—	38	—	—
		500	13 600	68	49	34	13	—	37	—	—
		550	13 500	66	49	34	12	—	37	—	—
		600	12 800	60	45	29	12	—	38	5—6	—
		650	12 600	56	43	29	12	—	42	5—6	—
	700	11 800	50	38	26	13	—	37	—	—	
	750	11 200	42	33	23	15	—	44	—	—	
Диски	Термически обработанные с дифференцированным старением: закалка с $1150 \pm 10^\circ \text{C}$ в воде; старение всего диска при $670^\circ \text{C}$ (10 час), повышение температуры до $760^\circ \text{C}$ (10 час); старение обода при $800-810^\circ \text{C}$ (10 час); последний нагрев производится в кольцевой печи*	20	19 000	112	93	63	—	>12	32	>2	3,3—3,45
		200	16 000	98	84	61	—	>12	36	—	—
		300	15 000	95	83	61	—	>12	31	—	—
		350	15 000	94	81	60	—	>12	34	—	—
		400	14 700	91	80	60	—	>12	24	—	—
		450	14 600	89	77	56	—	>12	28	—	—
		500	14 500	85	73	48	—	>12	30	—	—
		550	14 400	82	72	48	—	>10	34	—	—
		600	13 600	73	66	39	—	>10	28	—	—
		650	12 700	73	65	37	—	>8	18	—	—
700	11 800	64	54	32	—	>8	—	—	—		

\* Показатели свойств при данном режиме термической обработки относятся только к центральной части диска (ступица и полотно); в пределах обода свойства по ТУ на HB ( $d_{отп}$ ) = 3,45 ÷ 3,65 мм.

## Пределы длительной прочности (не менее)

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	σ <sub>100</sub>	σ <sub>500</sub>	σ <sub>1000</sub>	σ <sub>2000</sub>
			кг/мм <sup>2</sup>			
Поковки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1150°С (1 час 30 мин) в воде; старение двухступенчатое: при 670°С (16 час), затем при 790°С (16 час), охлаждение на воздухе	450	—	75	70	—
		550	58—60	50—55	46—48	43—45
		600	45	40	38	35
		650	35	30	28	—

## Длительная прочность в зависимости от твердости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ кг/мм <sup>2</sup>	Время до разрушения в часах		НВ (d мм)
				образцы гладкие	образцы с надрезом	
Поковки и прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1150±10°С (1 час 45 мин—2 часа 30 мин); старение двухступенчатое: при 670±10°С (16 час), затем при 790°С (16 час)	650	32	>200	5*	3,35—3,4
		650	32	>300	100*	3,45
		650	32	>300	>200*	3,5
		650	32	>300	>200*	3,6
		650	32	>300	>200*	3,7
		750	22	>100	5*	3,4
		750	22	>100	40*	3,45
		750	22	>100	>150*	3,5
		750	22	>100	>150*	3,55
		650	38	>60	>200**	3,45—3,65
		650	35	>200	>300**	3,45—3,65
		700	28	>200	>200**	3,45—3,65

\* Радиус надреза 0,1 мм.

\*\* Радиус надреза 0,5 мм.

Пределы ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ <sub>0,2/100</sub>	σ <sub>0,2/100</sub>	σ <sub>0,2/200</sub>	
			по остаточной деформации	по общей деформации		
				кг/мм <sup>2</sup>		
Штамповки и поковки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1150 ± 10° С (1 час 45 мин — 2 часа 30 мин) в воде; старение двухступенчатое: при 670° С (16 час), затем при 790 ± 10° С (16 час) (НВ d <sub>отп</sub> = 3,45—3,65 мм)	500	43	25	—	
		600	35	22	21	
		650	30	17,5	17	
		700	24	15,8	15,5	
		450	57	—	—	
		500	55	—	—	
	При дифференцированном режиме старения (см. стр.255) НВ (d <sub>отп</sub> ) = 3,30—3,45 мм					

Выносливость

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	σ кг/мм <sup>2</sup>	Число циклов	Вид нагружения	Форма образца	Предел выносливости			
							знакопеременное напряжение кг/мм <sup>2</sup>	время до разрушения час		
Штамповки и поковки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1150 ± 10° С (1 час 45 мин — 2 часа 30 мин) в воде; старение двухступенчатое: при 670° С (16 час), затем при 790° С (16 час)	20	43	10 <sup>7</sup>	Симметричный изгиб	Гладкий	43	—		
		600	37	10 <sup>7</sup>			37	—		
		650	32	10 <sup>7</sup>			32	—		
		650	30	10 <sup>7</sup>			30	—		
						С над-резом				
				600	45	3,5 · 10 <sup>7</sup>	Асимметричный при растяжении	Гладкий	25 ± 20	> 100
			650	40	3,5 · 10 <sup>7</sup>	25 ± 15			> 100	
			700	39	3,5 · 10 <sup>7</sup>	25 ± 14			> 100	
			600	37	3,5 · 10 <sup>7</sup>					
			650	36	3,5 · 10 <sup>7</sup>					
				С над-резом	25 ± 12	> 100				
					25 ± 11	> 100				

### Жаростойкость

Сталь устойчива против окисления в воздушной среде при температурах до 700—750° С. В агрессивных средах — склонна к межкристаллитной коррозии при температурах 700—750° и выше.

### Физические свойства

$$d = 7,85 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 15,9$  (20—100°); 17,1 (100—200°); 18,2 (200—300°); 19,2 (300—400°); 20,3 (400—500°); 21,2 (500—600°); 22,2 (600—700°); 23,2 (700—800°); 24,2 (800—900°) 1/°С.

$\lambda = 0,041$  (100°); 0,044 (200°); 0,047 (300°); 0,051 (400°); 0,055 (500°); 0,059 (600°); 0,062 (700°); 0,065 (800°); 0,070 (900°) кал/см·сек·°С.

$$\rho = 0,75 \text{ о.м.·мм}^2/\text{м.}$$

### Технологические данные

Сталь хорошо деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1160—980° С. Охлаждение после деформации на воздухе. Оптимальная степень деформации 12—55%. Для получения плотной однородной макроструктуры без грубых скоплений первичных карбидов и сильно выраженной дендритной структуры необходима 5—6-кратная степень уковки.

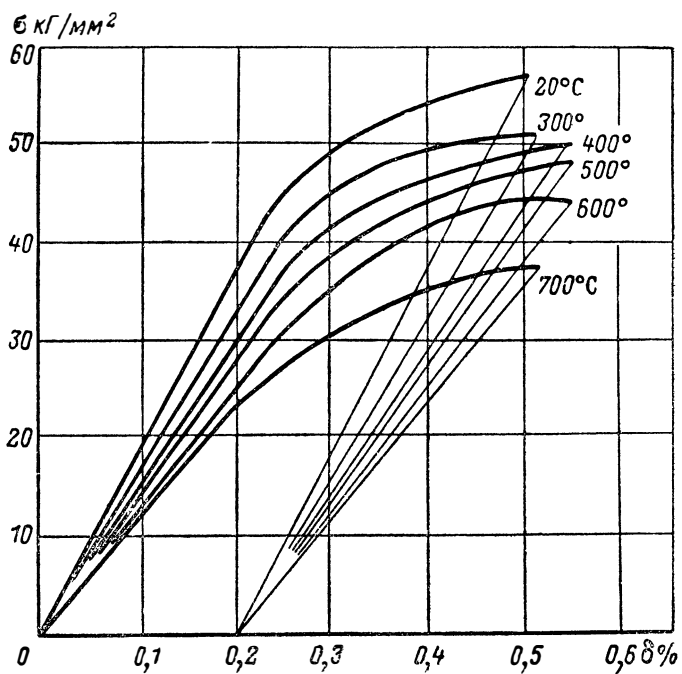
Штамповки или поковки сложной конфигурации не должны иметь резких переходов по сечению, острых радиусов закруглений, выступов и т. п. Термическую обработку штампов сложной конфигурации рекомендуется проводить после предварительной обдирки.

Особо нагруженные диски для предотвращения чрезмерной ползучести и хрупкого разрушения в замковом соединении рекомендуется подвергать дифференцированному старению по режиму, приведенному в таблице «Механические свойства при комнатной и высоких температурах».

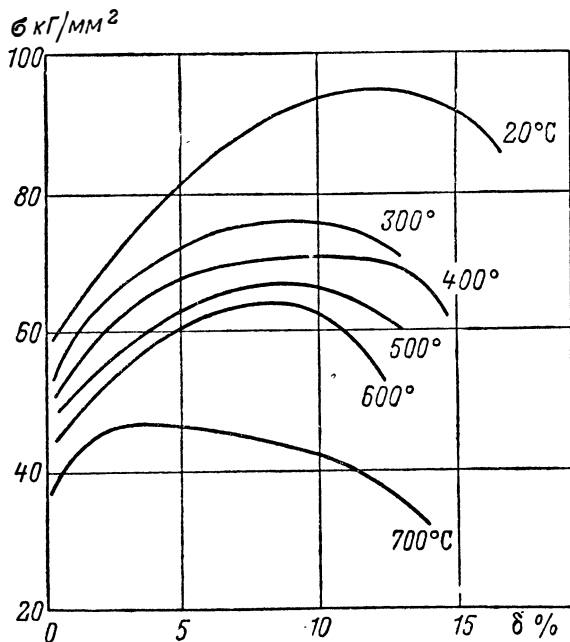
Сталь хорошо обрабатывается резанием.

### Применение

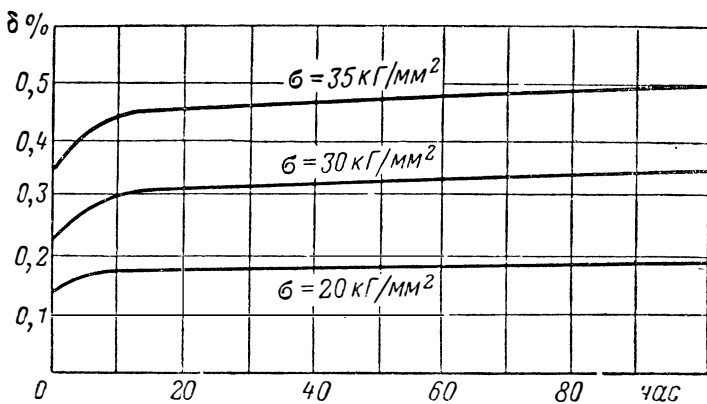
Диски турбин, экраны, бандажи, силовые кольца и крепежные детали (болты, шпильки, гайки) газовых турбин реактивных и турбовинтовых двигателей и других изделий.



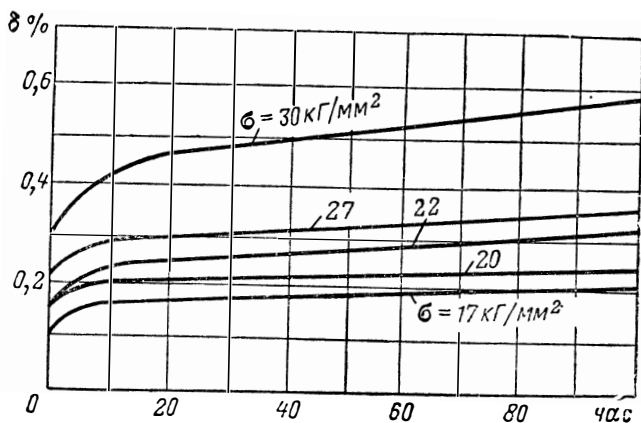
Фиг. 1. Кривые растяжения стали 4X12H8Г8МФБ до предела текучести.



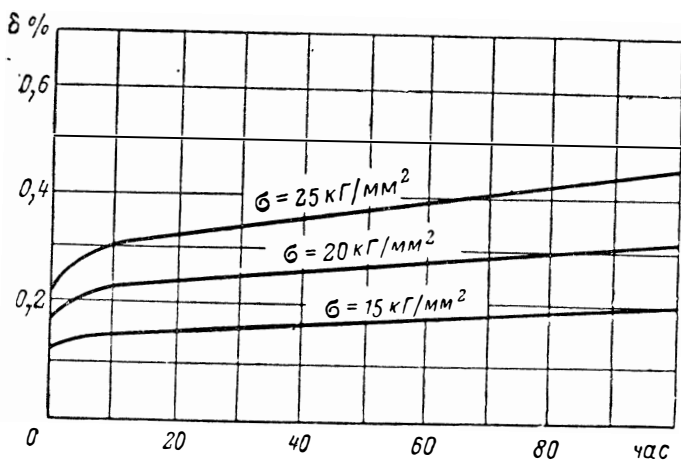
Фиг. 2. Кривые растяжения стали 4X12H8Г8МФБ от предела текучести до разрушения.



Фиг. 3. Кривые ползучести стали 4X12H8Г8МФБ при температуре 600° С.

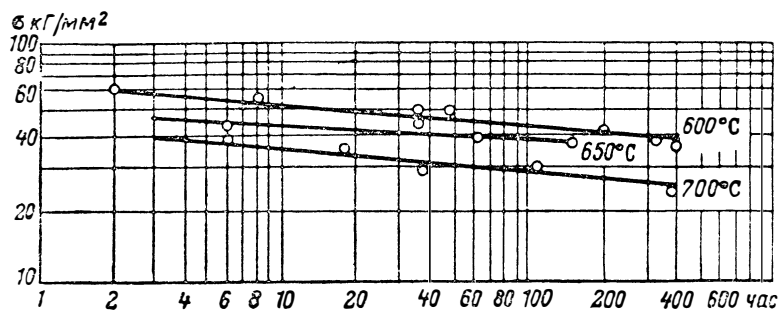


Фиг. 4. Кривые ползучести стали 4X12H8Г8МФБ при температуре 650° С.

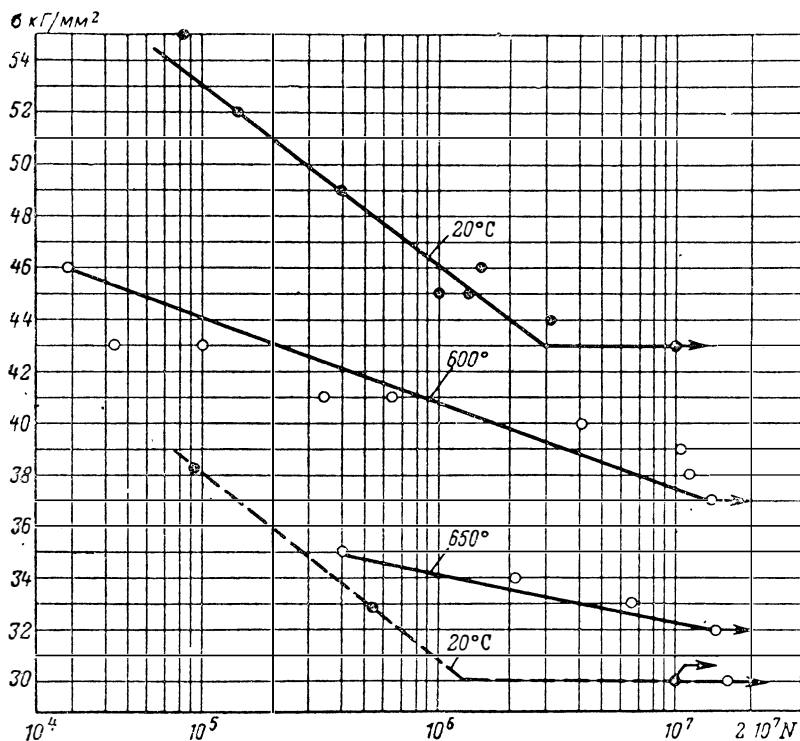


Фиг. 5. Кривые ползучести стали 4X12H8Г8МФБ при температуре 700° С.





Фиг. 6. Кривые длительной прочности стали 4X12H8Г8МФБ.



Фиг. 7. Кривые выносливости стали 4X12H8Г8МФБ при комнатной и высоких температурах (испытание при переменном изгибе). Сплошные кривые — образцы гладкие, пунктир — образцы с надрезом.

## ХРОМОМАНГАНЦЕВОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

ЭИ734

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Mo	Fe	B
0,34— 0,40	0,3— 0,8	7—9	11,5— 13,5	4,5— 6,5	1,25— 1,55	1,1— 1,4	Основа	0,008 (по расчету)

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабри- ката	Состояние	Темпе- ра- тура испы- тания, °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$\sigma_{ч}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>				%			
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1150°С (1 час 45 мин) в воде; старение двухступенчатое: при 670°С (14 час), затем при 800°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	18 000	100—106	58— 60	39	20— 25	25	≥ 3,5	3,6
		100	15 400	90	54	39	19	42	—	—
		200	15 200	82	51	39	16	39	—	—
		300	15 000	81	50	36	16	34	—	—
		400	14 600	76	46	30	18	36	—	—
		500	13 000	70	44	30	14	41	—	—
		600	12 500	61	41	28	14	47	—	—
700	10 700	45	35	23	15	41	—	—		

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабри- ката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^*$
							по остаточ- ной дефор- мации	по общей деформа- ции		
кг/мм <sup>2</sup>										
Прутки	Термически обра- ботанные по режиму: закалка с 1150°С (1 час 45 мин) в воде; старение двухсту- пенчатое: при 670°С (14 час), затем при 800°С (16 час), ох- лаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	53	42
		600	48	45	42	41	35,5	23	36	—
		650	38	36	35	—	—	—	34	—
		700	27,5	27	24	—	20,8	16	32	20

\* Радиус надреза 0,75 мм.

**Жаростойкость**

Сталь устойчива против окисления в воздушной среде при температурах до 750° С.

**Физические свойства**

$$d = 7,88 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha = 16,4 \cdot 10^{-6}$  (20—100°);  $17,7 \cdot 10^{-6}$  (100—200°);  $18,8 \cdot 10^{-6}$  (200—300°);  $19,9 \cdot 10^{-6}$  (300—400°);  $20,9 \cdot 10^{-6}$  (400—500°);  $21,6 \cdot 10^{-6}$  (500—600°);  $22,6$  (600—700°);  $22,4$  (700—800°);  $23,3$  (800—900°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 17,1$  (20—200°);  $17,6$  (20—300°);  $18,2$  (20—400°);  $18,7$  (20—500°);  $19,2$  (20—600°);  $19,7$  (20—700°);  $20,0$  (20—800°);  $20,4$  (20—900°) 1/°С.

$\lambda = 0,036$  (20°);  $0,038$  (100°);  $0,042$  (200°);  $0,045$  (300°);  $0,049$  (400°);  $0,052$  (500°);  $0,056$  (600°);  $0,059$  (700°);  $0,062$  (800°);  $0,066$  (900°) кал/см·сек·°С.

**Технологические данные**

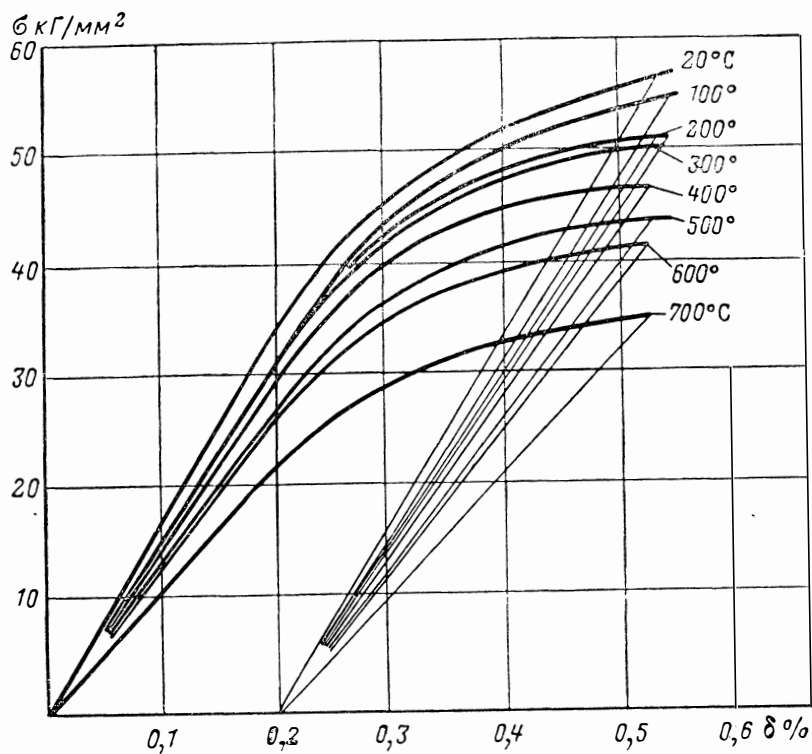
Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1140—980° С.

Термическая обработка: закалка с 1150° С (выдержка 1 час 45 мин) в воде; старение двухступенчатое: при 670° С в течение 14 час, затем при 800° С в течение 16 час, охлаждение на воздухе.

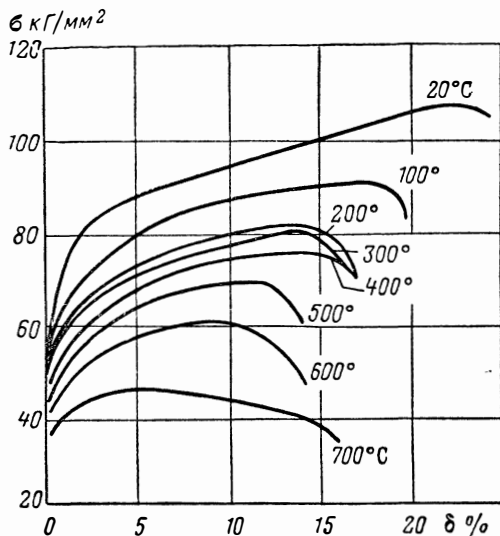
Сталь хорошо обрабатывается резанием.

**Применение**

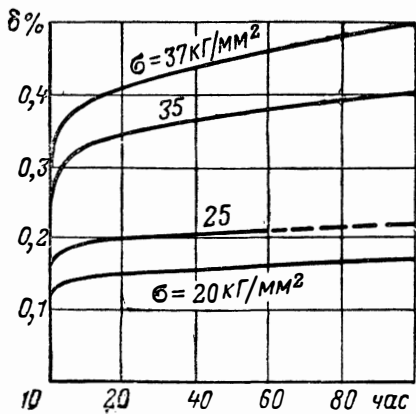
Диски средних габаритов, экраны, крепежные и кольцевые детали. Рекомендуются как заменитель сталей 4X14H14B2M, ЭИ395 и ЭИ434.



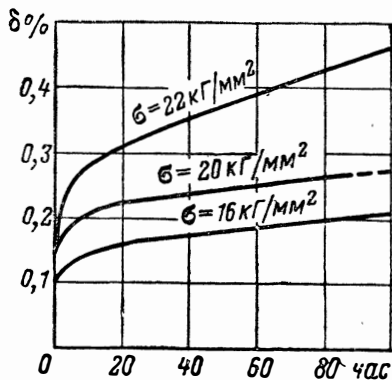
Фиг. 1. Кривые растяжения стали ЭИ734 до предела текучести.



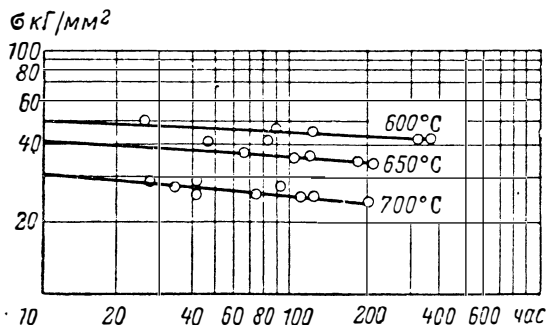
Фиг. 2. Кривые растяжения стали ЭИ734 от предела текучести до разрушения.



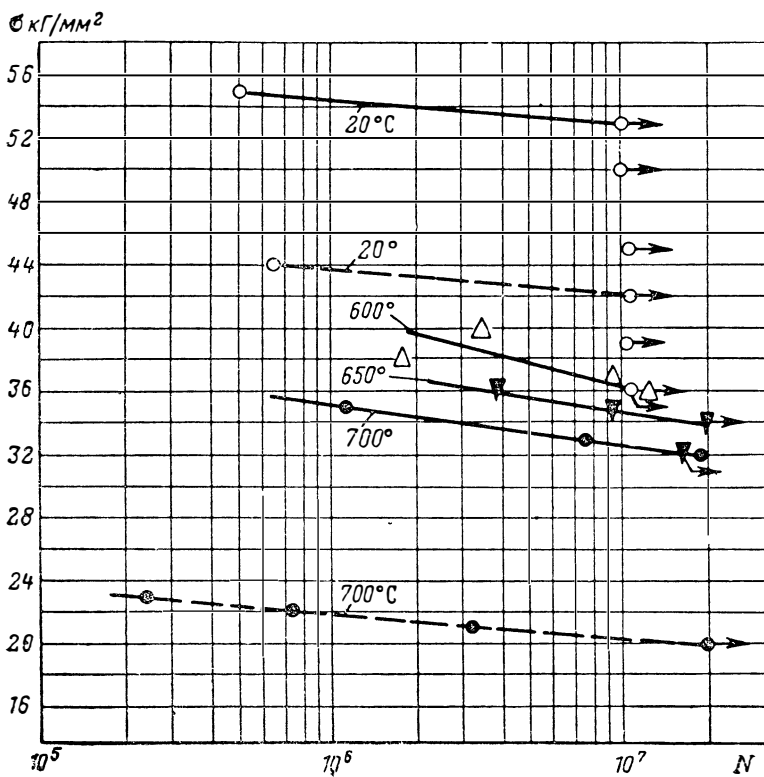
Фиг. 3. Кривые ползучести стали ЭИ734 при температуре 600°С.



Фиг. 4. Кривые ползучести стали ЭИ734 при температуре 700°С.



Фиг. 5. Кривые длительной прочности стали ЭИ734 при различных температурах.



Фиг. 6. Кривые выносливости стали ЭИ734 при комнатной и высоких температурах (испытание при чистом изгибе). Сплошные кривые—образцы гладкие, пунктир—образцы с надрезом.

## ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

X12H20T3P (ЭИ696)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	B (рас- четн.)	Al	Fe	S	P
									не более	
≤0,1	≤1,0	≤1,0	10,0— 12,5	18—21	2,6— 3,2	0,008— 0,020	≤0,8	Основа	0,020	0,035

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфаб- риката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Темпера- тура испы- тания, °С	σ <sub>в</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	a <sub>н</sub> кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)	σ <sub>50</sub> кг/мм <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%				
Прутки кованные и горячеката- ные, заго- товки для дисков	ЧМТУ 5905—57	Термически об- работанные по режимам: 1) закалка с 1170—1190°С (2 часа) на воз- духе или в воде; старение при 750—775°С (25— 16 час), охлажде- ние на воздухе	20	90	60	10	15	3	3,5— 3,8	—
			700	—	—	—	—	—	—	—
		2) закалка с 1100—1150°С (2 часа) на возду- хе; старение при 750°С (15 час), охлаждение на воздухе	20	90	60	10	15	3	3,5— 3,8	—
			700	—	—	—	—	—	—	40
Прутки шестигран- ные	ЧМТУ 5360—55	Термически об- работанные по режиму: закалка с 1100—1150°С (2 часа) на возду- хе; старение при 700—750°С (16 час), охлаж- дение на воздухе	20	90	—	10	15	—	—	—

Продолжение										
Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{нч}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)	$\sigma_{50}$ кг/мм <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%				
Заготовки (шайбы) для крупногабаритных дисков	ЧМТУ 5469—56	Термически обработанные по режиму: закалка с 1130±10°С (5 час) на воздухе; старение при 700±5°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	90	55	15	20	5	3,4	—
			700	—	—	—	—	—	3,8	40
Профили прессованные	АМТУ 361—56	Термически обработанные по режиму: закалка с 1100°С (2 часа) на воздухе; старение при 700°С (10—16 час), охлаждение на воздухе	20 700	90 —	— —	15 —	25 —	— —	— —	— 40

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{нч}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>				%			
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1100—1130°С (2—5 час) на воздухе; старение при 700—750°С (16 час), охлаждение на воздухе *	20	18 500	95—110	60—70	48—55	20—30	25—40	8—12	3,5—3,8
		400	14 300	95—97	55—65	48—55	18—28	25—40	—	—
		500	13 500	80—87	55—60	48—55	15—28	25—35	—	—
		550	—	80—85	—	—	18—25	25—35	—	—
		600	13 200	75—85	53—55	45—55	15—25	20—35	—	—
		650	—	68—80	—	—	12—20	18—30	—	—
		700	11 500	63—70	47—47	41—41	12—20	16—26	—	—
		750	11 300	50—65	45—45	35—35	12—20	20—40	—	—
		800	9 500	34—38	25—25	17—17	20—30	45—70	—	—



		Продолжение								
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пл}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ ( <i>d</i> мм)
			кг/мм <sup>2</sup>				%			
Поковки со стороны квадрата 90 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 1170—1180°С (2—4 часа) на воздухе; старение при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	18 500	95—105	65—75	—	13—20	15—25	4—9	3,5—3,8
		400	14 600	98	70	56	15	20	—	—
		500	14 100	97	69	54	14	24	—	—
		600	13 300	90	67	52	15	20	—	—
		650	12 500	83	67	52	10	19	—	—
		700	11 800	75	62	47	8	13	—	—
		750	11 500	58	47	36	7	15	—	—
Прутки	Термомеханическая обработка по режиму: нагрев до 1120±10°С (выдержка 30—60 мин), деформация 20—30%, охлаждение в масле или на воздухе; старение при 750°С (16—25 час)	20	—	105—130	80—115	—	15—25	30—50	4—8	3,1—3,5

\* Свойства при высоких температурах приведены после старения при 700°С. Для повышения прочностных характеристик старение лучше проводить при 750°С.

#### Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1100—1170°С (2 часа) на воздухе или в масле; старение при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе	—70	113	70	18	20	7
		—196	120—135	80—90	14—20	16—20	5—10

## Механические свойства при различных температурах в зависимости от режимов термической обработки

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$\frac{\sigma_H}{\sigma_B} \cdot \frac{m}{cm^2}$	НВ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%			
Шестигранные прутки для крепежных деталей	Термически обработанные по режимам: 1) закалка с 980°С (2 часа) в воде; холодная протяжка с обжатием 10—20%	20	80—95	65—80	20—26	55—65	15—20	240—250
	2) закалка с 980°С (2 часа) в воде; холодная протяжка с обжатием 10—20%; старение при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе	20 —196	90—115 160	85—90 118	20—25 43	45—55 29	10—12 8	310—330 —
	3) закалка с 980°С (2 часа) в воде; холодная протяжка с обжатием 10—20%; старение при 750°С (16 час); старение при 650°С (16 час), охлаждение на воздухе	20 —196	115—130 159	90—101 131	20—25 14	45—52 11,5	8—9 3,2	350—370 —
	4) закалка с 980°С (2 часа) в воде; холодная протяжка с обжатием 10—20%; старение при 850°С (2 часа); старение при 700°С (16 час), охлаждение на воздухе	20 —196	115—125 182	68—75 118	25—30 32	56—60 25	13—15 7,2	300—320 —
	5) закалка с 980°С (2 часа) в воде; холодная протяжка с обжатием 10—20%; старение при 750°С (16 час); старение при 650°С (16 час); старение при 830°С (3 часа); старение при 700°С (16 час), охлаждение на воздухе	20 —196	120—128 179	90—95 109	22—25 35	50—55 25	9—10,5 9,3	320—330 —
	6) закалка с 980°С (2 часа) в воде; холодная протяжка с обжатием 10—20%; закалка с 1100°С (2 часа) на воздухе; старение при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе	20 —196	100—110 124	68—75 88	23—26 19	28—35 19	10—12 9,3	260—290 —

**Механические свойства при комнатной температуре в зависимости от режимов термической обработки**

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\psi$	$k\Gamma \cdot \frac{a_n}{c\text{м}^2}$	НВ	
		кГ/мм <sup>2</sup>		%			кГ/мм <sup>2</sup>	d мм
Крепежные детали	Горячекатаные (состояние поставки)	76	55	31	64	18	244	3,88
	Термически обработанные по режимам: 1) старение при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе	117	101	17	50	7,1	354	3,24
	2) старение при 750°С (16 час); старение при 650°С (16 час)	126	101	23	47	6	383	3,12
	3) закалка с 1100°С (2 часа) на воздухе; старение при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе	108	71	29	44	11,4	282	3,62
	4) закалка с 1100°С (2 часа) на воздухе; старение при 750°С (16 час); старение при 650°С (16 час)	119	83	24	32	10	339	3,3

**Пределы длительной прочности**

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{100}^H$ *	$\sigma_{100}^H$
			кГ/мм <sup>2</sup>		$\sigma_{100}$
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1100—1150°С (2 часа) на воздухе; старение при 700—750°С (16 час), охлаждение на воздухе**	500	73	—	—
		550	65	—	—
		600	59	—	—
		650	48	—	—
		700	40	40	1
		750	28—30	28—30	1

\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\* Детали рекомендуется закалывать в масле.

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	Продолжение		
			$\sigma_{100}$	$\sigma_{100}^H$	$\sigma_{100}^H$
			кг/мм <sup>2</sup>		$\sigma_{100}$
Поковки со стороны квадрата 90 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 1170±10° С (2 часа) на воздухе; старение при 750° С (16 час), охлаждение на воздухе **	700	40	—	—
		750	28—30	—	—

\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\* Детали рекомендуется закаливать в масле.

Пределы ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/100}$ в кг/мм <sup>2</sup>	
			по остаточной деформации	по общей деформации
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1100° С (2 часа) на воздухе; старение при 700° С (16 час), охлаждение на воздухе	650	39	20
		700	33	18
		750	17—20	15
		800	8,5	8,2

Пределы выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{-1}$ в кг/мм <sup>2</sup> на базе 10 <sup>7</sup> циклов	
			образцы гладкие	образцы с надрезом *
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1100° С (2 часа) на воздухе; старение при 700° С (16 час), охлаждение на воздухе	500	37	—
		600	34	—
		700	28	28
Поковки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1180° С (2 часа) на воздухе; старение при 750° С (16 час), охлаждение на воздухе	700	27	25
		750	28	—

\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Физические свойства

$$d = 7,9 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 15,4$  (20—100°); 16,6 (100—200°); 17,7 (200—300°); 18,4 (300—400°); 19,4 (400—500°); 19,6 (500—600°); 20,5 (600—700°); 23,4 (700—800°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 16,0$  (20—200°); 16,6 (20—300°); 17,0 (20—400°); 17,5 (20—500°); 17,9 (20—600°); 18,2 (20—700°); 18,9 (20—800°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\lambda = 0,036$  (20°); 0,039 (100°); 0,042 (200°); 0,045 (300°); 0,049 (400°); 0,054 (500°); 0,057 (600°); 0,060 (700°); 0,064 (800°); 0,068 (900°)  $\text{кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$ .

$c = 0,10$  (100°); 0,11 (200°); 0,12 (300°); 0,125 (400°); 0,13 (500°); 0,14 (600°); 0,145 (700°); 0,15 (800°)  $\text{кал/г} \cdot ^\circ\text{C}$ .

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температура нагрева под деформацию 1080—1100°С. Температура конца деформации 900°С. Сталь склонна к перегреву. Охлаждение после деформации на воздухе.

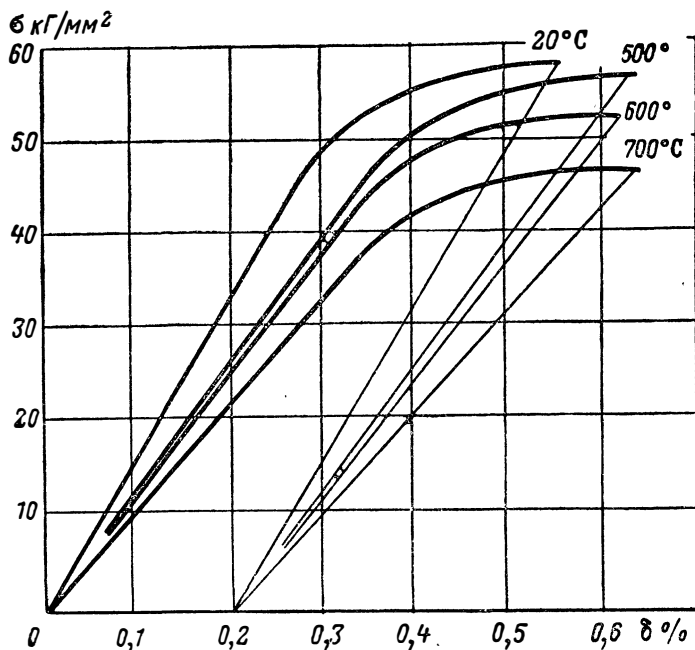
Термическая обработка определяется условиями работы деталей. Термическая обработка, указанная в ТУ для соответствующих полуфабрикатов, применяется при металлургическом контроле. Детали, работающие при температурах от 700°С и выше, подвергают закалке с 1150—1170°С (выдержка 2 часа) в масле (крупногабаритные детали) или на воздухе (детали малых сечений) и старению. Для деталей, работающих при температурах от 700°С и ниже, рекомендуется закалка с 1100±20°С (выдержка 2 часа) в масле и старение по режимам: 1) при 700—750°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе или 2) при 700—750°С в течение 10—16 час, медленное охлаждение с печью до 630—650°С в течение 10—16 час, охлаждение на воздухе.

Крепежные детали, цапфы и другие детали высокой прочности, работающие при температурах до 650°С, термомеханически обрабатывают по режимам: 1) нагрев при 1100—1120°С, горячее обжатие 20—25%; старение по первому или второму режиму; 2) закалка с 980°С (выдержка 2 часа) в воде; холодная протяжка с обжатием 10—20%; старение по второму режиму.

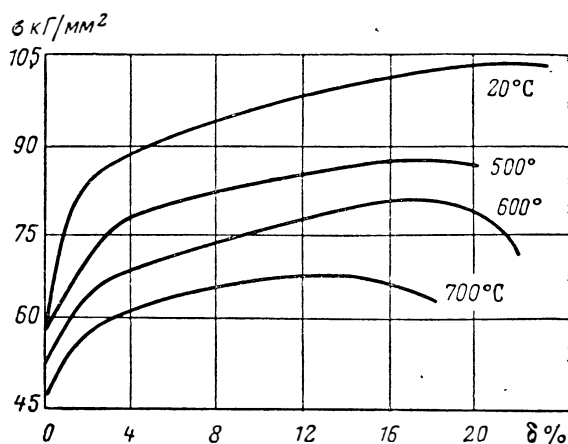
Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием.

## Применение

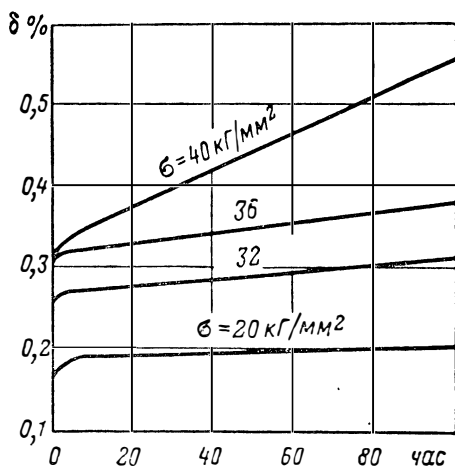
Несвариваемые детали корпуса турбины; кольцевые детали турбины; соединительные кольца; крепежные детали (болты, гайки); диски; направляющие и рабочие лопатки компрессора; рабочие лопатки газовой турбины, работающие при температурах до 750°С.



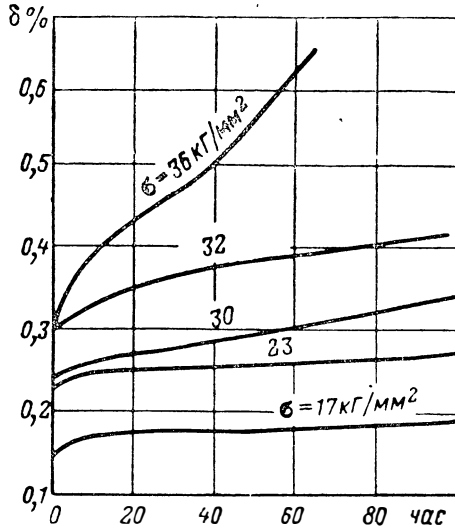
Фиг. 1. Кривые растяжения стали X12H20T3P до предела текучести. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1100—1130°С на воздухе; старение при 700—750°С в течение 16 час)



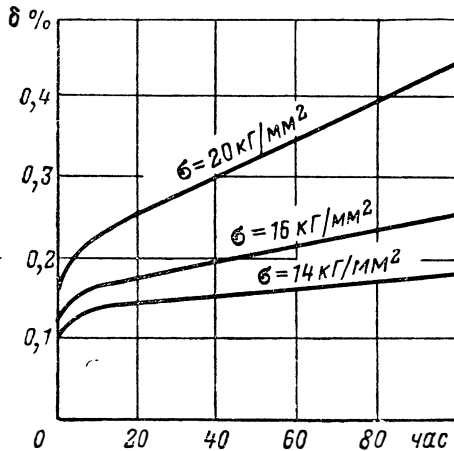
Фиг. 2. Кривые растяжения стали X12H20T3P от предела текучести до разрушения. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1100—1130°С на воздухе; старение при 700—750°С в течение 16 час).



Фиг. 3. Кривые ползучести стали X12H20T3P при температуре 650°С. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1100—1150°С на воздухе; старение при 700—750°С в течение 16 час).

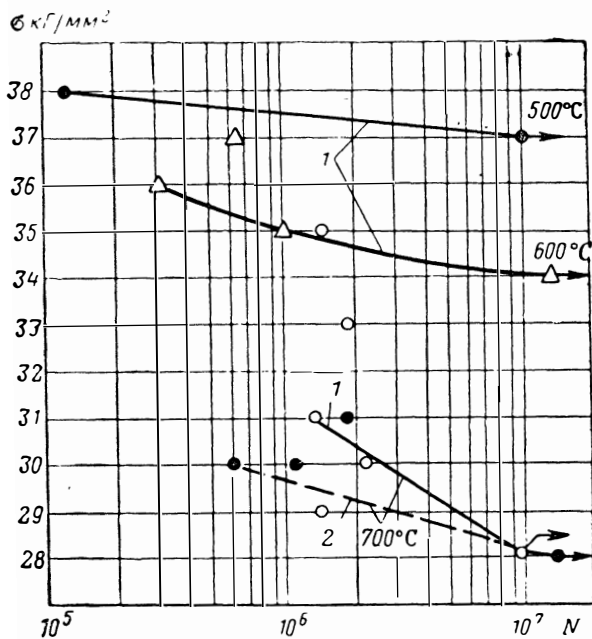


Фиг. 4. Кривые ползучести стали X12H20T3P при температуре 700°С. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1100—1150°С на воздухе; старение при 700—750°С в течение 16 час).



Фиг. 5. Кривые ползучести стали X12H20T3P при температуре 750°С. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1100—1150°С на воздухе; старение при 700—750°С в течение 16 час).





Фиг. 6. Кривые выносливости стали X12H20T3P при высоких температурах (испытание прутков при изгибе).

1—образцы гладкие, 2—образцы с надрезом.



Продолжение											
Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ч}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$
				кг/мм <sup>2</sup>		%				кг/мм <sup>2</sup>	
Прутки холодно-тянутые	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: закалка с 1100°С (1—2 час) в масле; старение при 780°С (16 час), затем при 650 (16 час), охлаждение на воздухе	20	110	80	20	25	5	3,3—3,6	—	—
	ЦНИИЧМ 1034—63										
Проволока серебрянка для пружин	ЧМТУ	Мягкая после старения при 700—750°С (3—5 час), охлаждение на воздухе Нагартованная после старения при 700—750°С (3—5 час), охлаждение на воздухе	20	100	—	10	30	—	20—30 (HRC)	—	—
	ЦНИИЧМ 295—60										
			20	130	—	8	20	—	30—40 (HRC)	—	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$E$	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ч}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>					%			
Прутки и поковки со стороны квадрата 90 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 1160—1180°С (2—8 час) на воздухе; старение при 750—780°С (16—25 час), охлаждение на воздухе	20	19 000	—	95—102	68—70	52	10—14	14—19	3	3,5—3,7
		500	13 600	—	90	64	51	9*	14	—	—
		600	13 100	—	86	63	49	10*	16	—	—
		700	12 400	—	71	59	47	11*	17	—	—
		750	12 200	—	62	52	37	8*	13	—	—
		800	11 100	—	46	39	30	17*	36	—	—
	Термически обработанные по режимам:										

\* Удлинение определено на расчетной длине  $l=10d$ .

		Продолжение									
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	<i>E</i>	<i>E<sub>d</sub></i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{г}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>						%		
Прутки и поковки со стороны квадратной 90 мм	1) закалка с 1100—1130°С (3—5 час) в масле; старение при 720—750°С (16 час), охлаждение с печью до 600—650°С (16—20 час), охлаждение на воздухе	20	—	19 600	110—125	65—80	—	13—30	15—35	3—10	3,25—3,50
		500	—	16 400	95—105	—	15—30	15—35	—	—	
		600	—	15 800	85—105	—	10—22	10—25	—	—	
		700	—	15 200	65—85	—	8—18	10—26	—	—	
		750	—	14 900	58—70	—	8—14	10—25	—	—	
	2) закалка с 1120±10°С (3 часа) в масле; старение при 775±5°С (16 час), охлаждение с печью до 620—650°С (10—16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	100—120	73—85	—	13—20	18—25	5—7	—
		500	—	—	90—98	—	11—15	17—20	—	—	
		700	—	—	74—80	—	10—17	15—20	—	—	
	3) закалка с 1120°С (3 часа) в масле; старение при 840—850°С (3—5 час), охлаждение на воздухе; старение при 700+20°С (20—25 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	100—110	65—75	—	17—27	20—30	6—10	3,4—3,6
		600	—	—	85—96	65—70	—	15—25	20—30	—	—
		700	—	—	70—80	60—70	—	12—20	15—25	—	—
4) закалка с 900—1000°С (3—5 час) в масле; старение при 720—750°С (16 час), охлаждение с печью до 630—650°С (10—16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	110—130	85—100	—	20—25	25—40	5—10	—	
	500	—	—	100—115	85—98	—	13—20	25—35	—	—	
	600	—	—	100—105	75—91	—	12—20	25—35	—	—	
	700	—	—	80—90	70—80	—	10—15	10—25	—	—	
	750	—	—	60—75	—	—	12—16	15—25	—	—	

**Механические свойства при комнатной температуре в зависимости от степени деформации**

Вид полуфабриката	Состояние	Степень деформации %	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	HRC
Проволока пружинная	Термически обработанная по режимам: 1) закалка с $1130 \pm 10^\circ \text{C}$ (30 мин) на воздухе или в воде; холодное волочение	20	75—95	25—30
		40	110—120	30—35
	2) закалка с $1130 \pm 10^\circ \text{C}$ (30 мин) на воздухе или в воде; холодное волочение; старение при $700 \pm 20^\circ \text{C}$ (5 час), охлаждение на воздухе	20	100—120	35—40
		40	145—160	40—45

**Механические свойства при низких температурах**

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_B$	$\sigma_B^H$ *	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_{\text{нп}}$ кг/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>			%		
Прутки и поковки со стороны квадрата 90 мм	Термически обработанные по режимам: 1) закалка с $1000^\circ \text{C}$ (3—5 час) в масле; старение при $720—750^\circ \text{C}$ (16 час); старение при $630—650^\circ \text{C}$ (10—16 час), охлаждение на воздухе	—70	139	168—180	92—100	20—25	35—40	8
		—196	159	168—180	109	15	17	7
		—253	154	—	114	5	9	—
	2) закалка с $1120^\circ \text{C}$ (3 часа) в масле; старение при $775^\circ \text{C}$ (16 час); старение при $600^\circ \text{C}$ (5 час), охлаждение на воздухе	—70	129	155—165	82—92	19	21	—
		—196	140	163—171	96—107	14	16	—
		—253	154	—	114	5	9	—

\* Радиус надреза 0,1 мм.

## Пределы длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ <sub>100</sub>	σ <sub>300</sub>	σ <sub>500</sub>	σ <sub>1000</sub>	σ <sub>2000</sub>	σ <sub>н100</sub> *
			кг/мм <sup>2</sup>					
Прутки и поковки со стороны квадрата 90 мм	Термически обработанные по режимам: 1) закалка с 1120°С (3 часа) в масле; старение при 840—850°С (3—5 час), охлаждение на воздухе; старение при 700±20°С (20—25 час), охлаждение на воздухе	600	63	—	—	—	—	—
		650	50	—	—	—	—	49—50
		700	40	—	—	—	—	38—40
		750	30	—	—	—	—	—
	2) закалка с 1100—1130°С (3—5 час) в масле; старение при 720—750°С (16 час), охлаждение с печью до 600—650°С (16—20 час), охлаждение на воздухе***	400	—	89—90	—	—	—	—
		500	75—83	—	74—78	70—74	68—72	—
		600	60—63	—	—	—	—	—
		650	49—50	—	39—41	37—39	35—36	—
		700	40—45	—	32—34	30—32	28—30	—
		750	28—32	—	19—21	—	—	—
		800	17—18	—	—	—	—	—
	3) закалка с 1160—1180°С (2—8 час) на воздухе; старение при 775+5°С (16—25 час), охлаждение на воздухе	500	67—68	—	—	—	—	—
		600	56—57	—	—	—	—	—
		650	49—50	—	—	—	—	45
		700	40—42	—	—	—	—	40
		750	30—32	—	—	—	—	—
	4) закалка с 1120°С (3 часа) в масле; старение при 775°С (16 час), охлаждение до 620—650°С (10—16 час), охлаждение на воздухе	600	60—63	—	—	—	—	—
		650	49—50	—	—	—	—	49—50
		700	40—42	—	—	—	—	40—42
		750	30—32	—	—	—	—	—
5) закалка с 900—1000°С (3 часа) в масле; старение при 730—780°С (16 час); старение при 630—650°С (10—16 час), охлаждение на воздухе	500	90	—	—	—	—	90**	
	550	70	—	—	—	—	70**	
	600	60	—	—	—	—	60**	

\* Радиус надрэза 0,5 мм.

\*\* Радиус надрэза 0,1 мм.

\*\*\* Для данного режима термической обработки при температурах 500, 650, 700 и 750° первая цифра — минимальный показатель, вторая цифра — средний показатель длительной прочности.

## Пределы ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^*$
			по остаточной деформации	на базе $10^7$ циклов	
			кг/мм <sup>2</sup>		
Прутки и поковки со стороны квадрата 90 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 1170—1180° С (2 часа) на воздухе; старение при 775° С (20 час), охлаждение на воздухе	500	≥60	—	—
		700	34	—	—
		750	23—24	26	25

\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Механические свойства стали, полученной вакуумным дуговым переплавом

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>		%			
Поковки со стороны квадрата 90 мм	Термически обработанные по режимам: 1) закалка с 1120° С (3 часа) в масле; старение при 780° С (16 час), охлаждение с пещью до 620° С (10 час), охлаждение на воздухе	20	105—125	75—95	13—22	14—27	5—9	3,30—3,45
		500	95—113	—	15—20	15—30	—	—
		600	90—108	—	12—26	15—35	—	—
		650	80—100	—	12—26	17—35	—	—
		700	68—85	—	12—30	17—35	—	—
		750	58—70	—	17—40	20—40	—	—
		20	120—130	90—103	18—26	20—40	4,5—8,0	3,1—3,3
	2) закалка с 1000° С (3 часа) в масле; старение при 750° С (16 час), охлаждение с пещью до 650° С (10—16 час), охлаждение на воздухе	500	105—120	—	13—20	20—40	—	—
		550	100—114	—	12—20	20—44	—	—
		600	95—108	—	15—30	25—48	—	—
		650	90—97	—	15—30	18—50	—	—
		700	75—85	—	14—30	15—45	—	—

Длительная прочность стали, полученной вакуумным дуговым переплавом

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С		Образцы гладкие		Образцы с надрезом (r=0,1 мм)
		σ, кг/мм <sup>2</sup>	σ, кг/мм <sup>2</sup>	время до разрушения часы	δ <sub>5</sub> %	
Поковки со стороной квадрата 90 мм	Термически обработанные по режимам: 1) закалка с 1120° С (3 часа) в масле; старение при 780° С (16 час); охлаждение с печью до 620° С (10—16 час), охлаждение на воздухе	650	50	128—197	4,5—7,0	272*—1762*
		700	40	108—461	5—18	380*—1080*
		750	30	115—221	15—30	—
	2) закалка с 1000° С (3 часа) в масле; старение при 750° С (16 час), охлаждение с печью до 650° С (10—16 час), охлаждение на воздухе	400	100	280*—383*	—	—
		400	98	1600*	—	—
		500	90	100—370*	3—8	100—369*
		550	70	100—530*	2,5—7,0	100—403*
		600	60	100—383	2,5—9,0	93—330*
		650	50	100—280	3—9	190—369*
	3) закалка с 1000° С (3 часа) в масле; старение при 780° С (16 час), охлаждение с печью до 650° С (16 час), охлаждение на воздухе	400	100	1120*	—	—
		550	70	100—284	5—12	192—347*
		600	60	60—116	5—18	145—180*
600		58	—	—	278*—316*	
4) закалка с 1170° С (2 часа) на воздухе; старение при 780° С (16 час), охлаждение на воздухе	700	40	100—420*	5—11	180**—1200**	
	750	30	100—268	10—25	—	

\* Образцы сняты без разрушения.

\*\* Образцы с радиусом надреза 0,5 мм сняты без разрушения.

Свойства стали для дисков, полученной вакуумным дуговым переплавом

Вид полуфабриката	Состояние	Место вырезки образца	Температура испытания, °С	σ <sub>b</sub> , σ <sub>0,2</sub>		δ <sub>5</sub> , ψ		Температура испытания, °С	σ кг/мм <sup>2</sup>	Время до разрушения, час
				кг/мм <sup>2</sup>	кг/мм <sup>2</sup>	%	%			
Поковки для дисков	Термически обработанные по режиму: закалка с 1120° С (3 часа) в масле; (тангенциальные)	Обод	20	110	75	14	15	650	48*	395**
			600	92	—	12	15	700	48	361
										40*
									40*	157**

\* Образцы с радиусом надреза 0,1 мм.

\*\* Образцы сняты до разрушения.



Вид полуфабриката	Состояние	Место вырезки образца	Продолжение							
			Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	Температура испытания, °С	$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	Время до разрушения, час
				кг/мм <sup>2</sup>		%				
Поковки для дисков	старение при 780°С (16 час), охлаждение на воздухе; старение при 620°С (10 час), охлаждение на воздухе		700	70	—	15	18	700	40 40	422** 100
	Термически обработанные по режиму: закалка с 1120°С (3 часа) в масле; старение при 780°С (16 час), охлаждение на воздухе; старение при 620°С (10 час), охлаждение на воздухе	Полотно (радиальные)	20	114	—	10	12	650	48*	375**
			600	92	—	15	19	700	48 40*	280** 326 120**
			700	73	—	12	13		40	356
		Ступица (радиальные)	20	113	76,5	11	15	650	48	160**
			600	90	—	17	23	700	40*	210**
			700	68	—	19	21			
	Термически обработанные по режиму: закалка с 1000°С (3 часа) в масле; старение при 750—780°С (16 час); старение при 650°С (10—16 час), охлаждение на воздухе	Обод (тангенциальные)	20	110—130	80—105	15—25	17—32	500	90	110—153
			500	108	—	13	29	550	70	100—322
			550	108	—	13	30	600	60	235 77— 200**
			600	108	—	13	30	600	58*	218
		Полотно (радиальные)	20	110—130	90	21	33	500	90	120—153
			400	106	—	16	36	550	70	140**
			500	105	—	15	33			
			550	105	—	15	36			
Ступица (радиальные)		20	120	90	17	30	400	95	338**— 360**	
		400	108	—	14	25	400	98	1644**	
		500	106	—	14	32	600	60	94— 275	

\* Образцы с радиусом надреза 0,1 мм.

\*\* Образцы сняты до разрушения.

### Жаростойкость

Сталь обладает удовлетворительным сопротивлением газовой коррозии при температурах до 850°С.

## Физические свойства

$$d = 7,95 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 15,3$  (20—100°); 16,5 (100—200°); 17,6 (200—300°); 18,1 (300—400°); 19,0 (400—500°); 19,6 (500—600°); 21,8 (600—700°); 31,6 (700—800°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 15,3$  (20—100°); 15,9 (20—200°); 16,5 (20—300°); 16,9 (20—400°); 17,3 (20—500°); 17,7 (20—600°); 18,2 (20—700°); 19,9 (20—800°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\lambda = 0,030$  (20°); 0,033 (100°); 0,036 (200°); 0,040 (300°); 0,043 (400°); 0,047 (500°); 0,050 (600°); 0,053 (700°); 0,057 (800°); 0,061 (900°)  $\text{кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C}$ .

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1100—900°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

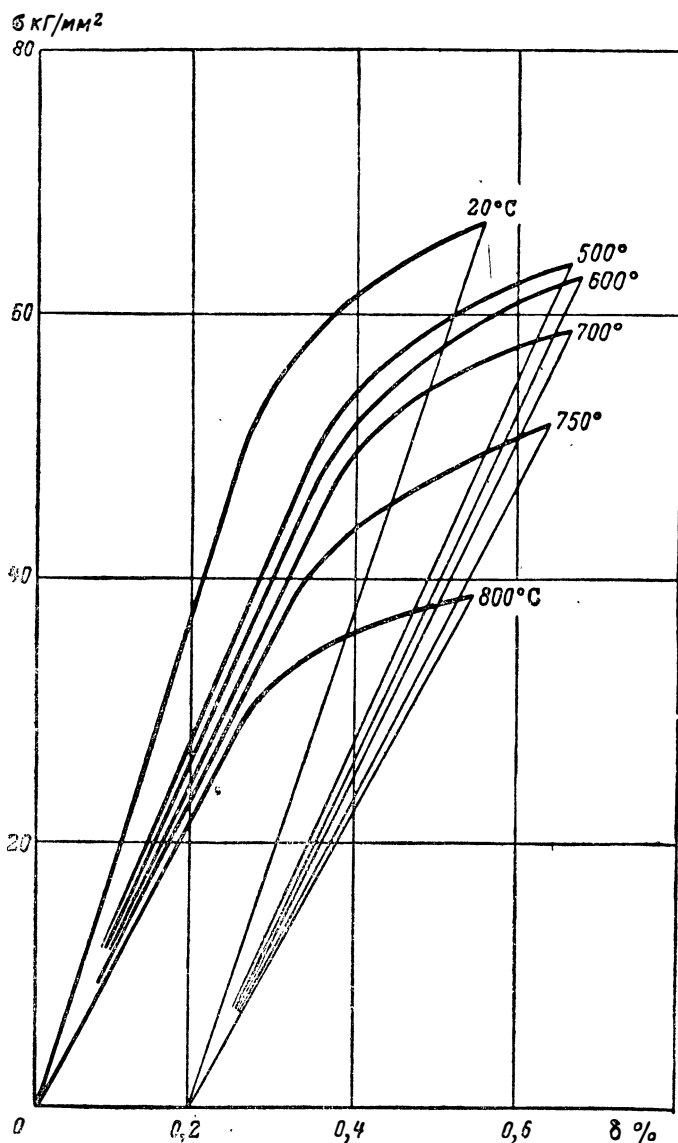
Термическая обработка выбирается в зависимости от условий работы деталей — чем выше рабочая температура деталей, тем выше температура закалки. Для деталей, работающих при 750—800°С: закалка с 1160—1180°С в масле или на воздухе; старение при 780°С в течение 16—25 *час*, охлаждение на воздухе. Для деталей, работающих при температурах до 750°С включительно: закалка с 1100—1130°С (выдержка 3—5 *час*) в масле; старение при 720—780°С в течение 16 *час*, охлаждение с печью до 600—650°С (выдержка 10—20 *час*), охлаждение на воздухе. Для деталей, работающих при 400—700°С в условиях концентрации напряжений: закалка с 1100—1130°С (выдержка 3—5 *час*) в масле, старение при 840—850°С в течение 3—5 *час*, охлаждение на воздухе; старение при 700—730°С в течение 16—25 *час*, охлаждение на воздухе. Для деталей, работающих при температурах от —196 до +600°С: закалка с 900—1000°С (выдержка 2—5 *час*) в масле; старение при 720—780°С в течение 16 *час*; старение при 600—650°С в течение 16 *час*, охлаждение на воздухе. Охлаждение с температуры первого старения до температуры второго старения рекомендуется проводить медленно (с печью).

Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием.

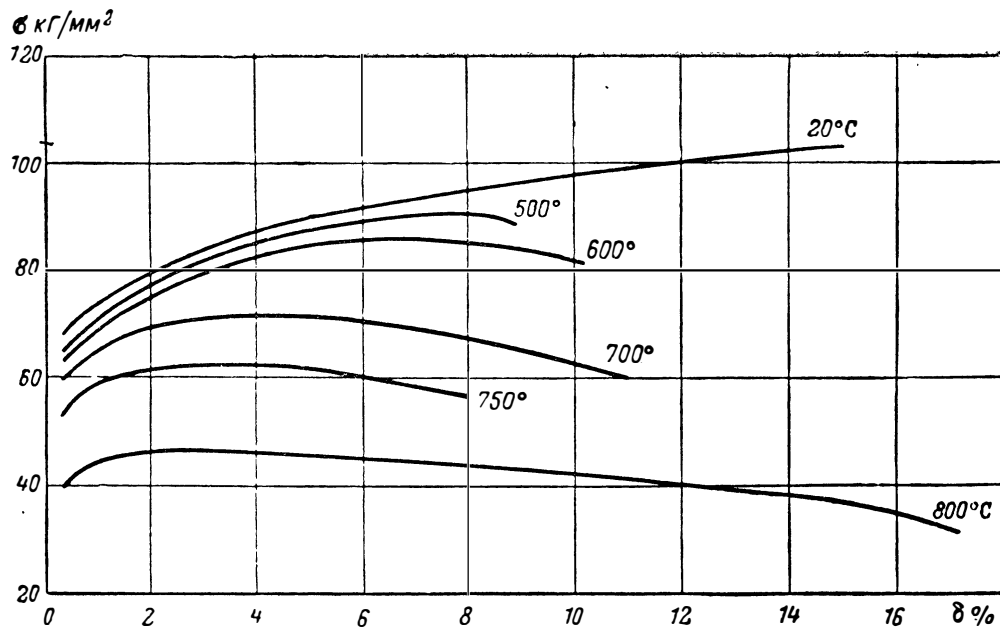
## Применение

Турбинные диски; диски компрессора; кольцевые детали корпуса турбины; соединительные кольца; крепежные детали; рабочие лопатки газовой турбины и компрессора, работающие при температурах до 750°С; цилиндрические винтовые пружины, работающие при температурах 400—700°С.

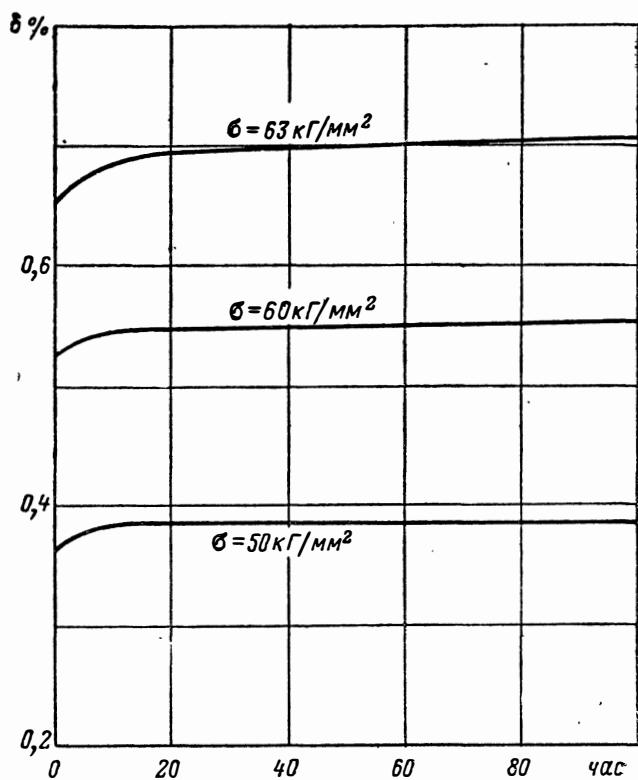
\* После термической обработки по режиму: закалка с 1120°С в масле, старение при 730°С в течение 16 *час*; старение при 630°С в течение 16 *час*.



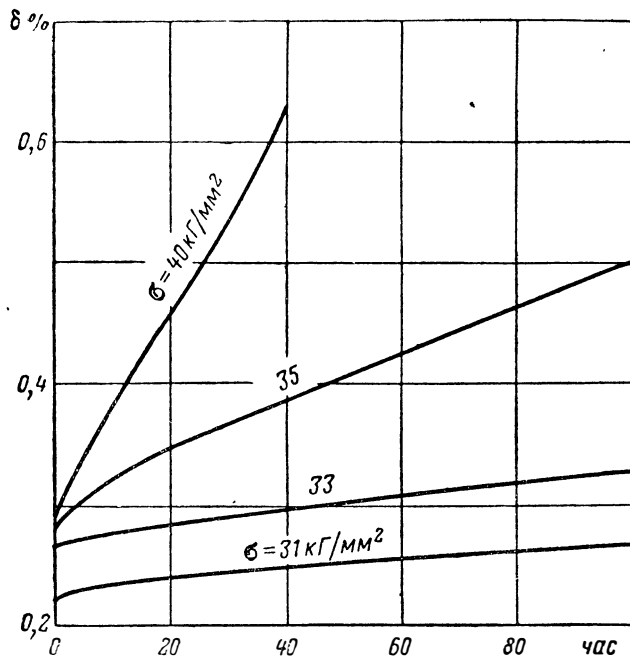
Фиг. 1. Кривые растяжения стали X12H22T3MP до предела текучести. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1160—1180°С на воздухе; старение при 750—780°С в течение 16—25 час).



Фиг. 2. Кривые растяжения стали X12H22T3MP от предела текучести до разрушения. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1160—1180°С на воздухе; старение при 750—780°С в течение 16—25 час).

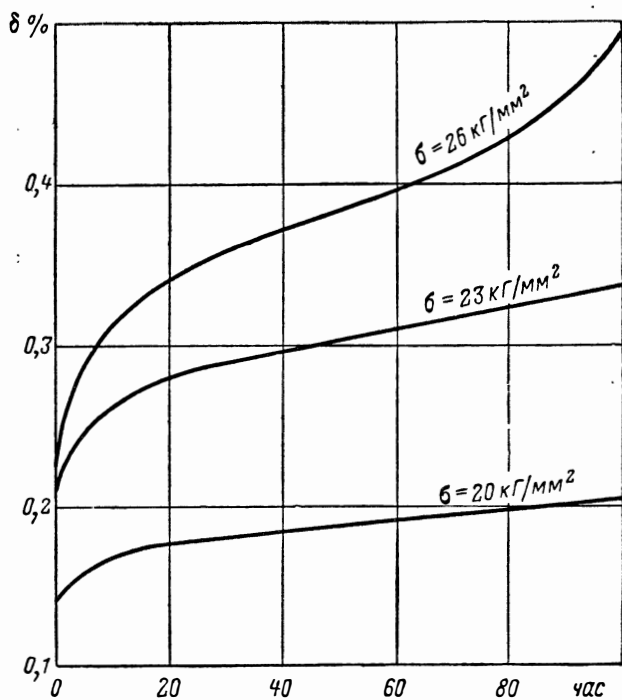


Фиг. 3. Кривые ползучести стали X12H22T3MP при температуре 500° С. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1170—1180° С на воздухе; старение при 775° С в течение 20 час).

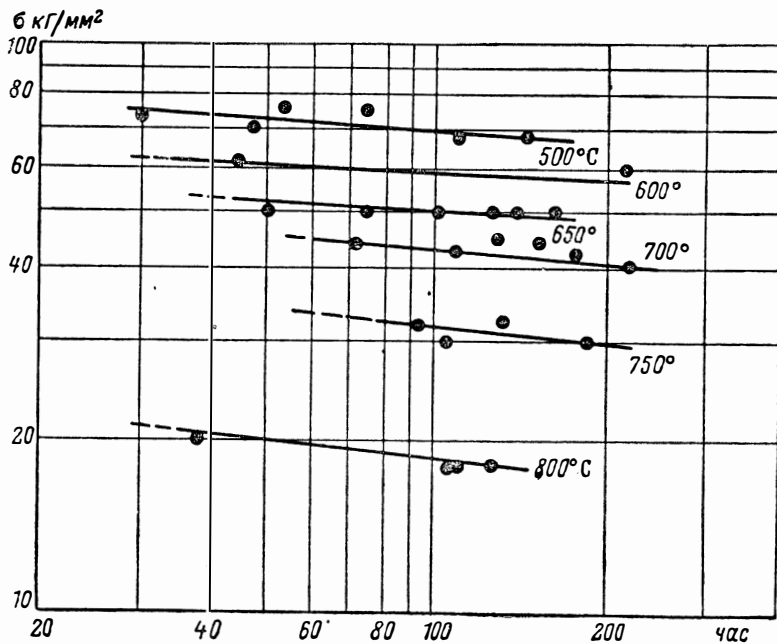


Фиг. 4. Кривые ползучести стали X12H22T3MP при температуре 700°C. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1170—1180°C на воздухе; старение при 775°C в течение 20 час).

1



Фиг. 5. Кривые ползучести стали X12H22T3MP при температуре 750° С. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1170—1180° С на воздухе; старение при 775° С в течение 20 час).



Фиг. 6. Кривые длительной прочности стали X12H22T3MP. (Термическая обработка по режиму: закалка с 1160—1180°С на воздухе; старение при 750—780°С в течение 16 час).



<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ</b> (прутки, поковки)	<b>ЭИ696А</b>
--	---------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	V*	Al	Fe	S	P
									не более	
≤0,1	≤1,0	≤1,0	10,0—12,5	18—21	2,3—2,8	0,008	≤0,4	Основа	0,020	0,030

\* Бор вводится по расчету и химическим анализом не определяется.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	α <sub>H</sub> кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)	σ <sub>30</sub> кг/мм <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%				
Прутки кованые и горячекатаные, заготовки для дисков	ЧМТУ 5905—57	Термически обработанные по режиму: закалка с 1170—1190° С (2 часа) на воздухе или в воде; старение при 750—775° С (25—16 час), охлаждение на воздухе	20	80	45	15	15	3	3,5—	—
			700	—	—	—	—	—	3,9	40
		Термически обработанные по режиму: закалка с 1100—1150° С (2 часа) на воздухе; старение при 750° С (15 час), охлаждение на воздухе	20	80	45	15	15	3	3,5—	—
			700	—	—	—	—	—	3,9	40

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%		
Поковки со стороной квадрата 90 мм	Термически обработанные по режиму; закалка с 1160—1180°С (2 часа) на воздухе; старение при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе	20*	85—93	55—63	15—26	17—35	5—11
		20**	90—	—	—	—	—
		105	60—70	15—26	17—26	5—9	
		600**	77	—	16	17	—
		700	66	—	17	21	—
		750	56	—	16	19	—
		600***	86	—	—	18	—
700	75	—	9	10	—		
750	60	—	7	9	—		
Прутки и поковки со стороной квадрата 90 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 1100±10°С (2 часа) в масле или на воздухе; старение при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	90—	55—70	21—30	25—40	7—15
		100	—	—	—	—	—
		500	85—90	57—65	21—30	25—40	—
		600	70—80	50—60	15—25	15—25	—
		700	50—65	43—50	15—25	18—25	—

\* Содержание Ti 2,35—2,50%.

\*\* Содержание Ti 2,56—2,70%.

\*\*\* Содержание Ti 2,70—2,75%.

## Пределы длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{1000}$
			кг/мм <sup>2</sup>	
Поковки со стороной квадрата 90 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 1160—1180°С (2 часа) на воздухе; старение при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе *	700	40	28—30
		750	28	—
Прутки и поковки со стороной квадрата 90 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 1100±10°С (2 часа) в масле или на воздухе; старение при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе	700	36—40	—

\* По данным завода «Электросталь» и ВИАМ.

### Физические свойства

Плотность стали, температурный коэффициент линейного расширения и коэффициент теплопроводности такие же, как у стали ЭИ696.

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температура нагрева под деформацию 1080—1100°С, температура конца деформации 900°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

Термическая обработка: закалка с  $1100 \pm 10^\circ\text{C}$  (выдержка 2—3 часа) в масле (детали больших габаритов, но тонкие по сечению можно закалывать на воздухе); старение при температуре 750°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе или медленное охлаждение с печью до 400°С, затем на воздухе. Более высокие температуры закалки (1170—1190°С — по ТУ) применяются только при металлургическом контроле.

Сталь сваривается удовлетворительно. Сварку плавлением рекомендуется производить с присадочной проволокой из стали ЭП260. Для снятия напряжений и упрочнения сварные и паяные детали и узлы подвергают сложной термической обработке по режиму: 1) нагрев в среде аргона при температуре 850°С в течение 2 час (в печь загружают при 750°С), затем медленное охлаждение с муфелем печи; 2) старение в приспособлении в среде аргона с медленным нагревом с 400 до 750°С со скоростью 80—100°/час, выдержка при температуре 750°С в течение 2 час, охлаждение вместе с печью до 400°С, затем на воздухе. Иногда после сварки применяют старение при 750°С с медленным нагревом с 400 до 750°С и медленным охлаждением с 750 до 400°С.

### Применение

Высоконагруженные детали, соединяемые сваркой, работающие при температурах 500—750°С; кольцевые детали корпуса турбины; соединительные кольца; крепежные детали; детали корпуса камеры сгорания; реактивное сопло.

<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ (листы)</b>	<b>ЭИ696А</b>
-------------------------------------	---------------

Химический состав в %<sup>\*</sup>

С	Mn	Cr	Ni	Ti	V**	Al	Fe	S	P	
								не более		
≤ 0,1	≤ 1,0	≤ 1,0	10,0—12,5	18—21	2,3— 2,8	≤ 0,008	≤ 0,5	Основа	0,020	0,030

\* Содержание примесей в металле вакуумной выплавки: ≤ 0,6 Si; ≤ 0,6 Mn; ≤ 0,015 S; ≤ 0,025 P.

\*\* Бор вводится по расчету и химическим анализом не определяется.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кГ/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ %
Листы холоднокатаные	ЧМТУ 5658—56	Закаленные с 1020—1040° С на воздухе	20	60	40
Лента холоднокатаная	ЧМТУ 5482—56	То же	20	55	35 ( $\delta_{10}$ )
Листы холоднокатаные (металл вакуумной выплавки)	ЧМТУ	Закаленные с 1020—1060° С в воде или на воздухе	20	≤ 75	40
	ЦНИИЧМ 830—62	Термически обработанные по режиму; закалка с 1020—1060° С; старение при 700 ± 15° С (8 час), охлаждение на воздухе	20 700	100 60	20 22

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$ %
		кГ/мм <sup>2</sup>		
Термически обработанный по режимам: 1) закалка с 1000—1040° С на воздухе; старение при 700° С (8 час), охлаждение на воздухе	20	110—117	70—75	22—24
	500	90—98	60—68	18—22
	600	85—90	60—66	23—25
	700	65—67	56—60	27—30
	750	50—55	—	25—32
	800	22—25	15—17	60—70

Продолжение

Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$ %
		кг/мм <sup>2</sup>		
2) закалка с 1000—1040° С на воздухе; старение при 850° С (2 часа), охлаждение на воздухе; старение при 700° С (8 час), охлаждение на воздухе	20	110—117	70—73	22—25
	500	90—96	68—70	18—22
	600	85—88	60—65	20—23
	700	60—65	55—58	20—24
	800	25—30	18—20	50—60
3) закалка с 1000—1040° С на воздухе; старение при 750° С (8 час), охлаждение на воздухе	20	104—110	70—72	21—22
	500	85—89	60—66	14—18
	600	75—80	50—60	19—20
	700	50—60	46—50	24—34
	800	28—30	25—28	50—56
4) закалка с 1000—1040° С на воздухе; старение при 850° С (2 часа), охлаждение на воздухе; старение при 750° С (8 час), охлаждение на воздухе	20	104—110	64—65	21—22
	500	85—88	60—64	13—15
	600	76—82	50—57	18—21
	700	60—65	50—52	21—23
	800	25—27	20—23	55—60

## Пределы секундной и минутной прочности и ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$	
			кг/мм <sup>2</sup>					
Листы	Закаленные с 1000—1040° С на воздухе ( $\sigma_B^{20''} = 65$ кг/мм <sup>2</sup> )	600	51	50,5	49,5	48,7	47,5	
		700	41	38	37	36	34,5	
		800	31	23,5	22,5	21,5	20	
		900	18,5	13,5	12,5	11,5	10,5	
				$\sigma_{0,5/10''}$	$\sigma_{0,5/60''}$	$\sigma_{0,5/120''}$	$\sigma_{0,5/180''}$	$\sigma_{0,5/300''}$
				кг/мм <sup>2</sup>				
		800	18,4	14,4	13	12,2	11,4	
		900	8,9	6,5	5,8	5,7	5,3	
				$\sigma_{1/10''}$	$\sigma_{1/60''}$	$\sigma_{1/120''}$	$\sigma_{1/180''}$	$\sigma_{1/300''}$
				кг/мм <sup>2</sup>				
800	19,6	15,5	14,1	13,4	12,4			
900	9,7	7,5	6,5	6	5,6			

		Продолжение				
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{1/5'}$	$\sigma_{1/10'}$	$\sigma_{1/15'}$	$\sigma_{1/60'}$
			кг/мм <sup>2</sup>			
Листы	Термически обработанные по режиму: закалка с 1000—1040°С на воздухе; старение при 700°С (8 час), охлаждение на воздухе	650	72	70	69	63
		700	60	57	52	46
		750	50	35	32	30

## Пределы длительной прочности и выносливости \*

Состояние материала	Температура испытания, °С	$\sigma_{10}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{-1/10^7}$ (на базе циклов)
		кг/мм <sup>2</sup>						
Термически обработанный по режимам; 1) закалка с 1000—1040°С на воздухе; старение при 700°С (8 час), охлаждение на воздухе	600	70	60	54	52	50	48	44—46
	700	45	36	32—33	28	27	25	36—38
2) закалка с 1000—1040°С на воздухе; старение при 850°С (2 часа), охлаждение на воздухе; старение при 700°С (8 час), охлаждение на воздухе	600	64	56	52	48	46	44	—
	700	40	31	28—30	25	24	22	—
3) закалка с 1000—1040°С на воздухе; старение при 750°С (8 час), охлаждение на воздухе	600	64	55	51	48	46	44	—
	700	43	34	30—31	27	26	24	—
4) закалка с 1000—1040°С на воздухе; старение при 850°С (2 часа), охлаждение на воздухе; старение при 750°С (8 час), охлаждение на воздухе	600	60	52	50	46	44	42	—
	700	—	—	28	—	—	—	—

\* Содержание титана в стали на нижнем пределе.

## Жаростойкость

Сталь жаростойка в воздушной среде при температурах до 850° С.

За 100 час испытания привес составляет 0,4115 г/м<sup>2</sup>·час при 800° С; 1,4185 г/м<sup>2</sup>·час при 900° С.

## Физические свойства

$d = 7,9 \text{ г/см}^3$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 15,86 (20-100^\circ); 16,62 (20-200^\circ); 17,36 (20-300^\circ); 17,99 (20-400^\circ); 18,45 (20-500^\circ); 18,91 (20-600^\circ); 19,33 (20-700^\circ) 1/^\circ\text{С}$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 17,39 (100-200^\circ); 18,83 (200-300^\circ); 19,91 (300-400^\circ); 20,26 (400-500^\circ); 21,24 (500-600^\circ); 21,82 (600-700^\circ) 1/^\circ\text{С}$ .

$\lambda = 0,036 (20^\circ); 0,039 (100^\circ); 0,042 (200^\circ); 0,045 (300^\circ); 0,049 (400^\circ); 0,054 (500^\circ); 0,057 (600^\circ); 0,060 (700^\circ); 0,064 (800^\circ); 0,068 (900^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{С}$ .

Сталь немагнитна.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1100—900° С. Охлаждение после деформации на воздухе. Сталь хорошо штампуется в закаленном состоянии ( $K_{\text{выт.пр}} = 2,13$ ). Для снятия наклепа рекомендуется проводить закалку с 950—1020° С на воздухе.

Сталь удовлетворительно сваривается ручной дуговой, аргоно-дуговой, контактной и автоматической сваркой в среде аргона и под слоем флюса. Сварку рекомендуется производить в закаленном состоянии.

Окончательная термическая обработка проводится после сварки и состоит из старения при 700° С в течение 8 час, охлаждение на воздухе. Для снятия сварочных напряжений следует проводить нагрев при 850° С в течение 2 час, охлаждение на воздухе. Перед подваркой детали нагревают по указанному выше режиму, а затем после подварки вновь проводят старение. Ввиду склонности стали к образованию трещин, при сварке плавлением следует избегать перегревов. В качестве присадочного материала при автоматической аргоно-дуговой сварке рекомендуется применять сварочную проволоку из стали ЭП260 (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 751—62 и ЧМТУ/ЦНИИЧМ 829—62) вакуумной выплавки; при ручной — сварочную проволоку из стали ЭП533 (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1245—64). Применение присадочной проволоки из металла вакуумной выплавки обеспечивает однородность сварных соединений. Контактной сваркой сталь сваривается удовлетворительно.

Механические свойства и длительная прочность соединений листов, сваренных в закаленном (с 1000—1040° С на воздухе) состоянии приведены в таблице.

Вид сварки	Тип сварного соединения	Состояние материала после сварки	Температура испытания, °С	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{100}$
				кг/мм <sup>2</sup>		
Роликовая	Внахлестку	Термически обработанный по режиму: нагрев при 850° С (2 часа), охлаждение на воздухе; старение при 700° С (8 час), охлаждение на воздухе	20	68—72	—	—
			600	66—68	—	—
			700	60—63	—	—
			800	24—27	—	—

Вид сварки	Тип сварного соединения	Состояние материала после сварки	Температура испытания, °С	Продолжение			
				$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{100}$	
				кг/мм <sup>2</sup>			
Автоматическая аргонодуговая сварка (присадка — основной материал)	Усиление шва снято механически	Состаренный при 700°С (8 час), охлаждение на воздухе	600	—	—	48—50	
			700	—	—	28—29	
	Усиление шва снято обкаткой		600	—	—	51—52	
			700	—	—	29	
	Усиление шва снято механически		Термически обработанный по режиму: нагрев при 850°С (8 час), охлаждение на воздухе; старение при 700°С (8 час), охлаждение на воздухе	20	82—87	69—74	—
600				62—68	61—65	46—48	
700				53—55	50—52	26	
			800	27—30	24	—	
Усиление шва снято обкаткой			600	—	—	46—47	
			700	—	—	22	
Автоматическая аргонодуговая сварка (присадка — проволока из стали ЭП260)	Усиление шва не снято	Состаренный при 700°С (2 час), охлаждение на воздухе	20	110—117	—	—	
			600	—	—	52	
			700	68—70	—	30—31	
			Термически обработанный по режиму: нагрев при 850°С (2 часа); старение при 700°С (8 час), охлаждение на воздухе	600	—	—	52
				700	—	—	30

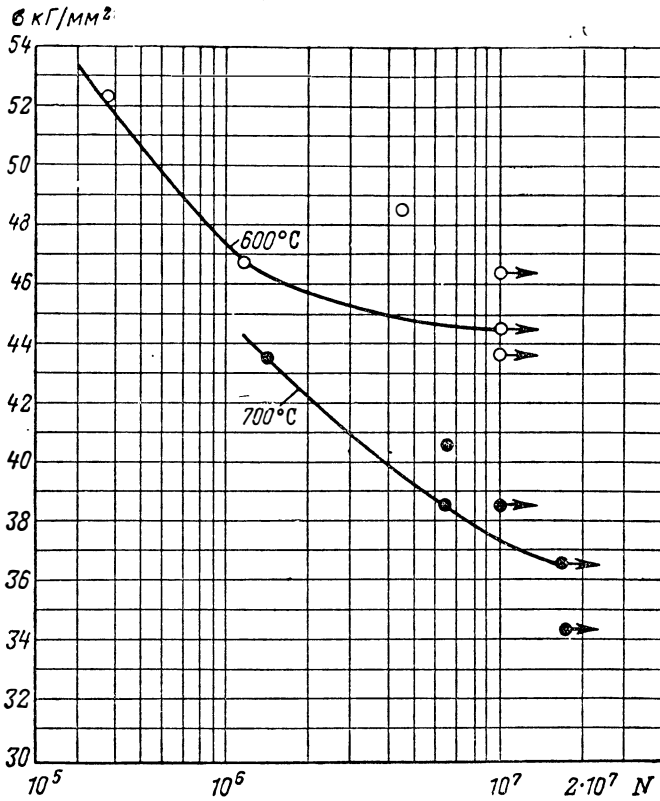
Пределы выносливости сварных соединений, выполненных автоматической аргонодуговой сваркой с присадкой основного материала, приведены в таблице.



Состояние материала после сварки	Температура испытания °С	Усиление шва сня- то механически	Усиление шва снято обкаткой
		$\sigma_{-1}$ (на базе $10^7$ циклов) кг/мм <sup>2</sup>	
Состаренный при 700° С (8 час), охлаждение на воз- духе	600 700	32 22 (26)	34 28
Термически обработанный по режиму: нагрев при 850° С (2 часа), охлаждение на воз- духе; старение при 700° С (8 час), охлаждение на воз- духе	600	28	29,8

#### Применение

Свариваемые элементы конструкций, работающие при температурах до 800° С (камеры дожигания, корпуса и опоры турбин, сопловые аппараты).



Фиг. 1. Кривые выносливости стали ЭИ696А при высоких температурах (испытание при изгибе в одной плоскости).

## ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

ХНЗ5ВТЮ (ЭИ787) ✓

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	W	Al	Ti	V*	S   P	
										не более	
≤0,08	≤0,6	≤0,6	14—16	33—37	Осно- ва	2,8— 3,5	0,7— 1,4	2,4— 3,2	До 0,02	0,010	0,020

\* Бор вводится по расчету и химическим анализом не определяется.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабри- ката	ТУ	Состояние (контроль- ные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_H$ кг/мм <sup>2</sup>	НВ (d мм)	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>						
Прутки горячекатаные и кованые сечением до 250 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 63—58	Термически обработанные по режимам: 1) 1-я закалка с 1150—1180°С (4—8 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050°С (4 часа) на воздухе; старение при 750—840°С (16—25 час), охлаждение на воздухе	20	95	65	6	8	2,5	3,25— 3,6	—
			750	—	—	—	—	—	30	
			750	—	—	—	—	—	35 (за 50 час)	
		2) закалка с 1080—1120°С (10 час) на воздухе; старение при 750—800°С (16—25 час), охлаждение на воздухе	20	100	65	8	10	3	3,25— 3,6	—
			550	—	—	—	—	—	73 (за 80 час)	
			—	—	—	—	—	—	—	
Кованые заготовки (шайбы)	ЧМТУ ЦНИИЧМ 710—62	Термически обработанные по режимам: 1) 1-я закалка с 1150—1180°С (4—8 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050°С (4 часа) на воздухе; старение при 750—840°С (16—25 час), охлаждение на воздухе	20	95	60	6	8	2,5	3,25— 3,65	—
			750	—	—	—	—	—	30	
			—	—	—	—	—	—	—	
		2) закалка с 1080—1120°С (10 час) на воздухе; старение при 750—800°С (16—25 час), охлаждение на воздухе	20	100	65	8	10	3	3,25— 3,6	—
			550	—	—	—	—	—	73 (за 80 час)	
			—	—	—	—	—	—	—	

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (д. мм)
			кг/мм <sup>2</sup>			%			
Прутки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1180—1200°С (2,5—8 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050°С (4 часа) на воздухе; старение при 750—800°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	21 850	105—127	70—88	7—22	10—25	2,5—5,8	3,3—3,6
		400	—	105—118	70—85	—	—	—	—
		500	—	100—115	70—83	5—18	6—23	—	—
		550	—	100—112	69—82	5—16	7—25	5—6	—
		600	17 300	100—110	68—81	—	12—16	—	—
		700	16 600	92—97	68—80	5—8	9—11	—	—
		750	15 600	85—89	65—78	6—10	6—10	3—4	—
		800	15 150	68—75	60—70	13—15	22—28	5—6	—
		850	—	36—38	33—35	19—21	46—48	5,5—6,5	—
		900	—	20—25	20—24	20—23	50—60	—	—
Кованые прутки (сторона квадрата 90 мм)	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1150—1160°С (6—10 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050°С (4 часа) на воздухе; старение при 830°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	106—124	60—80	11—22	15—29	3,8—7,0	3,35—3,60
		600	—	100—107	60—79	12—16	17—26	5—6	—
		700	—	74—92	60—79	6—15	10—23	5—6	—
Диски и другие крупные изделия	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1150—1160°С (6—10 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050°С (4 часа) на воздухе; старение при 830°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	110—120	60—78	16—20	19—33	4,5—7,3	3—4
		500	—	100—110	—	14—16	23—27	—	—
		600	—	100—105	60—78	12—16	22—26	5—6	—
		650	—	100—104	—	12—14	21—24	—	—
		700	—	75—90	60—78	8—14	10—23	4,5—6,0	—

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_H$ кг/мм <sup>2</sup>	HB (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>			%			
Лопатки компрессора	Термомеханическая обработка по режиму: нагрев до 1120° С, выдержка 60 мин; штамповка, охлаждение на воздухе; старение при 750° С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	135	95—100	20—24	36—45	7,0—8,4	3,0—3,2
		550	—	118—121	86—92	15—17	20—36	—	—

## Пределы длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{100}^*$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Прутки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1180—1200° С (2,5—8 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050° С (4 часа) на воздухе; старение при 750—800° С (16 час), охлаждение на воздухе	550	80—85	—	70—78	65—70	80
		600	65—68	—	55—58	52—55	65
		650	—	—	—	—	—
		700	38—40	—	32—34	28—32	38—40
		750	30—34	—	24—30	22—27	30
		800	21—24	—	15—18	12—16	24
		850	12	—	—	—	—
Кованые прутки (сторона квадрата 90 мм)	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1150—1160° С (6—10 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050° С (4 часа) на воздухе; старение при 830° С (16 час), охлаждение на воздухе	550	75	—	—	—	75
		600	60	—	—	—	60
		700	36—40	—	—	—	36—40
		750	30	—	—	—	30
		—	—	—	—	—	—

\* Радиус надреза 0,5 мм.

		Продолжение					
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{100}^H$ *
			кг/мм <sup>2</sup>				
Диски и другие крупные изделия	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1150—1160° С (6—10 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050° С (4 часа) на воздухе; старение при 830° С (16 час), охлаждение на воздухе	500	70	—	—	—	70
		600	60	—	—	—	60
		650	50	—	—	—	50
		700	36—38	—	—	—	36—38
		750	28—30	—	—	—	30
Лопатки компрессора	Термомеханическая обработка по режиму: нагрев до 1120° С, выдержка 60 мин; штамповка, охлаждение на воздухе; старение при 750° С (16 час), охлаждение на воздухе	550	90	86	—	—	90
		650	56	52	—	—	56
		750	27,5	22	—	—	27,5

\* Радиус надреза 0,5 мм.

## Пределы ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{-1}$	
		по общей деформации	по остаточной деформации	на базе циклов	
				10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>
кг/мм <sup>2</sup>					
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с 1180—1200° С (2,5—8 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050° С (4 часа) на воздухе; старение при 750—800° С (16 час), охлаждение на воздухе	550	—	76*	30*	—
	600	—	70*	25—30*	24
	650	—	—	30*	—
	700	—	40*	28—30*	—
	750	25	—	30—31	—
	800	13—14	—	25—27	—
	900	—	—	16*	—
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с 1150—1160° С (6—10 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050° С (4 часа) на воздухе; старение при 830° С (16 час), охлаждение на воздухе	550	—	65	28	—
	600	—	60	—	—
	700	30	35	30	—

\* 1-я закалка с 1170° С (8 час) на воздухе; 2-я закалка и старение те же.

### Жаростойкость

При испытаниях в воздушной среде в течение 100 час при 800°С привес составляет 0,059 г/м<sup>2</sup>·час, в течение 1000 час — 0,018 г/м<sup>2</sup>·час.

Сталь удовлетворительно сопротивляется газовой коррозии при температурах до 850°С.

### Физические свойства

$d = 8,04 \text{ г/см}^3$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 14,1 (20-100^\circ); 15,2 (100-200^\circ); 16,2 (200-300^\circ); 16,9 (300-400^\circ); 17,7 (400-500^\circ); 17,8 (500-600^\circ); 19,0 (600-700^\circ) 1/^\circ\text{С}$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 14,6 (20-200^\circ); 15,2 (20-300^\circ); 15,6 (20-400^\circ); 16,0 (20-500^\circ); 16,3 (20-600^\circ); 16,7 (20-700^\circ) 1/^\circ\text{С}$ .

$\lambda = 0,037 (100^\circ); 0,042 (200^\circ); 0,046 (300^\circ); 0,050 (400^\circ); 0,054 (500^\circ); 0,059 (600^\circ); 0,062 (700^\circ); 0,066 (800^\circ); 0,071 (900^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{С}$ .

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температура нагрева под деформацию 1080—1100°С, температура конца деформации 900°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

Рекомендуемые режимы окончательной термической обработки:

1) для *рабочих лопаток* — 1-я закалка с 1180—1200°С (выдержка 2,5—8 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050°С (выдержка 4 часа) на воздухе, старение при температуре 750—800°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе;

2) для *турбинных дисков* — 1-я закалка с 1150—1160°С (выдержка 6—10 час) на воздухе; 2-я закалка с 1050°С (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при 830°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе;

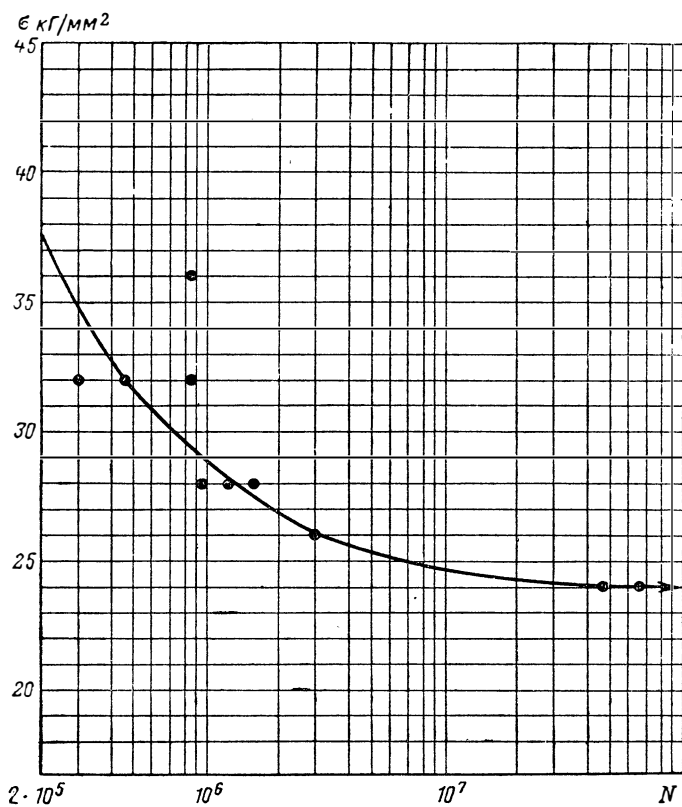
3) для *лопаток компрессора* — термомеханическая обработка, состоящая из нагрева заготовок при 1120°С в течение 60 мин, последующей штамповки с охлаждением на воздухе и старения при 750°С в течение 16 час с охлаждением на воздухе.

Сталь хорошо прокатывается на сортовых станах. Удовлетворительно обрабатывается резанием.

### Применение

Рабочие лопатки газотурбинных и других двигателей, работающие при температурах 700—800°С; компрессорные лопатки, работающие при температурах 500—700°С; диски турбин, дефлекторы, кольца, работающие при температурах до 750°С.

\* После термической обработки по режиму: 1-я закалка с 1180°С (выдержка 4 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1050°С (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при 800°С в течение 16 час.



Фиг. 1. Кривая выносливости стали ХН35ВТЮ при температуре 600° С (испытание при чистом изгибе гладких образцов).



<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ</b>	<b>ЭП105 (ЭП203)</b>
-----------------------------	----------------------

## Химический состав в %о

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Mo	Al	В (рас- четн.)	Ce	Zr (рас- четн.)	Fe	S	P
												не более	
≤0,1	≤0,6	≤0,6	12—15	33—37	2,1—2,7	2,8—3,4	2,5—3,5	До 0,015	0,1	До 0,1	Осно- ва	0,010	0,015

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Темпе- ра- тура ис- пытания °С	$\sigma$		$\delta$		$\psi$	$a_H$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d.мм)	$\sigma_{0,2}$ кг/мм <sup>2</sup>
				$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$				
Заготовки (штанги и шай- бы) для дисков	ЧМТУ ЦНИИЧМ 1269—64	Термически обрабо- танные по режиму: закалка с 1130±10°С (3 часа) в мас- ле; старение при 820—845°С (16—5 час), охлаждение на воздухе; старение при 650—730°С (16 час), ох- лаждение на воздухе	20	95	70	8	13	2,5	3,4— 3,7	—	
			750	—	—	—	—	—	35		
То же (металл ваку- умно-дуговой выплавки)		То же	20	95	70	10	15	2,5	3,4— 3,7	—	
			750	—	—	—	—	—	35		

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабри- ката	Состояние	Температура испытания, °С	E	E <sub>d</sub>	$\sigma$			$\delta$			$\psi$	$a_H$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>						%			
Прутки	Термически об- работанные по режиму: закалка с 1120—1150°С (2—3 часа) в мас- ле; старение при 775—820°С (16 час); дополни- тельное старение при 630—650°С (10—16 час), ох- лаждение на воз- духе	20	19 000	20 000	95—120	70—80	55—65	10—15	10—14	15—20	3—6	
		500	15 900	17 000	95—110	65—75	55—61	6—10	5—10	—		
		600	14 200	16 500	95—106	65—75	55—58	5—9	5—9	7—14		
		700	13 500	15 800	80—90	65—70	48—58	6—13	3—9	5—12		
		750	12 900	—	65—75	50—60	38—48	5—13	6—9	9—13		
		800	12 000	15 000	55—63	47—50	30—35	8—15	8—10	10—15		
		850	—	—	35—40	33—37	—	15—25	—	20—30		

## Пределы длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma$				
			$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{100}^H$ *
кг/мм <sup>2</sup>							
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1120—1150°С (2—3 часа) в масле; старение при 775—820°С (16 час); дополнительное старение при 630—650°С (10—16 час), охлаждение на воздухе	500	87—90	—	—	80—85	—
		600	70	—	—	—	70
		700	45	—	33—35	32—33	45
		750	35	25—27	23—25	—	35
		800	24—25	—	—	—	24—25
		800	24—25	—	—	—	24—25

\* Радиус надреза 0,5 мм.

## Пределы ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$	
				на базе 10 <sup>7</sup> циклов	
кг/мм <sup>2</sup>					
Прутки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1120—1150°С (2—3 часа) в масле; старение при 775—820°С (16 час); дополнительное старение при 630—650°С (10—16 час), охлаждение на воздухе	650	51	32	25
		750	29	28—29	26
		800	—	25	20

\* Радиус надреза 0,7 мм.

## Жаростойкость

Сталь жаростойка при температурах до 850°С.

## Физические свойства

$$d = 7,85 \text{ г/см}^3.$$

 $\alpha^* \cdot 10^6 = 14,5$  (20—100°); 15,4 (100—200°); 16,6 (200—300°); 17,3 (300—400°); 18,4 (400—500°); 19,2 (500—600°); 19,9 (600—700°); 23,0 (700—800°) 1/°С.

 $\alpha^* \cdot 10^6 = 14,9$  (20—200°); 15,5 (20—300°); 16,0 (20—400°); 16,5 (20—500°); 16,8 (20—600°); 17,3 (20—700°); 18,0 (20—800°) 1/°С.

 $\lambda = 0,027$  (20°); 0,030 (100°); 0,033 (200°); 0,037 (300°) 0,040 (400°); 0,044 (500°); 0,048 (600°); 0,051 (700°); 0,055 (800°); 0,059 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1100—900°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

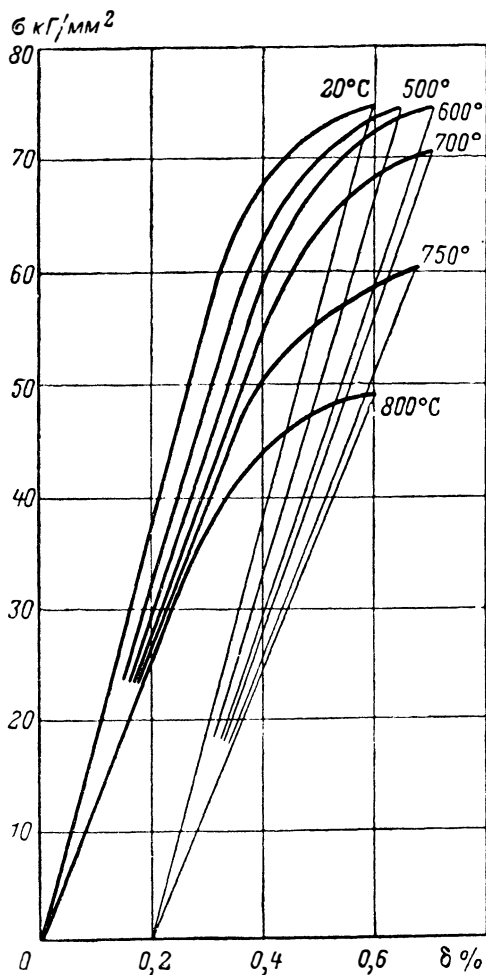
Термическая обработка: закалка с 1120—1150°С (выдержка 2—3 часа) в масле; старение при 845—820°С в течение 5—16 час; дополнительное старение при 700—650°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе.

Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием и сваривается.

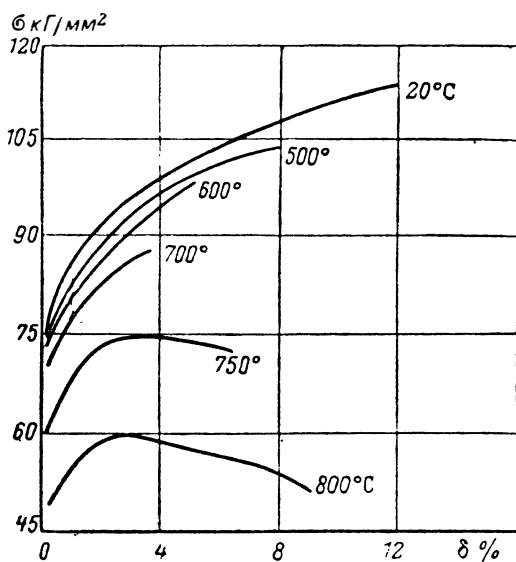
## Применение

Рабочие лопатки и диски газовых турбин средних и малых размеров.

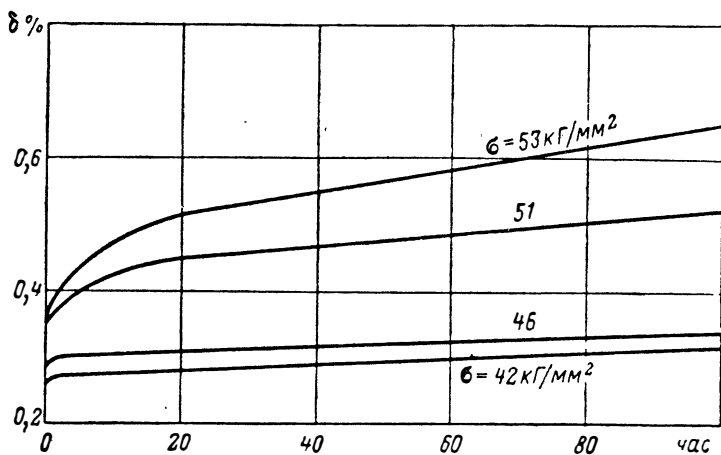
\* После термической обработки по режиму: закалка с 1120—1150°С (выдержка 2—3 часа) в масле; старение при 775—820°С в течение 16 час; дополнительное старение при 630—650°С в течение 10—16 час, охлаждение на воздухе.



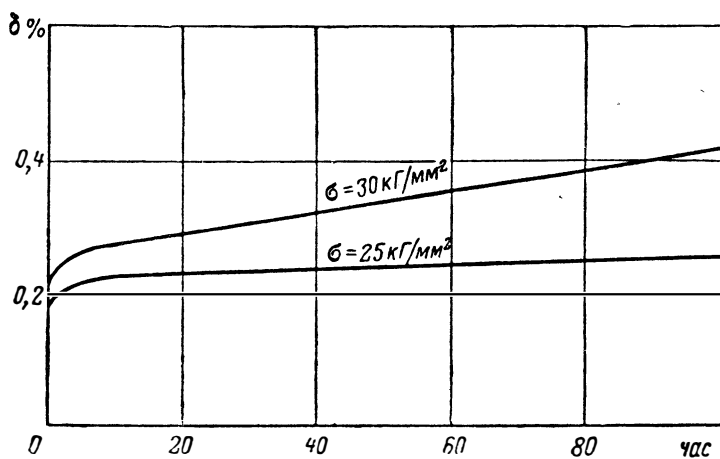
Фиг. 1. Кривые растяжения стали ЭП105 до предела текучести.



Фиг. 2. Кривые растяжения стали ЭП105 от предела текучести до разрушения.



Фиг. 3. Кривые ползучести стали ЭП105 при температуре 650° С.



Фиг. 4. Кривые ползучести стали ЭП105 при температуре 750° С.

## ХРОМОНИКЕЛЬВОЛЬФРАМОВАЯ СТАЛЬ

X15H30BMT  
(ЭП437, ВЖ102)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	
≤0,1	≤0,6	≤0,6	14—16	27—30	4,5—6,0	
Продолжение						
Mo	Ti	Fe	Al	Zr*	P	S
					не более	
3—4	1,8—2,3	Основа	≤0,5	0,02	0,025	0,015

\* Цирконий вводится по расчету и химическим анализом не определяется.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура: испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{цт}$ кг/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)	$\sigma_{50}$ кг/мм <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%				
Прутки (заготовки со стороны квадрата 80—100 мм)	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: закалка с 1170—1190° С (2 часа) на воздухе; старение при 750° С (16 час), охлаждение на воздухе	20	95	65	12	16	4	3,45	—
	ЦНИИЧМ 843—63		700	—	—	—	—	—	3,85	40
Листы	ЧМТУ	Закаленные с 1080—1120° С на воздухе или в воде	20	70	40	35 ( $t=5,65\sqrt{F}$ )	—	—	—	—
	ЦНИИЧМ 899—63									

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °C	<i>E</i>	<i>E<sub>л</sub></i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_5^*$	$\psi$	$\sigma_H$ кг/см <sup>2</sup>	HB (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>						%		
Прутки диаметром 20 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с $1180 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; старение при $750 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	20 500	95—107	65—75	—	14—23	16—25	4—6	3,45—3,85
		600	—	16 600	77—85	55—58	42—45	8—13	15—21	3—3,5	—
		700	—	16 000	74—80	53—58	40—44	7—11	9—15	2—2,5	—
		800	—	15 200	48—54	36—40	18—23	11—20	16—33	4—6	—
		850	—	—	25—29	—	—	32—44	49—55	—	—
Листы толщиной 1,5—2 мм	В состоянии поставки состаренные при $750^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	19 000	—	97—104	67—72	40—48	9—12	—	—	—
		400	15 600	—	88—91	57—60	37—40	9—10	—	—	—
		500	14 800	—	88—91	57—60	32—37	11—13	—	—	—
		600	13 900	—	85—90	54—56	29—35	11—13	—	—	—
		700	12 200	—	67—70	46—50	24—28	13—20	—	—	—

\* Удлинение для листового материала определено на образцах с расчетной длиной  $l=5,65 \sqrt{F}$ .

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °C	$\sigma_{100}$	$\sigma_{100}^H$ *	$\sigma_{100}^H$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^{H**}$
			кг/мм <sup>2</sup>					
Прутки диаметром 20 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с $1180 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; старение при $750 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	500	>75	—	—	—	—	—
		600	65	—	—	—	—	—
		700	38	38	1	36	31	—
		800	18	18	1	10	25	21
		850	11	—	—	—	—	—

\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\* Радиус надреза 0,75 мм.

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{100}^H$ *	$\frac{\sigma_{100}^H}{\sigma_{100}}$	$\sigma_{0,2/100}$	Продолжение	
							$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^{H**}$
							на базе $10^7$ циклов	
			кг/мм <sup>2</sup>		кг/мм <sup>2</sup>			
Листы толщиной 1,5—2 мм	В состоянии поставки и состаренные при 750°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	32	—
		500	>75	—	—	—	—	—
		600	57	—	—	—	31	—
		700	29	—	—	—	25	—

\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\* Радиус надреза 0,75 мм.

### Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде при температуре 800°С прирост составляет 0,04 г/м<sup>2</sup>·час.

### Физические свойства

$$d = 8,29 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 14,1$  (20—100°); 14,6 (20—200°); 15,2 (20—300°); 15,7 (20—400°); 16,2 (20—500°); 16,7 (20—600°); 17,2 (20—700°); 18,1 (20—800°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 15,2$  (100—200°); 16,3 (200—300°); 17,3 (300—400°); 18,2 (400—500°); 19,0 (500—600°); 20,7 (600—700°); 24,2 (700—800°) 1/°С.

$\lambda = 0,028$  (25°); 0,031 (100°); 0,035 (200°); 0,038 (300°); 0,043 (400°); 0,047 (500°); 0,050 (600°); 0,054 (700°); 0,057 (800°) кал/см·сек·°С.

$c = 0,090$  (100°); 0,095 (200°); 0,100 (300°); 0,110 (400°); 0,110 (500°); 0,120 (600°); 0,125 (700°); 0,130 (800°); 0,140 (900°) кал/г·°С.

### Технологические данные

Сталь деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1120—900°С.

Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1180±10°С (выдержка 2 часа) на воздухе; старение при 750±10°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе.

• Сталь толщиной 15 мм хорошо сваривается ручной дуговой сваркой с электродом из основного металла с покрытием НЖ-4, а так же контактно-стыковой сваркой. Листовая сталь хорошо сваривается ручной дуговой, аргоно-дуговой и роликовой сваркой. Механические свойства сварных соединений пластин, кованых заготовок, термически обработанных по режиму: закалка с 1180°С (выдержка 2 часа) на воздухе; старение при 750°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе, а также листов, состаренных после сварки при 750°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе приведены в таблице.

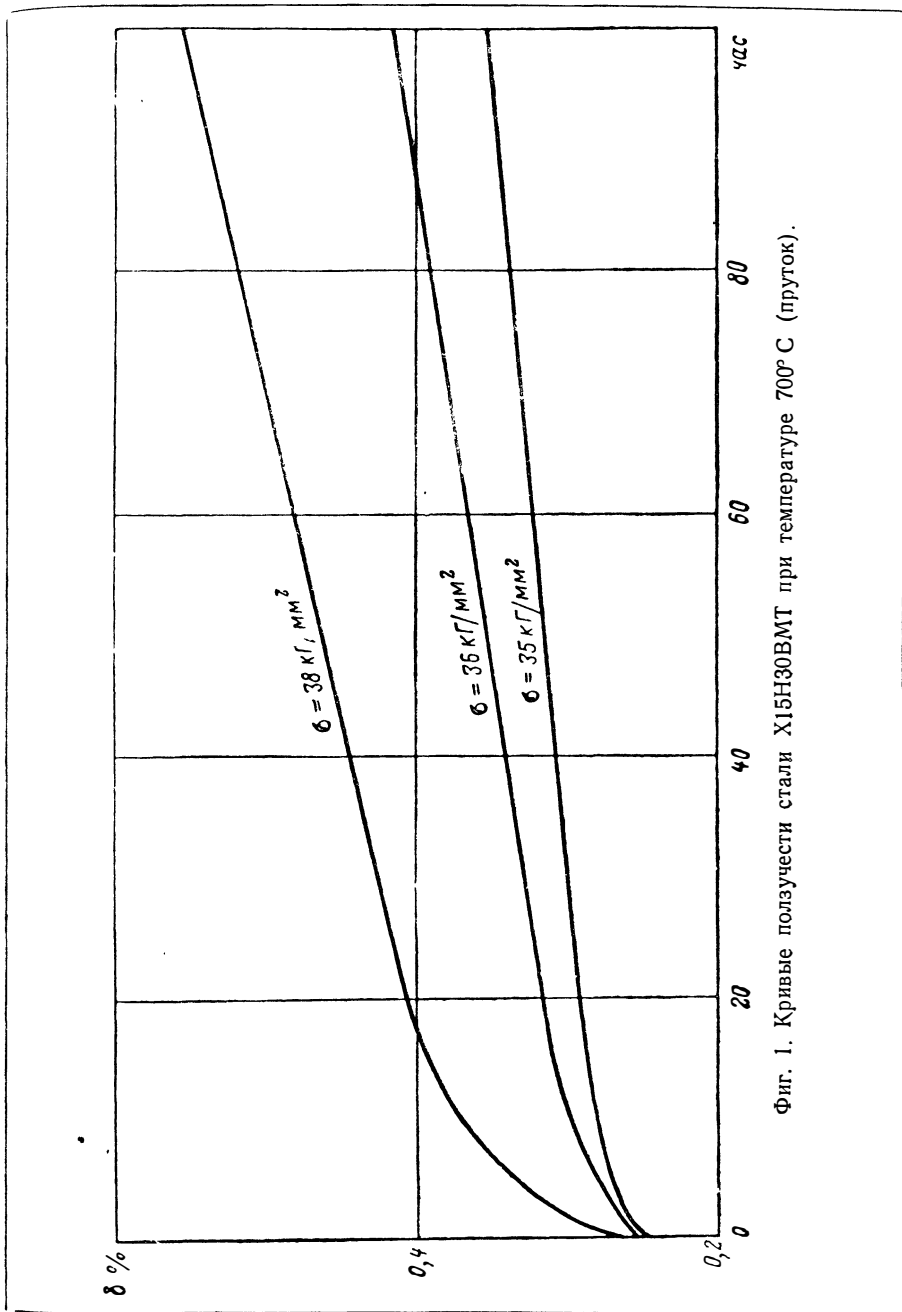


Свариваемый материал	Вид сварки	Температура испытания, °С	$\sigma_b$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_{100}$	$\sigma_{-1}$ (на базе 10 <sup>7</sup> циклов)	
				%				кг/мм <sup>2</sup>	
Пластины толщиной 15 мм	Дуговая (электрод — основной металл с покрытием НЖ-4)	20	78—83	11—14	15—18	2,5—4,3	—	—	
		800	37—41	11—14	34—56	—	13	—	
Кованые заготовки сечением 15×40 мм	Контактная стыковая	20	85—92	10—12	12—16	2,5—3,5	—	—	
		700	69—73	5—11	10—14	—	—	25	
		800	47—51	11—18	15—44	—	15	25	
Листы толщиной 1,5—2 мм	Аргонодуговая	20	96—104	—	—	—	—	22	
		400	88—91	—	—	—	—	—	
		500	88—91	—	—	—	>74	24	
		600	68—82	—	—	—	48	—	
		700	64—71	—	—	—	26	19	
		800	43—53	—	—	—	—	—	
		Роликовая	20	60—70	—	—	—	—	18
			400	60—66	—	—	—	—	—
	500		60—62	—	—	—	—	18	
	600		58—60	—	—	—	23	—	
	700		52—55	—	—	—	>10	21	
	800		39—41	—	—	—	—	—	

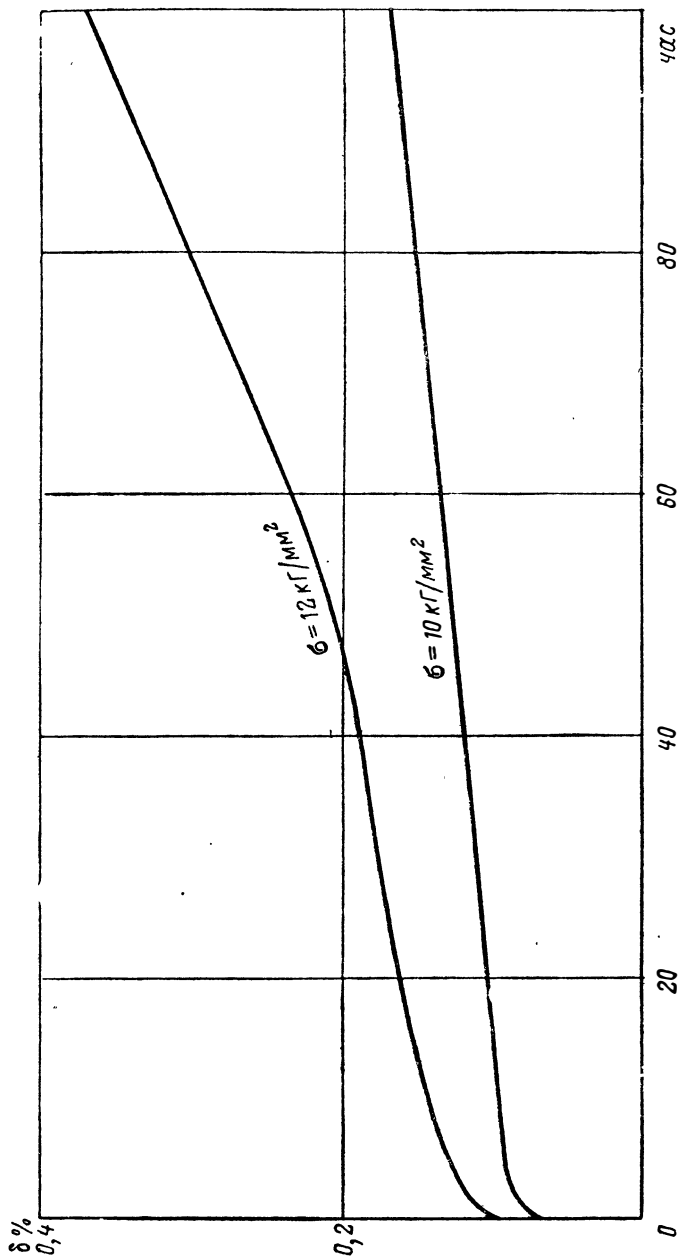
Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием.

#### Применение

Сварные кольцевые детали, работающие при температурах до 800° С. Листовая сталь рекомендуется для сложных сварных деталей, работающих при температурах до 750° С.



Фиг. 1. Кривые ползучести стали X15H30BMT при температуре 700° С (пруток).



Фиг. 2. Кривые ползучести стали X15H30BMT при температуре 800° С (пруток).

## ЖАРОПРОЧНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ СТАЛИ

ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

268Л (ЭИ268Л)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
						не более	
0,05—0,12	0,8—1,5	0,3—0,8	15—18	2,8—3,8	Основа	0,030	0,035

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\alpha_{ср}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Отливки	АМТУ 433—58	Контрольные бруски, отлитые в холодные формы, термически обработанные по режиму: закалка с 1040—1060°С в масле; отпуск при 540—560°С (3 часа), охлаждение на воздухе	20	95	75	8	20	2,5	3,2—3,8
		Контрольные бруски, отлитые в горячие формы, термически обработанные по режиму: закалка с 1040—1060°С в масле; отпуск при 540—560°С (3 часа), охлаждение на воздухе	20	95	75	7	18	2	3,2—3,8
		Контрольные бруски, отлитые в горячие формы, термически обработанные по режиму: высокий отпуск при 670—690°С (3 часа), охлаждение на воздухе	20	85	65	5	8	—	3,4—4,0
		Контрольные бруски, отлитые в холодные формы, термически обработанные по режиму: высокий отпуск при 670—690°С (3 часа), охлаждение на воздухе	20	85	65	6	10	—	3,4—4,0

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)	$\sigma_{100}$	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^H$
		кг/мм <sup>2</sup>		%				кг/мм <sup>2</sup>		
Термически обработанный по режиму: закалка с 1050°С в масле; отпуск при темпе- ратуре 550°С	20	110	90— 97	8— 13	33— 51	2	3,40	—	41	26
	400	83	72	9	31	—	—	75	—	—
	500	70	63	11	33	—	—	27	27	—
	550	—	—	—	—	—	—	20	—	—
Отпущенный при темпера- туре 680°С	20	88— 104	85— 73	9— 12	30— 41	—	3,5— 3,8	—	—	—
	300	76	61	8	23	—	—	—	—	—
	450	64	55	8	27	—	—	—	—	—

## Влияние длительности нагрева на ударную вязкость

Температура нагрева °С	Продолжительность выдержки час	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
550°С (охлаждение на воздухе)	2	3,1
	20	4,4
	100	7,25

## Физические свойства

$d = 7,8$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6 = 10,3$  (20—100°); 11,2 (100—200°); 11,7 (200—300°); 12,2 (300—400°);  
 12,9 (400—500°) 1/°С.  
 $\lambda = 0,047$  (100°); 0,051 (200°); 0,054 (300°); 0,059 (400°); 0,063 (500°); 0,066  
 (600°); 0,068 (700°); 0,071 (800°) кал/см·сек·°С.  
 $\rho = 0,81$  ом·мм<sup>2</sup>/м.

## Технологические данные

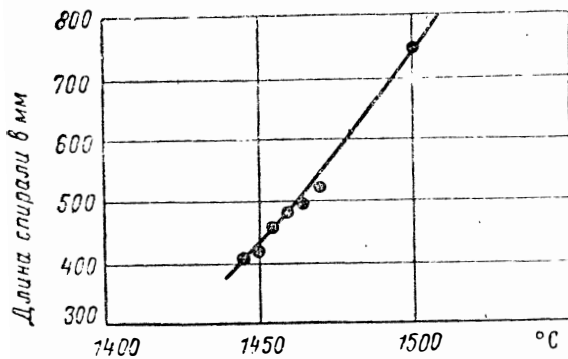
Сталь выплавляют в индукционных печах с основной футеровкой. В шихте используют до 40% отходов этой же стали. Жидкотекучесть металла хорошая. Температура заливки форм 1520—1580°С. Линейная усадка составляет 2,50%.

Прибыли и литники удаляют газовой и анодной резкой, камнем и механическим путем.

Сталь удовлетворительно сваривается сваркой плавлением.

## Применение

Детали самолетов, двигателей (компрессорные лопажки) и другие детали, подвергающиеся в процессе работы нагреву до 500°С, а также детали, свариваемые с другими деталями.



Фиг. 1 Жидкотекучесть стали 268Л.

## ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ

513Л (ЭИ736Л)

## Химический состав в % \*

С	Si	Mn	Cr	Ni	V	W	В	Fe	S	P
									не более	
0,09— 0,15	0,2— 0,8	0,20— 0,80	11,5— 13,5	2,3— 3,0	0,18— 0,28	1,6— 2,2	0,003— 0,006	Основа	0,030	0,030

\* Для улучшения литейных свойств вводятся титан и бор. Содержание титана не должно превышать 0,05%.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полу- фабри- ката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Отливки	АМТУ 433—58	Контрольные бруски, отлитые в горячие формы, термически обработанные по режиму: закалка с 1030—1080°С на воздухе или в масле; отпуск при 540—620°С	20	120	100	7	20	1,5	3,7— 3,4
		Контрольные бруски, отлитые в холодные формы, термически обработанные по режиму: закалка с 1030—1080°С на воздухе или в масле; отпуск при 540—620°С	20	120	100	8	25	2	3,7— 3,4
		Контрольные бруски, отлитые в горячие формы, термически обработанные по режиму: закалка с 1030—1080°С на воздухе или в масле; отпуск при 680—720°С	20	90	75	9	30	2	3,80— 3,45
		Контрольные бруски, отлитые в холодные формы, термически обработанные по режиму: закалка с 1030—1080°С на воздухе или в масле; отпуск при 680—720°С	20	90	75	9	30	2,5	3,80— 3,45

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания, °C	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{иц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$\sigma_{иц}$ кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>				%			
Термически обработанный по режиму: закалка с 1050° C в масле; отпуск при 680° C	20	19 200	95	71	44	9	29	2,5— 4,6	—
	400	15 400	78	61	43	8	26	—	—
	500	13 600	62	48	28	9	45	—	45
	550	—	—	—	—	—	—	—	30
	600	8 700	40	27	16	17	72	—	22
Термически обработанный по режиму: закалка с 1050° C в масле; отпуск при 650° C	20	—	100	80	—	10*	30	—	—
	400	—	80	63	—	7*	26	—	78
	500	—	74	60	—	8*	36	—	50

\* Удлинение определено на длине  $l=5d$ .

## Длительная прочность при 550° C в зависимости от предела прочности при комнатной температуре

Состояние материала	$\sigma_B$	$\sigma_{100}$	
	кг/мм <sup>2</sup>		
Закаленный с 1050° C в масле и отпущенный при температурах:			
	550°	144	55
	600°	120	50
	650°	105	38
	700°	100	30

## Пределы ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^H$
		по остаточной деформации	по общей деформации	на базе $10^7$ циклов	
				кг/мм <sup>2</sup>	
Закаленный с 1050° C в масле и отпущенный при 680° C	20	—	—	41,5	28
	400	46	—	33	20
	450	31	—	—	—
	500	21	15	35	—
	550	18	—	29	—



## Физические свойства

$d = 7,8 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 10 \text{ (20—100}^\circ\text{)}; 10,3 \text{ (20—200}^\circ\text{)}; 10,6 \text{ (20—300}^\circ\text{)}; 10,9 \text{ (20—400}^\circ\text{)}; 11,1 \text{ (20—500}^\circ\text{)}; 11,2 \text{ (20—600}^\circ\text{)} \text{ } 1/^\circ\text{C}.$   
 $\lambda = 0,047 \text{ (20}^\circ\text{)}; 0,050 \text{ (100}^\circ\text{)}; 0,053 \text{ (200}^\circ\text{)}; 0,055 \text{ (300}^\circ\text{)}; 0,059 \text{ (400}^\circ\text{)}; 0,062 \text{ (500}^\circ\text{)}; 0,064 \text{ (600}^\circ\text{)}; 0,066 \text{ (700}^\circ\text{)}; 0,067 \text{ (800}^\circ\text{)} \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}.$

## Технологические данные

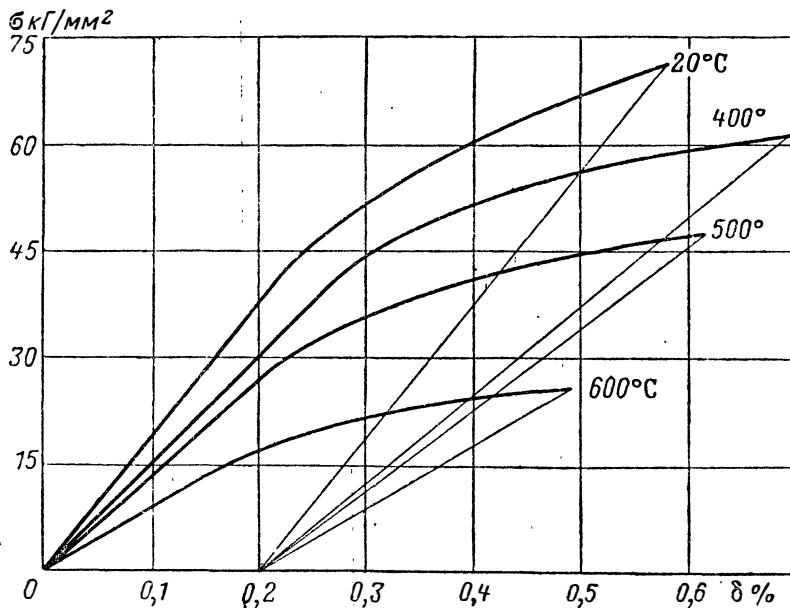
Сталь выплавляют в индукционных печах с основной или кислой футеровкой; металл заливают в сухие формы из стержневой смеси. После отрезки прибылей отливки подвергают отжигу при 930—980°С или нормализации с 950—980°С с последующим отпуском при 650—680°С.

Окончательная термическая обработка: закалка с 1050°С в масле или на воздухе, отпуск в интервале температур 540—580°С и 680—720°С (на заданную твердость).

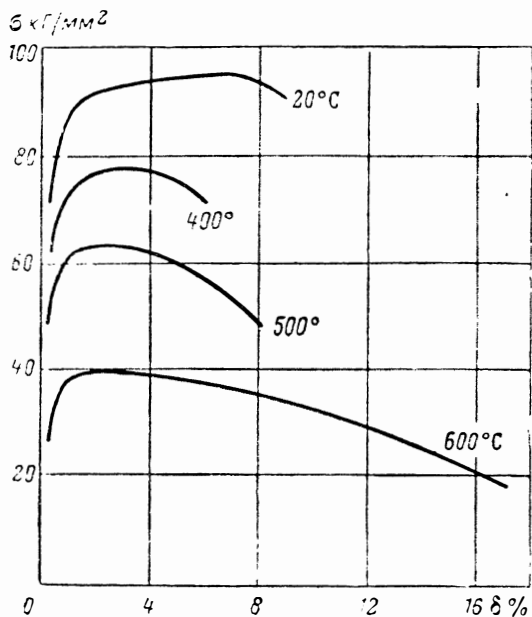
После полирования и пассивирования или электрополирования сталь имеет удовлетворительную коррозионную стойкость в атмосферных условиях.

## Применение

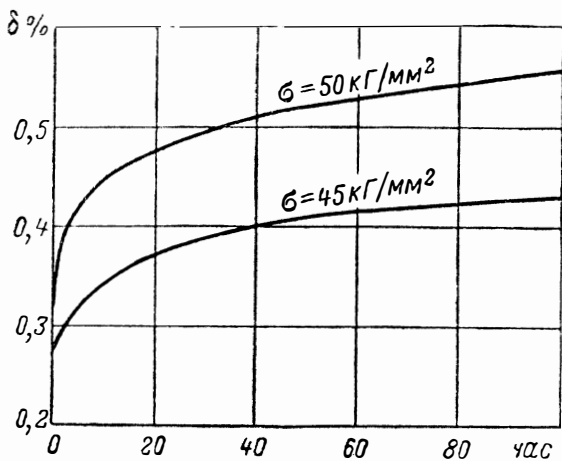
Лопатки компрессора и другие детали, работающие при температурах до 550°С в атмосферных условиях.



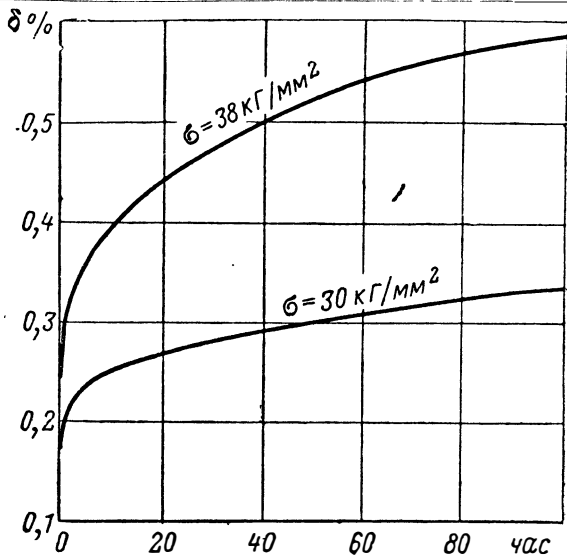
Фиг. 1. Кривые растяжения стали 513Л до предела текучести (отпуск при 680°С).



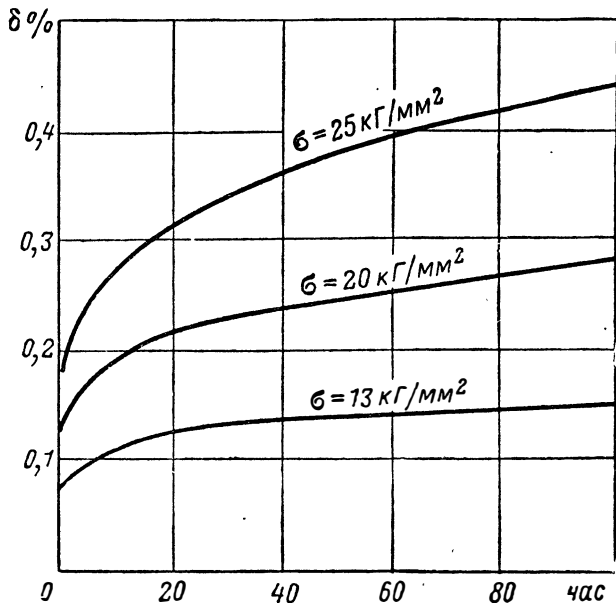
Фиг. 2. Кривые растяжения стали 513Л от предела текучести до разрушения (отпуск при 680° С).



Фиг. 3. Кривые ползучести стали 513Л при температуре 400° С (отпуск при 680° С).



Фиг. 4. Кривые ползучести стали 513Л при температуре 450° (отпуск при 680°С).



Фиг. 5. Кривые ползучести стали 513Л при температуре 500° (отпуск при 680°С).

<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ</b>	<b>ЭИ961Л</b>
-----------------------------	---------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	W	V	Mo	Fe	S   P	
									не более	
0,12— 0,16	0,20— 0,65	0,30— 0,80	10,5— 12,0	1,4— 1,8	1,5— 2,0	0,18— 0,30	0,35—0,50	Основа	0,030	0,030

## Механические свойства по ТУ

Вид полу- фабри- ката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
				кг/мм <sup>2</sup>		%			
Отливки	АМТУ 472—61	Образцы из тре- фообразных загото- вок, термически об- работанные по ре- жимам: 1) закалка с $1070 \pm 20^\circ \text{C}$ на воз- духе; отпуск при $560-580^\circ \text{C}$	20	110	85	10	30	3,5	3,2—3,5
			20	90	75	11	35	3,0	3,55—3,85

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
		кг/мм <sup>2</sup>		%			
Термически обработанный по режиму: закалка с $1070 \pm 10^\circ \text{C}$ на воздухе, отпуск при $570 \pm 10^\circ \text{C}$	20	110— 125	95— 100	12—15	47—60	5,5— 8,0	3,15— 3,45
	500	80— 100	—	8—15	46—59	—	—
	550	75—85	—	9—18	56—67	—	—

Продолжение

Состояние материала	Температура испытания, °C	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_{нл}$ кг·м/см <sup>2</sup>	HB (d мм)
		кг/мм <sup>2</sup>		%			
Термически обработанный по режиму: закалка с $1070 \pm 10^\circ \text{C}$ на воздухе, отпуск при $660-580^\circ \text{C}$	20	95—100	80—85	12—18	40—55	5,5—7,0	3,50—3,70
	500	73—80	—	12—13	50—56	—	—
	550	65—70	—	11—16	60—67	—	—
	600	55—60	—	14—21	63—75	—	—
	625	50—55	—	16—22	74—80	—	—
	650	44—47	—	20—25	80—82	—	—

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
		кг/мм <sup>2</sup>		
Закаленный с $1070 \pm 10^\circ \text{C}$ на воздухе и отпущенный при $570 \pm 10^\circ \text{C}$	20	—	—	42
	500	50	27	37
	550	35	—	—
Закаленный с $1070 \pm 10^\circ \text{C}$ на воздухе и отпущенный при $670 \pm 10^\circ \text{C}$	20	—	—	40
	500	41	—	28
	550	30	—	—
	600	26	12	20
	625	19	—	—
	650	15	—	—

## Физические свойства

$$d = 7,84 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 10,1$  (20—100°); 10,9 (100—200°); 11,6 (200—300°); 12,2 (300—400°); 12,8 (400—500°); 12,7 (500—600°); 12,6 (600—700°) 1/°C.

$\alpha \cdot 10^6 = 10,5$  (20—200°); 10,8 (20—300°); 11,2 (20—400°); 11,5 (20—500°); 11,7 (20—600°); 11,8 (20—700°) 1/°C.

$\lambda = 0,045$  (25°); 0,047 (100°); 0,051 (200°); 0,055 (300°); 0,057 (400°); 0,060 (500°); 0,062 (600°); 0,063 (700°); 0,065 (800°) кал/см·сек·°C.

## Технологические данные

Сталь выплавляют в индукционных печах с основной футеровкой. Температура заливки форм  $1550-1560^\circ \text{C}$ . Жидкотекучесть металла удовлетворительная. Объемная усадка составляет 10—12%.

Рекомендуемые режимы термической обработки: 1) закалка с  $1070 \pm 10^\circ \text{C}$  на воздухе, отпуск при  $570 \pm 10^\circ \text{C}$  на HB ( $d_{отп}$ ) = 3,20 ÷ 3,5 мм; 2) закалка с  $1070 \pm 10^\circ \text{C}$  на воздухе, отпуск при  $670 \pm 10^\circ \text{C}$  на HB ( $d_{отп}$ ) = 3,55 ÷ 3,85 мм.

Сталь удовлетворительно сваривается точечной, дуговой и аргоно-дуговой сваркой. Прочность сварного соединения не меньше прочности основного материала (разрушение происходит по основному материалу).

Коррозионная стойкость стали при чистоте поверхности  $\nabla 7$  и после пассивирования удовлетворительная.

#### **Применение**

Детали двигателей (спрямляющие лопатки компрессора и т. п.), работающие при температурах до  $600^{\circ}\text{C}$

<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ</b>	<b>ВЖЛ10</b>
-----------------------------	--------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al
0,13—0,18	<0,6	<0,6	10—12	22—25	3,2—3,8	0,5—1,0

## Продолжение

W	Mo	V*	Ce*	Fe	S	P
					не более	
3—4	2—3	0,01—0,02	0,02—0,03	Основа	0,01	0,02

\* Вводится по расчету и химическим анализом не определяются.

## Механические свойства по ТУ (не менее) \*

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (Контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
Отливки	АМТУ 490—62	Термически обработанные по режиму: закалка с 1120° С (3 часа) в масле или на воздухе; 1-е старение при 740° С (16 час), охлаждение на воздухе; 2-е старение при 630° С (16 час), охлаждение на воздухе	700 800	65 —	7 —	38 18

\* В зависимости от назначения и условий работы отливок производят или кратковременные испытания или испытания на длительную прочность по одному из указанных режимов.

Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_H$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>				%				
Трефообразные заготовки, отлитые в холодные песчаные формы	Термически обработанные по режиму: закалка с 1120°С (3 часа) в масле; 1-е старение при 740°С (16 час), охлаждение на воздухе; 2-е старение при 630°С (16 час), охлаждение на воздухе	-196	—	—	—	—	—	—	—	2—5	—
		20	19000	85—95	60—67	46—52	10—14	6—11	12—18	2—5	3,2—3,7
		300	17500	—	—	—	—	—	—	—	—
		400	16500	—	—	—	—	—	—	—	—
		500	15800	—	—	—	—	—	—	—	—
		600	15000	80—85	60—63	42—46	—	4,5—8	10—18	—	—
		700	14300	67—75	57—63	42—46	7—10	3—8	6—12	1,8	—
		800	13600	50—57	43—45	26—30	9—12	5—10	10—14	2,6	—

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{100}^H$ *	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов	$\sigma_{-1}^H$ **
			кг/мм <sup>2</sup>				
			кг/мм <sup>2</sup>				
Трефообразные заготовки, отлитые в холодные песчаные формы	Термически обработанные по режиму: закалка с 1120°С (3 часа) в масле; 1-е старение при 740°С (16 час), охлаждение на воздухе; 2-е старение при 630°С (16 час), охлаждение на воздухе	700	38—40	> 40	> 1	33	—
		800	18—20	> 20	> 1	14	20

\* Радиус надреза 0,5 мм; предел прочности гладкого образца за 500 час при 800°С составляет 14—15 кг/мм<sup>2</sup>.

\*\* Радиус надреза 0,75 мм.

Жаростойкость

Сталь удовлетворительно сопротивляется газовой коррозии при температурах до 850—900°С. Привес за 100 час испытания в воздушной среде составляет 0,053 при 800°С; 0,389 при 900°С и 0,561 г/м<sup>2</sup>·час при 1000°С.

Физические свойства

$d = 8,08$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6 = 13,8$  (20—100°); 14,4 (20—200°); 15 (20—300°); 15,7 (20—400°); 16,2 (20—500°); 16,8 (20—600°); 17,3 (20—700°); 18,2 (20—800°) 1/°С.



$\alpha \cdot 10^6 = 15,1$  (100—200°); 16,3 (200—300°); 17,6 (300—400°); 18,5 (400—500°); 19,4 (500—600°); 20,7 (600—700°); 24,2 (700—800°)  $1/^\circ\text{C}$ .

$\lambda = 0,031$  (25°); 0,033 (100°); 0,036 (200°); 0,039 (300°); 0,042 (400°); 0,046 (500°); 0,050 (600°); 0,053 (700°); 0,054 (800°); 0,056 (900°)  $\text{кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C}$ .

$c = 0,105$  (100°); 0,11 (200°); 0,115 (300°); 0,12 (400°); 0,125 (500°); 0,13 (600°); 0,14 (700°); 0,145 (800°); 0,15 (900°)  $\text{кал/г}\cdot^\circ\text{C}$ .

#### Технологические данные

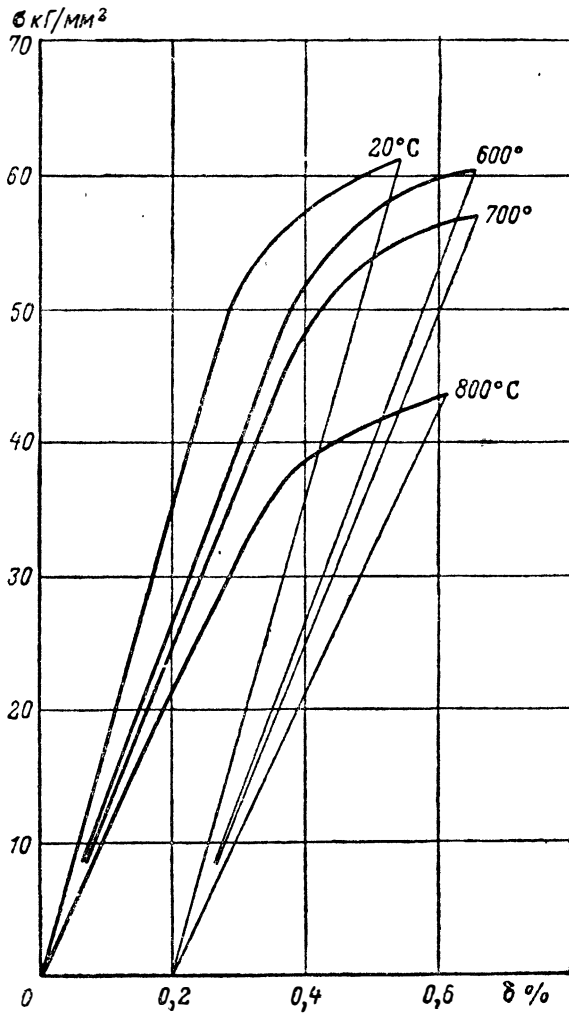
Сталь выплавляют в вакуумных индукционных печах при остаточном давлении  $(1-5) \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст. Жидкотекучесть металла удовлетворительная. Заливка металла производится в вакууме. Температура заливки форм 1510—1530°С. Линейная усадка составляет 2%, объемная 4,5%.

Термическая обработка: закалка с 1120°С (выдержка 3 часа) в масле или на воздухе; 1-е старение при 740°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе; 2-е старение при 630°С — 16 час, охлаждение на воздухе.

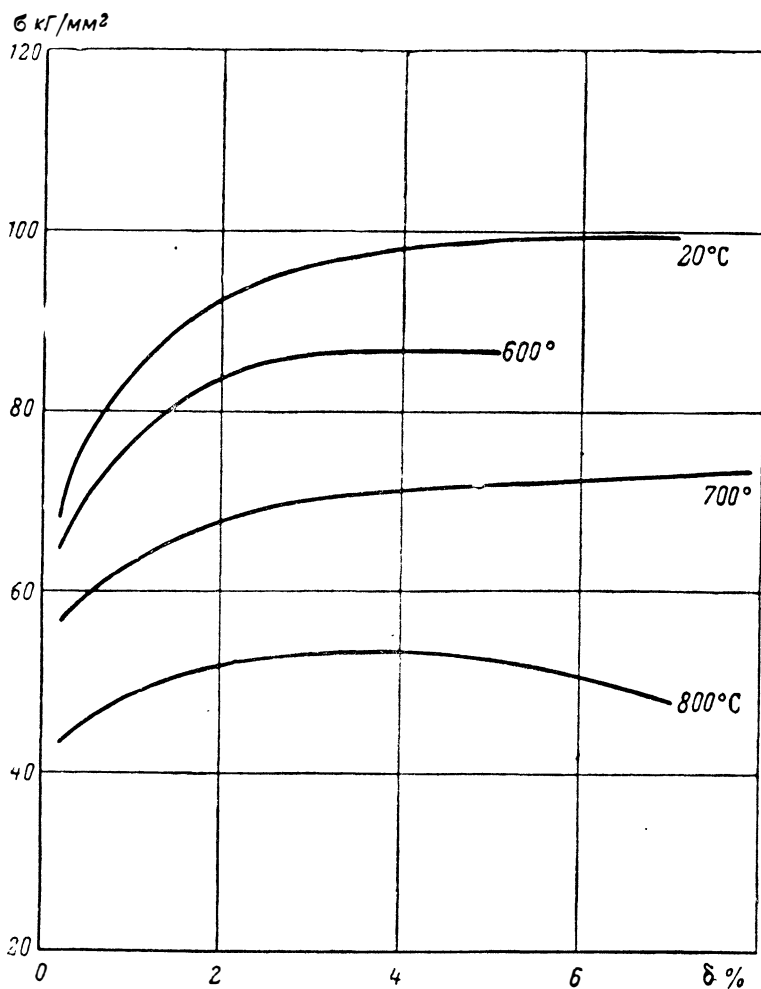
Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием.

#### Применение

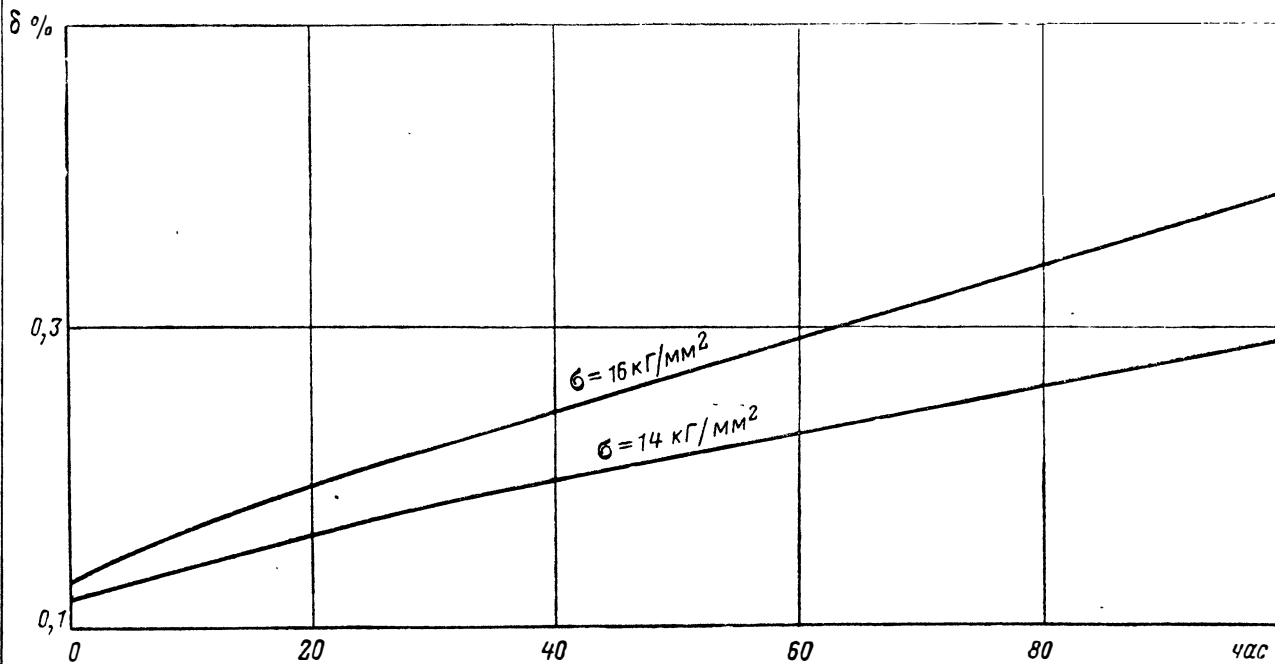
Цельнолитые роторы, рабочие лопатки газовых турбин и другие детали, работающие при температурах до 800°С.



Фиг. 1. Кривые растяжения стали ВЖЛ10 до предела текучести.



Фиг. 2. Кривые растяжения стали ВЖЛ10 от предела текучести до разрушения.



Фиг. 3. Кривые ползучести стали ВЖЛ10 при температуре 800° С.

<b>ХРОМОНИКЕЛЕВАЯ СТАЛЬ</b>	<b>ЭИ696МЛ</b>
-----------------------------	----------------

## Химический состав в %

C*	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al
0,08—0,12	≤0,6	≤0,6	10,5—12,0	22—24	2,5—3,2	0,6—1,0

Продолжение

Mo	Fe	V	Ce	S	P
				не более	
1,3—1,6	Основа	0,01—0,02	0,02—0,03	0,01	0,02

\* В отдельных случаях допускается содержание углерода до 0,16%.

## Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_{40}$ кг/мм <sup>2</sup>	
				кг/мм <sup>2</sup>		%			$\sigma_{40}$ кг/мм <sup>2</sup>
Отливки	СТУ	Термически обработанные по режиму: закалка с 1120°С (3 часа) в масле; 1-е старение при 740°С (16 час), охлаждение на воздухе; 2-е старение при 630°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	85	55	7	12	2	3,3
			800	—	—	—	—	—	3,7

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_{нТ}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)	$\sigma_{40}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$
			кг/мм <sup>2</sup>		%				кг/мм <sup>2</sup>		
Трефообразные заготовки, отлитые в холодные песчаные формы	Термически обработанные по режиму: закалка с 1120°С (3 часа) в масле; 1-е старение при 740°С (16 час), охлаждение на воздухе; 2-е старение при 630°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	85—95	55—65	7—19	12—26	2—4	3,3—3,7	—	—	—
		700	50—60	40—50	6—15	10—25	—	—	—	—	—
		750	—	—	—	—	—	—	—	30	25
		800	30—40	25—30	9—26	23—50	—	—	18	—	15

Жаростойкость

Сталь обладает удовлетворительным сопротивлением газовой коррозии при температурах до 850°С.

Физические свойства

$d = 7,95 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 15,3 (20-100^\circ); 16,5 (100-200^\circ); 17,6 (200-300^\circ); 18,1 (300-400^\circ); 19,0 (400-500^\circ); 19,6 (500-600^\circ); 21,8 (600-700^\circ); 31,6 (700-800^\circ) 1/^\circ\text{С}$ .  
 $\alpha \cdot 10^6 = 15,9 (20-200^\circ); 16,5 (20-300^\circ); 16,9 (20-400^\circ); 17,3 (20-500^\circ); 17,7 (20-600^\circ); 18,2 (20-700^\circ); 19,9 (20-800^\circ) 1/^\circ\text{С}$ .  
 $\lambda = 0,030 (20^\circ); 0,033 (100^\circ); 0,036 (200^\circ); 0,040 (300^\circ); 0,043 (400^\circ); 0,047 (500^\circ); 0,050 (600^\circ); 0,053 (700^\circ); 0,057 (800^\circ); 0,061 (900^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{С}$ .

Технологические данные

Сталь выплавляют в вакуумных индукционных печах при остаточном давлении  $(1-5) \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$  Заливка металла производится в вакууме. Температура заливки форм 1510—1550°С. Линейная усадка 2%, объемная усадка при заливке в холодные и горячие песчаные формы составляет 4,6 и 5,5% соответственно.

Термическая обработка: закалка с  $1120^{\circ}\text{C}$  (выдержка 3 часа) в масле; 1-е старение при  $740^{\circ}\text{C}$  в течение 16 час, охлаждение на воздухе; 2-е старение при  $630^{\circ}\text{C}$  — 16 час, охлаждение на воздухе.

Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием.

#### Применение

Цельнолитые роторы, крыльчатки и другие детали, работающие при температурах до  $800^{\circ}\text{C}$ .

---

Глава II  
СПЛАВЫ

ЖАРОСТОЙКИЕ (ОКАЛИНОСТОЙКИЕ) ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ

СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ	ХН78Т (Х20Н80Т, ЭИ435)
---------------------------	---------------------------

Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti
≤0,12	≤0,8	≤0,7	19—22	≥75	0,15—0,35

Продолжение

Al	Cu	Fe	S	P
			не более	
≤0,15	≤0,2	≤1,0	0,01	0,015

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\delta_{5,65}$
				кг/мм <sup>2</sup>	%
Листы холоднокатаные	ЧМТУ 3126—52	Закаленные с 980—1020 °С в воде или на воздухе	20	70	30
Листы горячекатаные	ЧМТУ 5363—55		20	70	30
Прутки	МПТУ 2362—49	Без термической обработки	Механические испытания не проводятся		
	ЧМТУ ЦНИИЧМ 304—60	Закаленные с 1000±10°С (1—2 часа) на воздухе	800	22	34
Кольца сварные	ЧМТУ ЦНИИЧМ 661—62	Закаленные с 980—1020°С в воде или на воздухе	20	62	30



## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$
		кг/мм <sup>2</sup>				%	
Закаленный с 980—1020 °С на воздухе	20	19 500	73—78	27—30	20	38—40	36
	500	—	62—65	25	—	38—40	—
	600	14 000	60—62	21—22	16	38—40	38
	700	12 000	40—42	19—20	15	35—38	29
	800	9 500	18—22	10—11	6	60—70	39
	900	—	10—12	—	—	80—90	—
	1000	—	6—7	—	—	100—105	—
	1100	—	4—5	—	—	110—115	—
	1200	—	2—3	—	—	120—130	—

## Пределы секундной прочности и ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{10^0}$	$\sigma_{60^0}$	$\sigma_{120^0}$	$\sigma_{180^0}$	$\sigma_{300^0}$	$\sigma_{0,5/10^0}$	$\sigma_{0,5/60^0}$
			кг/мм <sup>2</sup>						
Листы	В состоянии поставки ( $\sigma_B^{20} = 79$ кг/мм <sup>2</sup> )	700	46,5	42	39	37	35	—	23
		800	31	26	23	21	19,5	16,5	12
		900	21	16	13,5	12	11	9,5	6

## Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,5/120^0}$	$\sigma_{0,5/180^0}$	$\sigma_{0,5/300^0}$	$\sigma_{1/10^0}$	$\sigma_{1/60^0}$	$\sigma_{1/120^0}$	$\sigma_{1/180^0}$	$\sigma_{1/300^0}$
			кг/мм <sup>2</sup>							
Листы	В состоянии поставки ( $\sigma_B^{20} = 79$ кг/мм <sup>2</sup> )	700	21	20	18,2	—	25,5	22,5	22	20,6
		800	10,4	8,5	—	17,5	14	12,5	11,5	10
		900	5	4,7	4,5	9,5	8	6	5,4	5

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{5/100}$	$\sigma_{-1}^*$	$\sigma_{-1}^{**}$	$\sigma_{-1}^{***}$	
		кГ/мм <sup>2</sup>							по об-щей де-форма-ции	по остаточ-ной дефор-мации	(на базе 10 <sup>7</sup> циклов)		
		кГ/мм <sup>2</sup>											
Закаленный с 980—1020° С на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	—	—	22	35	23	
	700	16	14	12	10,5	8,8	8	3,8	4	15,5	—	—	
	800	7	6—7	5,5	4,5	3—4	—	1	1	1,8	—	—	
	900	—	—	—	1,5	—	—	—	—	0,7	10	—	
	1000	—	—	—	—	—	—	—	—	0,6	—	—	
Закаленный с 1150° С на воздухе	800	—	—	—	—	—	—	—	—	3,8	—	—	
	900	—	—	—	—	—	—	—	—	2,1	—	—	
	1000	—	—	—	—	—	—	—	—	1,1	—	—	

Жаростойкие (окалиностойкие) деформируемые сплавы

## Термическая стойкость \*

Состояние материала	Температура испытания °С	Число теплосмен
Закаленный с 980—1020° С на воздухе	800—20	130
	900—20	67
	1000—20	35
	1100—20	25
	1200—20	20

\* Испытания проводились на образцах с надрезом радиусом 0,1 мм до появления трещины длиной 0,5 мм.

## Жаростойкость

За 100 час испытания в воздушной среде привес составляет 0,048—0,0591 при 900° С; 0,156 при 1000° С; 0,315—0,466 при 1100° С; 0,507—0,655 г/м<sup>2</sup>·час при 1200° С. За 1000 час испытания при 900° С привес составляет 0,0149—0,0153 г/м<sup>2</sup>·час.

## Физические свойства

$$d=8,35 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 12,8$  (20—100°); 13,5 (20—200°); 14,3 (20—300°); 14,96 (20—400°); 15,54 (20—500°); 16,06 (20—600°); 16,98 (20—700°); 17,48 (20—800°); 17,97 (20—900°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 14,22$  (100—200°); 15,88 (200—300°); 16,95 (300—400°); 17,84 (400—500°); 18,7 (500—600°); 20,5 (600—700°); 21 (700—800°); 21,87 (800—900°) 1/°С.

$\lambda = 0,035$  (100°); 0,040 (200°); 0,044 (300°); 0,049 (400°); 0,054 (500°); 0,059 (600°); 0,064 (700°); 0,069 (800°); 0,076 (900°) кал/с·см·сек·°С.

Сплав немагнитен.

## Степень черноты полного нормального излучения (исследование на воздухе)

Состояние материала	Температура испытания в °С								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Состояние по- ставки	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,27	0,51	0,52	0,53

## Технологические данные

Сплав деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—900°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Листы сплава хорошо обрабатываются давлением в холодном состоянии. Характеристики обработки приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка		Выдавка плоская		Выдавка сферическая		Гибка	
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{мин}$	$r_{раб}$
2,04— 2,10	1,70— 1,75	1,68— 1,75	1,40— 1,52	0,3	0,26	0,45	0,40	1S*	1,5S*

\* S — толщина листа.

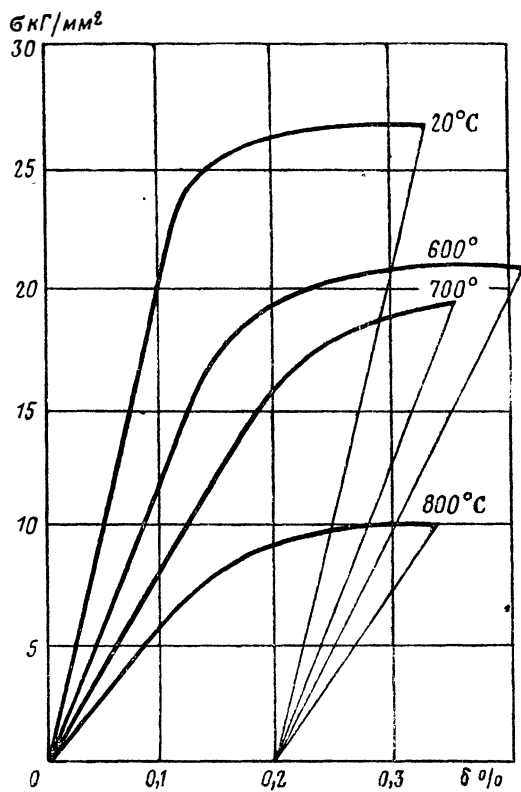
Термическая обработка деталей: закалка с 980—1020°С на воздухе. Эта же обработка рекомендуется для снятия наклепа. Для повышения длительной прочности материала температура закалки повышается до 1150°С.

Сплав вполне удовлетворительно сваривается аргоно-дуговой, дуговой и роликовой сваркой. Механические свойства сварных соединений приведены в таблице.

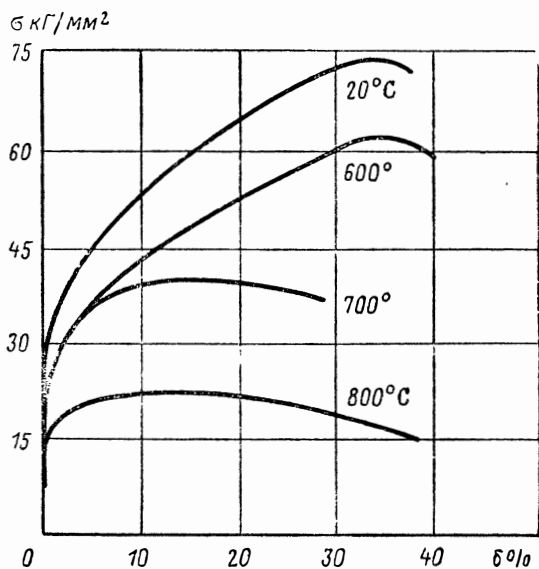
Свариваемый материал	Температура испытания °С	Аргоно-дуговая сварка $\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	Роликовая сварка $\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>
Листы 1,5 мм в толщину в состоянии поставки	20	70—75	65—75
	800	—	12—15
	900	10—12	10

## Применение

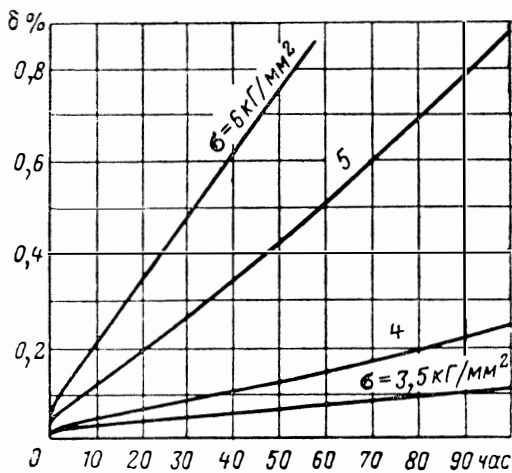
Жаровые трубы камер сгорания и другие детали, работающие при температурах до 1100°С.



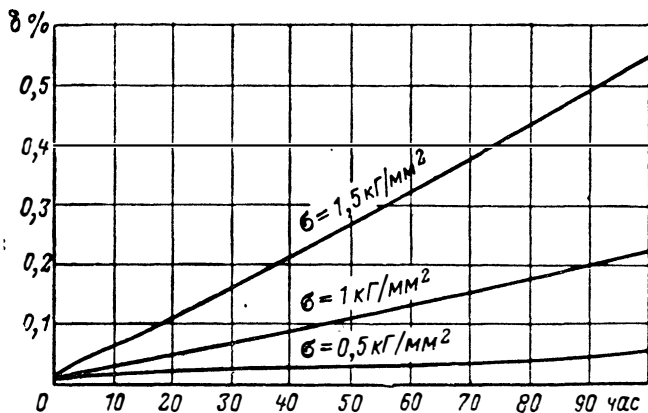
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ХН78Т до предела текучести.



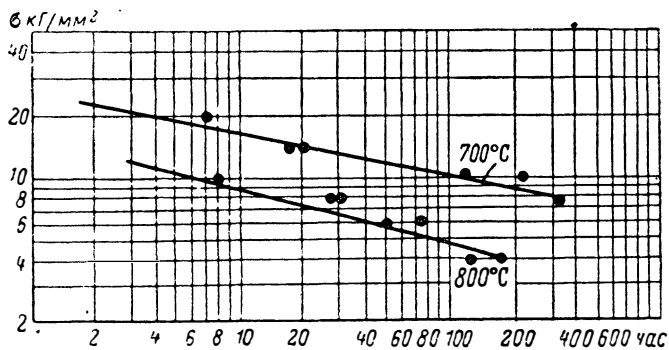
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ХН78Т от предела текучести до разрушения.



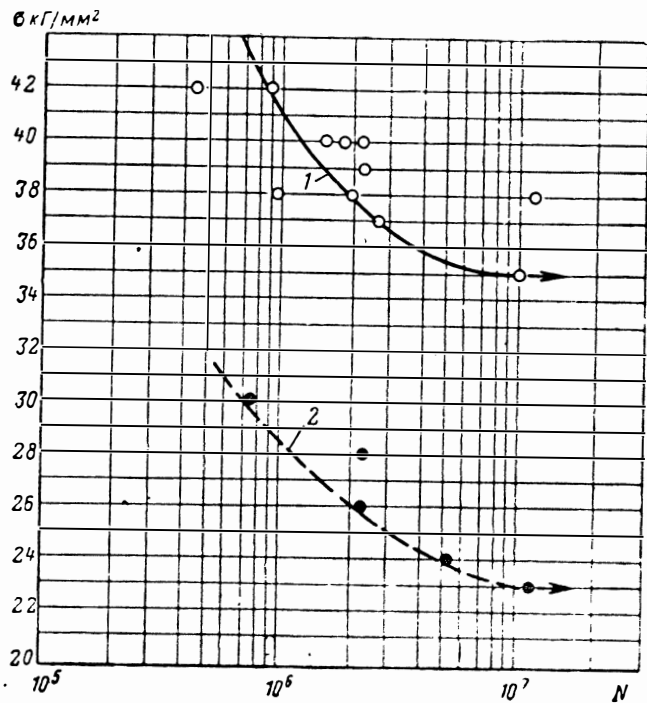
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ХН78Т при температуре 700°С.



Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ХН78Т при температуре 800°С.



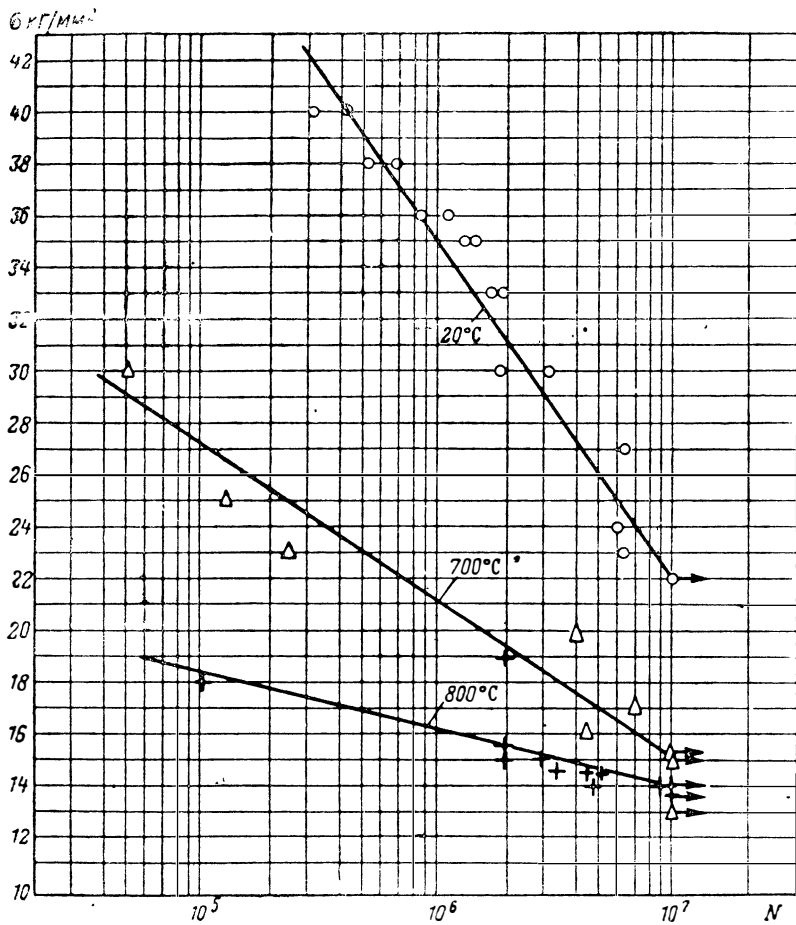
Фиг. 5. Кривые длительной прочности сплава ХН78Т.



Фиг. 6. Кривые выносливости сплава ХН78Т при комнатной температуре (испытание при консольном изгибе).

1—образцы гладкие, 2—образцы с надрезом.





Фиг. 7. Кривые выносливости сплава ХН78Т при комнатной и высоких температурах (испытание при изгибе в одной плоскости).

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ХН75МБТЮ (ЭИ602)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb
≤0,08	≤0,8	≤0,4	19—22	Основа	1,8—2,3	0,9—1,3

Продолжение

Ti	Al	Cu	Fe	S	P
				не более	
0,35—0,75	0,35—0,75	≤0,2	≤3,0	0,012	0,02

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_{\text{в}}$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\psi$
					%	
Листы холоднокатаные	ЧМТУ 3589—53		20	75	40	—
			800	25	40	—
Листы горячекатаные	ЧМТУ 4830—54	Закаленные с 1050—1080°С на воздухе	20	75	40 (l=5d)	45
			800	25	40 (l=5d)	50
Проволока сварочная	ЧМТУ ЦНИИЧМ 514—61	Диаметром до 2 мм—нагартованная; более 2 мм—закаленная	Механические свойства не определяются			

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$E$	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пл}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$
			кг/мм <sup>2</sup>					%	
Листы	Закаленные с 1050—1080° С на воздухе	20	20 000	21 500	83—86	40	33	45	38—45
		500	16 300	17 900	75	32	23	44	37—44
		600	15 000	17 200	66	30	23	42	35—42
		700	13 700	16 500	55	27	20	42	35—42
		800	10 000	15 800	29	15	7,5	40	30—35
		900	—	15 000	17—18	—	—	78	70
		1000	—	—	9—10	—	—	75	—
Листы	Закаленные с 1170° С на воздухе	20	—	—	77	—	—	62	—
		800	—	—	29	—	—	63	—
		900	—	—	18	—	—	74	—
		1000	—	—	10	—	—	75	—

## Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%	
Листы толщиной 1,5 мм	В состоянии поставки	—196	112	55	38	14

## Пределы секундной прочности и ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$	$\sigma_{0,5/10''}$	$\sigma_{0,5/60''}$
			кг/мм <sup>2</sup>						
Листы	В состоянии поставки ( $\sigma_B^{20} = 84$ кг/мм <sup>2</sup> )	600	74	—	—	—	74	—	—
		700	61	56,5	53,5	51	48	45	38,8
		800	40,5	36	32,5	30	27	25	18
		900	26	21,5	19	17,5	15,5	14,8	10,7

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,5/120''}$	$\sigma_{0,5/180''}$	$\sigma_{0,5/300''}$	$\sigma_{1/60''}$	$\sigma_{1/120''}$	$\sigma_{1/180''}$	$\sigma_{1/300''}$
			кг/мм <sup>2</sup>						
Листы	В состоянии поставки ( $\sigma_B^{20} = 84$ кг/мм <sup>2</sup> )	600	—	—	—	—	—	—	—
		700	35	33	31	41,4	38,2	36,4	34,2
		800	16	15	13,5	20	17,5	16,5	15,3
		900	9,5	8,6	7,8	12,4	10,6	9,8	8,9

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$
		кг/мм <sup>2</sup>		
Закаленный с 1080° С на воздухе	700	18	16—17	15
	800	8	6—7	6
	900	—	2,9	2,2
Закаленный с 1170° С на воздухе	800	—	9	8,8
	900	—	4,1	3,5

## Пределы ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{5/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе $10^7$ циклов
		остаточная деформация	общая деформация		
Закаленный с 1080°С на воздухе	800	—	—	4,3	—
	900	—	—	1,4	—
	1000	—	—	0,6	—
	1100	—	—	0,5	—
Закаленный с 1170°С на воздухе	800	—	—	6,5	—
	900	—	—	3	—
	1000	—	—	1,1	—
	1100	—	—	0,55	—
Закаленный с 1050—1080°С на воздухе (состояние поставки)	20	—	—	—	28
	700	6,8	6	—	24
	800	2,1 *	2	—	19

## Термическая стойкость \*

Состояние материала	Температура испытания °С	Число теплосмен
Закаленный с 1050—1080°С на воздухе	800—20	110
	900—20	52
	1000—20	38
	1100—20	20
Закаленный с 1170°С на воздухе	800—20	80
	900—20	33
	1000—20	20
	1100—20	12

\* Испытания проводились на образцах с надрезом радиусом 0,1 мм до появления трещины длиной 0,5 мм.

## Физические свойства

$$d=8,3 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=12,4$  (20—100°); 12,93 (20—200°); 13,35 (20—300°); 13,77 (20—400°); 14,17 (20—500°); 14,56 (20—600°); 15,07 (20—700°); 15,56 (20—800°); 16,0 (20—900°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6=13,47$  (100—200°); 14,2 (200—300°); 15,0 (300—400°); 15,8 (400—500°); 16,5 (500—600°); 18,1 (600—700°); 19,0 (700—800°); 19,6 (800—900°); 20,8 (900—1000°) 1/°С.

$\lambda=0,032$  (100°); 0,036 (200°); 0,040 (300°); 0,044 (400°); 0,048 (500°); 0,053 (600°); 0,058 (700°); 0,064 (800°); 0,070 (900°) кал/см·сек °С.

## Степень черноты полного нормального излучения

Состояние материала	Температура испытания в °С								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	степень черноты								
Состояние поставки	0,25	0,25	0,25	0,25	0,255	0,28	0,485	0,625	0,68

## Технологические данные

Сплав деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1150—950°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка		Выдавка плоская		Выдавка сферическая		Гибка	
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{мин}$	$r_{раб}$
2,1— 2,14	1,8— 1,82	1,85— 2,0	1,65— 1,70	0,30— 0,33	0,25— 0,28	0,45— 0,53	0,38— 0,45	1S	1,5S

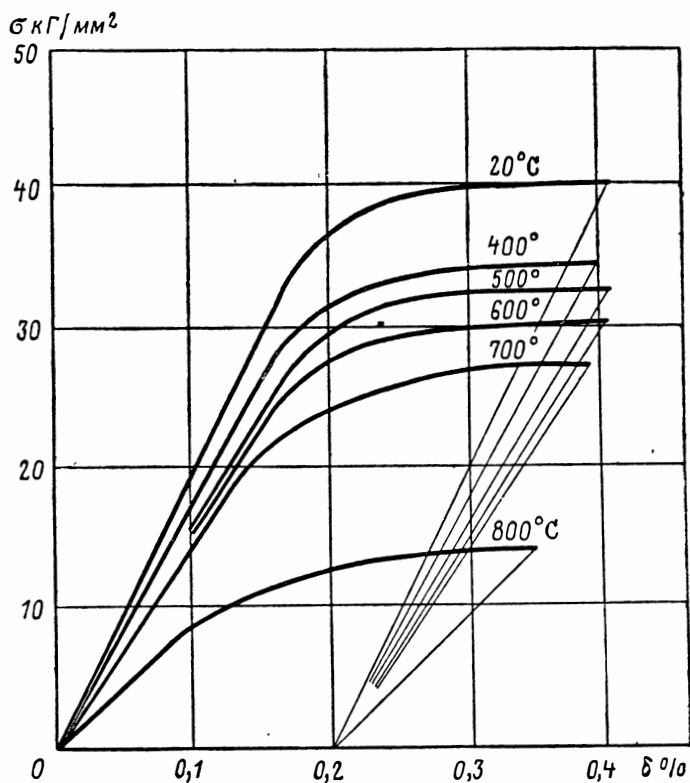
Рекомендуемые режимы термической обработки: закалка с 1060—1080°С на воздухе; для снятия наклепа — закалка с 1040—1060°С на воздухе. Для увеличения длительной прочности температуру закалки повышают до 1150—1170°С.

Сплав вполне удовлетворительно сваривается аргоно-дуговой, дуговой и роликовой сваркой. Механические свойства сварных соединений приведены в таблице.

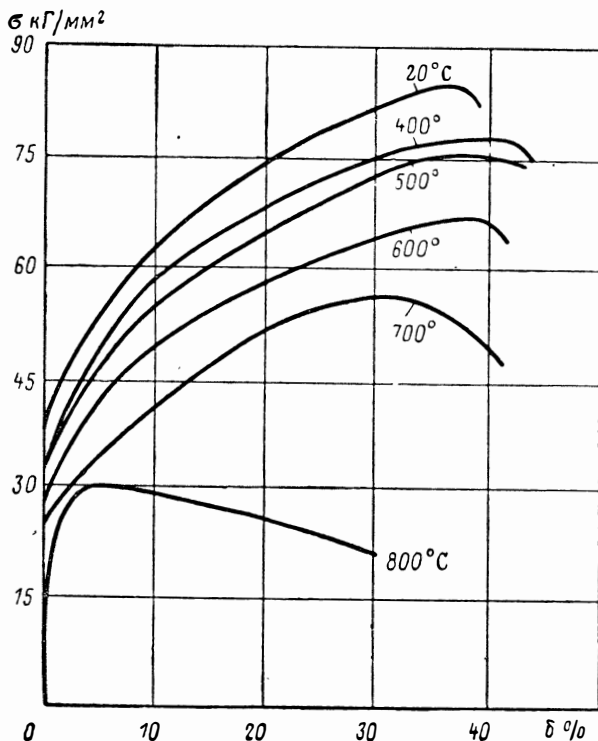
Свариваемый материал	Температура испытания °С	Аргоно-дуговая сварка $\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	Роликовая сварка $\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>
Листы толщиной 1,5 мм в состоянии поставки	20	80—86	70—85
	700	45—50	40
	800	—	25—30
	900	16—18	14—18

## Применение

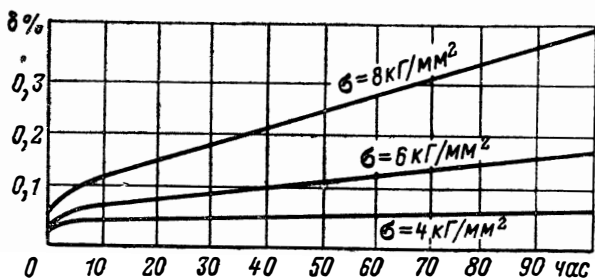
Жаровые трубы, форсажные камеры и другие детали, изготавливаемые штамповкой и сваркой, работающие при температурах до 900°С.



Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ХН75МБТЮ до предела текучести.

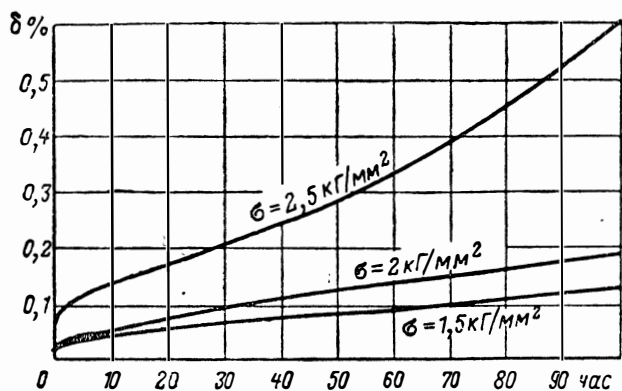


Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ХН75МБТЮ от предела текучести до разрушения.

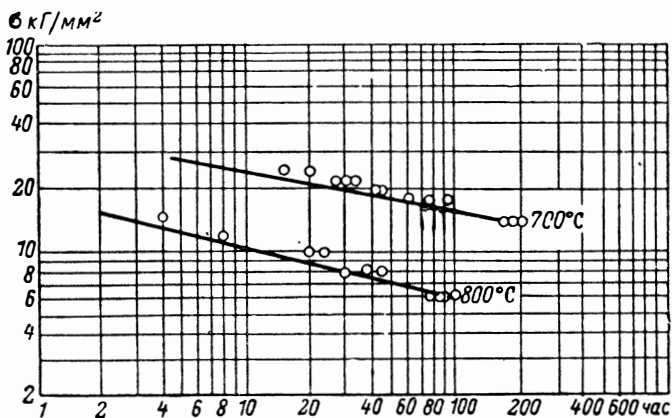


Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ХН75МБТЮ при температуре  $700^\circ\text{C}$ .

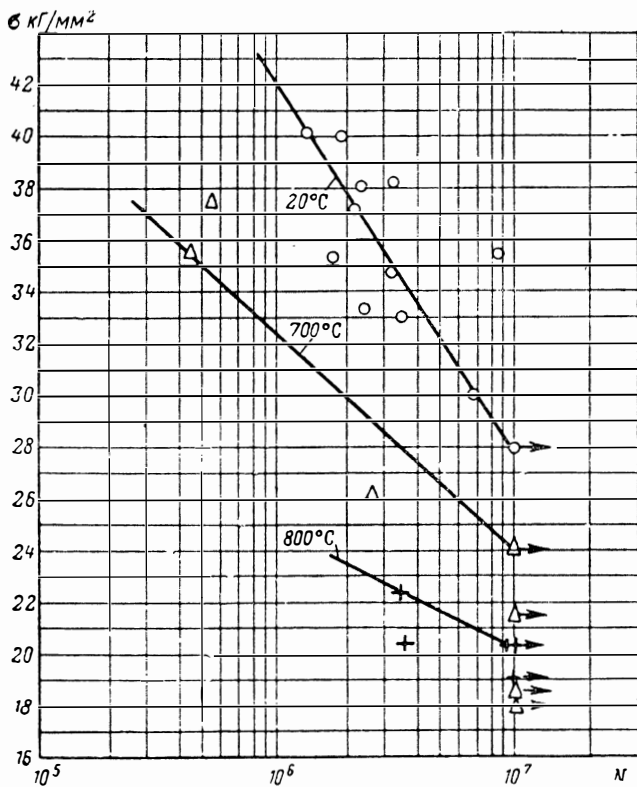




Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ХН75МБТЮ при температуре 800°C.



Фиг. 5. Кривые длительной прочности сплава ХН75МБТЮ.



Фиг. 6. Кривые выносливости сплава ХН75МБТЮ при комнатной и высоких температурах (испытание при изгибе в одной плоскости листа толщиной 1,7 мм).

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ХН70Ю (ЭИ652)

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	Al	Ce	Ba	S	P
									не более	
≤0,10	≤0,80	≤0,30	26,5—28,5	Основа	≤1,0	2,8—3,5	≤0,03	≤0,08	0,020	0,020

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
Листы холоднокатаные	ЧМТУ 4712—54	Закаленные с 1100°С на воздухе	20	75	30	—
			900	11	25	—
Листы горячекатаные	ЧМТУ 5481—56	Закаленные с 1200°С на воздухе	20	75	30	—
			900	15	20	3
Проволока сварочная	ЧМТУ ЦНИИЧМ 514—61	Диаметром до 2 мм, нагартованная, более 2 мм—закаленная	Механические свойства не определяются			

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{0,5/100}^*$
				кг/мм <sup>2</sup>			
Закаленный с 1200°С на воздухе	20	75	75	—	—	—	—
	700	42	10	—	—	—	—
	800	36	14	—	—	8	—
	900	15	65	4	3	—	2,5
	1000	8,6	55	—	—	—	1,2
	1100	3,8	79	—	—	—	0,7
	1200	2,4	136	—	—	—	—
Закаленный с 1100°С на воздухе	900	—	—	—	—	—	0,8
	1000	—	—	—	—	—	0,6
	1100	—	—	—	—	—	0,45

\* Испытания проводились на конических образцах.

## Термическая стойкость \*

Состояние материала	Температура испытания °С	Число теплосмен
Закаленный с 1200°С на воздухе	800—20	87
	1200—20	26

\* Испытания проводились на образцах с надрезом радиусом 0,1 мм до появления трещины длиной 0,5 мм.

## Жаростойкость

Сплав обладает жаростойкостью до 1200°С. За 100 час испытания в воздушной среде привес составляет: 0,0675 г/м<sup>2</sup>·час при 1100°; 0,16—0,48 г/м<sup>2</sup>·час при 1200°С.

## Физические свойства

$$d=7,9 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 13,14$  (20—100°); 13,86 (20—200°); 14,75 (20—300°); 15,68 (20—400°); 16,39 (20—500°); 17,81 (20—600°); 22,42 (20—700°); 25,47 (20—800°); 21,34 (20—900°); 21,21 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,028$  (25°); 0,030 (100°); 0,033 (200°); 0,037 (300°); 0,041 (400°); 0,045 (500°); 0,050 (600°); 0,055 (700°); 0,059 (800°); 0,064 (900°) кал/см·сек·°С.

Сплав немагнитен.

## Технологические данные

Сплав деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1200—1000° С. Охлаждение после деформации на воздухе. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка		Гибка	
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{мин}$	$r_{раб}$
2,05—2,15	1,70—1,75	1,70—1,75	1,60—1,65	0,5S*	1S*

\* S — толщина листа.

Термическая обработка: для снятия нагартовки рекомендуется закалка с 1100—1150° С на воздухе; окончательная термическая обработка: закалка с 1200° С (выдержка 10 мин) на воздухе. Сплав в виде тонких листов удовлетворительно сваривается всеми видами сварки. Механические свойства сварных соединений приведены в таблице.

Свариваемый материал	Температура испытания °С	Аргоно-дуговая сварка $\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	Роликовая сварка $\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>
Листы толщиной 1,5 мм в состоянии поставки	20	80	70—80
	800	36	20—24
	900	12—14	12—14

Сплав склонен к образованию трещин в условиях теплосмен при температурах выше 800° С.

## Применение

Детали (карманы камер сгорания, экраны и др.), работающие при температурах до 1100° С.

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ХН60В (ЭИ868, ВЖ98)</b>
----------------------------------	--------------------------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W
≤0,10	≤0,80	≤0,50	23,5—26,5	Основа	13—16

## Продолжение

Ti	Al	Fe	Са или Mg (расчетн.)	S	P
				не более	
0,3—0,7	≤0,50	≤4,0	≤0,07	0,013	0,013

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабри- ката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %	$\psi$ %	$\sigma_{60}$ кг/мм <sup>2</sup>
Листы холоднока- танные	ЧМТУ 5359—57	Закаленные с $1140 \pm 20^\circ \text{C}$ (5 мин) на воздухе	20	75	40	—	—
			900	20	30	—	—
Листы горячекат- танные тол- щиной 5—16 мм	ЧМТУ 5855—57	Закаленные с $1140 \pm 20^\circ \text{C}$ на воздухе	20	75	40	—	—
			900	20	30	—	—
Лента	ЧМТУ 5482—56	Закаленная с $1160—1200^\circ \text{C}$ в воде или на воздухе	20	70	30 ( $l = 11,3\sqrt{F}$ )	—	—

Продолжение

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %	$\psi$ %	$\sigma_{90}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки диаметром от 8 до 60 мм	ЧМТУ	Закаленные с $1160 \pm 10^\circ \text{C}$ (30 мин—1 час) на воздухе	900	20	30 ( $l=5d$ )	40	—
	ЦНИИЧМ 293—60						
Прутки—трубные заготовки диаметром от 60 до 165 мм	ЧМТУ	Закаленные с $1200^\circ \text{C}$ (1—2 часа) на воздухе	900	20	30 ( $l=5d$ )	40	7
	ЦНИИЧМ 304—60						
Трубы тонкостенные электрополированные	ТУТ 155—57	Термически обработанные	В соответствии с требованиями ТУ				

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$E_d$	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{лц}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$
			кг/мм <sup>2</sup>					%	
Листы	Закаленные с $1200^\circ \text{C}$ (5—10 мин) на воздухе	20	21 800	20 000	75—90	30—35	20—25	45—65	35
		500	19 800	—	65—72	—	—	50—65	—
		600	19 200	—	60—65	—	—	55—68	—
		700	18 400	13 900	51—56	21—25	18—20	45—55	—
		800	17 600	11 250	38—43	19—23	13—18	40—55	33
		900	16 600	8100	21—25	10—14	6—9	50—60	40
		1000	15 300	5000	13—16	6—7	3,5—4,5	50—62	—
		1100	14 200	—	8—9	—	—	55—68	—
1200	—	—	4—4,5	—	—	55—70	—		

## Пределы секундной прочности и ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{10^4}$	$\sigma_{60^4}$	$\sigma_{120^4}$	$\sigma_{180^4}$	$\sigma_{0,5/10^4}$	$\sigma_{0,5/60^4}$	$\sigma_{0,5/120^4}$
			кг/мм <sup>2</sup>						
Листы	В состоянии поставки ( $\sigma_{\text{в}}^{20} = 90$ кг/мм <sup>2</sup> )	700	65	63,5	62	60,5	—	—	—
		800	51	40	35	34	30	22	19,4
		900	31	22	19,5	19	17	11,5	9,4
		1000	20	12	10	9,5	9	5,8	5

## Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,5/180^4}$	$\sigma_{0,5/300^4}$	$\sigma_{1/10^4}$	$\sigma_{1/60^4}$	$\sigma_{1/120^4}$	$\sigma_{1/180^4}$	$\sigma_{1/300^4}$
			кг/мм <sup>2</sup>						
Листы	В состоянии поставки ( $\sigma_{\text{в}}^{20} = 90$ кг/мм <sup>2</sup> )	700	—	—	—	—	—	—	—
		800	18,4	17,2	—	24,4	21,8	20,6	19,2
		900	8,5	7,3	10	13,7	11,5	10,4	9
		1000	4,5	3,8	—	6,8	5,6	5,2	4,2

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
		кг/мм <sup>2</sup>				
Закаленный с 1200°С (5—10 мин) на воздухе	20	—	—	—	—	30
	800	11	9,5	8,7	3,3	16,5
	900	5,2	4,3	4	1,2	12,5



## Термическая стойкость \*

Состояние материала	Температура испытания °С	Число теплосмен
Закаленный с 1200° С (5 мин) на воздухе	800—20	140
	900—20	56
	1000—20	33
	1100—20	21
	1200—20	14

\* Испытания проводились на образцах с надрезом, радиусом 0,1 мм до появления трещины длиной 0,5 мм.

## Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде привес составляет: при 1100° С 0,365 г/м<sup>2</sup>·час (без покрытия) и 0,145 г/м<sup>2</sup>·час (с покрытием эмалью ЭВ-55); при 1200° С 0,607 г/м<sup>2</sup>·час (без покрытия).

## Физические свойства

$d=8,88$  г/см<sup>3</sup>.

$\alpha \cdot 10^6=13,2$  (20—200°); 13,6 (20—300°); 14,1 (20—400°); 14,5 (20—500°); 15,1 (20—600°); 15,6 (20—700°); 16,0 (20—800°); 16,2 (20—900°); 16,8 (20—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6=12,7$  (20—100°); 13,66 (100—200°); 14,54 (200—300°); 15,36 (300—400°); 16,16 (400—500°); 17,98 (500—600°); 18,80 (600—700°); 18,88 (700—800°); 19,66 (800—900°); 20,40 (900—1000°) 1/°С.

$\lambda=0,023$  (20°); 0,025 (100°); 0,028 (200°); 0,033 (300°); 0,039 (400°); 0,045 (500°); 0,051 (600°); 0,056 (700°); 0,061 (800°); 0,067 (900°) кал/см·сек·°С.

$\epsilon=0,105$  (100°); 0,11 (200°); 0,115 (300°); 0,12 (400°); 0,125 (500°); 0,13 (600°); 0,13 (700°); 0,135 (800°); 0,14 (900°) кал/г·°С.

Сплав немагнитен.

## Технологические данные

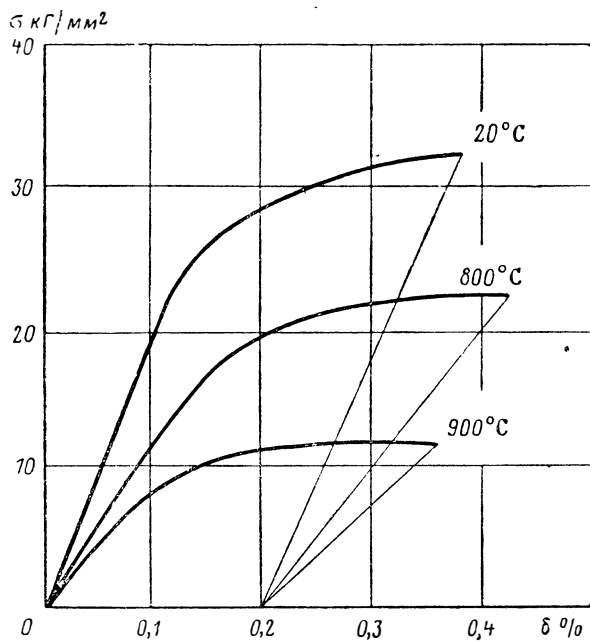
Сплав деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—1050° С. Охлаждение после деформации на воздухе. Сплав можно деформировать глубокой вытяжкой. Предельный коэффициент вытяжки  $K_{пр}=2,06$ .

Рекомендуемая термическая обработка: промежуточная — загрузка в печь, нагретую до 1130—1150°, время выдержки с момента загрузки 3—5 мин, охлаждение на воздухе; окончательная — загрузка в печь, нагретую до 1170—1200° С, время выдержки с момента загрузки 3—5 мин, охлаждение на воздухе.

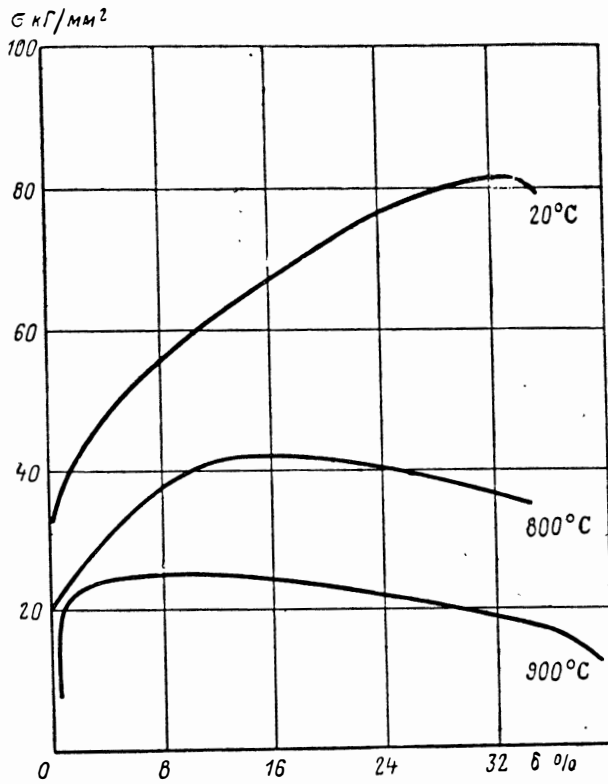
Сплав хорошо сваривается всеми видами сварки. Обрабатывается резанием удовлетворительно.

## Применение

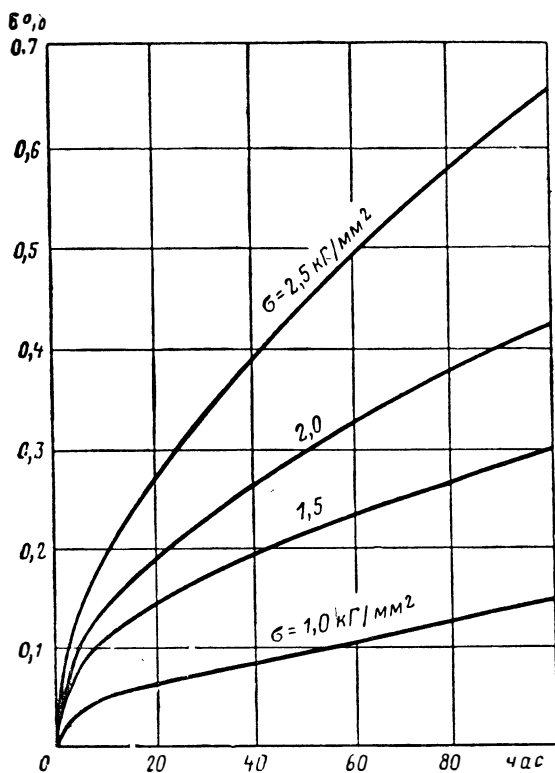
Детали камер сгорания, форсажные камеры, экраны, трубы и другие детали, работающие при температурах 950—1100° С.



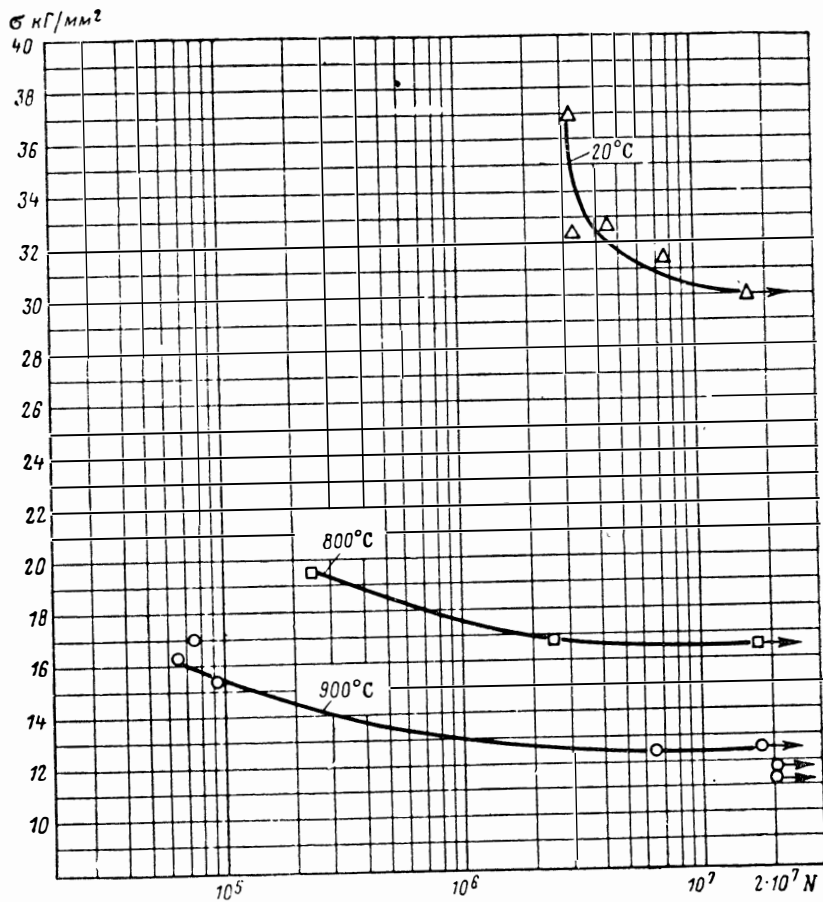
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ХН60В до предела текучести



Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ХН60В от предела текучести до разрушения.



Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ХН60В при температуре 900° С.



Фиг. 4. Кривые выносливости сплава ХН60В при комнатной и высоких температурах (испытание при изгибе в одной плоскости листа толщиной 1,5 мм).

## ЖАРОПРОЧНЫЕ ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ

СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ХН77ТЮР (ЭИ437Б)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Al*	Ti*
<0,06	<0,65	<0,35	19—22	Основа	0,55—0,95	2,3—2,7

## Продолжение

B	Ce	Fe	Cu	Pb	S	P
					не более	
<0,01	<0,01	<1	<0,07	<0,001	0,007	0,015

\* Допускается отклонение по содержанию титана до +0,1% и алюминия до +0,05%.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °C	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	HB ( <i>d</i> мм)	$\sigma_{60}$	$\sigma_{80}$
					%			кг/мм <sup>2</sup>	
Прутки горячекатаные	ЧМТУ 5211—55	Термически обработанные по режиму: закалка с $1080 \pm 10^\circ \text{C}$ (8 час) на воздухе; старение при $700 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,45—3,8	—	—
			700	70	15	20	—	44	42



## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °C	σ <sub>1</sub>	σ <sub>5</sub>	σ <sub>10</sub>	σ <sub>25</sub>	σ <sub>50</sub>	σ <sub>100</sub>	σ <sub>200</sub>	σ <sub>500</sub>	σ <sub>1000</sub>	σ <sub>2000</sub>
		кг/мм <sup>2</sup>									
Термически обработанный по режиму: закалка с 1080±10°С (8 час) на воздухе; старение при 700±10°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	600	82	80	—	—	70	68**— 75***	66**	59**— 65***	56**— 60***	52**— 55***
	650	—	—	—	—	—	60	58	—	—	—
	700	62	59	54	47	45—49	41**— 45***	39**— 43***	32**— 35***	30**— 32***	28**— 30***
	750	—	—	—	—	—	30	29	—	—	—
	800	39	37	31	—	27	20**— 25***	—	12**— 15***	10**— 12***	8**— 10***
900	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Продолжение

Состояние материала	Температура испытания °C	σ <sub>0,2/100</sub>	σ <sub>0,2/100</sub>	σ <sub>0,2/500</sub>	σ <sub>-1</sub>					σ <sub>H</sub> <sup>*</sup> <sub>-1</sub>	
		общая деформация	остаточная деформация	на базе циклов:							
				10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	2·10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>		
		кг/мм <sup>2</sup>									
Термически обработанный по режиму: закалка с 1080±10°С (8 час) на воздухе; старение при 700±10°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	37	—	—	—	22
	600	—	58	—	—	36—38	31—36	27—34	26,5	23—28	
	650	29	46	—	—	—	—	—	—	—	
	700	26	40	26	49	40—44	37—39	34—36	31—33	23—25	
	750	19	25	—	—	—	—	—	—	—	
	800	15	17	11	40	33—34	26—29	22—25	22—23	24	
900	—	—	—	—	21	15	11	—	—		

\* Радиус надреза 0,75 мм.

\*\* Минимальный показатель предела длительной прочности.

\*\*\* Средний показатель предела длительной прочности.

## Физические свойства

 $d=8,2 \text{ г/см}^3$ .
 $\alpha \cdot 10^6 = 12,4 (20-100^\circ); 13,4 (100-200^\circ); 14,2 (200-300^\circ); 15,0 (300-400^\circ);$   
 $15,8 (400-500^\circ); 16,9 (500-600^\circ); 17,7 (600-700^\circ); 18,7 (700-800^\circ); 21,3 (800-900^\circ);$   
 $22,6 (900-1000^\circ) 1/^\circ\text{C}.$



$\alpha \cdot 10^6 = 12,9$  (20—200°); 13,3 (20—300°); 13,8 (20—400°); 14,2 (20—500°); 14,6 (20—600°); 15,1 (20—700°); 15,5 (20—800°); 16,2 (20—900°); 16,8 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,030$  (20°); 0,033 (100°); 0,037 (200°); 0,041 (300°); 0,045 (400°); 0,050 (500°); 0,056 (600°); 0,060 (700°); 0,067 (800°); 0,074 (900°) кал/см·сек·°С.

$c = 0,105$  (100°); 0,11 (200°); 0,12 (300°); 0,13 (400°); 0,135 (500°); 0,14 (600°); 0,15 (700°); 0,16 (800°); 0,16 (900°) кал/г·°С.

$\rho = 1,24$  (20° С) *ом·мм<sup>2</sup>/м*.

### Технологические данные

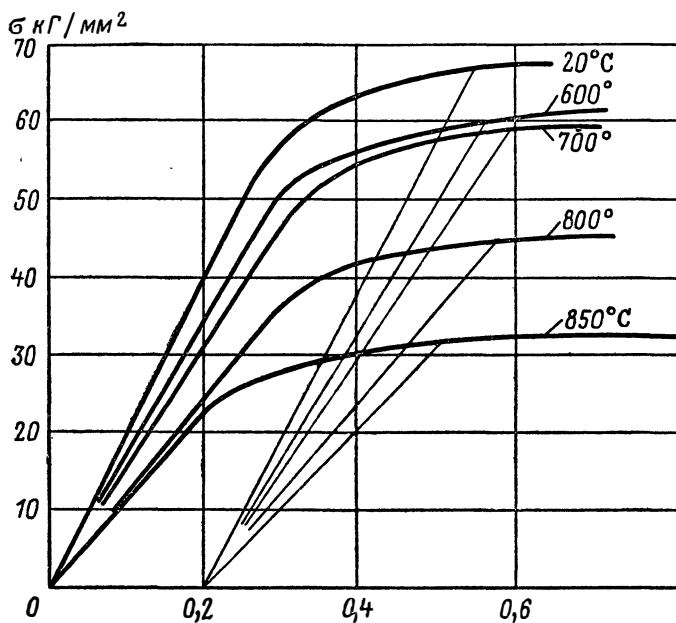
Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1150—980° С. Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 60%. При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,2 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск 0,5 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

Термическая обработка: закалка с  $1080 \pm 10^\circ \text{С}$  (выдержка 8 час) на воздухе; старение при 700° С в течение 16 час, охлаждение на воздухе (см. инструкцию № 542—54).

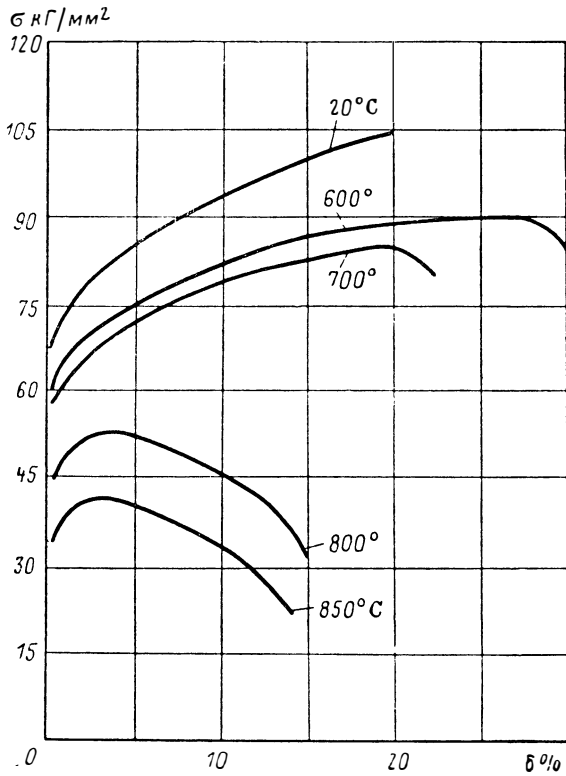
Готовые детали для снятия остаточных напряжений в поверхностном слое подвергают электрополированию или отпуску по режиму: нагрев в среде аргона при 850° С в течение 2 час, охлаждение до 600° С в среде аргона, далее на воздухе, затем нагрев при 700° С в течение 8 час в воздушной среде, охлаждение на воздухе.

### Применение

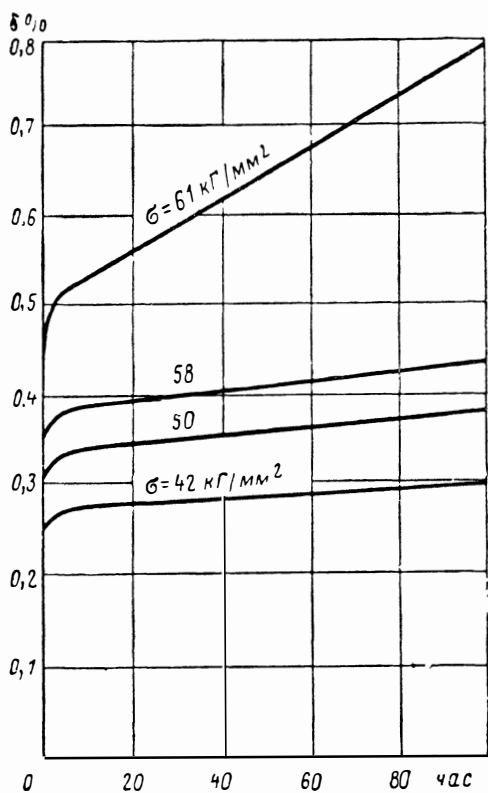
Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах до 750° С.



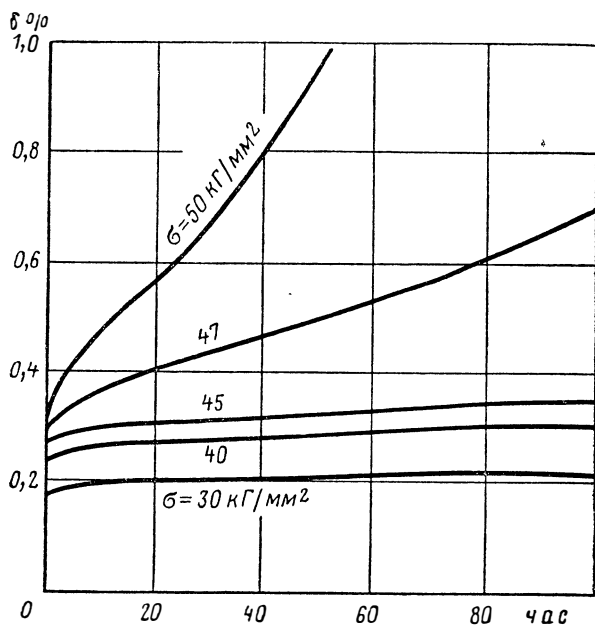
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ХН77ТЮР до предела текучести.



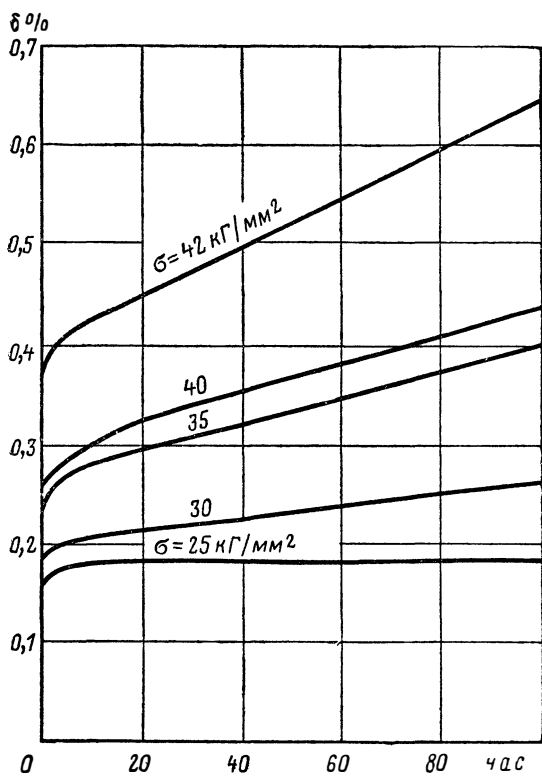
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ХН77ТЮР от предела текучести до разрушения.



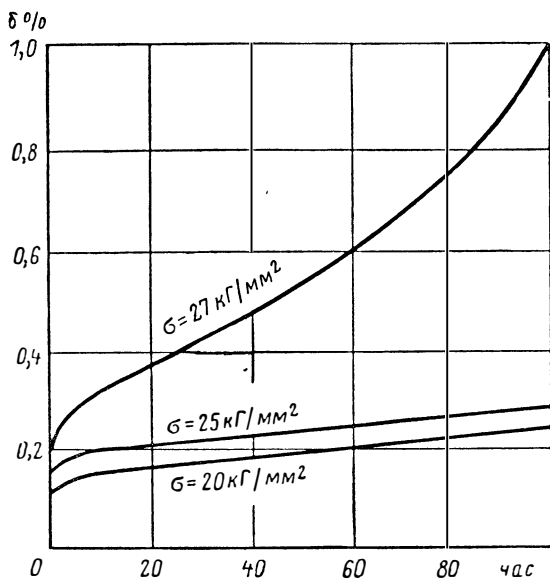
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ХН77ТЮР при температуре  $600^\circ\text{C}$ .



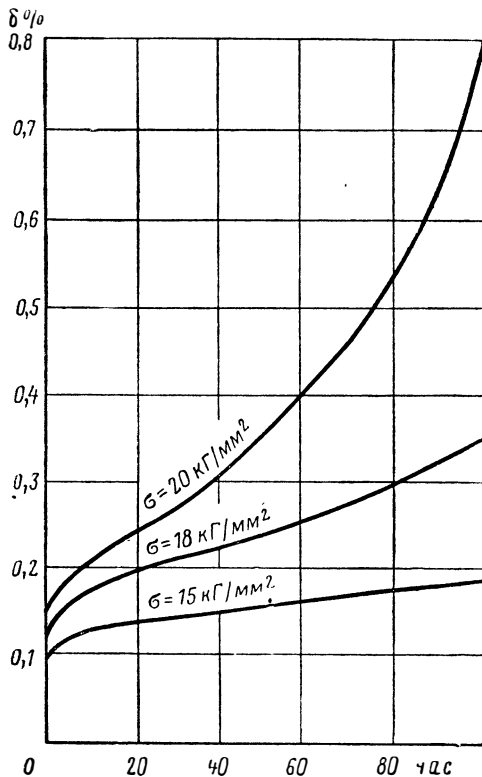
Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ХН77ТЮР при температуре 650° С.



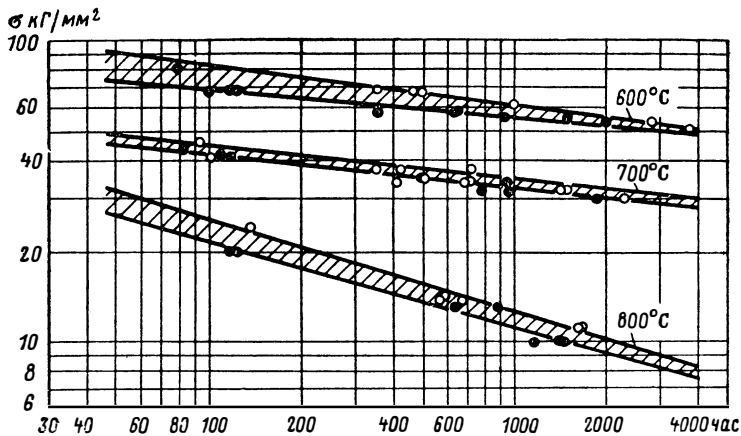
Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ХН77ТЮР при температуре 700° С.



Фиг. 6. Кривые ползучести сплава ХН77ТЮР при температуре 750° С.

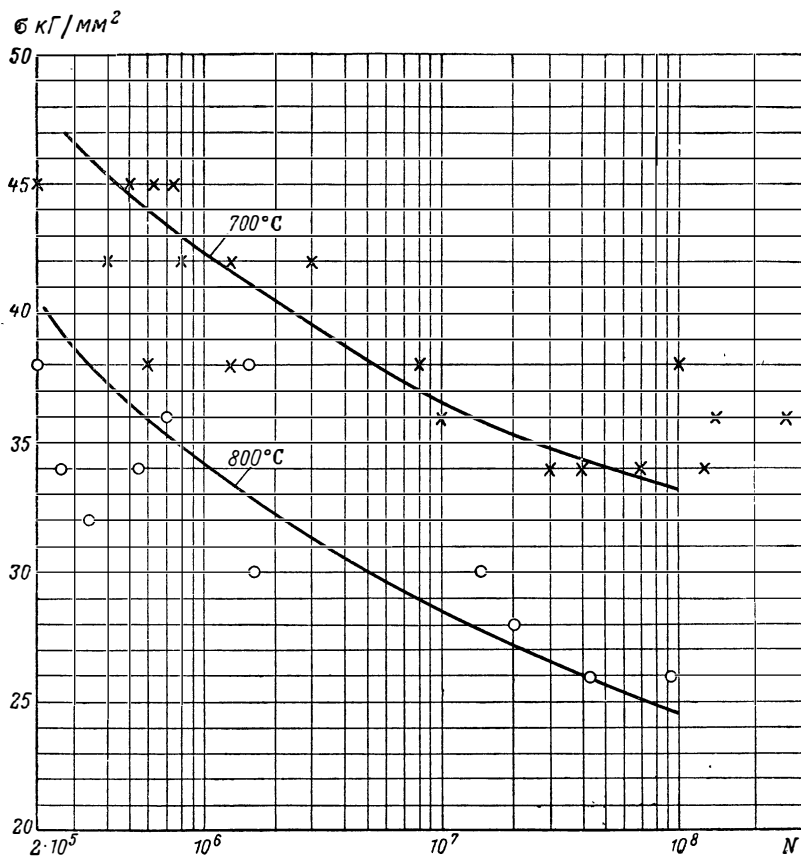


Фиг. 7. Кривые ползучести сплава ХН77ТЮР при температуре 800°С.



Фиг. 8. Кривые длительной прочности сплава ХН77ТЮР.





Фиг. 9. Кривые выносливости сплава ХН77ТЮР при высоких температурах (испытание при круговом чистом изгибе с частотой 50 гц).





Продолжение												
Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °C	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$	$\frac{HВ}{d}$ (мм)	$\sigma_{30}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$
				кГ/мм <sup>2</sup>			%			кГ/мм <sup>2</sup>		
2-я группа — штамповки весом от 151 до 250 кг и диаметром до 700 мм (контрольные образцы из технологических припусков)  Образцы из тела дисков, включая ступицу: 1-я группа  2-я группа	ЧМТУ ЦНИИЧМ 874—63	Термически обработанные по режиму: закалка с $1080 \pm 10^\circ$ (8 час) на воздухе; старение при $750 \pm 10^\circ$ С или при $775 \pm 10^\circ$ С (16 час), охлаждение на воздухе	20	95	65	12	14	3	3,4— 3,75	—	—	—
			750	—	—	—	—	—	—	—	35	30
			20	95	62	11	13	2,5	3,4— 3,75	—	—	—
			20	90	60	10	12	2,2	3,4— 3,75	—	—	—

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$	$\frac{HВ}{d}$ (мм)
			кГ/мм <sup>2</sup>				%			
Поковки, штамповки и диски (металл открытой выплавки)	Термически обработанные по режиму: закалка с $1080^\circ$ С (8 час) на воздухе; старение при $750 \pm 10^\circ$ С или при $775 \pm 10^\circ$ С (16 час), охлаждение на воздухе	20	21 000	100— 115	66—75	53	14—20	15—22	3—7	3,40— 3,75
		300	19 400	100	64—70	52	14—20	15—22	—	—
		400	18 300	100	64—70	52	14—20	15—22	—	—
		500	17 900	90—96	62—65	51	22	23	—	—
		550	17 200	88—93	58—61	50	22	26	—	—
		600	16 500	85—90	55—60	50	22	23	—	—
		650	15 500	84—89	55—59	50	22	22	—	—
		700	15 000	82—84	54—58	50	16	21	—	—
		750	14 500	66—68	52	45	14	29	—	—
		800	13 000	54—56	44	37	16	36	—	—
		850	11 700	35—37	27	21	17	55	—	—

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{3000}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$ * на базе $10^7$ циклов	
									кг/мм <sup>2</sup>	
Поковки и штамповки дисков (металл открытой выплавки)	Термически обработанные по режиму: закалка с 1080°С (8 час) на воздухе; старение при 750 ± 10°С или при 775 ± 10°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	37	22
		400	90	—	—	—	—	—	—	—
		450	89	88	—	—	—	—	—	—
		550	80	72	71	69	—	58—59	—	—
		600	70	59—61	55—58	52—54	—	55—58	31—38	22
		650	60	51	46	42	—	46	34—38	23
		700	44	32—34	30—32	28—30	—	40	39	23
		750	32	—	—	—	—	25	—	—
800	22	12—15	10—12	8—10	7—8	17	26	24		

\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах металла, полученного методом вакуумного дугового переплава

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_{10}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>							
Штамповки дисков	Термически обработанные по режиму: закалка с 1080°С (8 час) на воздухе; старение при 750 ± 10°С или при 775 ± 10°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	56,5	67	105—115	22	14—30	18—30	3—7	3,4—3,7
		400	51,5	58	100—108	24	—	28—37	—	—
		500	50	58	95—105	26	24—33	28—37	—	—
		550	47	57,5	93—103	24	24—31	28—34	—	—
		600	47	56	92—102	24	24—30	28—34	—	—
		650	44,5	55,5	90—100	23	23—28	27—30	—	—
		700	43,5	55	80—85	20	16—24	21—28	—	—
		750	42,5	54,5	68—74	17	15—20	23—30	—	—
800	—	—	52—62	—	15—20	28—32	—	—		

**Пределы длительной прочности металла, полученного методом вакуумного дугового переплава**

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{100}^{*H}$	$\sigma_{100}^H$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{500}^{*H}$	$\sigma_{500}^H$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{1000}^H$	$\sigma_{1000}^H$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{3000}$
			кГ/мм <sup>2</sup>			кГ/мм <sup>2</sup>			кГ/мм <sup>2</sup>			кГ/мм <sup>2</sup>	
Штамповки дисков	Термически обработанные по режиму; закалка с 1080°С (8 час) на воздухе; старение при 750±10°С или при 775±10°С (16 час), охлаждение на воздухе	550	80—82	>85	>1	76	—	—	72	—	—	70	68
		650	60	82	1,3	51	60	1,2	46	50	1,1	42	40
		750	34—35	>40	>1	27	—	—	23	—	—	20	—

\* Радиус надреза 0,5 мм.

**Пределы ползучести и выносливости металла, полученного методом вакуумного дугового переплава**

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^H$
			по остаточной деформации		на базе 10 <sup>7</sup> циклов	
			кГ/мм <sup>2</sup>			
Штамповки дисков	Термически обработанные по режиму: закалка с 1080°С (8 час) на воздухе; старение при 750±10°С или при 775±10°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	36	30
		550	57	56	—	—
		650	46	42—43	33—39	—

**Жаростойкость**

В атмосфере воздуха при температурах испытания 800°С в течение 100 час привес составляет 0,0387 г/м<sup>2</sup>·час, в течение 200 час — 0,0173 г/м<sup>2</sup>·час; при 900°С в течение 100 час — 0,068 г/м<sup>2</sup>·час, в течение 200 час — 0,051 г/м<sup>2</sup>·час.

## Физические свойства

$$d=8,2 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 12,67$  (20—100°); 13,62 (100—200°); 15,88 (200—300°); 16,78 (300—400°); 17,66 (400—500°); 18,17 (500—600°); 19,92 (600—700°); 21,20 (700—800°); 24,55 (800—900°) 1/°C.

$\lambda = 0,030$  (20°); 0,033 (100°); 0,037 (200°); 0,041 (300°); 0,045 (400°); 0,050 (500°); 0,056 (600°); 0,060 (700°); 0,067 (800°); 0,074 (900°) кал/см·сек·°C.

## Технологические данные

Сплав выплавляют методом вакуумного переплава или в открытых дуговых печах. Слитки рекомендуется отливать с большой конусностью, весом 700 кг и 1 т.

Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1150—980°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

Термическая обработка: закалка с 1080°С (выдержка 8 час) на воздухе; старение при  $750 \pm 10^\circ \text{C}$  в течение 16 час, если содержание титана и алюминия в сумме  $< 3,6\%$  или при  $775 \pm 10^\circ \text{C}$  в течение 16 час при содержании титана и алюминия  $\geq 3,6\%$ .

Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием.

## Применение

Диски турбин и дефлекторы; силовые кольца; детали крепления и другие детали, работающие при температурах до 750°С.

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ХН77ТЮ (ЭИ437А)

## Химический состав в %

С	Si	Мп	Cr	Ni	Al*
≤0,06	≤0,65	≤0,35	19—22	Основа	0,55—0,95

## Продолжение

Ti*	Ce	Fe	Cu	Pb	S	P
					не более	
2,3—2,7	≤0,01	≤1	≤0,07	≤0,001	0,007	0,015

\* Допускается отклонение по содержанию титана до +0,1% и алюминия до +0,05%.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	σ <sub>B</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	НВ (d м.м.)	σ <sub>50</sub>	σ <sub>100</sub>
				кг/мм <sup>2</sup>	%			кг/мм <sup>2</sup>	
Прутки горячекатаные	ЧМТУ 5211—55	Термически обработанные по режиму: закалка с 1080±10°С (8 час) на воздухе; старение при 700±10°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,45—3,8	—	—
			700	62	5	12	—	40	36



## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$E_d^*$	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{н.к.Г.м/с.м^2}$	НВ (d мм)
		кг/мм <sup>2</sup>						%		
Термически обработанный по режиму: закалка с $1080 \pm 10^\circ\text{C}$ (8 час) на воздухе; старение при $700 \pm 10^\circ\text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	21 000	19 000	100	60	54	25	28	8	3,55
	300	19 800	—	—	—	—	—	—	—	—
	400	19 300	—	—	—	—	—	—	—	—
	500	18 500	17 000	93	55	46	35	40	—	—
	600	17 600	16 000	88	53	42	20	25	—	—
	700	16 900	14 500	68	50	40	8	15	12	—
	800	16 000	13 000	55	42	33	12	18	—	—
	900	14 500	—	—	—	—	—	—	—	—

\* По данным ЦИАМ.

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^*$
			по остаточной деформации	по общей деформации		
			кг/мм <sup>2</sup>			
Термически обработанный по режиму: закалка с $1080 \pm 10^\circ\text{C}$ (8 час) на воздухе; старение при $700 \pm 10^\circ\text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	36	23
	500	73	—	—	—	—
	600	58	—	—	38	—
	700	36	30	24	38	—
	800	14—15	—	—	30	22
	900	—	—	—	14	—

\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Жаростойкость в атмосфере воздуха

Температура испытания в °С		800°		900°	
Продолжительность испытания в часах	испытания в	100	200	100	200
Привес в г/м <sup>2</sup> ·час		0,0374	0,0175	0,0564	0,0442

## Физические свойства

$$d=8,2 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=12,4$  (20—100°); 13,4 (100—200°); 14,2 (200—300°); 15,0 (300—400°); 15,8 (400—500°); 16,9 (500—600°); 17,7 (600—700°); 18,7 (700—800°); 21,3 (800—900°); 22,6 (900—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6=12,9$  (20—200°); 13,3 (20—300°); 13,8 (20—400°); 14,2 (20—500°); 14,6 (20—600°); 15,1 (20—700°); 15,5 (20—800°); 16,2 (20—900°); 16,8 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda=0,027$  (25°); 0,030 (100°); 0,034 (200°); 0,038 (300°); 0,043 (400°); 0,048 (500°); 0,053 (600°); 0,058 (700°); 0,064 (800°); 0,070 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

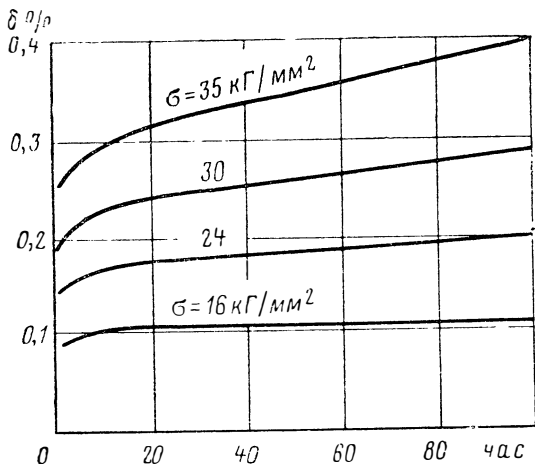
Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1150—980°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 60%. При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,2 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск 0,5 мм) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

Термическая обработка: закалка с 1080±10°С (выдержка 8 час) на воздухе; старение при 700°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе.

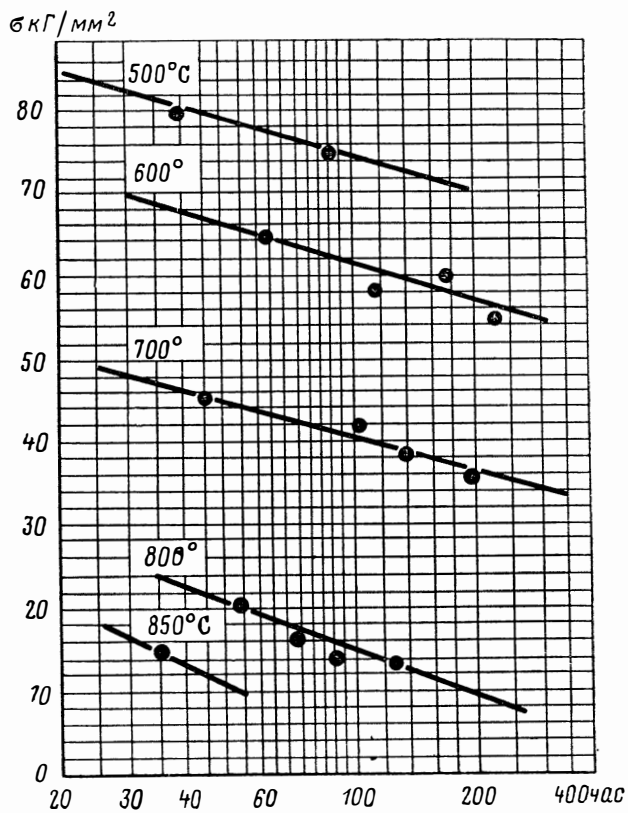
Готовые детали для снятия остаточных напряжений в поверхностном слое подвергают электрополированию или отпуску по режиму: нагрев в среде аргона при 850°С в течение 2 час, охлаждение до 600°С в среде аргона, далее на воздухе, затем нагрев при 700°С в течение 8 час в воздушной среде, охлаждение на воздухе.

## Применение

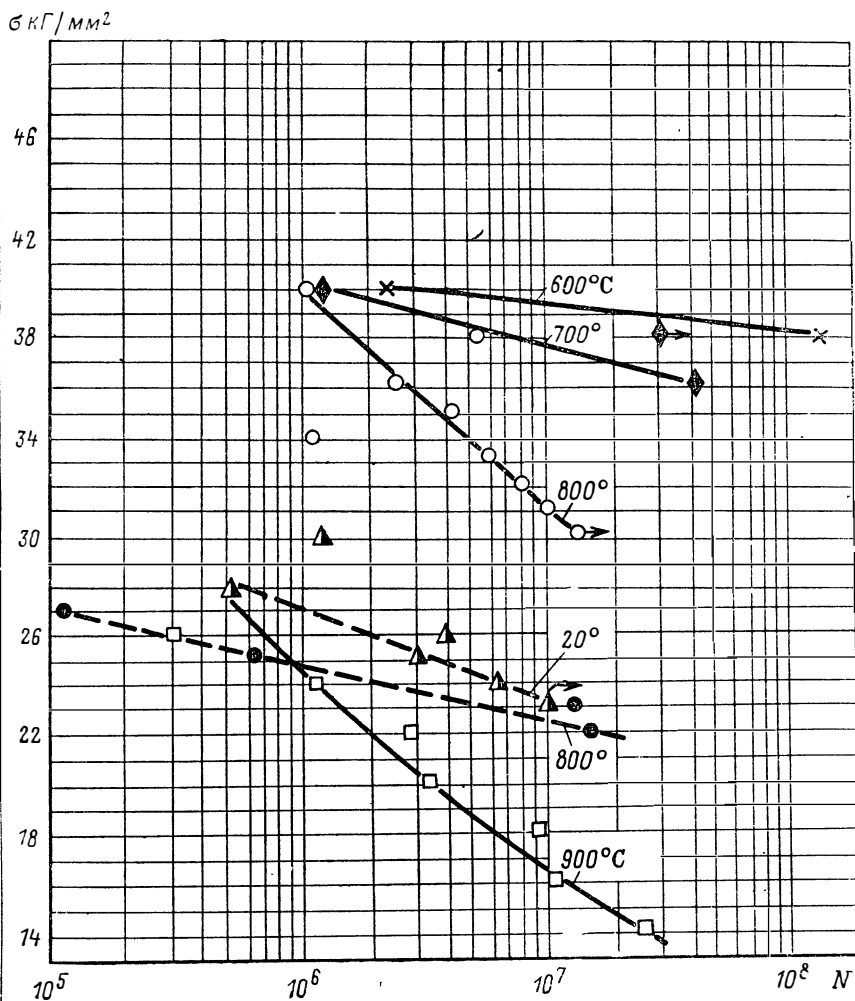
Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах до 700°С.



Фиг. 1. Кривые ползучести сплава ХН77ТЮ при температуре 700°С.



Фиг. 2. Кривые длительной прочности сплава XH77TY при различных температурах.



Фиг. 3. Кривые выносливости сплава ХН77ТЮ при различных температурах (испытание при изгибе).

Сплошные кривые — образцы гладкие, пунктир — образцы с надрезом.

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ХН70МВТЮБ (ЭИ598)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	Al
≤0,12	≤0,6	≤0,5	15—19	Основа	2,0—3,5	4—6	1,0—1,7

## Продолжение

Ti	Nb	V	Ce	Fe	Cu	S	P
						не более	
1,9—2,8	0,5—1,3	≤0,01	≤0,02	≤5	≤0,07	0,010	0,015

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °C	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d мм)	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки горячекатаные	ЧМТУ 5211—55	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1200 \pm 10^\circ \text{C}$ (5 час) на воздухе; 2-я закалка с $1070 \pm 10^\circ \text{C}$ (8 час) на воздухе; старение при $800 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлажденные на воздухе	20	—	—	—	3,3—3,7	—
			800	70	4	8	—	25

**Механические свойства при комнатной и высоких температурах**

Состояние материала	Температура испытания °С	$E_1$	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{1.1}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$ кг·М/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
		кг/мм <sup>2</sup>					%			
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с 1200±10°С (5 час) на воздухе; 2-я закалка с 1070±10°С (8 час) на воздухе; старение при 800±10°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	21 000	20 000	100—110	65—72	55—62	12—25	15—25	—	3,3- 3,7
	600	17 700	16 500	95—100	60—65	52—57	15—30	20—30	—	—
	700	17 000	15 000	90—95	57—62	50—55	10—20	12—22	6- 12	—
	750	16 400	—	—	—	—	—	—	—	—
	800	15 800	13 500	70—78	50—58	45—50	4—12	8—18	4-8	—
	850	15 200	12 300	55—62	42—48	35—40	6—15	10—25	5-10	—
	900	—	11 500	35—40	25—30	20—25	10—20	30—40	—	—

**Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости**

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^*$
					по остаточной деформации	по общей деформации		
					кг/мм <sup>2</sup>			
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с 1200±10°С (5 час) на воздухе; 2-я закалка с 1070±10°С (8 час) на воздухе; старение при 800±10°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	42	33,5
	600	—	—	—	—	—	35	33
	650	—	62	60	—	—	—	—
	700	55—59	48—52	40—42	—	—	30	28
	800	31—33	25—30	23—25	21—22	—	18	35
	850	21	18—20	17—18	11	—	10	—
	900	—	—	—	—	—	18	—

\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Физические свойства

$$d=8,5 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=12,4$  (20—100°); 12,9 (20—200°); 13,5 (20—300°); 14,1 (20—400°); 14,6 (20—500°); 15,1 (20—600°); 15,7 (20—700°); 16,4 (20—800°); 17,5 (20—900°); 18,0 (20—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6=12,4$  (20—100°); 13,4 (100—200°); 14,8 (200—300°); 15,7 (300—400°); 16,5 (400—500°); 18,0 (500—600°); 18,8 (600—700°); 21,8 (700—800°); 26,3 (800—900°); 22,7 (900—1000°) 1/°С.

$\lambda=0,027$  (100°); 0,031 (200°); 0,035 (300°); 0,038 (400°); 0,045 (500°); 0,049 (600°); 0,052 (700°); 0,058 (800°); 0,063 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

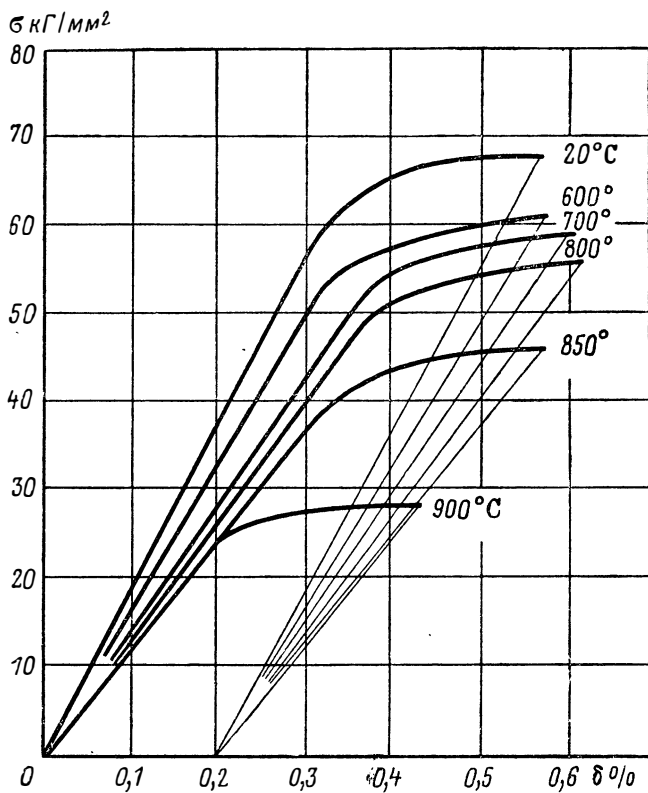
Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1180—1050°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 50%. При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,2 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск 0,5 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

Термическая обработка: 1-я закалка с 1200±10°С (выдержка 5 час) на воздухе; 2-я закалка с 1070±10°С (выдержка 8 час) на воздухе; старение при 800±10°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе.

Готовые детали для снятия остаточных напряжений в поверхностном слое подвергают электрополированию или отпуску по режиму: нагрев в среде аргона при 950°С в течение 2 час, охлаждение до 600°С в среде аргона, далее на воздухе, затем нагрев при 800°С в течение 8 час в воздушной среде, охлаждение на воздухе.

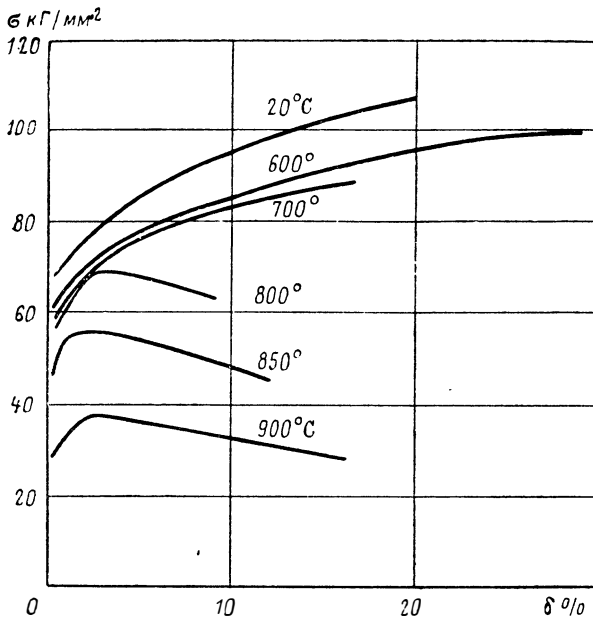
## Применение

Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах до 800—850°С.

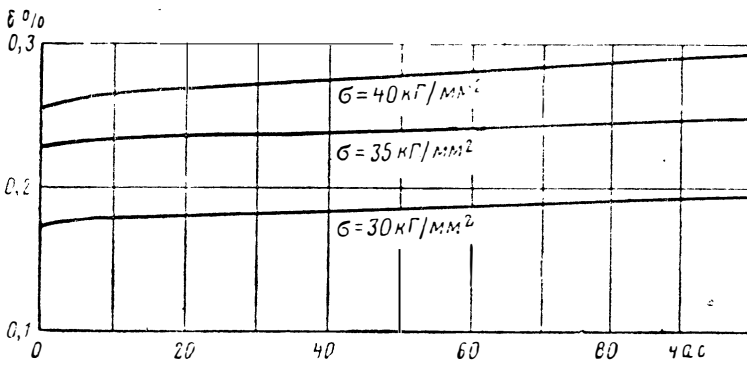


Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ХН70МВТЮБ до предела текучести.

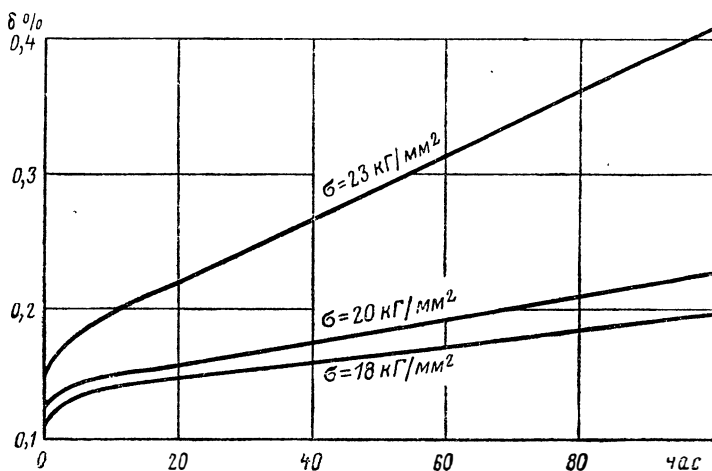




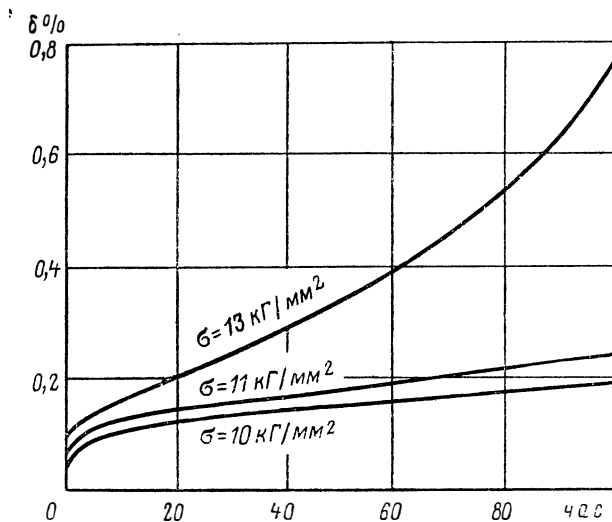
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ХН70МВТЮБ от предела текучести до разрушения.



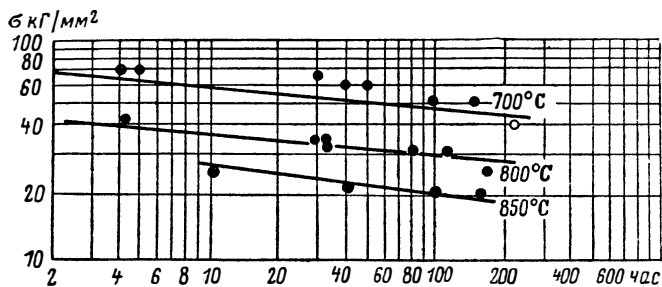
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ХН70МВТЮБ при температуре  $700^\circ\text{C}$ .



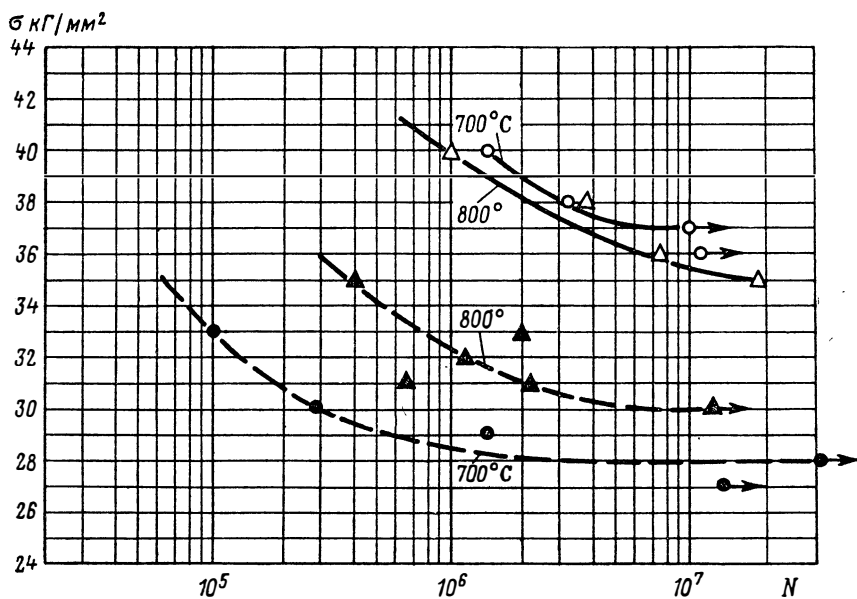
Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ХН70МВТЮБ при температуре 800° С.



Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ХН70МВТЮБ при температуре 850° С.



Фиг. 6. Кривые длительной прочности сплава ХН70МВТЮБ.



Фиг. 7. Кривые выносливости сплава ХН70МВТЮБ при высоких температурах (испытание при круговом изгибе).

Сплошные кривые — образцы гладкие, пунктир — образцы с надрезом.

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ХН70ВМТЮ (ЭИ617)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Ti	Mo
≤0,12	≤0,6	≤0,5	13—16	Основа	5—7	1,8—2,3	2—4

Продолжение

V	Al	Ce	Cu	B	Fe	S	P
						не более	
0,1—0,5	1,7—2,3	≤0,02	≤0,07	≤0,02	≤5	0,010	0,015

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d мм)	$\sigma_{40}$	$\sigma_{100}$
								кг/мм <sup>2</sup>	
Прутки горячекатаные диаметром 22, 24, 32, 45 и 55 мм	ЧМТУ 5211—55	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1190 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $800 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,3—3,7	—	—
			800	68	3	8	—	—	25
			850	—	—	—	—	20	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$E_d^*$	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{-1}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{ch}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ кг/мм <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>						%		
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1190 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $800 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	21 200	20 000	114	75	65	14	15	1,5—3	310
	600	18 500	16 500	99	68	59	16	19	—	—
	700	17 700	15 000	90	65	56	6—10	12	—	280
	750	17 200	—	—	—	—	—	—	—	—
	800	16 600	14 500	75	58	46	5,5—8	12	9,6	260
	850	—	14 000	59	47	37	5—8	14	—	240
	900	—	13 000	49	38	28	9—14	19	13,4	170

\* По данным ЦИАМ.

## Пределы секундной прочности и ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$	$\sigma_{0,5/10''}$	$\sigma_{0,5/60''}$
			кг/мм <sup>2</sup>						
Прутки	В состоянии поставки ( $\sigma_B^{20} = 119 \text{ кг/мм}^2$ )	700	101	96	95,5	95	93,5	—	—
		800	83	77,5	73,5	70	67,5	—	—
		900	67,5	60	55	51	48	—	—
		1000	45	36	31,5	30,5	30	19,4	15,7

## Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,5/120''}$	$\sigma_{1/10''}$	$\sigma_{1/60''}$	$\sigma_{1/120''}$	$\sigma_{1/180''}$	$\sigma_{1/300''}$
			кг/мм <sup>2</sup>					
Прутки	В состоянии поставки ( $\sigma_B^{20} = 119 \text{ кг/мм}^2$ )	700	—	—	—	—	—	—
		800	—	—	—	—	—	—
		900	—	—	—	—	—	—
		1000	13,7	20,3	17,4	15,7	14,6	13,2

Пределы длительной прочности, ползучести и вынессливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_1$	$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{Н*}$ 100
		кг/мм <sup>2</sup>										
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с 1190±10°С (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1050±10°С (4 часа) на воздухе; старение при 800±10°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	700	70	61	57	53	48***	45	42	34***	32**?	29***	40—45
	800	48	40	34	31	25***—28***	23—27	19—21	16***—19***	14**?—17**?	12***—14***	30
	830	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	850	39	28	25	21	18***—19***	16—17	—	10***—12***	8,5*—10**	7***—8,5***	—
	900	—	—	—	—	13	10	—	—	—	—	—

Продолжение

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{Н100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{-1}$					$\sigma_{Н**}$ -1	
		$\sigma_{100}$	по общей деформации	по остаточной деформации		на базе циклов:						
						10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	2·10 <sup>8</sup>		10 <sup>7</sup>
кг/мм <sup>2</sup>												
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с 1190±10°С (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1050±10°С (4 часа) на воздухе; старение при 800±10°С (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	34—37	—	—	—	25
	600	—	—	—	—	54	42	33—35	30	29	24	—
	700	0,83—0,86	30	>40	29***	—	43	36—39	31	30	28—30	—
	800	1,2—1,0	17	>23	13***	44	36	32—37	24—26,5	25	29—32	—
	830	—	15	18	—	—	—	—	—	—	—	—
	850	—	14	16	10***	38	31	26—30	22	—	—	—
	900	—	—	—	—	—	—	25—28	—	—	—	19

\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\* Радиус надреза 0,75 мм.

\*\*\* Минимальный показатель предела длительной прочности и ползучести.

\*\*\*\* Средний показатель предела длительной прочности.

## Физические свойства

$$d=8,4 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=12,0$  (20—100°); 12,5 (20—200°) 13,5 (20—300°); 13,9 (20—400°); 14,3 (20—500°); 14,8 (20—600°); 15,8 (20—700°); 16,3 (20—800°); 16,7 (20—900°) 1/°С.

$\lambda=0,023$  (100°); 0,027 (200°); 0,031 (300°); 0,036 (400°); 0,041 (500°); 0,046 (600°); 0,052 (700°), 0,058 (800°); 0,065 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1190—1060°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 60%. При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,2 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск 0,8 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

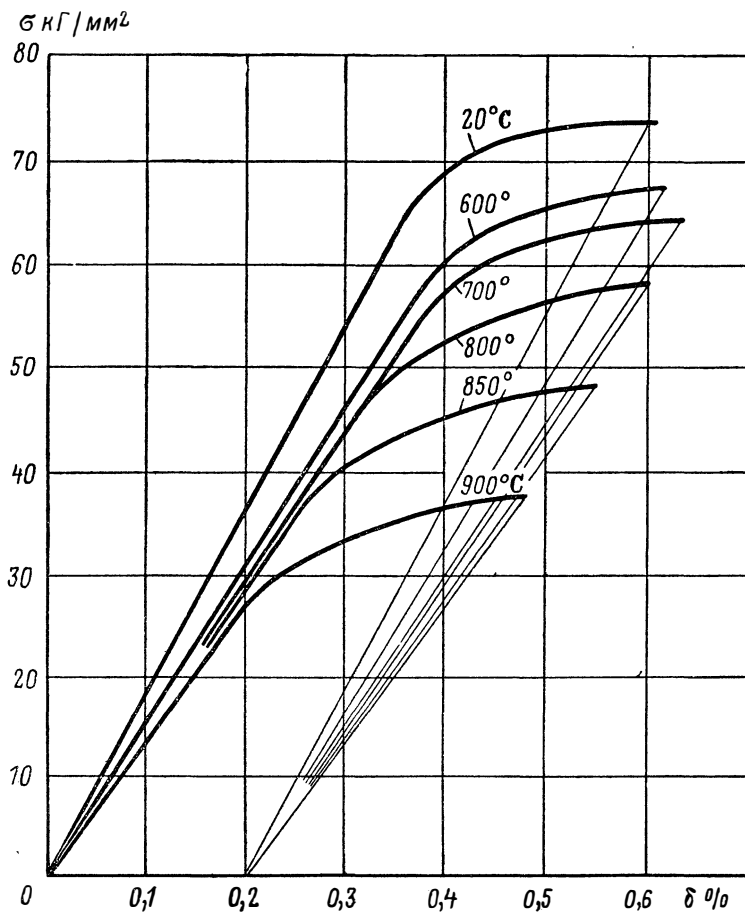
Термическая обработка: 1-я закалка с 1200°С (выдержка 2 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1050° (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при 800°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе.

Готовые детали для снятия остаточных напряжений в поверхностном слое подвергают отпуску по режиму: нагрев в среде аргона при 950° в течение 2 час, охлаждение до 700°С в среде аргона, далее на воздухе, затем нагрев при 800°С в течение 8 час в воздушной среде, охлаждение на воздухе.

Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием (коэффициент резания 0,9).

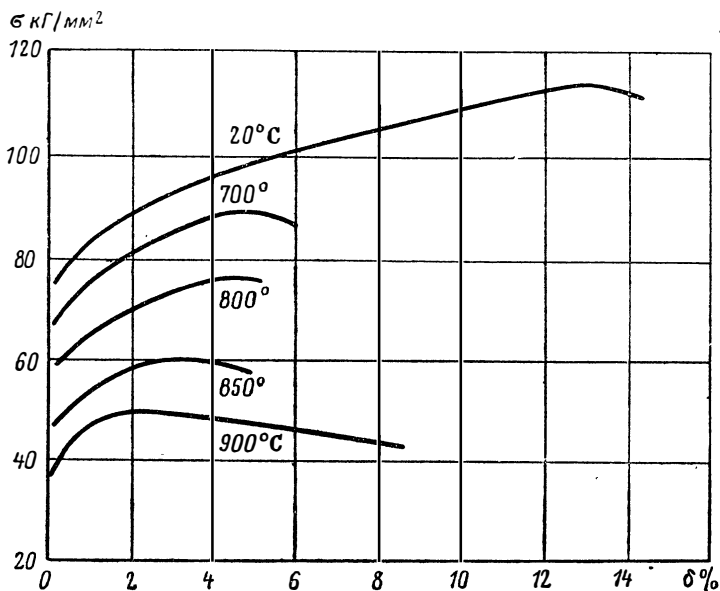
## Применение

Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах до 800—850°С.

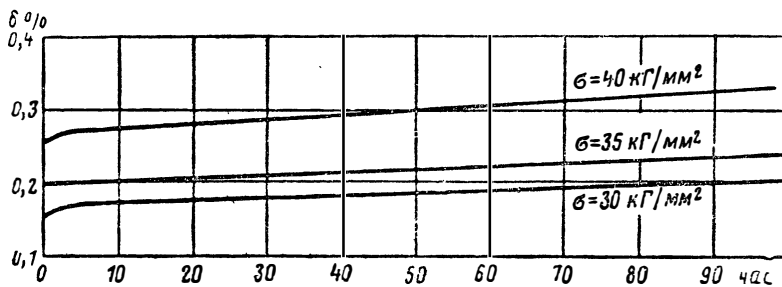


Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ХН70ВМТЮ до предела текучести.

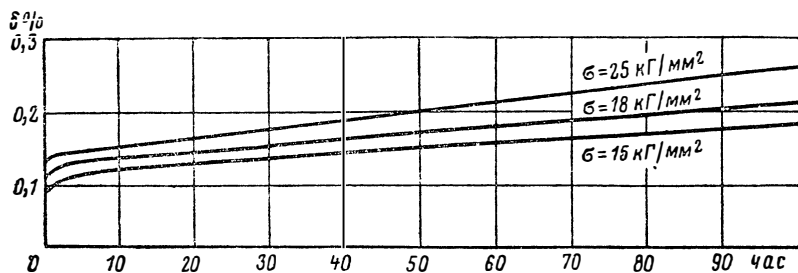




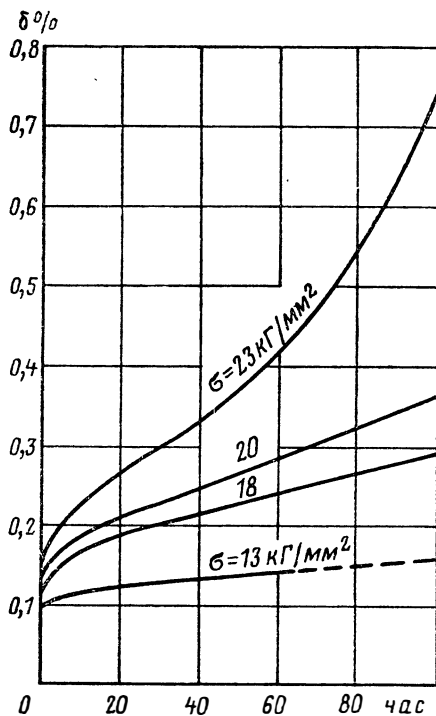
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ХН70ВМТЮ от предела текучести до разрушения.



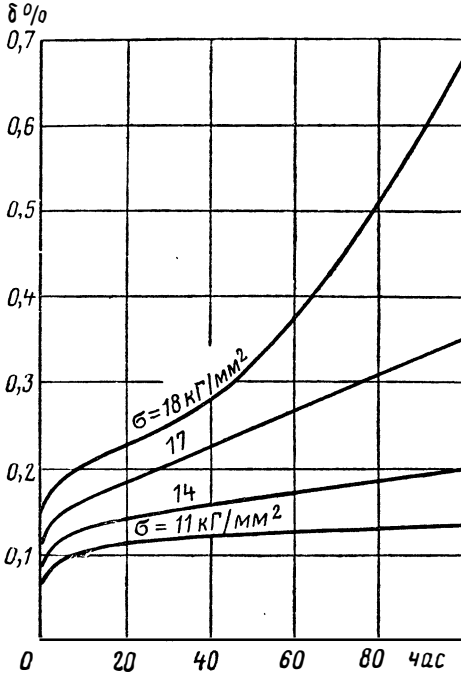
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ХН70ВМТЮ при 700°C.



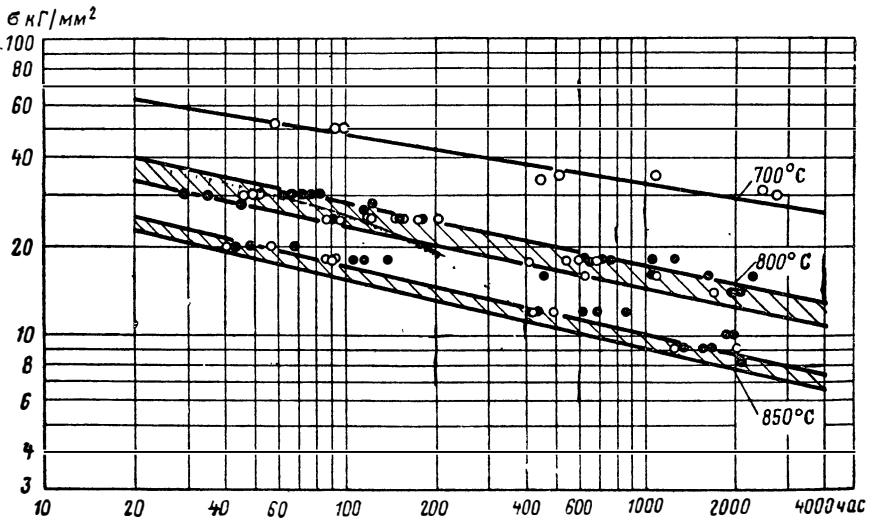
Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ХН70ВМТЮ при 800° С.



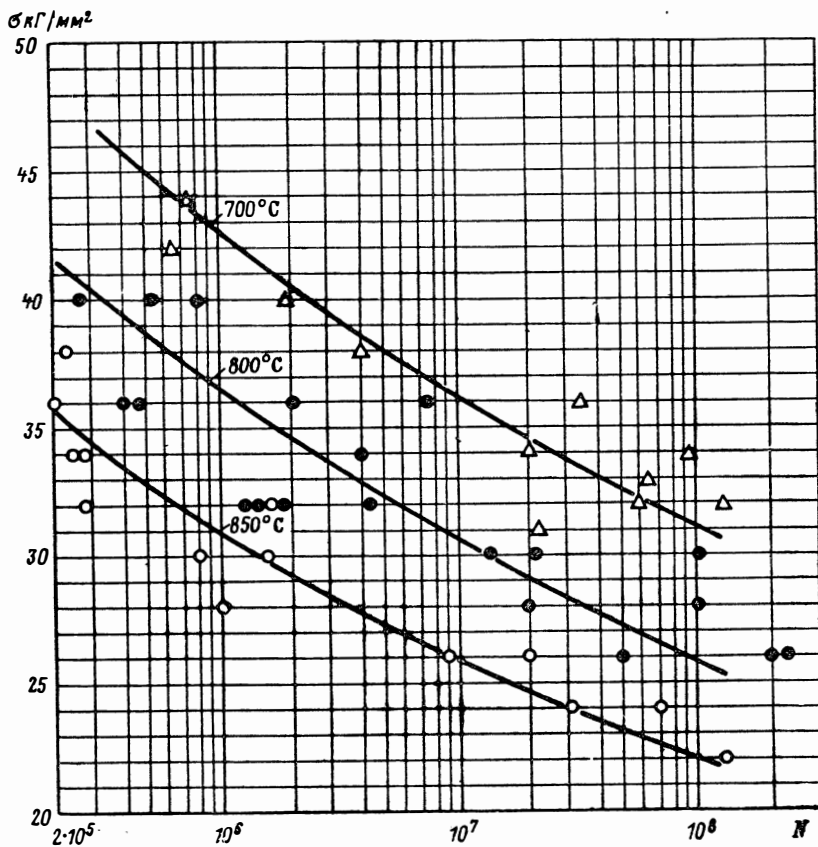
Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ХН70ВМТЮ при 830° С.



Фиг. 6. Кривые ползучести сплава ХН70ВМТЮ при 850°С.



Фиг. 7. Кривые длительной прочности сплава ХН70ВМТЮ.



Фиг. 8. Кривые выносливости сплава ХН70ВМТЮ при высоких температурах (испытание при чистом изгибе).



## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	HB (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>		%			
Крупные поковки (металл вакуумной выплавки)	Термически обработанные по режиму: закалка с 1150°С (5 час) на воздухе; старение при 925°С (10 час), охлаждение на воздухе	20	97—115	64—80	13—28	15—31	3—7	3,3—3,5
		550	94—111	64—72	14—21	17—25	6—7,5	—
		650	90—92	64—66	8—12	13—19	5—6,5	—
		700	78—82	64—66	4—10	8—14	5—6,5	—
		750	78—82	64—66	4—6	8—10	—	—
		800	76—80	62—65	4—6	4—8	3,2—4,7	—

## Пределы длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{10}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{300}$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Крупные поковки (металл вакуумной выплавки)	Термически обработанные по режиму: закалка с 1150°С (5 час) на воздухе; старение при 925°С (10 час), охлаждение на воздухе	550	>95	90	85—90	—	—
		600	—	>80	76	73	—
		750	—	44	—	—	—
		800	>35	—	32	—	27
Крупные штамповки (металл вакуумной выплавки)	Термически обработанные по режиму: закалка с 1150°С (5 час) на воздухе; старение при 925°С (10 час), охлаждение на воздухе	600	—	—	76	—	—
		700	65	60	57	55	—
		750	—	44	42	—	—
		800	—	35	32	—	—

## Пределы ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$
			по остаточной деформации	на базе $10^7$ циклов
			кг/мм <sup>2</sup>	
Поковки	Термически обработанные по режиму: закалка с 1150°С (5 час) на воздухе; старение при 925°С (10 час), охлаждение на воздухе*	500	—	37
		700	48	30
		800	28	35

\* По данным завода Электросталь и ЦНИИЧМ.

## Жаростойкость

Привес за 1000 час испытания при температуре 800°С составляет 0,007, при 900°С — 0,013 г/м<sup>2</sup> · час.

## Физические свойства

$$d=8,43 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=12,25$  (20—100°); 12,62 (20—200°); 12,69 (20—300°); 13,75 (20—400°); 13,85 (20—500°); 13,87 (20—600°); 14,26 (20—700°); 14,6 (20—800°); 15,45 (20—900°) 1/°С.

$\lambda=0,022$  (20°); 0,025 (100°); 0,029 (200°); 0,034 (300°); 0,039 (400°); 0,046 (500°); 0,051 (600°); 0,055 (700°); 0,060 (800°); 0,067 (900°) кал/см · сек · °С.

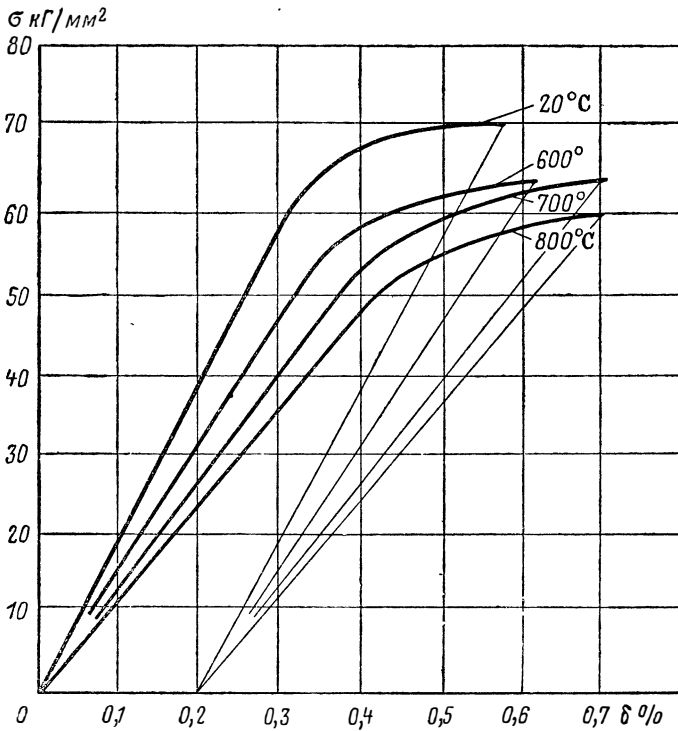
## Технологические данные

Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1180—1050°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Сплав обладает пониженной технологической пластичностью. Металл открытой выплавки деформируют в обоймах с торцовыми накладками, а вакуумной выплавки — без оболочек (в осевом направлении).

Термическая обработка: закалка с 1150°С (выдержка 5 час) на воздухе; старение при 925°С в течение 10 час, охлаждение на воздухе.

## Применение

Диски газовых турбин, работающие при температурах 800°С.



Кривые растяжения сплава ЭИ766 до предела текучести.



## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ХН73 МБТЮ (ЭИ698)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al	Mo	Nb
≤0,08	≤0,6	≤0,4	13—16	Основа	2,35—2,75	1,3—1,7	2,8—3,2	1,8—2,2

## Продолжение

Fe	B	Ce	Pb	S	P	Bi, As, Sn, Sb
				не более		
≤2,0	≤0,005	≤0,005	≤0,001	0,007	0,015	Не более 1 балла по шкале спектрального анализа

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °C	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{ч}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (а мм)	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
				кг/мм <sup>2</sup>		%				
Штамповки дисков всех размеров (металл вакуумной выплавки)	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1120 \pm 10^\circ\text{C}$ (8 час) на воздухе; 2-я закалка с $1000 \pm 10^\circ\text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $775^\circ\text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	115	72	17	19	5	3,3—3,6	—
	ЦНИИЧМ 1247—64		750	—	—	—	—	—	—	37

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах \*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{тц}}$
			кг/мм <sup>2</sup>			
Штамповки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1120°С (8 час) на воздухе; 2-я закалка с 1000°С (4 часа) на воздухе; старение при 775°С (16 час), охлаждение на воздухе (стандартный режим) или дифференцированный режим старения: при 750°С (16 час); при 650°С (16 час)—для всего диска; затем при 800°С (16 час)—только для обода диска	20	20 000	115—125	75—85	59—63
		450	18 000	110—115	70—75	57—60
		550	17 800	105—110	68—72	50—53
		600	—	105—110	65—68	—
		650	16 000	105—108	63—68	49—52
		700	15 500	100—105	63—65	—
		750	15 000	84—90	63—65	49—52
		800	14 000	70	60	—

## Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\delta_{10}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_{\text{т}}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (д мм)
			%				
Штамповки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1120°С (8 час) на воздухе; 2-я закалка с 1000°С (4 часа) на воздухе; старение при 775°С (16 час), охлаждение на воздухе (стандартный режим) или дифференцированный режим старения: при 750°С (16 час); при 650°С (16 час)—для всего диска; затем при 800°С (16 час)—только для обода диска	20	22—24	25—30	25—30	6—10	3,4— 3,6
		450	20—21	23—28	30—37	—	—
		550	18—22	23—27	28—35	—	—
		600	18—22	20—26	30—35	—	—
		650	20—24	20—26	25—30	—	—
		700	19—23	20—25	25—30	—	—
		750	21—24	21—25	25—30	—	—
		800	19—22	16	25—30	—	—

\* Показатели нижних пределов твердости, прочности и текучести и показатели верхних пределов удлинения, сужения и ударной вязкости получены на образцах после стандартной термической обработки, а показатели верхних пределов твердости, прочности, текучести и нижних пределов удлинения, сужения и ударной вязкости получены на образцах после дифференцированного или двойного старения (при 775°С — 16 час и при 700°С — 16 час) дисков турбин, работающих в особо тяжелых условиях.

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{100}^H$	$\sigma_{500}^{H*}$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Штамповки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1120°С (8 час) на воздухе; 2-я закалка с 1000°С (4 часа) на воздухе; 1-е старение при 775°С (16 час), охлаждение на воздухе; 2-е старение при 700°С (16 час), охлаждение на воздухе	450	105	105	—	—	—
		550	100	95	—	—	—
		600	85	82	—	—	—
		650	74	68	64	90	85
		700	55	50	—	—	—
		750	43	35	33	63	58
		800	32	—	—	—	—

## Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\frac{\sigma_{500}^H}{\sigma_{500}}$	$\frac{\sigma_{100}^H}{\sigma_{100}}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^{H**}$
							(на базе 10 <sup>7</sup> циклов)	
								кг/мм <sup>2</sup>
Штамповки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1120°С (8 час) на воздухе; 2-я закалка с 1000°С (4 часа) на воздухе; 1-е старение при 775°С (16 час), охлаждение на воздухе; 2-е старение при 700°С (16 час), охлаждение на воздухе	450	—	—	—	—	—	—
		550	—	—	—	—	—	—
		600	—	—	72	68	—	—
		650	1,2	1,2	66	—	34	29
		700	—	—	42	—	—	—
		750	1,6	1,5	39	—	37	34
		800	—	—	—	—	—	—

\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Физические свойства

$$d = 8,32 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 12,3$  (20—100°); 13,2 (100—200°); 14,2 (200—300°); 15,0 (300—400°); 16,3 (400—500°); 17,3 (500—600°); 18,8 (600—700°); 21,6 (700—800°); 20,8 (800—900°) 1/°С.

$$\lambda = 0,023$$
 (50°) кал/см·сек·°С.

Сплав немагнитен.

## Технологические данные

Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1160<sup>+20</sup>—1000°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

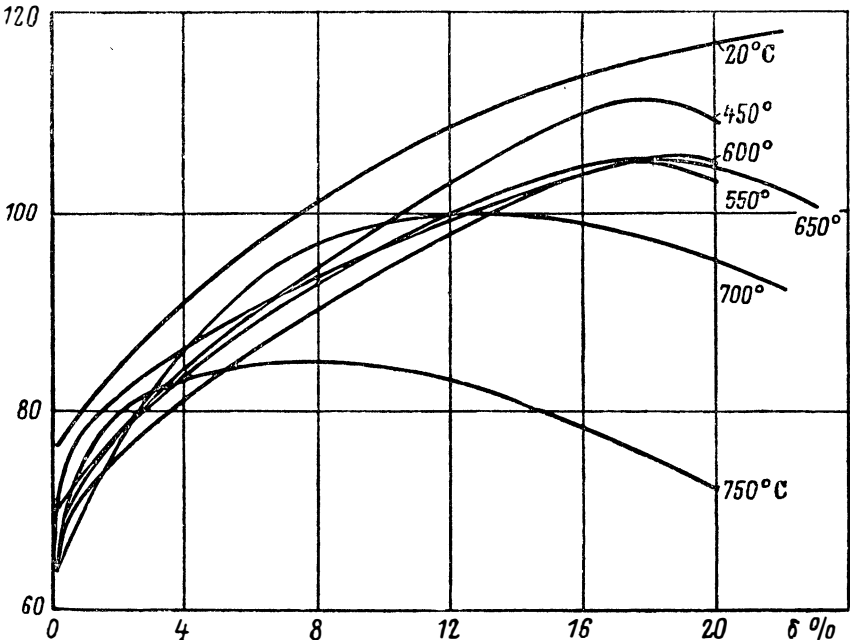
Термическая обработка: 1-я закалка с 1120°С (выдержка 8 час) на воздухе, 2-я закалка с 1000°С (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при 775°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе или дифференцированный режим старения: при 750°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе, затем при 650°С в течение 16 час, охлаждение на воздухе (для всего диска) и при 800°С в течение 16 час (только для обода диска в кольцевой печи).

Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием.

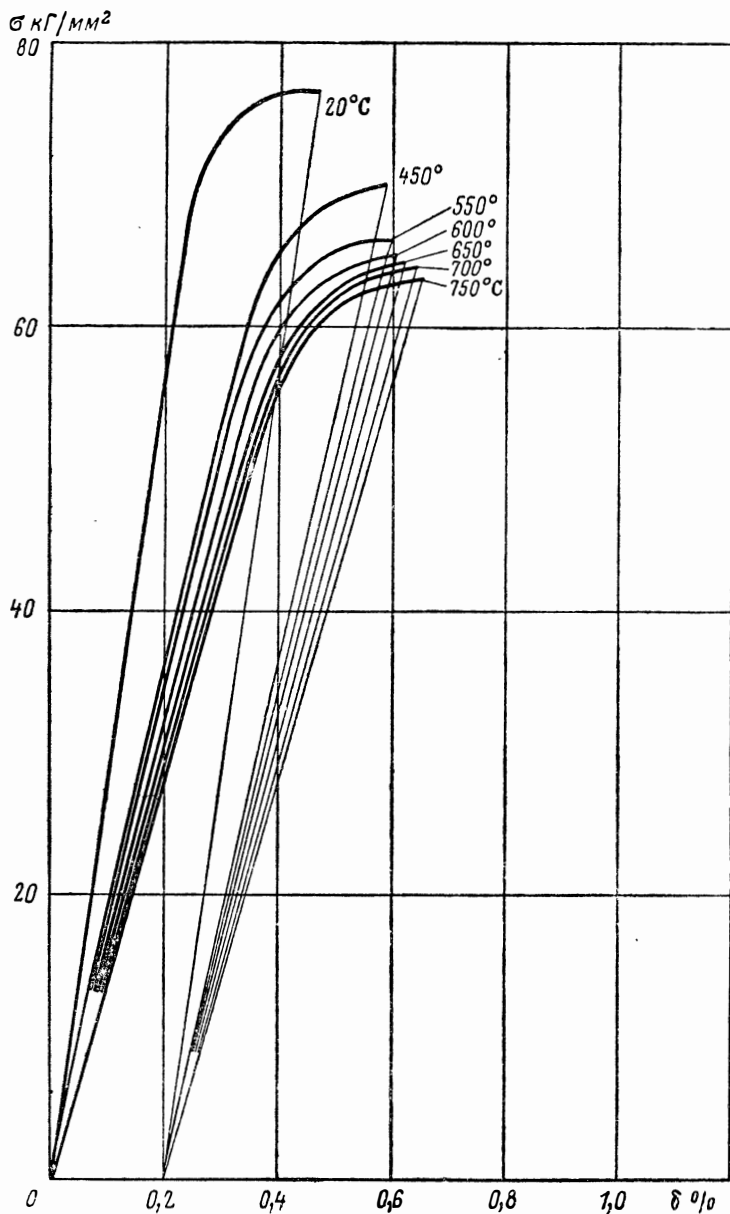
## Применение

Диски турбин, дефлекторы, силовые кольца и другие детали для тяжело нагруженных двигателей с длительным ресурсом, работающие при температурах до 750—800°С.

Б кг/мм<sup>2</sup>



Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЭИ698 от предела текучести до разрушения.



Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЭИ698 до предела текучести.

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЭИ826</b>
----------------------------------	--------------

## Химический состав в %

C	Si	Cr	Ni	W	Ti	Mo	V
≤0,12	≤0,60	13—16	Основа	5—7	1,7—2,2	2,5—4,0	0,2—1,0

## Продолжение

Al	Ce*	B*	Fe	Mn	S	P
					не более	
2,4—2,9	≤0,02	≤0,015	≤5	≤0,5	0,009	0,015

\* Церий и бор вводятся по расчету и химическим анализом не определяются

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	HB (d мм)	$\sigma_{65}$	$\sigma_{100}$
								%	
Прутки горячекатаные	ЧМТУ 5564—56	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1210 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $800 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,3—3,7	—	—
			850	60	6	9	—	25	—
			900	50	9	15	—	—	15

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °C	$E_d^*$	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$
		кг/мм <sup>2</sup>				
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1210 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $800 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	21 350	20 000	110—115	70—75	60—65
	500	—	17 000	95—100	65—70	55—60
	600	18 650	16 500	90—100	65—70	55—60
	700	17 850	15 500	90—100	60—70	50—58
	800	17 050	14 500	75—90	55—62	40—48
	850	—	14 000	60—70	50—55	35—40
	900	16 000	13 000	50—60	40—45	28—35
	950	—	11 700	42—45	30—35	20—25
	1000	—	9 300	15—20	10—12	8—10
	1100	—	—	—	—	—
	1150	—	—	—	—	—

Продолжение

Состояние материала	Температура испытания °C	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
		%			
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1210 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $800 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	8—18	8—20	2—4	3,3—3,7
	500	25—30	25—30	—	—
	600	25—30	25—30	2,5—5,0	—
	700	10—17	12—20	3,0—5,0	—
	800	6—15	10—20	3,0—5,0	—
	850	6—15	10—25	—	—
	900	9—20	15—30	4,0—6,0	—
	950	15—20	25—35	5,5—8,5	—
	1000	45—55	50—70	6,5—9,0	—
	1100	—	—	10—15	—
	1150	—	—	15—20	—

\* По данным ЦИАМ.

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{100}^{H*}$	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^{H**}$
							по остаточной деформации	по обшей деформации		
							кГ/мм <sup>2</sup>			
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1210 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $800 \pm 10^\circ \text{C}$ (16 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	—	38	24
	700	68	58—67	55—63	50	57—62	50—52	—	36	28
	800	42	35—40	31—37	26	34—37	25—26	21	35	27
	850	—	24—26	—	17	—	—	—	—	—
	900	17—19	15—18	13—15	—	17—19	11,5	10—11	31	19

\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Физические свойства

$$d = 8,47 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 12,0$  (20—100°); 12,9 (100—200°); 13,8 (200—300°); 14,6 (300—400°); 15,3 (400—500°); 15,7 (500—600°); 16,6 (600—700°); 17,3 (700—800°); 22,0 (800—900°); 23,4 (900—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 12,5$  (20—200°); 12,9 (20—300°); 13,3 (20—400°); 13,7 (20—500°); 14,0 (200—600°); 14,4 (20—700°); 14,8 (20—800°); 15,6 (20—900°); 16,4 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,021$  (20°); 0,025 (100°); 0,030 (200°); 0,034 (300°); 0,039 (400°); 0,044 (500°); 0,049 (600°); 0,054 (700°); 0,060 (800°); 0,067 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации  $1170 \pm 20$ — $1060^\circ \text{C}$ . Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 40%.

При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,5 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками



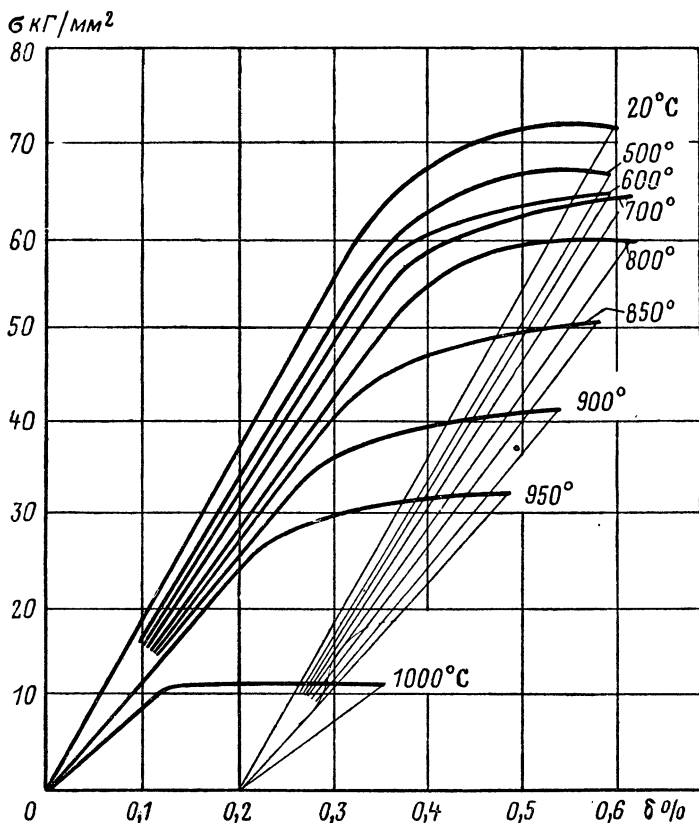
(минимально допустимый припуск 1,0 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

Термическая обработка: 1-я закалка с  $1210 \pm 10^\circ \text{C}$  (выдержка 2 часа) на воздухе; 2-я закалка с  $1050 \pm 10^\circ \text{C}$  (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при  $800 \pm 10^\circ \text{C}$  в течение 16 час, охлаждение на воздухе.

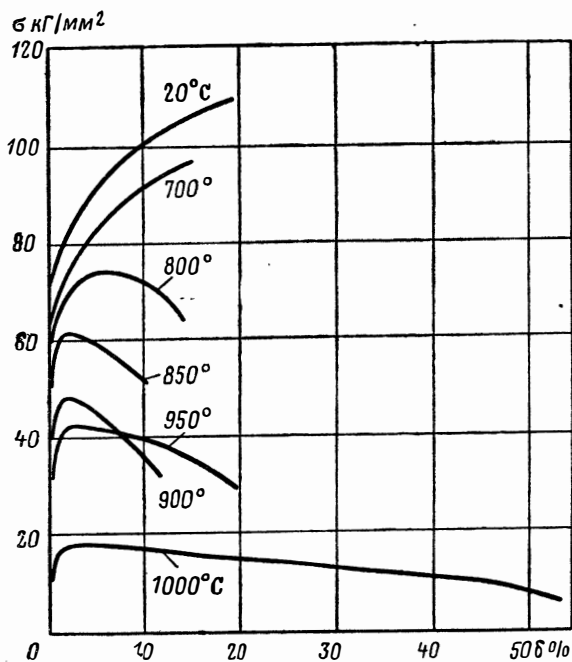
Готовые детали для снятия остаточных напряжений в поверхностном слое подвергают отпуску по режиму: нагрев в среде аргона при  $950^\circ \text{C}$  в течение 2 час, охлаждение до  $600^\circ \text{C}$  в среде аргона, далее на воздухе, затем нагрев при  $800^\circ \text{C}$  в течение 8 час в воздушной среде, охлаждение на воздухе.

### Применение

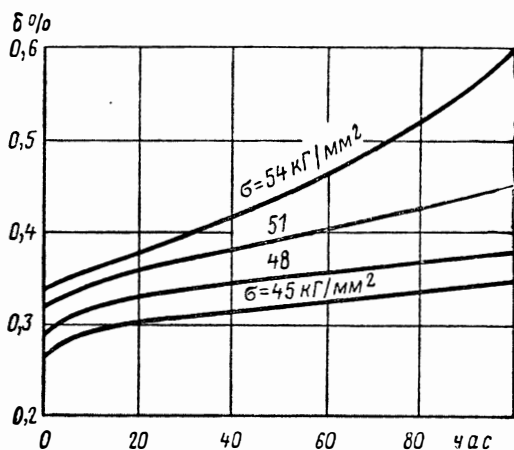
Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах до  $850^\circ \text{C}$ .



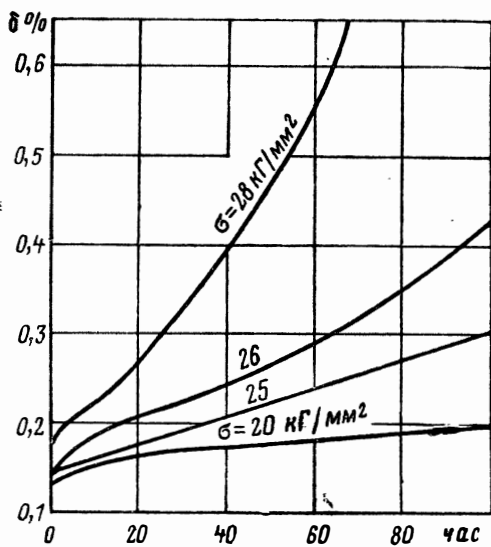
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЭИ826 до предела текучести.



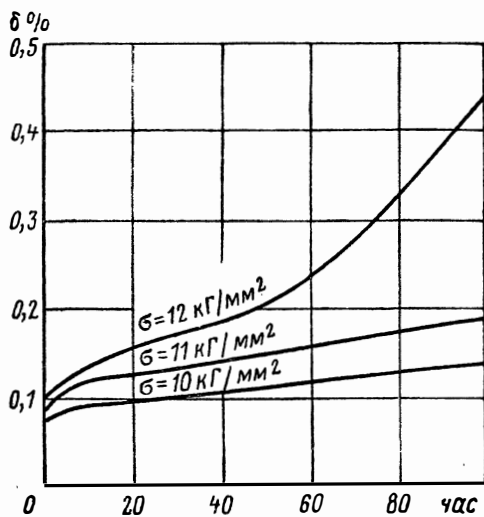
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЭИ826 от предела текучести до разрушения.



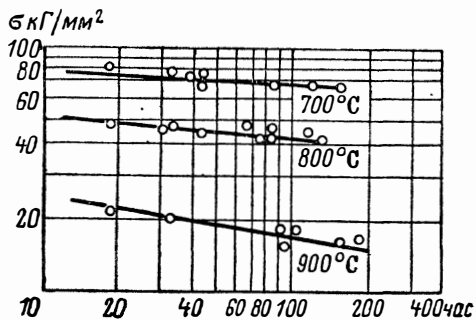
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЭИ826 при температуре 700° С.



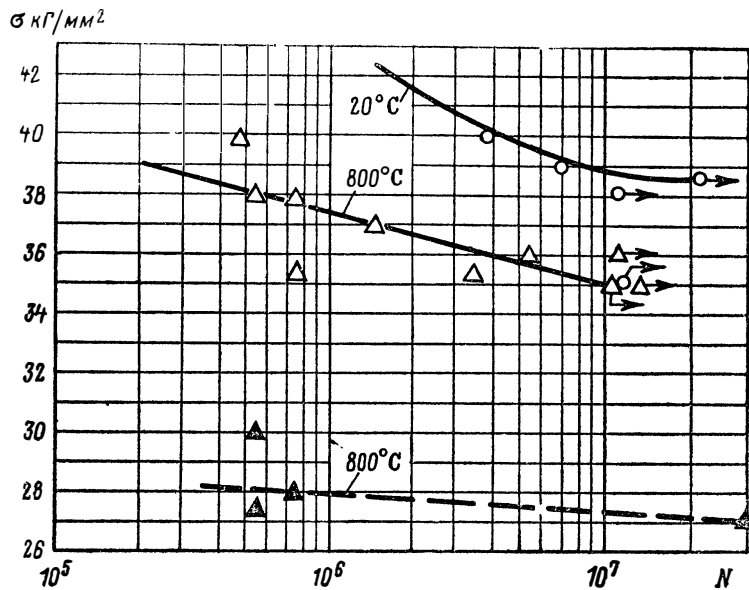
Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЭИ826 при температуре 800° С.



Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ЭИ826 при температуре 900° С.



Фиг. 6. Кривые длительной прочности сплава ЭИ826.



Фиг. 7. Кривые выносливости сплава ЭИ826 при комнатной и высоких температурах (испытание при чистом изгибе).

Сплошные кривые—образцы гладкие, пунктир—образцы с надрезом.

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЭИ867</b>
----------------------------------	--------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	W	Mo	Ni
≤0,10	≤0,60	≤0,30	8,5—10,5	4,3—6,0	9,0—11,5	Основа

## Продолжение

B*	Ce*	Co	Al	Fe	S	P
					не более	
≤0,02	≤0,02	4—6	4,2—4,9	≤4,0	0,010	0,015

\* Бор и церий вводятся по расчету и химическим анализом не определяются.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d мм)	$\sigma_{50}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки горячекатаные	ЧМТУ ЦНИИЧМ 244—60	Термически обработанные по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ\text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 \pm 15^\circ\text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,25—3,6	—
			900	55	4	8	—	22

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$E$	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ ( $d$ мм)
		кг/мм <sup>2</sup>					%			
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 \pm 15^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	21 000	23 300	110—125	75—85	60—70	12—25	15—25	3—5	3,2—3,7
	600	16 800	20 200	100—110	70—80	55—60	15—20	15—25	6—8	—
	700	16 500	19 500	95—100	65—75	55—60	8—12	12—18	6—8	—
	800	15 800	18 300	90—95	65—75	55—60	3—10	7—15	5—7	—
	850	15 100	—	75—85	55—65	40—50	3—10	7—12	5—7	—
	900	14 300	—	55—70	40—50	25—35	7—18	8—22	5—7	—
	950	13 000	—	40—50	28—35	15—20	10—20	18—25	6—8	—
	1000	12 100	—	25—35	18—23	8—13	12—20	20—30	7—9	—

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_1$	$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$
		кг/мм <sup>2</sup>					
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ\text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 \pm 15^\circ\text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	700	—	85	80—82	78—80	76—77	74—75
	800	—	60	55—56	49—51	46—48	43—45
	900	42	33	29—30	25—27	21—23	19—21
	950	26—29	20—22	17—20	15—16	12—14	11—12
	1000	17	12	10	—	—	—
	1050	7	4	—	—	—	—

## Продолжение

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{200}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{500}^*$	$\sigma_{1000}^*$	$\sigma_{2000}^*$	$\sigma_{3000}$	$\sigma_{100}^{H***}$	$\frac{\sigma_H}{\sigma_{100}}$
		кг/мм <sup>2</sup>							
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ\text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 \pm 15^\circ\text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	700	72***	62***	—	52***	—	46***	74—75	1
	800	—	35***	34	31	28	25***	43—45	1
	900	—	—	13	11	9	8***	25—27	1,2
	950	10—11	—	8	6	5	—	15—17	1,3
	1000	—	—	—	—	—	—	—	—
	1050	—	—	—	—	—	—	—	—

\* Минимальные показатели предела длительной прочности.

\*\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\*\* Данные ЦКТИ после термической обработки по режиму: закалка с  $1180^\circ\text{C}$  (выдержка 6 час) на воздухе; старение при  $1000^\circ\text{C}$  в течение 8 час, охлаждение с печью до  $900^\circ\text{C}$ , выдержка при этой температуре 8 час, охлаждение на воздухе; старение при  $850^\circ\text{C}$  в течение 16 час, охлаждение на воздухе.



## Пределы ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2/10}$		$\sigma_{-1}$						
		по ост- точной де- формации	по общей деформации	на базе циклов						
				10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	2·10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	
<i>кГ/мм<sup>2</sup></i>										
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 \pm 15^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	700	—	—	61—63	—	—	31—32	29	—	26
	800	—	25—26	35—36	—	—	33,5	—	—	26
	900	—	11	13—16	—	—	32—34	29	27	26
	950	12	—	—	35	31	—	—	—	—
	1000	5	—	—	32	24	—	—	—	—
	1050	0,5	—	—	23	17	—	—	—	—

\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах металла, полученного электрошлаковым переплавом

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_B$ кГ/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кГ·м/см <sup>2</sup>
			%		
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	110—120	14—20	16—22	—
	800	85—100	4—10	8—18	—
	900	63—75	8—20	10—30	—
	1100	—	—	—	13—18
	1150	—	—	—	>20
	1200	—	—	—	8—16

**Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости металла,  
полученного электрошлаковым переплавом**

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе $10^7$ циклов
		кг/мм <sup>2</sup>			
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 15^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	800	—	42	—	—
	900	22—23	19—21	12,5	32
	950	—	12—13	—	—

**Механические свойства металла, полученного методом вакуумного дугового переплава (по ТУ, не менее)**

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (д.мм)	$\sigma_{50}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки горячекатаные диаметром 38—45 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 831—62	Термически обработанные по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 \pm 15^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,25— 3,6	—
			900	55	5	10	—	22

**Механические свойства при комнатной и высокой температурах металла,  
полученного методом вакуумного дугового переплава**

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	$a_H$ кг·м/см <sup>2</sup>
			%		
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 \pm 15^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	100—120	12—20	14—22	3—4
	900	60—75	5—20	10—25	4—7

Ударная вязкость металла при температурах горячей деформации, полученного методом вакуумного дугового переплава

Состояние материала	Температура испытания в °С			
	1000°	1150°	1180°	1200°
Термически не обработанный	6—9	20—30	15—30	25—30

Пределы длительной прочности металла, полученного методом вакуумного дугового переплава

Состояние материала	Температура испытания °С	σ <sub>50</sub>	σ <sub>100</sub>
		кг/мм <sup>2</sup>	
Термически обработанный по режиму: закалка с 1220±10° С (4—6 час) на воздухе; старение при 950±15° С (8 час), охлаждение на воздухе	900	22—23	20—22

#### Физические свойства

$$d=8,57 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 11,5$  (20—100°); 13,7 (100—200°); 13,9 (200—300°); 14,4 (300—400°); 15,0 (400—500°); 15,5 (500—600°); 16,4 (600—700°); 17,7 (700—800°); 22,1 (800—900°); 28,9 (900—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 12,6$  (20—200°); 13,0 (20—300°); 13,4 (20—400°); 13,7 (20—500°); 14,0 (20—600°); 14,3 (20—700°); 14,8 (20—800°); 15,6 (20—900°); 16,9 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,021$  (20°); 0,025 (100°); 0,031 (200°); 0,036 (300°); 0,041 (400°); 0,045 (500°); 0,048 (600°); 0,052 (700°); 0,055 (800°); 0,059 (900°) кал/см·сек·°С.

Степень черноты (поверхность после травления): 0,18 (100°); 0,19 (200°); 0,20 (300°); 0,21 (400°); 0,22 (500°).

#### Технологические данные

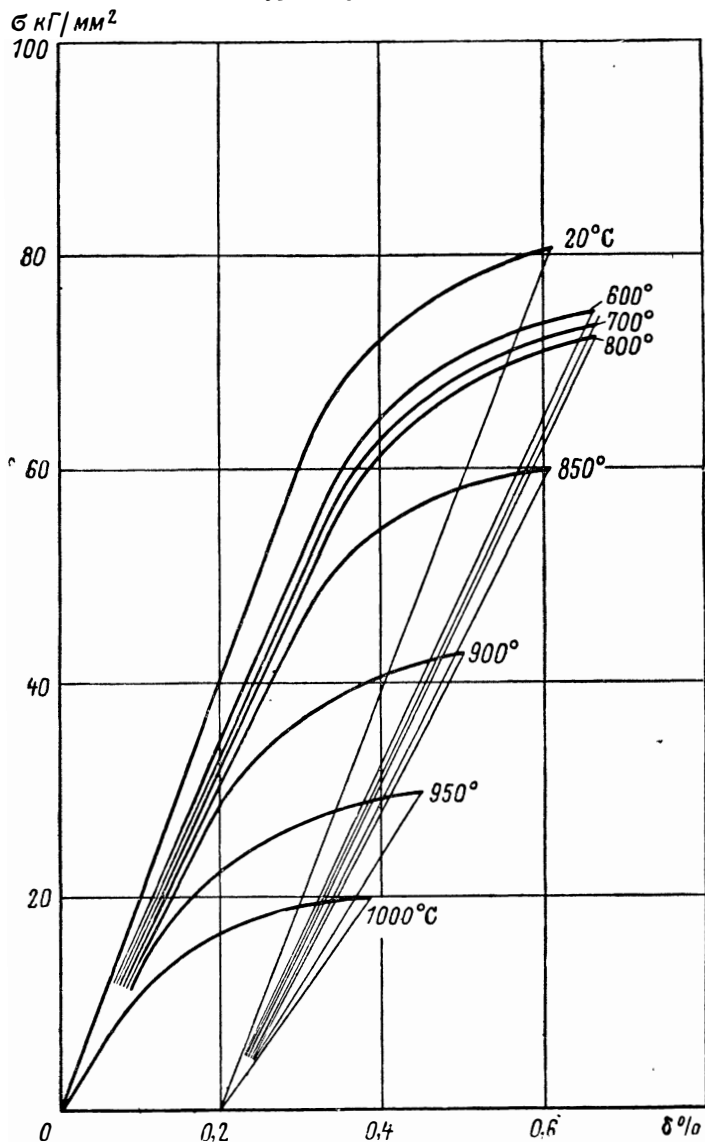
Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1190—1060° С. Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 40%. При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,8 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск 1,0 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

Термическая обработка: закалка с 1220<sup>+10</sup>/<sub>-20</sub>° С (выдержка 4—6 час) на воздухе; старение при 950±15° С в течение 8 час, охлаждение на воздухе. Готовые

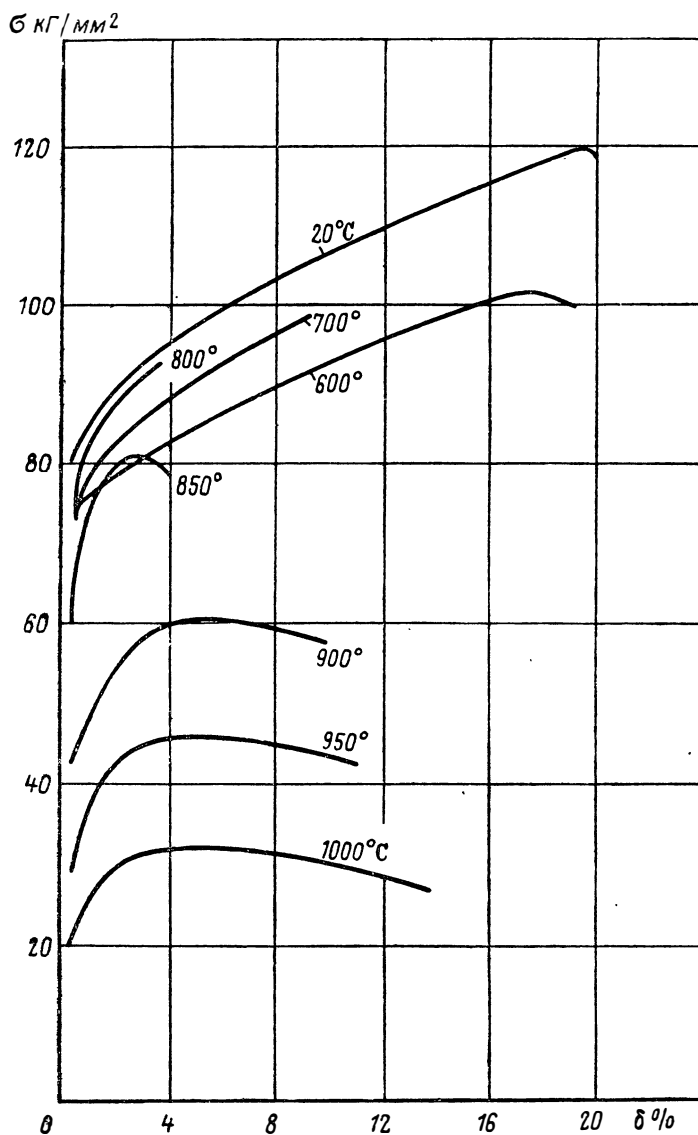
детали для снятия остаточных напряжений в поверхностном слое подвергают отпуску по режиму: нагрев в воздушной среде или среде аргона при  $950^{\circ}\text{C}$  в течение 2 час, охлаждение на воздухе.

### Применение

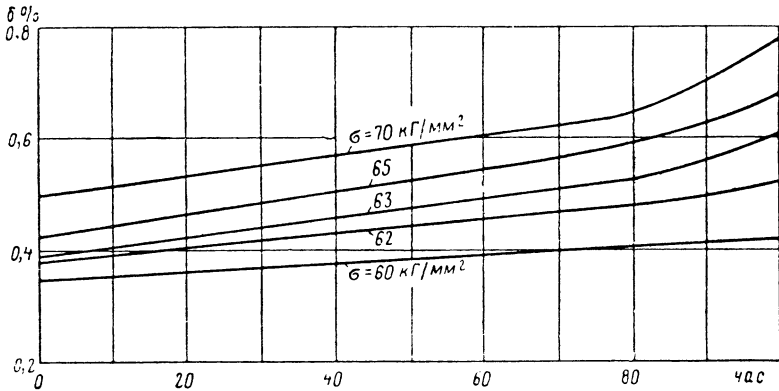
Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах до  $850^{\circ}\text{C}$ ,



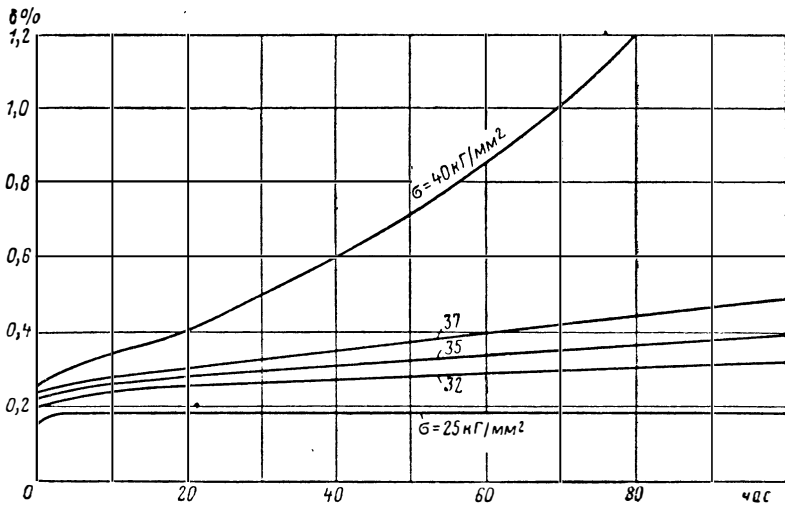
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЭИ867 до предела текучести.



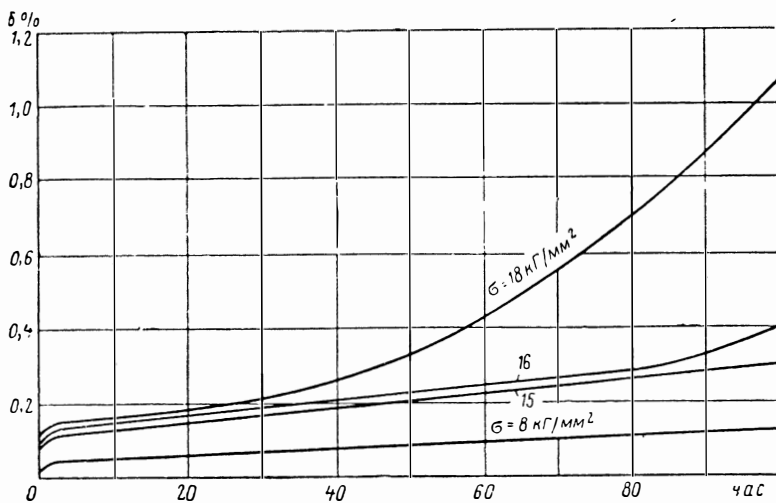
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЭИ867 от предела текучести до разрушения.



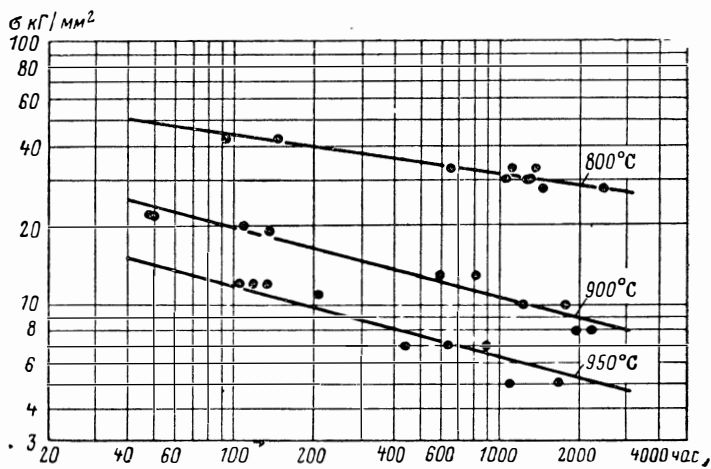
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЭИ867 при температуре 700° С.



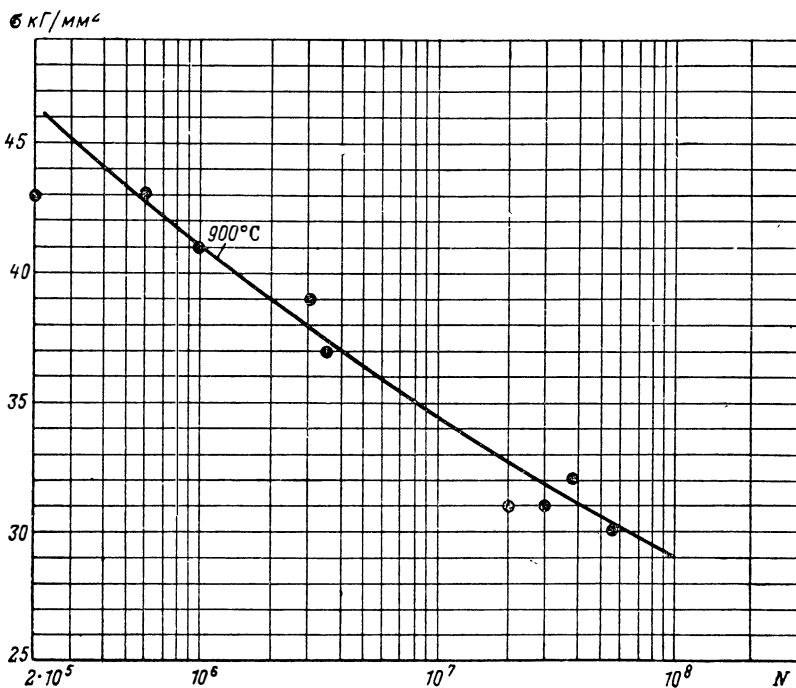
Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЭИ867 при температуре 800° С.



Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ЭИ867 при температуре 900°C.



Фиг. 6. Кривые длительной прочности сплава ЭИ867.



Фиг. 7. Кривые выносливости сплава ЭИ867 при высоких температурах (испытание при чистом круговом изгибе).



## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ЭП109 (ЭИ867А)

## Химический состав в % \*

C	Si	Mn	Cr	Co	Al	W
<0,1	<0,6	<0,3	8,5—10,5	11—13	5,4—6,2	6,0—7,5

Продолжение

Mo	Ni	Fe	V*	Ce*	S	P
					не более	
6,5—8,0	Основа	<1,5	<0,02	0,01—0,02	0,011	0,015

\* Бор и церий вводятся по расчету и химическим анализом не определяются.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d мм)	$\sigma_{50}$	$\sigma_{80}$
								%	
Прутки горячекатаные	ЧМТУ ЦНИИЧМ 462—61	Термически обработанные по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 \pm 25^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,2—3,5	—	—
			900	65	3	7	—	27	—
			900	—	—	—	—	—	—

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	$E_d$	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
		кг/мм <sup>2</sup>					%				
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ\text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 \pm 25^\circ\text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	21 100	20 500	110—130	85—95	68—76	18	9—20	11—20	2—5	3,2—3,5
	500	18 800	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	600	18 300	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	700	17 600	16 900	108—115	75—85	60—70	12	—	12—18	—	—
	750	—	16 600	108—115	75—85	60—70	9	5—10	7—15	3—7	—
	800	16 900	—	100—110	—	—	—	5—8	7—15	3—6	—
	850	16 300	15 100	75—85	65—75	45—52	4	3—6	5—10	3—5	—
	900	—	14 100	65—80	50—60	32—40	4	3—12	7—15	4—6	—
	950	—	13 600	55—60	40—50	20—30	7	4—15	8—18	4—6	—
	1000	—	11 800	35—45	25—35	15—20	9	6—18	13—20	4—6	—

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_1$	$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$
		кг/мм <sup>2</sup>						
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ\text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 + 25^\circ\text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	750	83	78—80	70—73	—	—	—	—
	800	70	60	58	50	48	44—45	34*— 38**
	900	48	37	34	29	27—28	24—26	15*— 18**
	950	30—32	24—25	22—23	19—20	17—19	14*— 16**	8*— 10**

## Продолжение

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{0,2/10}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе циклов:		
							10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>						
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ\text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 + 25^\circ\text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	750	—	—	65—67	—	—	—	
	800	31*—34**	29*—31**	—	37	—	—	
	900	13*—15**	10*—12**	—	14—15	32—36	28—32	
	950	6,5*— 7,5**	5,5*— 6,5**	11—12	—	—	—	

\* Минимальный показатель предела длительной прочности.

\*\* Средний показатель предела длительной прочности.

**Механические свойства металла, полученного методом вакуумного дугового переплава, по ТУ (не менее)**

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d мм)	$\sigma_{50}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки горячекатаные диаметром 45 мм	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4–6 час) на воздухе; старение при $950 + 25^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,2—3,5	—
	ЦНИИЧМ 831–62		900	65	4	8	—	27

**Механические свойства при комнатной и высоких температурах металла, полученного методом вакуумного дугового переплава**

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>				
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4–6 час) на воздухе; старение при $950 + 25^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	110–130	85–95	10–20	15–20	5–10
	700	105–115	—	12–20	15–22	—
	800	95–110	—	7–12	8–20	—
	900	65–85	—	4–13	8–18	—
	950	55–65	—	11–19	15–23	—
	1000	40–45	—	12–20	15–25	—

**Ударная вязкость металла при температурах горячей деформации, полученного методом вакуумного дугового переплава**

Состояние материала	Температура испытания в °С			
	1100°	1150°	1180°	1200°
	кг·м/см <sup>2</sup>			
Термически не обработанный	7–15	15–25	7–20	4–15

**Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости металла,  
полученного методом вакуумного дугового переплава**

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{10}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе циклов	
							107	10 <sup>8</sup>
							кг/мм <sup>2</sup>	
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4—6 час) на воздухе; старение при $950 + 25^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	700	—	—	76—77	—	—	—	—
	800	—	—	45—46	—	37—38	—	—
	900	36—38	27—29	25—27	18	15—16	36	31
	950	24—26	20	16—18	—	—	—	—
	980	20	15	12—13	—	—	—	—
	1000	15	10	8—9	—	—	—	—

**Физические свойства**

$$d = 8,45 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 11,8$  (20—100°); 12,2 (20—200°); 12,7 (20—300°); 13,1 (20—400°); 13,4 (20—500°); 13,6 (20—600°); 14,2 (20—700°); 14,8 (20—800°); 15,7 (20—900°); 17,0 (20—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 12,7$  (100—200°); 13,5 (200—300°); 14,3 (300—400°); 14,8 (400—500°); 15,4 (500—600°); 17,1 (600—700°); 19,7 (700—800°); 23,4 (800—900°); 28,3 (900—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,019$  (25°); 0,021 (100°); 0,025 (200°); 0,028 (300°); 0,033 (400°); 0,038 (500°); 0,044 (600°); 0,050 (700°); 0,056 (800°); 0,062 (900°) кал/см·сек·°С.

**Технологические данные**

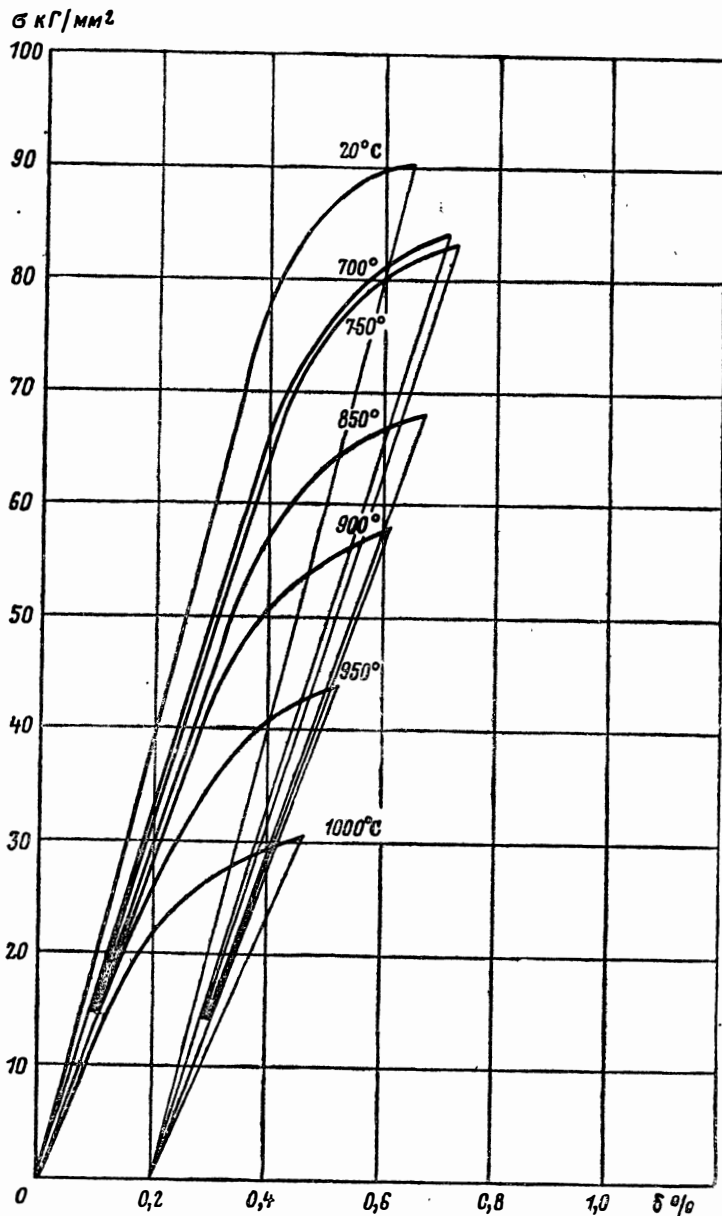
Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1190—1070°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 30%. При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,8 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск, 1,0 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

Термическая обработка: закалка с  $1220 \pm 10$  (выдержка 4—6 час) на воздухе; старение при  $950 + 25^\circ \text{C}$  в течение 8 час, охлаждение на воздухе.

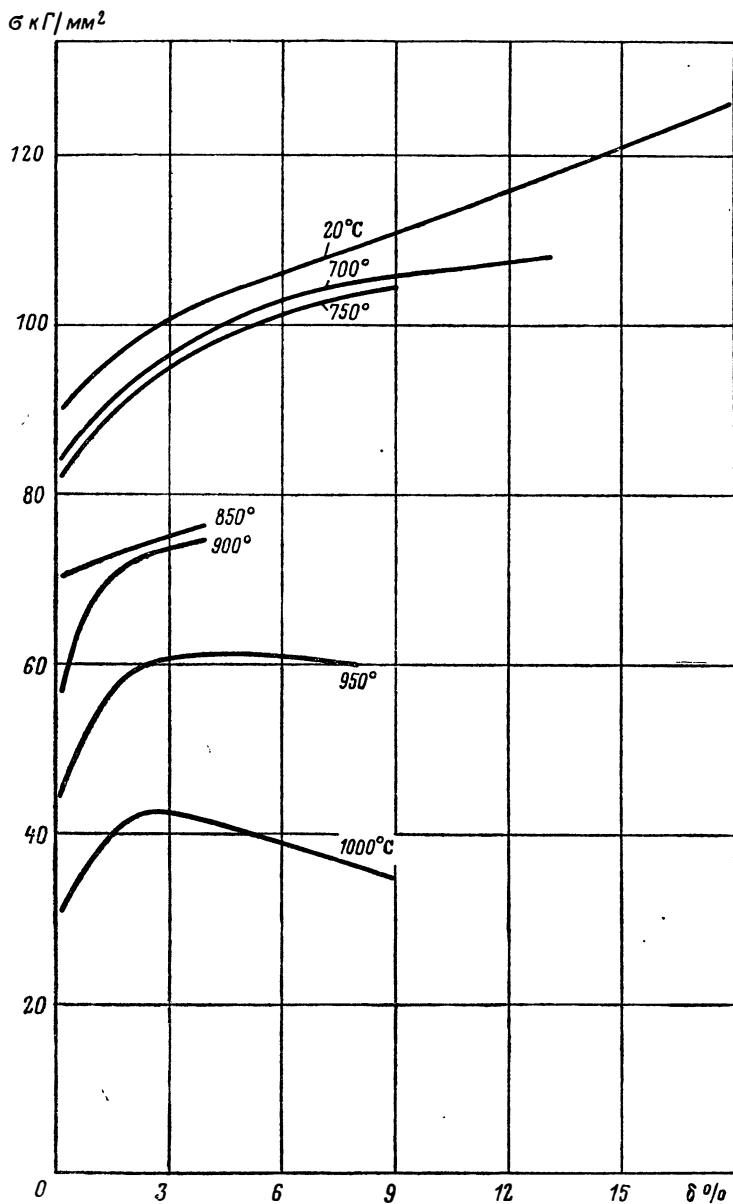
Готовые детали для снятия остаточных напряжений в поверхностном слое подвергают отпуску по режиму: нагрев в воздушной среде или в среде аргона при  $950^\circ \text{C}$  в течение 2 час, охлаждение на воздухе.

**Применение**

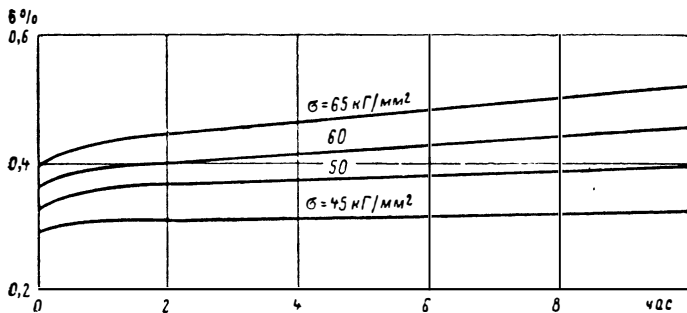
Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах до  $950^\circ \text{C}$ .



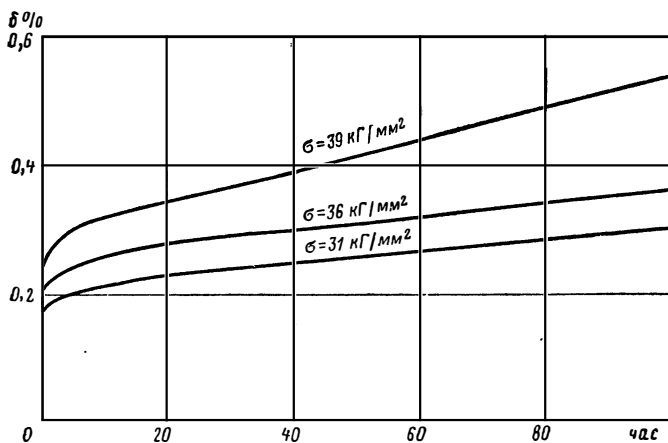
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЭП109 до предела текучести.



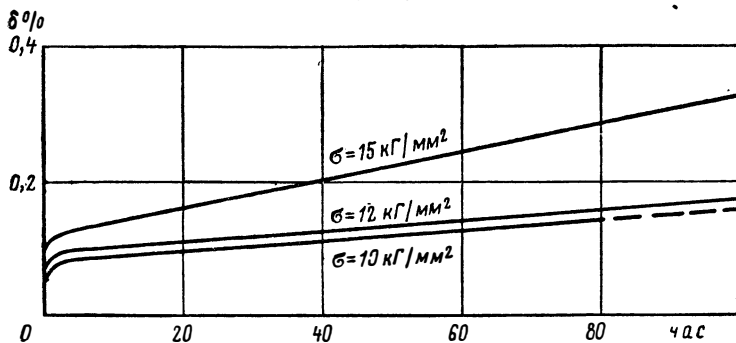
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЭП109 от предела текучести до разрушения.



Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЭП109 при температуре 750° С.

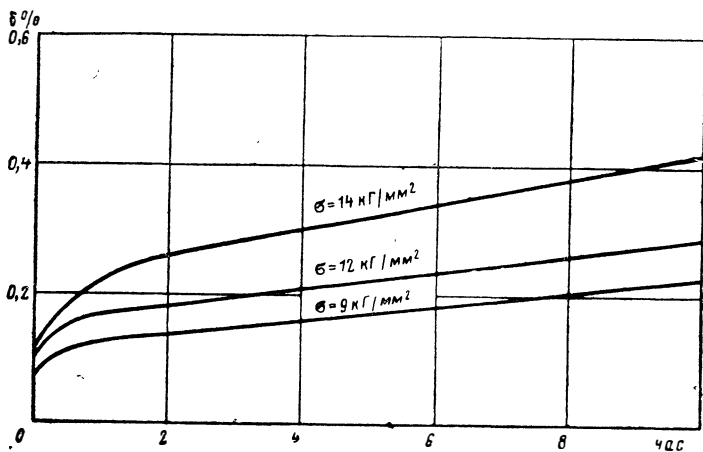


Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЭП109 при температуре 800° С.

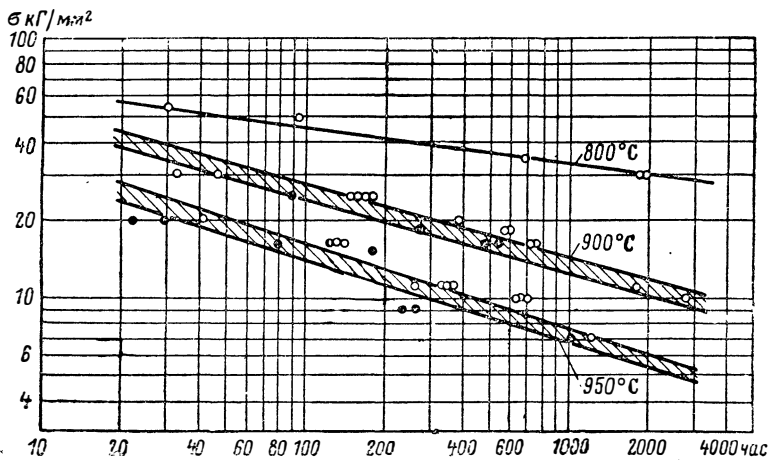


Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ЭП109 при температуре 900° С.





Фиг. 6. Кривые ползучести сплава ЭП109 при температуре 950°C.



Фиг. 7. Кривые длительной прочности сплава ЭП109.

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЭП238</b>
----------------------------------	--------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	W	Cr	Ni	Mo
≤0,08	≤0,4	≤0,3	6—8	7,5—9,0	Основа	3,0—5,5

## Продолжение

Co	Al	Fe	B*	Ce*	S	P
					не более	
13,5—16,0	6,1—6,7	≤1	≤0,02	≤0,02	0,011	0,015

\* Бор и церий вводятся по расчету и химическим анализом не определяются.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0.2}$ %	$\psi$ %	НВ (d мм)	$\sigma_{50}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки горячекатаные	ЧМТУ ЦНИИЧМ 690—62	Термически обработанные по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 25^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,25— 3,5	—
			940	—	—	—	—	22
			950	50	3	6	—	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$E_d$	$\sigma_b$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	HB (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>		%			
Прутки	Термически обработанные по режиму: заковка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 25^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	22 300	100—130	10—20	12—20	3—5	3,25— 3,50
		400	20 500	—	—	—	—	—
		500	19 800	—	—	—	—	—
		600	19 100	—	—	—	—	—
		700	18 700	97—110	12—20	13—20	3—5	—
		800	17 700	90—105	5—10	7—15	3—4	—
		900	—	70—75	3—8	5—15	3—5	—
		950	—	55—70	3—10	6—15	3—5	—
		1000	—	40—50	5—15	7—20	3—5	—

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{10}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{100}^*$	$\sigma_{100}^H$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе $10^7$ циклов
			кг/мм <sup>2</sup>					$\sigma_{100}^H$		
Прутки	Термически обработанные по режиму: заковка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 25^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	800	—	49	47— 48	45	45—47	0,9— 1,0	39	32
		900	33	30— 31	28— 30	26	28—30	$\geq 1$	17	31
		950	26	22	20	17— 18	—	—	10—12	25
		1000	16	—	10	—	—	—	—	—

\* Радиус надреза 0,5 мм.

## Механические свойства металла, полученного вакуумным дуговым переплавом (по ТУ)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_{50}$ кг/мм <sup>2</sup>
					%		
не менее							
Горячекатаные прутки диаметром 45 мм	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 + 25^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	950	50	4	8	—
	ЦНИИЧМ 831—62		940	—	—	—	22

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах металла, полученного вакуумным дуговым переплавом

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	$a_H$ кг·м/см <sup>2</sup>
			%		
Термически обработанный по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 + 25^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	100—125	12—20	15—25	—
	700	95—110	10—20	15—20	—
	800	90—100	7—14	10—20	—
	850	80—85	7—10	10—15	—
	900	68—80	4—10	8—15	—
	950	50—60	7—10	10—15	—
	1000	43—50	7—10	10—15	—
	1050	—	—	—	7
	1100	—	—	—	9
	1150	—	—	—	13
	1175	—	—	—	3
	1200	—	—	—	2

**Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости металла,  
полученного вакуумным дугowym переплавом**

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{*100}$	$\sigma_{*100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
		кг/мм <sup>2</sup>			кг/мм <sup>2</sup>		
Термически обработанный по режиму: закалка с 1220±10°С (4 часа) на воздухе; старение при 950±25°С (8 час), охлаждение на воздухе	700	78—80	75—76	80	>1	—	—
	800	47—48	—	47	1	40	32—37**
	900	28—30	—	>30	>1	18	32
	950	19—20	—	>20	>1	12—13	31—32**
	1000	10—11	—	—	—	—	—

\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\* По данным завода «Электросталь».

#### Физические свойства

$d=8,26 \text{ г/см}^3$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 12,3 (20-100^\circ); 12,7 (20-200^\circ); 13,3 (20-300^\circ); 13,7 (20-400^\circ); 14,0 (20-500^\circ); 14,3 (20-600^\circ); 14,8 (20-700^\circ); 15,4 (20-800^\circ); 16,3 (20-900^\circ); 17,4 (20-1000^\circ) 1/^\circ\text{C}$ .

$\alpha \cdot 10^6 = 13,2 (100-200^\circ); 14,4 (200-300^\circ); 14,9 (300-400^\circ); 15,1 (400-500^\circ); 15,9 (500-600^\circ); 17,7 (600-700^\circ); 19,8 (700-800^\circ); 23,2 (800-900^\circ); 28,0 (900-1000^\circ) 1/^\circ\text{C}$ .

$\lambda = 0,023 (25^\circ); 0,025 (100^\circ); 0,027 (200^\circ); 0,031 (300^\circ); 0,035 (400^\circ); 0,038 (500^\circ); 0,042 (600^\circ); 0,049 (700^\circ); 0,056 (800^\circ) \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$ .

#### Технологические данные

Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1200—1070°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 20%.

Для повышения технологической пластичности сплав рекомендуется переплавлять в дугowych вакуумных печах с расходуемым электродом.

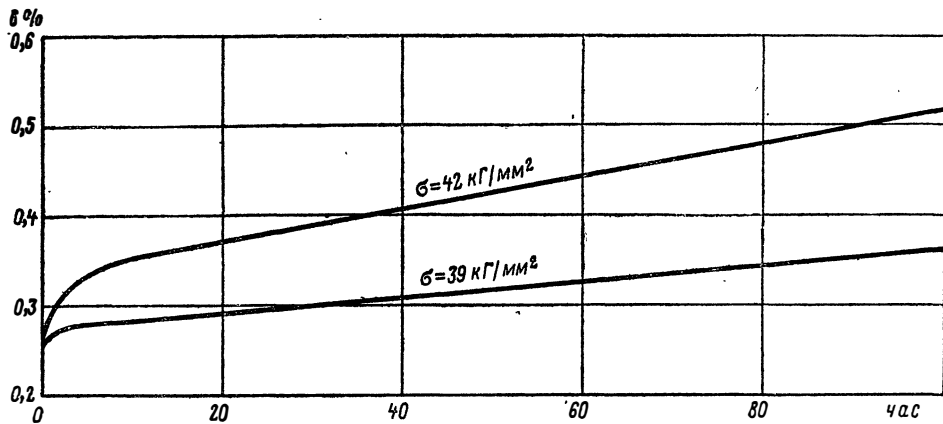
При нагреве заготовок лопаток под деформацию и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,8 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск 1,0 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

Термическая обработка: закалка с 1220±10°С (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при 950±25°С в течение 8 час, охлаждение на воздухе.

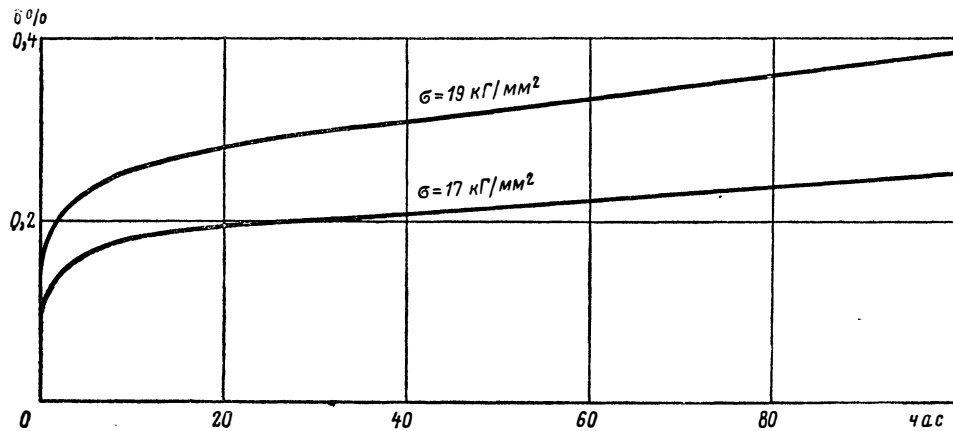
Готовые детали для снятия остаточных напряжений в поверхностном слое подвергают отпуску по режиму: нагрев при 950°С в воздушной среде в течение 2 час, охлаждение на воздухе.

#### Применение

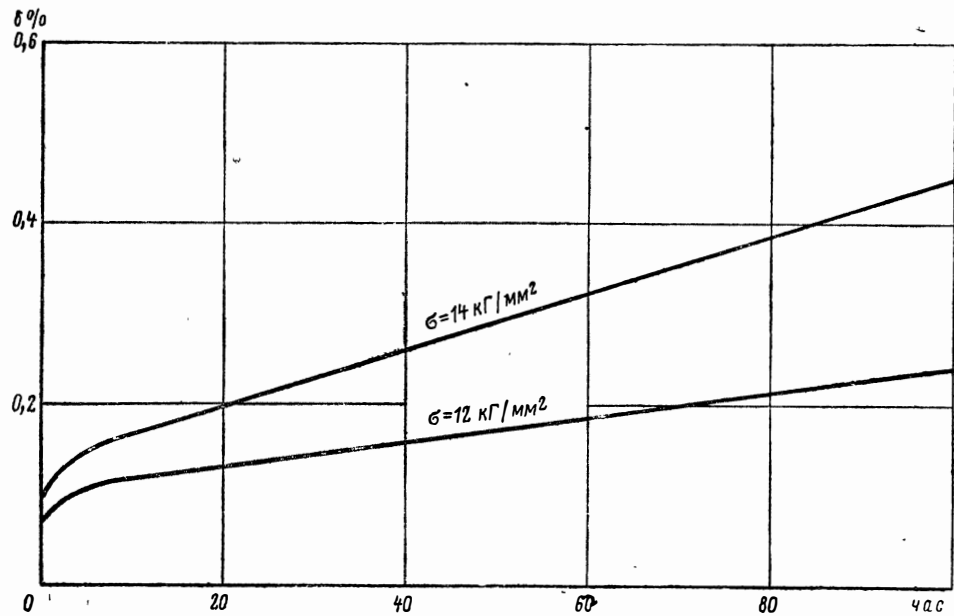
Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах до 950°С.



Фиг. 1. Кривые ползучести сплава ЭП238 при температуре 800°С. (Металл вакуумного дугового переплава).

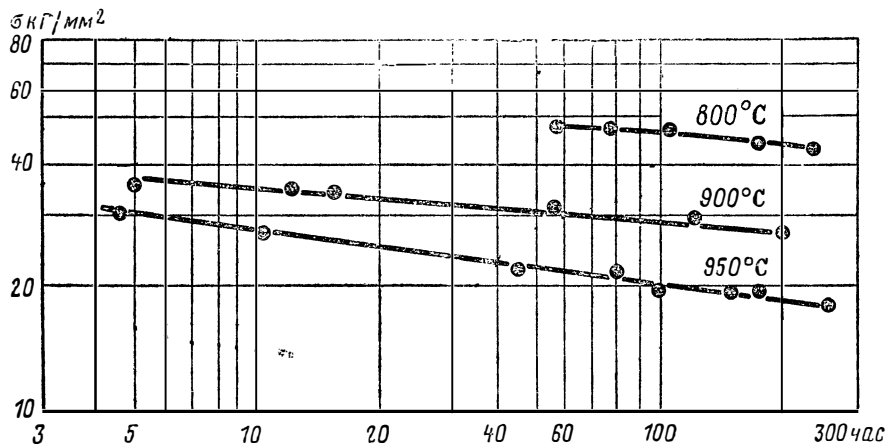


Фиг. 2. Кривые ползучести сплава ЭП238 при температуре 900° С. (Металл вакуумного дугового переплава).



Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЭП238 при температуре 950°С. (Металл вакуумного дугового переплава).





Фиг. 4. Кривые длительной прочности сплава ЭП238 (металл вакуумного дугового переплава).

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЭИ929</b>
----------------------------------	--------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Co	W	Mo	Ni
≤0,12	≤0,5	≤0,5	9—12	12—16	4,5—6,5	4—6	Основа

## Продолжение

Ti	V	Al	B*	Ba*	Fe	S	P
						не более	
1,4—2,0	0,2—0,8	3,6—4,5	≤0,02	≤0,1	≤5	0,01	0,015

\* Бор и барий вводятся по расчету и химическим анализом не определяются.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d мм)	$\sigma_{50}^{50}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки диаметром 35 и 45 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 159—59	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $850 \pm 10^\circ \text{C}$ (8 час), охлажденные на воздухе	20	—	—	—	3,3—3,6	—
			900	55	6	8	—	22

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °C	$E_d$	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$HV$ кг/мм <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>					%		
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ C$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ C$ (4 часа) на воздухе; старение при $850 \pm 10^\circ C$ (8 час), охлаждение на воздухе	20	22 200	21 000	100—120	75—80	67—70	6—12	8—12	341—342
	500	19 600	18 000	100	70—75	60—65	8—12	10—12	—
	600	19 100	17 000	90—100	70—75	60—65	8—12	10—12	—
	700	18 500	16 500	90—100	70—75	60—65	8—12	10—15	—
	800	17 600	15 800	80—90	60—70	55—60	9—12	10—15	—
	900	16 700	14 400	60—70	40—50	35—40	11—20	12—25	200—220
	1000	—	12 000	25—32	19—25	13—18	17—20	20—30	—

## Пределы секундной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Прутки	В состоянии поставки ( $\sigma_B^{20} = 125$ кг/мм <sup>2</sup> )	800	105	98	92	88	84
		900	70	57	53	52	51
		1000	46	35	31	30	29,5

## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_1$	$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{300}$
		кг/мм <sup>2</sup>							
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $850^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	700	83—85	80—82	78—79	76—79	75—76	73—74	68—70	—
	800	69	58—59	54—55	50—52	47—48	44—45	40—42	37**
	850	—	—	—	—	—	30—32	—	24,5**
	900	38—40	30—31	28	26	23—24	21—22	20—21	—
	950	24—25	21—22	19—20	16—18	14—15	12—13	—	—
	1000	18—19	15	12	10	8	7	—	—

## Продолжение

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{3000}$	$\sigma_{5000}$	$\sigma_{10000}$	$\sigma_{100}^H$	$\frac{\sigma_{100}^H}{\sigma_{100}}$
		кг/мм <sup>2</sup>							$\sigma_{100}^H$
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $850^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	700	—	60**	—	54**	53**	50****	73—74	1
	800	34***	31***	29***	31**	29****	27****	44—45	1
	850	—	22**	—	17**	14****	—	—	—
	900	14***	12***	10***	—	—	—	22—24	>1
	950	8,5***	6,5***	5,5***	—	—	—	—	—
	1000	—	—	—	—	—	—	—	—

\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\* По данным ЦКТИ (с измененным режимом термической обработки).

\*\*\* Средний показатель длительной прочности.

\*\*\*\* По данным ЦКТИ, полученным путем экстраполяции.

## Пределы ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2,500}$	$\sigma_{-1}$						$\sigma_{H^* -1}$
				на базе циклов:						
				10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	2·10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	
<i>кГ/мм<sup>2</sup></i>										
Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $850 \pm 10^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	700	—	—	—	38	33 41**	29	28	26	
	800	35	24	44	38	33—36 42**	28	27	—	
	850	—	—	—	—	37*** 15 ± 31*** 28 ± 21***	—	—	—	
	900	14	10,5	42—43	36—41	30—35	26—30	25	26	
	950	8	6,5	—	—	—	—	—	—	

\* Радиус надреза 0,75 мм.

\*\* При содержании углерода на верхнем пределе.

\*\*\* Испытание при переменном изгибе со статическим растяжением (данные ЦИАМ).

**Механические свойства при комнатной и высоких температурах металла, полученного электрошлаковым и вакуумным дуговым переплавом и в вакуумной индукционной печи**

Метод выплавки	Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{\text{в}}$ кГ/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$
				%	
Электрошлаковый переплав	Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $850^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	800	89—96	8—12	10—15
		900	60—72	16—22	20—30
Вакуумный дуговой переплав		900	60—70	12—22	13—25
Вакуумная индукционная		20	104—124	8—14	12—19
		900	60—70	12—16	13—22

**Длительная прочность металла, полученного электрошлаковым и вакуумным дуговым переплавом и в вакуумной индукционной печи**

Метод выплавки	Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	Время до разрушения час
Вакуумная индукционная	Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $850^\circ \text{C}$ (8 час), охлаждение на воздухе	900	22	190
Электрошлаковый переплав		900	22	150—160
Вакуумный дуговой переплав		900	22	180

**Физические свойства**

$$d = 8,4 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 10,79$  ( $20-100^\circ$ ); 11,67 ( $20-200^\circ$ ); 12,44 ( $20-300^\circ$ ); 12,82 ( $20-400^\circ$ ); 13,41 ( $20-500^\circ$ ); 13,77 ( $20-600^\circ$ ); 14,14 ( $20-700^\circ$ ); 14,47 ( $20-800^\circ$ ); 15,52 ( $20-900^\circ$ )  $1/^\circ\text{C}$ .

$\lambda = 0,021$  ( $20^\circ$ ); 0,025 ( $100^\circ$ ); 0,029 ( $200^\circ$ ); 0,034 ( $300^\circ$ ); 0,039 ( $400^\circ$ ); 0,044 ( $500^\circ$ ); 0,049 ( $600^\circ$ ); 0,054 ( $700^\circ$ ); 0,058 ( $800^\circ$ ); 0,064 ( $900^\circ$ ) кал/см·сек·°С.

**Технологические данные**

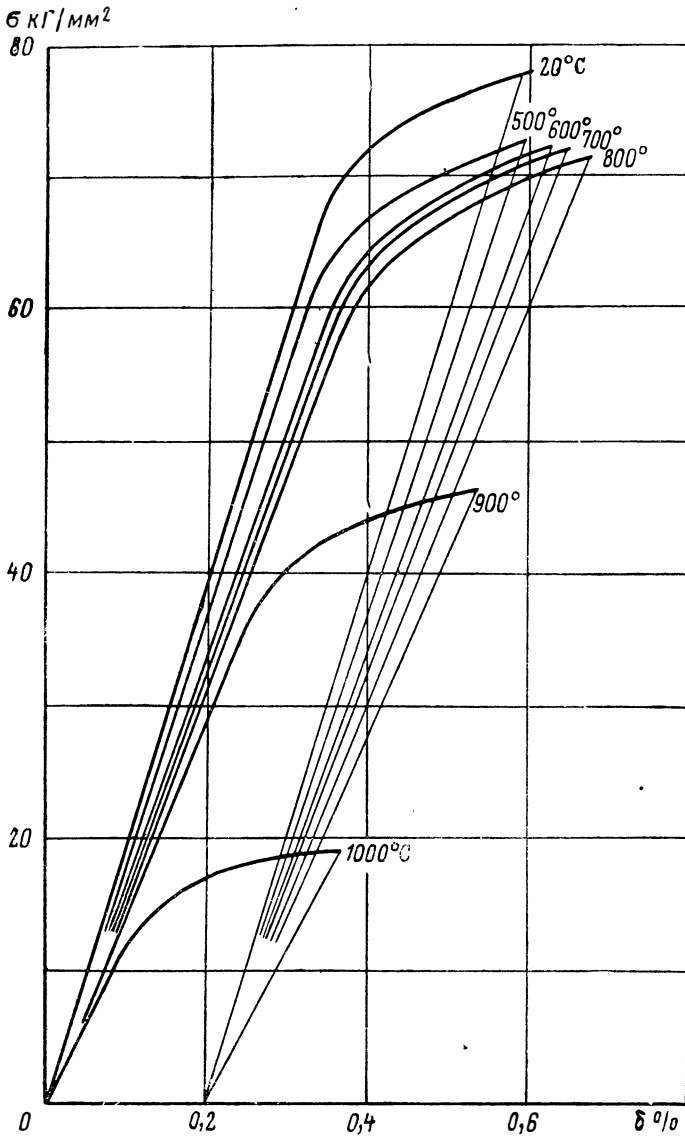
Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации  $1180-1080^\circ \text{C}$ . Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 45%. Исследования показали, что металл, полученный методом электрошлакового и вакуумного дугового переплава, обладает лучшей технологической пластичностью, ударная вязкость при высоких температурах ( $1000-1170^\circ \text{C}$ ) повышается в 2—4 раза.

При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,5 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск 1,0 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

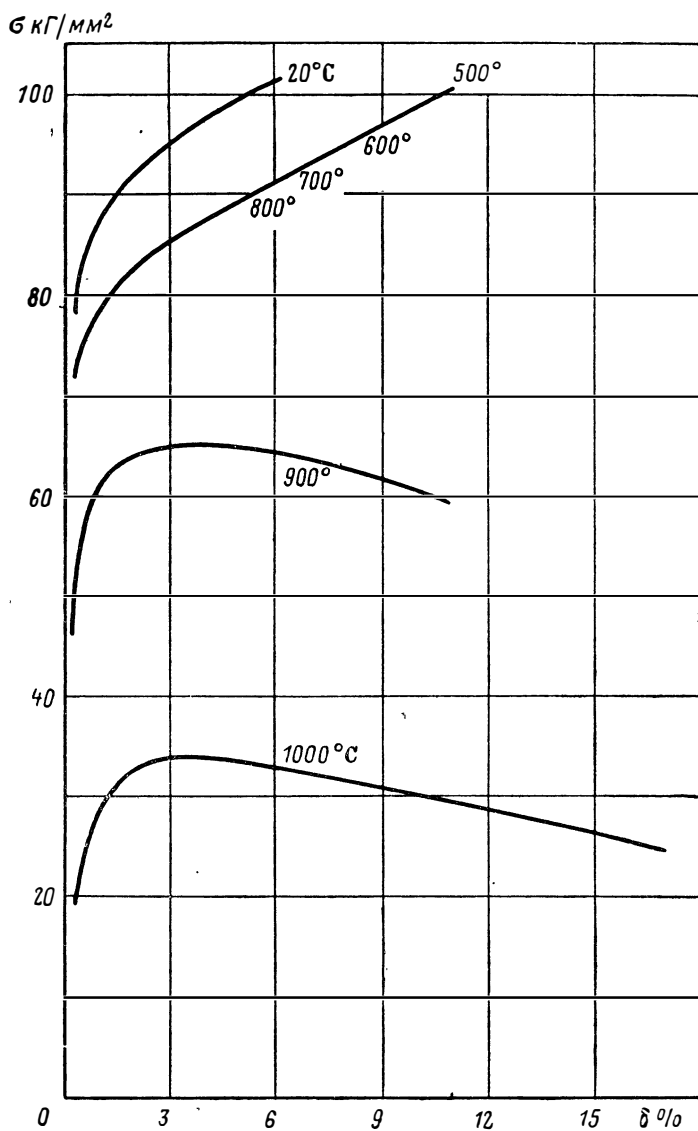
Термическая обработка: 1-я закалка с  $1220 \pm 10^\circ \text{C}$  (выдержка 2 часа) на воздухе; 2-я закалка с  $1050 \pm 10^\circ \text{C}$  (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при  $850 \pm 10^\circ \text{C}$  в течение 8 час, охлаждение на воздухе.

**Применение**

Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах  $850-950^\circ \text{C}$ .

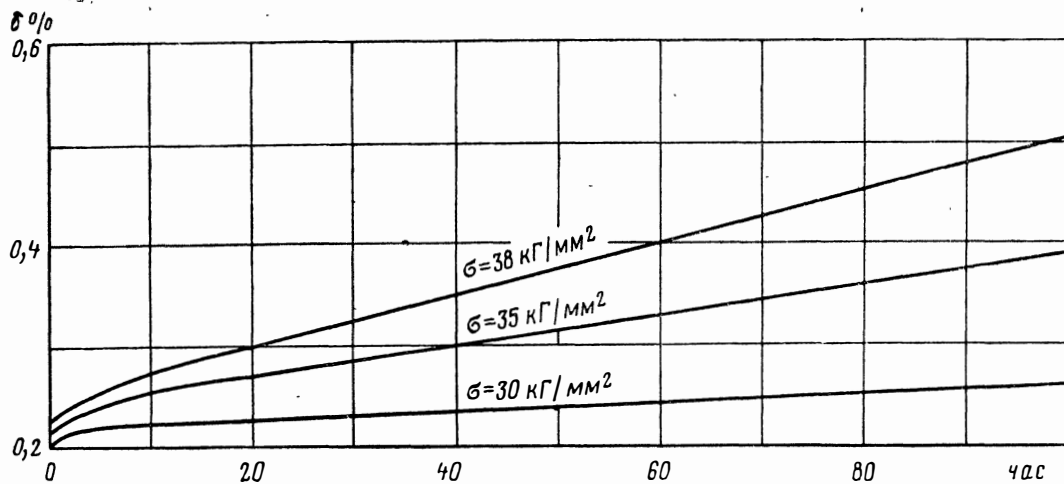


Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЭИ929 до предела текучести.

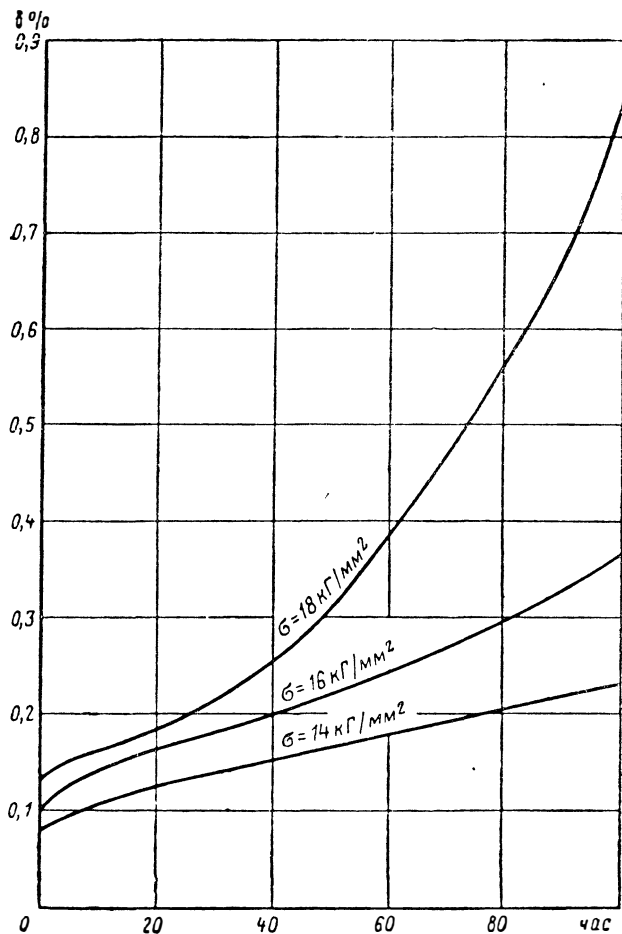


Фиг. 2 Кривые растяжения сплава ЭИ929 от предела текучести до разрушения.

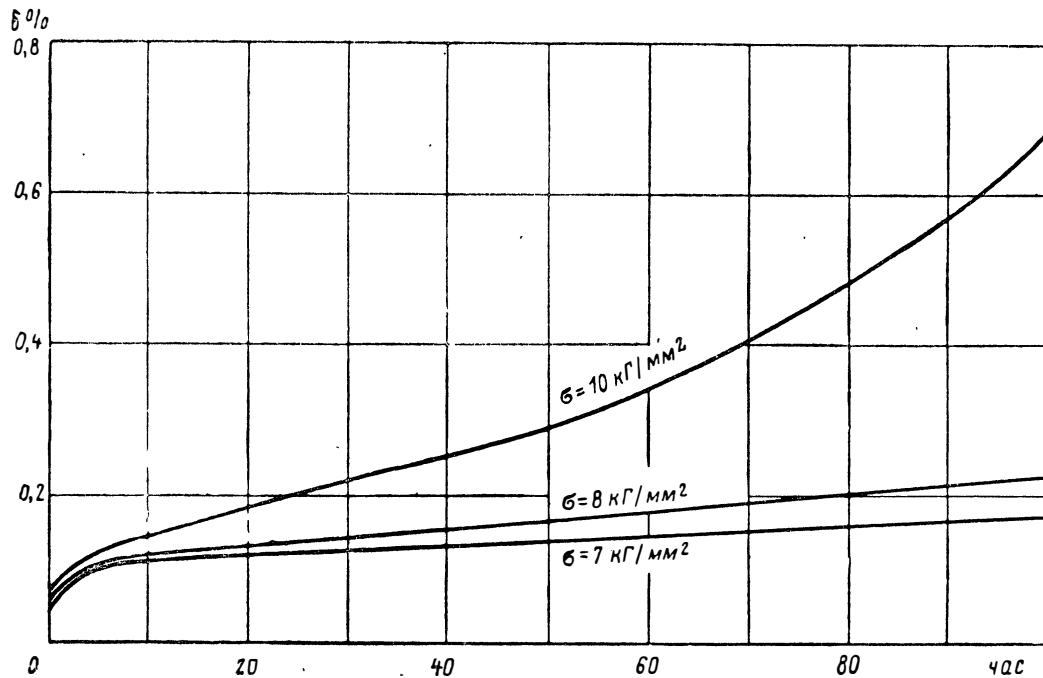




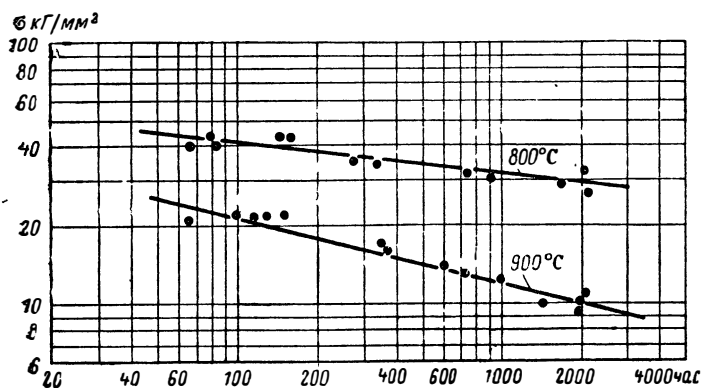
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЭИ929 при температуре 800° С.



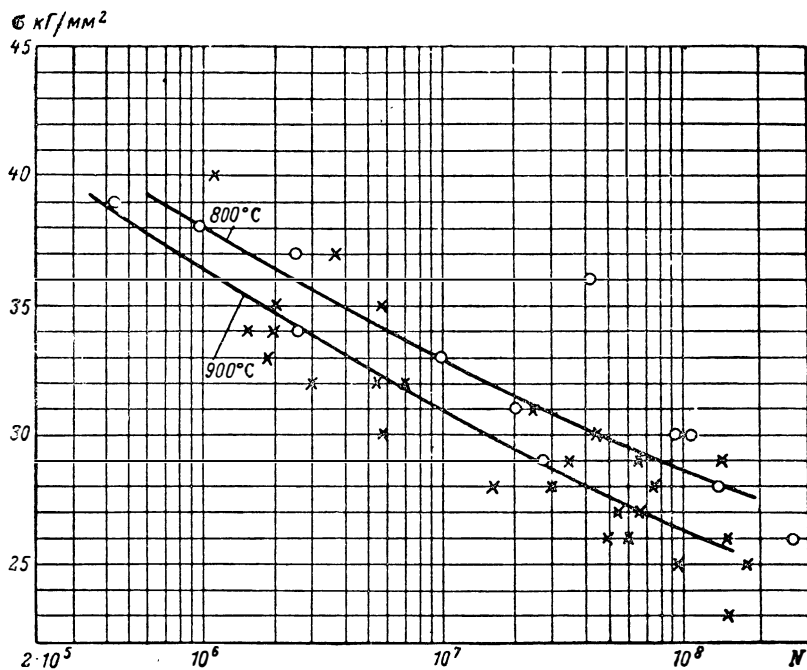
Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЭИ929 при температуре 900°С.



Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ЭИ929 при температуре 950° С.



Фиг. 6. Кривые длительной прочности сплава ЭИ929.



Фиг. 7. Кривые выносливости сплава ЭИ929 при высоких температурах (испытание при чистом круговом изгибе).

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЭП57</b>
----------------------------------	-------------

## Химический состав в % \*

C	Si	Mn	Cr	Co	Mo	Al
0,1—0,2	<0,5	<0,5	9—12	14—16	4—6	3,7—4,7

## Продолжение

Ti	W	Ni	V	Fe	B	S	P
						не более	
2,0—2,8	5—7	Основа	0,2—0,8	≤5	≤0,02	0,010	0,015

\* По углероду допускается отклонение от указанного химического состава до —0,02%; бор вводится по расчету и химическим анализом не определяется.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d мм)	$\sigma_{50}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки диаметром 35 и 45 мм	ЧМТУ	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,25—3,6	—
	ЦНИИЧМ 286—60		900	60	6	8	—	26

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\psi$
			кг/мм <sup>2</sup>		%	
Прутки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа), охлаждение на воздухе	20	22 600	100—120	10—15	12—16
		700	18 700	90—100	6—10	8—12
		800	17 800	85—90	6—10	8—12
		900	—	60—70	12—17	17—25
		1000	—	32—37	18—25	20—28

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_1$	$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$
			кг/мм <sup>2</sup>						
Прутки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа), охлаждение на воздухе	800	70	60	58	50	46—47	44—45	34*—38**
		900	48	37	34	29	26—28	24—26	15*—18**
		950	30—32	24—25	22—23	19—20	17—18	14—16	9*—10**

\* Минимальный показатель предела длительной прочности.

\*\* Средний показатель предела длительной прочности.

		Продолжение								
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$				
						на базе циклов				
						10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	2·10 <sup>8</sup>
кг/мм <sup>2</sup>										
Прутки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа), охлаждение на воздухе	800	31*— 34**	29*— 31**	36—37	52	45	39	33—34	32— 33
		900	13*— 15**	10*— 12**	14—15	—	—	—	—	—
		950	7*— 8**	6*— 7**	—	—	—	—	—	—

\* Минимальный показатель предела длительной прочности.

\*\* Средний показатель предела длительной прочности.

При испытании на длительную прочность в интервале температур 800—950°С чувствительность к надрезу ( $r=0,5$  мм) у сплава не обнаруживается.

#### Физические свойства

$d=8,38$  г/см<sup>3</sup>.

$\alpha \cdot 10^6=11,5$  (20—100°); 11,9 (20—200°); 12,4 (20—300°); 12,8 (20—400°); 13,1 (20—500°); 13,3 (20—600°); 13,8 (20—700°); 14,4 (20—800°); 15,2 (20—900°); 16,2 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda=0,022$  (20°); 0,026 (100°); 0,029 (200°); 0,033 (300°); 0,036 (400°); 0,040 (500°); 0,044 (600°); 0,048 (700°); 0,051 (800°); 0,056 (900°) кал/см·сек·°С.

#### Технологические данные

Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1180—1080°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 40%.

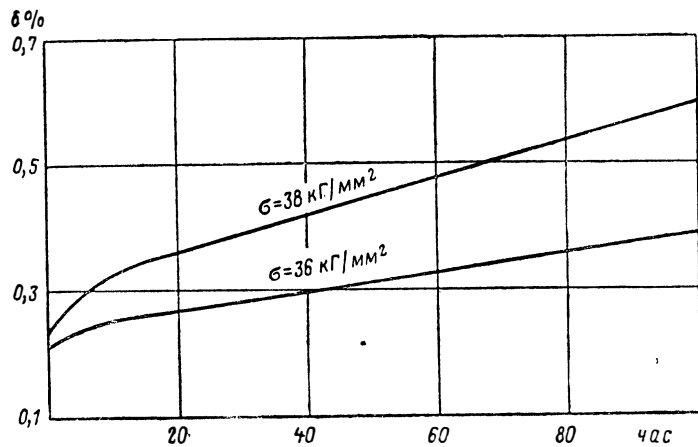
При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,5 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск 1,0 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

Термическая обработка: 1-я закалка с  $1220 \pm 10^\circ \text{C}$  (выдержка 4 часа) на воздухе; 2-я закалка с  $1050 \pm 10^\circ \text{C}$  (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при  $950 \pm 10^\circ \text{C}$  в течение 2 час, охлаждение на воздухе.

Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием.

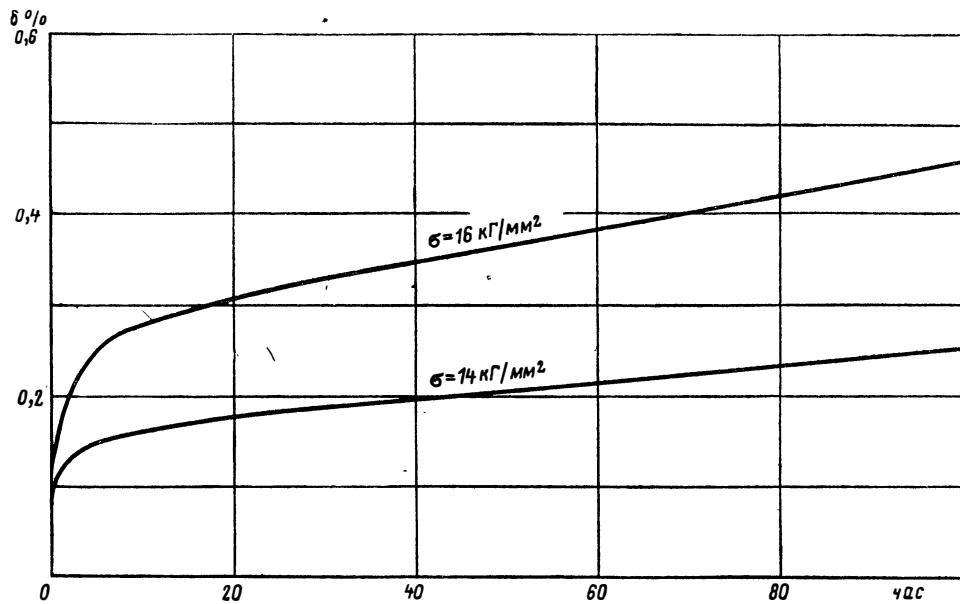
#### Применение

Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах 900—950°С.

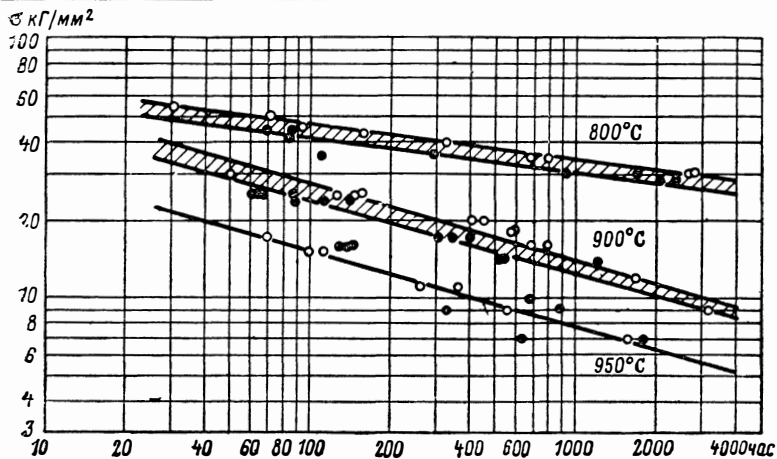


Фиг. 1. Кривые ползучести сплава ЭП57 при температуре  $800^\circ \text{C}$ .

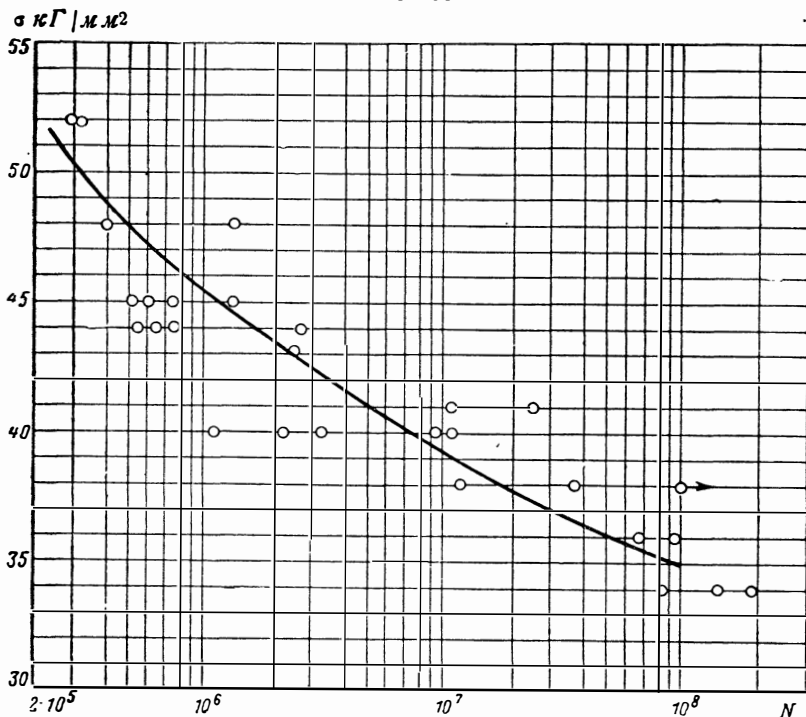




Фиг. 2. Кривые ползучести сплава ЭП57 при температуре 900° С.



Фиг. 3. Кривые длительной прочности сплава ЭП57 при различных температурах.



Фиг. 4. Кривая выносливости сплава ЭП57 при температуре 800°С (испытание при чистом круговом изгибе).

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЭП220</b>
----------------------------------	--------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Co	Mo	W
<0,08	<0,5	<0,5	9—12	14—16	5—8	5—7

## Продолжение

Ti	Al	Ni	V	Fe	B*	S	P
						не более	
2,2—2,9	3,9—4,8	Основа	0,2—0,8	≤3	≤0,02	0,009	0,015

\* Бор вводится по расчету и химическим анализом не определяется.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d мм)	$\sigma_{40}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки диаметром 45 мм	ЧМТУ ЦНИИЧМ 571—61	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ\text{C}$ (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ\text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 10^\circ\text{C}$ (2 часа), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	3,3—3,6	—
			940	—	—	—	—	22
			950	50	6	8	—	—

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$	$\delta_5$	$\psi$	НВ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>			%			
Прутки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа), охлаждение на воздухе	20	22 600	102—106	73—76	10	10—12	11—15	340
		500	20 000	—	—	—	—	—	—
		600	19 500	—	—	—	—	—	—
		700	19 100	93—95	—	—	10—12	15—16	—
		800	18 300	91—95	—	—	7—9	8—12	283
		900	16 500	68—72	39—43	8	8—12	11—14	225
		950	—	52—59	32—34	10	10—12	13—15	—
		1000	15 100	39—40	—	—	9—10	14—15	—

## Пределы секундной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{10^\circ}$	$\sigma_{60^\circ}$	$\sigma_{120^\circ}$	$\sigma_{180^\circ}$	$\sigma_{300^\circ}$
			кг/мм <sup>2</sup>				
Прутки	В состоянии поставки ( $\sigma_B^{20^\circ} = 140 \text{ кг/мм}^2$ )	800	114	108	104	100	95
		900	91	82	76	72	68
		1000	60	50	44	40	36

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	кг/мм <sup>2</sup>								
			$\sigma_{10}$	$\sigma_{100}^*$	$\sigma_{500}^*$	$\sigma_{1000}^*$	$\sigma_{4000}^*$	$\sigma_{100}^{**}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
Прутки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с $1220 \pm 10^\circ$ (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050 \pm 10^\circ$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 10^\circ$ (2 часа), охлаждение на воздухе	700	—	77	—	—	—	—	—	—	36
		750	—	57***	50***	49***	45***	—	—	—	—
		800	—	48	41	37	—	48	36	31	35
		900	33	27	19— 20	17	—	27	17	15	30
		950	26	20	—	—	—	—	10— 12	—	26
		1000	16	9	—	—	—	—	—	—	—

\* Средние показатели предела длительной прочности.

\*\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\*\* По данным ЦНИИТМАШ.

Механические свойства при комнатной и высоких температурах металла, полученного вакуумным дуговым переплавом и в вакуумной индукционной печи

Метод выплавки	Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ $\psi$	
				%	
Вакуумный дуговой переплав	Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с $1220^\circ\text{C}$ (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с $1050^\circ\text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950^\circ\text{C}$ (2 часа), охлаждение на воздухе	20	100—104	7—10	8—12
		950	55—62	6—10	7—12
Вакуумная индукционная		20	105—115	10—12	11—12
		950	56—58	11—18	15—22

**Длительная прочность металла, полученного методом вакуумного дугового переплава и в вакуумной индукционной печи**

Метод выплавки	Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	Время до разрушения часы
Вакуумный дуговой переплав	Термически обработанный по режиму: 1-я закалка с 1220°С (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1050°С (4 часа) на воздухе; старение при 950°С (2 часа), охлаждение на воздухе	940	22	60—80
Вакуумная индукционная		900	28	95—120
		940	22	70—110

**Физические свойства**

$$d=8,38 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 12,0$  (20—100°); 12,5 (20—200°); 12,9 (20—300°); 13,3 (20—400°); 13,6 (20—500°); 13,9 (20—600°); 14,3 (20—700°); 14,9 (20—800°); 15,6 (20—900°); 16,6 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,023$  (100°); 0,027 (200°); 0,030 (300°); 0,035 (400°); 0,038 (500°); 0,043 (600°); 0,047 (700°); 0,051 (800°); 0,056 (900°) кал/см·сек·°С.

**Технологические данные**

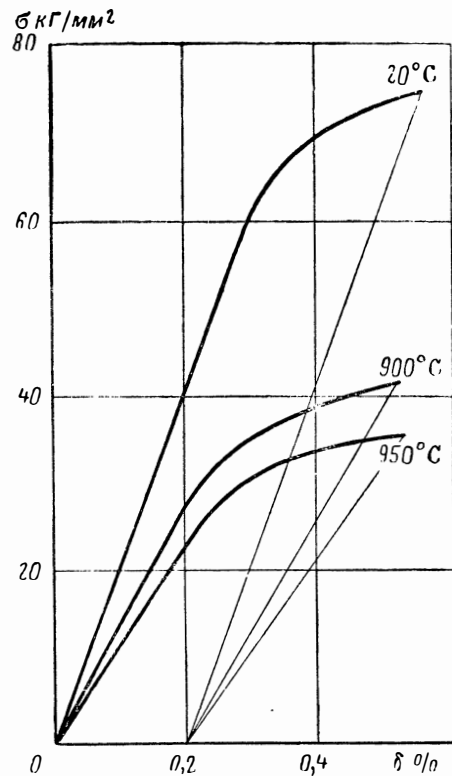
Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1180—1080°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 40%. Исследования показали, что металл, полученный методом электрошлакового и вакуумного переплава, а также вакуумной выплавки обладает лучшей технологической пластичностью — ударная вязкость при высоких температурах (1000—1170°С) повышается в 1,5—3 раза.

При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой или в печах с механическую обработку должен быть не менее 1,5 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск 1,0 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

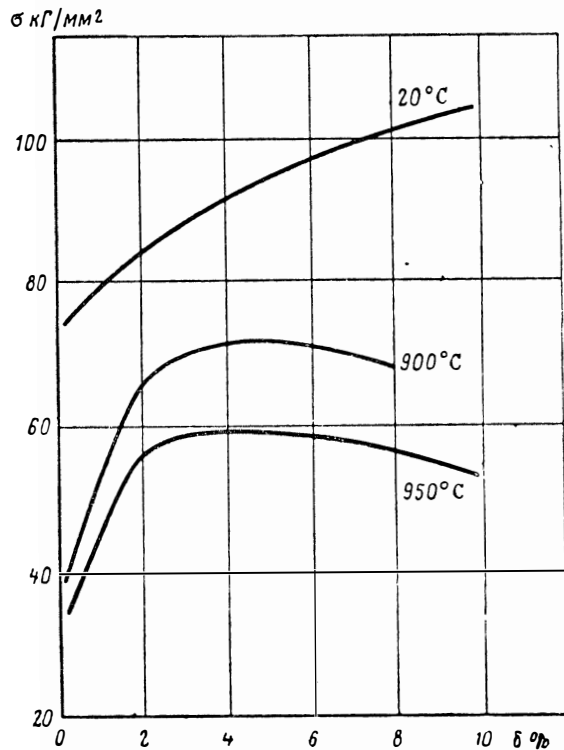
Термическая обработка: 1-я закалка с 1220±10°С (выдержка 4 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1050°С (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при 950±10°С в течение 2 час, охлаждение на воздухе. Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием.

**Применение**

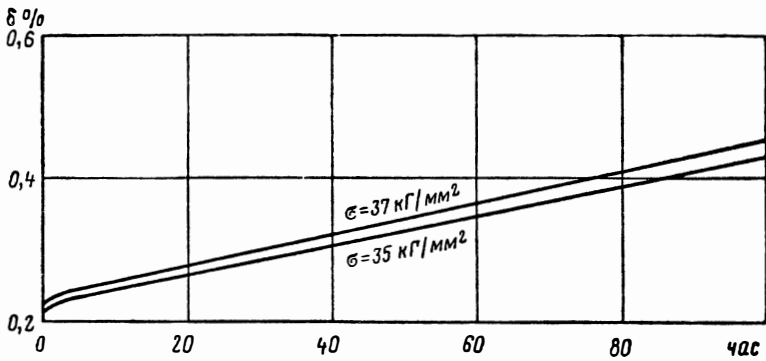
Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах 900—950°С.



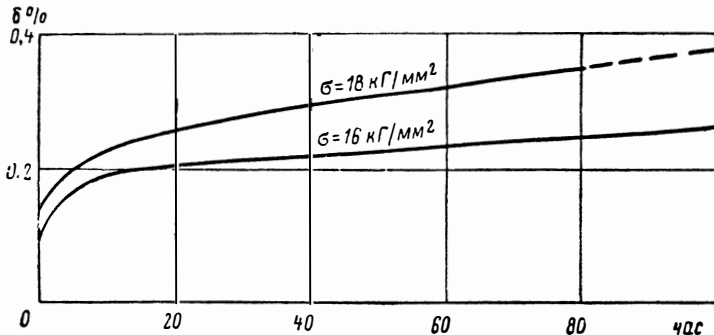
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЭП220 до предела текучести.



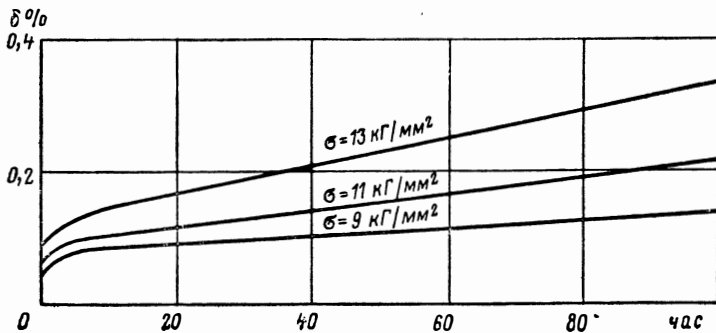
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЭП220 от предела текучести до разрушения.



Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЭП220 при температуре 800° С.

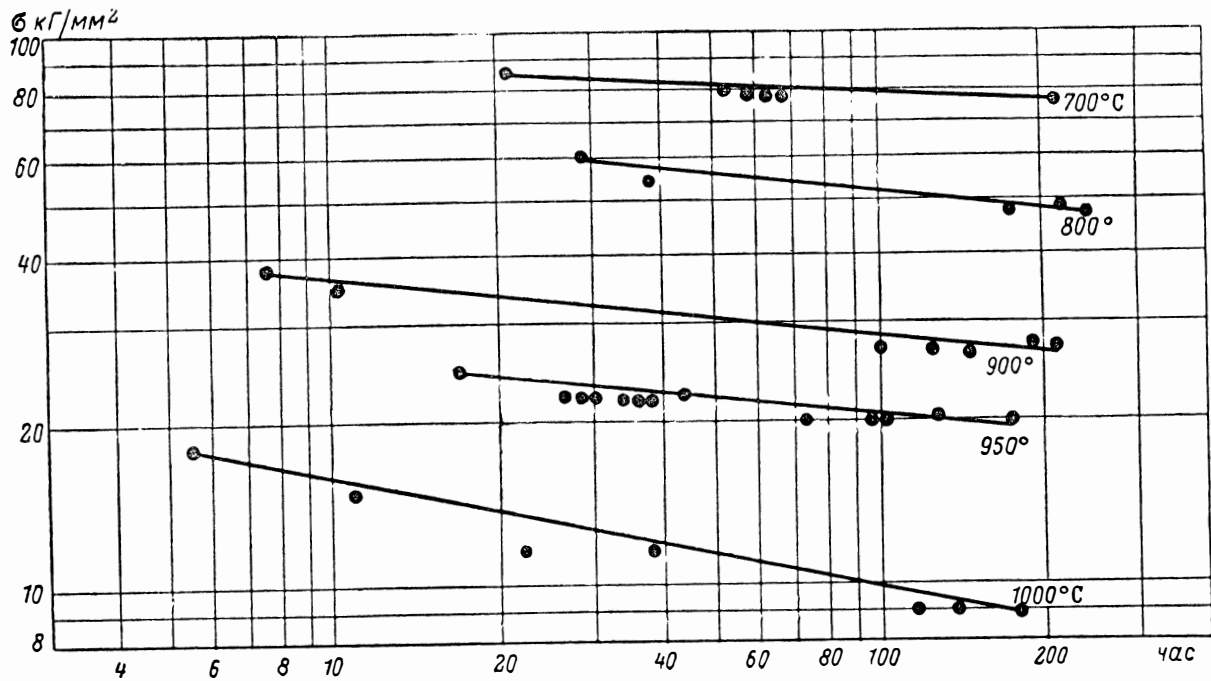


Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЭП220 при температуре 900° С.

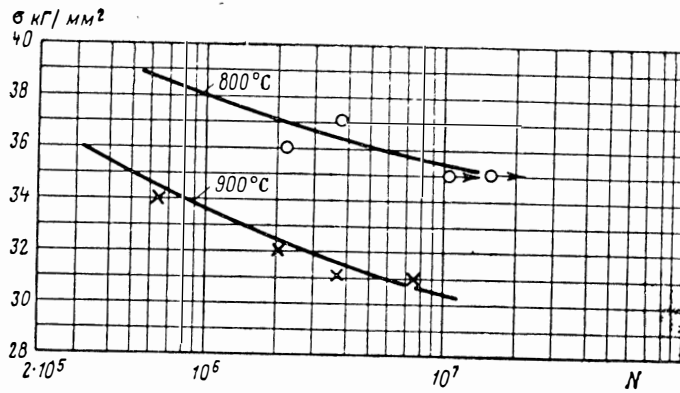


Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ЭП220 при температуре 950° С.





Фиг. 6. Кривые длительной прочности сплава ЭП220.



Фиг. 7. Кривые выносливости сплава ЭП220 при высоких температурах (испытание при чистом изгибе).

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ЖС6-КП

## Химический состав в % \*

C	Si	Mn	Cr	Co	Al	Mo
0,10—0,15	<0,4	<0,4	10—12	5—9	4,3—5,0	5,0—6,5

Продолжение

W	Ti	Ni	Fe	B	Ce	S	P
						не более	
3—5	2,6—3,5	Основа	<1,5	<0,02	<0,015	0,015	0,015

\* При соблюдении требований ТУ по свойствам допускаются отклонения в химическом составе: по углероду до +0,01%, кобальту до —0,5%, молибдену до —0,5%; бор и церий вводятся по расчету и химическим анализом не определяются.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки диаметром 40—50 мм	АМТУ 486—62	Термически обработанные по режиму: закалка с $1220 \pm 10^\circ \text{C}$ (4 часа) на воздухе; старение при $950 \pm 10^\circ \text{C}$ (2 часа), охлаждение на воздухе	900	27

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания °С	<i>E</i>	<i>E<sub>d</sub></i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>					%			
Термически обработанный по режиму: закалка с 1220°С (4 часа) на воздухе; отжиг при 1050°С (2 часа), охлаждение на воздухе	20	20 000	22 900	125—140	80—85	65—70	13—20	10—20	14—25	4,5—7,0
	600	16 600	19 000	110—125	75—80	65—70	16—20	10—16	12—25	—
	700	16 500	18 400	110—125	75—80	65—70	18—22	16—19	22—27	5
	800	15 700	17 600	100—105	75—80	63—65	12—15	10—12	15—20	5,8
	900	12 700	16 500	75—80	45—50	26—28	10—15	10—12	15—20	5,3
	950	12 200	15 800	55—70	33—40	23—25	7—10	4—11	8—15	—
	1000	11 500	15 000	47—50	25—30	20—21	9—15	8—13	15—20	—
	1050	—	—	33—40	—	—	7—10	—	12—20	—
	1100	—	—	27	—	—	6—15	—	—	—
	1150	—	—	6,2	—	—	30	—	—	—
1200	—	—	3,3	—	—	40	—	—	—	

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}^*$	$\sigma_{1000}^*$	$\sigma_{2000}^*$	$\sigma_{H100}^{**}$	$\frac{\sigma_H}{\sigma_{100}}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
		кг/мм <sup>2</sup>							
Термически обработанный по режиму: закалка с 1220°С (4 часа) на воздухе; отжиг при 1050°С (2 часа), охлаждение на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	—	43
	700	76—78	—	—	—	78	—	—	42
	800	46—48	37	35	32	48	1	40—42	38—39
	900	27—29	17	14	11	27	1	15—16	32—36
	950	18—20	11	9	7	20	1	7—9 11***	28—32
1000	10—11	—	—	—	11	1	—	24—26	

\* Минимальные показатели предела длительной прочности.

\*\* Радиус надреза 0,5 мм.

\*\*\* После термической обработки по режиму: закалка с 1220°С (4 часа) на воздухе; старение при 950°С (8 час), охлаждение на воздухе.

## Физические свойства

$$d=8,25 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=11,5$  (20—100°); 11,9 (20—200°); 12,4 (20—300°); 12,8 (20—400°); 13,1 (20—500°); 13,5 (20—600°); 13,8 (20—700°); 14,3 (20—800°); 15,1 (20—900°); 15,9 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda=0,022$  (25°); 0,025 (100°); 0,028 (200°); 0,032 (300°); 0,036 (400°); 0,040 (500°); 0,043 (600°); 0,048 (700°); 0,054 (800°); 0,060 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных печах (вакуумных и открытых) с применением 30% отходов этого же сплава; разливка производится в кокиль (электроды). Полученные электроды переплавляют в вакуумных дуговых электропечах с расходуемым электродом.

Сплав деформируется в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 1100—1050°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Допустимая степень деформации при штамповке лопаток 20%.

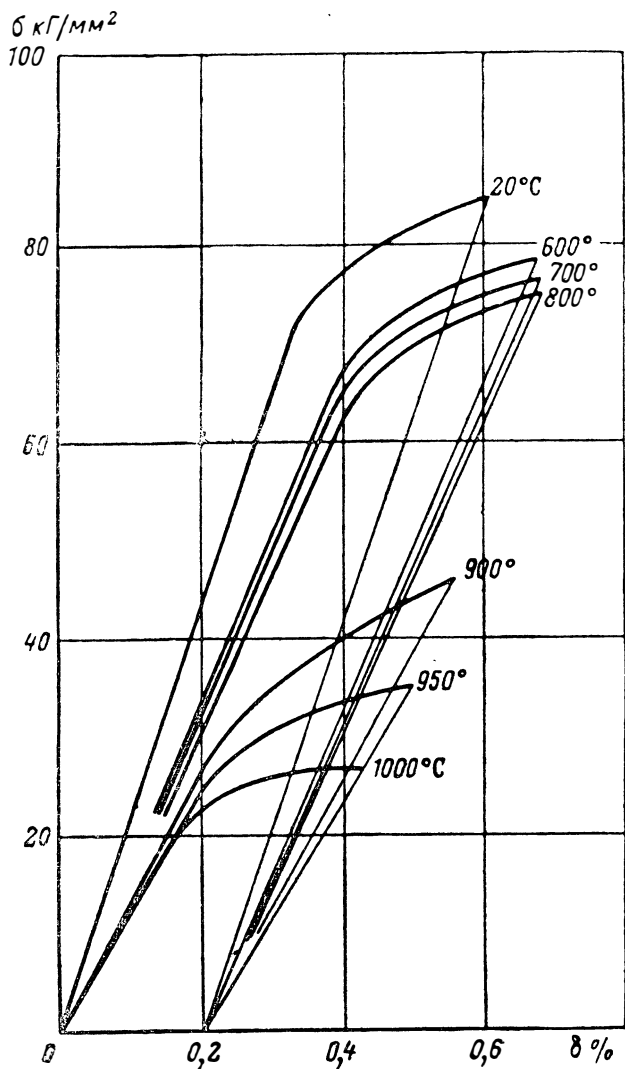
При нагреве заготовок лопаток под штамповку и термическую обработку в печах с воздушной средой припуск на механическую обработку должен быть не менее 1,5 мм на сторону. При штамповке лопаток с меньшими припусками (минимально допустимый припуск 0,5 мм на сторону) нагрев под деформацию и термическую обработку должен производиться в вакуумных печах, в печах с защитной средой или в печах со специальной жидкой средой.

Термическая обработка: закалка с 1210±10°С (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при 950°С в течение 2 час, охлаждение на воздухе. Отжиг деталей после окончательной механической обработки проводится при 950°С в течение 2 час в печах с защитной атмосферой (аргон).

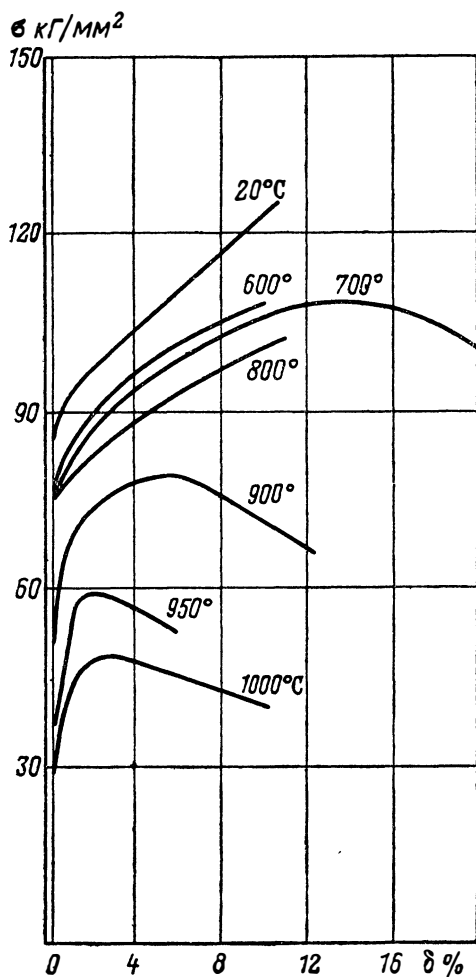
Особенность сплава заключается в том, что он может применяться как в литом, так и в деформированном состоянии.

## Применение

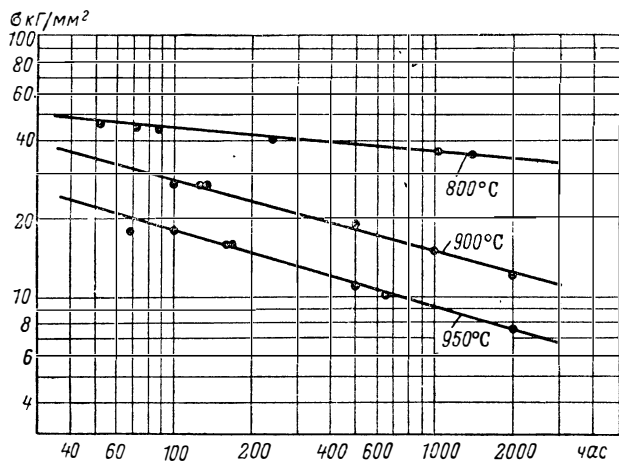
Рабочие лопатки газовых турбин, работающие при температурах 900—1000°С.



Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЖС6-КП до предела текучести.

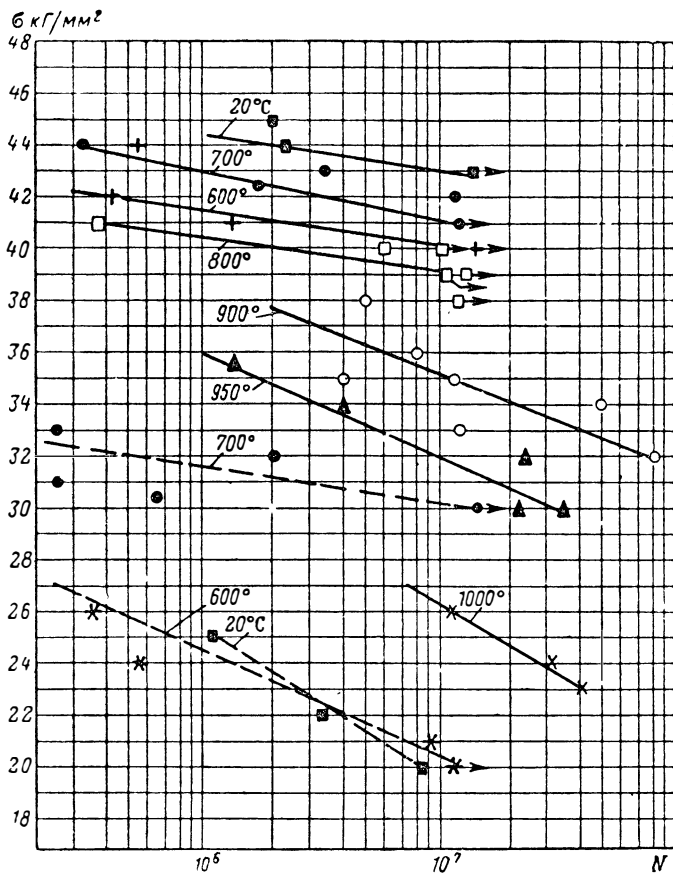


Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЖС6-КП от предела текучести до разрушения.



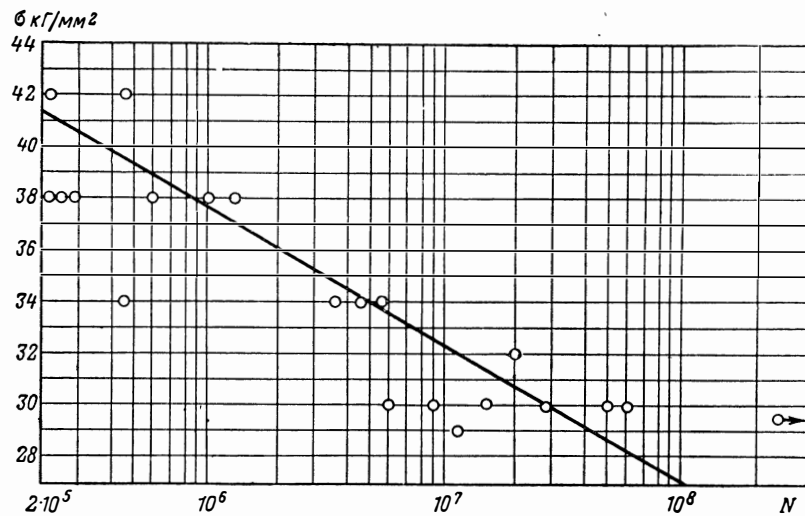
Фиг. 3. Кривые длительной прочности сплава ЖС6-КП.





Фиг. 4. Кривые выносливости сплава ЖС6-КП при комнатной и высоких температурах (испытание при изгибе).

Сплошные кривые—образцы гладкие, пунктир—образцы с надрезом.



Фиг. 5. Кривая выносливости сплава ЖС6-КП при температуре 900°С (испытание при чистом изгибе).

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЭИ894</b>
----------------------------------	--------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Ti
≤0,10	≤1,0	≤0,8	21—24	Основа	2,3—3,0	0,8—1,2

## Продолжение

W	Fe	Mo	В*	Ba*	S	P
					не более	
4,5—6,5	≤10	0,6—1,2	≤0,03	≤0,10	0,030	0,030

\* Бор и барий вводятся по расчету.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Темпе- ратура испыта- ния °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ %
Листы холодно- катаные	ЧМТУ 5706—56	Закаленные с 1150—1200°С в во- де или на воздухе	20	80	40 ( $l=5,65\sqrt{F}$ )
Лента холодно- катаная	ЧМТУ ЦНИИЧМ 515—61	Закаленная с 1120—1150°С в воде или на воз- духе	20	80	35 ( $l=11,3\sqrt{F}$ )
Проволока сварочная	ЧМТУ ЦНИИЧМ 305—60	Нагартованная	В соответствии с требования- ми ТУ		

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$	$\delta_{11,3\sqrt{F}}$
			кг/мм <sup>2</sup>				%	
Листы холодно- катаные	Термически обработанные по ре- жиму: закалка с 1175°С на воз- духе; старение при 800°С (8 час), охлаждение на воздухе	20	21 800	105—110	62—64	50—52	30—40	23
		600	17 800	83—85	57—62	40—46	16—20	14
		700	17 000	65—70	57—60	40—42	4—6	1
		800	16 700	55—60	51—55	—	3,0—3,5	—
		850	16 500	47—53	40—43	27—28	4—6	1,5
		900	—	33—40	24—26	16—17	10—15	6,5
		950	—	16—18	10—11	7—8	20—40	23
		1000	—	9	4	2	70—80	60
Листы холодно- катаные	В состоянии поставки (закалка с 1100—1120°С в воде или на воз- духе)	20	—	110—115	67	—	35—45	—
		700	—	72—76	62—65	—	5—6,5	—
		800	—	56—64	—	—	4—5	—
		900	—	20—30	14—15	—	25	—
		950	—	15—16	—	—	55—80	—



## Пределы длительной прочности

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_1$	$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$
		кг/мм <sup>2</sup>						
Термически обработанный по режиму: закалка с 1175°C на воздухе; старение при 800°C (8 час), охлаждение на воздухе	800	—	—	—	22—23	20—21	18—19	15—17
	850	—	—	—	15—16	13—14	12—13	9—10
	900	21—22	16—17	14—15	11—12	9—10	8	6—7
	950	10—11	7	6	4,5—5	4—4,5	3,5—4	3—3,5

## Пределы ползучести и выносливости

Вид полуфа- бриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{1/100}$	$\sigma_{-1}$
			по об- щей дефор- мации	по оста- точной дефор- мации	по об- щей дефор- мации	на базе 10 <sup>7</sup> цик- лов
			кг/мм <sup>2</sup>			
Листы холодно- катаные	Термически обработанные по режиму: закалка с 1175°C на воздухе; старение при 800°C (8 час), охлаждение на воздухе	800	—	—	—	28—30
		850	8	9,5	12	—
		900	4,5	5	7,5	17
		950	—	—	3	12,5
		1000	—	—	1,3	—
		1100	—	—	0,5	6

## Термическая стойкость \*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	Число теплосмен
Листы холоднокатаные толщиной 1,5 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 1175°С на воздухе; старение при 800°С (8 час), охлаждение на воздухе	800	210—260
		850	150—180
		900	50—65
		950	24—35
		1000	20
		1100	17—20

\* Испытания проводились на образцах с надрезом радиусом 0,1 мм до появления трещины длиной 0,5 мм.

## Жаростойкость

За 100 час испытания при 1100°С привес составляет 0,38—0,40 г/м<sup>2</sup> · час.

## Физические свойства

$d=8,22$  г/см<sup>3</sup>.

$\alpha \cdot 10^6=13,3$  (20—100°); 13,9 (20—200°); 14,2 (20—300°); 14,42 (20—400°); 14,8 (20—500°); 15,1 (20—600°); 16,9 (20—700°); 17,26 (20—800°); 18,4 (20—900°); 18,7 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda=0,023$  (25°); 0,026 (100°); 0,029 (200°); 0,034 (300°); 0,038 (400°); 0,043 (500°); 0,047 (600°); 0,051 (700°); 0,054 (800°); 0,059 (900°) кал/см · сек · °С.

Сплав немагнитен.

## Технологические данные

Сплав деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—900°С. Охлаждение после деформации на воздухе.

В закаленном (с 1080—1120°С) состоянии листовой сплав обладает высокой штампуемостью, позволяющей изготавливать из него холодной обработкой давлением детали сложной конфигурации. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Состояние материала	Вытяжка		Отбортовка		Гибка	
	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{миним}$	$r_{раб}$
Состояние поставки (закаленный с 1100—1120 °С)	2,1—2,15	1,85—1,9	1,60	1,40	1 S*	1,2—1,5 S*
Закаленный с 1175° С на воздухе	2,1—2,15	1,85—1,9	1,60	1,40	2 S*	2—2,5 S*
Закаленный с 1175° С на воздухе и состаренный при 750° С (8 час)	1,75—1,8	1,5—1,55	1,28	1,15	2,5 S*	2,5—3 S*
Закаленный с 1175° С на воздухе и состаренный при 850° С (8 час)	1,75—1,85	1,5—1,6	1,28	1,15	2 S*	2—2,5 S*

\* S — толщина листа.

Для снятия нагартовки в качестве промежуточной термической обработки рекомендуется проводить закалку с 1080—1120° С на воздухе или в воде.

Термическая обработка. Детали, предназначенные для длительной работы, перед сваркой подвергают закалке с 1175±10° С на воздухе (выдержка 5—10 мин), а после сварки — старению при 700—800° С в течение 8 час с охлаждением на воздухе. Старение при 800° С рекомендуется для деталей, работающих при температурах до 900° С и выше, старение при 700° С — для деталей, работающих при температурах до 850° С. Для повышения пластических свойств рекомендуется двойная закалка по режиму: 1-я закалка с 1175±10° С на воздухе; 2-я закалка с 1050±10° С (выдержка 20—25 мин). Пластические свойства повышаются также после старения по режиму: 1-е старение при 800° С в течение 8 час; 2-е старение при 900° С в течение 1 часа. После такого старения несколько снижается длительная прочность при 900° С.

Кратковременно работающие детали старению не подвергают. Детали, изготовленные с небольшими степенями деформации, термически не обрабатывают либо обрабатывают по режимам, рекомендуемым для снятия нагартовки.

Сплав в закаленном состоянии хорошо сваривается аргоно-дуговой сваркой и удовлетворительно роликовой, точечной и дуговой. Сплав можно сваривать и в состаренном состоянии, но при этом в зоне влияния температур сварки происходит разупрочнение материала. Механические свойства сварных соединений приведены в таблицах.



**Механические свойства сварных соединений**  
(автоматическая аргоно-дуговая сварка без присадки)

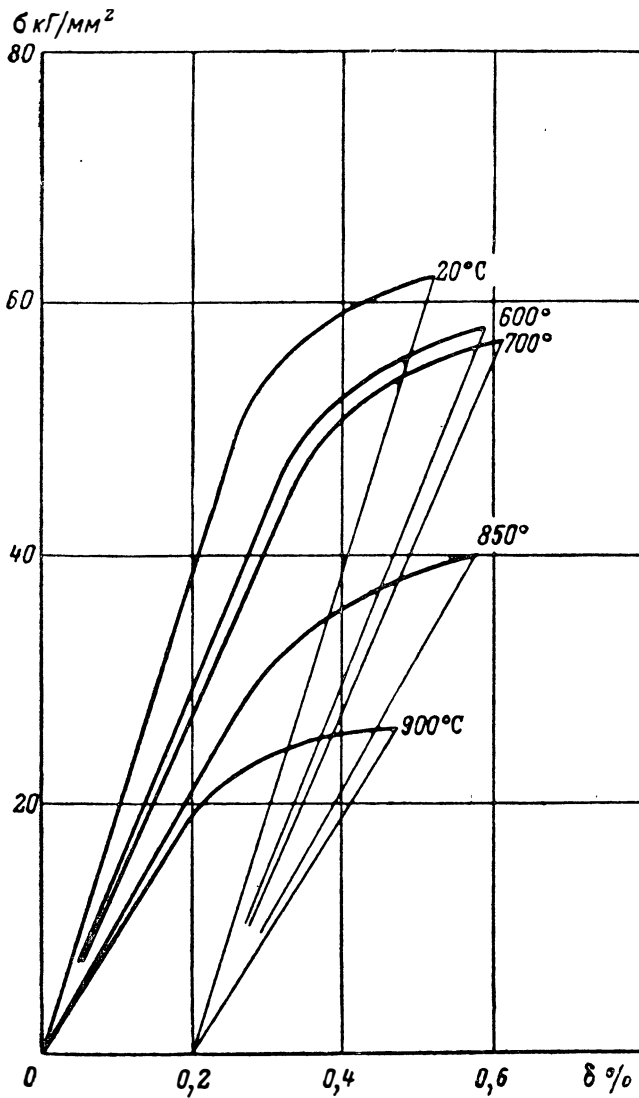
Состояние материала		Температура испытания °C	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	Длительная прочность	
до сварки	после сварки		кг/мм <sup>2</sup>		$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	время до раз- рушения час
В состоянии поставки	Без термической обработки	20	74—76	36—49	—	—
		800	53—59	50—56	—	—
		900	28—30	23	6	>20
В состоянии поставки	Состаренный при 800°С в течение 8 час	20	110—115	69—74	—	—
		800	56—58	39—52	—	—
		900	27—28	21—23	6	>10
Закаленный с 1175°С на воздухе	Состаренный при 800°С в течение 8 час	20	97—105	56—61	—	—
		800	50—58	35—45	—	—
		900	32—34	25—30	6	>100
		900	—	—	7	≥50
Термически обработанный по режиму: закалка с 1175°С на воздухе; старение при 800°С в течение 8 час	Без термической обработки	20	68—73	33—40	—	—
		800	49—53	44—51	—	—
		900	32—35	20—30	6	>30

**Механические свойства сварных соединений**  
(роликовая сварка)

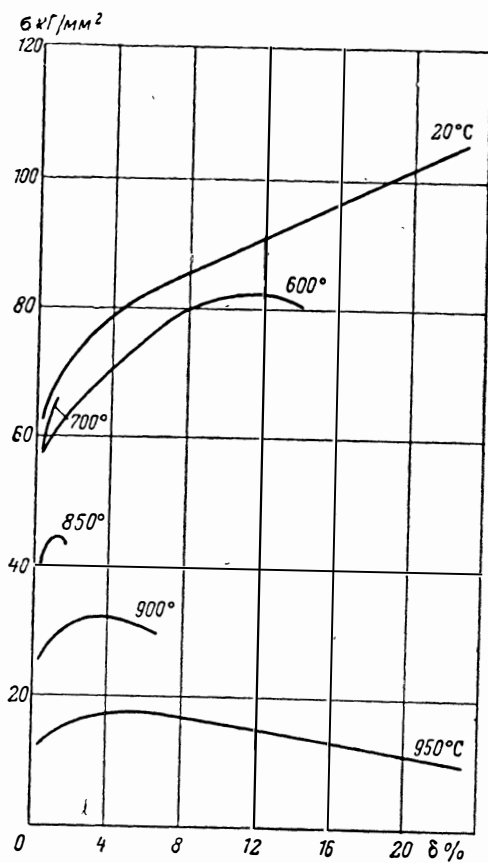
Состояние материала		Температура испытания °C	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>
до сварки	после сварки		
В состоянии поставки	Термически обработанный по режиму: закалка с 1175°С на воздухе; старение при 800°С в течение 8 час	20	90—92
		800	30—35
		900	28—32

**Применение**

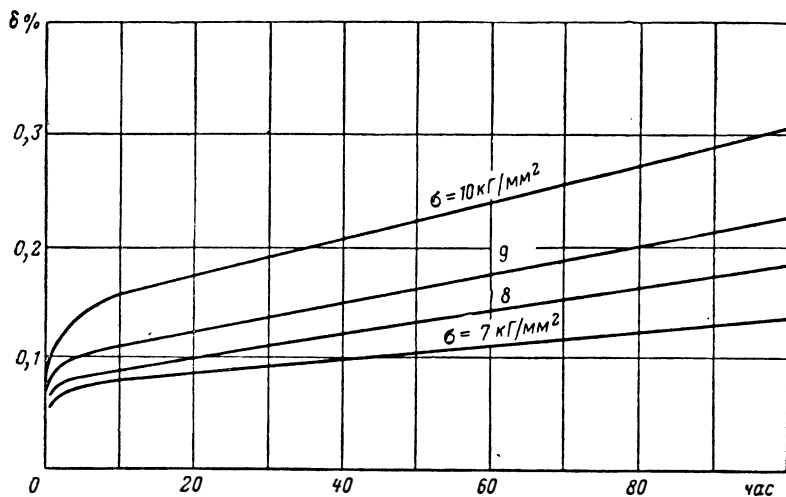
Конструкции из листового материала (форсажные камеры, кожухи камер сгорания, направляющие лопатки, обшивка, шпангоуты и другие детали, изготовляемые путем холодной деформации давлением и сварки), работающие при температурах до 950°С.



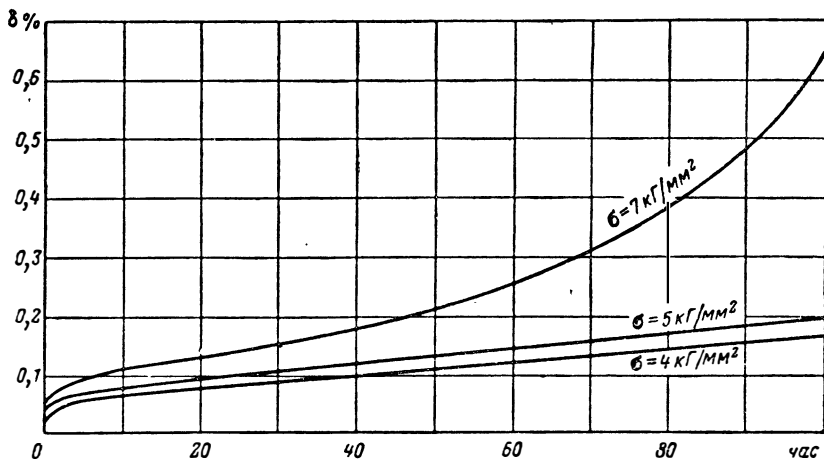
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЭИ894 до предела текучести.



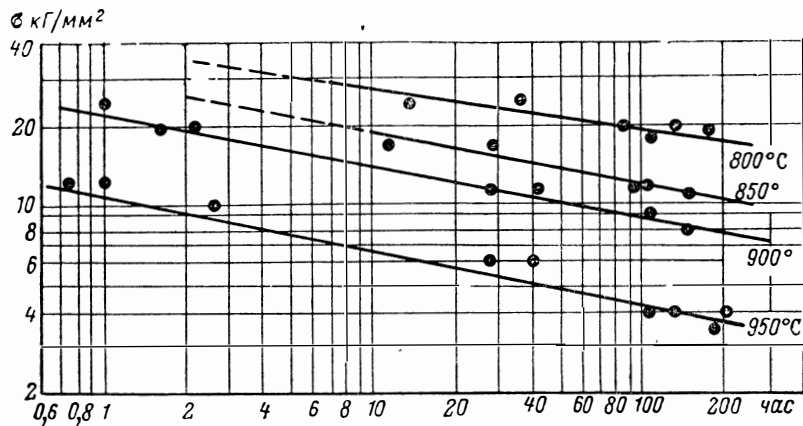
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЭИ894 от предела текучести до разрушения.



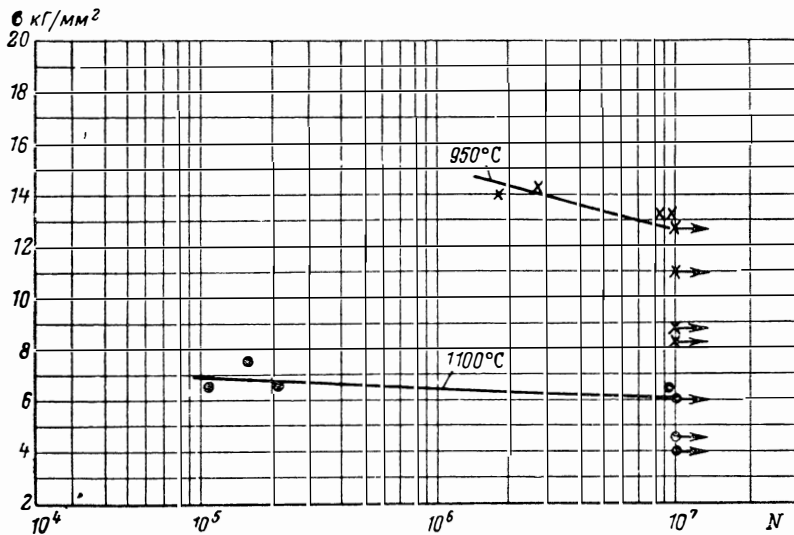
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЭИ894 при температуре 850° С.



Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЭИ894 при температуре 900° С.



Фиг. 5. Кривые длительной прочности сплава ЭИ894.



Фиг. 6. Кривые выносливости сплава ЭИ894 при высоких температурах.

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ЭП99

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	W	Mo	Co
≤0,10	≤0,50	≤0,40	21—24	6—8	3,5—5,0	5—8

## Продолжение

Al	Ti	Ni	Fe	B*	Ce*	S	P
						не более	
2,5—3,5	1,0—1,5	Основа	≤5,0	0,005	0,02	0,015	0,015

\* Бор и церий вводятся по расчету и химическим анализом не определяются.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %
Листы холоднокатаные	ЧМТУ	Закаленные с 1080—1120°С на воздухе	20	≤120	13
	ЦНИИЧМ 208—59		900	45	9
Проволока сварочная	ЧМТУ ЦНИИЧМ 751—62	В соответствии с требованиями ТУ			

Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	<i>E</i>	<i>E</i> <sup>*</sup> <sub>д</sub>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_5^{**}$	$\delta_{10}^{**}$	$\psi$	<i>a<sub>т</sub></i> кг./см <sup>2</sup>
			кг./мм <sup>2</sup>							%	
Листы холоднокатаные	В состоянии поставки (закаленные с 1080—1120° С на воздухе или под водяным душем)	20	—	21 000	93—110	65—70	52—54	35—45	34—40	—	—
		700	—	17 600	85—92	64—70	45—50	10—18	10—18	—	—
		800	—	16 700	75—80	60—65	45—48	7—10	5—6	—	—
		850	—	—	65—70	50—55	38—40	12—15	8—11	—	—
		900	—	—	50—60	40—45	22—26	12—15	9—13	—	—
		950	—	—	29—32	20—25	12—16	20—30	16—19	—	—
Листы горячекатаные толщиной 3 мм	В состоянии поставки	196	—	—	—	—	—	—	—	—	14—15
		20	—	—	110—130	—	—	35—40	—	—	14—16
		800	—	—	95—110	—	—	—	6—10	—	—
		850	—	—	60—65	—	—	—	10—15	—	—
		950	—	—	40—50	—	—	—	20—35	—	—
Листы горячекатаные*** толщиной 6 мм	В состоянии поставки	20	—	—	120—125	82—85	—	30—33	—	—	—
		600	—	—	110—112	77—79	—	27—29	—	—	—
		700	—	—	107—108	75—78	—	12—14	—	—	—
		800	—	—	80—83	75—78	—	5—6	—	—	—
		900	—	—	64—68	60—66	—	6—8	—	—	—
		950	—	—	50—53	45—50	—	15—18	—	—	—

Листы горяче-катаные****	В состоянии поставки (охлаждение под водяным душем)	20	—	—	83—88	39—44	—	45—48	—	60—66	—
		800	—	—	67—74	54—59	—	9—12	—	18—20	—
		900	—	—	46—48	43—44	—	8—12	—	19—20	—
Листы горяче-катаные	Закаленные с 1050 °С (1 час) на воздухе	20	—	—	100—104	65—70	—	34—38	—	—	—
		800	—	—	71—75	55—58	—	12—14	—	—	—
		900	—	—	49—50	47—48	—	12—14	—	—	—
Листы горяче-катаные	Закаленные с 1120° С (1 час) на воздухе	20	—	—	106—114	60—64	—	36—38	—	—	—
		800	—	—	74—76	60—64	—	8—10	—	—	—
		900	—	—	49—50	47—48	—	10—12	—	—	—
Прутки горяче-катаные	Закаленные с 1120° С (1 час) на воздухе	20	20 000	—	115—130	77—80	—	26—35	—	44—50	—
		700	15 200	—	105—115	76—79	—	10—18	—	12—20	—
		800	13 200	—	80—90	64—66	—	4—6	—	7—9	—
		850	11 500	—	68—75	52—58	—	6—12	—	9—13	—
		900	10 500	—	48—54	36—37	—	12—15	—	21—32	—
		950	—	—	25—32	13—14	—	16—30	—	42—60	—
		1000	—	—	14—20	6—7	—	30—50	—	64—87	—
	Без термической обработки	20	—	—	143	109	—	24	—	37	—
	—196	—	—	178	129	—	20	—	20	—	
	—253	—	—	185	133	—	25	—	25	—	

\* Для пруткового материала.

\*\* Удлинение для плоских образцов определялось на расчетной длине  $l=5,65 \sqrt{F}$  или  $l=11,3 \sqrt{F}$ .

\*\*\* По данным заводов.

\*\*\*\* По данным завода; испытание проводилось на цилиндрических образцах.



## Пределы секундной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_{10^*}$	$\sigma_{30^*}$	$\sigma_{60^*}$	$\sigma_{120^*}$	$\sigma_{180^*}$	$\sigma_{300^*}$
			кг/мм <sup>2</sup>					
Листы холоднокатаные	В состоянии поставки	800	61	58—58,5	56	53—57,5	52—56	50—54
		900	47	42—44	40	37—39,5	34—38	32—36,5
		1000	17—20	14,5—16	13	11—13,5	10—12,5	8—10

## Пределы секундной ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_{0,5/10^*}$	$\sigma_{0,5/30^*}$	$\sigma_{0,5/60^*}$	$\sigma_{0,5/120^*}$	$\sigma_{0,5/180^*}$	$\sigma_{0,5/300^*}$	$\sigma_{1/10^*}$	$\sigma_{1/30^*}$	$\sigma_{1/60^*}$	$\sigma_{1/120^*}$
			кг/мм <sup>2</sup>									
Листы холоднокатаные	В состоянии поставки	900	42—42,5	36	33—33,2	31—31,3	29—30,5	22	—	39	36	33—33,6
		1000	9,5	—	6,1	5,2	—	—	10,1	—	7,4	6,3

## Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_{1/180^*}$	$\sigma_{1/300^*}$	$\sigma_{2/60^*}$	$\sigma_{2/120^*}$	$\sigma_{2/180^*}$	$\sigma_{2/300^*}$	$\sigma_{3/60^*}$	$\sigma_{3/120^*}$	$\sigma_{3/180^*}$	$\sigma_{3/300^*}$
			кг/мм <sup>2</sup>									
Листы холоднокатаные	В состоянии поставки	900	31,5—32,6	29,8—31,2	39	35,5	34	32	38,5	37	35,5	34
		1000	5,7	4,9	—	—	—	—	—	—	—	—

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости листов

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,1}^*$ за 15 мин (по остаточной деформации)	$\sigma_{-1}$ (на базе $10^7$ циклов)
			кг/мм <sup>2</sup>		
Листы холоднокатаные	В состоянии поставки	700	—	75	—
		750	—	68—70	—
		800	26	50	33

Продолжение					
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{0,1}^*$ за 15 мин (по остаточной деформации)	$\sigma_{-1}$ (на базе $10^7$ циклов)
Листы холоднокатанные	В состоянии поставки	850	16	—	—
		900	10	32—34	17
		930	—	25	—
		950	5	—	—
	Термически обработанные по режиму: закалка с 1180°С; старение при 800—850°С	800	30	—	—
		900	12	—	—

\* По данным заводов.

### Пределы длительной прочности и ползучести прутков

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	Время до разрушения час	$\delta$ %	$\sigma_{0,2/100}$ (по остаточной деформации) кг/мм <sup>2</sup>
Прутки горячекатаные диаметром 26—35 мм	Закаленные с 1100—1120°С (1 час) на воздухе	800	31	150—180	3	—
		850	20	160—180	8—14	—
		900	13	130—150	8—11	3
		950	7	120—130	12—27	—
Прутки горячекатаные диаметром 35 мм	Термически обработанные по режиму: закалка с 1180°С (1 час) на воздухе; старение при 900—950°С (8 час)	800	32	100	—	—
		900	14,5	100	—	7,5

**Термическая стойкость\***  
(испытание по методике ВИАМ)

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	Число теплосмен
Листы холоднокатаные толщиной 1,5 мм	В состоянии поставки	800	>200**
		900	60
		1000	35
		1100	25

\* Испытания проводились на образцах с надрезом радиусом 0,1 мм до появления трещины длиной 0,5 мм.

\*\* После 200 циклов нагрев — охлаждение трещин в надрезе нет.

**Физические свойства**

$d=8,37-8,38$  г/см<sup>3</sup>.

$\alpha \cdot 10^6 = 11,4$  (20—100°); 11,9 (20—200°); 12,4 (20—300°); 12,8 (20—400°); 13,3 (20—500°); 13,7 (20—600°); 14,1 (20—700°); 14,6 (20—800°) 15,8 (20—900°); 17,2 (20—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 12,4$  (100—200°); 13,4 (200—300°); 14,2 (300—400°); 15,0 (400—500°); 15,5 (500—600°); 16,9 (600—700°); 18,6 (700—800°); 24,5 (800—900°); 30,1 (900—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 11,0$  (20—100°); 11,5 (20—200°); 12,0 (20—300°); 12,6 (20—400°); 13,2 (20—500°); 13,7 (20—600°); 14,2 (20—700°); 14,8 (20—800°); 15,7 (20—900°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 12,1$  (100—200°); 13,1 (200—300°); 14,4 (300—400°); 15,5 (400—500°); 16,2 (500—600°); 17,3 (600—700°); 18,7 (700—800°); 23,3 (800—900°) 1/°С.

$\lambda = 0,024$  (100°); 0,028 (200°); 0,032 (300°); 0,036 (400°); 0,040 (500°); 0,044 (600°); 0,048 (700°); 0,052 (800°); 0,057 (900°) кал/см·сек·°С.

\* Закалка с 1120°С (выдержка 30 мин) на воздухе.

\*\* Закалка с 1180°С (выдержка 30 мин) на воздухе; старение при 850°С в течение 10 час, охлаждение на воздухе.

**Степень черноты**  
(испытание на воздухе)

Температура испытания °С											
	100	200	300	400	500	550	600	650	700	750	800
Степень черноты	0,33	0,34	0,34	0,37	0,43	0,50	0,60	0,64	0,70	0,71	0,72

**Технологические данные**

Сплав деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—950°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка		Гибка	Выдавка плоская		Выдавка сферическая	
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$
2,10— 2,14	1,78— 1,82	1,68— 1,70	1,40— 1,45	1,5S*	0,33	0,28	0,45	0,38

\* S — толщина листа.

### Термическая обработка

Для снятия нагартовки в качестве промежуточной термической обработки рекомендуется закалка с 1080—1120° С, охлаждение — в зависимости от толщины сечения (на воздухе для толщины до 2 мм или под водяным душем или в воде для толщины более 2 мм).

Сплав хорошо сваривается аргоно-дуговой и удовлетворительно контактной (точечной и роликовой) и дуговой сваркой. В качестве присадочного материала рекомендуется применять проволоку из основного материала; для массивных сечений конструктивно напряженных узлов рекомендуется присадка материала из сплава типа ЭП99. Механические свойства сварных соединений приведены в таблицах:

### Механические свойства сварных соединений холоднокатаных листов

Свариваемый материал	Вид сварки	Температура испытания в °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	% от $\sigma_B$ основного материала	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>	$a_H$ кг·м/см <sup>2</sup>
Листы холоднокатаные толщиной 1,5 мм	Аргоно-дуговая ручная с присадкой основного материала без снятия усиления	20	92—96	93	—	—
		800	65—73	84—100	—	—
		900	50—59	100	10	—
	Аргоно-дуговая автоматическая без присадки	20	83—84	83	—	—
		800	68—70	90—91	—	—
		900	47—54	86—99	10	—
		950	26—31	85—100	—	—
	Роликовая электросварка с накладкой типа шпангоутов	20	89—94	91	—	—
		800	69—80	90—100	—	—
		900	55—57	100	—	—

Продолжение

Свариваемый материал	Вид сварки	Температура испытания в °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	% от $\sigma_B$ основного материала	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
Листы горячекатаные толщиной 6 мм	Аргоно-дуговая автоматическая с присадкой проволоки типа основного материала без снятия усиленных	—196	—	—	—	7—9
		20	98—101	80—85	—	9—12
		700	79—84	100	—	—
		800	79—83	100	—	—
		900	60—68	100	—	—
		930	53—59	100	—	—

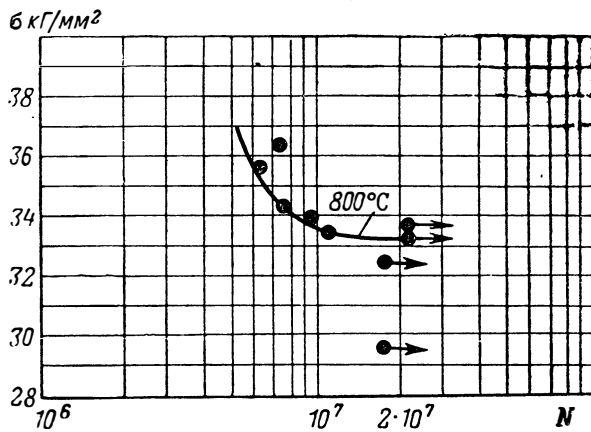
## Механические свойства сварных соединений горячекатаных листов

Свариваемый материал	Вид сварки и термической обработки после сварки	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$	$\psi$	Длительная прочность		
						%	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>	%
				$\delta$	$\psi$			
Листы горячекатаные толщиной 10—12 мм	Аргоно-дуговая ручная с присадкой проволоки типа основного материала (усиление снято); закалка с 1100—1120° С (1 час) на воздухе	20	102—113	17—20	18—25	—	—	—
		800	73—78	4—6	10—16	—	—	—
		900	45—50	10—13	20—28	12	5—10	12—18
	Дуговая с электродами НИАТ-9 без последующей термической обработки (усиление снято)	20	76—86	5—8	7—14	—	—	—
		800	68—71	4—5	5—10	—	—	—
		900	—	—	—	6	—	—
		950	27—28	6—8	25—34	—	—	—

Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием.

## Применение

Обшивка; шпангоуты; детали крепления летательных аппаратов; направляющие лопатки и другие детали, изготавливаемые холодной штамповкой и сваркой, работающие при температурах до 1000° С.



Фиг. 1. Кривые выносливости сплава ЭП99 при высоких температурах (испытание при изгибе в одной плоскости листа толщиной 1,5 мм).

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ЭП199 (ВЖ101)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	W	Mo	Al
≤0,1	≤0,6	≤0,5	19—22	9—11	4—6	2,1—2,6

Продолжение

Ti	Ni	B	Fe	S	P
				не более	
1,1—1,6	Основа	≤0,008	≤4,0	0,015	0,015

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$ кГ/мм <sup>2</sup>	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %	$\sigma_{60}$ кГ/мм <sup>2</sup>
Листы холоднокатанные	ЧМТУ	Закаленные с 1180—1200°С на воздухе или в воде	20	≤110	25	—
	ЦНИИЧМ 435—61		900	52	2	—
Прутки	ЧМТУ	Закаленные с 1200±10°С на воздухе	20	90	25 ( <i>l</i> =5 <i>d</i> )	—
	ЦНИИЧМ 743—62		900	50	7 ( <i>l</i> =5 <i>d</i> )	12
Прутки (трубная заготовка)	ЧМТУ	Закаленные с 1200±10°С на воздухе	20	90	25 ( <i>l</i> =5 <i>d</i> )	—
	ЦНИИЧМ 484—61		900	52	7 ( <i>l</i> =5 <i>d</i> )	12
Лента холоднокатаная	ЧМТУ	Закаленная с 1180—1200°С на воздухе или в воде	20	≤110	25	—
	ЦНИИЧМ 525—61				( <i>l</i> =11,3√ <i>F</i> )	
Проволока сварочная	Изм. № 1 к ЧМТУ	В соответствии с требованиями ТУ				
	ЦНИИЧМ 305—60					

## Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ра- тура испы- тания в °С	$E_d$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_{5,65\sqrt{F}}$ %	$\sigma_{н}$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				
Листы толщиной 1,5 мм	Закаленные с 1200° С на воз- духе	20	21 900	65—72	100—115	25—40	8
		700	18 300	60—70	75—100	5—20	—
		800	17 500	60—70	70—85	5—10	5,3
		900	—	40—45	52—65	5—20	6
		950	—	24—28	32—40	12—25	—
		1000	—	—	12—16	30—40	5,9
Прутки диаметром 40 мм	Закаленные с 1200° С на воз- духе	-196	—	90	140	30 ( $l=5d$ )	7
		-253	—	100	140	20 ( $l=5d$ )	5

## Пределы длительной прочности

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ра- тура испы- тания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{300}$
			кг/мм <sup>2</sup>	
Листы	Закаленные с 1200° С на воздухе	800	28	24
		900	11	8
		950	6	4
		1000	3	—

## Пределы минутной ползучести

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{1/15'}$ кг/мм <sup>2</sup>
Прутки	Закаленные с 1200° С на воздухе	700	70
Листы		800	55
Прутки		850	50
Прутки		900	32
Листы		930	22



## Пределы ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпера- тура испы- тания °С	$\sigma_{0,5/200}$	$\sigma_{-1}$ на базе $10^7$ циклов
			кг/мм <sup>2</sup>	
Листы	Закаленные с 1200° С на воздухе	920	5	17
		980	1,5	—

## Жаростойкость

Сплав жаростоек до температуры 1100° С. За 100 час испытания привес составляет 0,482 г/м<sup>2</sup>·час.

## Физические свойства

$$d=8,64 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=11,7$  (20—100°); 12,0 (20—200°); 12,4 (20—300°); 12,7 (20—400°); 13,0 (20—500°); 13,5 (20—600°); 13,8 (20—700°); 14,5 (20—800°); 15,2 (20—900°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6=12,6$  (100—200°); 13,4 (200—300°); 14,1 (300—400°); 14,8 (400—500°); 14,8 (500—600°); 15,43 (600—700°); 16,9 (700—800°); 22,45 (800—900°) 1/°С.

$\lambda=0,024$  (100°); 0,027 (200°); 0,032 (300°); 0,036 (400°); 0,040 (500°); 0,044 (600°); 0,048 (700°); 0,053 (800°); 0,058 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав деформируется в горячем и в холодном состоянии. Температурный интервал деформации 1180—1000° С. Охлаждение после деформации на воздухе.

Характеристики холодной обработки давлением приведены в таблице.

Вытяжка		Отбортовка		Гибка	
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{миним}$	$r_{раб}$
2,10—2,14	1,75—1,80	1,47	1,25	1,5 S*	1 S*

\* S — толщина листа.

Термическая обработка: промежуточная — закалка с 1120—1150° С (выдержка 1,5—2 мин на 1 мм сечения) в воде или на воздухе; окончательная — закалка с 1180—1200° С (выдержка 1,5—2 мин на 1 мм сечения) на воздухе. При большой толщине стенок и сложной конфигурации перед сваркой рекомендуется смягчающая термическая обработка: закалка с 1150° С в воде или на воздухе с последующим нагревом при 900—950° С в течение 4—6 час.

Сплав удовлетворительно сваривается аргоно-дуговой сваркой с присадкой из основного материала. После сварки термическая обработка не требуется. Механические свойства сварных соединений приведены в таблице.

Вид сварки	Температура испытания в °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>
Аргоно-дуговая	20	90—100
	800	70—75
	900	50—60

Длительная прочность сварного соединения: при 920°С и напряжении 10 кг/мм<sup>2</sup> время до разрушения составляет более 100 час.

### Применение

Силовые детали, изготавливаемые методами деформации и сварки, работающие при температурах до 950°С.

---

## ЖАРОПРОЧНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ

СПЛАВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ	ВЛ7-20
--------------------------	--------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,12—0,20	≤0,6	≤0,6	16—20	20—24

## Продолжение

Fe	W	Mo	B*	S	P
				не более	
Остальное	5—7	2—3	До 0,01	0,030	0,035

\* Бор вводится по расчету и химическим анализом не определяется.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{100}$
				кГ/мм <sup>2</sup>		%		кГ/мм <sup>2</sup>	
Чушки литые	АМТУ 450—59	Образцы из трёхобразных заготовок, состаренные при 800°С (12—16 час), охлаждение на воздухе	20	50	20	5	8	—	—
			800	30	18	8	15	15	12
Чушки литые	СТУ	Образцы из трёхобразных заготовок, состаренные при 800°С (12 час), охлаждение на воздухе	800	30	—	8	—	—	12

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$E$ $\sigma_B$ $\sigma_{0,2}$ $\sigma_{пц}$				$\delta_{10}$	$\psi$	$a_{ц}^*$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				%			
Образцы из графообразных заготовок	Состаренные при 800°С (12 час) с охлаждением на воздухе	20	18 000	50	20	10—12	3—5	8—10	1,5—2,5	170
		500	—	42	19	—	7—10	12	—	—
		600	—	40	19	—	10	12	—	—
		700	13 000	35	18,5	—	8	10	—	—
		800	8 500	30	16	—	8	15	—	—
		900	—	20	—	—	11	20	—	—

\* Ударная вязкость, определявшаяся на образцах, отлитых в горячие керамические формы, составляет 1,0—2,0 кг·м/см<sup>2</sup>.

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания в °С	$\sigma_{30}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{H100}$	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{-1}$	$\sigma_{H-1}$
		образцы гладкие		образцы с надрезом*			по остаточной деформации	по общей деформации	на базе 10 <sup>7</sup> циклов	
		кг/мм <sup>2</sup>							кг/мм <sup>2</sup>	
Состаренный при 800°С (12 час) с охлаждением на воздухе	600	—	25	—	25	—	—	—	20	—
	700	—	20	—	20	—	10	8	16	—
	800	15	12	—	12	—	7,5	5,5	10—12	8
	900	—	5	7	—	1,4	—	—	—	—

\* Радиус надреза 0,1 мм.

Физические свойства

$d=8,0$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6=12,52$  (20—100°); 12,98 (20—200°); 13,73 (20—300°); 14,47 (20—400°);  
 15,1 (20—500°); 15,73 (20—600°); 16,30 (20—700°); 16,77 (20—800°); 17,10 (20—900°) 1/°С.  
 $\lambda=0,027(20^\circ)$  кал/см·сек·°С.  
 $\rho=0,90(20^\circ)$  ом·мм<sup>2</sup>/м.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в электрических дуговых и индукционных печах с основной футеровкой.

Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава в количестве 50—70%.

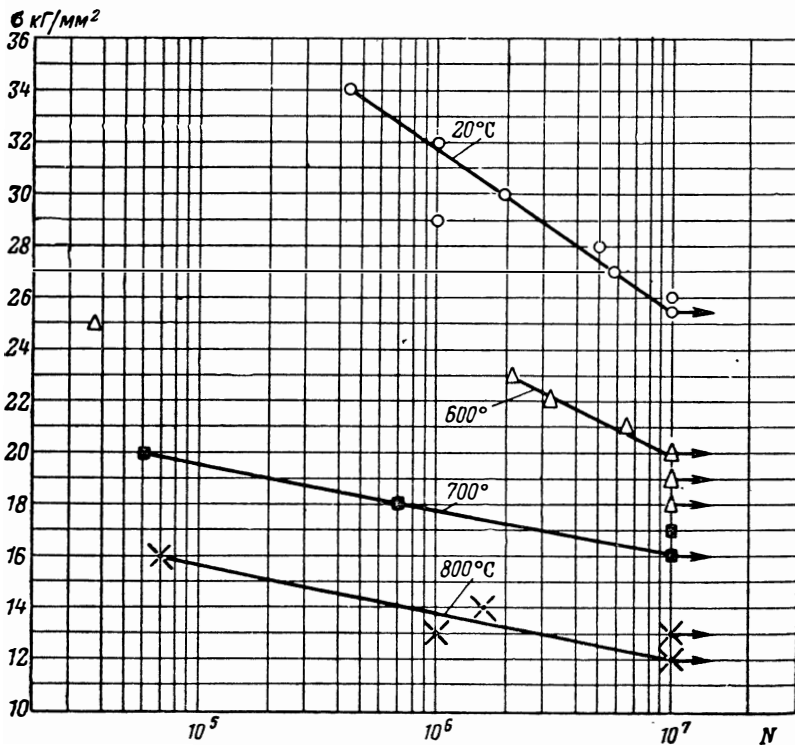
Переplав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1550—1600°С в зависимости от веса и конфигурации деталей. Жидкотекучесть сплава хорошая, минимальная толщина отливаемых деталей ~0,7 мм. Линейная усадка составляет 2,0—2,5%.

Термическая обработка: старение при 800°С в течение 12 час, охлаждение на воздухе.

Сплав удовлетворительно сваривается. Обработывается резанием при малых скоростях победитовыми резцами.

## Применение

Рабочие и сопловые лопатки изделий, работающие кратковременно и длительно при температурах до 850°С.



Фиг. 1. Кривые выносливости сплава ВЛ7-20 при комнатной и высоких температурах (испытание при круговом изгибе).

## ХРОМОНИКЕЛЕВЫЙ СПЛАВ

ХНВЛ (ВЛ7-45У)

## Химический состав в %

C	Si*	Mn*	Cr	Ni
0,1—0,2	≤0,55	≤0,7	19,5—20,5	45—47

Продолжение

W	V	Fe	S	P
			не более	
7,5—8,5	0,01—0,03	Остальное	0,04	0,04

\* Содержание кремния в рабочем сплаве не более 0,4%; содержание марганца не более 0,5%.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	Вид литья
					%		
Отливки	АМТУ 433—58	Образцы из трехобразных заготовок, составленные при 900°С (5 час), охлаждение на воздухе	20	45	6	8	В холодные формы
			20	45	5	6	В горячие формы

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{пл}}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_H$ кг·м/см <sup>2</sup>	<i>HВ</i> кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				%			
Отливки	Состаренные при 900°С (5 час) с охлаждением на воздухе	20	18 000	50	30	14	7	10	1,5—3,0	160—200
		700	13 000	40	18	11	5,5	9	—	120
		800	9 000	30	14,5	10	10	12	—	100

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{150}$	$\sigma_{200}$	$\frac{\sigma_H}{\sigma_{100}}$ $\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^{H**}$	
			образцы гладкие		образцы* с надрезом		на базе 10 <sup>7</sup> циклов				
			кг/мм <sup>2</sup>								кг/мм <sup>2</sup>
Отливки	Состаренные при 900°С (5 час) с охлаждением на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	26	—	
		600	—	30	—	—	30	—	—	—	
		700	25	—	—	25	—	—	—	—	
		800	14	—	15	—	—	1,07	7	16—18	16
		850	10	—	—	—	—	—	—	—	—
		900	5	—	—	—	—	—	—	—	—

\* Радиус надреза 0,15 мм.

\*\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде привес составляет: 0,05 при 900°С; 0,075 при 1000°С; 0,21 г/м<sup>2</sup>·час при 1100°С.

## Физические свойства

 $d=8,3$  г/см<sup>3</sup>.

$\alpha \cdot 10^6=13,85$  (20—200°); 14,56 (20—300°); 14,89 (20—400°); 15,34 (20—500°); 15,68 (20—600°); 16,07 (20—700°); 16,38 (20—800°); 16,68 (20—900°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6=13,19$  (20—100°); 14,50 (100—200°); 15,43 (200—300°); 16,47 (300—400°); 16,82 (400—500°); 17,64 (500—600°); 18,44 (600—700°); 18,56 (700—800°); 19,08 (800—900°) 1/°С.

$\lambda=0,026$  (20°); 0,029 (100°); 0,033 (200°); 0,038 (300°); 0,043 (400°); 0,048 (500°); 0,054 (600°); 0,057 (700°); 0,062 (800°); 0,068 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в электрических дуговых и индукционных печах с основной футеровкой.

Детали изготавливают методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава.

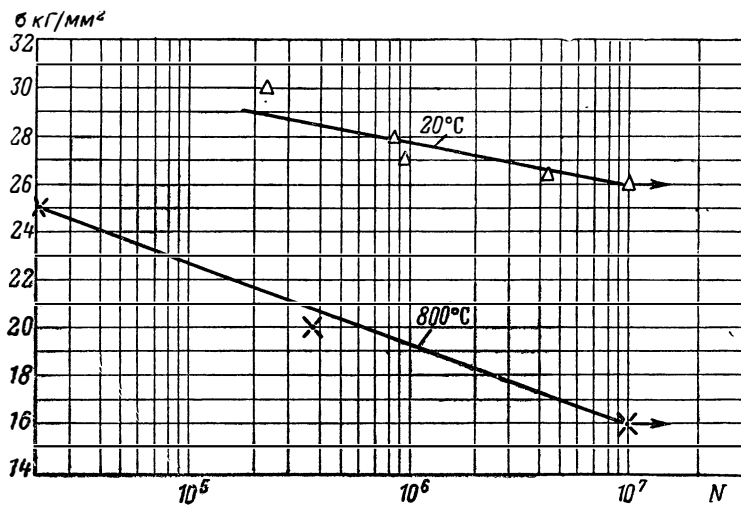
Переplав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1550—1650°С в зависимости от веса и конфигурации деталей.

По литейным свойствам равноценен сплаву ЛК4.

Термическая обработка: старение при 900°С в течение 5 час, охлаждение на воздухе.

## Применение

Сопловые лопатки газовых турбин, работающие при температурах до 900°С.



Фиг. 1. Кривые выносливости сплава ХНВЛ при комнатной и высоких температурах (испытание при изгибе).



<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЖС6</b>
----------------------------------	------------

## Химический состав в % \*

C	Si	Mn	Cr	W	Mo	Ni
0,13—0,20	≤0,4	≤0,4	10,5—13,5	5—8	4,0—5,5	Основа

## Продолжение

Ti	Al	Fe	B	Ce	S	P
					не более	
2,0—2,7	4,5—5,3	≤2	0,015	0,015	0,015	0,015

\* Бор и церий вводятся по расчету и химическим анализом не определяются. В деталях содержание Mn и Si не более 0,6%. Рабочий сплав для переплава поставляется на заводы-потребители с содержанием Al 4,8—5,3% и Ti 2,2—2,7%.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	σ <sub>25</sub>	σ <sub>80</sub>
				кг/мм <sup>2</sup>	
Чушки литые	АМТУ 448—59	Образцы из трефообразных заготовок, закаленные с 1200°С (3—4 час) на воздухе	975	20	15

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	E	E <sub>d</sub>	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	σ <sub>пц</sub>	δ <sub>10</sub>	ψ
			кг/мм <sup>2</sup>					%	
Образцы из трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Закаленные с 1200°С (4 часа) на воздухе	20	20 000	21 800	100—104	90—100	72—75	1—2	2—4
		500	17 500	19 400	95—100	88—94	69—72	1—2,5	1,5—5,5
		600	16 300	18 900	93—95	85—90	67—70	1—2	2—4

Продолжение									
Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпера- тура испы- тания в °С	<i>E</i>	<i>E<sub>д</sub></i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$
			кГ/мм <sup>2</sup>					%	
Образцы из трефообраз- ных заготовок, отлитых в хо- лодные песча- ные формы	Зака- ленные с 1200° С (4 часа) на воз- духе	700	16 000	18 400	91—93	82—88	66—68	1—2	1,5— 4,0
		800	15 000	17 700	85—89	75—80	55—58	0,5— 1,0	1,5— 2,0
		900	13 000	16 700	74—78	44—47	31—34	2,5— 3,0	3,0— 3,5
		950	12 100	—	64—66	33—35	21—24	3—4	5—7
		1000	10 700	—	45—48	25—27	15—18	6—8	11—12
		1050	10 400	—	38	18—20	12—14	6,5—9	15—17

## Длительная прочность и ползучесть

Состояние материала	Темпера- тура испы- тания, °С	Длительная прочность				$\sigma_{0,2/100}$
		$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{100}^*$	
		%		кГ/мм <sup>2</sup>		
Закаленный с 1200° С (4 часа) на воздухе	500	—	—	90	—	—
	600	—	—	85	—	—
	700	—	—	75	—	—
	800	1,5	3	50	50	34
	850	—	—	35	35	—
	900	5—7	7—10	28	>28	17
	950	—	—	18	>23	—
	975	2—4	3—8	15	>18	—
	1000	3—5	3—9	14	>14	2,5—3,0
	1030	—	—	—	>12	—

\* Радиус надреза 0,15 мм.

## Предел выносливости

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{-1}$ на базе циклов		$\sigma_{-1}^*$ на базе циклов	
		10 <sup>7</sup>	2·10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>	2·10 <sup>7</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>			
Закаленный с 1200°С (4 часа) на воздухе	20	—	27	—	—
	550	25	—	25	—
	650	33	—	29	—
	800	27	—	27	—
	950	—	26	—	25
	1000	—	22	—	20

\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Жаростойкость

Сплав жаростоек при температурах до 1150°С.

## Физические свойства

$$d=8,2 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 12,1$  (20—100°); 12,6 (20—200°); 13 (20—300°); 13,4 (20—400°); 13,8 (20—500°); 14,2 (20—600°); 14,7 (20—700°); 15,2 (20—800°); 16 (20—900°); 17,1 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,025$  (20°); 0,027 (100°); 0,030 (200°); 0,033 (300°); 0,037 (400°); 0,042 (500°); 0,047 (600°); 0,052 (700°); 0,057 (800°); 0,064 (900°); 0,068 (1000°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных (открытых или вакуумных) печах. Температура заливки 1560—1580°С.

Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава в количестве 50%.

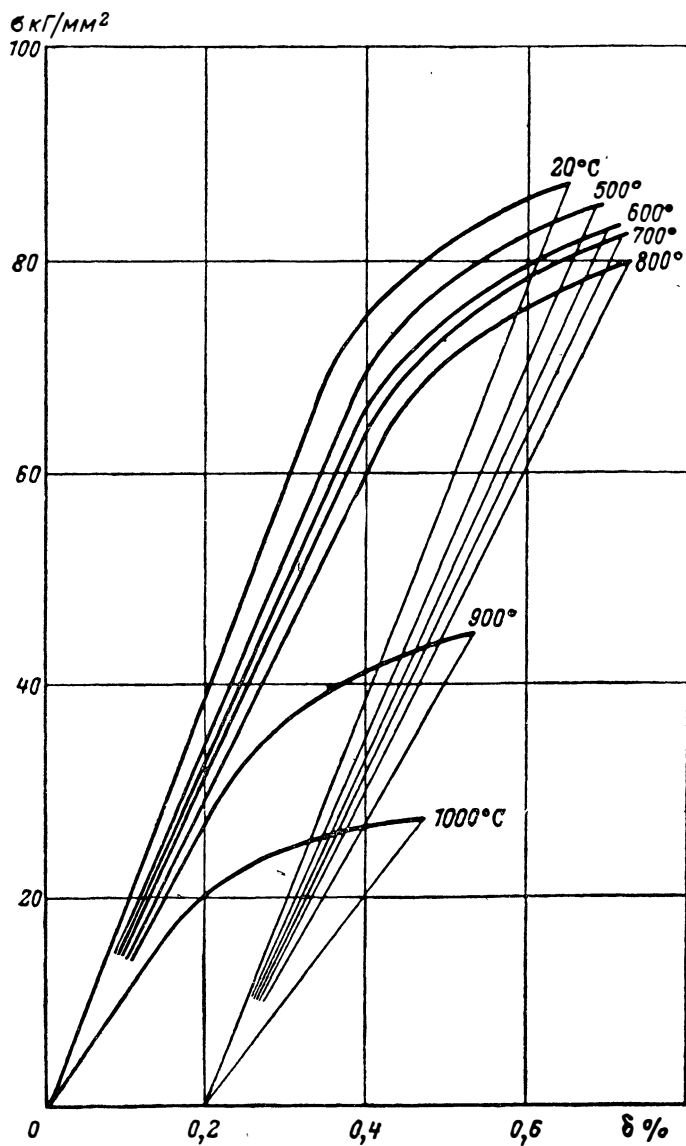
Переплавление металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1500—1600°С в зависимости от веса и конфигурации деталей.

Линейная усадка составляет 2—2,5%.

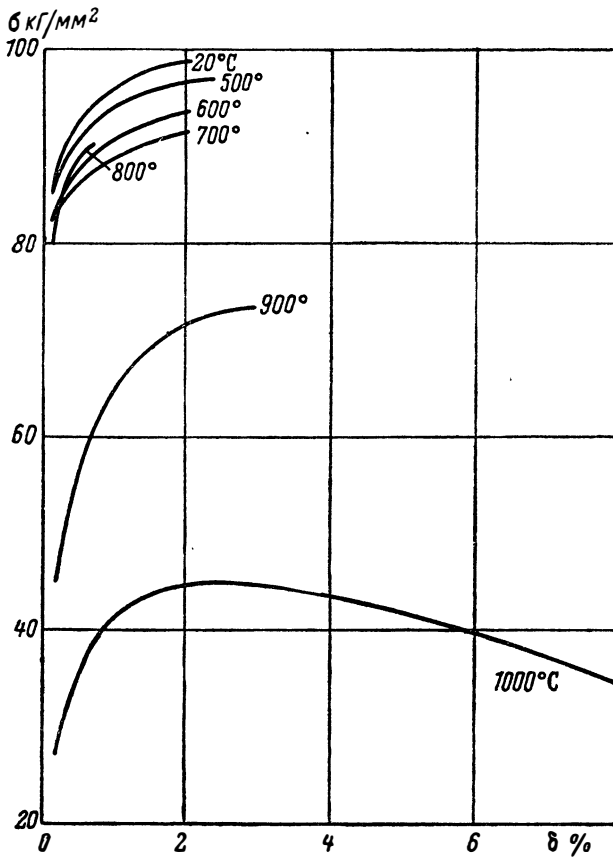
Термическая обработка: закалка с 1200+20°С (выдержка 4 часа) на воздухе.

## Применение

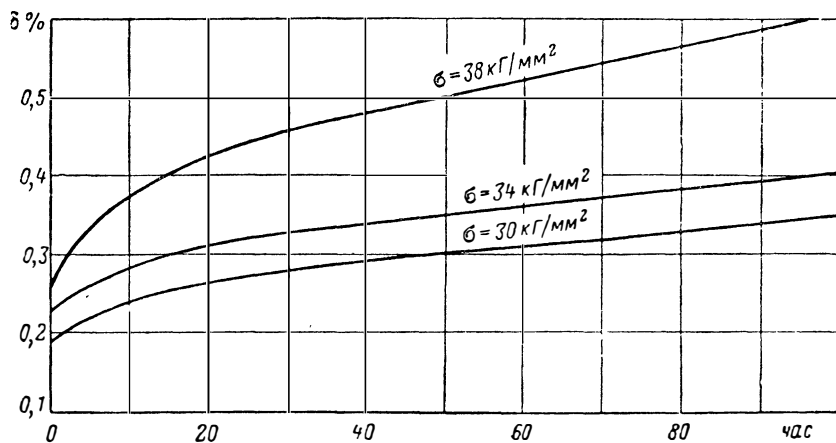
Сопловые и рабочие лопатки газовых турбин, работающие в интервале температур 800—1000°С; охлаждаемые лопатки, работающие при температуре газа у поверхности до 1200°С.



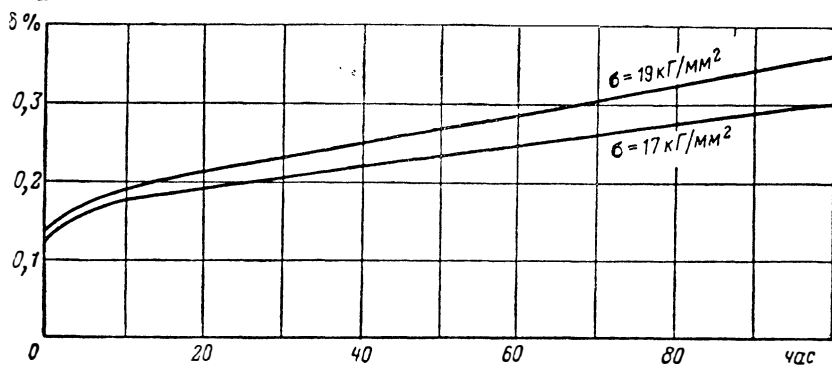
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЖС6 до предела текучести.



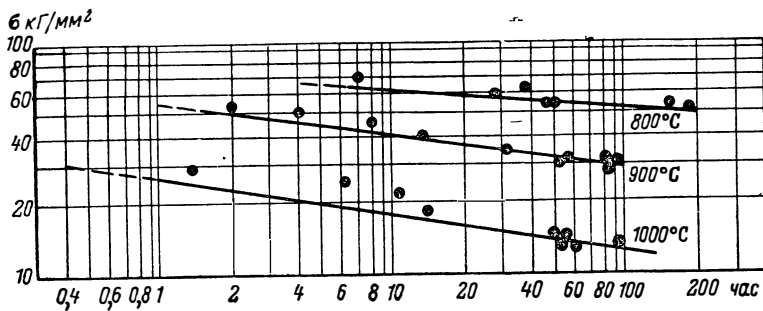
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЖС6 от предела текучести до разрушения.



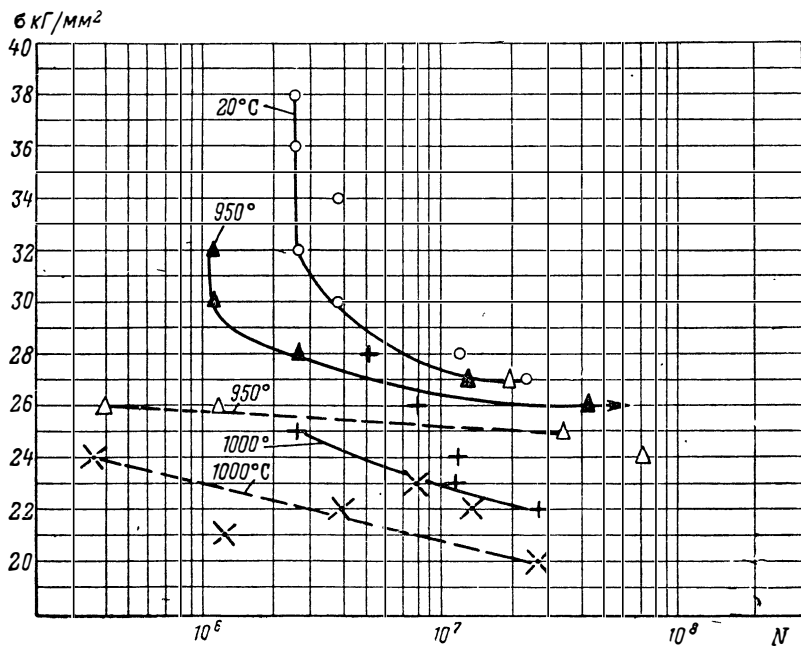
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЖС6 при температуре 800° С.



Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЖС6 при температуре 900° С.



Фиг. 5. Кривые длительной прочности сплава ЖС6.



Фиг. 6. Кривые выносливости сплава ЖС6 при комнатной и высоких температурах (испытание при круговом изгибе).

Сплошные кривые—образцы гладкие, пунктир—образцы с надрезом.

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

ЖС6-К

## Химический состав в %\*

C	Si	Mn	Cr	W	Co	Mo	Ni
0,13—0,20	≤0,4	≤0,4	9,5—12,0	4,5—5,5	4—5	3,5—4,8	Основа
Продолжение							
Ti	Al	Fe	B	Ce	S		P
не более							
2,5—3,2	5—6	≤2	0,02	0,015	0,015		0,015

\* Бор и церий вводятся по расчету и химическим анализом не определяются. В деталях содержание Mn и Si должно быть не более 0,6%.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	Пределы длительной прочности	
				$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	время до разрушения час
Чушки литые	АМТУ 448—59	Образцы из трехобразных заготовок, закаленные с 1210—1220°С (4 часа) на воздухе	975	20	≥40
			1000	15	≥100

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания в °С	$E$	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{лц}$	$\delta_{10}^*$	$\psi$	$\sigma_{лц}$ кг/мм <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>						%	
Закаленный с 1210—1220°С (4 часа) на воздухе	20	20 000	21 700	90—100	83—85	69—72	1,5	6,5	1—3
	500	16 500—18 100	19 400	90—94	83—85	69—72	2	8	—
	600	16 300—17 000	18 800	90—94	83—85	69—72	2,5	7,5	—



		Продолжение							
Состояние материала	Температура испытания в °С	$E$	$E_{\Delta}$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пл}$	$\delta_{10}^*$	$\psi$	$a_{пл}$ кг·м/см <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>						%	
Закаленный с 1210—1220°С (4 часа) на воздухе	700	16 000—16 500	18 200	90—94	83—85	69—72	1,7	9	—
	800	15 100	17 500	90—94	83—85	60	1	5	—
	900	12 500—13 000	16 500	75—80	51—52	37	2	3	—
	1 000	11 900—12 200	—	50—57	30—32	18—19	4,5	6,5	—
	1 030	11 400	—	40—47	25—26	17	9	12	—
	1 100	10 000—10 400	—	20—26	15—20	10—12	10	20	—

\* При испытании укороченных образцов ( $l=5d$ ) относительное удлинение ( $\delta_5$ ) больше на 1—3%.

#### Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_1$	$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$
		кг/мм <sup>2</sup>						
Закаленный с 1210—1220°С (4 часа) на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	—
	700	—	—	—	80—82	80	77—79	—
	800	—	—	—	54—56	53—55	51—53	49—50
	900	50—51	44—46	40—42	36—38	33—34	32	30—31
	1 000	29—31	25—26	22—23	18—19	17—18	15—16	—
	1 030	21—24	17—18	16—17	16	15	12	11

#### Продолжение

Состояние материала	Температура испытания °С					$\frac{\sigma_{н100}}{\sigma_{100}}$	$\sigma_{0,2,100}$		$\sigma_{-1}$ на базе 107 циклов
		$\sigma_{500}^*$	$\sigma_{1000}^*$	$\sigma_{2000}^*$	$\sigma_{н100}^{**}$		по общей деформации	по остаточной деформации	
		кг/мм <sup>2</sup>							
Закаленный с 1210—1220°С (4 часа) на воздухе	20	—	—	—	—	—	—	27	
	700	—	—	—	78	1,0	—	—	
	800	42	38	34	53	1,0	—	38	
	900	19	16	14	37	1,15	—	19—20	23—26
	1 000	8,5	6,5	5	—	—	5	5,5—6,0	—
	1 030	—	—	—	17	1,41	4,5	5	—

\* Минимальные показатели предела длительной прочности.

\*\* Радиус надреза 0,15 мм.

### Жаростойкость

Сплав жаростоек при температурах до 1150°С.

### Физические свойства

$$d=8,1 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=11,0$  (20—100°); 11,4 (20—200°); 12,2 (20—300°); 12,9 (20—400°); 13,4 (20—500°); 13,8 (20—600°); 14,2 (20—700°); 14,7 (20—800°); 15,2 (20—900°); 15,9 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda=0,020$  (20°); 0,023 (100°); 0,028 (200°); 0,032 (300°); 0,037 (400°); 0,043 (500°); 0,047 (600°); 0,051 (700°); 0,055 (800°); 0,060 (900°) кал/см · сек · °С.

### Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных (открытых или вакуумных печах). Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава в количестве 50—80%.

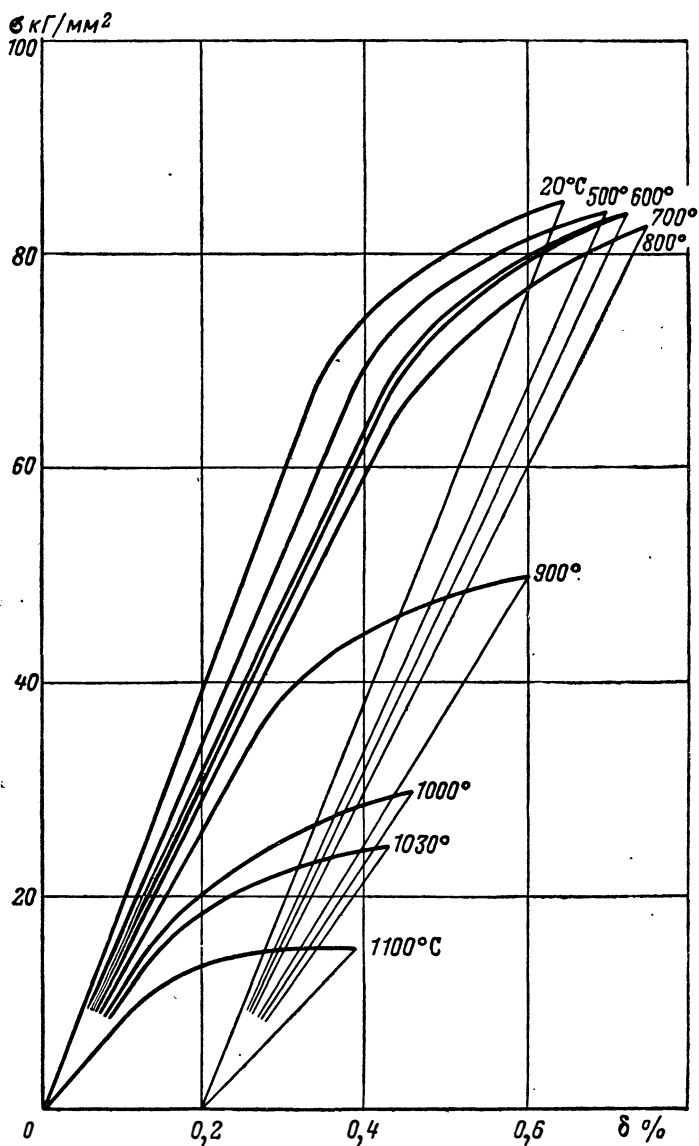
Пéреплав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1500—1600°С в зависимости от веса и конфигурации деталей.

Жидкотекучесть сплава хорошая. Линейная усадка составляет 2—2,5%.

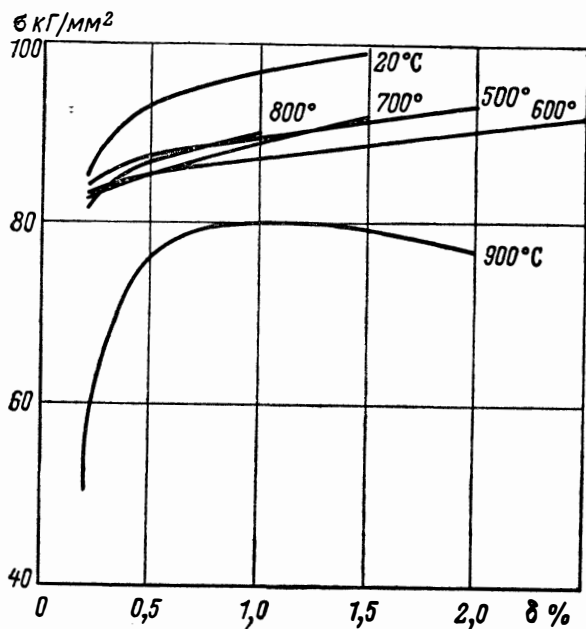
Термическая обработка: закалка с 1210—1220°С (выдержка 3—4 часа) на воздухе. Для снятия остаточных напряжений после механической обработки применяется отжиг в среде осушенного аргона при 950°С в течение 2 час.

### Применение

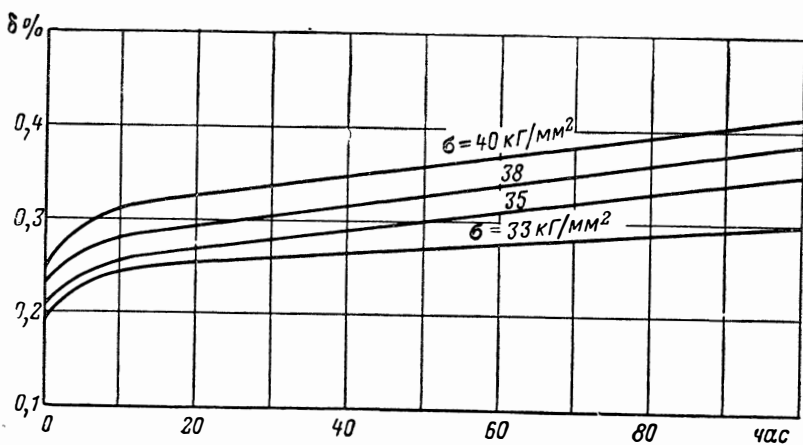
Рабочие и сопловые лопатки газовых турбин, работающие в интервале температур 800—1000°С; охлаждаемые лопатки, работающие при температуре газа у поверхности до 1200°С.



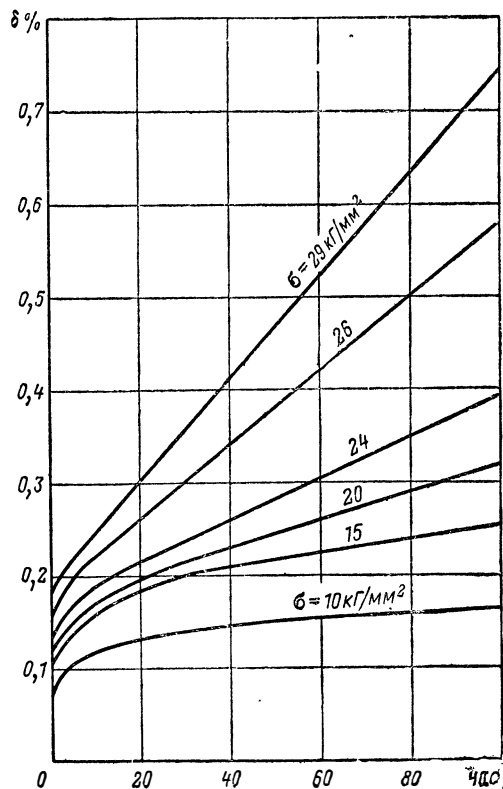
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЖС6-К до предела текучести.



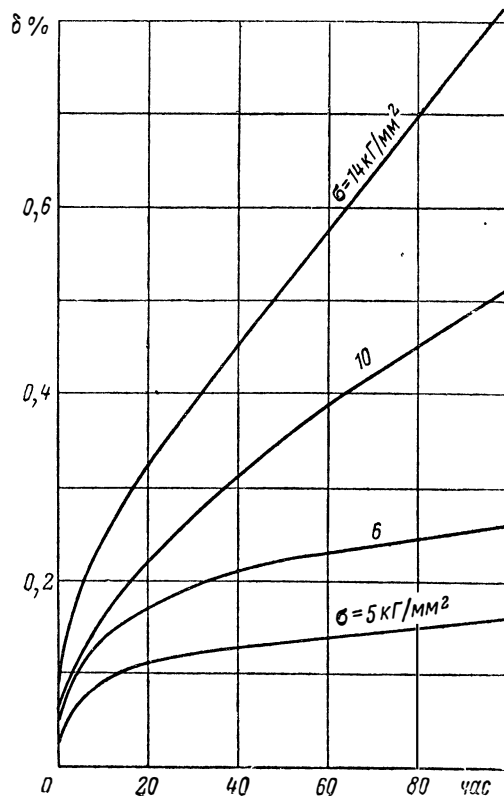
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЖС6-К от предела текучести до разрушения.



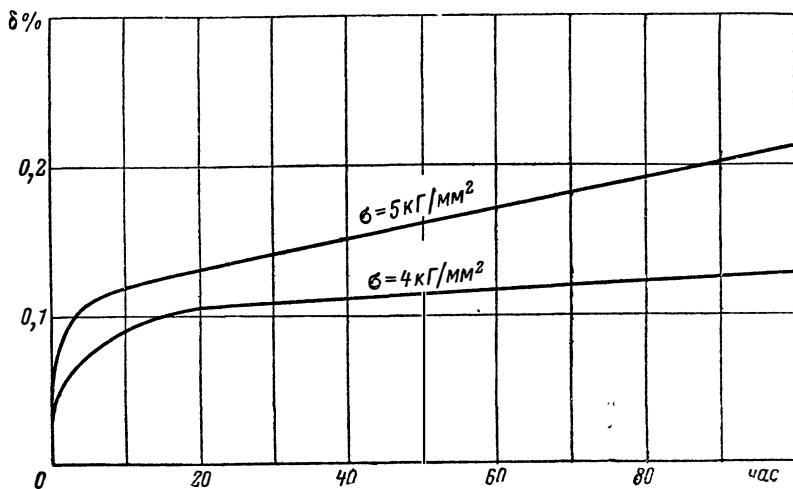
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЖС6-К при температуре 800° С.



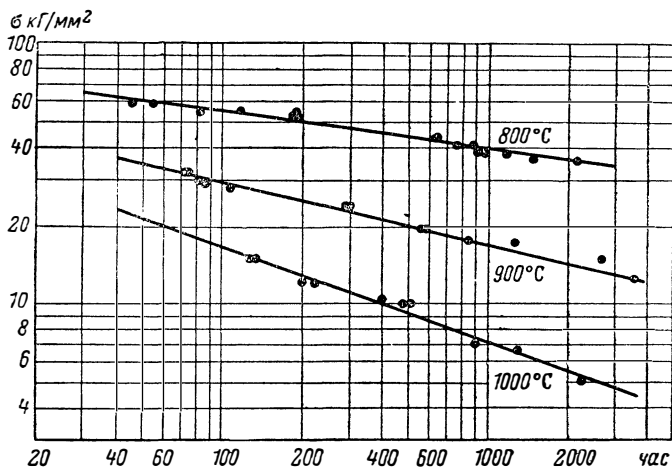
Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЖС6-К при температуре 900° С.



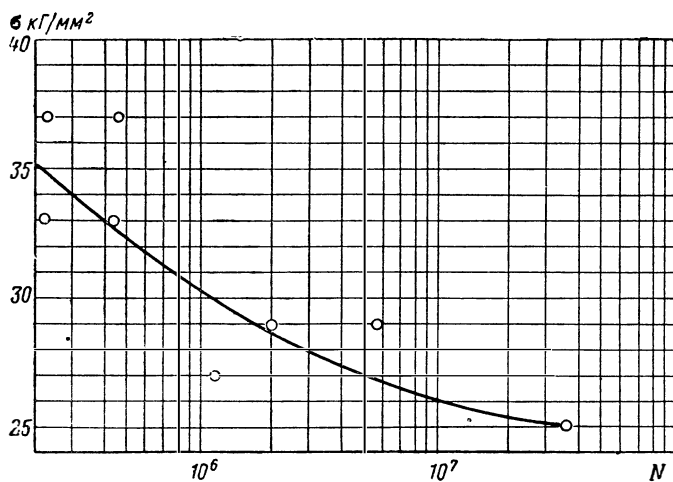
Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ЖС6-К при температуре 1000° С.



Фиг. 6. Кривые ползучести сплава ЖС6-К при температуре 1030° С.



Фиг. 7. Кривые длительной прочности сплава ЖС6-К.



Фиг. 8. Кривая выносливости сплава ЖС6-К при температуре  $900^\circ\text{C}$  (испытание при круговом чистом изгибе).

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

## ЖС6-КП

## Химический состав в % \*

C	Si	Mn	Cr	Co	Al	Mo	W
0,10—0,16	≤0,4	≤0,4	9,0—11,5	5—8	4,2—5,0	4—6	3—5

## Продолжение

Ti	Ni	Fe	B	Ce	S	P
					не более	
2,4—3,3	Основа	≤2	≤0,03	≤0,015	0,015	0,015

\* В готовых деталях допускается содержание кремния и марганца до 0,6% каждого. При использовании в шихте отходов деформированного сплава этой же марки в готовых деталях допускается содержание кобальта до 10%.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	σ <sub>35</sub>	σ <sub>100</sub>
				кг/мм <sup>2</sup>	
Чушки литевые	АМТУ 463—60	Образцы из трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы, закаленные с 1220° С (3—4 часа) на воздухе	975	20	—
			1000	—	14



## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	<i>E</i>	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пл}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	$\psi$	$\sigma_H$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				%			
Образцы из трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Закаленные с 1220° С (4 часа) на воздухе	20	20 000	95—110	80—85	60—65	4—8	2—5	8—13	2,5—6*
		500	16 900	85—100	70—80	55—62	6—9	4—6	10—14	5,5
		600	16 300	80—100	70—75	55—62	6—8	3—4	9—12	6,8
		700	15 900	80—100	70—75	55—61	6—8	3—4	9—12	5,5
		800	15 100	80—100	70—75	55—61	5—8	2,5	9—11	5,1
		850	14 700	80	70	53	—	2	6	—
		900	13 900	70—75	45—50	34—38	4—8	1,0—2,5	3—8	3,6
		950	12 900	64	40	25	—	2,5	5	3,9
		1000	12 500	47—50	30—35	20—25	5,5—7,5	2,5—4,0	5—8	3,9
		1030	11 600	35—45	25—30	18—20	5,5—7,5	2,5—4,0	5—8	3,5
		1050	—	—	—	—	—	—	—	—

\* Ударная вязкость сплава при 20° С, залитого в горячие керамические формы, равна 1,0—2,5 кг·м/см<sup>2</sup>.

## Пределы длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	Образцы гладкие							Образцы с надрезом*	$\sigma_{100}$
			$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$			
			кг/мм <sup>2</sup>							$\sigma_{100}$	$\sigma_{100}$
Образцы из трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Закаленные с 1220° С (4 часа) на воздухе	800	—	—	—	—	48	—	48	1	
		850	—	—	—	—	35	—	—	—	
		900	—	36—37	32—33	30	28—29	24—25	28	1	
		950	—	—	—	24—25	23	—	—	—	
		975	28—30	26—27	22—23	18—20	16—17	14—15	—	—	
		1000	23—24	19—20	16—17	14—15	14	12—13	16	1,3	
		1030	—	—	15	12—13	10—11	—	15	1,37	

\* Радиус надреза 0,15 мм.

## Пределы ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{-1}^*$	
			по оста- точной дефор- мации	по об- щей де- форма- ции	образцы гладкие	образцы с надре- зом**
			кг/мм <sup>2</sup>			
Образцы из трефообразных заготовок, отли- тых в холодные песчаные формы	Закаленные с 1220° С (4 ча- са) на воздухе	20	—	—	26	—
		800	—	—	29	23
		900	24	—	28	28
		1000	8	6—7	—	—

\* Предел выносливости определялся при переменном изгибе на базе  $10^7$  циклов.

\*\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Физические свойства

$$d=8,25 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=11$  (20—100°); 11,6 (20—200°); 12,2 (20—300°); 12,6 (20—400°); 13,1 (20—500°); 13,4 (20—600°); 14 (20—700°); 14,7 (20—800°); 15,4 (20—900°) 1/°С.

$\lambda=0,023$  (25°); 0,026 (100°); 0,029 (200°); 0,033 (300°); 0,036 (400°); 0,040 (500°); 0,044 (600°); 0,047 (700°); 0,051 (800°); 0,056 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных открытых или вакуумных печах. Температура заливки 1560—1580° С.

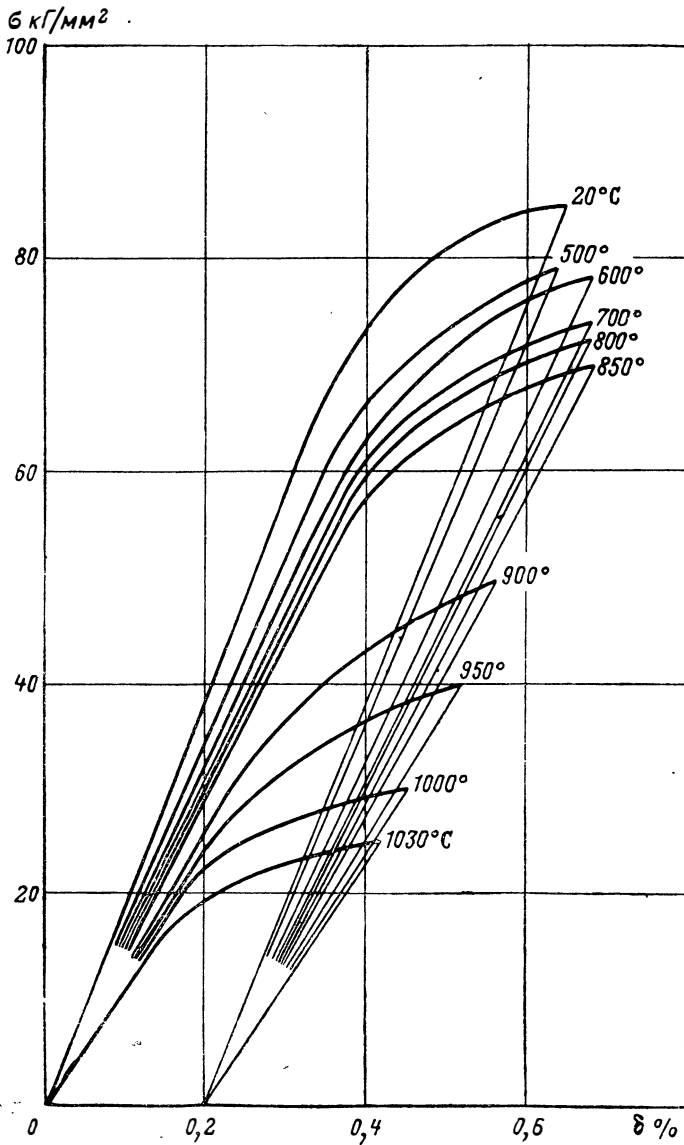
Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава в количестве 50—80%.

Переplав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1500—1600° С в зависимости от веса и конфигурации деталей.

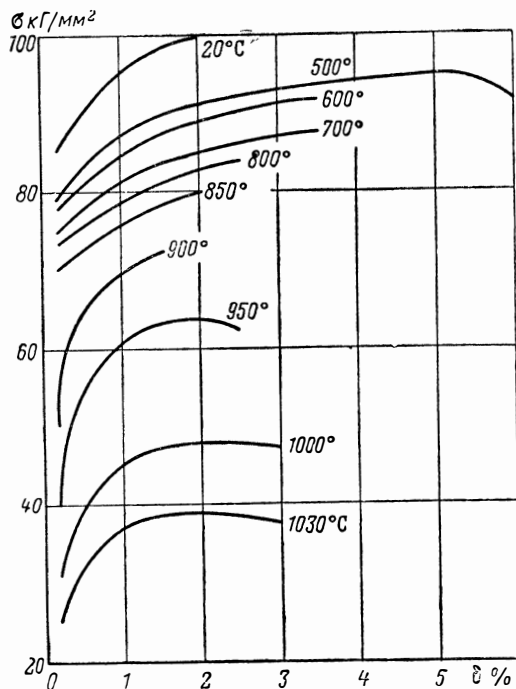
Термическая обработка: закалка с 1200—1220°С (выдержка 4 часа) на воздухе. Для снятия напряжений после механической обработки применяется отжиг в среде осушенного аргона при 950°С в течение 2 час.

## Применение

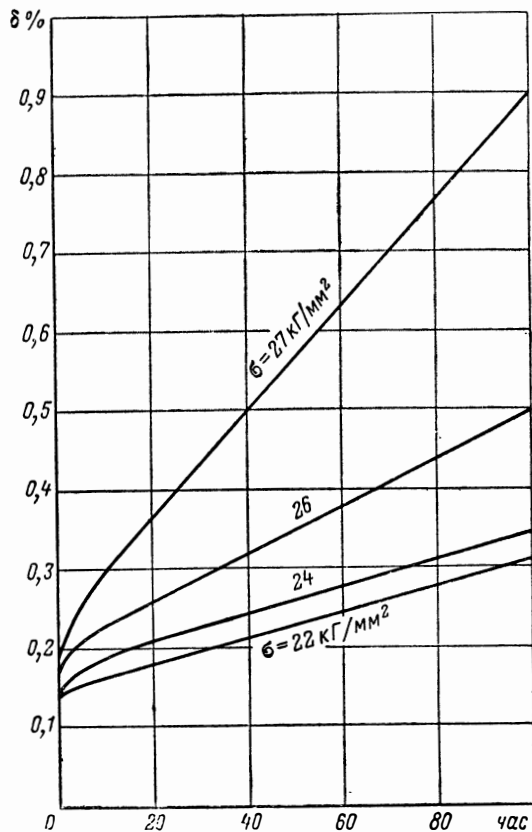
Рабочие и сопловые лопатки газовых турбин, работающие в интервале температур 800—1000°С; лопатки турбостартера, работающие при 900—950°С и пустотелые (охлаждаемые) лопатки, работающие при температуре газа у поверхности до 1200°С.



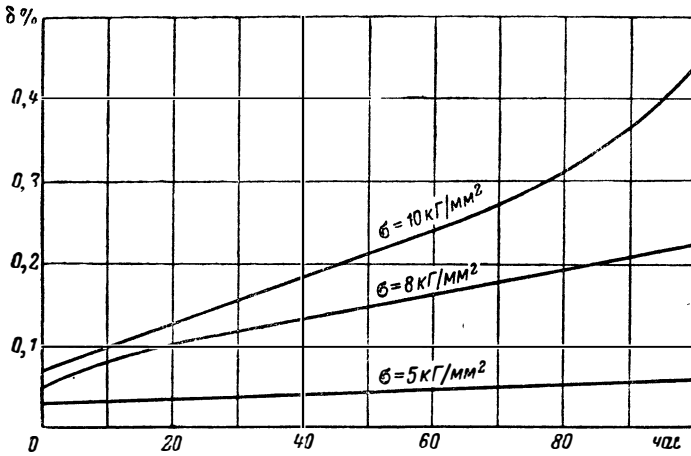
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЖС6-КП до предела текучести.



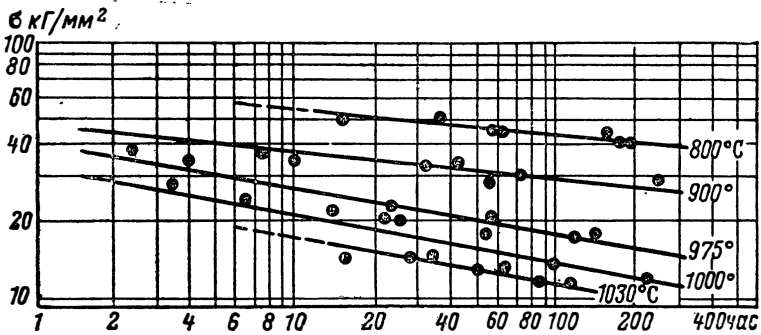
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЖС6-КП от предела текучести до разрушения.



Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЖС6-КП при температуре 900° С.



Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЖС6-КП при температуре 1000° С.



Фиг. 5. Кривые длительной прочности сплава ЖС6-КП.

## СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

## ЖСЗ (ЭИ618)

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo
0,11—0,16	≤0,6	≤0,6	14—18	Основа	4,5—6,5	3,0—4,5

## Продолжение

Ti	Al	B	V	Fe	S	P
					не более	
1,6—2,3	1,6—2,2	До 0,02	≤0,3	≤8,0	0,009	0,015

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	Предел длительной прочности	
				$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	время до разрушения часы
Прутки (заготовки для переплава)	ЧМТУ 3276—55	Закаленные с 1150°С (7 час) на воздухе	800	25	> 40

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_{10}$	$\psi$	$\sigma_H$ кг·м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>				%		
Отливки	Закаленные с 1150°С (7 час) на воздухе	20	19 500	75	57	48	8,5	14,0	1,5—2,5
		600	14 700	62	51	43	7,5	16,5	—
		700	14 000	57	51	43	4,0	13,5	—
		800	13 000	56	50	42	3,0	17,0	1,5—2,5
		850	12 500	52	43	35	3,0	9,5	—
		900	11 000	40	31	24	4,0	7,0	—

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °C	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{-1}$ на базе $2 \cdot 10^7$ циклов
				по оста- точной дефор- мации	по об- щей де- форма- ции	
кг/мм <sup>2</sup>						
Закаленный с 1150° С (7 час) на воздухе	700	—	—	—	32	—
	750	40	—	—	—	—
	800	29	28	22	17	30
	850	20	—	—	—	—
	900	10	—	—	—	—

## Жаростойкость

Сплав жаростоек при температурах до 1000° С.

## Физические свойства

$$d=8,2 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=11,3$  (20—100°); 12,2 (100—200°); 13,1 (200—300°); 13,7 (300—400°); 14,4 (400—500°); 15,1 (500—600°); 17,4 (600—700°); 19,5 (700—800°); 22,1 (800—900°); 25,4 (900—1000°) 1/°С.

$\lambda=0,023$  (20°); 0,025 (100°); 0,028 (200°); 0,032 (300°); 0,036 (400°); 0,041 (500°); 0,045 (600°); 0,050 (700°); 0,057 (800°); 0,064 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных (открытых или вакуумных) печах. При использовании в качестве исходного сплава ХН70ВМТЮ (ЭИ617) производится дошихтовка углерода.

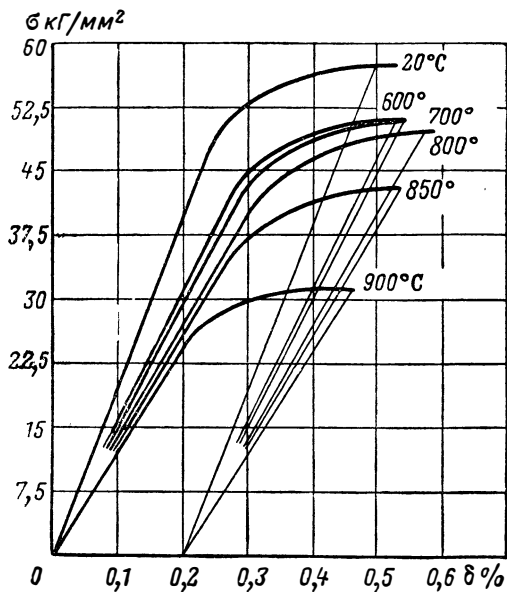
Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов этого сплава в количестве 50% или отходов сплава ХН70ВМТЮ (ЭИ617).

Переplав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1550—1650° С в зависимости от веса и конфигурации деталей. Линейная усадка при заливке в стержневые формы составляет 2,1—2,3%, в нагретые керамические формы 0,4—0,8%.

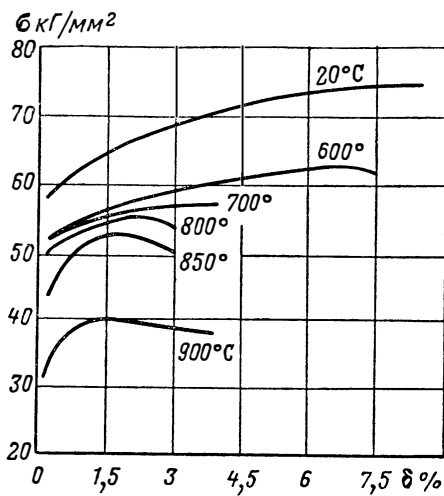
Термическая обработка: закалка с 1150° С (выдержка 7 час) на воздухе.

## Применение

Сопловые лопатки газовых турбин и турбостартера, работающие при температурах до 900° С.

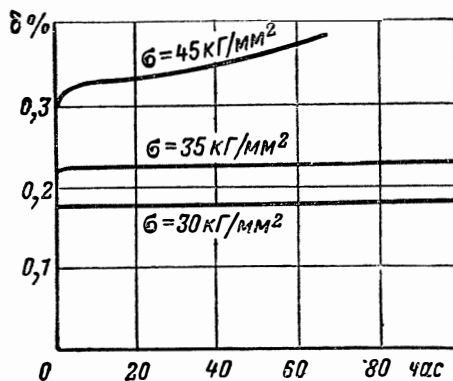


Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЖСЗ до предела текучести.

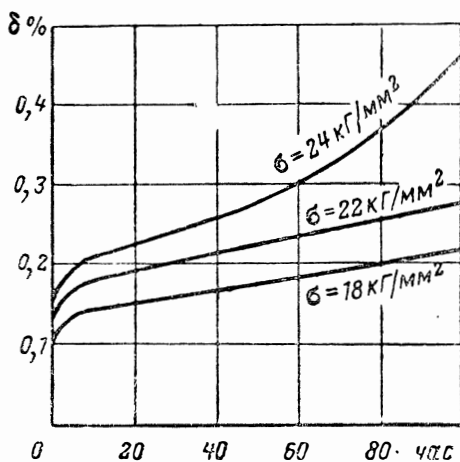


Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЖСЗ от предела текучести до разрушения.

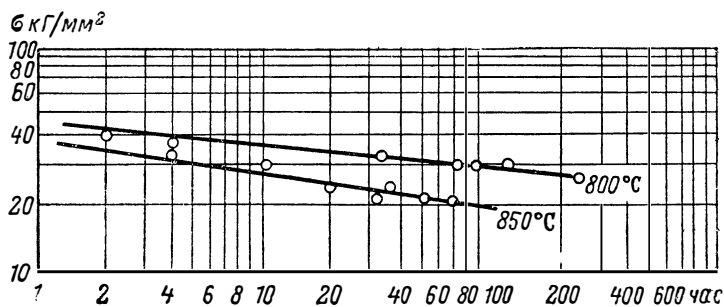




Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ЖСЗ при температуре 700° С.



Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЖСЗ при температуре 800° С.



Фиг. 5. Кривые длительной прочности сплава ЖСЗ.

<b>СПЛАВЫ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЖСЗ-Д и ЖСЗ-ДК</b>
-----------------------------------	-----------------------

## Химический состав в %

Сплав	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	Co	Ni
ЖСЗ-Д	0,08—0,13	≤0,4	≤0,4	11—13	3,5—4,5	3,5—4,5	—	Основа
ЖСЗ-ДК	0,07—0,12	≤0,4	≤0,4	11—14	3,5—5,0	3,5—5,0	5—10	То же

## Продолжение

Сплав	Ti	Al	Fe	B*	Ce*	S	P
						не более	
ЖСЗ-Д	2,5—3,2	4,3—4,8	≤2	0,02	0,015	0,01	0,015
ЖСЗ-ДК	2,5—3,2	4,0—4,8	≤2	0,01— 0,02	0,01— 0,02	0,01	0,015

\* Бор и церий вводятся по расчету и химическим анализом не определяются.

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\sigma_{50}$ кг/мм <sup>2</sup>
Образцы, вырезанные из дисков по радиусу и трещиообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	СТУ	Закаленные с 1200+25° С (3—4 часа) на воздухе	С п л а в ЖСЗ-Д			
			850	—	—	35
Образцы из заготовок, отлитых в специальные горячие формы или из трещиообразных заготовок, отлитых в холодные керамические или в горячие песчаные формы	АМТУ 491—63	Закаленные с 1200+25° С (3—4 часа) на воздухе	С п л а в ЖСЗ-ДК			
			20	90	5	—
			850	—	—	35

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$E_d$	$E$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пл}$	$\delta_{10}$	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	$HV$ ( $d$ ) (мм)
			кг/мм <sup>2</sup>						%			
С п л а в ЖСЗ-Д												
Образцы, вырезанные из дисков и трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Закаленные с 1200°С на воздухе	20	21 700	20 000	85—100	75—85	60—65	5—8	8—15	8—15	1,5—2,0	3,4—3,2
		550	—	—	85—95	75—85	60—65	—	6—10	8—12	—	—
		600	—	—	85—95	—	—	—	6—10	8—12	—	—
		700	18 200	15 200	85—95	70—75	60—65	4—7	6—10	7—10	—	—
		800	17 700	14 500	85—95	70—75	58—62	3,5—7	6—9	5—8	—	—
		850	17 300	13 800	80—85	50—55	40	3—6	6—8	4—10	—	—
		900	—	—	70—80	—	—	—	8—12	8—16	—	—
С п л а в ЖСЗ-ДК												
Образцы, вырезанные из дисков и трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Закаленные с 1200°С на воздухе	20	21 200	20 000	95—110	80—90	65—70	5	6	8	3,0—6,0*	—
		550	18 400	16 500	95—105	75—80	65—68	—	6	8	3,5—5,0	—
		700	17 600	15 000	90—105	75—80	60—65	6	6	10	3,8—4,8	—
		800	17 600	15 000	90—105	75—80	60—65	6	6	8	3,2—4,0	—
		850	16 100	14 000	85—95	65—70	45—50	3,5	6	6	3,0—4,0	—
		900	—	13 500	70—75	45—50	30—35	5	6	6	2,8—3,4	—
		950	—	—	58—63	—	—	—	8	2,4—2,9	—	
		1000	—	12 500	44—50	25—30	17—19	8	10	1,8—2,6	—	
Образцы, вырезанные из цельнолитых роторов и трефообразных заготовок, отлитых в горячие формы	Закаленные с 1200°С на воздухе	20	—	—	85	75	—	—	6	8	2	—
		850	—	—	75	—	—	—	5	6	—	—

\* Ударная вязкость сплава, отлитого в горячие формы, при 20°С составляет 3,0—3,5 кг·м/см<sup>2</sup>.

## Механические свойства прессованного сплава ЖСЗ-ДК

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\sigma_H$ кг·м/см <sup>2</sup>
		кг/мм <sup>2</sup>		%		
Закаленный с 1200° С на воздухе	20	110—125	80—85	15—20	20—25	5—7
Термически обработанный по режиму: закалка с 1200° С на воздухе; старение при 900° С (10 час), охлаждение на воздухе	20	120—140	90	10—15	12—18	2,4—3,0

## Пределы длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_1$	$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{100}^*$	$\frac{\sigma_H}{\sigma_{100}}$
			кг/мм <sup>2</sup>								
С п л а в ЖСЗ-Д											
Образцы, вырезанные из дисков по радиусу	Закаленные с 1200° С на воздухе	550	—	—	—	—	—	83—85	—	85	1
		600	—	—	—	—	—	76	—	—	—
		700	78—80	71—73	69—71	68—69	66—68	64—65	—	65	1
		800	—	—	—	—	—	45	—	—	—
		850	58—60	49—50	44—46	39—41	35—36	33—34	—	35	1
		900	—	—	—	—	—	24—25	—	30	1,2
С п л а в ЖСЗ-ДК											
Образцы, вырезанные из дисков по радиусу	Закаленные с 1200° С на воздухе	550	—	—	—	—	—	90—95	—	95	1
		600	—	—	—	—	—	80	—	80	1
		700	—	—	—	—	—	70	60—63	70	1
		800	62	—	—	—	—	48—50	39—40	50	1
		850	58—60	—	—	—	39—40	35—38	25—27	40	1,06
		850**	—	—	—	—	—	35—36	—	36	1
		900	36—38	—	—	—	—	29—30	18—19	30	1,06
		1000	20—22	—	—	—	—	13—14	—	—	—

\* Радиус надреза 0,15 мм.

\*\* Образцы, вырезанные из полотно маленьких прессованных дисков по радиусу. Термическая обработка по режиму: закалка с 1200° С на воздухе; старение при 850—875°, время выдержки 10 час.

## Пределы ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{0,2/500}$		$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^*$	$\frac{\sigma_{-1}^*}{\sigma_{-1}}$
			по об- щей де- форма- ции	по остаточ- ной дефор- мации	на базе 10 <sup>7</sup> циклов				
<i>кг/мм<sup>2</sup></i>									
С п л а в ЖСЗ-Д									
Образцы, вы- резанные из дисков и тре- фообразных заготовок, от- литых в холод- ные песчаные формы	Закален- ные с 1200° С на воздухе	20	—	—	—	25	19	0,76	
		700	—	59	—	34	33	0,97	
		850	17—18	21—24	—	34	28	0,82	
С п л а в ЖСЗ-ДК									
		550	—	—	—	27	27	1	
		700	—	70	—	—	—	—	
		800	—	—	29—30	—	—	—	
		850	—	30	20—21	36	28	0,86	
		900	—	16	—	32	27	—	

\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Жаростойкость

Сплавы жаростойки при температурах до 1150°С.

## Физические свойства

## С п л а в ЖСЗ-Д

 $d=8,1 \text{ г/см}^3$ . $\alpha \cdot 10^6=11,8 (20-100^\circ); 12,2 (20-200^\circ); 12,7 (20-300^\circ); 13,1 (20-400^\circ); 13,5 (20-500^\circ); 13,6 (20-600^\circ); 14 (20-700^\circ); 14,4 (20-800^\circ); 15,1 (20-900^\circ); 16 (20-1000^\circ) 1/^\circ\text{C}$ . $\lambda=0,022 (20^\circ); 0,025 (100^\circ); 0,029 (200^\circ); 0,032 (300^\circ); 0,036 (400^\circ); 0,039 (500^\circ); 0,043 (600^\circ); 0,048 (700^\circ); 0,052 (800^\circ); 0,058 (900^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C}$ .

## С п л а в ЖСЗ-ДК

 $d=8,2 \text{ г/см}^3$ . $\alpha \cdot 10^6=11,8 (20-100^\circ); 12,2 (20-200^\circ); 12,7 (20-300^\circ); 13,1 (20-400^\circ); 13,4 (20-500^\circ); 13,6 (20-600^\circ); 13,9 (20-700^\circ); 14,2 (20-800^\circ); 14,7 (20-900^\circ); 15,5 (20-1000^\circ) 1/^\circ\text{C}$ . $\lambda=0,025 (100^\circ); 0,028 (200^\circ); 0,031 (300^\circ); 0,035 (400^\circ); 0,039 (500^\circ); 0,043 (600^\circ); 0,046 (700^\circ); 0,050 (800^\circ); 0,054 (900^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C}$ . $c=0,090 (100^\circ); 0,095 (200^\circ); 0,10 (300^\circ); 0,105 (400^\circ); 0,11 (500^\circ); 0,12 (600^\circ); 0,14 (700^\circ); 0,15 (800^\circ); 0,16 (900^\circ) \text{ кал/г}\cdot^\circ\text{C}$ .

### Технологические данные

Сплавы выплавляют в высокочастотных индукционных (открытых или вакуумных) печах. Температура заливки 1450—1500°С.

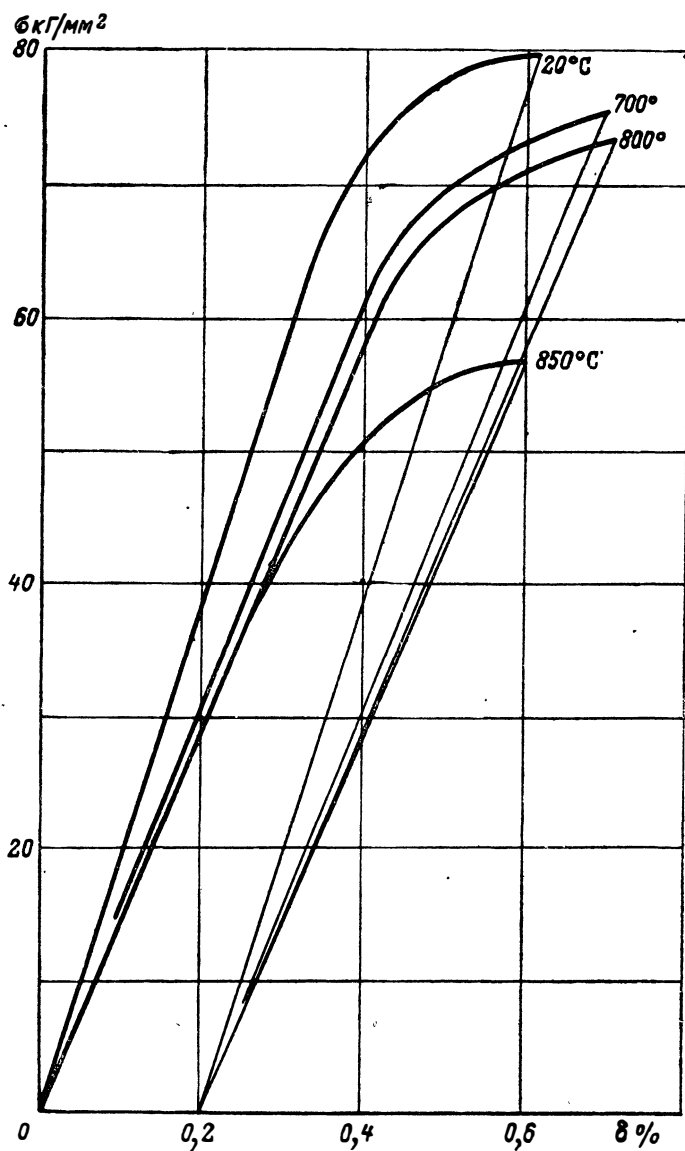
Детали изготавливают методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава в количестве 50%.

Переplав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1450—1510°С в зависимости от веса и конфигурации деталей.

Термическая обработка: закалка с 1200+25°С на воздухе.

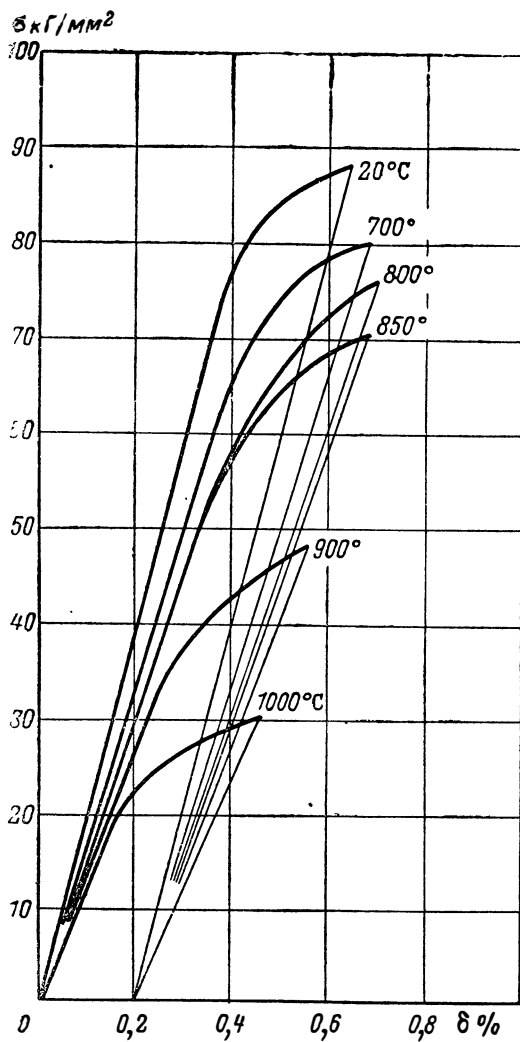
### Применение

Сплав ЖСЗ-ДК применяется для отливки фасонных деталей двигателя, работающих при температурах до 900°С.

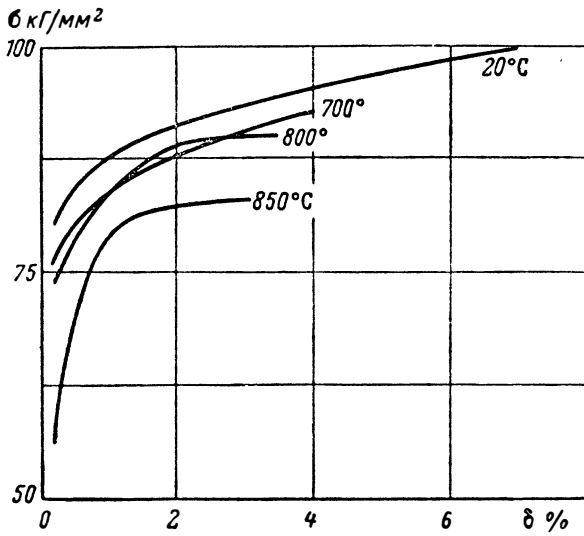


Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ЖСЗ-Д до предела текучести.

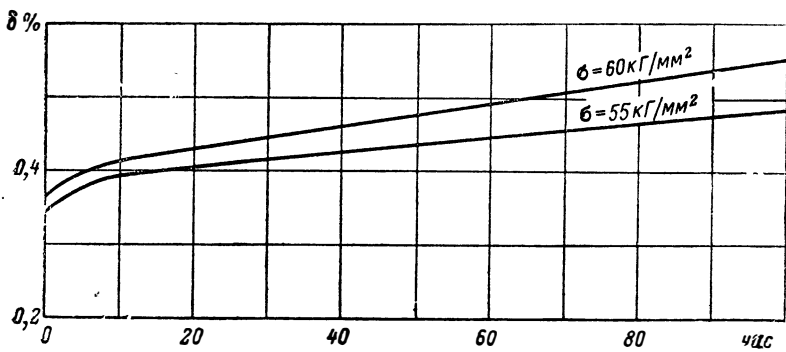




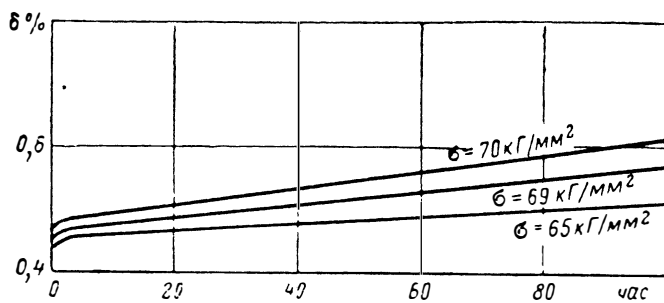
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ЖСЗ-ДК до предела текучести.



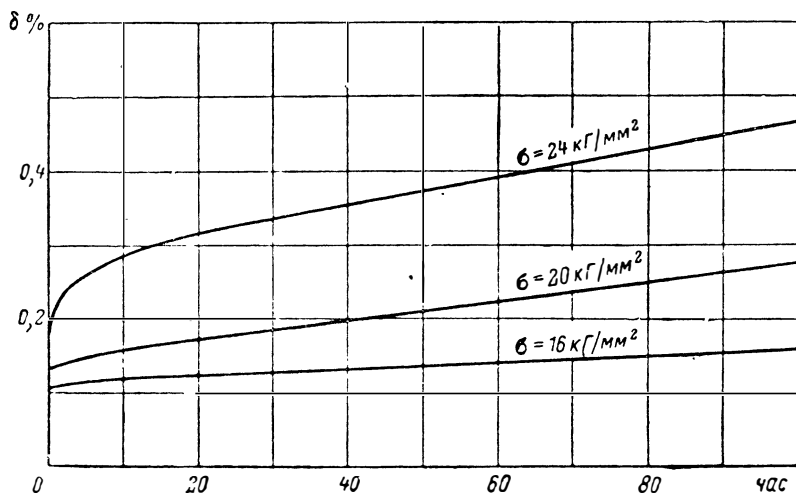
Фиг. 3. Кривые растяжения сплава ЖСЗ-Д от предела растяжения до разрушения.



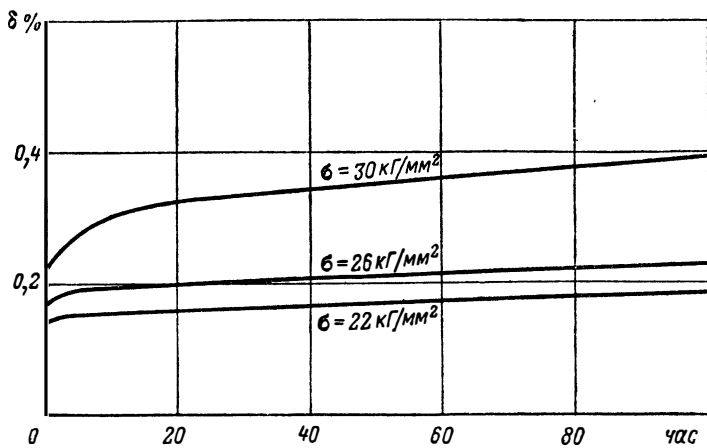
Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ЖСЗ-Д при температуре 700° С.



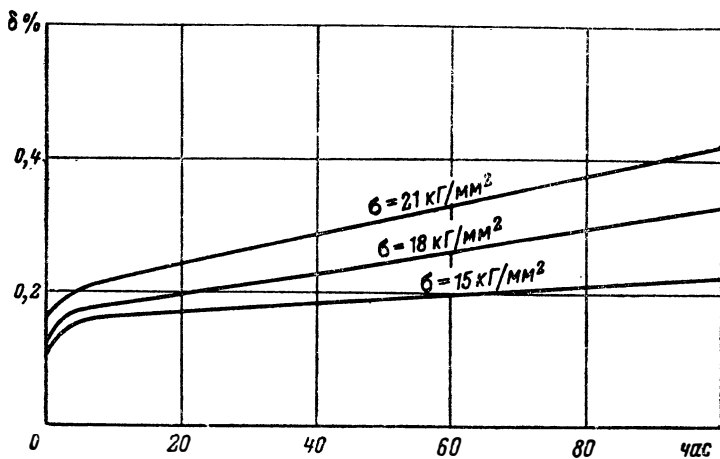
Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ЖСЗ-ДК при температуре 700° С.



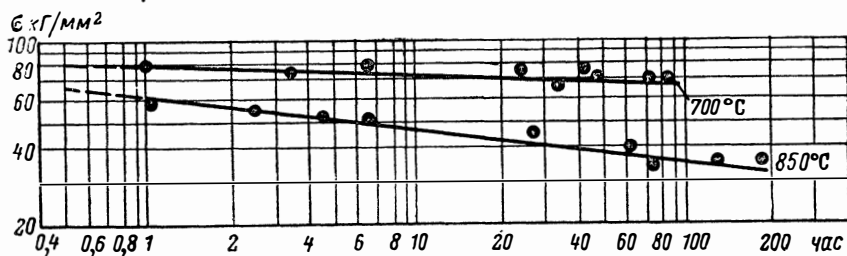
Фиг. 6. Кривые ползучести сплава ЖСЗ-Д при температуре 850° С.



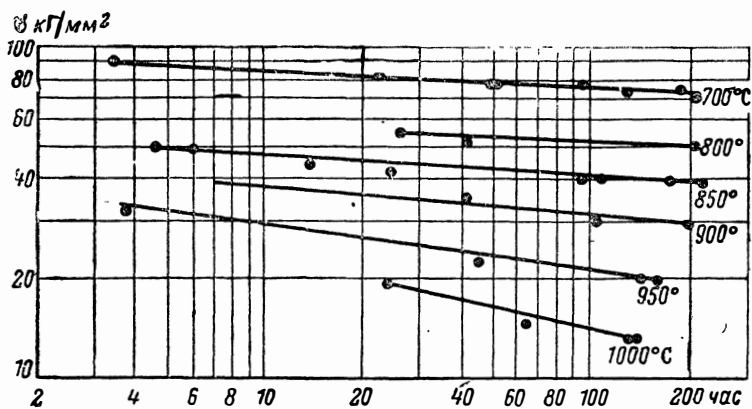
Фиг. 7. Кривые ползучести сплава ЖСЗ-ДК при температуре  $850^{\circ}\text{C}$ .



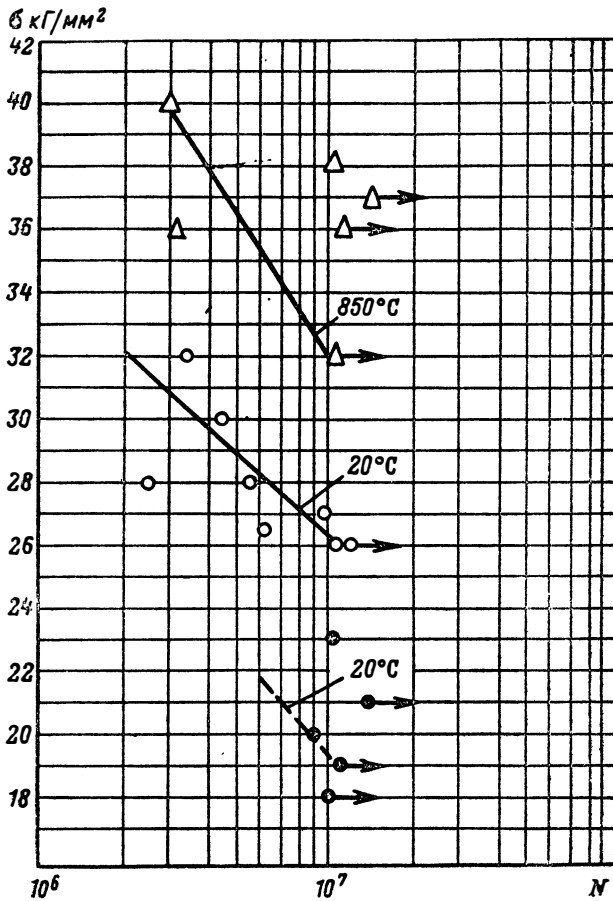
Фиг. 8. Кривые ползучести сплава ЖСЗ-ДК при температуре  $900^{\circ}\text{C}$ .



Фиг. 9. Кривые длительной прочности сплава ЖСЗ-Д.

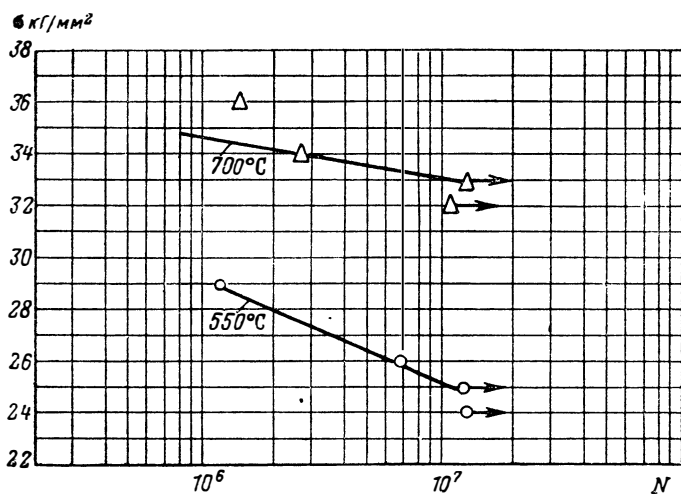


Фиг. 10. Кривые длительной прочности сплава ЖСЗ-ДК.



Фиг. 11. Кривые выносливости сплава ЖСЗ-Д при комнатной и высокой температурах (испытание при круговом изгибе).

Сплошные кривые—образцы гладкие, пунктир—образцы с надрезом.



Фиг. 12. Кривые выносливости сплава ЖСЗ-ДК при высоких температурах (испытание при круговом изгибе).

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>АНВ-300</b>
----------------------------------	----------------

Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	W	Ni	Ti	Al	B	S	P
не более										
<0,1	<0,5	<0,5	14—17	7—10	ос- нова	1,4—2,0	4,5—5,5	<0,1	0,010	0,015

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	Предел длительной прочности	
				$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	время до разрушения час
Чушки литые	АМТУ 372—56	Образцы из трефообразных заготовок, закаленные с 1120°С (10 час) на воздухе	850	25	≥60

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	E	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пл}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	$\psi$	НВ (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>				%			
Образцы из трефообразных заготовок	Закаленные с 1120°С (10 час) на воздухе	20	19 000	95	—	—	2,0	1,4	1,5—4,5	3,15—3,5
		750	13 800	80	—	—	1,4	0,5	0,6—2,5	3,1—3,05
		850	13 650	70	—	—	2,5	0,5	0,5—2,5	3,3—3,5
		950	11 500	50	33	24	3,5	1,7	2,0—5,5	3,5—3,7

Пределы длительной прочности и ползучести

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$	$\sigma_{100}^H$	$\frac{\sigma_{100}^H}{\sigma_{100}}$	$\sigma_{0,2/100}$	
					по остаточной деформации	по общей деформации
					кг/мм <sup>2</sup>	
Закаленный с 1120°С (10 час) на воздухе	750	40	≥40	>1	—	21,5
	850	24	≥24	>1	18	13,5
	950	14	≥14	>1	—	7,0



## Пределы выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^H$
		на базе $10^7$ циклов	
		кг/мм <sup>2</sup>	
Закаленный с 1120° С (10 час) на воздухе	20	—	25
	750	28—29	28
	850	30	24
	950	25—26	21
	1000	21	—

## Жаростойкость

При 100-часовых испытаниях в воздушной среде привес составляет: при 950° С—0,061 г/м<sup>2</sup>· час, при 1000-часовых испытаниях при 950° С—0,0095 г/м<sup>2</sup>· час.

## Физические свойства

$d=8,05$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6=10,9$  (20—100°); 12,9 (100—200°); 13,7 (200—300°); 16,3 (300—400°);  
 17,7 (400—500°); 19,4 (500—600°); 21,4 (600—700°); 22,4 (700—800°); 24,3  
 (800—900°) 1/°С.  
 $\lambda=0,022$  (25°); 0,024 (100°); 0,027 (200°); 0,031 (300°); 0,035 (400°);  
 0,039 (500°); 0,043 (600°); 0,047 (700°); 0,052 (800°); 0,058 (900°) кал/см·сек·°С

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных (открытых или вакуумных) печах. Температура заливки 1620° С.

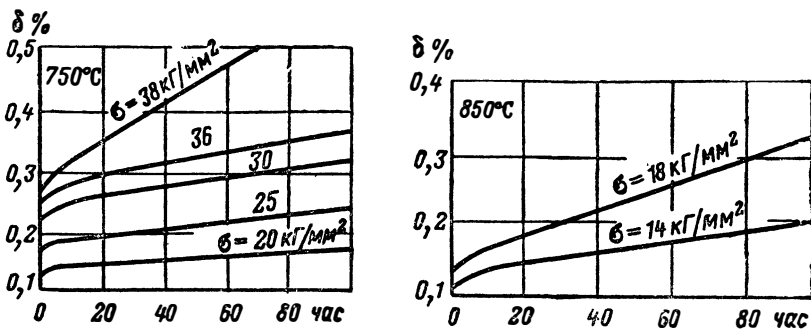
Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям.

Переplав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1520—1560° С в зависимости от веса и конфигурации деталей. По литейным свойствам равенцен сплаву ЖС6.

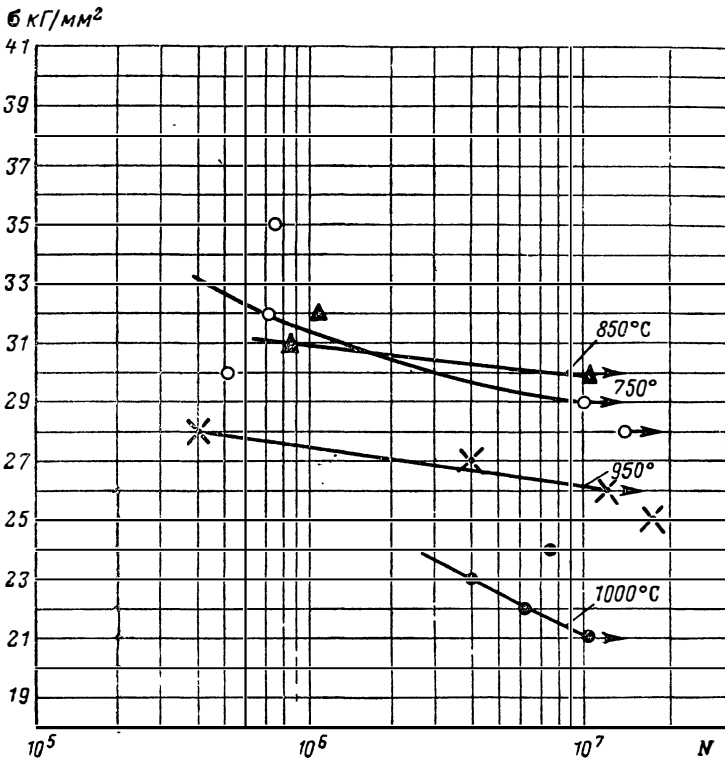
Термическая обработка: закалка с 1120° С (выдержка 10 час) на воздухе. Термическую обработку рекомендуется проводить в печах с защитной атмосферой.

## Применение

Сопловые лопатки газовых турбин, работающие при температурах до 900° С.



Фиг. 1. Кривые ползучести сплава АНВ-300 при различных температурах.



Фиг. 2. Кривые выносливости сплава АНВ-300 при высоких температурах (испытание при чистом изгибе).

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЭИ857 (Л114)</b>
----------------------------------	---------------------

**Механические свойства по ТУ (не менее)**

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	σ <sub>40</sub>	σ <sub>100</sub>
				кг/мм <sup>2</sup>	
Литые заготовки	ТУС 6363—57	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1190±10°С (10 час) на воздухе 2-я закалка с 1050±10°С (5 час) на воздухе	975	20	—
			1000	—	15

**Механические свойства при комнатной и высоких температурах**

Состояние материала	Температура испытания в °С	<i>E</i>	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	σ <sub>н</sub> кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
		кг/мм <sup>2</sup>			%			
Термически обработанный по режиму: закалка с 1200°С (10 час) на воздухе; старение при 1050°С (5 час), охлаждение на воздухе	20	20 000—23 000	75—95	70—85	1,5—4,0	2,0—8,0	1,0—2,0	3,4—3,1
	600	16 500—20 000	75—95	70—85	1,5—4,0	3,0—8,0	1,0—2,0	3,4—3,1
	700	16 000—19 300	72—95	70—83	1,3—4,0	2,0—8,0	0,8—2,0	3,4—3,1
	800	15 200—18 500	70—90	68—83	0,5—2,0	2,5—7,0	0,5—2,0	3,4—3,1
	900	17 300	65—82	58—75	0,7—4,0	2,5—8,0	0,7—2,0	3,4—3,1
	1000	—	40—55	30—45	4,0—15,0	6,0—18,0	1,2—2,0	3,7—3,4
	1030	—	30—45	25—38	4,0—15,0	10,0—30,0	1,2—2,0	3,8—3,45
	1100	—	15—30	—	10,0—20,0	15,0—30,0	1,2—2,5	4,2—3,7

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Состояние материала	Температура испытания °С	σ <sub>50</sub>	σ <sub>100</sub>	σ <sub>0,2/100</sub>	σ <sub>-1</sub>
		κГ/мм <sup>2</sup>		По остаточной деформации	на базе 10 <sup>7</sup> циклов
		κГ/мм <sup>2</sup>			
Термически обработанный по режиму: закалка с 1200°С (10 час) на воздухе; старение при 1050°С (5 час), охлаждение на воздухе	800	—	53	37—38	26
	900	35	32	18	25
	975	20	18	—	—
	1000	17	15	8—9	22
	1030	15	12	—	—

## Термическая стойкость \*

Состояние материала	Температура испытания °С	Число теплосмен
Термически обработанный по режиму: закалка с 1200°С (10 час) на воздухе; старение при 1050°С (5 час), охлаждение на воздухе	900 ⇄ 20	2530
	1000 ⇄ 20	2245
	1100 ⇄ 20	356

\* Испытания на термическую стойкость проводились на трубчатых образцах диаметром 12 мм и толщиной 1,5 мм на расстоянии 10 мм от конца, отверстие диаметром 6 мм; цикл: 2 мин нагрев, 2 мин охлаждение в воде.

## Физические свойства

$d=7,95 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6=10,8 \text{ (20—100°); } 12,0 \text{ (20—200°); } 12,5 \text{ (20—300°); } 12,6 \text{ (20—400°); } 13,0 \text{ (20—500°); } 13,1 \text{ (20—600°); } 13,7 \text{ (20—700°); } 13,9 \text{ (20—800°); } 14,6 \text{ (20—900°); } 15,3 \text{ (20—1000°) } 1/°\text{С}$ .  
 $\lambda=0,021 \text{ (20°) кал/см} \cdot \text{сек} \cdot °\text{С}$ .

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных (открытых или вакуумных) печах.

Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям.

Переplав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1630—1670°С в зависимости от веса и конфигурации деталей.

Термическая обработка: закалка с 1200°С (выдержка 10 час) на воздухе; старение при 1050°С в течение 5 час, охлаждение на воздухе.

Сплав трудно обрабатывается резанием.

## Применение

Сопловые и рабочие лопатки газовых турбин (может быть заменен сплавом ЖС6-К, содержащем меньшее количество кобальта).

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ВЖЗ6-Л1</b>
----------------------------------	----------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	Ti
≤0,08	≤0,5	≤0,5	10—12	Основа	7—9	3,7—4,5	0,4—0,6

## Продолжение

Al	V	Fe	B ↑ Ce		S	P
			(расчетн.)			
4,8—5,2	0,7—1,1	≤1,5	0,1	0,01	0,01	0,01

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
Чушки литые	АМТУ 456—59	Образцы из трешообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы, отожженные при 950°С в течение 10 час с охлаждением на воздухе	950	16

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$E$					$\delta$			$\psi$	$a_{\text{н}}$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			$E$	$E_d$	$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{пц}}$	$\delta_{10}$	$\delta_5$	$\psi$			
Образцы из трешообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Отожженные при 950°С в течение 10 час с охлаждением на воздухе	20	20 000	22 000	81—85	69—72	57—59	2,0—3,0	4—6	5—7	1,0	3,3—3,6	
		750	15 500	17 200	76—80	68	54	1,3	3,5	2,0	—	—	
		850	14 000	16 100	76—80	57	39	1,5	3,5	2,0	—	—	
		950	12 200	—	51	30	21	9,0	—	11,5	—	—	
		1000	11 700	—	40	22	12	10,0	—	15,0	—	—	

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_1$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$
									на базе 10 <sup>7</sup> циклов
кг/мм <sup>2</sup>									
Образцы из трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Отожженные при 950°С в течение 10 час с охлаждением на воздухе	750	—	59—60	57—58	55	52—54	—	23—26
		850	—	43—44	36—37	35—36	—	23	26
		950	32	22—24	17—18	16—17	—	9	26
		1000	21	14—15	11—13	10	8—9	—	—

## Жаростойкость

Сплав жаростоек до температуры 1000°С; привес за 100 час испытания при 1000°С составляет 0,2 г/м<sup>2</sup>·час.

## Физические свойства

$d=8,44$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6=12,1$  (20—100°); 13,6 (100—200°); 14,5 (200—300°); 14,8 (300—400°); 15,2 (400—500°); 15,8 (500—600°); 16,1 (600—700°); 17,2 (700—800°); 20,8 (800—900°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6=12,8$  (20—200°); 13,4 (20—300°); 13,7 (20—400°); 14 (20—500°); 14,3 (20—600°); 14,6 (20—700°); 14,9 (20—800°); 15,6 (20—900°) 1/°С.

$\lambda=0,018$  (25°); 0,021 (100°); 0,025 (200°); 0,030 (300°); 0,033 (400°); 0,035 (500°); 0,038 (600°); 0,044 (700°); 0,050 (800°); 0,057 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных (открытых или вакуумных) печах.

Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава в количестве 50—60%.

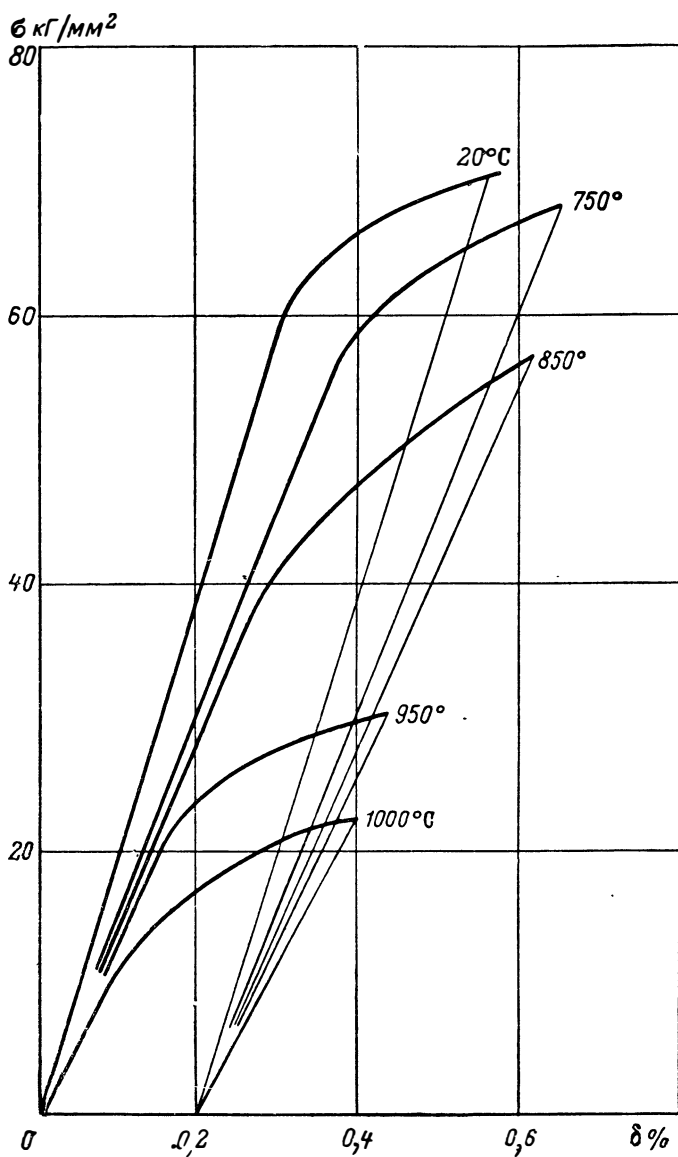
Перелав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1460—1480°С в зависимости от веса и конфигурации деталей. Жидкотекучесть сплава удовлетворительная. Линейная усадка составляет 1,5%; объемная 6%.

Термическая обработка: отжиг при 950°С в течение 10 час с охлаждением на воздухе или закалка с 1200°С (выдержка 4 часа) на воздухе; старение при 950°С в течение 10 час, охлаждение на воздухе. Термическую обработку деталей рекомендуют проводить в среде нейтрального газа (чистый сухой аргон) или давать припуск на механическую обработку для снятия поверхностного окисленного слоя.

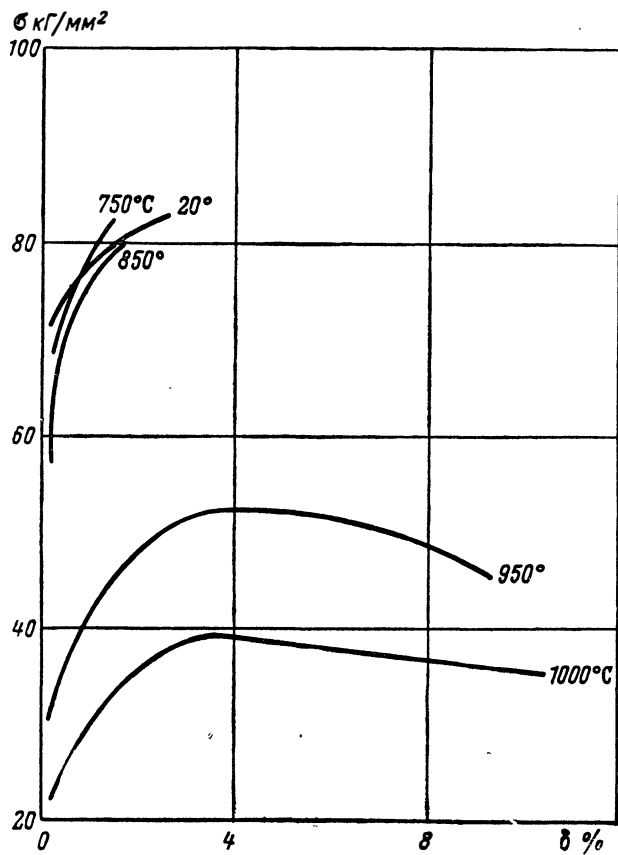
Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием (лучше, чем сплав ЖС6).

## Применение

Рабочие и сопловые лопатки газовых турбин, цельнолитые роторы и другие детали, работающие при температурах до 950°С.

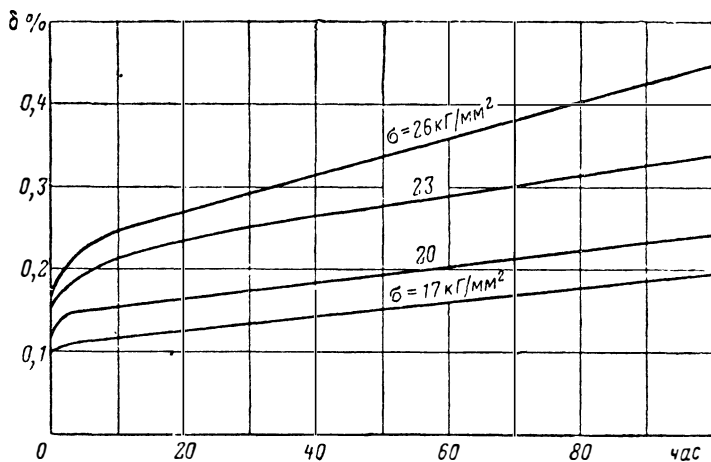


Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ВЖ36-Л1 до предела текучести.

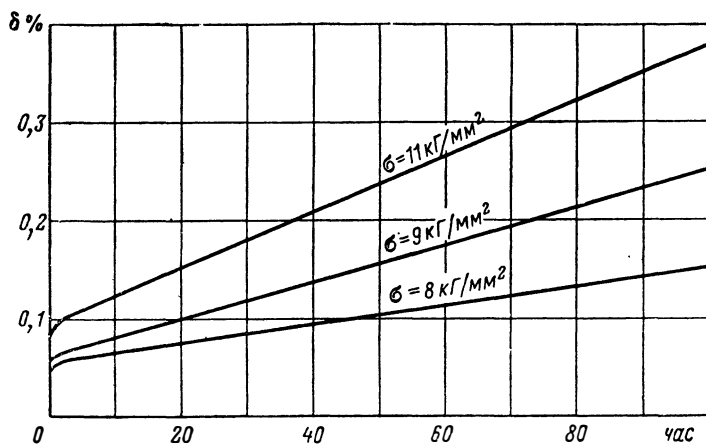


Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ВЖ36-Л1 от предела текучести до разрушения.

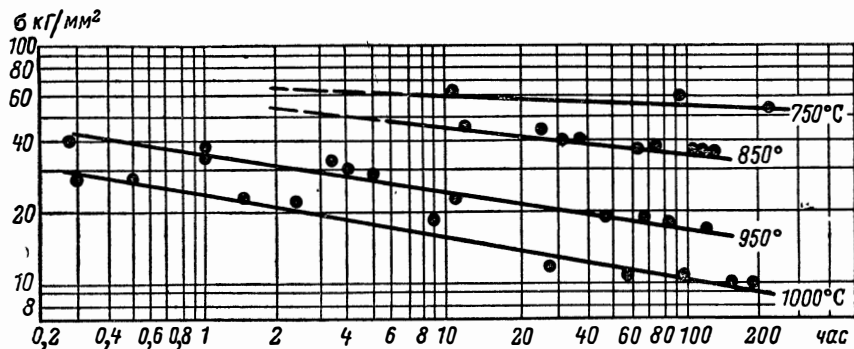




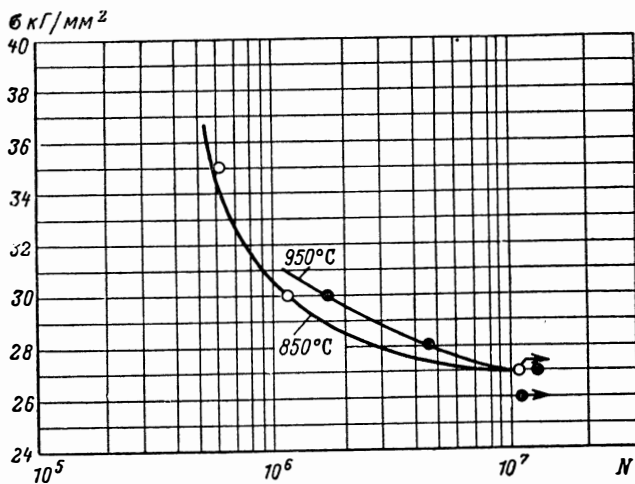
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ВЖ36-Л1 при температуре 850° С.



Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ВЖ36-Л1 при температуре 950° С.



Фиг. 5. Кривые длительной прочности сплава ВЖ36-Л1.



Фиг. 6. Кривые выносливости сплава ВЖ36-Л1 при высоких температурах (испытание при чистом изгибе).

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ВЖЗ6-Л2</b>
----------------------------------	----------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti
≤0,06	≤0,50	≤0,50	19,0—22,0	Основа	2,3—2,7

Продолжение

Al	Fe	B		Ce		S		P	
		(расчетн.)				не более			
3,5—4,0	≤1,5	0,3		0,01		0,007		0,015	

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
Чушки литые	АМТУ 456—59	Образцы из трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы, термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1150°С (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1080°С (4 часа) на воздухе	900	13

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$E$					$\delta$			$\psi$	$a_n$ , кг·м/см <sup>2</sup>	НВ (d мм)
			$E$	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пп}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	%			
Образцы из трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1150°С (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1080°С (4 часа) на воздухе	20	20 000	21 300	85—87	70—72	52—55	3,0—3,5	1,5—2,5	5—6	1	3,3—3,6	
		600	16 500	18 700	78—82	65—70	52—55	3,0—3,2	1,5—2,5	5,5—6,5	1	—	
		700	15 300	17 800	78—82	65—70	52—55	2,5—3,5	1,5—2,0	4,5—5,0	1	—	
		800	14 000	17 100	78—82	57—58	43—46	3,5—5,0	2,5—3,0	4—5	1	—	
		900	12 500	16 800	50—53	27—30	17—20	10—11	8—9	10—12	1	—	
		1000	11 200	—	24—25	12—13	8—9	25—27	18—20	30—35	—	—	

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_1$	$\sigma_5$	$\sigma_{10}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{-1}$   $\sigma_{-1}^*$ на базе $10^7$ циклов	
										кг/мм <sup>2</sup>	
Образцы из тренообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Термически обработанные по режиму:	700	—	—	54—55	48—49	47—48	43—45	37	35—36	25—26
	1-я закалка с 1150°С (4 часа) на воздухе;	800	—	42—43	38—40	30—31	28—29	25—26	18	28—29	—
	2-я закалка с 1080°С (4 часа) на воздухе	900	26	19—20	17—18	14—15	13—14	10—11	8—8,5	17	—
		1000	12—13	9—11	8—8,5	5,5—6	5	4—4,5	—	—	—

\* Радиус надреза 0,75 мм.

## Жаростойкость

Сплав жаростоек при температурах до 1050—1100°.

## Физические свойства

$d = 7,93$  г/см<sup>3</sup>.

$\alpha \cdot 10^6 = 12,8$  (20—100°); 13,9 (100—200°); 14,3 (200—300°); 15 (300—400°); 16,1 (400—500°); 16,7 (500—600°); 18,4 (600—700°); 19,6 (700—800°); 22,2 (800—900°); 25,9 (900—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 13,3$  (20—200°); 13,6 (20—300°); 14 (20—400°); 14,4 (20—500°); 14,8 (20—600°); 15,3 (20—700°); 15,8 (20—800°); 16,5 (20—900°); 17,5 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,027$  (25°); 0,030 (100°); 0,033 (200°); 0,037 (300°); 0,041 (400°); 0,045 (500°); 0,049 (600°); 0,053 (700°); 0,057 (800°); 0,061 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных (открытых или вакуумных) печах.

Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава в количестве 50—60%.

Перелав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1460—1480°С в зависимости от веса и конфигурации деталей. Жидкотекучесть сплава хорошая. Линейная усадка составляет 1,2—1,5%, объемная ~5%.

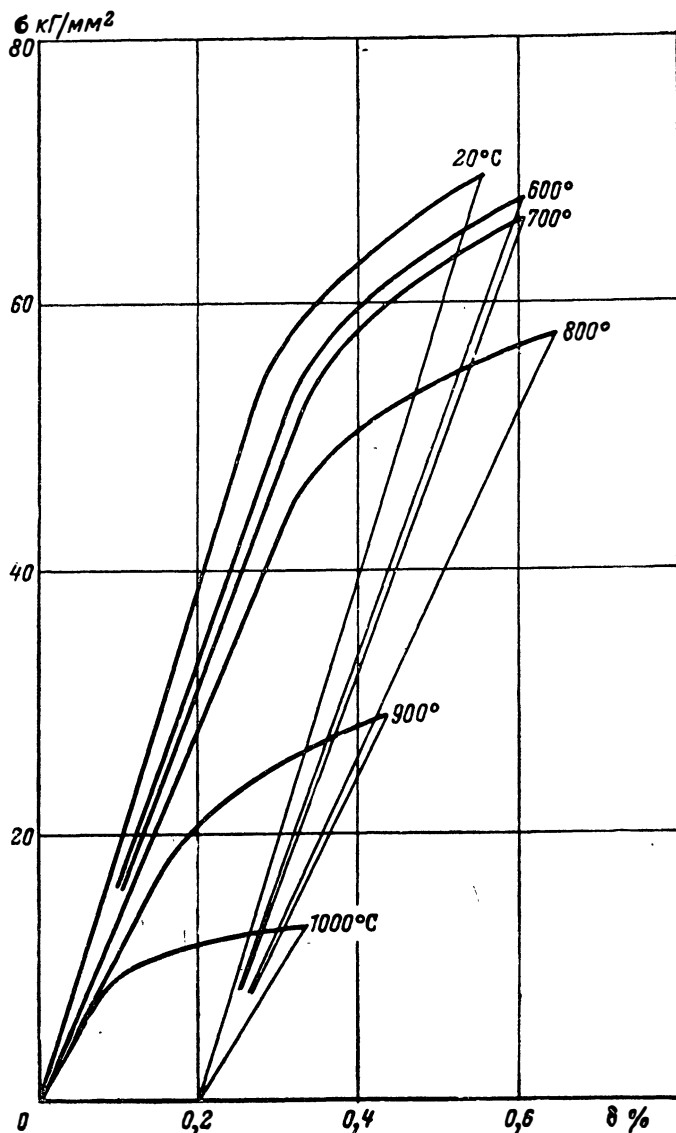
Термическая обработка: 1-я закалка с 1150°С (выдержка 4 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1080°С (выдержка 4 часа) на воздухе. Термическую обработку деталей рекомендуется проводить в среде нейтрального газа (чистый сухой аргон) или давать припуск на механическую обработку для снятия поверхностного окисленного слоя.

Сплав вакуумной выплавки в сочетании со сплавами ХН77ТЮР (ЭИ437Б) и ХН77ТЮ (ЭИ437А) в узлах несложной конфигурации удовлетворительно сваривается ручной дуговой сваркой с электродами марки ИМЕТ-4П, стержень из сплава Х20Н80Т. Сварку целесообразнее проводить после закалки с последующим кратковременным нагревом (не более часа) при 1050—1080°С для снятия напряжений.

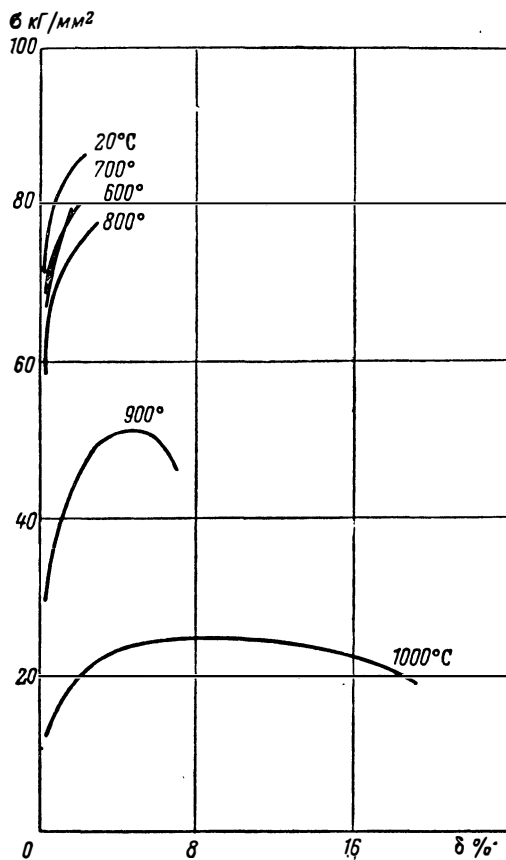
Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием.

## Применение

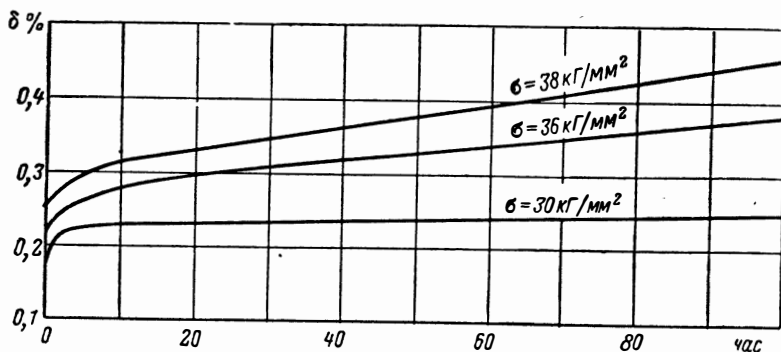
Сопловые и рабочие лопатки газовых турбин, цельнолитые роторы и другие детали, работающие при температурах до 900°С.



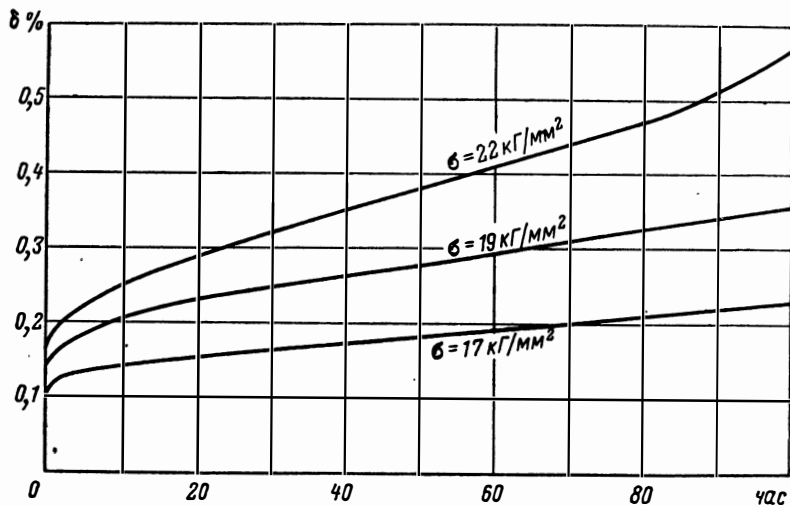
Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ВЖ36-Л12 до предела текучести.



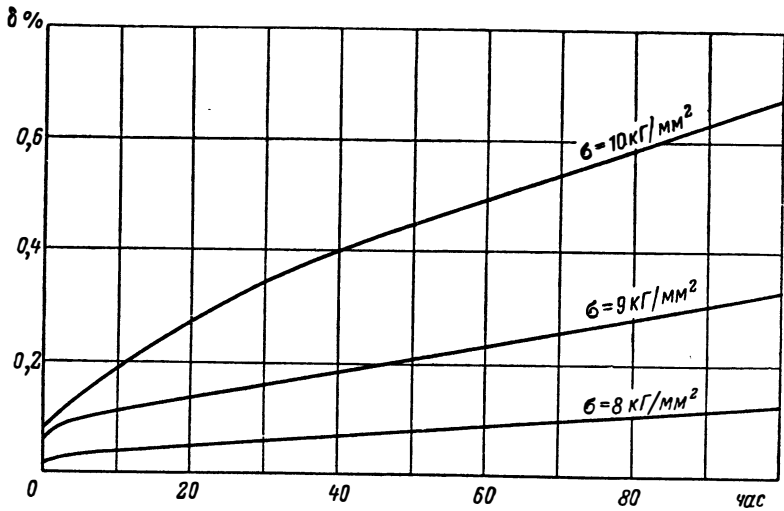
Фиг. 2. Кривые растяжения сплава ВЖ36-Л12 от предела текучести до разрушения.



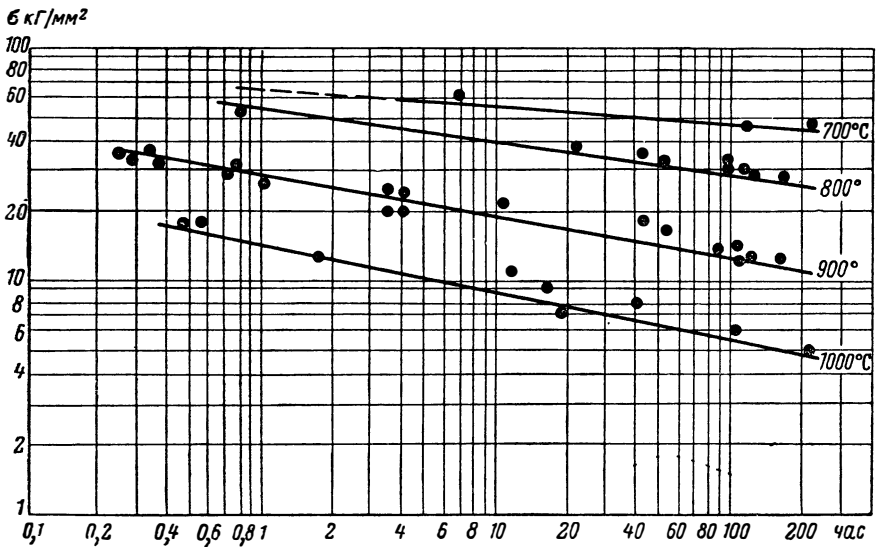
Фиг. 3. Кривые ползучести сплава ВЖ36-Л12 при температуре 700° С.



Фиг. 4. Кривые ползучести сплава ВЖ36-Л12 при температуре 800° С.



Фиг. 5. Кривые ползучести сплава ВЖ36-Л2 при температуре 900° С.



Фиг. 6. Кривые длительной прочности сплава ВЖ36-Л2.



<b>СПЛАВ НА ЖЕЛЕЗОХРОМОНИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ВЖ36-ЛЗ</b>
---	----------------

## Химический состав в %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti
≤0,08.	≤0,5	≤0,5	15—18	32—35	2,6—3,2

## Продолжение

Al	W	Fe	B	Ce	S	P
			(расчетн.)			
1,7—2,1	4,5—5,0	Остальное	0,05	0,01	0,01	0,01

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>
Чушки литые	АМТУ 456—59	Образцы из тrefообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы, термически обработанные по режиму: закалка с 1150°С (3 часа) на воздухе; старение при 750°С (32 часа), охлаждение на воздухе	800	23

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	E	$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	$\delta_5$	$\delta_{10}$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	HB (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>				%				
Образцы из тrefообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Термически обработанные по режиму: закалка с 1150°С (3 часа) на воздухе; старение при 750°С (32 часа), охлаждение на воздухе	20	19 000	79—82	73—75	57—59	3—4	1,0—1,5	3,0—3,5	1,5	3,3—3,5
		500	14 800	75	—	56—58	—	0,8	1,7	—	—
		600	13 600	73	72	50	—	0,5	1,7	—	—
		700	12 500	72	71	49	3—4	0,5	1,7	—	—
		800	11 500	57	54	40	2,0—2,5	0,8	2	—	—

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{25}$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{0,2/100}$		$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
							по об-щей де-форма-ции	по оста-точной дефор-мации	
кг/мм <sup>2</sup>									
Образцы из трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Термически обработанные по режиму: за-калка с 1150°C (3 часа) на воз-духе; старение при 750°C (32 часа), охлаж-дение на воз-духе	700	48—49	46—47	44—45	40—41	—	>33	—
		800	27—28	25—26	23—24	21—22	18	—	20

## Жаростойкость

Сплав жаростоек при температурах до 1000°C; привес за 100 час испытания составляет при 800°C 0,012 г/м<sup>2</sup>·час.

## Физические свойства

$d=8,04$  г/см<sup>3</sup>.

$\alpha \cdot 10^6=14,8$  (20—100°); 15,3 (20—200°); 15,8 (20—300°); 16,2 (20—400°); 16,6 (20—500°); 16,9 (20—600°); 17,5 (20—700°); 18,7 (20—800°); 20,9 (20—900°) 1/°C.

$\alpha \cdot 10^6=15,8$  (100—200°); 16,7 (200—300°); 17,5 (300—400°); 18,4 (400—500°); 18,4 (500—600°); 20,6 (600—700°); 28,4 (700—800°); 38,4 (800—900°) 1/°C.

$\lambda=0,022$  (25°); 0,026 (100°); 0,031 (200°); 0,036 (300°); 0,040 (400°); 0,045 (500°); 0,049 (600°); 0,053 (700°); 0,057 (800°); 0,062 (900°) кал/см·сек·°C.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных (открытых или вакуумных) печах.

Детали изготавливают методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава в количестве 50—60%.

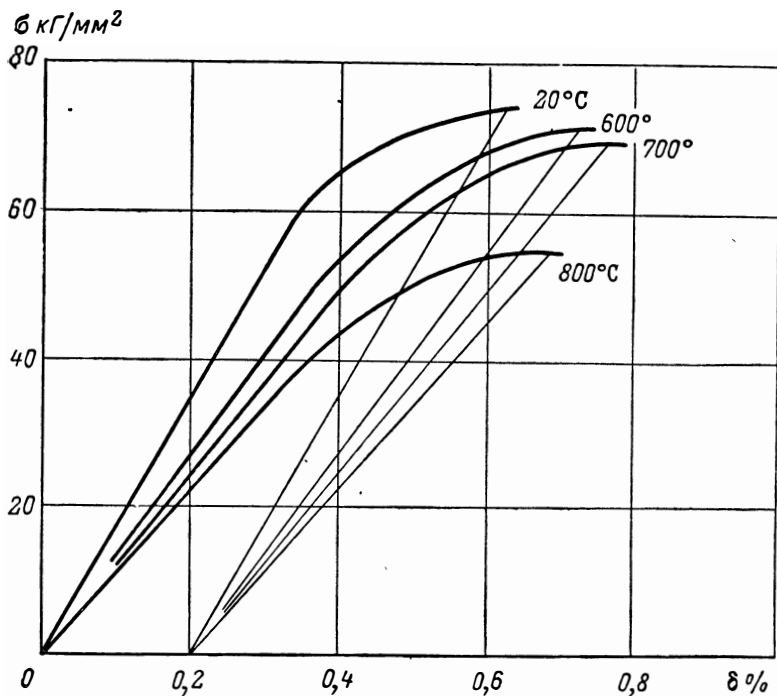
Переplав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1460—1480°C в зависимости от веса и конфигурации деталей. Жидкотекучесть сплава хорошая. Линейная усадка составляет 1,5%; объемная 5,5%.

Термическая обработка: закалка с 1150°C (выдержка 3 часа) на воздухе; старение при 750°C в течение 32 час, охлаждение на воздухе. Термическую обработку деталей рекомендуется проводить в среде нейтрального газа (чистый сухой аргон) или давать припуск на механическую обработку для снятия поверхностного окисленного слоя.

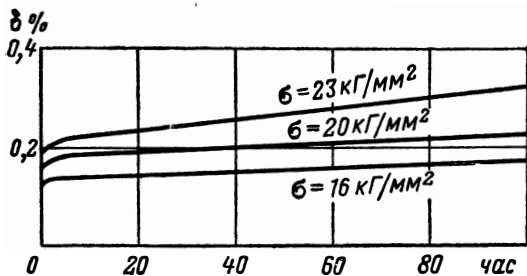
Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием.

## Применение

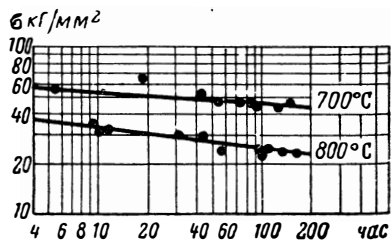
Сопловые и рабочие лопатки газовых турбин, цельнолитые роторы и другие детали, работающие при температурах до 800°С.



Фиг. 1. Кривые растяжения сплава ВЖ36-Л3 до предела текучести.



Фиг. 2. Кривые ползучести сплава ВЖ36-Л3 при температуре 800°С.



Фиг. 3. Кривые длительной прочности сплава ВЖ36-Л3.

<b>СПЛАВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ВЖЛ8</b>
----------------------------------	-------------

**Химический состав в %**

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti
0,1—0,2	≤0,6	≤0,7	14—17	Основа	4,5—6,0	1,8—2,5

Продолжение

Al	Fe	B*	Ce*	S	P
				не более	
2,5—3,5	8—12	0,06	0,01	0,015	0,02

\* Бор и церий вводятся по расчету.

**Механические свойства по ТУ (не менее)**

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания в °С	σ <sub>50</sub>	σ <sub>100</sub>
				кг/мм <sup>2</sup>	
Чушки литые	АМТУ 454—59	Образцы из трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы, термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1150° С (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1080° С (4 часа) на воздухе	800	34	32

**Механические свойства \* при комнатной и высоких температурах**

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	E	E <sub>л</sub>	σ <sub>B</sub>	σ <sub>B</sub> **	σ <sub>0,2</sub>	δ <sub>10</sub>	δ <sub>5</sub> **	ψ**	σ <sub>н</sub> ** кг.-м/см <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>					%			
Образцы из трефообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1150° С (4 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1080° С (4 часа) на воздухе	20	19 000	20 300	70—72	70—72	62—64	1,0—1,5	4—5	5—10	1,0—1,5
		600	14 700	—	62—64	—	60—62	1,0—1,5	—	—	1,5
		700	14 600	16 700	62—64	75—77	60—62	0,5—1,0	5—6	5—10	1,5
		800	14 500	15 700	62—64	67—69	60—62	1,5—2,0	6—7	10—15	1,5
		850	—	15 200	—	—	—	—	—	—	—
		900	13 900	—	43—45	44—46	40—42	2,0—4,0	10—12	15—20	1,5
		950	—	—	—	25—27	—	—	—	—	—

\* Твердость при 20° С составляет 3,5—3,7 мм.

\*\* Образцы из горячих блоков вакуумной выплавки.

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{100}$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\sigma_{500}$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>			$\sigma_{0,2/100}$ по остаточной деформации	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
							$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{4000}$		
Образцы из горячих блоков вакуумной выплавки	Термически обработанные по режиму: 1-я закалка с 1150°С (4 часа) на воздухе, 2-я закалка с 1080°С (4 часа) на воздухе	700	60	5—9	—	—	—	—	>40	47	—
		800	34	5—9	27	5—7	22	19	17**	25	25
		900	15	10—12	10—11	8—10	9	8	7**	11	20
		950	9	15—20	—	—	—	—	—	—	—

\* Образцы из тrefообразных заготовок, отлитых в холодные песчаные формы.

\*\* Данные получены путем экстраполяции.

## Жаростойкость

Сплав жаростоек при температурах до 1000°С. Привес за 100 час испытания при 900°С составляет 0,035 г/м<sup>2</sup>·час.

## Физические свойства

$$d=8,04 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 13,1$  (20—100°); 14,1 (100—200°); 15 (200—300°); 15,7 (300—400°); 16,5 (400—500°); 16,8 (500—600°); 16,9 (600—700°); 20,3 (700—800°); 24,1 (800—900°); 27,4 (900—1000°) 1/°С.

$\alpha \cdot 10^6 = 13,6$  (20—200°); 14 (20—300°); 14,5 (20—400°); 14,9 (20—500°); 15,2 (20—600°); 15,4 (20—700°); 16,0 (20—800°); 16,9 (20—900°); 18 (20—1000°) 1/°С.

$\lambda = 0,024$  (25°); 0,027 (100°); 0,031 (200°); 0,034 (300°); 0,038 (400°); 0,042 (500°); 0,046 (600°); 0,049 (700°); 0,053 (800°); 0,058 (900°) кал/см·сек·°С.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных индукционных (открытых или вакуумных) печах.

Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава в количестве 50—70%.

Переplав металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме 1500—1540°С в зависимости от веса и конфигурации деталей. Жидкотекучесть сплава хорошая. Линейная усадка составляет 0,55%, объемная 1,9%.

Термическая обработка: 1-я закалка с 1150°С (выдержка 4 часа) на воздухе; 2-я закалка с 1080°С (выдержка 4 часа) на воздухе.

---

Термическую обработку деталей рекомендуется проводить в среде нейтрального газа (чистый сухой аргон) или давать припуск на механическую обработку для снятия поверхностного окисленного слоя.

Сплав удовлетворительно сваривается при применении электродов ИМЕТ-4П, в качестве присадочной проволоки применяется сплав Х20Н80 (ЭИ435).

Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием.

#### **Применение**

Сопловые и рабочие лопатки газовых турбин, цельнолитые роторы и другие детали, работающие при температурах до 900°С.

---

<b>СПЛАВ НА КОБАЛЬТОВОЙ ОСНОВЕ</b>	<b>ЛК4</b>
------------------------------------	------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni
0,15—0,25	<0,5	<0,6	25—28	3,0—3,75

## Продолжение

W	Co	Mo	Fe	S	P
не более					
<0,5	≥58	4,5—5,5	<1,5	0,030	0,040

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние (контрольные образцы)	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	НВ (d мм)
					%		
Прутки литые для переплава	АМТУ 282—49	Без термической обработки	В соответствии с требованиями ТУ				

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Состояние материала	Температура испытания в °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/с·мм <sup>2</sup>	НВ (d мм)	$\sigma_{100}$	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
			%					
Без термической обработки	20	70	8	10	2—3	3,5—3,8	—	24—28
	600	52	12	15	—	—	30	—
	650	—	—	—	—	—	—	30
	700	47	10	14	—	—	25	—
	800	40	6,5	9	—	—	15	—
	815	—	—	—	—	—	—	20—25
	900	27	9	15	—	—	7	—
	950	—	—	—	—	—	5	—

**Физические свойства**

$d=8,3 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6=13,1 (20-100^\circ); 13,6 (20-200^\circ); 14,1 (20-300^\circ); 14,5 (20-400^\circ);$   
 $15 (20-500^\circ); 15,3 (20-600^\circ); 15,7 (20-700^\circ); 16,2 (20-800^\circ); 16,7 (20-900^\circ);$   
 $17,2 (20-1000^\circ) 1/^\circ\text{C}.$

**Технологические данные**

Сплав выплавляют в электрических дуговых и индукционных печах с основной футеровкой.

Детали изготовляют методом точного литья по выплавляемым моделям с использованием литейных отходов сплава.

Переплавление металла при точном литье производится в вакуумных индукционных печах. Температура металла при заливке форм в вакууме  $1580-1640^\circ\text{C}$  в зависимости от веса и конфигурации деталей. Жидкотекучесть сплава хорошая, минимальная толщина отливаемых деталей  $\sim 0,7 \text{ мм}$ . Линейная усадка составляет  $1,8-2,9\%$ .

Сплав хорошо сваривается. Удовлетворительно обрабатывается резанием при малых скоростях победитовыми резцами.

**Применение**

Сопловые и рабочие лопатки газовых турбин; может быть заменен для несвариваемых деталей сплавами ВЖ36-Л2 и ВЖ36-Л3, для свариваемых деталей — сплавом ВЖЛ8.

---



## СПЛАВЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ КЛАПАНОВ

СТЕЛЛИТ	ВХН1
---------	------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	P	S
						не более	
1,0—1,25	2,0—2,75	≤0,5	35—40	50—60	5	0,03	0,07

## Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние	RC	
			пруток	напавлен- ный металл
Прутки диаметром 6—8 мм	АМТУ 291—63	Литые в кокиль	20—30	20—30

## Жаростойкость

Сплав обладает очень хорошей жаростойкостью в среде выхлопных газов и воздуха при температуре 1100°С.

## Физические свойства

$$\alpha = 20,4 \cdot 10^{-6} (900^\circ) 1/^\circ\text{C}.$$

$$\lambda = 0,025 (20^\circ) \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}$$

Сплав немагнитен.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных печах с основной футеровкой (желательно в вакууме). Прутки отливают в чугунных кокилях.

Сплав наплавляется на сталь ацетилено-кислородным восстановительным пламенем.

## Применение

Для наплавки клапанов выпуска авиационных двигателей и для наплавки на другие детали с целью защиты от окисления.

<b>СТЕЛЛИТ</b>	<b>В2Ж</b>
----------------	------------

## Химический состав в %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Fe	P	S
								не более	
1,8—2,2	0,4—0,7	0,2—0,5	16—18	≤1	14—16	1,2—1,6	Остальное	0,025	0,025

## Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние материала	RC
			пруток и пластина
Прутки диаметром 3—30 мм и литые пластины	АМТУ 494—63	Литые	≥ 58

## Жаростойкость

Сплав обладает хорошей жаростойкостью и износостойкостью при 1000°С.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных печах с основной футеровкой. Прутки отливают в чугуновых кокилях и по выплавляемым моделям,

Сплав хорошо наплавляется на сталь ацетилено-кислородным восстановительным пламенем.

## Применение

Для напайки или наплавки на трущиеся детали приборов.

<b>СТЕЛЛИТ</b>	<b>ВЗК</b>
----------------	------------

## Химический состав в %

C	Si	Cr	Ni	W	Fe	Co	S
1,0—1,3	2,0—2,75	28—32	≤2	4—5	≤2	58—63	≤0,07

## Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние материала	RC	
			пруток	наплавленный металл
Прутки диаметром 6—8 мм	АМТУ 291—63	Литые в кокиль	40—50	40—50

## Жаростойкость

Сплав обладает очень хорошей износостойкостью и жаростойкостью в среде отходящих газов и на воздухе при 1000°С. Кислотостойкость хорошая.

## Физические свойства

$\alpha \cdot 10^6 = 14$  (0—600°); 18,9 (600—900°); 16 (100—1100°) 1/°С.

Теплопроводность низкая. Сплав слабомагнитен.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в высокочастотных печах с кислой футеровкой. Температура плавления ~1275°С. Прутки отливают в чугунных кокилях.

Сплав хорошо наплавляется на сталь ацетилено-кислородным восстановительным пламенем.

## Применение

Для наплавки трущихся поверхностей форсунок и деталей приборов.

**СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ**

Сплавы на основе тугоплавких металлов пригодны для работы при значительных нагрузках и температурах выше  $1100^{\circ}\text{C}$ , при которых сплавы на основе железа, никеля и кобальта разупрочняются. Поэтому новые высокожаропрочные хромовые, ниобиевые, молибденовые и вольфрамовые сплавы находят все более широкое применение для изготовления деталей летательных аппаратов, в радиоэлектронике и других областях промышленности. Сплавы на основе ниобия и молибдена, обладая малым поперечным сечением захвата тепловых нейтронов и хорошей стойкостью в жидких металлических теплоносителях (Na, K, Li), могут быть рекомендованы для изготовления деталей ядерных силовых установок.

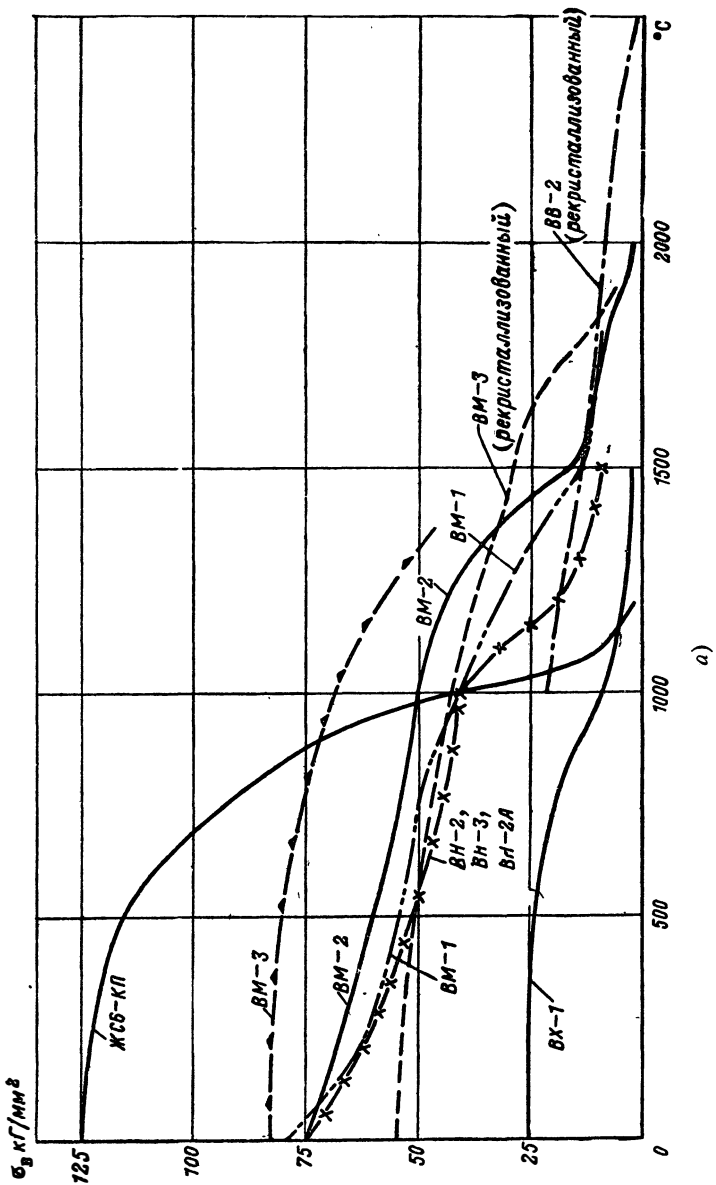
Сплавы на основе тугоплавких металлов имеют особые физико-механические свойства, что необходимо учитывать при их применении.

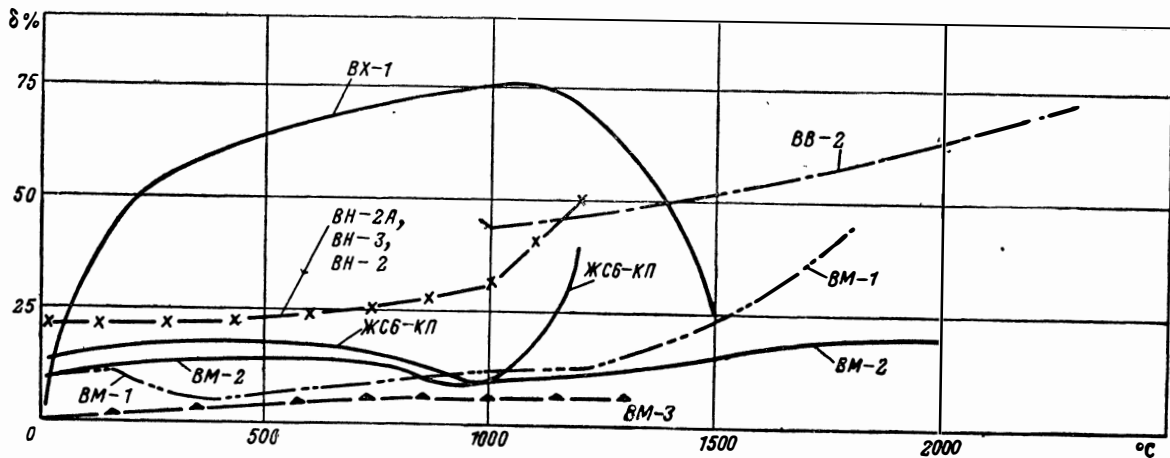
При температурах ниже  $1000^{\circ}\text{C}$  сплавы на основе тугоплавких металлов обладают более низкими характеристиками прочности, чем сплавы типа ЖСб-КП, следовательно, применять их в этих условиях нецелесообразно. Однако при нагреве выше  $1000^{\circ}\text{C}$  преимущества сплавов на основе тугоплавких металлов очевидны (фиг. 1а, б). При этих температурах никелевые сплавы сильно «ползут» даже при самых незначительных нагрузках, тогда как пластичность тугоплавких металлов и их сплавов мало изменяется (см. фиг. 1б), а высокое сопротивление ползучести сохраняется вплоть до температуры  $1500^{\circ}\text{C}$ .

Сплавы на основе тугоплавких металлов довольно сильно различаются по физическим свойствам. Однако по сравнению со сплавами на основе никеля и железа они имеют низкий коэффициент линейного расширения и высокую теплопроводность, мало изменяющиеся с повышением температуры. Коэффициенты линейного расширения этих сплавов при высоких температурах приближаются к значениям коэффициентов для стекла и многих керамических материалов, что дает возможность получать надежные соединения при сочетании сплавов с указанными материалами.

Величина упругости пара тугоплавких металлов довольно низкая даже при очень высоких температурах. Так, упругость паров вольфрама при  $2864^{\circ}\text{C}$  составляет  $3,5 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст., молибдена —  $2,2 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. при  $2189^{\circ}\text{C}$  и ниобия —  $1,66 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. при  $2323^{\circ}\text{C}$ . Хром имеет сравнительно высокую упругость пара  $1,26 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст. при  $1254^{\circ}\text{C}$ , температура кипения его равна  $2469^{\circ}\text{C}$ . Указанные свойства дают возможность применять тугоплавкие металлы и их сплавы для продолжительной работы в вакууме при очень высоких температурах, а также использовать их в качестве термоэмиссионных материалов.

Общим недостатком тугоплавких металлов и их сплавов является значительная окисляемость (или поглощение азота) при нагревании на воздухе. Для длительной работы при высокой температуре на воздухе или в окислительных средах необходимо применять специальные защитные покрытия. Рекомендуемые защитные покрытия приводятся в таблицах.





б)

Фиг. 1. Кривые механических свойств сплавов на основе тугоплавких металлов в сравнении с жаропрочным сплавом на никелевой основе ЖС6-КП.

а—прочность, б—удлинение.

## ВОЛЬФРАМОВЫЙ СПЛАВ

ВВ-2

## Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\delta$	$\psi$	$HV$ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>		%		
Прутки прессованные диаметром 18—20 мм	Рекристаллизованные	20	40 000	—	—	—	320
		1000	36 000	20—24	45—48	80—90	—
		1500	34 000	14—15	48—58	90—95	—
		1700	32 000	12—14	48—52	90—95	—
		2000	28 000	8—8,5	60—70	95—96	—
		2250	—	6	70—72	95—96	—
		2500	—	~2	—	95	—
		2700	—	~1	—	—	—

## Пределы длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$
			кг/мм <sup>2</sup>		
Прутки прессованные диаметром 18—20 мм	Рекристаллизованные	1500	7	6—6,5	5

## Жаростойкость

В окислительных средах при температуре выше 400°С сплав не жаростоек. Скорость окисления на воздухе при 800°С составляет 118 г/м<sup>2</sup>·час. При нагреве в водороде изменений в свойствах сплава не наблюдается.

При работе сплава в окислительных средах применяются защитные покрытия.

## Физические свойства

$$d=19,3 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=4,5$  (20—100°); 5 (20—1000°); 5,51 (20—2000°); 5,9 (20—2500°) 1/°С.  
 $\lambda=0,267$  (1000°); 0,252 (1500°); 0,242 (2000°); 0,223 (2700°) кал/см·сек·°С.  
 $c=0,031$  (0°); 0,032 (100°); 0,037 (1000°); 0,040 (1500°); 0,043 (2000°); 0,046 (2500°); 0,050 (3000°) кал/г·°С.

$\rho = 5,5$  (20°); 25,5 (750°); 40 (1200°); 85 (2400°) *мком·см.*

Степень черноты: 0,157 (1000°); 0,238 (1500°); 0,285 (2000°); 0,309 (2500°); 0,314 (2700°).

Энтальпия: 3,183 (100°); 34,52 (1000°); 54,002 (1500°); 75,04 (2000°); 97,70 (2500°); 122,04 (3000°) *кал/г.*

### Технологические данные

Сплав выплавляется в вакуумных дуговых печах; деформируется прессованием и прокаткой. Нагрев под деформацию производится в атмосфере водорода или инертного газа. Из сплава изготовляют прутки диаметром 45 и 20 мм, листы толщиной 2—0,5 мм и фольгу толщиной до 30 мк; рекристаллизационный отжиг проводят в вакууме  $10^{-4}$  мм рт. ст.

В рекристаллизованном состоянии сплав удовлетворительно сваривается аргоно-дуговой сваркой, а также обрабатывается всеми видами резания инструментом из твердых сплавов.

### Применение

Детали, работающие без защитных покрытий в вакууме или в среде нейтральных газов длительно при температурах 1600—2000° С и кратковременно при 2500—3000° С и работающие с защитным покрытием в окислительной среде кратковременно при температурах 2500—2700° С.

---



<b>МОЛИБДЕНОВЫЙ СПЛАВ</b>	<b>ВМ-1</b>
---------------------------	-------------

## Химический состав в %

W	C	Cr	Ti	O	Zr	Mo	Другие примеси
До 0,6	До 0,01	≤0,003	До 0,4	0,002—0,003	0,08—0,25	Основа	Не выше норм ТУВМ 7-153-54

## Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$E_d$	$\sigma_B$	$\delta_5$ %	$\sigma_{0,2}$ кг/мм <sup>2</sup>	HB (d мм)
			кг/мм <sup>2</sup>				
Прутки диаметром 20 мм* (деформация 80—85%)	Без термической обработки	-140	—	120—128	1,5—1,8	112,9—113,1	—
		-110	—	102—105	3,3—4	96—101	—
		-85	—	102—105	8,2—9,6	91—99	—
Листы толщиной 1 мм (деформация ~95%)	Без термической обработки	-70	—	110—120	7—10	—	—
		-50	—	94—102	7—11	—	—
		-30	—	90—95	9—15	—	—
		20	33 000	80—90	10—15	68—80	260—290
		200	32 800	63—73	11—12	—	—
		400	32 000	65—67	5—6	—	—
		600	30 000	55—57	7—8	—	—
		800	29 800	50—52	—	—	—
		1000	28 000	42—45	14—16	—	—
		1200	27 000	34—38	14—18	—	—
1500	24 000	14—18	25—40	—	—		
1800	18 500	10—12	45—50	—	—		

\* Данные микромеханических испытаний.

## Пределы длительной прочности и ползучести \*

Вид полу- фабриката	Состо- яние	Темпера- тура испы- тания, °С	$\kappa\Gamma/м.м^2$													
			$\sigma_{100}$	$\sigma_{200}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{5000}$	$\sigma_{1/200}$	$\sigma_{0,5/100}$	$\sigma_{0,5/200}$	$\sigma_{0,5/500}$	$\sigma_{0,5/1000}$	$\sigma_{0,5/2000}$	$\sigma_{0,5/5000}$	
Прутки диамет- ром 18 мм (дефор- мация 80—85%) и листы толщиной 1 мм (деформация ~ 95%)	Без тер- мической обработки	1000	32— 33	—	30— 31	29— 30	28— 29	26— 27	—	22	—	20	19	18	17	
		1100	23— 24	—	21— 22	19— 20	18— 19	17— 18	—	16,5	—	15	14,5	13,5	12,5	
		1200	8,5— 9	8	7	6,5	6	4— 5	6,5	—	5	—	—	—	—	—
		1400	2,5	2,3	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		1600	1,5	1,3	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

\* По общей деформации.

## Пределы минутной прочности и ползучести \*

Вид полу- фабриката	Темпера- тура испы- тания, °С	$\sigma_{30'}$	$\sigma_{0,5/30'}$	$\sigma_{1/30'}$	$\sigma_{2,5/30'}$
		$\kappa\Gamma/м.м^2$			
Листы толщиной 1 мм (деформация ~ 95%)	1500	8	7	7,5	9

\* По остаточной деформации.

Предел выносливости листов при 20°C на базе испытания  $10^7$  циклов составляет 40—47  $\kappa\Gamma/м.м^2$ ; при 1000°C 20—21  $\kappa\Gamma/м.м^2$  (при данной температуре испытывались образцы с защитным покрытием, нагрев производился в печи с графитовыми нагревателями).

## Стойкость сплава к воздействию кислот

Кислота		
Концентрация	Холодная	Нагретая
HNO <sub>3</sub> { концентрированная разбавленная	Сплав не растворяется	Сплав интенсивно растворяется
HCl { концентрированная разбавленная	Сплав не растворяется	Сплав не растворяется
HF { концентрированная разбавленная	Сплав не растворяется	Сплав не растворяется

## Коррозионные свойства

Условия испытания	Продолжительность испытания в месяцах							Скорость коррозии мм/год
	1	2	5	6	18	30	36	
	Потеря веса в г/м <sup>2</sup>							
Переменное погружение в 3%-ный раствор NaCl	1	2	7	11	51	89	119	0,0043
Тропическая камера	4	11	30	36	198	296	364	0,012
Атмосферные условия	—	—	1	1	2	6	7	0,0002

## Жаростойкость

В окислительных средах при температурах выше 600°С сплав не жаростоек.

В зависимости от условий работы, габаритов и конфигурации деталей применяются следующие специальные защитные покрытия:

а) термодиффузионные, толщиной 0,12—0,15 мм и комплексные, состоящие из термодиффузионных покрытий и слоев эмали толщиной 0,2—0,4 мм, обеспечивающие защиту деталей от окисления в атмосфере воздуха при температурах 1200—1700°С в течение 500 и 20 час соответственно или кратковременно в потоке продуктов сгорания с температурой до 3200°С;

б) покрытия из легированного дисилицида молибдена, наносимые методом плазменного напыления для защиты при температурах 1200—1700°С в течение 100 и 10 час соответственно;

в) покрытия из окислов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZrO<sub>2</sub> для защиты изделий, работающих кратковременно при температурах ≥ 2000°С;

г) покрытия из хромоникелевых сплавов толщиной ~0,4 мм, получаемые методом плакирования или методом гальванического осаждения хромоникелевых сплавов (толщиной 0,2—0,4 мм), предохраняющие сплавы от окисления на воздухе при температурах до 1100°С в течение 100 час.

## Физические свойства

$d=10,2 \text{ г/см}^3$ .  
 $\alpha \cdot 10^6=5,74 (20-160^\circ); 6 (20-1000^\circ); 6,08 (20-1200^\circ); 6,16 (20-1500^\circ);$   
 6,7 (20-2000°)  $1/^\circ\text{C}$ .  
 $\alpha \cdot 10^6=8,3 (20-800^\circ); (14,3-15,7) (800-1000^\circ); (8,3-9,6) (1000-1200^\circ) 1/^\circ\text{C}$   
 (для материала с термодиффузионным покрытием  $\text{MoSi}_2$ ).  
 $\alpha \cdot 10^6=9,1 (20-800^\circ); 9,5 (800-1200^\circ) 1/^\circ\text{C}$  (для материала с термодиффузионным покрытием  $\text{Cr-Al-Si}$ ).  
 $\lambda=0,32 (20^\circ); 0,31 (100^\circ); 0,28 (500^\circ); 0,23 (1100^\circ); 0,22 (1300^\circ); 0,21 (1500^\circ); 0,21 (1700^\circ); 0,20 (1900^\circ) \text{ кал/см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C}$ .  
 $\epsilon=0,067 (100^\circ); 0,073 (800^\circ); 0,077 (1600^\circ); 0,081 (1200^\circ); 0,085 (1400^\circ); 0,089 (1600^\circ); 0,092 (1800^\circ); 0,096 (2600^\circ); 0,100 (2200^\circ); 0,104 (2400^\circ); 0,106 (2500^\circ) \text{ кал/г}\cdot^\circ\text{C}$ .  
 $\rho=5,48 (20^\circ); 31,60 (960^\circ); 33,60 (1040^\circ); 33,83 (1075^\circ); 35,90 (1100^\circ); 38,6 (1200^\circ); 43,82 (1325^\circ); 47,7 (1455^\circ); 49,5 (1520^\circ); 50,5 (1600^\circ); 55,4 (1670^\circ) \text{ мком}\cdot\text{см}$ .

Степень черноты полного излучения  $\epsilon$  (испытание в вакууме  $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5} \text{ мм рт ст}$ ) и полного нормального излучения  $\epsilon_n$  (испытание на воздухе)

Состояние поверхности	Толщина покрытия, $\mu\text{м}$	Температура испытания в $^\circ\text{C}$											
		100	400	600	900	900	1100	1200	1400	1500	1600	1800	2000
		$\epsilon_n$						$\epsilon$					
Без покрытия, полированная не окисленная	—	—	—	—	—	0,12	0,14	0,15	0,17	—	0,20	0,22	0,24
Без покрытия, окисленная при нагреве при $650^\circ\text{C}$ в течение 1 часа	—	0,93	0,90	0,86	—	—	—	—	—	—	—	—	—
С термодиффузионным покрытием $\text{MoSi}_2$ , без нагрева	75	0,60	0,62	0,69	0,73	0,83	0,94	0,88	0,80	0,67	0,62	—	—
С напыленным покрытием $\text{MoSi}_2$ , без нагрева	85	0,67	0,61	0,75	0,77	0,75	0,65	0,62	0,60	0,60	—	—	—
С термодиффузионным покрытием $\text{MoSi}_2$ , после нагрева при $1200^\circ\text{C}$ в течение 1 часа	80	0,76	0,78	0,82	0,86	0,86	0,89	0,88	0,80	0,67	0,62	—	—
С напыленным покрытием $\text{MoSi}_2$ , после нагрева при $1200^\circ\text{C}$ в течение 1 часа	95	—	—	—	—	0,79	0,80	0,77	0,66	0,73	0,79	—	—
С термодиффузионным покрытием $\text{Cr-Al-Si}$ , без нагрева	80	0,91	0,81	0,76	0,77	0,90	0,92	0,91	0,91	0,87	—	—	—
С термодиффузионным покрытием $\text{Cr-Al-Si}$ , после нагрева при $1200^\circ\text{C}$ в течение 1 часа	80	0,89	0,86	0,84	0,82	0,83	0,87	0,88	0,70	0,67	—	—	—
С термодиффузионным покрытием $\text{MoSi}_2$ и напыленным покрытием $\text{SiC}$ , без нагрева	65*	—	—	—	—	0,89	0,88	0,87	0,81	0,77	0,74	—	—
С термодиффузионным покрытием $\text{MoSi}_2$ и покрытием эмалью ИХС	50*	—	—	—	—	0,91	0,91	0,90	0,93	—	—	—	—
С напыленным покрытием $\text{Al}_2\text{O}_3$ , без нагрева	130	—	—	—	—	0,68	0,58	0,54	0,49	0,48	0,48	0,49	0,64

\* Толщина верхнего слоя покрытия  $\text{SiC}$  или эмали ИХС.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в вакуумных дуговых электропечах. Литые заготовки прессуют при температуре 1600°С. Нагрев под прессование производится в атмосфере водорода. Полуфабрикаты (прутки, листы, трубы, штамповки) получают при температурах 1450—500°С любыми методами деформации.

Листы прокатывают при 1250°С с последующим снижением температуры до 1050—1100°С при уменьшении толщины листа с 4 до 1 мм. После прокатки листов на воздухе поверхностный слой металла, насыщенный газами, удаляют травлением. Для предохранения металла от окисления прокатку листов следует производить в металлической оболочке.

В процессе изготовления деформированных полуфабрикатов сплав упрочняется нагартовкой. При степени деформации 75—95% температура рекристаллизации сплава 1275—1325°С.

Термическая обработка: отжиг при 1400±50°С для рекристаллизации или при 1100°С для снятия внутренних напряжений.

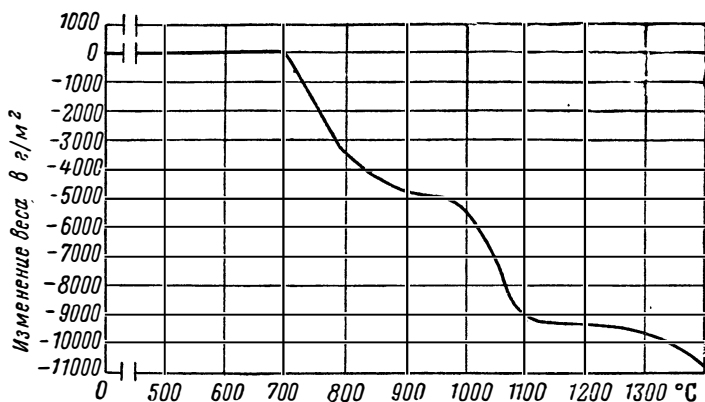
Штампуемость сплава в нагретом состоянии (450°С) подобна штампуемости алюминиевого сплава Д16-М. Характеристики штампуемости приведены в таблице.

Толщина листа (S) в мм	Вытяжка		Отбортовка		Выдавка плоская		Гибка	
	$K_{пр}$		$K_{пр}$		$K_{пр}$		$r_{г\text{иб}}$	
	20°	450°	20°	450°	20°	450°	20°	450°
1	1,38—1,5	1,87—2,0	1,05—1,1	1,25— 1,40	0,1	0,2	3—4S	2—3S
1,5	1,31—1,43	1,77— 1,87	1,05—1,1	1,20— 1,35	0,1	0,2	3,5— 4,5S	2,5— 2,5S

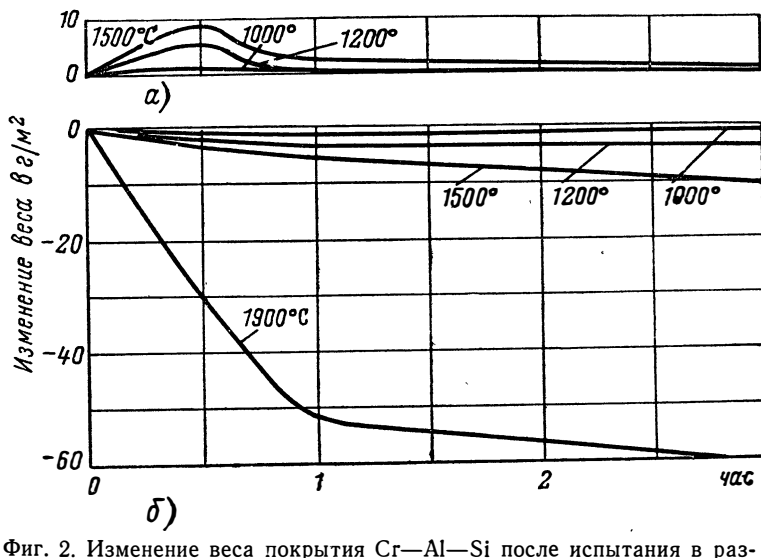
Сплав сваривается электроннолучевой и аргоно-дуговой сваркой. При сварке сплава из-за хрупкости сварных соединений необходимо применять специальные методы и аппаратуру. Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием за исключением операции шлифования. Предназначается преимущественно для изготовления листов и труб.

## Применение

Детали, длительно работающие при температурах 1100—1900°С и кратковременно в продуктах сгорания топлива с температурой до 3200°С.



Фиг. 1. Кривая жаростойкости сплавов ВМ-1 и ВМ-2 при различных температурах.



Фиг. 2. Изменение веса покрытия Cr—Al—Si после испытания в разреженной атмосфере при различных температурах (нагрев вольфрамовым нагревателем).

а—остаточное давление  $10^{-1}$  мм рт. ст., б—остаточное давление  $10^{-4}$  мм рт. ст.

<b>МОЛИБДЕНОВЫЙ СПЛАВ</b>	<b>ВМ-2</b>
---------------------------	-------------

## Химический состав в %

С	Ti	W	О	Zr	Mo	Другие примеси
≤0,02	До 0,2	До 0,2	≤0,0035	0,25—0,40	Основа	Не выше норм ТУВМ 7-153-54

## Механические свойства при комнатной и высоких температурах \*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\psi$	$a_H$ кг·м/см <sup>2</sup>	НВ	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
			кг/мм <sup>2</sup>		%				
Прутки диаметром 20 мм (деформация 80—85%)	Без термической обработки	—110	—	103—105	4—4,5	15—28	—	—	—
		—85	—	100—105	9,5—10	25—34	—	—	—
		20	33 300	75—85	10—25	30—50	0,2	250—285	53
		100	33 170	—	—	—	0,5—1,0	—	—
		200	32 900	—	—	—	0,5—1,0	—	—
		300	32 180	—	—	—	≥12	—	—
		400	32 000	—	—	—	≥12	—	—
		800	29 000	57—71	13—15	60—70	—	—	—
		1000	28 000	52—66	10—13	60—70	—	—	—
		1200	27 000	45—51	13—18	≥70	—	—	—
		1500	24 000	16—21	15—25	≥70	—	—	—
		1800	18 500	9—12	18—25	≥70	—	—	—
2000	—	3—4	20—21	≥70	—	—	—		

\* Испытания при высоких температурах проводились в среде аргона, при низких температурах — на образцах с диаметром рабочей части  $0,8 \pm 0,02$  мм.

## Пределы длительной прочности и ползучести \*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_3$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{5000}$	$\sigma_{0,5/100}$	$\sigma_{0,5/1000}$	$\sigma_{0,5/5000}$
Прутки диаметром 18—20 мм (деформация 80—85%)	Без термической обработки	1000	—	37—38	34—35	32	26	23	21
		1100	—	25—27	21—22	18—19	19	17	15
		1200	—	15—16	9	6—7	—	—	—
		1300	—	7,5	4,5	—	—	—	—
		1400	—	5	—	—	—	—	—
		1500	—	2,5—2,7	—	—	—	—	—
		1800	4—5***	—	—	—	—	—	—
Прутки диаметром 18—20 мм (деформация 80—85%) с покрытием:** Cr—Al—Si W—Si W—Si или Zr—Si	Без термической обработки	1150	—	25	—	—	—	—	—
		1150	—	28	—	—	—	—	—
		1300	—	10	—	—	—	—	—

\* По общей деформации.

\*\* Испытания проводились на воздухе.

\*\*\* Испытания проводились в аргоне в печи с графитовым нагревателем.

## Жаростойкость

Сплав обладает такой же жаростойкостью как ВМ-1; защита от окисления аналогична защите сплава ВМ-1.

## Физические свойства

Физические свойства и степень черноты такие же, как и у сплава ВМ-1.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в вакуумных дуговых печах. Полуфабрикаты (прутки, штамповки и др.) получают прессованием. В процессе изготовления деформированные полуфабрикаты упрочняются нагартовкой. При степени деформации 75—85% температура рекристаллизации сплава составляет 1400°С. Деформация проводится в интервале температур 1450—1200°С.

Термическая обработка, сварка, обрабатываемость резанием аналогичны сплаву ВМ-1.

## Применение

Детали, работающие при температурах 1000—1900°С.



<b>МОЛИБДЕНОВЫЙ СПЛАВ</b>	<b>ВМ-3</b>
---------------------------	-------------

**Механические свойства при комнатной и высоких температурах**

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$ %	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	$HV$ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>					
Прутки диаметром 22 мм (деформация ~75%)	Без термической обработки	20	32 500	80—86	80	0,3	—	300—350
		200	32 000	—	—	—	—	—
		400	31 300	—	—	—	0,25	—
		600	30 500	—	—	—	0,4—0,6	—
		700	—	—	—	—	0,6—1,8	—
		800	28 850	—	—	—	—	—
		900	28 400	—	—	—	—	—
		1000	27 850	—	—	—	—	—
		1100	27 300	—	—	—	—	—
		1300	—	60—68*	—	6	—	—
		—	50—57*	—	6	—	—	
Прутки диаметром 22 мм	Рекристаллизованные	20	—	40—60	35—41	2—8	—	—
		1400	—	30—33*	—	15—33	—	—
		1600	—	26—29*	—	30—40	—	—
		1800	—	12—13,5*	—	48—50	—	—

\* Испытания проводились в среде аргона.

**Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости \***

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{5000}$	$\sigma_{0,5/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
			кг/мм <sup>2</sup>							
Прутки (деформация ~75%)	Отожженные (для снятия напряжения на протяжении)	20	—	—	—	—	—	—	—	55
		1150	45—46	43—44	37—38	35—36	32—33	—	30	—
		1200	—	—	—	—	20	18—19	20	—
		1250	35	33	—	—	—	—	—	—
		1300	29—30	26—27	22	—	—	—	—	—
		1400	20	18	—	—	—	—	—	—
		1500	7	5—5,5	3—3,1	2,4—2,5	1,8—2	—	—	—

\* Испытания при высоких температурах образцов без покрытия проводились в вакууме 10<sup>-4</sup>—10<sup>-5</sup> мм рт. ст. в аргоне, а образцов с покрытием — на воздухе.

		Продолжение								
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{5000}$	$\sigma_{0,5/100}$	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
Прутки (деформация ~75%)	Рекристаллизованные	1250	—	33—35	—	—	—	—	—	—
		1300	—	25—28	23 ( $\sigma_{400}$ )	—	—	—	—	—
		1400	—	16	—	—	—	—	—	—
Прутки (деформация ~75%) с покрытием W—Si или Zr—Si	Без термической обработки	1150	—	28** ( $\sigma_{200}$ )	—	—	—	—	28	—
		1250	—	20**	—	—	—	—	—	—
		1350	—	6	—	—	—	—	—	—

\*\* Без разрушения.

### Жаростойкость

В окислительных средах при температурах выше 600°С сплав не жаростоек. На поверхность деталей, предназначенных для работы при температурах выше 600°С в окислительных средах, наносят защитные покрытия W—Si или Zr—Si.

### Физические свойства

$d=10,1$  г/см<sup>3</sup>.  
 $\alpha \cdot 10^6=5,1$  (20—100°); 5,3 (20—200°); 5,5 (20—300°); 5,6 (20—400°); 5,7 (20—500°); 5,8 (20—600°) 1/°С.  
 $\alpha \cdot 10^6=5,5$  (100—200°); 5,8 (200—300°); 5,9 (300—400°); 6,0 (400—500°); 6,3 (500—600°) 1/°С.  
 $\lambda=0,29$  (25°); 0,29 (100°); 0,29 (200°); 0,28 (300°); 0,27 (400°); 0,25 (500°); 0,23 (600°) кал/см·сек·°С.  
 $c=0,08000$  (1000°); 0,08412 (1200°); 0,09236 (1600°); 0,09648 (1800°); 0,10060 (2000°) кал/г·°С.  
 Сплав немагнитен.

### Технологические данные

Сплав выплавляют в вакуумной дуговой электропечи по методу расходного электрода с двойным переплавом. Литые заготовки прессуют при высокой температуре. Нагрев под прессование производится в атмосфере водорода или в вакууме. Вторичное прессование проводят также при высокой температуре.

Термическая обработка: литые заготовки перед прессованием подвергают высокотемпературному отжигу в вакууме. Полуфабрикаты отжигают для снятия

напряжений или подвергают рекристаллизации в вакууме. При степени деформации 70—75% температура рекристаллизации сплава составляет около 1700°С.

Резка литых заготовок и прутков производится анодно-механическим методом. Токарную обработку и сверление выполняют режущим инструментом с пластинками из сплава ВК8 без охлаждения или с охлаждением.

#### **Применение**

Детали, работающие при температурах 1150—1800°С.

---

НИОБИЕВЫЙ СПЛАВ					ВН-2			
Химический состав в %								
С		Cr		Mo		Nb		
До 0,1		До 0,1		3,8—5,2		Основа		
Механические свойства при различных температурах								
Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	$E_d$	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$ %	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	$HV$ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>					
Прутки кованые (деформация 80—90%)	Без термической обработки	—196	—	105—118	103—115	8—10	0,8	—
		—70	—	67—75	62—72	26—30	23	—
		20	—	64—71	61—66	27—31	27	180—200
Прутки горячепрессованные (деформация 70%)	Без термической обработки	20	11 600	75	70	18—28	—	180—200
		1000	12 400	40—45	—	30—35	—	—
		1100	12 400	30—35	—	40—45	—	—
		1200	12 300	18—20	—	45—55	—	—
		1500	—	8—10	—	—	—	—
Листы холоднокатанные толщиной 1 мм (деформация 85—90%)	Без термической обработки	20	—	80—90	—	5	—	—
		700	—	70	—	15	—	—
		1000	—	50	—	25	—	—
		1100	—	40—45	—	35	—	—
		1500	—	8—10	—	—	—	—
		1800	—	2—3	—	40	—	—
		2000	—	1,5—2	—	—	—	—
Листы горячекатаные толщиной 1 мм, плакированные сплавом ХН78Т (ЭИ435)	Без термической обработки	20	—	71—73	—	17—18	—	—
		1100	—	8—9	—	18	—	—

## Пределы минутной прочности\*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_{10'}$ кг/мм <sup>2</sup>
Листы холоднокатаные толщиной 1 мм	Без термической обработки	1200	15
		1300	11—12
		1400	7—8
		1500	4,5—6,0

\* Данные МАИ.

## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	кг/мм <sup>2</sup>										$\sigma_{-1}$	$\sigma_{-1}^H$		
			$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{5000}$	$\sigma_{0,5/200}$	$\sigma_{0,5/500}$	$\sigma_{1/200}$	$\sigma_{1/500}$			на базе $15 \cdot 10^6$ циклов	
Прутки горяче-прессованные (деформация ~70%)	Без термической обработки	700	—	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		1000	28	25	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		1100	16	14—15	10	8	6—7	4—5	—	—	—	—	—	—	—	—
		1200	13—14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Прутки	Рекристаллизованные	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26—33	18—22	
Листы холоднокатаные (деформация 85—90%)	Без термической обработки	700	—	30	20	—	—	—	—	7—8	—	10—13	—	—	—	
		1000	23	20	14	—	—	—	4—4,5	4	—	8—9	—	—	—	
		1100	14	9	6	—	—	—	—	2—3	—	3,5—4	—	—	—	
		1200	—	5	3	—	—	—	1	—	1,5	—	—	—	—	

## Жаростойкость

Сплав насыщается газами и окисляется на воздухе при температурах выше 200° С. Окислы имеют низкую упругость паров вплоть до температуры плавления (1510° С).

При 100-часовом нагреве в среде воздуха скорость окисления сплава в зависимости от температуры следующая:

Температура в °С	700	800	900	1000	1100
Привес в г/м <sup>2</sup> .час	0,5	1,0	5,5	33	80 (за 50 час)

При длительной работе деталей на воздухе или в окислительных средах в зависимости от условий работы, конфигурации и размеров деталей применяют специальные защитные покрытия:

а) термодиффузионное покрытие (Cr—Al—Si) толщиной 60—70 мк обеспечивает защиту от окисления и насыщения газами при температурах 700—1450°С в течение 200 и 10 час соответственно или в потоке продуктов сгорания жидкого топлива при нагреве детали до 1000—1450°С в течение 50 и 30 час соответственно (без разрушения покрытия). Покрытие выдерживает без разрушения более 500 теплосмен при цикле 200°—1100°—200°С. Привес образцов за 100 час испытания при температуре 1100°С не более 0,5 г/м<sup>2</sup>·час.

б) комплексное покрытие толщиной до 200 мк, состоящее из термодиффузионного покрытия (Cr—Al—Si) и слоя эмали, обеспечивает защиту от окисления и насыщения газами при температурах до 1500°С в течение 2 час;

в) эмалевое покрытие толщиной 50 мк обеспечивает защиту сплава от окисления при температуре 1200°С в течение 200 час. Покрытие выдерживает без разрушения более 250 теплосмен при цикле 20°—1200°—20°С;

г) покрытие, нанесенное из газовой фазы, толщиной 20—40 мк, защищает сплав от окисления при температурах 1050—1100°С в течение 200 и 75 час соответственно;

д) покрытие, нанесенное методом плазменного напыления различных материалов, толщиной 80—100 мк, защищает сплав от окисления при температурах 1100—1400°С в течение 200 и 25 час соответственно. Привес образцов за 200 час испытания при 1100°С не более 0,012 г/м<sup>2</sup>·час;

е) покрытие толщиной до 300 мк, полученное методом плакирования хромоникелевым сплавом ХН78Т (ЭИ345) с подслоем молибдена, защищает сплав от окисления при температуре 1200°С в течение более 100 час. Привес образцов за 100 час испытания при 1200°С не более 0,5 г/м<sup>2</sup>·час;

ж) хромоникелевое покрытие с подслоем толщиной 200—250 мк, полученное из водных растворов (гальваническим методом), предохраняет сплав от окисления при температурах 1050—1100°С более 300 час. Привес образцов за 100 час испытания при 1050°С не более 0,6—0,8 г/м<sup>2</sup>·час.

### Физические свойства

$$d = 8,7 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 6,25$  (20—100°); 7,15 (20—300°); 7,94 (20—600°); 8,25 (20—900°); 8,42 (20—1100°); 8,55 (20—1300°); 8,75 (20—1700°) 1/°С.

$\lambda = 0,10$  (25°); 0,11 (100°); 0,12 (200°); 0,12 (300°); 0,13 (400°); 0,13 (500°); 0,135 (600°); 0,14 (700°); 0,14 (900°); 0,165 (1400°); 0,17 (1500°); 0,17 (1700°); 0,17 (1900°) кал/см·сек·°С.

$c = 0,058$  (100°); 0,074 (800°); 0,077 (1000°); 0,078 (1100°); 0,081 (1300°); 0,084 (1500°); 0,086 (1700°); 0,089 (1900°); 0,092 (2100°); 0,095 (2400°) кал/г·°С.

Поперечное сечение захвата тепловых нейтронов 1,16 барн.

Сплав немагнитен.

### Степень черноты полного излучения

Состояние поверхности	Температура в °С												
	100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2300
Степень черноты													
Полированная неокисленная (испытание в вакууме $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.)	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,29

## Степень черноты полного нормального излучения

Состояние поверхности	Температура в °С								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	Степень черноты								
Покрытие Cr—Al—Si (после нагревания на воздухе при 1050°С в течение 50 час)	0,95	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79

Спектральная степень черноты при  $\lambda=0,65$  мк ( $\lambda$  — длина волны)

Состояние поверхности	Температура в °С								
	700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	
	Степень черноты								
Полированная неокисленная (испытание в вакууме $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.)	0,46	0,44	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,36	

## Скорость испарения в вакууме \*

Температура испытания °С	Скорость испарения г/см <sup>2</sup> ·час	Условия испытания
1700	$1,5 \cdot 10^{-6}$	В вакууме $1 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.
1800	$5 \cdot 10^{-6}$	То же
1900	$2 \cdot 10^{-5}$	В вакууме $1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.
2000	$7 \cdot 10^{-5}$	То же
2200	$8 \cdot 10^{-4}$	»

\* По данным завода.

## Технологические данные

Сплав выплавляют в вакуумных ( $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст.) дуговых электропечах с расходуемым электродом и электроннолучевым методом. Температура плавления 2400°С; температура рекристаллизации 1250°С при степени деформации 70% и 1225°С при 90%.

Деформация слитков и полуфабрикатов проводится на воздухе, в нейтральной среде или вакууме. Нагрев под деформацию осуществляется в вакуумной

камере в печи с нейтральной атмосферой или в обычной печи с применением облочоек, защищающих металл от окисления.

Термическая обработка: отжиг с целью гомогенизации и дегазации слитков проводится в вакууме  $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. при температуре 1800—2000°С в течение 5—10 час; отжиг деформированных заготовок для снятия напряжений проводится в вакууме  $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. при температуре 1000°С в течение 30—60 мин и для рекристаллизации при температуре 1300—1350°С в течение 2 час.

Характеристики штампуемости отожженных листов толщиной 1 мм приведены в таблице.

Состояние материала	Вытяжка		Отбортовка		Гибка	
	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{мин}$	$r_{раб}$
Плакированный сплавом ХН78Т (ЭИ435)	1,80—1,85	1,60—1,65	1,35—1,40	1,15—1,20	1S*	2S*
Без покрытия	1,85—1,90	1,57—1,62	1,70—1,72	1,45—1,47	2S*	3S*

\* S — толщина листа.

Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием, сваривается аргонодуговой и контактной сваркой, хорошо сваривается электроннолучевой сваркой. Прочность сварного шва составляет 90% прочности основного материала в рекристаллизованном состоянии. Сплав ВН-2 может свариваться с медными, титановыми, циркониевыми сплавами, а также с ванадием; паяется с другими металлами с применением специальных припоев.

### Применение

Детали, длительно работающие при температурах до 1100°С в вакууме или нейтральной среде и в окислительной среде при условии нанесения защитных покрытий.

Детали без защитных покрытий могут кратковременно работать в воздушной среде при температурах до 1500°С.



<b>НИОБИЕВЫЙ СПЛАВ</b>	<b>ВН-2А</b>
------------------------	--------------

## Механические свойства при различных температурах \*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$ %	$\sigma_{\text{н}}^{**}$ кг/мм <sup>2</sup>
			кг/мм <sup>2</sup>			
Листы холоднокатаные толщиной 1 мм (деформация 90%)	Без термической обработки	-253	156	148	7	—
		-196	105	95	7	—
		-50	81	69	6	—
		20	80—90	62	4—5	—
		1100	45	—	10	—
		1200	30	—	12	—
		1500	10	—	17	—
		1800	4,0—4,5	—	22	—
	2000	2,5—3,5	—	25	—	
Листы холоднокатаные толщиной 1 мм	Отожженные (для снятия напряжений)	-253***	137	135	3,7	1,7
		-196	101	96	15,4	6,2
		-50	80	73	14	7,5
		20	73	64	13,5	7,7
Листы холоднокатаные толщиной 1 мм	Рекристаллизованные	-253***	119	110	8,9	1,74
		-196	86	77	27	7
		-50	54	45	23,7	9,1
		20	45—50	37	26	9,5
		1100	31—33	—	20—25	—

\* Испытания при высоких температурах проводились в среде аргона.

\*\* Ударная вязкость определялась на нестандартных образцах размером 2×4,5×40 мм; глубина надреза 1,5 мм, радиус надреза 0,75 мм.

\*\*\* По данным завода.

Сплав в нагартованном и отожженном состоянии не чувствителен к надрезу при 20°, -50° и -196° С, отношение  $\frac{\sigma_{\text{н}}}{\sigma_B} > 1$ .

## Пределы минутной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_{10'}$	$\sigma_{15'}$	$\sigma_{30'}$
			кг/мм <sup>2</sup>		
Листы холоднокатаные толщиной 1 мм (деформация 85—90%)	Без термической обработки	1200	—	—	19
		1250	19	—	16
		1500	—	6*	5*

\* Испытания проводились на образцах с защитным покрытием на воздухе и в инертной среде в печи с графитовым нагревателем.

## Пределы длительной прочности и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	$\sigma_5$	$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{5000}$	$\sigma_{-1}$ на базе 10 <sup>7</sup> циклов
			кг/мм <sup>2</sup>							
Листы холоднокатаные толщиной 1 мм (деформация 85—90%)	Без термической обработки	20	—	—	—	—	—	—	—	20
		900	—	—	43—46	40	39	35—37	33—34	—
		1000	—	—	22—25	18—21	16—19	15—17	14—15	16*
		1100	—	15—16	13	10	9	7—8	5—6	—
		1200	15*	11	—	—	—	—	—	—

\* Испытания проводились на образцах с защитным покрытием на воздухе и в инертной среде.

## Физические свойства

$$d=8,65 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6 = 6,25$  (20—100°); 7,15 (20—300°); 7,94 (20—600°); 8,25 (20—900°); 8,42 (20—1100°); 8,55 (20—1300°); 8,62 (20—1500°); 8,75 (20—1700°); 8,84 (20—2000°) 1/°С.

$$\alpha \cdot 10^{6**} = 9,5$$
 (20—800°); 10,2 (800—1300°) 1/°С.

$\lambda = 0,115$  (20°); 0,12 (100°); 0,125 (200°); 0,14 (700°); 0,14 (1000°); 0,15 (1300°); 0,15 (1500°); 0,15 (1800°); 0,16 (2000°) кал/см·сек·°С.

$c = 0,068$  (100°); 0,071 (300°); 0,074 (500°); 0,077 (1000°); 0,081 (1200°); 0,084 (1400°); 0,087 (1600°); 0,091 (1800°); 0,0940 (2000°) кал/г·°С.

$$q = 19,9 \text{ мком} \cdot \text{см}.$$

Поперечное сечение захвата тепловых нейтронов 1,12 барн.

Сплав немагнитен.

\* Для металла без защитного покрытия.

\*\* Для металла с защитным покрытием (Cr—Al—Si).

**Степень черноты полного излучения**  
(испытание в вакууме  $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст.)

Состояние материала	Температура испытания в °С											
	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
	Степень черноты											
Без защитного покрытия	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23
С термодиффузионным покрытием Cr—Al—Si	0,76	0,79	0,82	0,84	0,82	0,78	0,74	0,70	0,72	—	—	—
С покрытием из хрома и эмали ЭВ-50	0,85	0,88	0,92	0,94	0,95	0,95	0,95	0,90	0,71	0,72	0,75	0,78

**Степень черноты нормального излучения**  
(испытание на воздухе)

Состояние материала	Температура испытания в °С								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	Степень черноты								
С термодиффузионным покрытием Cr—Al—Si	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	—	—	—
То же, после нагрева при 1050° в течение 25 час	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,77

**Технологические данные**

Сплав выплавляют в вакуумных ( $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст.) дуговых электропечах с расходуемым электродом и электроннолучевым методом.

Температура плавления 2400°С; температура рекристаллизации 1260° при степени деформации 70% и 1230°С при 90%.

Деформация слитков и полуфабрикатов проводится на воздухе, в нейтральной среде или вакууме. Нагрев под деформацию осуществляется в вакуумной камере в печи с нейтральной атмосферой или в обычной печи с применением оболочек или специальных покрытий, защищающих металл от окисления. Листы, фольгу и трубки получают прокаткой при комнатной температуре из полуфабрикатов после рекристаллизационного отжига.

Характеристики штампуемости рекристаллизованных листов толщиной 1 мм приведены в таблице.

Состояние материала	Вытяжка		Отбортовка		Гибка	
	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$r_{мин}$	$r_{раб}$
Плакированный сплавом ХН78Т(ЭИ435)	1,80—1,85	1,60—1,65	1,35—1,40	1,15—1,20	1S*	2S*
Без покрытия	1,85—1,90	1,58—1,60	1,65—1,67	1,35—1,40	1S*	2S*

\* S — толщина листа.

Термическая обработка: отжиг с целью гомогенизации и дегазации слитков проводится в вакууме  $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. при температуре 1800—2000°С в течение 5—10 час. Отжиг деформированных заготовок для снятия напряжений проводится в вакууме  $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. при температуре 1000°С в течение 30—60 мин и для рекристаллизации при температуре 1300—1350°С в течение 2 час.

Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием, сваривается аргонодуговой, контактной и электроннолучевой сваркой. Прочность сварного шва составляет 90% прочности основного материала в рекристаллизованном состоянии. Пластичность сварных соединений можно улучшить вакуумным отжигом после сварки. Сплав сваривается с медными, титановыми и циркониевыми сплавами и паяется с другими металлами с применением специальных припоев.

Сплав предназначается для изготовления листов, фольги и тонкостенных трубок.

### Применение

Детали, длительно работающие при температурах до 1100°С в вакууме или нейтральной среде и в окислительной среде при условии нанесения защитных покрытий. Детали без защитных покрытий могут кратковременно работать в воздушной среде при температурах до 1500°С.

<b>НИОБИЕВЫЙ СПЛАВ</b>	<b>ВН-3</b>
------------------------	-------------

**Механические свойства при комнатной и высоких температурах \***

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_{-1}$ кг/мм <sup>2</sup>
				%			
Прутки горячепрессованные (деформация 75—80%)	Без термической обработки	20	75—80	16—20	40—70	30	33
		700	54	17—20	40—70	—	—
		1050	48	17—21	65—75	—	25
		1100	45	21—24	70—75	—	—
		1200	25—29	26	79—83	—	—
		1500	12,5	40—43	—	—	—
Прутки горячепрессованные (деформация 75—80%)	Рекристаллизованные	20	60—65	20—25	75—80	>30	—
		700	45—51	20—26	75—80	—	—
		1050	34—36	20—26	78—82	—	—
		1100	26—30	22—26	80—85	—	—
		1200	24—26	26	85—88	—	—

\* Испытания при высоких температурах проводились в среде аргона.

**Механические свойства при низких температурах**

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$	$\psi$	$a_n$ кг·м/см <sup>2</sup>
				%		
Прутки кованые (деформация 90%)	Без термической обработки	—70	81	27	65	20
		—196	116	26	40	6

## Пределы длительной прочности \*, ползучести \* и выносливости \*\*

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С										
			$\sigma_{50}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{2000}$	$\sigma_{5000}$	$\sigma_{0,5/100}$	$\sigma_{0,5/500}$	$\sigma_{0,5/5000}$	
Прутки горячепрессованные (деформация 75—80%)	Без термической обработки	900	—	45—47	42—44	39—42	38—40	37	32	29	26	
		1000	31	18—30	24—25	22—23	20—21	18—19	20	16,5	—	
		1050	25	24	21	19—20	18	—	—	—	—	
		1100	17—18	16	12—13	10—11	9—10	8—8,5	—	—	—	
Листы холоднокатанные (деформация 85—90%)	Без термической обработки	1100	13—14	12	—	—	—	—	—	—	—	

\* Испытание в аргоне; предел ползучести определен по общей деформации.

\*\* Испытание на воздухе; образцы с защитным покрытием.

## Жаростойкость

Сплав насыщается газами и окисляется на воздухе при температурах выше 200°С. Скорость окисления сплава при температуре 1050°С за 25 час испытания составляет 44  $г/м^2 \cdot час$ .

При длительной работе деталей на воздухе или в окислительных средах в зависимости от условий работы, конфигурации и размеров деталей применяются специальные защитные покрытия:

а) термодиффузионное покрытие (Cr—Al—Si) обеспечивает защиту от окисления и насыщения газами в атмосфере воздуха при температурах 1050—1450°С в течение 200 и 30 час соответственно;

б) комплексное покрытие, состоящее из термодиффузионного покрытия и слоя эмали, защищает сплав от окисления при температурах 1050—1100°С в течение более 300 час. Другие виды покрытий те же, что и для сплава ВН-2.

## Физические свойства

$$d=8,64 \text{ г/см}^3.$$

$\alpha \cdot 10^6=8,0$  (20—100°); 8,2 (20—400°); 8,2 (20—700°); 8,2 (20—1000°)  $1/^\circ\text{C}$  (испытания проводились на воздухе; образцы с защитным Cr—Al—Si покрытием).

$\alpha \cdot 10^6=8,78$  (20—1800°)  $1/^\circ\text{C}$  (испытания проводились в вакууме).  
 $\lambda=0,115$  (20°); 0,12 (100°); 0,13 (300°); 0,14 (700°); 0,15 (1200°); 0,16 (1900°)  $кал/см \cdot сек \cdot ^\circ\text{C}$ .

$c=0,068$  (100°); 0,071 (300°); 0,074 (500°); 0,077 (1000°); 0,081 (1200°); 0,084 (1400°); 0,087 (1600°); 0,091 (1800°); 0,094 (2000°)  $кал/г \cdot ^\circ\text{C}$ .

$$q=0,185 \text{ (20°) } ом \cdot м^2/м.$$

Поперечное сечение захвата тепловых нейтронов 1,12 барн.

**Степень черноты полного нормального излучения  
(испытание на воздухе)**

Состояние материала	Температура испытания в °С				
	200	300	400	500	600
	Степень черноты				
С термодиффузионным покрытием Cr—Al—Si	0,93	0,91	0,9	0,89	0,88

**Технологические данные**

Сплав выплавляют в вакуумных ( $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст.) дуговых печах с расходуемым электродом или электроннолучевым методом.

Температура плавления 2400°С; температура рекристаллизации 1260°С при степени деформации 70% и 1230°С — при 90%.

Деформация проводится на воздухе, в вакууме или в нейтральной среде. Нагрев под деформацию осуществляется в нейтральной среде, вакууме или в окислительной среде при условии применения жаростойких оболочек или покрытий, защищающих от окисления.

Термическая обработка: отжиг с целью гомогенизации и дегазации слитков проводится при температурах 1800—2000°С в течение 5—10 час; отжиг для снятия внутренних напряжений полуфабрикатов проводится при температуре 1000°С в течение 1—2 час, для рекристаллизации — при 1350° в течение 1—2 час.

Сплав удовлетворительно обрабатывается резанием, сваривается аргонодуговой и контактной сваркой, хорошо — электроннолучевой сваркой; удовлетворительно гаяется с другими металлами с применением специальных припоев.

Благодаря хорошей обрабатываемости сплава давлением из него можно изготавливать фольгу и тонкостенные трубки.

**Применение**

Детали, длительно работающие в вакууме и нейтральной среде при температурах до 1100°С и в окислительных средах при условии нанесения защитных покрытий. Допускается кратковременная работа деталей в окислительных средах без применения защитных покрытий при температурах до 1500°С.

## ХРОМОВЫЕ СПЛАВЫ

## ВХ-1 и ВХ-1Н\*

## Химический состав в %

Марка сплава	Cr	O	N	H	Сумма металлических примесей
ВХ-1	99,7	0,02—0,04	0,02—0,04	0,001—0,003	≤0,25
ВХ-1Н	99,2	≤0,5	0,02—0,04	0,001—0,003	≤0,3

## Механические свойства при различных температурах сплава ВХ-1

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С	E	σ <sub>B</sub>	σ <sub>0,2</sub>	δ	ψ	a <sub>к</sub> кГ·м/см <sup>2</sup>	НВ кГ/мм <sup>2</sup>
			кГ/мм <sup>2</sup>			%			
Прутки деформированные	Термически обработанные	20	28 000	25—29	18—20	2—4	2—6	0,1	100—120
		700	26 500	20—20,5	13—14	60—70	70—80	15	—
		800	—	17—19	10—10,5	60—85	70—90	4—5	—
		1000	—	7—9	4—4,3	60—80	80—90	2—3	—
		1100	19 000	6—7	—	80—90	90—95	2—3	—
		1150	—	5—7	3—3,5	60—90	90—95	2—3	—
		1200	13 000	4	—	30	95	—	—
		1500	—	2—3	—	20—30	65—70	—	—

## Пределы секундной прочности сплава ВХ-1

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ <sub>10"</sub>	σ <sub>30"</sub>	σ <sub>60"</sub>	σ <sub>120"</sub>	σ <sub>180"</sub>	σ <sub>300"</sub>
			кГ/мм <sup>2</sup>					
Прутки деформированные	Термически обработанные	1000	9,5	8,5	8,2	8	7,2	6,5

\* Сплав ВХ-1Н отличается от ВХ-1 более низкой пластичностью при температурах до 200° С. При более высоких температурах свойства сплавов практически одинаковы.



## Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости сплава ВХ-1

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания в °С								σ <sub>-1</sub> на базе циклов				σ <sub>-1</sub> на базе 10 <sup>7</sup> циклов	
			σ <sub>1</sub>	σ <sub>5</sub>	σ <sub>10</sub>	σ <sub>50</sub>	σ <sub>100</sub>	σ <sub>200</sub>	σ <sub>0,2/100</sub>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>		
			кг/мм <sup>2</sup>												
Прутки деформированные	Термически обработанные	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	24	24	—
		750	13	—	11,5	10,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		950	8,7	2	6,5	5,7	5	4,7	—	—	—	—	—	—	—
		1000	4,3	1	2,5	2	1,5	—	—	—	6,5	4	4**	—	—
		1150	3	—	2	1,6	1,3	1	0,3— 0,5	—	—	2	—	—	1,8
		1200	2,5	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

\* Радиус надреза 0,75 мм.

\*\* Показатель для листового материала.

## Жаростойкость

Сплавы обладают высокой жаростойкостью в атмосфере воздуха: привес при 1030°С составляет 0,5 г/м<sup>2</sup>·час, при 1200°С — 1,16 г/м<sup>2</sup>·час. В процессе длительной работы при температурах 700—1400°С в среде, содержащей газообразный азот, происходит охрупчивание сплавов, вызываемое азотированием. Электролитическое нанесение на поверхность деталей слоя никеля толщиной 30—50 мк предохраняет сплав от охрупчивания в течение 100 час при температурах до 1150°С. При 1500°С и более высоких температурах нитриды хрома диссоциируют и сплав не нуждается в защитных покрытиях.

## Физические свойства

 $d=7,2$  г/см<sup>3</sup>. $\alpha \cdot 10^6=7,5$  (20—100°); 8,8 (20—600°); 10,0 (20—1000°) 1/°С. $\alpha \cdot 10^6=8,1$  (100—200°); 10 (500—600°); 13 (900—1000°) 1/°С. $\lambda=0,22$  (100°); 0,20 (300°); 0,18 (500°); 0,17 (700°); 0,16 (900°) кал/см·сек·°С. $\epsilon=0,11$  (20°); 0,15 (500°); 0,19 (900°) кал/г·°С. $\rho=0,13$  (20°); 0,42 (600°); 0,86 (1200°); 1,46 (1600°) ом·мм<sup>2</sup>/м.Давление пара\*:  $1 \cdot 10^{-15}$  (750°);  $1 \cdot 10^{-5}$  (1044°);  $1,21 \cdot 10^{-4}$  (1149°);  $8,84 \cdot 10^{-4}$  (1236°);  $2,52 \cdot 10^{-3}$  (1285°) мм рт. ст.Скорость испарения в вакууме\*  $10^{-6}$  мм рт. ст.:  $9,86 \cdot 10^{-7}$  (1355°К);  $2,03 \cdot 10^{-6}$  (1400°К);  $7,3 \cdot 10^{-6}$  (1450°К);  $1,92 \cdot 10^{-5}$  (1560°К) г/см<sup>2</sup>·сек; в вакууме  $10^{-13}$  мм рт. ст. толщина испарившегося поверхностного слоя составляет:  $10^{-5}$  (750°);  $10^{-3}$  (870°);  $10^{-1}$  (1000°) см/год.

## Магнитные свойства

Парамагнитная восприимчивость\*:  $158 \cdot 10^{-6}$  (70°К);  $161 \cdot 10^{-6}$  (200°К);  $163 \cdot 10^{-6}$  (320°К);  $172 \cdot 10^{-6}$  (600°К);  $176 \cdot 10^{-6}$  (800°К) см<sup>3</sup>/моль.

\* По литературным данным.

Антиферромагнитное упорядочение в сплаве наступает в интервале температур от  $-155$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ . Температура исчезновения антиферромагнитного упорядочения (точка Нееля) изменяется в интервале температур от  $44$  до  $197^{\circ}\text{C}$  в зависимости от степени чистоты сплава. Выше точки Нееля сплавы переходят в парамагнитное состояние. При понижении температуры до  $4,2^{\circ}\text{K}$  сплавы не переходят в сверхпроводящее состояние.

**Степень черноты полного нормального излучения  
(испытание на воздухе)**

Состояние поверхности	Температура испытания в $^{\circ}\text{C}$				
	100	150	400	700	900
	Степень черноты				
Неокисленная	0,055	—	0,09	0,32	—
Окисленная, толщина окисной пленки $50 \text{ мк}$ (нагрев на воздухе при $1200^{\circ}\text{C}$ в течение $4 \text{ час}$ )	—	0,78	—	0,78	0,85

**Технологические данные**

Сплавы выплавляют в индукционных и дуговых вакуумных печах. Температура плавления  $1900^{\circ}\text{C}$ .

Сплавы подвергаются штамповке, прессованию и прокатке.

Термическая обработка состоит из высокотемпературного и низкотемпературного отжига.

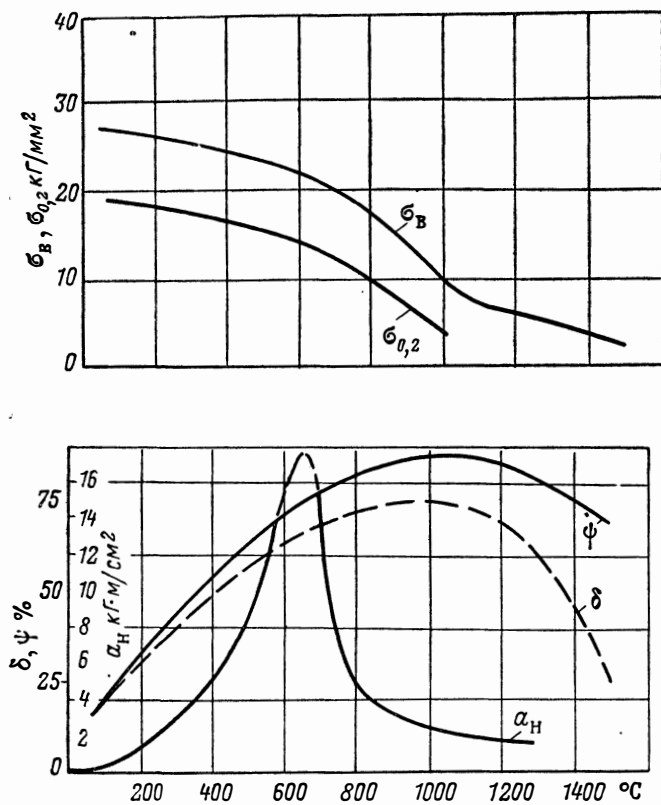
Сплавы удовлетворительно обрабатываются всеми видами резания.

Механическую обработку рекомендуется производить на больших скоростях при малой скорости подачи инструмента с охлаждением эмульсией. Обработку абразивами применять не следует ввиду образования поверхностных трещин.

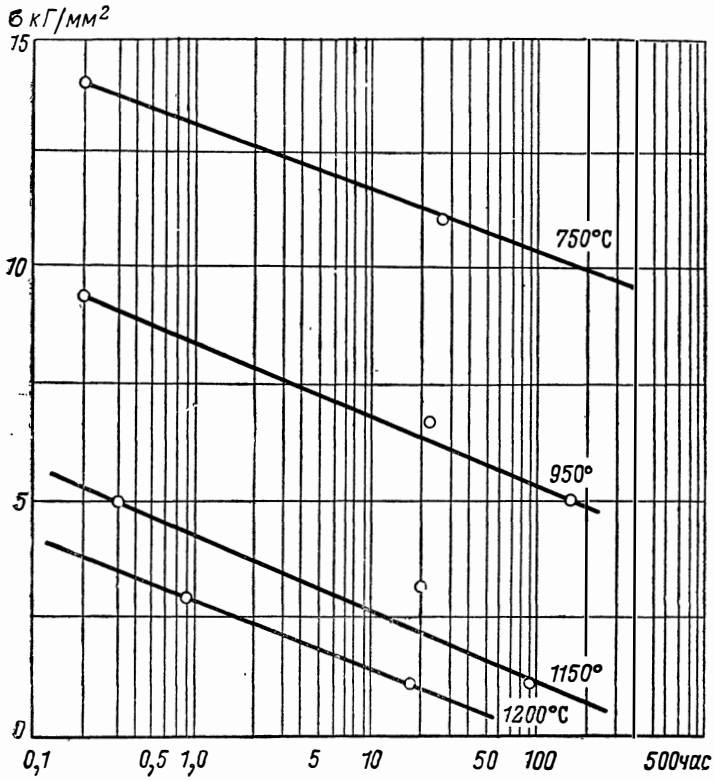
После окончательной механической обработки детали не нуждаются в повторной термической обработке, если она была произведена на полуфабрикатах. Из сплава ВХ-1 изготавливаются прутки, листы (в том числе плакированные нержавеющейими сталями и сплавами), заготовки для труб, проволока, фасонные заготовки.

**Применение**

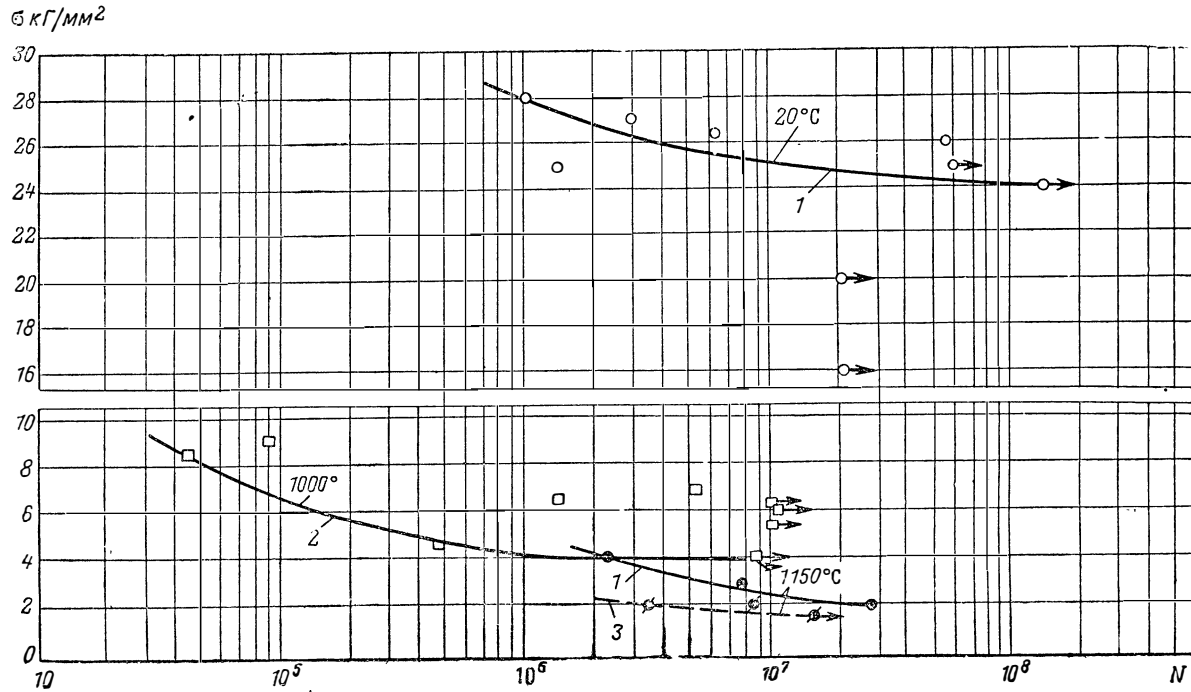
Детали, длительно работающие в газовых и жидких агрессивных средах при температурах  $1100-1150^{\circ}\text{C}$ , кратковременно — в интервале температур от  $200-600$  до  $1500-1600^{\circ}\text{C}$ .



Фиг. 1. Механические свойства сплава ВХ-1 при различных температурах.



Фиг. 2. Кривые длительной прочности сплава ВХ-1.



Фиг. 3. Кривые выносливости сплава ВХ-1 (испытание на изгиб).

1—цилиндрический образец, 2—плоский образец, 3—цилиндрический образец с надрезом.

## Глава III

### НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ (ДЕФЕКТОСКОПИЯ) МЕТАЛЛОВ

Основными методами дефектоскопии сталей и сплавов являются рентгено- и гамма-просвечивание, ультразвуковые, капиллярные, индукционные, магнитные методы и методы электросопротивления и ТЭДС. В таблице приведены наиболее характерные дефекты, возникающие в процессе литья, при изготовлении деформируемых полуфабрикатов (листов, плит, прутков, проволоки, поковок, штамповок и т. д.), при сварке, термической и механической обработке, в покрытиях, а также дефекты, возникающие в условиях эксплуатации, и методы их контроля. Каждому методу свойственны ограничения, связанные с расположением дефектов, видом и состоянием материала, формой и размерами детали, ее обработкой и т. д. Основные ограничения при применении каждого метода даны под таблицей, каждому методу присвоен порядковый номер.

В одной таблице трудно охватить многообразие применяемых материалов и деталей, форм и расположения дефектов, особенности контроля каждым методом, поэтому выбор метода в конкретном случае должен осуществляться с учетом поставленной задачи на основе опыта лиц, осуществляющих контроль.

#### Рентгено- и гамма-дефектоскопия

Рентгеновское и гамма-просвечивание наиболее эффективны при контроле литых деталей и сварных соединений. Этими методами выявляются рыхлоты и раковины, пористость, шлаковые и флюсовые включения, трещины, зоны ликвации в отливках; непровары, подрезы, проплавы в сварных соединениях.

Чувствительность рентгено- и гамма методов зависит от проникающей способности излучения, размеров контролируемой детали и материала, из которого она изготовлена. Так, с помощью рентгеновских аппаратов РУП-120-5-1 (120 кв; 5 ма) можно контролировать стальные детали толщиной до 30 мм, минимальный

размер обнаруживаемых дефектов составляет около 2% от толщины детали.

С увеличением мощности и напряжения установки (жесткости излучения) представляется возможным контролировать детали больших размеров, однако с увеличением размеров детали чувствительность метода понижается.

В дефектоскопии применяются рентгеновские аппараты малого напряжения (60—120 кВ) для просвечивания стальных деталей и полуфабрикатов небольшой толщины, аппараты среднего напряжения (200—400 кВ) для просвечивания деталей из стали и жаропрочных сплавов, аппараты с энергией излучения 1 и 2 Мэв и бетатроны 15—30 Мэв для просвечивания сверхжесткими рентгеновскими лучами стальных деталей больших толщин и деталей из жаропрочных сплавов. В качестве источника гамма-излучения используют изотопы, которые по энергии излучения и удельной активности дают максимальную чувствительность. Наибольшее применение находят следующие изотопы: кобальт 60, цезий 137, иридий 192. Реже применяются тулий 170, европий 152—154 и селен 75. Каждый из источников излучения обладает наибольшей эффективностью при контроле деталей определенной толщины. Например, при контроле стальных деталей Co-60 применяется для толщин 60—200 мм; Ir-192 — для толщины 10—40 мм и т. п.

В рентгеновской и гамма-дефектоскопии применяется несколько способов регистрации изображения просвечиваемого объекта. Наиболее распространены фотографический и флуорографический способы. Для автоматизации контроля вместо фотопленки используются сцинтилляционные счетчики-регистраторы, ксерографические способы проявления изображения, электроннооптические преобразователи с осмотр просвечиваемого объекта через оптические линзы или на экране телевизора. Применение электроннооптических преобразователей позволяет перемещать контролируемое изделие со скоростью до 5 м/мин. Для проявления и фиксирования пленки применяются аппараты, сокращающие время обработки до 13 мин. Увеличению производительности контроля способствует усиление яркости получаемого изображения путем применения электр люминесцентных преобразователей, состоящих из фотопроводящего слоя и люминесцентного экрана. Разрабатываются кинометоды, а также телевизионно-рентгеновские системы, в которых фотопроводник передающей трубки непосредственно воспринимает рентгеновское излучение. Для контроля с помощью изотопов создаются автоматические камеры. Приборы с применением изотопов применяются также для контроля толщины и разностенности труб. Толщиномеры позволяют контролировать изделия из стали толщиной до 5 мм с погрешностью до  $\pm 5\%$ . Приборы подобного типа со следящими системами для автоматического регулирования применяют например при обточке труб на токарно-обточных стан-

ках. В качестве приемников излучения в этих приборах используются сцинтилляционные счетчики.

### Капиллярная дефектоскопия

Цветной (метод красок) и люминесцентный методы дефектоскопии основаны на явлении капиллярного проникновения жидкости, обладающей хорошей смачивающей способностью, в трещины, поры и другие поверхностные несплошности в материале. При люминесцентном методе полости дефектов заполняются жидкостью (люминофором), светящейся в ультрафиолетовом свете. В цветной дефектоскопии места дефектов заполняются краской, отличающейся по цвету от цвета поверхности детали. Для этого на поверхность детали погружением или распылением наносится подкрашенный специальным красителем раствор, обладающий высокой капиллярностью и низким поверхностным натяжением. Затем раствор с поверхности удаляется. Для проявления дефектов применяется быстросохнущая суспензия белого порошка. Она образует белый фон и в то же время, обладая высокими абсорбционными свойствами, вытягивает краситель на поверхность контролируемой детали. Применяются растворы красителей, состоящие из керосина, бензола и судана 4, или бензола, трансформаторного масла и судана 4. В качестве составляющих используется также скипидар и метаксилол. Проявляющими веществами служат окись магния, силикагель, тальк марки А, маршалит, свинцовые белила, мел, каолин, пемза, инфузорная земля. Крупные детали при контроле вместо погружения поливают или обильно смазывают раствором красителя. Для увеличения чувствительности и сокращения времени пропитки детали помещают в вакуумную камеру, а смачивающую жидкость подвергают воздействию ультразвука. Люминесцентный метод применяется в двух вариантах: сорбционном (порошковом) и беспорошковом. При сорбционном варианте обезжиренную деталь выдерживают в индикаторном растворе. Затем раствор с поверхности удаляют, поверхность сушат и посыпают порошком сорбента. Пропитанный раствором в местах дефектов порошок слипается и закрепляется на поверхности. Излишки сорбента затем удаляют и поверхность облучают ультрафиолетовым светом. Беспорошковый вариант отличается тем, что контролируемую деталь погружают в ванну с раствором органического люминофора в летучем растворителе. При извлечении детали из ванны растворитель легко испаряется, а люминофор остается в местах дефектов. В качестве растворителя используется четыреххлористый углерод или дихлорэтан. Люминесцирующим компонентом служит технический антрацен. Для удаления лишнего люминесцирующего раствора применяют ингибитор — динитротолуол. Основными люминофорами являются норил, шубекол, дефектоль, отбеленная



нефть со средним удельным весом и преобладанием масляных фракций, авиационное масло. В качестве источника ультрафиолетового света применяют ртутные лампы с кварцевыми колбами низкого, высокого и сверхвысокого давления. Для распыления красок и водной суспензии из порошка сорбента применяют пистолеты — пульверизаторы. Указанными методами можно выявлять только дефекты, открытые с поверхности. Цветным методом выявляются дефекты с раскрытием от 0,1 мк при глубине дефекта не менее 10 мк. Люминесцентный метод позволяет обнаруживать дефекты с раскрытием не менее 10 мк при глубине более 20—40 мк.

### Ультразвуковая дефектоскопия

В основе ультразвуковой дефектоскопии лежит способность ультразвуковых колебаний (УЗК) распространяться в металле на большие расстояния в виде направленных пучков и отражаться на границе раздела двух сред. При контроле применяются: метод звуковой тени или теневой метод, импульсный эхо-метод, резонансный метод, акустические методы: импедансный и метод свободных колебаний. В этих методах используются четыре вида упругих колебаний: продольные, сдвиговые, поверхностные и свободные. Колебания вводятся тремя способами — при сухом контакте, контакте со смазкой и иммерсионным. В иммерсионном варианте колебания вводятся через жидкую среду (обычно воду).

Теневой метод основан на уменьшении интенсивности УЗК, прошедших через деталь в зоне дефекта (появление области «звуковой тени» за дефектом). Этим методом контролируют детали несложной формы и небольшой толщины при двустороннем доступе к ним. При этом обнаруживают раковины, трещины, расслоения и зоны крупнозернистости, нарушения сцепления в многослойных конструкциях. Чувствительность метода зависит от расстояния дефекта до задней грани контролируемого объекта и коэффициента затухания, чем меньше это расстояние, тем выше чувствительность, т. е. возможность обнаружения более мелких дефектов.

Акустический контакт в теневом методе осуществляется через тонкий слой смазки или иммерсионным методом. Большинство приборов работает с использованием продольных ультразвуковых колебаний. Для контроля листов и труб применяют свободные колебания.

Импульсный эхо-метод основан на отражении УЗК от поверхности дефекта. Контроль производится при доступе к детали с одной стороны. Принцип работы дефектоскопа, использующего эхо-метод, аналогичен работе радиолокатора. Чувствительность этого метода намного выше, чем теневого. Она зависит от

частоты колебаний, мощности посылаемого импульса, характеристики направленности излучателя, акустических свойств материала. Используются продольные и сдвиговые колебания.

Сдвиговые колебания применяют для обнаружения дефектов, залегающих неглубоко под поверхностью и ориентированных перпендикулярно. Применяют также поверхностные и свободные колебания для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов в деталях сравнительно простой формы. При контроле с помощью поверхностных колебаний чувствительность метода определяется состоянием и чистотой обработки поверхности. Метод продольных колебаний (при работе на частотах 2—5 мГц) характерен наличием мертвой зоны (6—8 мм). Возможность сокращения мертвой зоны зависит от длительности импульса и длительности переходных процессов. Применение поверхностных колебаний позволяет контролировать и мертвую зону. Импульсным эхо-методом обнаруживают и оценивают расположение дефектов на глубине от нескольких миллиметров до нескольких метров в крупных деталях и полуфабрикатах несложной формы с достаточно чисто обработанной поверхностью, при этом определяют зоны крупной зернистости и качество стыковых сварных соединений.

Резонансный метод основан на возникновении в контролируемом металле продольных «стоячих» волн. Стоячие волны возникают при совпадении частоты внешней возбуждающей силы с частотой собственных колебаний системы. Это явление называется резонансом. Оно сопровождается уменьшением входного сопротивления нагрузки, в результате чего в контур генератора вносится большое затухание, амплитуда колебаний уменьшается. Резонансным методом можно выявлять зоны коррозионного поражения, зоны непроая в листовых соединениях, расслоения в тонких листах, измерять толщину листов и стенок труб. Измерения толщины производят путем поиска «стоячей» волны. Для этой цели изменяют частоту возбуждающего генератора, например, изменением емкости в цепи колебательного контура. Усовершенствованные образцы толщиномеров позволяют контролировать толщину от 0,36 до 50 мм. Погрешность измерения составляет около 2%.

Импедансный метод основан на определении механического импеданса детали в точке его соприкосновения с датчиком дефектоскопа. Дефект вызывает уменьшение импеданса. Измерения производят при одностороннем доступе к поверхности контролируемой детали. Величина импеданса оценивается по силе реакции контролируемой детали на датчик, возбуждающий в детали упругие, обычно изгибные колебания.

Метод свободных колебаний основан на том, что если в детали с дефектами возбудить свободные колебания, то частота этих колебаний и коэффициент затухания будут отличаться от тех же характеристик в детали без дефектов.

Повышение производительности контроля теньвым методом достигается применением многоэлементных искательных головок, переключающихся с помощью коммутаторов. Сканирование контролируемой детали осуществляется строчками при поступательно-возвратном движении или по винтовой линии и по спирали — при вращательном движении. Для увеличения объективности контроля применяют различные методы сигнализации, а также запись показаний на фото- или электротермической бумаге. Разработано несколько систем, позволяющих структуру волнового поля видеть на специальном экране. Получение видимого изображения контуров обнаруживаемого дефекта при контроле эхо-методом, а также запись показаний является сложной задачей. Для контроля листов на прокатном стане разработана специальная система с бегущим звуковым лучом. Для этой цели применяют большое число пар щупов, объединенных в группы с таким расчетом, чтобы осуществить одновременное сканирование контролируемого листа. Запись изображения дефектов производится на электротермической бумаге. Подобные установки позволяют производить контроль со скоростью 10 *пог. м* в минуту.

Разработаны импульсные эхо-дефектоскопы иммерсионного типа для автоматического контроля дисков с программным сканированием. В таких дефектоскопах при контроле крупногабаритных прессованных и катаных полуфабрикатов (профилей, плит) скорость сканирования доведена до 0,6 *м/сек*. Сканирование производится строчками с заданным шагом. В резонансных толщиномерах отсчет толщин производится или по шкалам, нанесенным на экран электроннолучевой трубки, или путем применения специальных измерительных устройств. В приборах с отсчетом по шкале осуществляется автоматическая частотная модуляция. Определение дефектов этим методом производится по изменению частоты или по изменению остроты резонанса. При автоматизации импедансного метода датчик приводят в возвратно-поступательное движение, одновременно перемещая его по строчкам. Запись дефектов производится на электротермической бумаге.

### Магнитная дефектоскопия

Магнитные методы дефектоскопии основаны на обнаружении участков рассеяния магнитного потока, образующегося в местах нахождения дефектов в намагниченных деталях и полуфабрикатах из ферромагнитных материалов. По способу обнаружения участков рассеяния магнитного потока магнитные методы дефектоскопии разделяются на магнитнопорошковый, феррозондовый и магнитографический.

Магнитнопорошковый метод обнаружения дефектных мест детали основан на скоплении в этих местах частиц маг-

нитного порошка. В намагниченной детали линии магнитного потока, встречая трещины, флокены, волосовины и другие несплошности, обладающие большим по сравнению с материалом детали магнитным сопротивлением, огибают их и над этими участками образуется магнитное поле рассеяния. Ферромагнитные частицы порошка затягиваются полем рассеяния и оседают на контролируемой поверхности в местах нарушения сплошности. В магнитной дефектоскопии в основном используются порошки ферромагнитных окислов железа, реже чистого железа, получаемые химическим путем, а также порошки магнетита. Для увеличения контрастности изображения применяют окрашенные порошки светлых тонов. Разрабатываются магнитнолюминесцентные порошки, использование которых улучшит возможность автоматизации контроля этим методом. Для облегчения перемещения частиц порошка по детали применяют магнитную суспензию, представляющую собой взвесь ферромагнитных частиц в воде, минеральных маслах, керосине. Детали намагничивают в поле постоянного или переменного тока для создания на их поверхности напряженности магнитного поля порядка 30—150 эрст. Полые детали чаще всего намагничивают циркулярным магнитным полем в плоскости, перпендикулярной направлению тока путем пропускания тока через деталь или отверстие в ней. Для получения продольного или поперечного намагничивания детали намагничивают с помощью соленоида и электромагнита. Для ускорения процесса контроля применяют комбинированное намагничивание одновременно продольным постоянным и циркулярным переменным полями. Применяют и более сложное намагничивание, например, тремя переменными магнитными полями, сдвинутыми друг относительно друга по фазе. Контроль магнитнопорошковым методом осуществляют на магнитных дефектоскопах. Дефектоскопы обеспечивают намагничивание и размагничивание контролируемой детали, регулирование и выключение тока, поливку детали магнитной суспензией. Существуют магнитные дефектоскопы полуавтоматы, в которых весь процесс, начиная с загрузки деталей и до разделения их на годные и бракованные, автоматизирован, кроме осмотра деталей. При использовании магнитнолюминесцентного порошка принципиально возможна автоматизация и процесса осмотра. При контроле с помощью магнитнолюминесцентного порошка деталь освещается лампой ультрафиолетового излучения с длиной волны 3200—4000 Å. Магнитнопорошковый метод позволяет обнаруживать поверхностные дефекты, в том числе очень тонкие (типа закалочных трещин) и некоторые подповерхностные дефекты, залегающие на глубине примерно до 2 мм.

Феррозондовый метод отличается от магнитнопорошкового метода способом обнаружения магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами. Метод феррозондов применяют также

для магнитометрических измерений (измерения магнитных полей и их градиентов), для обнаружения ферромагнитной фазы в немагнитных сплавах, ферромагнитных включений, степени размагничивания и т. п.

Феррозонды представляют собой катушку с ферромагнитным сердечником, на который одновременно воздействуют два магнитных поля разных частот (чаще всего переменное магнитное поле, создаваемое катушкой феррозонда, и постоянное измеряемое магнитное поле). Обычно феррозонды имеют две катушки: катушку возбуждения и измерительную, ЭДС которой пропорциональна измеряемому полю. Для сердечников феррозондов применяют магнитно-мягкие материалы, например, пермаллой. Большинство феррозондовых приборов имеет два небольших зонда (часто их называют полужондами). В зависимости от схемы соединений катушек феррозондов с их помощью можно измерять или напряженность магнитного поля, или его градиент.

Чувствительность некоторых феррозондовых приборов достигает  $10^{-6}$  эрст на одно деление шкалы. Размеры зондов могут колебаться в широких пределах. Для дефектоскопии применяются феррозонды диаметром 0,5—1 мм и длиной от 6 до 1 мм. У нас и за рубежом разработано несколько конструкций феррозондовых дефектоскопов. В них предварительно намагниченные детали или располагают на ленте транспортера и перемещают мимо зондов, или зонды вращают вокруг детали. Релейные исполнительные механизмы срабатывают при превышении величины сигнала определенного значения, определяемого величиной магнитного потока рассеяния. Сигналы попадают на автоматически срабатывающие клапаны или другие подобные устройства. Если контролируют детали значительных размеров, феррозонды вместе с намагничивающим устройством перемещают по контролируемой поверхности. Так, например, работают феррозондовые дефектоскопы для контроля железнодорожных рельсов. О наличии дефектов судят по появлению звука в выходном громкоговорителе или по отклонению стрелки индикатора. При контроле феррозондовым методом в ряде случаев возможна перебраковка, так как вместе с трещинами и другими дефектами выявляются обезуглероженные зоны, «мягкие пятна» и другие изменения в структуре, которые не являются браковочным признаком. Феррозондовый метод может успешно применяться для контроля толщины стенок различных неферромагнитных деталей при двухстороннем доступе.

Магнитографический метод отличается от других магнитных методов дефектоскопии тем, что обнаружение магнитных потоков рассеяния, возникающих над дефектами, производится путем их «записи» на ферромагнитной ленте. Этот метод нашел применение для контроля сварных соединений в трубопроводах. Процесс контроля включает намагничивание контролируемого

сварного шва с наложенной на него магнитной лентой, при котором происходит «запись» магнитных потоков рассеяния и воспроизведение (считывание) записанных на ленте сигналов от дефектов. Используется два варианта намагничивания: поперек линии сварного соединения и в направлении, нормальном к поверхности свариваемых листов. Для поперечного намагничивания используются специальные электромагниты, обеспечивающие индукцию в контролируемом изделии порядка 10—12 тысяч гаусс. Перпендикулярное намагничивание осуществляется с помощью многовиткового соленоида. Большинство опасных дефектов расположено вдоль сварного шва. Поэтому при «считывании» сигналов используется схема поперечного воспроизведения. Этим методом выявляются трещины и непровары глубиной 10% от толщины стенки и более, цепочки газовых пор и крупные шлаковые включения.

### Индукционная дефектоскопия

Этот метод дефектоскопии, называемый также методом вихревых токов, основан на возбуждении в испытуемом участке контролируемой детали вихревых токов и определении обратного действия этих токов на возбуждающую или специальную измерительную катушку. Применительно к магнитным металлам его иногда называют магнитоиндуктивным. На величину вихревых токов влияют электропроводность, магнитная проницаемость, расстояние между датчиком и металлом, наличие несплошностей в поверхностных слоях, толщина контролируемого объекта, форма и размеры датчика, частота тока в датчике. Каждый из этих параметров может быть проконтролирован при условии, что другие в процессе контроля остаются неизменными или мало влияют на показания дефектоскопов. Разработаны приемы отстройки от влияния одного из мешающих измерением параметров. Этим параметром в большинстве случаев являются или изменения расстояния между катушкой и металлом (при выявлении несплошностей, контроле по электропроводности и т. д.), или изменения электропроводности и магнитной проницаемости при измерениях диаметра проволоки, прутков, труб и пр. Дефектоскопы, основанные на применении метода вихревых токов, различаются по конструкции испытательных катушек, схемам их соединений и схемам электронной части прибора. Проволока, прутки, трубы, мелкие детали контролируются в проходных катушках, через отверстие которых проходит объект контроля. Иногда катушки размещают внутри трубы или другого контролируемого объекта. Для контроля деталей сложной формы (профилей, крупногабаритных деталей) используют накладные катушки, прикладываемые к контролируемому объекту торцом. Для контроля тонкостенных деталей применяют катушки,

включенные экранным способом; контролируемую деталь помещают между передающей и приемной катушками. Важным фактором, определяющим чувствительность метода вихревых токов, является рабочая частота прибора (частота тока в испытательной катушке). От частоты тока также зависит возможность подавления влияния мешающих измерением параметров. Приемы, лежащие в основе независимого измерения двух влияющих параметров, связаны с раздельным измерением амплитуды и фазы напряжения. Например, при выявлении дефектов в прутках с помощью проходной катушки или в деталях сложной формы с помощью накладной катушки влияние изменений зазора исключают путем измерения лишь фазы напряжения. Для этого вторичные обмотки двух измерительной и компенсационной катушек электрически включают встречно. Результирующая электродвижущая сила компенсируется с помощью опорного напряжения. Взаимодействие катушки с металлом вызывает появление напряжения на выходе системы катушек датчика. В случае немагнитных металлов при наличии трещин и изменении электропроводности меняются амплитуда и фаза сигнала разбаланса, а при изменении зазора только амплитуда, фаза же остается неизменной. Фазочувствительные схемы можно настроить таким образом, что изменения амплитуды не будут сказываться на показаниях прибора. Способы компенсации используются также в схемах, работающих по методу «эллипса», «синусоиды», «световой точки» и др. В приемах, связанных с частичным подавлением влияния зазора, используется возможность выбора рабочей точки на резонансной кривой колебательного контура, элементом которого является испытательная катушка, таким образом, чтобы небольшое изменение зазора (в пределах 250 мк) не вызвало изменения напряжения на контуре или катушке контура. Это дает возможность контролировать качество термической обработки, химический состав, структурное состояние поверхностных слоев металла, а также измерять диаметр проволоки и прутков. Метод накладной катушки применяют для выявления наличия несплошностей, измерения электропроводности (удельного сопротивления) и контроля свойств, связанных с электропроводностью, для измерения толщины листов и стенок труб, толщины и качества защитных термохимических, лакокрасочных и гальванических покрытий. Этим методом также обнаруживают трещины, включения, скопления плен и других несплошностей, ориентированных в плоскости, перпендикулярной поверхности контролируемой детали. Протяженность обнаруживаемых электроиндуктивным методом трещин приблизительно равна половине диаметра испытательной катушки. Диаметр испытательных катушек зависит от частоты рабочего тока (для некоторых приборов он равен 3—4 мм). Метод вихревых токов позволяет обнаруживать подповерхностные трещины под слоем металла толщиной до 0,8—1 мм, а также под

слоем лаков, красок и других неэлектропроводных покрытий. Электроиндуктивные толщиномеры позволяют определять толщину покрытий на металлическом основании.

Этим методом успешно контролируют толщину тонкостенных деталей.

### **Метод электросопротивления**

Метод электросопротивления основан на прохождении тока через контролируемую деталь и измерении сопротивления или напряжения на контролируемом участке. Наиболее эффективен этот метод при измерении толщины стенок пустотелых деталей с электропроводностью ниже  $3,5 \text{ м/ом} \cdot \text{мм}^2$ , а также для контроля нарушений сплошности лакокрасочных и других покрытий, нанесенных на металлическую основу.

### **Метод ТЭДС**

Метод ТЭДС основан на измерении термоэлектродвижущей силы, возникающей в результате нагрева контролируемого участка детали в сравнении с ТЭДС эталонного образца. Этот метод применяется для разбраковки деталей по маркам сплава, для контроля качества термической обработки и для контроля химического состава некоторых сплавов.

---



## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие . . . . .	3
Принятые обозначения механических и физических свойств сталей и сплавов . . . . .	5
<b>Глава I. Стали</b>	
<b>Коррозионностойкие деформируемые стали . . . . .</b>	<b>36</b>
Хромистая сталь 0X13 (ЭИ496) . . . . .	36
Хромистая сталь 1X13 (ЭЖ1) . . . . .	38
Хромистая сталь 2X13 (ЭЖ2) . . . . .	41
Хромистая сталь высокой твердости 3X13 (ЭЖ3) . . . . .	45
Хромистая сталь 4X13 (ЭЖ4) . . . . .	48
Хромистая сталь высокой твердости 9X18 (X18, ЭИ229) . . . . .	51
Хромоникельвольфрамовая азотируемая сталь 25X18H8B2 (ЭИ946) . . . . .	53
Хромоникельалюминиевая сталь X15H9Ю (СН-2, ЭИ904) . . . . .	56
Хромоникельмолибденовая сталь X17H5M3 (СН-3, ЭИ925) . . . . .	63
Хромоникелевая сталь X16H6 (СН-2А, ЭП288) . . . . .	70
Хромоникельалюминиевая сталь X15H7ЮМ2 (СН-4, ЭП35) . . . . .	74
Хромомарганцевоникелевая сталь с азотом X17Г9АН4 (ЭИ878) . . . . .	78
Хромомарганцевоникелевая сталь X14Г14Н3Т (ЭИ711) . . . . .	83
Хромоникелевая сталь 0X18H10 (0X18H9, ЭЯ0) . . . . .	85
Хромоникелевая сталь X18H9 (1X18H9, ЭЯ1) . . . . .	87
Хромоникелевая сталь 2X18H9 (ЭЯ2) . . . . .	92
Хромоникелевые стали X18H10Т и X18H9Т (1X18H9Т, ЭЯ1Т) . . . . .	95
Хромоникелевая сталь 0X18H12Б (X18H11Б, ЭИ402) . . . . .	100
Хромоникельмолибденовая сталь X18H12M2 (ЭИ401) . . . . .	103
Хромоникельмарганцовистая сталь 2X13H4Г9 (X13H4Г9, ЭИ100) . . . . .	106
Высокохромистая сталь X28АН (ЭИ657) . . . . .	110
Хромоникельмолибденонедистая сталь с титаном X20H6МД2Т (ЭП309, ВНС-4) . . . . .	113
Хромоникельтитанистая сталь с медью X15H5Д2Т (ЭП225, ВНС-2) . . . . .	118
Хромоникельтитанистая сталь с медью X15H5Д2Т (ЭП410, ВНС-2) . . . . .	122
Хромоникелевая сталь 1X21H5Т (ЭИ811) . . . . .	127
Сталь ЭИ654 . . . . .	130
Сталь ЭИ759 . . . . .	134
Сталь ВНС-3 (ЭП492) . . . . .	136
Износостойкая сталь ВНС-7 . . . . .	138
<b>Коррозионностойкие литейные стали . . . . .</b>	<b>139</b>
Стали ЭИ654Л и ЭИ654ЛК . . . . .	139
Хромоникельмолибденовая сталь с медью X24H8МД2ЗЛ (ВКЛ-1) . . . . .	141
<b>Жаростойкие (окалиностойкие) деформируемые стали . . . . .</b>	<b>144</b>
Хромоникелькремнистая сталь 4X10С2М (X10С2М, ЭИ107) . . . . .	144
Хромоникелькремнистая сталь 3X13H7С2 (X13H7С2, ЭИ72) . . . . .	148
Хромоникелевая сталь X23H13 (ЭИ319) . . . . .	150

	Стр.
Хромоникелевая сталь Х23Н18 (ЭИ417) . . . . .	152
Хромоникелевая сталь ХН38ВТ (ЭИ703) . . . . .	155
Хромоникельмарганцовистая сталь с азотом Х25Н16Г7АР (ЭИ835) . . . . .	163
Хромоникелевая сталь ЭП126 (ВЖ100) . . . . .	166
<b>Жаростойкие (окалиностойкие) литейные стали . . . . .</b>	<b>176</b>
Хромоникелевая сталь Х25Н20С2 (25-20Л) . . . . .	176
Хромоникелевая сталь ВНЛ-1 (СН-2АЛ) . . . . .	179
Хромоникельвольфрамовая сталь 21-11-2,5 . . . . .	182
<b>Жаропрочные деформируемые стали . . . . .</b>	<b>185</b>
Хромистая сталь 1Х17Н2 (ЭИ268) . . . . .	185
Хромистая сталь 13Х14НВФРА (ЭИ736) . . . . .	190
Хромистая сталь 1Х12Н2ВМФ (ЭИ961) . . . . .	199
Хромистая сталь 10Х12НВМФА (ЭИ962) . . . . .	209
Хромистая сталь 1Х12НВМФА (ЭИ962А) . . . . .	213
Хромистая сталь (прутки, поковки) 23Х13НВМФА (ЭП65) . . . . .	215
Хромистая сталь (листы) 23Х13НВФМА (ЭП65) . . . . .	222
Хромистая сталь ЭП311 (ВНС-6) . . . . .	224
Хромоникельмолибденовая сталь ЭП310 (ВНС-5) . . . . .	232
Хромоникельвольфрамовая сталь 4Х14Н14В2М (ЭИ69) . . . . .	236
Хромоникелевая сталь Х14Н14СВ2М (ЭИ240) . . . . .	239
Хромоникельмолибденовая сталь ЭИ395 (16-25-6) . . . . .	241
Хромомарганцевоникелевая сталь 4Х15Н7Г7Ф2МС (ЭИ388) . . . . .	247
Хромоникельмарганцовистая сталь 4Х12Н8Г8МФБ (ЭИ481) . . . . .	254
Хромомарганцевоникелевая сталь ЭИ734 . . . . .	263
Хромоникелевая сталь Х12Н20ТЗР (ЭИ696) . . . . .	268
Хромоникелевая сталь Х12Н22ТЗМР (ЭП33, ЭИ696М) . . . . .	279
Хромоникелевая сталь (прутки, поковки) ЭИ696А . . . . .	294
Хромоникелевая сталь (листы) ЭИ696А . . . . .	297
Хромоникелевая сталь ХН35ВТЮ (ЭИ787) . . . . .	304
Хромоникелевая сталь ЭП105. (ЭП203) . . . . .	310
Хромоникельвольфрамовая сталь Х15Н30ВМГ (ЭП437, ВЖ102) . . . . .	315
<b>Жаропрочные литейные стали . . . . .</b>	<b>321</b>
Хромоникелевая сталь 268Л (ЭИ268Л) . . . . .	321
Хромоникелевая сталь 513Л (ЭИ736Л) . . . . .	324
Хромоникелевая сталь ЭИ961Л . . . . .	329
Хромоникелевая сталь ВЖЛ10 . . . . .	332
Хромоникелевая сталь ЭИ696МЛ . . . . .	338

## Глава II. Сплавы

<b>Жаростойкие (окалиностойкие) деформируемые сплавы . . . . .</b>	<b>341</b>
Сплав на никелевой основе ХН78Т (Х20Н80Т, ЭИ 435) . . . . .	341
Сплав на никелевой основе ХН75МБТЮ (ЭИ6 <sup>с</sup> 2) . . . . .	351
Сплав на никелевой основе ХН70Ю (ЭИ652) . . . . .	360
Сплав на никелевой основе ХН60В (ЭИ868, ВЖ98) . . . . .	363
<b>Жаропрочные деформируемые сплавы . . . . .</b>	<b>371</b>
Сплав на никелевой основе ХН77ТЮР (ЭИ437Б) . . . . .	371
Сплав на никелевой основе ЭИ437БУ . . . . .	383
Сплав на никелевой основе ХН77ТЮ (ЭИ437А) . . . . .	389
Сплав на никелевой основе ХН70МВТЮБ (ЭИ598) . . . . .	394
Сплав на никелевой основе ХН70ВМТЮ (ЭИ617) . . . . .	401
Сплав на никелевой основе ЭИ766 . . . . .	410
Сплав на никелевой основе ХН73МБТЮ (ЭИ698) . . . . .	414
Сплав на никелевой основе ЭИ826 . . . . .	419
Сплав на никелевой основе ЭИ867 . . . . .	427

	Стр.
Сплав на никелевой основе ЭП109 (ЭИ867А) . . . . .	438
Сплав на никелевой основе ЭП238 . . . . .	447
Сплав на никелевой основе ЭИ929 . . . . .	455
Сплав на никелевой основе ЭП57 . . . . .	466
Сплав на никелевой основе ЭП220 . . . . .	472
Сплав на никелевой основе ЖС6-КП . . . . .	480
Сплав на никелевой основе ЭИ894 . . . . .	488
Сплав на никелевой основе ЭП99 . . . . .	499
Сплав на никелевой основе ЭП199 (ВЖ101) . . . . .	508
Жаропрочные литейные сплавы . . . . .	512
Сплав на железной основе ВЛ7-20 . . . . .	512
Хромоникелевый сплав ХНВЛ (ВЛ7-45У) . . . . .	515
Сплав на никелевой основе ЖС6 . . . . .	518
Сплав на никелевой основе ЖС6-К . . . . .	525
Сплав на никелевой основе ЖС6-КП . . . . .	533
Сплав на никелевой основе ЖС3 (ЭИ618) . . . . .	539
Сплавы на никелевой основе ЖС3-Д и ЖС3-ДК . . . . .	544
Сплав на никелевой основе АНВ-300 . . . . .	557
Сплав на никелевой основе ЭИ857 (Л-114) . . . . .	560
Сплав на никелевой основе ВЖ36-Л1 . . . . .	562
Сплав на никелевой основе ВЖ36-Л2 . . . . .	568
Сплав на железохромоникелевой основе ВЖ36-Л3 . . . . .	574
Сплав на никелевой основе ВЖЛ8 . . . . .	577
Сплав на кобальтовой основе ЛК4 . . . . .	580
Сплавы для наплавки клапанов . . . . .	582
Стеллит ВХН1 . . . . .	582
Стеллит В2Ж . . . . .	583
Стеллит В3К . . . . .	584
Сплавы на основе тугоплавких металлов . . . . .	585
Вольфрамовый сплав ВВ-2 . . . . .	588
Молибденовый сплав ВМ-1 . . . . .	590
Молибденовый сплав ВМ-2 . . . . .	596
Молибденовый сплав ВМ-3 . . . . .	598
Ниобиевый сплав ВН-2 . . . . .	601
Ниобиевый сплав ВН-2А . . . . .	606
Ниобиевый сплав ВН-3 . . . . .	610
Хромовые сплавы ВХ-1 и ВХ-1Н . . . . .	613
<b>Глава III. Неразрушающие методы контроля (дефектоскопия) металлов</b> . . . . .	<b>619</b>

## СПРАВОЧНИК ПО АВИАЦИОННЫМ МАТЕРИАЛАМ

*Коррозионностойкие и жаропрочные  
стали и сплавы. Том III*

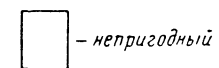
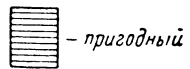
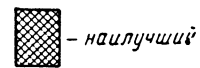
Редакторы *Т. М. Кунывская* и *З. И. Бражникова*      Техн. ред. *В. И. Орешкина*

Т-05502      Подписано в печать 6/IV 1965 г.      Учетно-изд. л. 30,96  
 Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>=20,06 бум. л.—40,13 печ. л в т. ч. 1 вкл.  
 Цена 1 р. 75 к.      Заказ 1525/5607

Московская типография № 26 Главполиграфпрома  
 Государственного комитета Совета Министров СССР по печати  
 Ул. Чернышевского, 9

# Неразрушающие методы контроля металлов

Методы	Л и т ь е								Л и с т ы, п л и т ы				П р о в о л о к а, п р у т к и, т р у б ы				П о к о в к и, ш т а м п о в к и						С в а р к а						С кле й к а, п а с т а, т е р м о - д и ф ф у з с о е д и н е н и я		Т е р м и ч е с к а я о б р а б о т к а			М е т а л л и ч е с к а я о б р а б о т к а, с л о й н ы е п л а т ы		П о к р ы т и я			Э к с п л у а т а ц и я									
	Отклонение от заданного химического состава	Очистка, пленки	Ликвация	Включения	Усадочные раковины	Трещины	Неслитины	Пористость, рыхлота	Смещение стержня	Закаты, риски	Трещины	Расслоения	Включения	Толщина	Закаты, риски	Трещины	Воловочки	Включения	Толщина стенок трубы	Закаты	Включения	Внутренние разрывы, расслоения	Флокены	Трещины, раковины	Толщина стенок пустотелых деталей	Грубозернистость в окрестной зоне	Трещины	Шлифовые включения	Непрорабы	Раковины, поры	Зоны нарушения сцепления (непокрытия, непровары)	Прочность соединения	Закалочные трещины	Неадекватность заданной структуре	Перегрев, пережог	Толщина термического и термомеханического слоя	Трещины	Толщина слоя		Нарушение сплошности	Нарушение сцепления	Нарушение сплошности	Расслоения	Толщина слоя	Усталостные и термические трещины	Коррозионные поражения, утонения		
Рентгено- и гамма-дефектоскопия	1				1				1																1																			1				
Ультразвуковые	Эхо-метод 8																																															
	Теневой 8																																															
	Резонансный 8																																															
	Импедансный 8																																															
Капиллярные (цветной, люминесцентный) 3																																																
Электроиндуктивный (вихревых токов) 6	6				3	3/6			3/6	6	6	5/6	3	5/6	3/6	5/6	6	3/6	5/6	6	3/6	5/6	6	3/6	5/6	6																				6		
Магнитные	Порошковый 2																																															
	3																																															
	Феррозондовый								2		6	2	2										2	6																								
	Магнитографический 2																																															
	Измерения В, Н, коэр. μ 2																																															
Отрывной, электромагнитный													2										2													2												
Электросопротивления (контактный) 5													5										5																									
Электростатический (порошковый) 7																																																
Радиометрические (с применением радиоактивных изотопов)																																																
ТЗДС																																																



Фиг. 1.

