

520.1:629.7

Для служебного пользования

Экз. № 1722

АВИАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СПРАВОЧНИК В ДЕВЯТИ ТОМАХ

(ИЗДАНИЕ 6-е, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ)

Под общей редакцией
Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР
чл.-корр. АН СССР
А. Т. ТУМАНОВА

МОСКВА

АВИАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Том 5

МАГНИЕВЫЕ И ТИТАНОВЫЕ
СПЛАВЫ

Научные редакторы тома
докт. техн. наук М. Б. Альтман,
докт. техн. наук С. Г. Глазунов,
докт. техн. наук С. И. Кишкина

ОНТИ — 1973

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
Принятые обозначения механических и физических свойств металлов и сплавов.....	7
Глава 1. МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ	
<i>Деформируемые сплавы</i>	19
Сплав средней прочности МА1.....	21
Сплав средней прочности МА8.....	31
Сплав средней прочности МА2.....	54
Сплавы средней прочности МА2-1 и МА2-1 п.ч.....	67
Сплав средней прочности МА20 (ВМД8).....	81
Высокопрочный сплав МА5.....	93
Высокопрочный сплав МА14 (ВМ65-1).....	99
Высокопрочный сплав МА15 (ВМД3).....	111
Высокопрочный сплав МА19 (ВМД6).....	127
Жаропрочный сплав МА11.....	135
Жаропрочный сплав МА12.....	149
Сплав пониженной плотности МА18 (ВМД5).....	164
<i>Литейные сплавы</i>	171
Высокопрочные сплавы МЛ4, МЛ4 п.ч.....	179
Высокопрочные сплавы МЛ5, МЛ5 п.ч.....	184
Высокопрочный сплав МЛ6.....	201
Высокопрочный сплав МЛ8.....	210
Высокопрочный сплав МЛ12.....	217
Высокопрочный сплав МЛ15.....	229
Высокопрочный сплав ВМЛ5.....	242
Высокопрочный сплав ВМЛ6.....	251
Высокопрочный коррозионностойкий сплав ВМЛ9.....	258
Сплав средней прочности МЛ7-1.....	268
Жаропрочный сплав МЛ9.....	282
Жаропрочный сплав МЛ10.....	296
Жаропрочный сплав МЛ11.....	317

Жаропрочный сплав ВМЛ7.....	332
-----------------------------	-----

Глава 2. ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ

<i>Деформируемые сплавы</i>	346
Технический титан ВТ1-00.....	346
Технический титан ВТ1-0.....	351
Сплав повышенной пластичности ОТ4-0.....	359
Сплав повышенной пластичности ОТ4-1.....	365
Сплав средней прочности ОТ4.....	374
Сплав средней прочности ВТ4.....	385
Сплав средней прочности ВТ5.....	391
Сплавы средней прочности ВТ5-1, ВТ5-1К.....	396
Сплав средней прочности ВТ6С.....	410
Сплав средней прочности ВТ6.....	420
Сплав средней прочности ВТ20.....	428
Высокопрочный сплав ВТ14.....	443
Высокопрочный сплав ВТ15.....	457
Высокопрочный сплав ВТ16.....	462
Высокопрочный сплав ВТ22.....	469
Высокопрочный сплав ВТ23.....	483
Жаропрочный сплав ВТ3-1.....	490
Жаропрочный сплав ВТ8.....	514
Жаропрочный сплав ВТ9.....	530
Жаропрочный сплав ВТ18.....	544
Жаропрочный сплав ВТ25.....	552
<i>Литейные сплавы</i>	559
Литейный сплав ВТ5Л.....	559
Литейный сплав ВТ3-1Л.....	563
Литейный сплав ВТ6Л.....	566
Литейный сплав ВТ9Л.....	569
Литейный сплав ВТ14Л.....	573
Литейный сплав ВТ20Л.....	576
Литейный сплав ВТ21Л.....	580

В 5-м томе справочника приведены основные характеристики деформируемых и литейных сплавов на основе магния и титана.

Указаны механические свойства при комнатной, высоких и низких температурах, физические свойства, коррозионная стойкость, технологические особенности и области применения материалов.

Справочник предназначен для инженерно-технических и научных работников ОКБ, заводов и научно-исследовательских институтов.

Редакторы тома: *Н. А. Давыдова, М. С. Лаговская*

© ОТДЕЛ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ВСЕСОЮЗНОГО ОРДЕНА ЛЕНИНА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ВИАМ), 1973 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

За период времени после выхода в свет пятого издания справочника был разработан ряд новых материалов на основе магния и титана.

В пятом томе шестого издания, наряду с известными магниевыми и титановыми сплавами, характеристики которых расширены и уточнены, включены также новые марки высокопрочных и жаропрочных магниевых и титановых сплавов. К ним относятся высокопрочные магниевые литейные сплавы ВМЛ5 и ВМЛ6, жаропрочный литейный сплав ВМЛ7, литейный сплав ВМЛ9 с повышенной коррозионной стойкостью, деформируемый высокопрочный сплав МА19, жаропрочный сплав МА12, сплав средней прочности ВМД8, отличающийся повышенными пластическими свойствами и сплав с пониженной плотностью МА18 (ВМД5).

Приводятся также сведения о титановых сплавах: высокопрочном ВТ23 и жаропрочном ВТ25. Особое внимание уделено длительному ресурсу работы титановых сплавов. Приводятся пределы ползучести и длительной прочности, а также прочности при кратковременном нагружении. В частности, это относится к тем титановым сплавам, применение которых резко возросло в связи с запуском в производство таких самолетов, как ТУ-144, ИЛ-76 и др., где титановые сплавы во многих случаях служат заменителями стали.

По всем материалам приводятся минимальные свойства, гарантируемые ГОСТами и ОСТАми. Для жаропрочных сплавов значения пределов ползучести, длительной прочности и кратковременной прочности при высоких температурах также гарантируются. Практически для всех сплавов указываются типичные свойства при комнатной температуре, определенные в результате специальных исследований и обработки статистических данных заводов.

Справочник содержит данные о механических свойствах при растяжении, сжатии, кручении, срезе, сопротивлении ползучести, пределах длительной прочности, выносливости. Наряду с механи-

ческими свойствами приводятся характеристики физических свойств и коррозионной стойкости, а также технологические особенности сплавов и области их применения.

Том пятый справочника подготовил коллектив авторов: Антипова А. П., Бабкин В. М., Беренсон В. Ф., Бляблин А. А., Блохина В. А., Борисова Е. А., Бодрова Р. М., Булыгин И. П., Буртаков С. В., Груздева Л. А., Данилов Ю. С., Емельянова О. В., Елифанова О. С., Ершова Т. И., Жуков С. Л., Знаменская Е. В., Зюков-Батырев Г. Д., Кадобнова Н. В., Казаков А. А., Качановская Л. Т., Ковалева З. Н., Кокошвили А. Н., Крымов В. В., Кузьмичев М. Д., Кураева В. П., Кутайцева А. И., Лебедев А. А., Лужников Л. П., Любимова С. С., Мареев А. П., Матвеев А. Ф., Михеева О. Н., Моисеев В. Н., Никишов О. А., Никулова В. Ф., Новикова В. М., Панарьина Т. К., Плеханова Н. Г., Пономарев А. П., Простов И. А., Ратнер Я. Л., Родионов В. Л., Свиридова М. Ф., Смирнова Е. И., Соколов К. И., Солонина О. П., Тарасенко Г. Н., Терентьева Л. Н., Тимонова М. А., Тихова Н. М., Тихонова В. В., Федорова В. К., Хорев А. И., Хромов А. М., Чиркова Е. Ф., Шохолова Л. В., Шпагин Б. В., Чемезинова Т. П., Ясинский К. К.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

механических и физических свойств металлов и сплавов

Наименование свойств	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Модуль нормальной упругости при растяжении, определенный статическим методом	E	кгс/мм ²	1 кгс/мм ² ≈ ≈ 9,8 · 10 ⁶ н/м ²
Модуль нормальной упругости при сжатии, определенный статическим методом	$E_{сж}$	кгс/мм ²	
Модуль нормальной упругости, определенный динамическим методом	E_d	кгс/мм ²	
Номинальный модуль упругости при смятии *	$E_{см}$	кгс/мм ²	
Модуль касательной упругости (модуль сдвига)	G	кгс/мм ²	
Коэффициент Пуассона	μ	—	
Предел пропорциональности при растяжении	$\sigma_{пц}$	кгс/мм ²	
Предел текучести условный при растяжении (остаточная деформация 0,2%)	$\sigma_{0,2}$	кгс/мм ²	
Предел прочности при растяжении	σ_b	кгс/мм ²	
Предел прочности при растяжении образца с надрезом **	σ_b^H	кгс/мм ²	
Предел упругости	σ_e	кгс/мм ²	
Предел прочности при растяжении при температуре ***	σ_b^t	кгс/мм ²	

* Определение характеристик при смятии производилось на образцах с отношением $b/d=4$, где b — ширина образца; d — диаметр сминаемого отверстия.

** Надрез круговой радиусом 0,75 мм.

*** Если нет оговорки, то предел прочности при высоких температурах определялся после 30-минутной выдержки при заданной температуре.

Продолжение

Наименование свойств	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Предел пропорциональности при сжатии *	$\sigma_{пц. сж}$	кгс/мм ²	1 кгс/мм ² ≈ ≈ 9,8 · 10 ⁶ н/м ²
Предел текучести условный при сжатии (остаточная деформация 0,2%)	$\sigma_{0,2 сж}$	кгс/мм ²	
Предел прочности при сжатии **	$\sigma_{в сж}$	кгс/мм ²	
Предел пропорциональности при смятии ***	$\sigma_{пц. см}$	кгс/мм ²	
Предел текучести условный при смятии *** (остаточная деформация 0,2%)	$\sigma_{0,2 см}$	кгс/мм ²	
Предел прочности при смятии ***	$\sigma_{в см}$	кгс/мм ²	
Максимальное напряжение при испытании на малоцикловую усталость асимметричным растяжением	σ_{max}	кгс/мм ²	
Минимальное напряжение при испытании на малоцикловую усталость асимметричным растяжением	σ_{min}	кгс/мм ²	
Критическое напряжение при потере общей устойчивости	$\sigma_{кр}$	кгс/мм ²	
Предел пропорциональности при кручении ****	$\tau_{пц}$	кгс/мм ²	

* Определялся на образцах с отношением $h/d=3$ ($d=20$ мм).

** Определялся на образцах с отношением $h/d=1,5$ ($d=15$ мм).

*** Определение характеристик при смятии производилось на образцах с соотношением $b/d=4$, где b — ширина образца; d — диаметр сминаемого отверстия.

**** Величины $\tau_{пц}$ и $\tau_{0,3}$ определяются по формулам

$$\tau_{пц} = \frac{M_{пц}}{\pi d^3 / 16}; \quad \tau_{0,3} = \frac{M_{0,3}}{\pi d^3 / 16}$$

Продолжение

Наименование свойств	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Предел текучести условный при кручении * (остаточная деформация сдвига 0,3%)	$\tau_{0,3}$	кгс/мм ²	1 кгс/мм ² ≈ ≈ 9,8 · 10 ⁶ н/м ²
Предел прочности при кручении **	$\tau_{п}$	кгс/мм ²	
Сопротивление срезу	$\tau_{ср}$	кгс/мм ²	
Сопротивление разрушению при отрыве	$\tau_{отр}$	кгс/мм ²	
Сопротивление разрушению при растяжении	S_R	кгс/мм ²	
Сопротивление разрушению при сжатии ***	$S_{R сж}$	кгс/мм ²	
Относительное удлинение после разрыва:			
на длине $l_0=5 d_0, l_0=10 d_0$	$\delta_5; \delta_{10}$	%	
на длине $l_0=5,65\sqrt{F_0}, l_0=11,3\sqrt{F}$	$\delta_{5,65\sqrt{F_0}}$ $\delta_{11,3\sqrt{F_0}}$	%	
Относительное укорочение при сжатии ***	Δ	%	
Относительное сужение после разрыва	ψ	%	
Равномерное сужение	$\psi_{п}$	%	
Истинное сужение или укорочение	e	%	
Относительный сдвиг при кручении	γ_{max}	%	
Угол закручивания при разрушении (на длине 100 мм)	φ	град	
Гибкость ****	λ	—	

* См. сноску **** на стр. 7.

** Величина $\tau_{п}$ определяется по формуле $\tau_{п} = \frac{M_{max}}{\pi d^3 / 16}$.

*** Определялось на образцах с отношением $h/d=1,5$ ($d=15$ мм).

**** $\lambda = \frac{l}{i}$ где l — длина образца в см; i — радиус инерции в см.

Продолжение

Наименование свойств	Обозначение	Единица измерения	Перевод в единицы СИ
Твердость по Роквеллу при вдавлении алмазного конуса с углом при вершине 136° под нагрузкой 150 кг	HRC	—	—
Твердость по Роквеллу при вдавлении шарика $d=1,588$ мм ($1/16$ дюйма) под нагрузкой 100 кг	HRB	—	—
Твердость по Бринелю (шарик $d=10$ мм, нагрузка P для мягких алюминиевых и магниевых сплавов 500 кг, для прочных алюминиевых и магниевых сплавов 1000 кг, для титановых сплавов 3000 кг)	HB	кгс/мм ²	$1 \text{ кгс/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Твердость по Виккерсу	HV	кгс/мм ²	$1 \text{ кгс/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Удельная ударная вязкость при изгибе образца размером 10×10×55 с полукруглым надрезом глубиной 2 мм и радиусом 1 мм	a_n	кгс·м/см ²	$1 \text{ кгс·м/см}^2 \approx 9,8 \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^2$
Удельная работа разрушения при ударном изгибе образца с трещиной	$a_{т.у}$	кгс·м/см ²	$1 \text{ кгс·м/см}^2 \approx 9,8 \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^2$
Число циклов до разрушения образца при испытании на малоцикловую усталость	N	цикл	—
Предел выносливости при изгибе при симметричном цикле	σ_{-1}	кгс/мм ²	$1 \text{ кгс/мм}^2 \approx 9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$
Предел выносливости при кручении	τ_{-1}	кгс/мм ²	
Предел ползучести при высоких температурах (напряжение, вызывающее деформацию 0,2% за 100 час)	$\sigma_{0,2/100}$	кгс/мм ²	
Предел длительной прочности при высоких температурах (напряжение, которое доводит образец до разрушения, за определенное число часов: 100, 300 и т. д.)	$\sigma_{100}, \sigma_{300}$	кгс/мм ²	
Теоретический коэффициент концентрации напряжений	α_k	—	—

Продолжение

Наименование свойств	Обозначение	Единица измерения*	Перевод в единицы СИ
Плотность	d	кг/м ³	
Коэффициент термического линейного расширения	α	1/град	
Коэффициент теплопроводности	λ	вт/м·град	
Удельная теплоемкость	c	кдж/кг·град	
Удельное электросопротивление	ρ	ом·см	
Удельная электропроводность (в процентах от электропроводности меди)	K	%	
Степень черноты полного нормального излучения	$\varepsilon_{н}$	—	

* Размерность физических свойств представлена в единицах СИ.

Глава I

МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Основными преимуществами магниевых сплавов как конструкционного материала являются малая плотность, высокая способность поглощения энергии удара и вибрационных колебаний. Положительным свойством магниевых сплавов является также их высокая удельная теплоемкость. Температура поверхности деталей из магниевых сплавов при одинаковом количестве поглощенного тепла в два раза ниже по сравнению с температурой поверхности деталей из малоуглеродистой стали и на 15—20% ниже, чем у деталей из алюминиевых сплавов одинаковой массы. Важным технологическим свойством магниевых сплавов является их отличная обрабатываемость резанием.

К недостаткам магниевых сплавов относится их пониженная коррозионная стойкость. Однако при надлежащей защите детали и изделия из магниевых сплавов могут надежно работать во всех климатических условиях, а также в контакте с минеральными маслами, керосином, бензином, в щелочных средах, жидком и газообразном безводном кислороде и других не агрессивных по отношению к магнию средах. Значительное снижение коррозионной стойкости изделий из магниевых сплавов может быть вызвано попаданием в отливки или слитки хлористых флюсовых включений. Поэтому при литье слитков и отливок необходимо строго соблюдать рекомендуемые для каждого сплава технологию плавки, рецептуру и порядок приготовления соответствующих флюсов.

Магниевые сплавы не рекомендуется использовать в следующих случаях:

- а) без специальной обработки поверхности, определяемой условиями эксплуатации;
- б) в морской воде, среде кислот, их растворов и паров и в других агрессивных по отношению к магнию средах;

в) в местах скопления конденсата, не имеющих дренажных отверстий;

г) для силовых деталей, расположенных в местах, недоступных периодическому осмотру;

д) для деталей, подвергающихся в процессе эксплуатации эрозии, нарушающей слой коррозионной защиты.

Для эффективного применения магниевых сплавов необходимо строгое соблюдение хорошо известных принципов конструирования и ограничений, определяемых пониженной коррозионной стойкостью магния, а также знание особенностей его физических и механических свойств по сравнению со свойствами других конструкционных металлов.

Сравнительные данные по скорости коррозии различных магниевых сплавов приведены на рисунке.

Магниевые деформируемые сплавы можно разделить на четыре основные группы, а литейные — на три.

1. Сплавы средней прочности: деформируемые МА1, МА8, МА2, МА2-1, МА2-1п.ч., МА20 (ВМД8);

литейный МЛ7-1.

2. Сплавы высокой прочности:

деформируемые МА5, МА14, МА15 (ВМД3), МА19 (ВМД6); литейные МЛ4, МЛ4п.ч., МЛ5, МЛ5п.ч., МЛ6, МЛ8, МЛ12, МЛ15, ВМЛ5, ВМЛ6, ВМЛ9.

3. Жаропрочные сплавы:

деформируемые МА11, МА12; литейные МЛ9, МЛ10, МЛ11, ВМЛ7.

4. Сплавы пониженной плотности:

деформируемый МА18 (ВМД5).

По сравнительной коррозионной стойкости магниевые сплавы можно разделить на три основные группы:

1) повышенной коррозионной стойкости во всех климатических атмосферных условиях:

литейные сплавы МЛ4п.ч., МЛ5п.ч., ВМЛ9; деформируемые сплавы МА1, МА8;

2) удовлетворительной коррозионной стойкости во всех климатических атмосферных условиях:

литейные сплавы МЛ4, МЛ5, МЛ8, ВМЛ5, МЛ9, ВМЛ7, МЛ12, МЛ10, МЛ11, МЛ7-1;

деформируемые сплавы МА2, МА2-1, МА2-1п.ч., МА5, МА20 (ВМД8), МА12, МА15, МА19, МА14;

3) пониженной коррозионной стойкости во всех климатических атмосферных условиях:

литейный сплав ВМЛ6;

деформируемые сплавы МА11, МА18 (ВМД5).

По предельным рабочим температурам сплавы разделяются следующим образом:

1. Сплавы, применяемые длительно в условиях нагрева до 150°C и кратковременно — до 200—250°C:

деформируемые МА1, МА2, МА2-1, МА2-1 п. ч., МА5, МА15, МА19, МА20 (сплав МА14 рекомендуется применять при температурах до 125°C, а сплав МА18 — при комнатной и низких температурах);

литейные МЛ4, МЛ4п. ч., МЛ5, МЛ5п. ч., МЛ6, ВМЛ5, ВМЛ6, ВМЛ9, МЛ8.

2. Сплавы, применяемые длительно в условиях нагрева на 150—200°C и кратковременно — до 250°C:

деформируемый МА8;

литейные МЛ7-1, МЛ12, МЛ15. При этом сплав МЛ15 может применяться для деталей, работающих кратковременно (до 5 мин) в условиях нагрева до 350°C.

3. Сплавы, применяемые длительно в условиях нагрева до температур 200—300°C и кратковременно — до 300—400°C:

деформируемые МА11, МА12;

литейные МЛ9, МЛ10, МЛ11, ВМЛ7.

Литейные магниевые сплавы обладают хорошими технологическими свойствами. Из них можно изготавливать детали методом литья в песчаные (земляные), гипсовые и оболочковые формы, в кокиль, под давлением и по выплавляемым моделям. Для литья под давлением рекомендуются сплавы МЛ5, МЛ5п. ч., МЛ6 и МЛ7-1 (по ОСТ 1 90001—70 или АМТУ 554-69).

При плавке магниевых сплавов необходимо учитывать их некоторые специфические особенности. Вследствие большого сродства магния и кислорода, поверхность расплавленного металла необходимо защищать специальными флюсами.

Чтобы избежать горения металла при литье, в состав формовочных смесей вводят защитные присадки. По сравнению с алюминиевыми сплавами, магниевые сплавы обладают большей усадкой, имеют более низкую теплопроводность, малое гидростатическое давление, повышенную склонность к образованию горячих трещин, меньшую жидкотекучесть. Для получения качественных отливок литниковая система строится по принципу расширяющегося потока. Оптимальное соотношение размеров сечений стояка, коллектора и питателя равно в среднем 1:2:4. Заливка сплавов системы Mg—Al—Zn в формы в большинстве случаев осуществляется при 740—770°C, а сплавов системы Mg—Zr — при температуре на 10—20°C выше. Детали и узлы различных конструкций из деформируемых магниевых сплавов можно изготавливать обработкой резанием, соединением сваркой и клепкой, объемной и листовой штамповкой.

Технологическая пластичность деформируемых сплавов при комнатной температуре низкая, при высоких температурах (200—450°C) у большинства сплавов — высокая. Поэтому все операции обработки давлением, в том числе листовая штамповка, резка, гибка, вытяжка и др., — должны производиться со сплавами в нагретом состоянии. Температуру нагрева заготовок и инструмента устанавливают в зависимости от марки сплава и вида обработки. Листовую штамповку магниевых сплавов производят в соответствии с инструкцией ВИАМ № 965-70.

Полуфабрикаты из магниевых сплавов могут поставляться в состояниях после горячей обработки давлением без термической обработки и в термически обработанном состоянии.

Для различных видов термической обработки приняты следующие обозначения, которые указываются при клеймении полуфабрикатов или при отливке после марки сплава:

М — мягкий, отожженный после деформации.

Н — полунагартованный (низкотемпературный отжиг после деформации)

T1 — искусственно состаренный после деформации или из литого состояния.

T2 — отожженный, после литья.

T4 — закаленный (после деформации или после литья).

T6 — закаленный (на воздухе) и искусственно состаренный.

T61 — закаленный (в воде) и искусственно состаренный (после деформации или литья).

T8 — закаленный с последующей нагартовкой и искусственно состаренный.

При использовании магниевых сплавов в конструкциях необходимо иметь в виду следующие рекомендации.

1. При конструировании деталей и узлов избегать надразов и резких переходов сечений, а также образования карманов, пазов и различных полостей, в которых может скапливаться вода. Необходимо учитывать анизотропию механических свойств деформированных полуфабрикатов с тем, чтобы действие максимальных напряжений в деталях по возможности совпадало с направлением максимальных механических свойств полуфабрикатов.

2. При соединении деталей из магниевых сплавов с деталями из других металлов необходимо учитывать возможность контактной коррозии, а при соединении с неметаллическими материалами — агрессивность последних. Следует применять металлы и сплавы, вызывающие наименьшее усиление коррозии, и неагрессивные неметаллические материалы, указанные в соответствующих инструкциях ВИАМ.

3. При длительном хранении и транспортировке необходимо подвергать деформированные полуфабрикаты и отливки из магниевых

вых сплавов оксидированию и консервации. Детали и узлы из магниевых сплавов, работающие в атмосферных условиях, защищают от коррозии неметаллическими неорганическими покрытиями и лакокрасочными покрытиями, а в неагрессивных минеральных маслах — только неметаллическими неорганическими покрытиями. Выбор неорганических покрытий для защиты магниевых сплавов в синтетических маслах производят согласно справочнику.

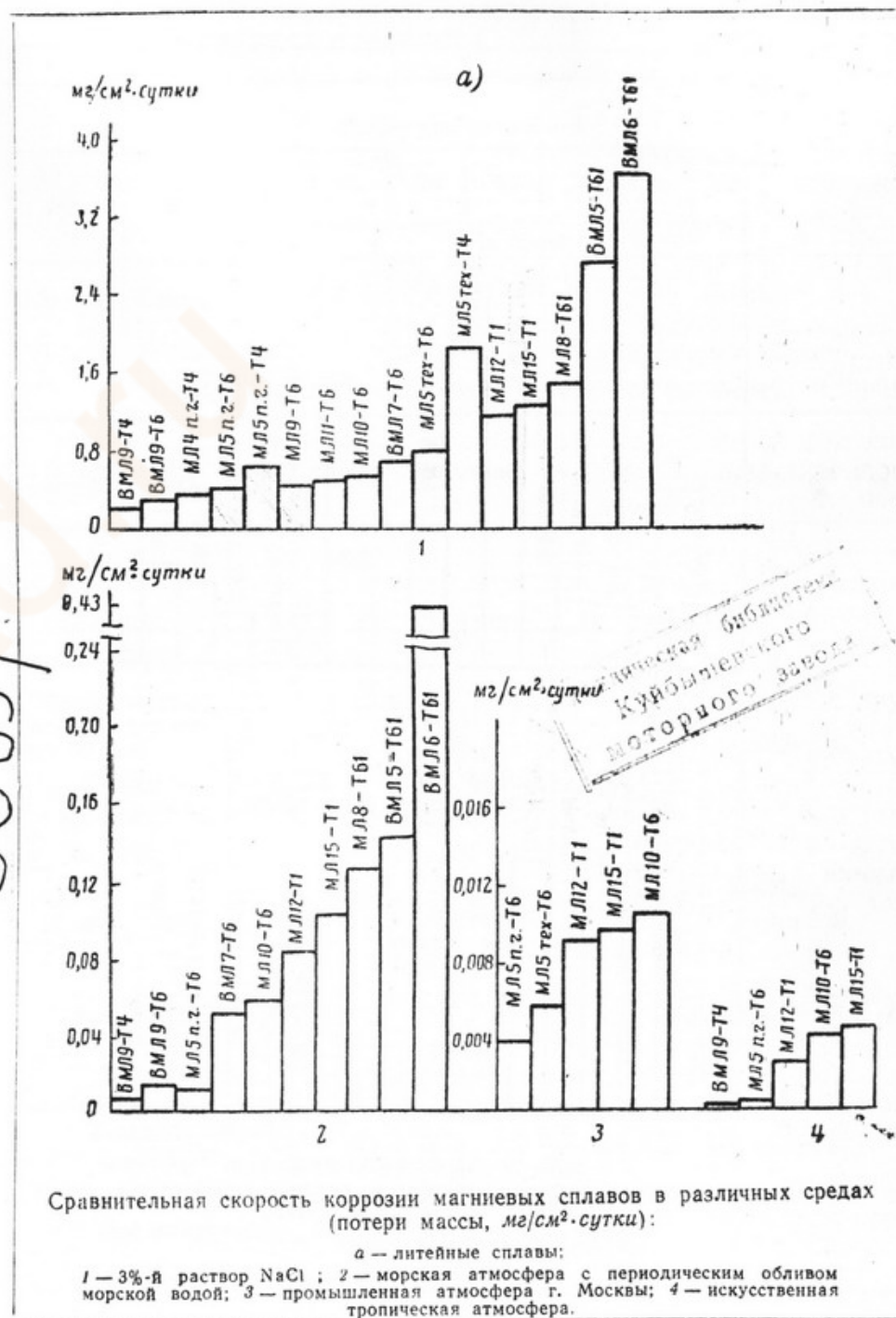
Места соединений деталей из магниевых сплавов как друг с другом, так и с деталями из других сплавов, необходимо подвергать усиленной защите грунтами, герметиками, смазками и другими покрытиями.

4. Некоторые деформируемые магниевые сплавы (МА5, МА2-1) подвержены коррозионному растрескиванию. Склонность сплавов к коррозионному растрескиванию показана в таблице. Для сплавов, имеющих значительную склонность к коррозионному растрескиванию, величина длительно действующих растягивающих напряжений должна ограничиваться.

Склонность деформируемых магниевых сплавов к коррозионному растрескиванию в промышленной атмосфере при напряжении 90% от $\sigma_{0,2}$

Марка сплава	Состояние	Склонность к коррозионному растрескиванию (время до растрескивания)
МА1	Отожженный (М)	Не склонен
МА8	То же	Не склонен
МА2-1	»	Склонен
МА2-1п. ч.	»	Склонен
МА12	Закаленный и искусственно состаренный (Т6)	Не склонен
МА15 (ВМД3)	Отожженный (М)	Незначительно склонен
МА18 (ВМД5)	То же	Не склонен
МА2	Без термической обработки	Склонен
МА2-1	То же	Склонен
МА5	»	Значительно склонен
МА5	Закаленный (Т4)	Склонен
МА14	Искусственно состаренный (Т1)	Незначительно склонен
МА11	Закаленный и искусственно состаренный (Т6)	Не склонен
МА12	То же	Не склонен
МА19	Без термической обработки	Незначительно склонен

5. Вся работа с магниевыми сплавами должна производиться в соответствии с требованиями техники безопасности, утвержденными Президиумом ЦК профсоюза авиационной и оборонной промышленности 23 октября 1967 г. и введенными в действие циркулярным письмом от 25 января 1968 г. Министерством авиационной промышленности.



ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ

СПЛАВЫ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ

В эту группу входят малолегированные сплавы на основе системы Mg—Mn: МА1 и МА8, обладающие несколько повышенной коррозионной стойкостью и не склонные к коррозии под напряжением.

К этой группе относятся также сплавы системы Mg—Al—Zn—Mn: МА2, МА2-1, МА2-1п.ч., и сплав МА20 (ВМД8) системы Mg—Zn—Ce—Zr.

Сплавы МА1 и МА8 различаются между собой по механическим свойствам; сплав МА8 более прочен, но общий уровень его механических свойств при комнатной температуре несколько ниже, чем у сплавов системы Mg—Al—Zn—Mn.

Сплавы МА1 и МА8 обладают хорошей пластичностью, из них можно изготавливать деформированные полуфабрикаты всех видов. Термической обработкой они не упрочняются, удовлетворительно свариваются аргоно-дуговой сваркой.

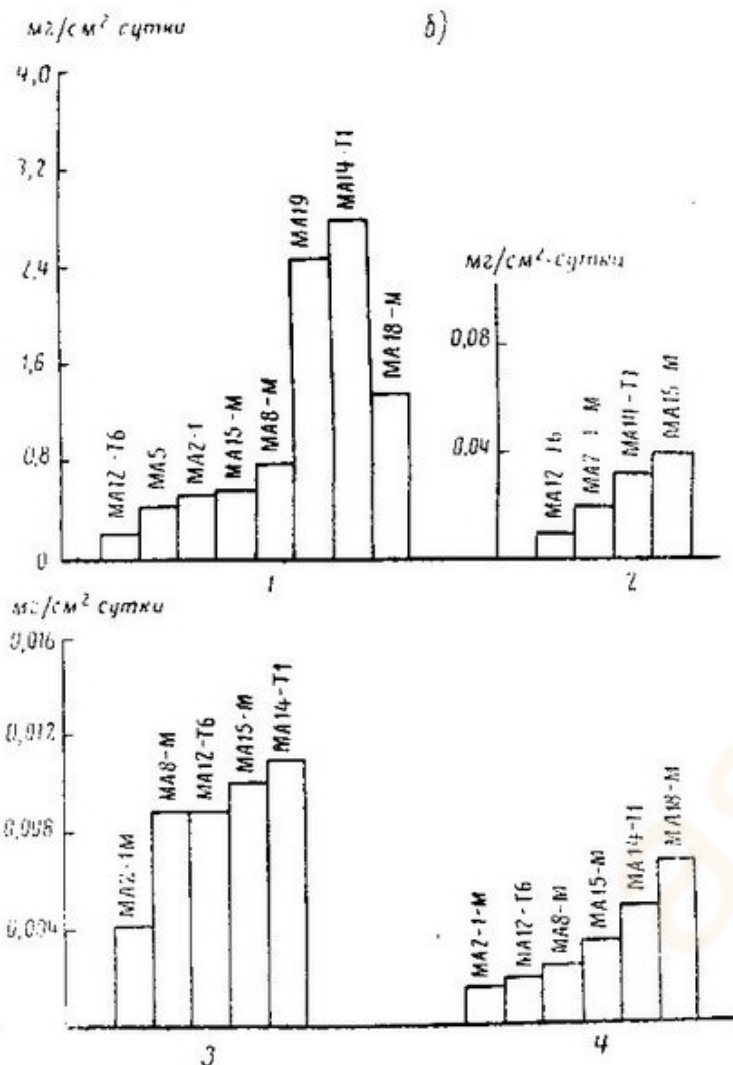
Наиболее целесообразно применение сплавов МА1 и МА8 для изготовления емкостей для бензина, масла и других не агрессивных по отношению к магнию жидкостей, деталей трубопроводов, а также различных деталей и сварных конструкций, подвергающихся умеренным нагрузкам.

Более высоким сопротивлением коррозии по сравнению с другими магниевыми сплавами обладает сплав МА1. Детали из этого сплава могут применяться для длительной работы при температурах до 150°C и для кратковременной — до 200°C.

Сплав МА8 имеет более высокие механические свойства и технологическую пластичность по сравнению со сплавом МА1, но уступает ему по свариваемости. Детали из сплава МА8 могут применяться для длительной работы при температурах до 200°C и для кратковременной — до 250°C.

Сплавы системы Mg—Al—Zn—Mn: МА2, МА2-1, МА2-1п.ч. сходны между собой по значениям механических свойств, несколько более высокие прочность и пластичность наблюдаются у сплавов МА2-1 и МА2-1п.ч. Из сплава МА2 изготавливают прессованные полуфабрикаты, поковки и штамповки, а из сплавов МА2-1 и МА2-1п.ч. — все виды полуфабрикатов. Термической обработкой эти сплавы не упрочняются. Они хорошо свариваются аргоно-дуговой и контактной сваркой.

Общая коррозионная стойкость сплавов системы Mg—Al—Zn—Mn повышенная, но они имеют некоторую склонность к коррозионному растрескиванию под напряжением, увеличивающуюся с повышением содержания алюминия.



Сравнительная скорость коррозии магниевых сплавов в различных средах (потери массы, мг/см²·сутки):

а — деформируемые сплавы.

Сплав МА2-1п.ч., благодаря повышенной чистоте, по коррозионной стойкости превосходит сплав МА2-1.

Детали из сплавов МА2, МА2-1, МА2-1п.ч. могут применяться для длительной работы при температурах до 150°C и для кратковременной — до 200°C.

В эту группу включен также сплав МА20 (ВМД8). Сплав характеризуется высокой пластичностью и свариваемостью. Детали из листов сплава МА20 изготавливаются при более низкой температуре (150—250°C), чем из других магниевых сплавов. Сплав МА20 обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Он предназначен для длительной работы при 150°C и для кратковременной — при 200°C.

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ								МА1	
-------------------------	--	--	--	--	--	--	--	-----	--

Химический состав в %

Mn	Mg	Al	Cu	Be	Ni	Zn	Si	Fe	Прочие примеси
		не более							
1,3—2,5	Основа	0,1	0,05	0,002	0,007	0,3	0,10	0,05	0,2

Механические свойства по ГОСТ, ТУ или ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ, ОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ ($l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$) %
			кгс/мм ²		
Лист толщиной (в мм):	АМТУ 228-67	Отожженный (М)	11	19	5
			9	17	3
Пруток прессованный диаметром (в мм):	ГОСТ 18351—73	Без термической обработки	—	20	$l_0 = 5 d_0$ 2
			—	18	2
			—	17	2
			—	—	$l_0 = 11,3\sqrt{F_0}^{**}$ $l_0 = 5 d_0$ 2
Профиль прессованный *	АМТУ 527-66	Без термической обработки	—	22	2
Полоса прессованная сечением до 130 см ²	ОСТ1 90037—71	То же	10***	20	или $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ 2

* Твердость НВ 40.

** $l_0 = 11,3\sqrt{F}$ при толщине полки до 10 мм;

$l_0 = 5 d_0$ при толщине полки более 10 мм.

*** При сжатии $\sigma_{0,2сж} = 6,0$ кгс/мм².

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	F	G	$\sigma_{\text{пл}}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{в}}$	δ $(l_0 = 11,3 \sqrt{F_0})$	ψ	кгс/мм ²					$\sigma_{\text{в сж}}$	$\tau_{0,8}$	$\tau_{\text{в}}$	$\tau_{\text{ср}}$	$\sigma_{\text{н}}$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{н-1}}$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{н-1}}$
									$\sigma_{\text{пл}}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{0,2 \text{ сж}}$	$\sigma_{\text{в сж}}$							
Лист	Отожженный (М)	4100	—	—	14	22	8	—	—	—	—	—	—	—	12,5	—	0,5	—	—	7,5

* Предел выносливости ($\sigma_{\text{н-1}}$) определяется при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ цик.

Физические свойства

Плотность $d = 1760 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	100—200	20—200
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	26,0	27,0	26,5

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300	400
$\lambda \text{ вт/м-град}$	126	130	138	134	134

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400
$c \text{ кдж/кг-град}$	1,00	1,05	1,13	1,17

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^6 \text{ ом} \cdot \text{см}$	6,12

Коррозионная стойкость

Сплав обладает повышенной коррозионной стойкостью, не склонен к коррозионному растрескиванию. Коррозионная стойкость сварного шва аналогична коррозионной стойкости основного материала.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температурный интервал деформации, °C	Скорость деформации	Допустимая степень деформации %
Прессование *	380—420	5—20 м/мин	80—96
Прокатка плит	430—480	1,44 м/сек	Не более 35% за проход
Прокатка листов	350—480	1,2 м/сек	Не более 25% за проход
Штамповка на молоте	350—450	—	—
Штамповка на прессе	300—450	—	—
Листовая штамповка	280—350	—	—

* Перед прессованием слитки гомогенизируют при 490°C в течение 12 час.

Штампуемость

Вид обработки	Показатель деформации при температуре, °C													
	20		100		150		200		250		300		350	
Гибка * Минимальный радиус сгиба	волокна	волокна	волокна	волокна	волокна	волокна	волокна	волокна	волокна	волокна	волокна	волокна	волокна	волокна
	поперек	поперек	поперек	поперек	поперек	поперек	поперек	поперек	поперек	поперек	поперек	поперек	поперек	поперек
Вытяжка Коэффициент вытяжки	6—7s	7—8s	4—5s	5—6s	3—4s	4—5s	2—3s	3—4s	1,5—2s	2—3s	1—1,5s	1—1,5s	2—2,5s	2,25—2,4
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Отбортовка Степень отбортовки	—	—	1,2—1,3	1,3—1,4	1,6—1,7	1,8—1,85	1,8—2,0	1,8—2,0	1,9—2,0	2,1—2,2	2,1—2,2	2,1—2,2	2,1—2,2	2,1—2,2
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Выдавка Степень выдавки, в %	—	—	13—15	23—25	33—34	40—41	45—47	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Радиус сгиба при гибке на $\angle 90^\circ$, R—л·s; s—толщина материала.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Наименование полуфабриката	Режим отжига		
		температура нагрева °С	выдержка час	охлаждающая среда
Отжиг	Лист	320—350	0,5	Воздух

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Коэффициент трещинообразования $K_{тр}$ %	Предел прочности сварного соединения σ_s кгс/мм ²	Коэффициент прочности сварного соединения	Угол загиба град	
					основного материала	сварного соединения
Аргонно-дуговая сварка $s \leq 3$ мм	Основной металл	≤ 15	18	0,86	—	70

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Сварные детали арматуры бензомазлосистем и детали несложной конфигурации, не несущие больших нагрузок.

Детали из сплава МА1 могут работать длительно при температурах до 150°С и кратковременно в условиях нагрева до 200°С.

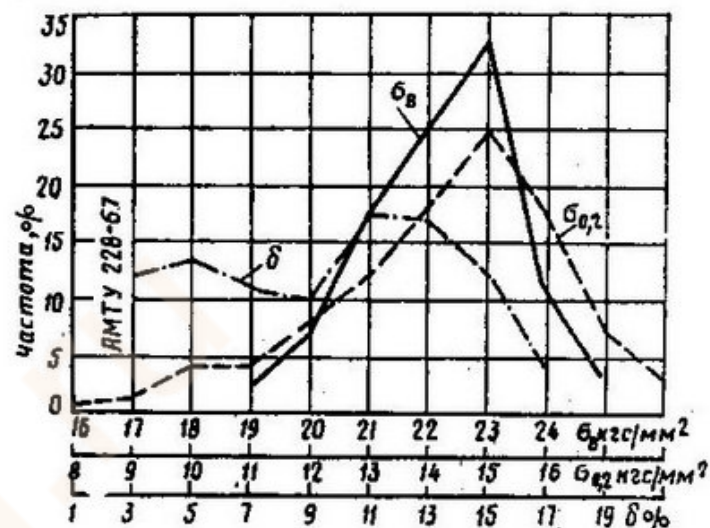


Рис. 1. Кривые нормального распределения механических свойств образцов из листов сплава МА1-М толщиной 2,6—10,0 мм; испытано 2994 образца.

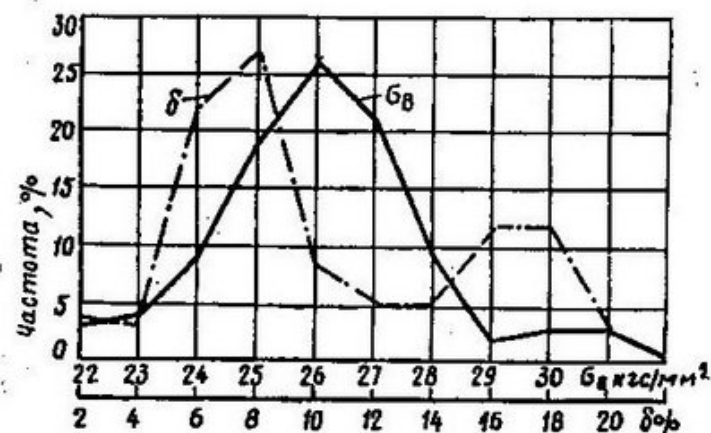


Рис. 2. Кривые нормального распределения механических свойств образцов из прессованных профилей сплава МА1 с толщиной полки 1,3—13,5 мм; испытано 511 образцов.

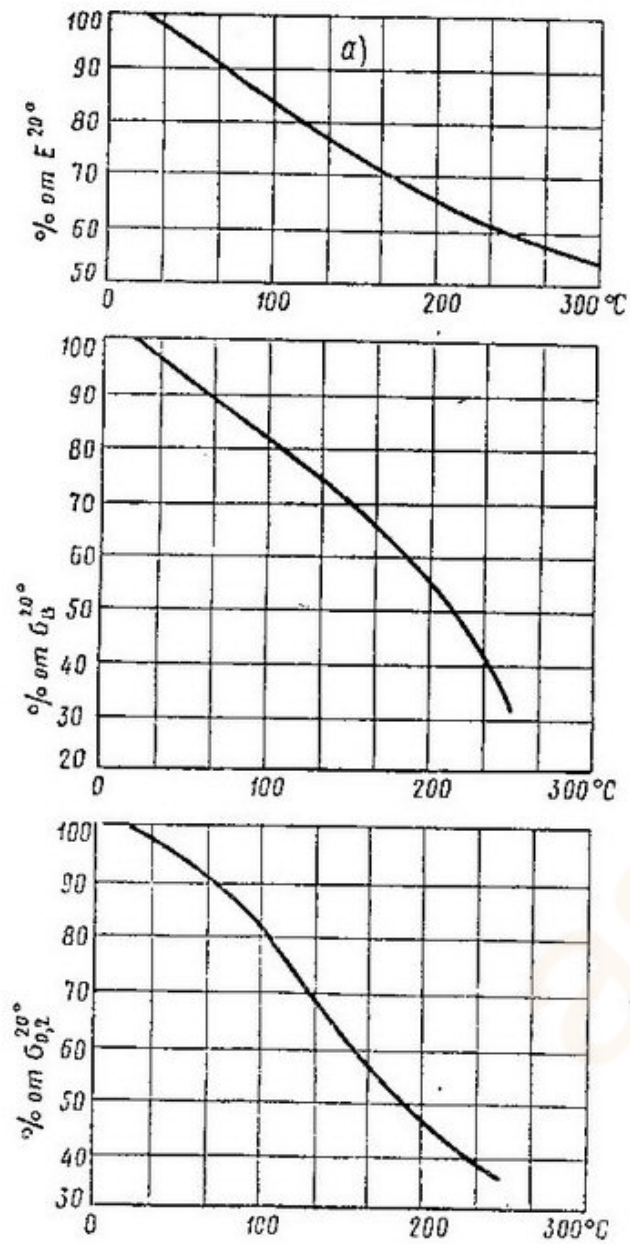


Рис. 3. Механические свойства сплава МА1 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре E ; σ_B ; $\sigma_{0.2}$):

а — лист МА1-М;

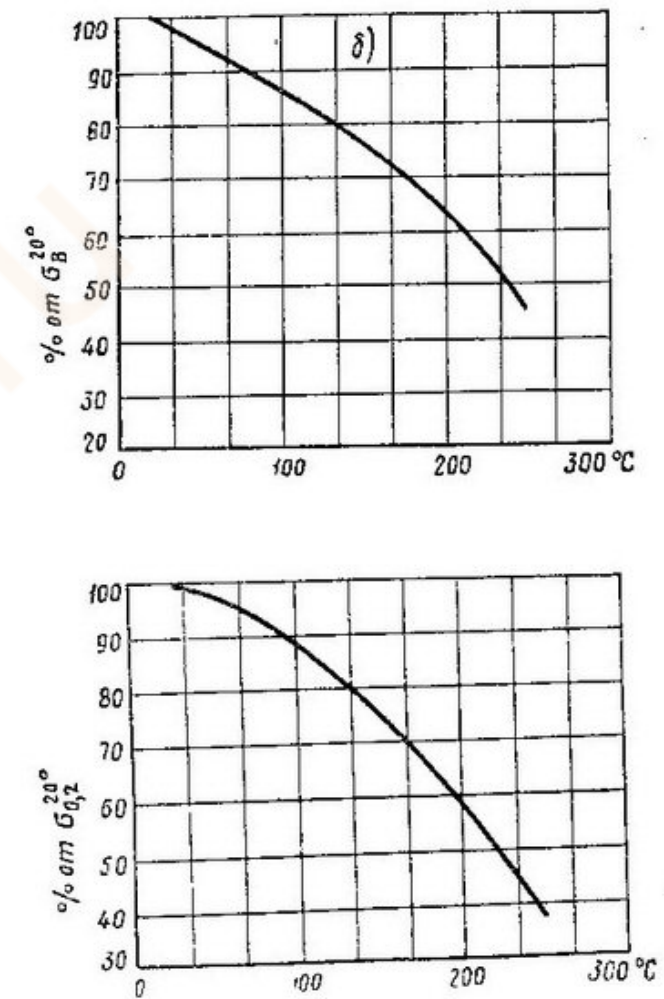


Рис. 3. Механические свойства сплава МА1 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре E ; σ_B ; $\sigma_{0.2}$):

б — пруток прессованный.

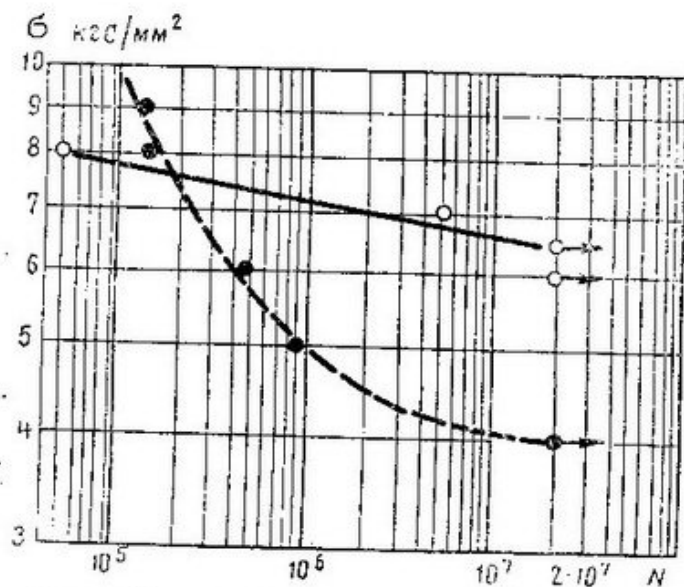


Рис. 4. Кривые выносливости сплава МА1 при консольном изгибе вращающегося образца; прессованная полоса толщиной 20 мм:
 ○ — ○ гладкий образец; ● — ● образец с индрезом ($r_H = 0,75$ мм, $\alpha_H = 2,2$).

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ

МА8

Химический состав в %

Mn	Ce	Mg	Al	Cu	Be	Ni	Zn	Si	Fe	Прочие примеси
			не более							
1,3—2,2	0,15—0,35	Осно- ва	0,1	0,05	0,002	0,007	0,3	0,10	0,05	0,3

Механические свойства по ГОСТ, ТУ или ОСТ (не менее)

Вид полу- фабриката	ГОСТ, ОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	$\sigma_{0,2}$ см кгс/мм ²
			кгс/мм ²		%	
Лист толщи- ной (в мм): 0,6—2,5 2,6—10,0 1,0—1,5 1,6—3,0	АМТУ 228-67	Отож- женный (М)	12	23	12	—
			11	22	10	—
		Полу- нагарто- ванный (Н)	15	23	8	—
			14	22	6	8
Прутки прес- сованный диа- метром (в мм): 8—50 51—100 101—160 161—200	ГОСТ 18351—73	Без тер- мической обработки	—	22	4	—
			—	21	3	—
			—	20	2	—
			—	18	1	—
			—	—	—	—
Профиль прессованный с площадью сечения (в см ²): до 5 ** 5,1—12 **	АМТУ 527-66	То же	—	21	10	—
			—	22***	10	—

$$l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$$

$$l_0 = 5 d_0$$

$$l_0 = 11,3 \sqrt{F_0^*}$$

$$l_0 = 5 d_0$$

Продолжение

Вид полу- фабриката	ГОСТ, ОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	$\sigma_{0,2сж}$ кгс/мм ²	
			кгс/мм ²		%		
Труба прессованная	АМТУ 299-70	Отож- женная Без тер- мической обработки	—	23	$l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$	—	
			—	23	8	—	
Полоса прессованная сечением (в см ²): до 10,0 10,1—15,0 15,1—130,0	ОСТ1 90037—71	Без тер- мической обработки	$l_0 = 5d_0$			—	
			11	22	10		7
			10	21	10		6
			10	20	3		6
Плита катаная толщиной (в мм): 12—20 21—32	ОСТ1 90036—71	Без тер- мической обработки	11	21	10	6	
			10	20	8	6	

- * $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$ при толщине полки до 10 мм;
 * $l_0 = 5d_0$ при толщине полки более 10 мм.
 ** НВ 40.
 *** Для полых профилей не менее 21 кгс/мм².

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полу- фабриката	Состояние	E кгс/мм ²	D кгс/мм ²	μ	σ _{пл}	σ _{0,2}	σ _B	δ	ψ	кгс/мм ²					
										σ _{0,2сж}	σ _{0,3}	τ ₀	τ _{ср}	σ _H	σ ₋₁
Полоса прессованная сечением до 10 см ²	Без тер- мической обработки	4100	1600,3	—	11	12	23	$l_0 = 5d_0$ 12	35	6	18	14,5	1,0	—	7
Лист толщиной 0,8—2,0 мм	Отож- женный (М)	3700	1390,34	—	10	14	25	$l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$ 15	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости определялся при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ
			кгс/мм ²		%
Лист толщиной 0,6—2,5 мм	Отожженный (М)	20	17	25	$l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$ 15
		-40	—	31	13
		-70	—	32	11

Чувствительность к надрезу и перекосу

Вид полуфабриката	Состояние	Характер нагружения	$\frac{\sigma_b^H}{\sigma_b}$		$\sigma_{0,2}^H$		
			температура испытания °C		кгс/мм ²		
			-70	20	перекос, град		
Прутки прессованные диаметром 25 мм	Без термической обработки	При статической нагрузке	1,08	1,19	35	18,5	9

* Надрез $r_H = 0,1$ мм; $\alpha_K = 4,0$.

Физические свойства

Плотность $d = 1780$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	100—200	200—300	20—200	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	23,7	26,1	32,0	24,9	27,3

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20	100	200	300	400
λ вт/м·град	126	130	134	136	138

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400
c кдж/кг·град	1,05	1,13	1,21	1,26

Удельное электросопротивление

Температура °C	20	100	200
$\rho \cdot 10^8$ ом·см	5,10	6,40	7,96

Коррозионная стойкость

Сплав обладает повышенной коррозионной стойкостью, не склонен к коррозионному растрескиванию. Коррозионная стойкость сварного соединения аналогична коррозионной стойкости основного материала.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температурный интервал деформации °C	Скорость деформации	Допустимая степень деформации %
Прессование *	380—420	5—20 м/мин	80—96
Прокатка плит	430—480	1,4 м/сек	Не более 35% за проход
Прокатка листов	350—480	1,2 м/сек	Не более 25% за проход
Штамповка на молоте	350—450	—	—
Штамповка на прессе	300—450	—	—
Листовая штамповка:			
МА8-М	280—350	—	—
МА8-Н	230—250	—	—

* Перед прессованием слитки гомогенизируются при температуре 490°, выдержка 12 час.

Пластичность сплава в горячем состоянии высокая.

Штампуемость		Показатели деформации при температуре, °С													
		20		100		150		200		250		300		350	
Вид обработки	Гибка*	волокна	поперек	волокна	поперек	волокна	поперек	волокна	поперек	волокна	поперек	волокна	поперек	волокна	поперек
			Минимальный радиус гибки	5-6s	4,5-5s	—	—	4-5s	3,3-3,5s	3-4s	2,5-3	2,5-3s	2-2,5s	2-2,5s	2-2,5s
	Вытяжка	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Коэффициент вытяжки	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Отбортовка	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Степень отбортовки	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Выдавка	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Степень выдавки, в %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Радиус гибки при гибке на $< 90^\circ$, $R = n \cdot s$, s — толщина материала.

Рекомендуемая термическая обработка

Листы поставляются в отожженном и полунагретом состоянии, трубы — в отожженном состоянии и без термической обработки; остальные полуфабрикаты поставляются в состоянии без термической обработки.

Термическая обработка для снятия напряжений после деформации и сварки

Вид термической обработки	Вид полуфабриката	Температура, °С	Выдержка, час	Охлаждающая среда
Отжиг	Лист	320—350	0,5	Воздух
Неполный отжиг	То же	260—290	0,5	Воздух
Отжиг	Сварное соединение	250—280	0,5	Воздух

Свариваемость

Метод сварки	Термическая обработка	Присадочный материал	Коэффициент трещинообразования $K_{тр}$, %	Предел прочности сварного соединения $\sigma_{св}$, кгс/мм ²	Коэффициент прочности сварного соединения	Угол загиба, град	
						основного материала	сварного соединения
Аргонодуговая сварка $s = 3$ мм	Отжиг при 250—280°, 0,5 час	Основной металл МА2-1	≤ 45	14	0,60	35	40
			≤ 35	18	0,75	35	60

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Листы для обшивки деталей внутреннего набора; плиты для панелей самолетов, штамповки для деталей сложной конфигурации.

Профили и трубы для изготовления деталей арматуры бензо- и маслосистем и внутреннего набора.

Детали из сплава МА8 работают длительно при температурах до 200°C и кратковременно — до 250°C.

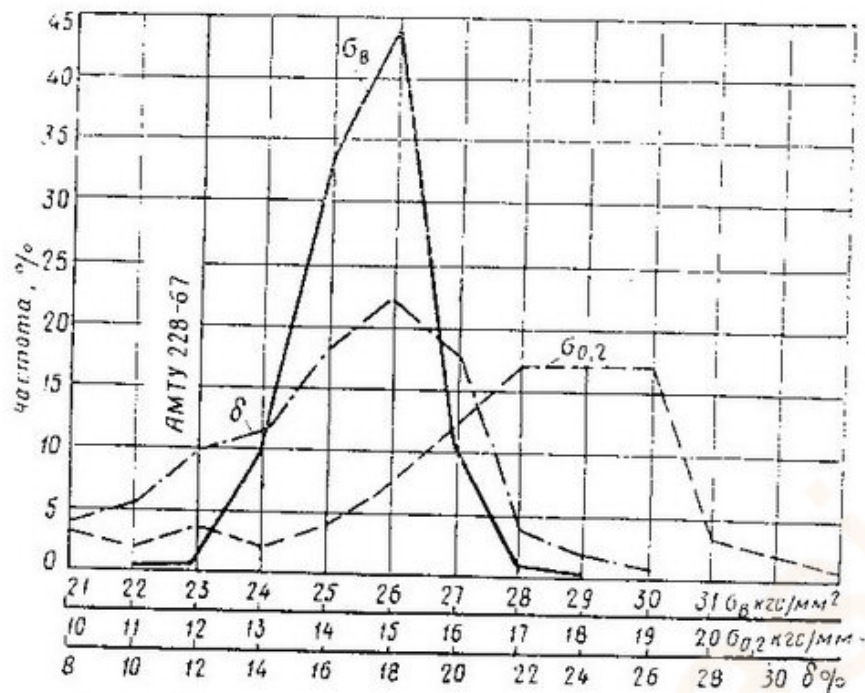


Рис. 1. Кривые нормального распределения механических свойств листов толщиной 0,6—2,5 мм из сплава MAS-M. Испытано продольных образцов:

на σ_v и δ — 12272; на $\sigma_{0,2}$ — 2507.

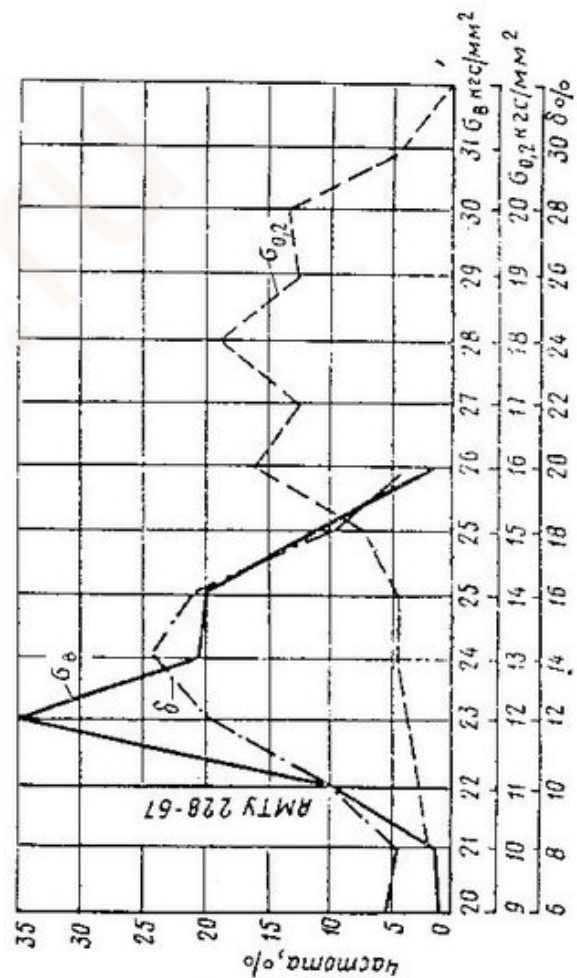


Рис. 2. Кривые нормального распределения механических свойств листов толщиной 2,6—10,0 мм из сплава MAS-M.

Испытано продольных образцов:

на σ_v и δ — 1686; на $\sigma_{0,2}$ — 338.

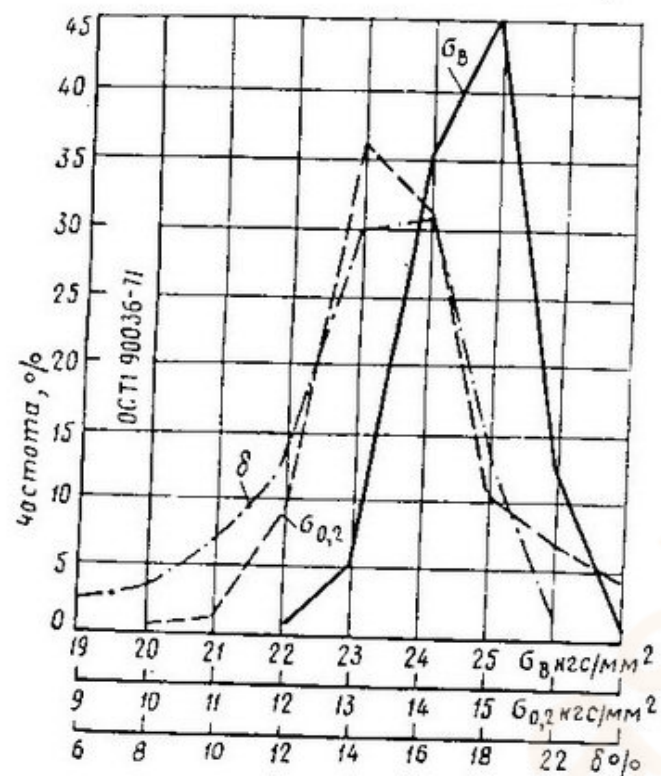


Рис. 3. Кривые нормального распределения механических свойств плит толщиной 21,0—40,0 мм из сплава МА8. Испытано 346 продольных образцов.

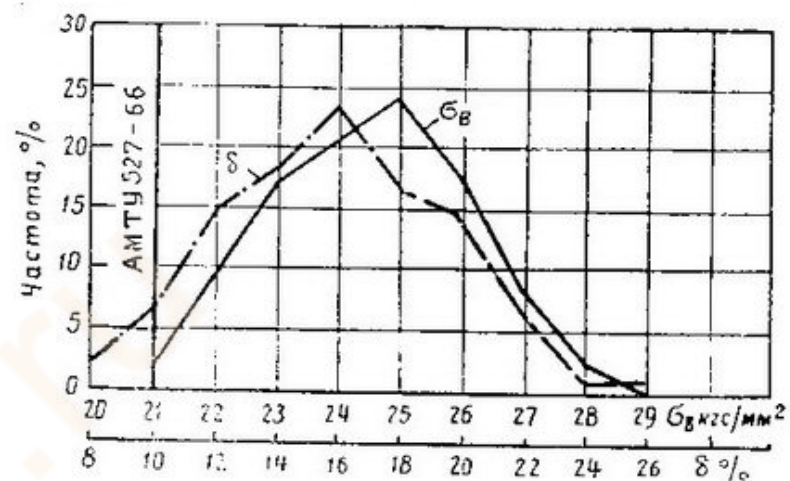


Рис. 4. Кривые нормального распределения механических свойств профилей с толщиной полки 1,0—18,5 мм из сплава МА8. Испытано 9662 образца.

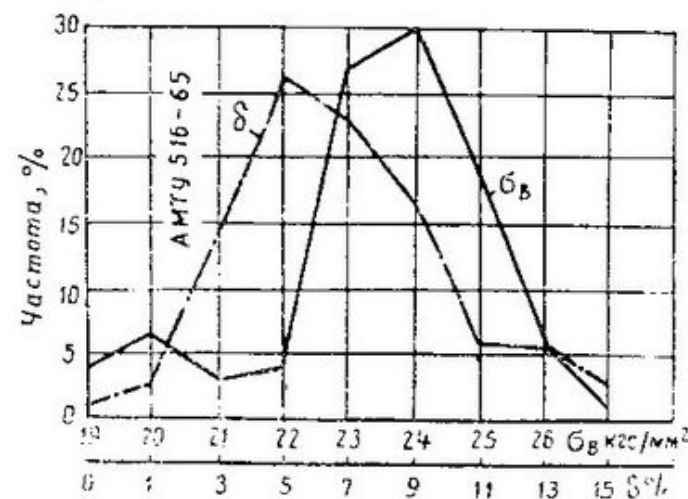


Рис. 5. Кривые нормального распределения механических свойств прутков диаметром более 50 мм из сплава МА8 (АМТУ 516-65 заменены ГОСТ 18351—73)

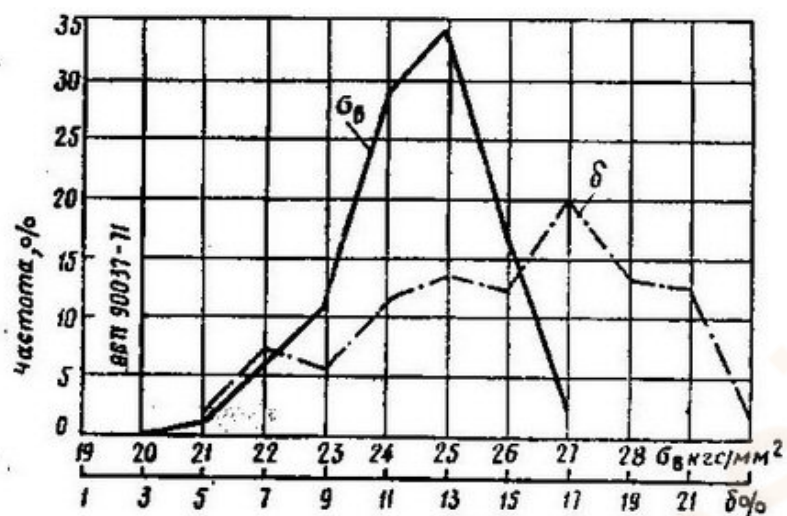


Рис. 6. Кривые нормального распределения механических свойств полос сечением $15,1 \text{ см}^2$ и более из сплава МА8. Испытано 312 продольных образцов.

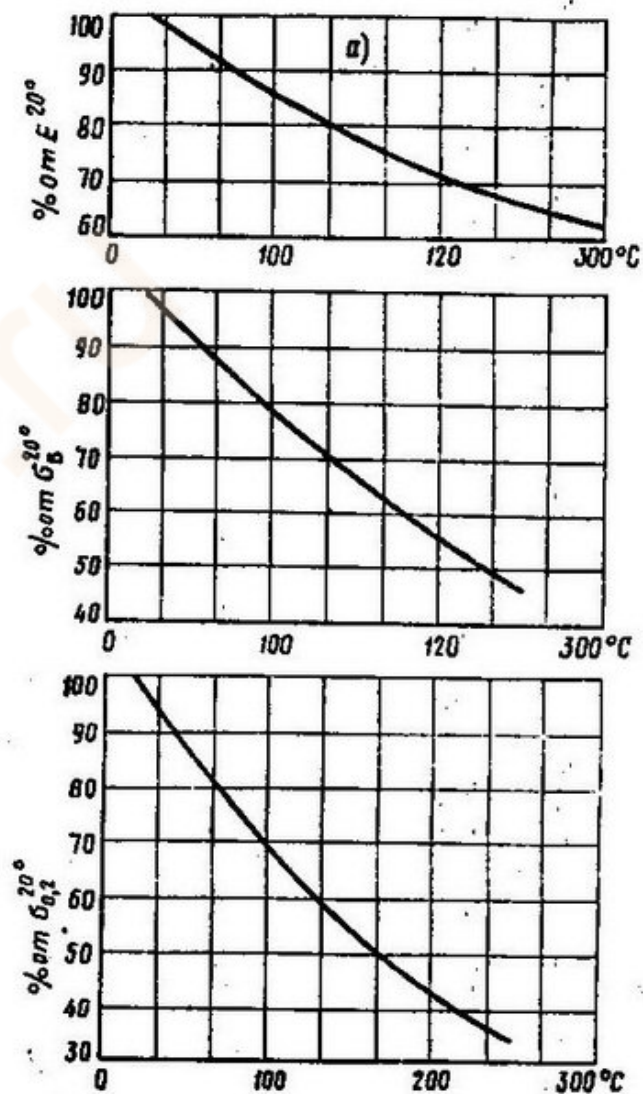


Рис. 7. Механические свойства при высоких температурах сплава МА8 (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре: E ; σ_B ; $\sigma_{0,2}$;

а — лист отожженный толщиной 0,6—2,5 мм;

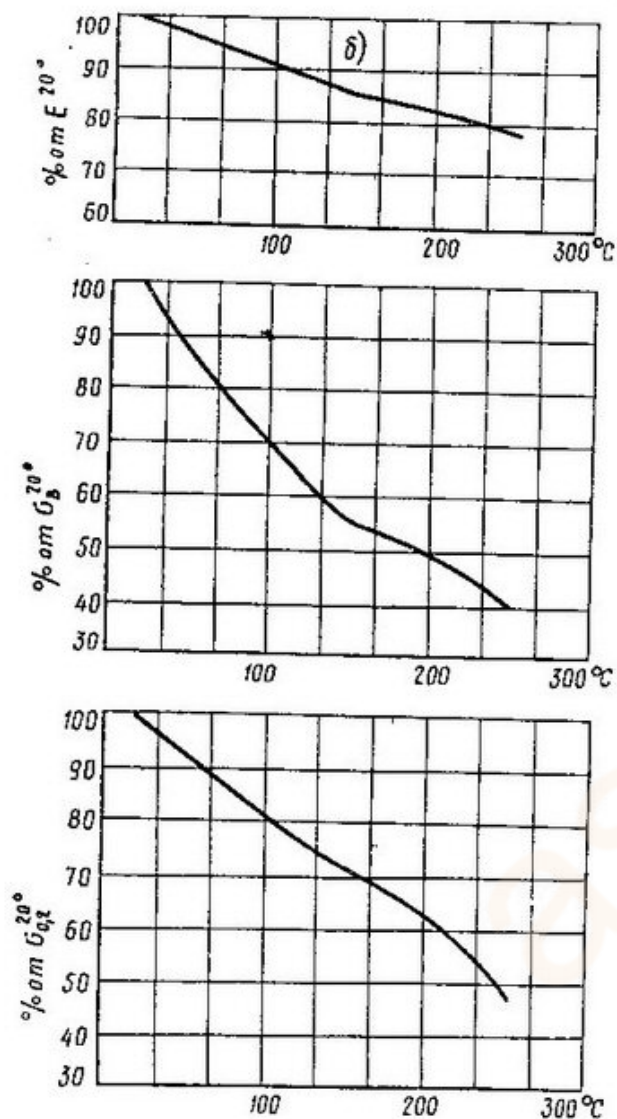


Рис. 7. Механические свойства при высоких температурах сплава МА8 (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре: E ; σ_B ; $\sigma_{0,2}$: G — пруток прессованный диаметром 25 мм.

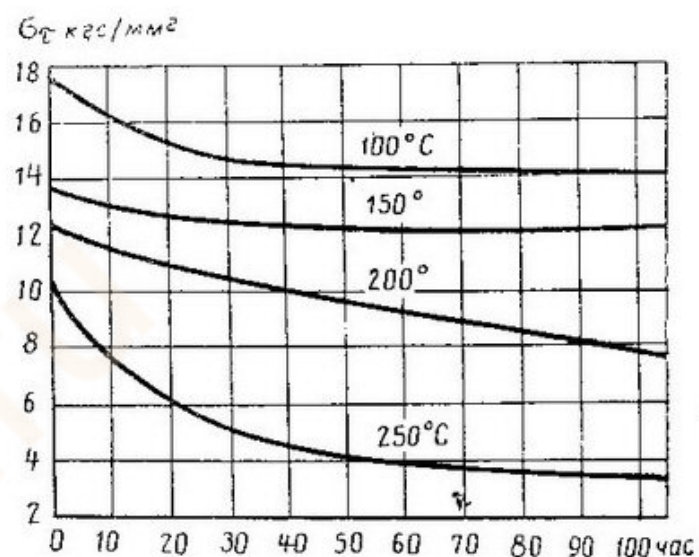


Рис. 8. Кривые длительной прочности прессованного прутка диаметром 25 мм из сплава МА8 ($\sigma_B^{20^\circ} = 25 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta_{10} = 20\%$).

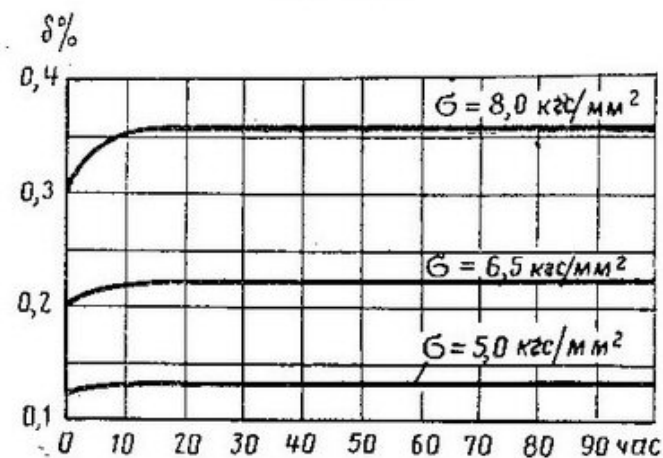


Рис. 9. Кривые ползучести прессованного прутка диаметром 25 мм из сплава МА8 при температуре 100°C. ($\sigma_B^{20^\circ} = 25 \text{ кгс/мм}^2$; $\delta_{10} = 20\%$).

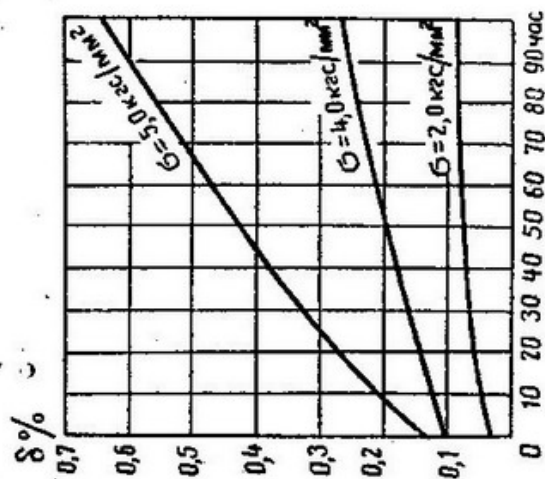


Рис. 11. Кривые ползучести прессованного прутка диаметром 25 мм из сплава МА8 ($\sigma_{20} = 25 \text{ кгс/мм}^2$; $\delta_{10} = 20\%$) при температуре 200°C.

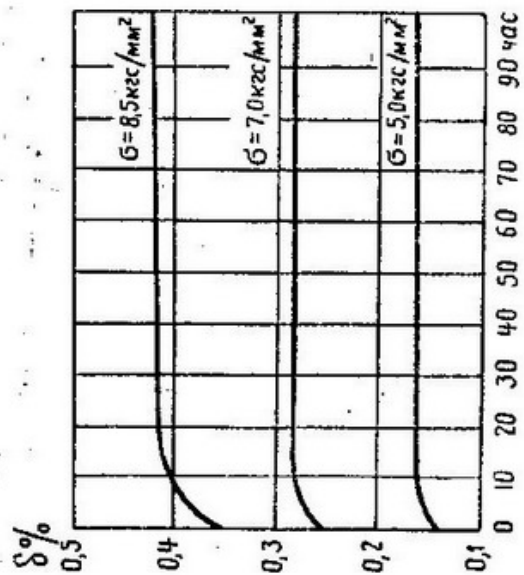


Рис. 10. Кривые ползучести прессованного прутка диаметром 25 мм из сплава МА8 ($\sigma_{20} = 25 \text{ кгс/мм}^2$; $\delta_{10} = 20\%$) при температуре 150°C.

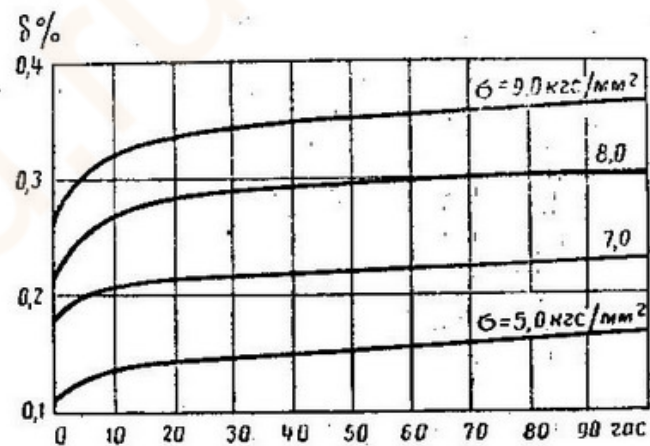


Рис. 12. Кривые ползучести листа толщиной 2 мм из сплава МА8-М ($\sigma_{20} = 24.5 \text{ кгс/мм}^2$; $\delta_{10} = 18.5\%$) при температуре 100°C.

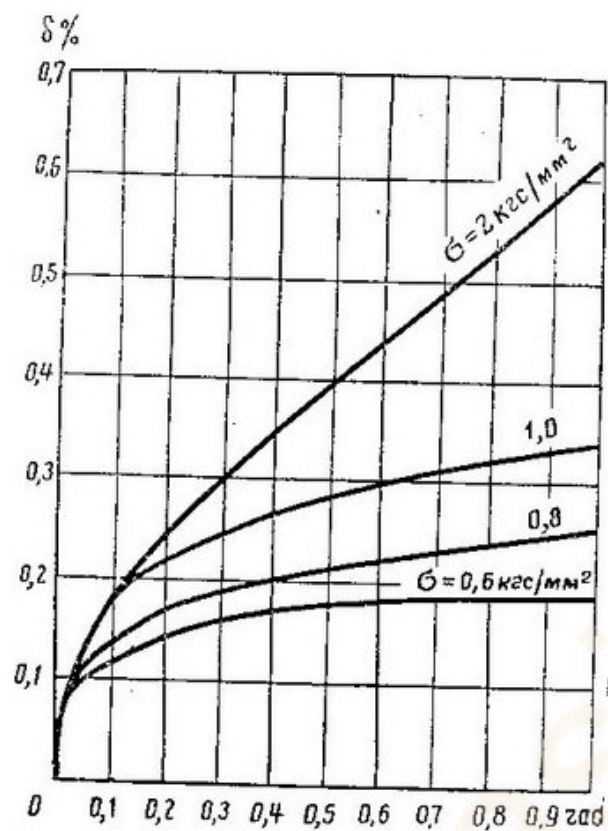


Рис. 13. Кривые ползучести листа толщиной 2 мм из сплава МА8-М ($\sigma_n^{20^\circ} = 24.5 \text{ кгс/мм}^2$; $\delta_{10} = 18.5\%$) при температуре 200°C.

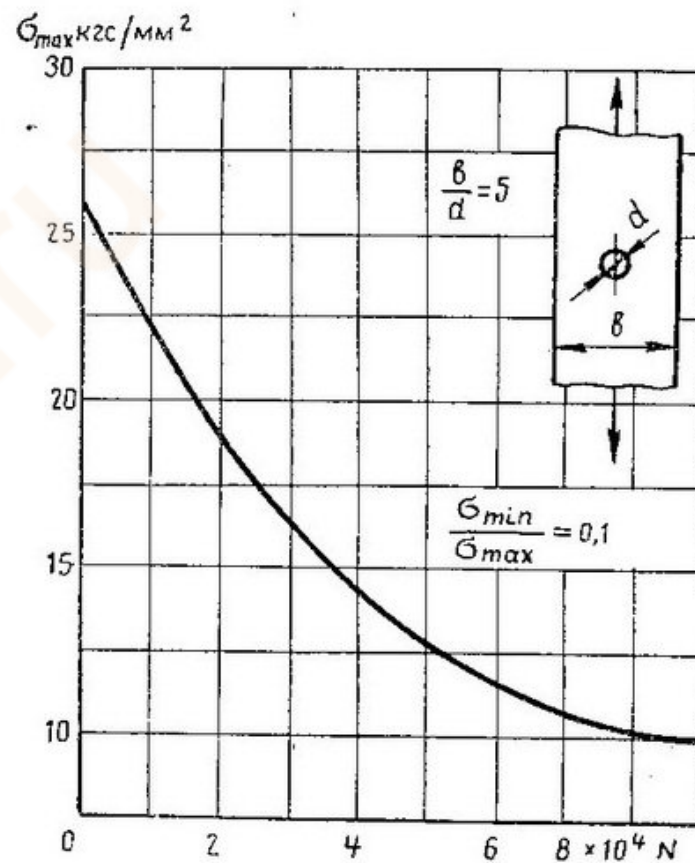


Рис. 14. Малоцикловая усталость образцов с отверстием из листов сплава МА8-М толщиной 2 мм. Поперечные образцы ($\sigma_n = 25.5 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta_{10} = 18\%$).

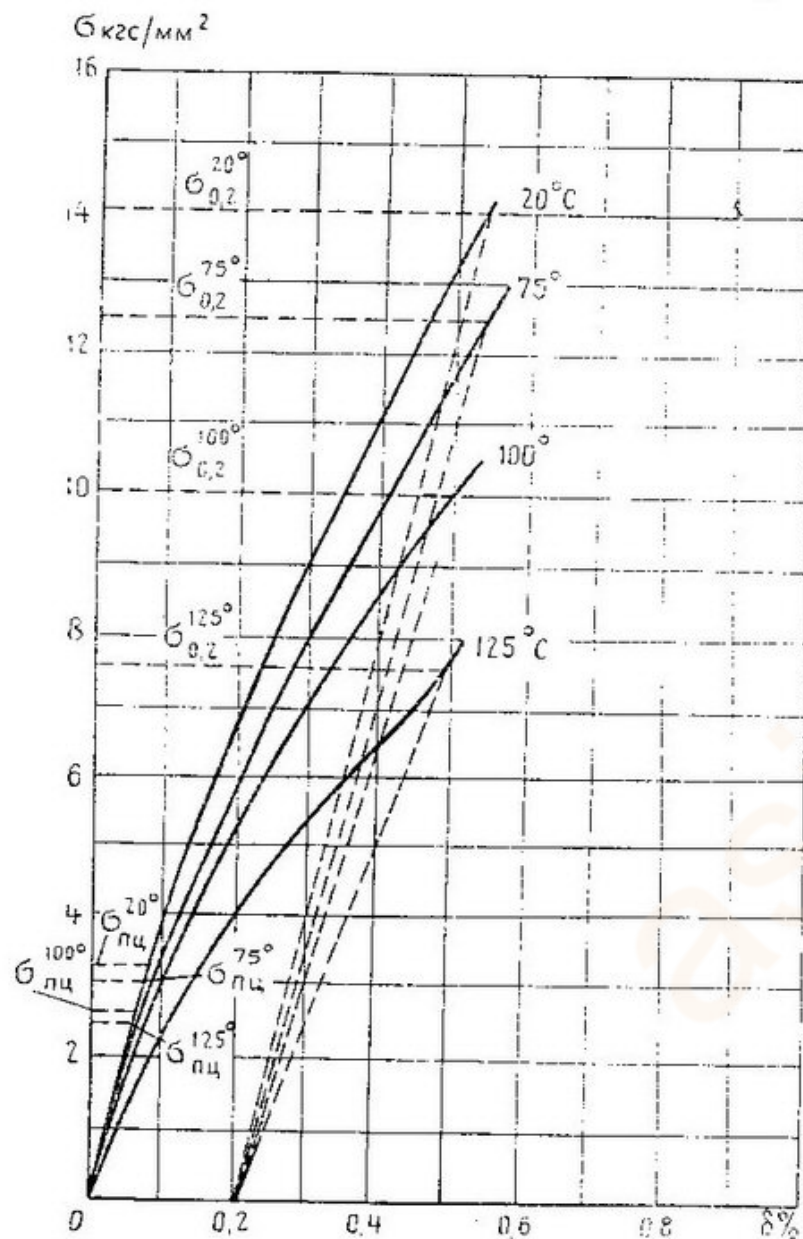


Рис. 15. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава МА8-М при комнатной и высоких температурах (лист толщиной 2 мм с минимальными свойствами).

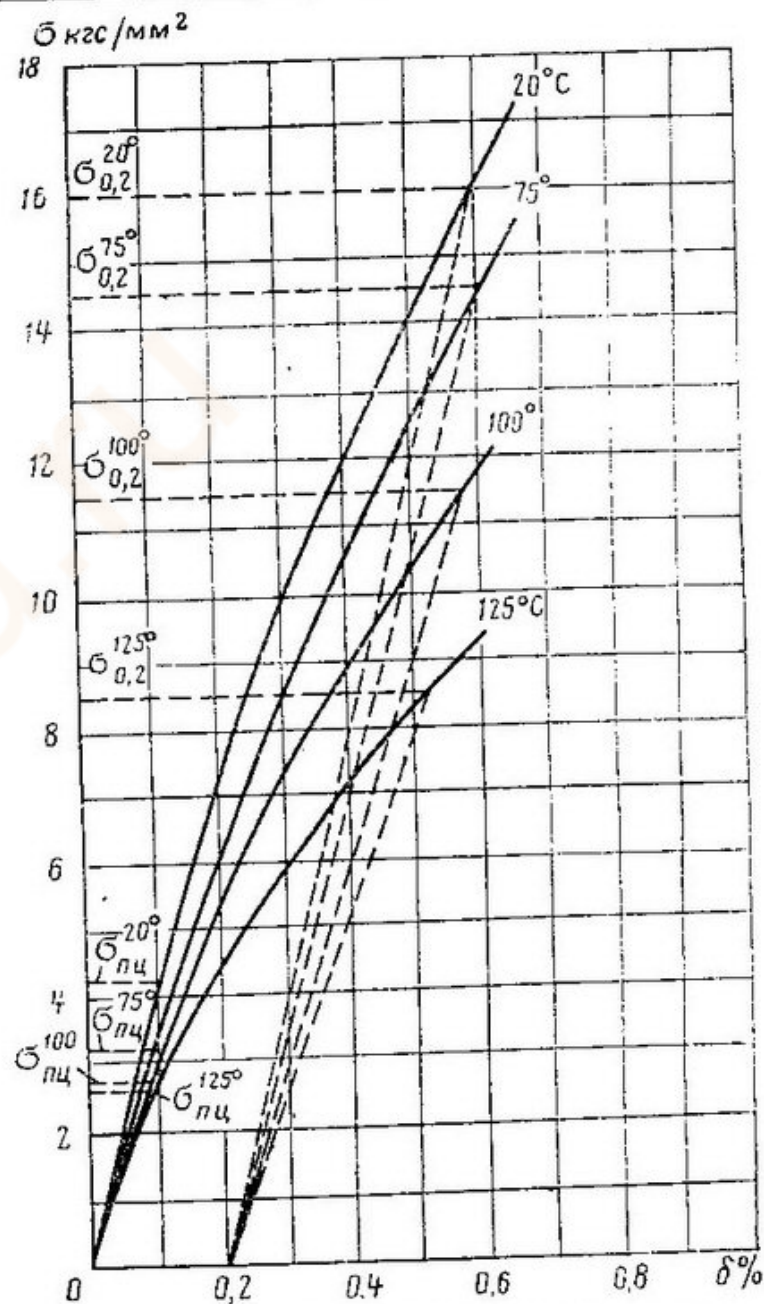


Рис. 16. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава МА8-М при комнатной и высоких температурах (лист толщиной 2 мм с типичными свойствами).

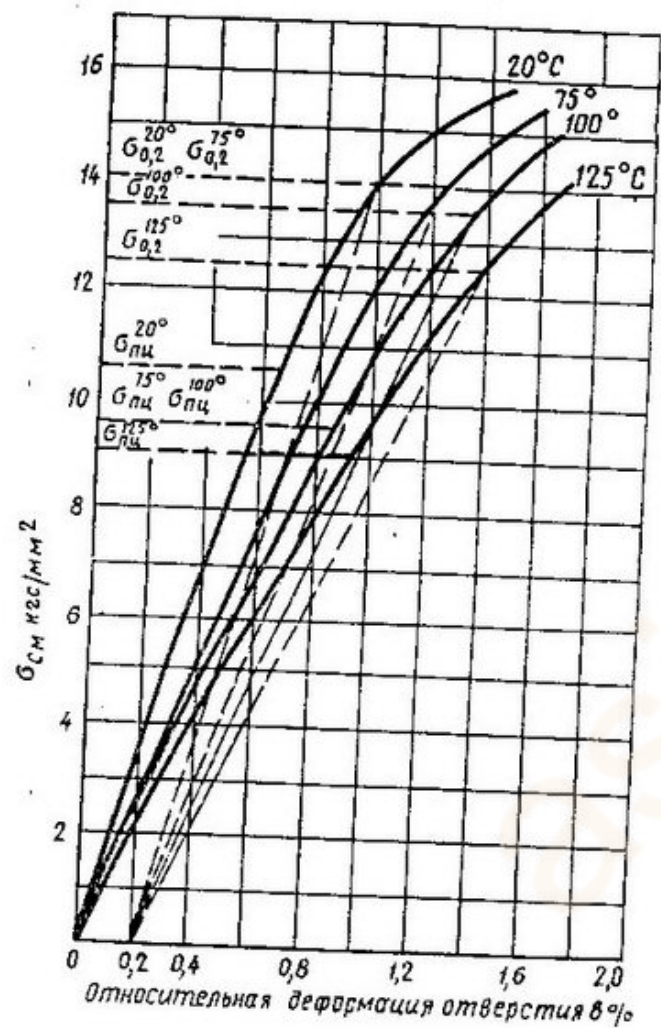


Рис. 17 Диаграммы смятия до предела текучести сплава МА8-М при комнатной и высоких температурах (лист толщиной 2,0 мм с типичными свойствами).

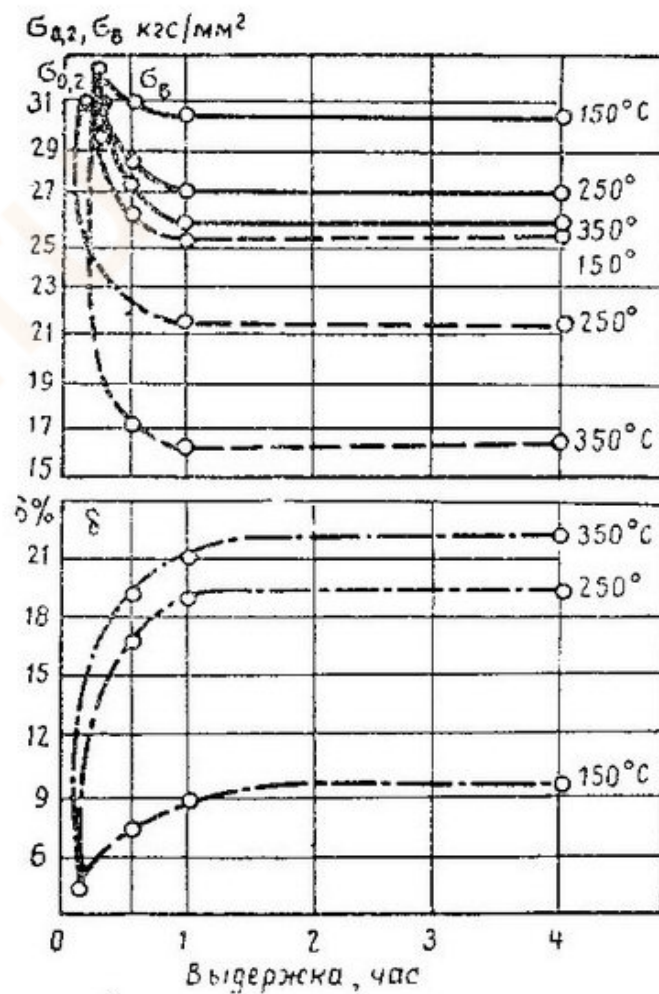


Рис. 18. Влияние температуры и времени выдержки при отжиге на механические свойства горячекатаных листов из сплава МА8 при 20°C.

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ	МА2
-------------------------	-----

Химический состав в %

Al	Mn	Zn	Mg	Cu	Ni	Si	Fe	Be	Прочие примеси
				не более					
3,0—4,0	0,15—0,5	0,2—0,8	Основа	0,05	0,005	0,10	0,05	0,002	0,3

Механические свойства по ГОСТ, ТУ или ОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ, ОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ ($l_0=5d_0$)	$\sigma_{0,2сж}$	НВ
			кгс/мм ²		%	кгс/мм ²	
Прутки диаметром (в мм): 8—100 101—160 161—200	ГОСТ 18351—73	Без термической обработки	13	25	6	—	—
			13	25	5	—	—
			—	22	5	—	—
Полоса сечением до 130 см ²	ОСТ1 90037—71	То же	13	23	$l_0=5,65\sqrt{F}$ 6	8	—
Профиль прессованный	АМТУ 527-66	»	—	24	6*	—	42
Штамповка весом (в кг): до 30 30—100	ОСТ1 90010—70	»	—	25	$l_0=5d_0$ 5	—	45
			—	24	5	—	45
Поковка весом (в кг): до 50 более 50	ОСТ1 90010—70	Без термической обработки	—	24	$l_0=5d_0$ 5	—	45
			—	23	4	—	45

* При толщине полки до 10 мм $l_0=11,3\sqrt{F_0}$, при толщине полки более 10 мм $l_0=5d_0$.

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	G	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ	$E_{сж}$	$\sigma_{0,2сж}$	$\sigma_{0,3}$	$\sigma_{0,3ср}$	$\sigma_{0,3глад. с надрезом}$	σ_{-1}
Прутки диаметром до 100 мм	Без термической обработки	4300	1600	8	18	28	$l_0=5d_0$ 10	30	6	10	6	19	1,2	11
	То же	4300	1600	7	17	27	$l_0=11,3\sqrt{F_0}$ $l_0=5d_0$ 12	30	—	—	6	17	1,2	—
Профиль	»	—	—	—	16	26	$l_0=11,3\sqrt{F_0}$ 8	26	—	—	6,5	17	1,0	—
Полоса	»	—	—	—	17	27	$l_0=5d_0$ 8	24	—	—	—	16	0,9	—
Штамповка	»	4300	—	8	17	27	8	24	—	—	—	16	—	—

* Предельная выносливость определяется при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов. Надрез $r_n=0,75$ мм, $\alpha_k=2,2$.

Механические свойства прутков при высоких температурах

Вид полуфабриката	Температура испытания °С	E кгс/мм ²	μ	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_{10}	G	$\tau_{шц}$	τ_b	$\tau_{0,3}$	$\tau_{ср}$
				кгс/мм ²	%	кгс/мм ²					
Пруток диаметром до 80 мм	20	4300	0,34	16	27	16	1600	4	19	7	14,5
	75	3850	0,37	12,5	23	24	1400	4	19	7	13,5
	100	3600	0,39	11,5	21	25	1300	3,5	16,5	6	13
	125	3300	0,44	9,5	18,5	33	1150	2,5	14,5	5,5	12,5

Механические свойства прутков при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ_n	S_k	ψ	δ_5	$\sigma_{ш}$ кгс-м/см ²
			кгс/мм ²	%			
Пруток диаметром до 80 мм	Без термической обработки	20	27	36	27	16	1,2
		-40	30	37	20	14	0,9
		-70	31	38	18	13	0,7
		-196	40	—	—	2,5	0,4

Физические свойства

Плотность $d = 1780$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100°
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	26,0

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	25	100	200	300	400
λ вт/м-град	96,4	101	105	109	113

Удельная теплоемкость

Температура °С	100	200	300	350
c кдж/кг-град	1,13	1,17	1,21	1,26

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Имеет небольшую склонность к коррозионному растрескиванию.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Сплав деформируется в горячем состоянии. В интервале температур 275—400°С он обладает высокой пластичностью.

Вид обработки	Температурный интервал деформации °С	Скорость деформации м/мин	Максимально допустимая степень деформации %
Ковка	440—350	—	—
Протяжка	—	—	25
Прессование	380—320	5—20	—
Рубка на молоте	440—320	—	—
Штамповка на молоте и механическом ковальном прессе	430—340	—	—
Штамповка на гидравлическом прессе	420—320	—	—
Нагартовка на молоте и прессе	230—250	—	—

Рекомендуемая термическая обработка

Сплав термической обработкой не упрочняется.

Свариваемость

Сплав сваривается аргоно-дуговой и контактной сваркой. Обрабатываемость резанием отличная.

Применение

Детали для длительной работы при температурах до 150°С и кратковременной — до 200°С.

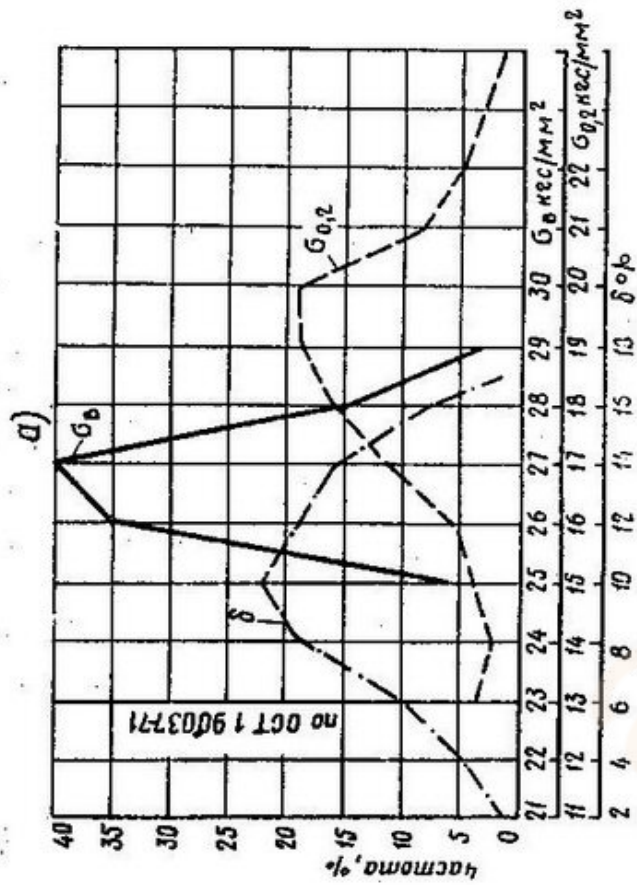


Рис. 1. Кривые нормального распределения механических свойств полос сечением 32×410 мм из сплава МА2:

а — вдоль направления прессования; испытано 166 образцов.

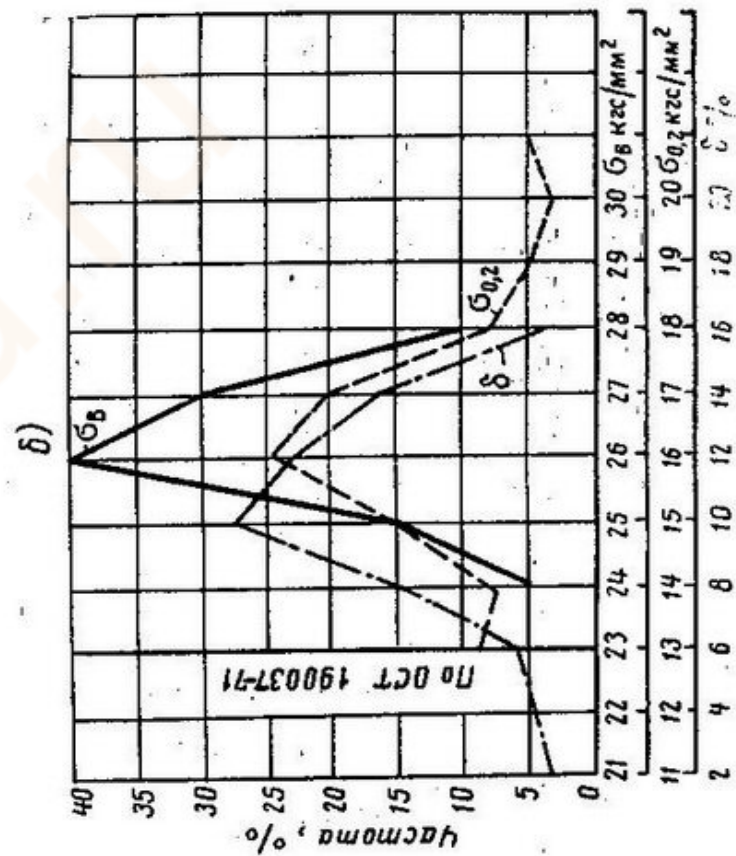


Рис. 1. Кривые нормального распределения механических свойств полос сечением 32×410 мм из сплава МА2:

б — поперек направления прессования; испытано 173 образца.

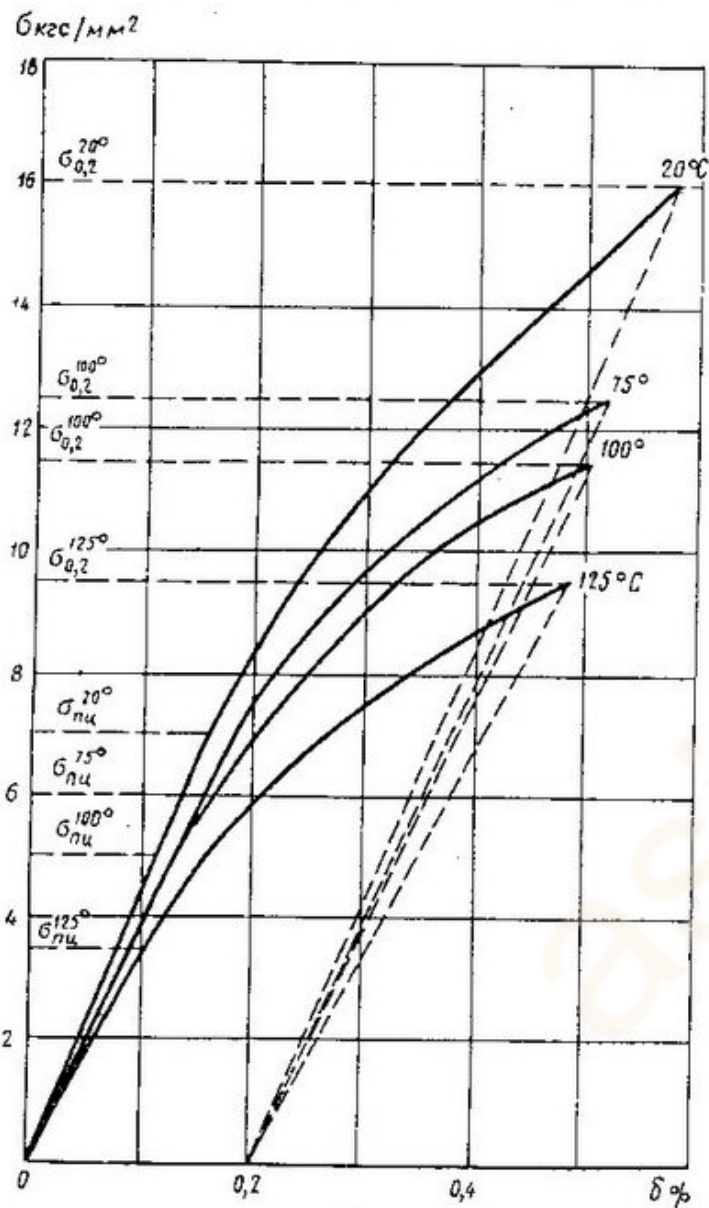


Рис. 2. Диаграммы растяжения до предела текучести прутка диаметром 80 мм из сплава МА2 при комнатной и высоких температурах.

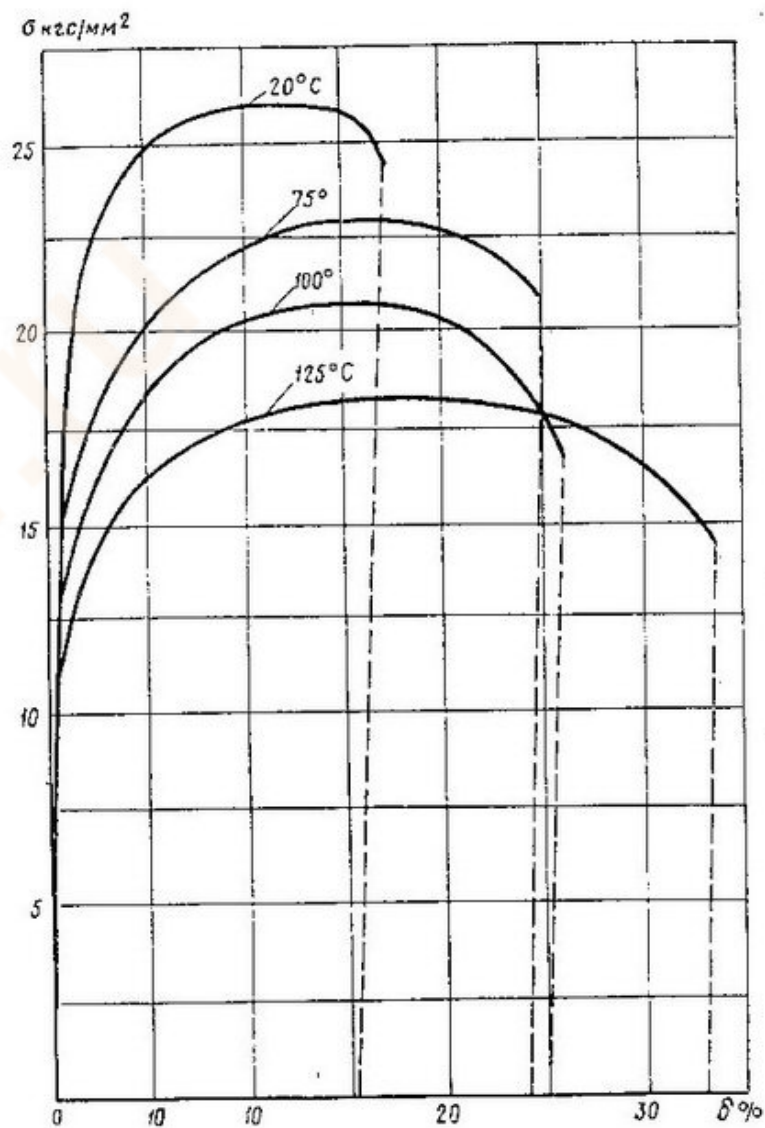


Рис. 3. Диаграммы растяжения прутка диаметром 80 мм из сплава МА2 при комнатной и высоких температурах.

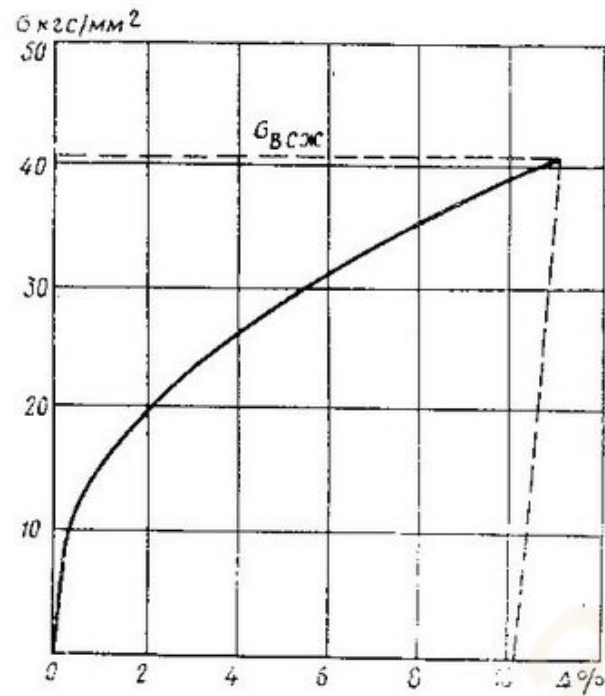


Рис. 4. Диаграмма сжатия прутка диаметром 80 мм из сплава МА2 при комнатной температуре.

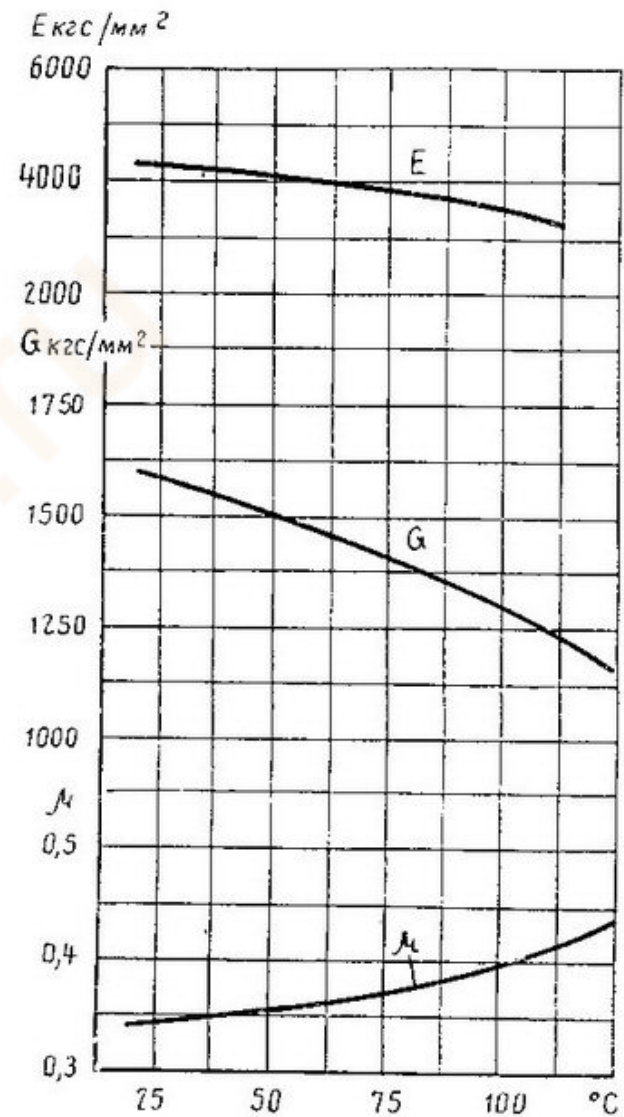


Рис. 5. Влияние температуры испытания на модуль нормальной упругости, модуль сдвига и коэффициент Пуассона прутка диаметром 80 мм из сплава МА2.

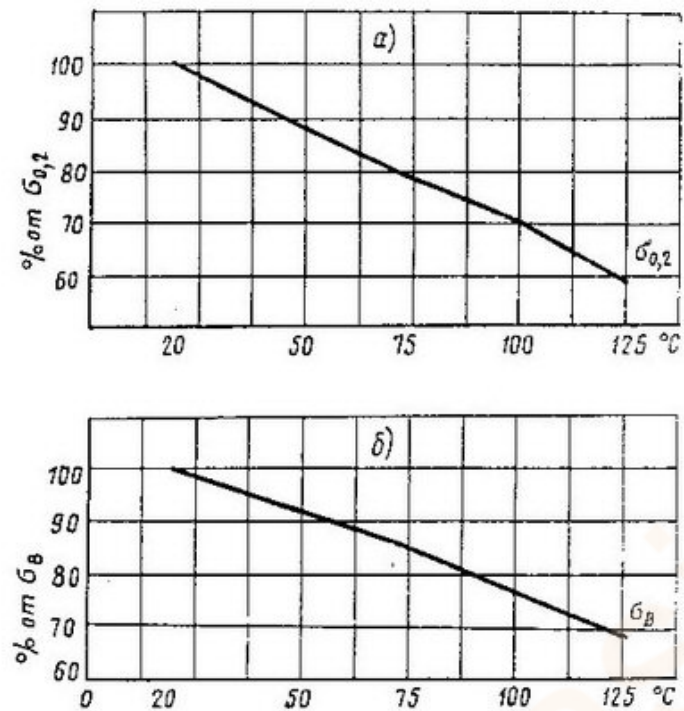


Рис. 6. Механические свойства при высоких температурах сплава МА2 (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):

$a - \sigma_{0,2}$; $b - \sigma_B$.

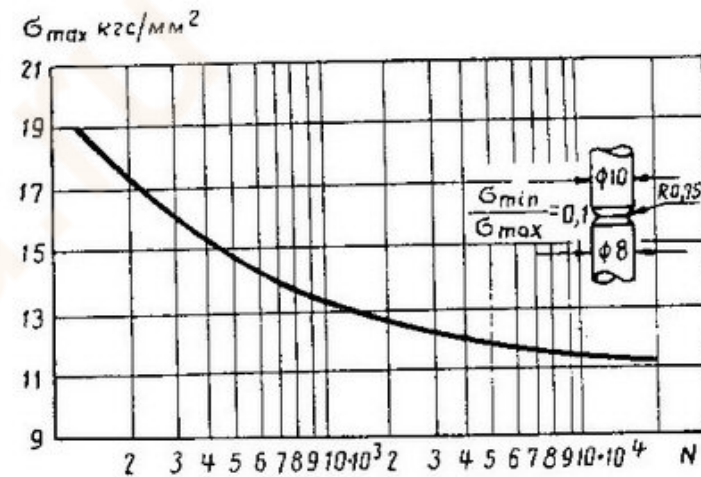


Рис. 7. Малоцикловая усталость при асимметричном растяжении цилиндрических образцов прутка диаметром 80 мм из сплава МА2 при комнатной температуре.

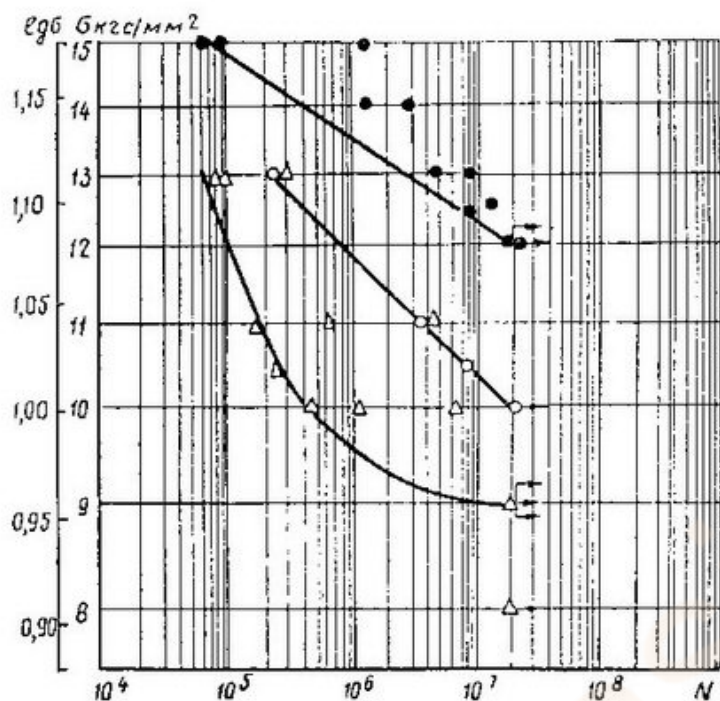


Рис. 8. Кривые выносливости при консольном изгибе вращающегося образца из прессованного прутка диаметром 22 мм из сплава МА2 при комнатной температуре*:

○ — прессованный пруток в исходном состоянии; △ — прессованный пруток, гомогенизированный при 375°—4 час + 420°—16 час; ● — прессованный пруток, степень деформации 51,2; 60,1; 60,3%.

* С. Л. Жуков, Б. Н. Васильев и др. Выносливость магниевых сплавов, ОНТИ ВИАМ, 1966.

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ

МА2-1 и МА2-1п. ч.

Химический состав в %

Сплав	Al	Zn	Mn	Mg	Cu	Be	Ni	Si	Fe	Прочие примеси
					не более					
МА2-1	3,8— —5,0	0,8— —1,5	0,3— —0,7	Ос- нова	0,05	0,002	0,004	0,10	0,04	0,3
МА2-1п. ч.	3,8— —5,0	0,8— —1,5	0,2— —0,6	Ос- нова	0,01	0,002	0,001	0,01	0,005	0,1

Механические свойства по ГОСТ, ТУ или ОСТ (не менее)

Вид полу- фабриката	ГОСТ, ОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_s	δ	$\sigma_{0,2} \text{ сж.}$	ИВ
			кгс/мм²		%	кгс/мм²	
Лист толщи- ной (в мм): 0,8—2,5 2,6—10	АМТУ 228-67*	Отожжен- ный (М)	16	26	$l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$ 10	—	—
			15	26	8	—	—
					$l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ 6	9	—
Полоса прессованная сечением до 130 см²	ОСТ1 90037—71	Без термической обработки	15	25	6	9	—
Труба прессованная	АМТУ 299-70	Отожжен- ная (М) Без термической обработки	—	26	$l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$ 9	—	—
			—	26	9	—	—
					9	—	—
Плита толщиной (в мм): 12—20 21—32	ОСТ1 90036—71	То же	14	25	$l_0 = 5 d_0$ 7	8	—
			14	25	6	8	—
					8	—	—

Вид полуфабриката	ГОСТ, ОСТ или ТУ	Состояние	Продолжение				
			$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²	σ_b	δ %	$\sigma_{0,2\text{сж}}$ кгс/мм ²	$НВ$
Прутки прессованный диаметром (в мм): 8—100 101—160 161—200	ГОСТ 18351—73	Без термической обработки	15	26	$l_0 = 5 d_0$ 8	—	—
					8		
					5		
Профиль прессованный сечением (в см ²): до 5 5,1—12	АМТУ 527-66 *	»	16	27	Полка до 10 мм $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$ 9	—	—
					9		
					8		
Штамповка весом (в кг): до 30 30—100 более 100	ОСТ1 90010—70	»	—	26	$l_0 = 5 d_0$ 7	—	50
					7		
					6		
Поковка весом (в кг): до 50 более 50	ОСТ1 90010—70	»	—	25	$l_0 = 5 d_0$ 6	—	50
					6		
					5		

* Только для сплава МА2-1.

Механические свойства сплавов МА2-1 и МА2-1п.ч. при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	G	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}$	τ_0	δ_s	ψ	$E_{сж}$	$\tau_{пл\ сж}$	$\sigma_{0,2\text{сж}}$	$\tau_{0,3}$	τ_b	$\tau_{ср}$	d_H	σ_{x-1} образцы ТЛД кгс/мм ²	образцы с над- резом кгс/мм ²
Лист толщиной (в мм): 0,8—2,5 2,6—10	Отож- женный (М)	4000	—	8	17	27	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	17	27	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Полоса прессованная сечением до 130 см ²	Без термической обработки	4250	1600	9	18	27	10	21	—	6	10	6,0	17	16	0,6	11	8
		—	—	—	18	28	10	22	—	—	9	—	—	—	—	—	—
Труба прессованная	То же	—	—	—	18	28	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	16	27	12	—	—	5	8,5	6	17	15	0,7	10	7
Плита толщиной 12—32 мм	»	4200	1600	—	—	—	—	20	1400	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Прутки прессованный диаметром (в мм): 8—100 101—160	Без термической обработки	4300	—	—	18	28	12	24	—	—	—	6,5	18	16,5	0,8	—	—
		—	—	—	17	27	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Профиль прессованный с площадью сечения (в см ²): до 5 5,1—12	»	4300	—	—	18	28	12	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	17	28	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости определялся при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов. Надрез $r = 0,75$ мм, $d_k = 2,2$.

Механические свойства листов при низких температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпера- тура ис- пытания °C	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ %
			кгс/мм ²		
Лист толщиной 2 мм	Отожженный (М)	20	17	27	12
		-183	28	36,5	4,5
		-196	31,5	38	2,5
		-253	32	43	2,5

Малоцикловая усталость
(пульсирующее растяжение $\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0, n = 8 \text{ цикл/мин}$)

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпера- тура ис- пытания °C	$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_b}$	σ_{\max} кгс/мм ²	N * циклы
Плита толщи- ной 27 мм	Без термиче- ской обработки	20	0,7	19	1200

* Цилиндрический образец с надрезом ($r_n = 0,75 \text{ мм}; \alpha_k = 2,2$).

Чувствительность к надрезу

Вид полу- фабриката	Состояние	Характер нагружения	$\sigma_b^H : \sigma_b^*$		σ_b^H	
			темпера- тура ис- пытания °C		кгс/мм ² при угле перекоса град	
			-70	20	0	±
Плита толщи- ной 27 мм	Без термиче- ской обра- ботки	При статиче- ской нагрузке	1,0	1,07	29	25

* Надрез $r_n = 0,1 \text{ мм}, \alpha_k = 4,0$.

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура °C	Длитель- ная проч- ность		Ползу- честь		Выносли- вость кгс/мм ²	
			кгс/мм ²				образцы	
			σ_5	σ_{30}	$\sigma_{0,2,5}$	$\sigma_{0,2,30}$	σ_{-1}^*	σ_{-1}^{**}
Плита тол- щиной 12— 30 мм	Без термиче- ской обра- ботки	20	—	—	—	—	10	7
		100	15,5	13,0	8	7	—	—
		150	11,0	8,5	4	2	5	2,5
		200	6,0	4,0	1	—	—	—

* Предел выносливости (σ_{-1}) определялся при знакопеременном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

** Надрез $r = 0,75 \text{ мм}; \alpha_k = 2,2$.

Физические свойства

Плотность $d = 1790 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	26,0

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20—100	25	100	200	300	400
$\lambda \text{ вт/м} \cdot \text{град}$	—	83,8	88	92,2	101	105

Удельная теплосмкость

Температура °C	100	200	300	350
$c \text{ кдж/кг} \cdot \text{град}$	1,09	1,13	1,21	1,26

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^8$ ом·см	12,0

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Более склонен к коррозионному растрескиванию, чем сплав МА2. После отжига при 250—350°C склонность листового материала к коррозионному растрескиванию значительно снижается. Коррозионная стойкость сварных швов аналогична коррозионной стойкости основного материала.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температурный интервал деформации °C	Скорость деформации м/мин
Прессование	320—380	5—20
Прокатка плит	400—430	—
Прокатка листов	360—400	—
Ковка и штамповка на молоте	420—350	—
Ковка и штамповка на прессе	420—300	—
Листовая штамповка	250—300	—

Штампуемость сплавов МА2-1 и МА2-1 п. ч.

Вид обработки; степень деформации	Температура, °C		Гибка	Вытяжка	Отбортовка	Выдавка
	Власть	поперек				
Гибка Минимальный радиус сгиба	5—6 s	300	2—3 s	2,0—2,1	1,9—2,0	40—42
		250	3—4 s	1,8—1,9	1,8—1,85	31—33
Вытяжка Коэффициент вытяжки	4—5 s	300	2—3 s	—	—	—
		250	3—4 s	1,6—1,75	1,5—1,6	23—25
Отбортовка Степень отбортовки	5—6 s	300	4—5 s	1,3—1,4	1,2—1,3	15—17
		250	3—4 s	—	—	—
Выдавка Степень выдавки в %	5—6 s	300	5—6 s	—	—	—
		250	6—7 s	—	—	—

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °С	Выдержка час	Охлаждающая среда
Отжиг после обработки давлением и для снятия напряжений после сварки	250—280	0,5	Воздух

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Коэффициент трещинообразования $K_{тр}$ %	Предел прочности сварного соединения σ_s кгс/мм ²	Коэффициент прочности сварного соединения	Угол изгиба град	
					основного материала	сварного соединения
Аргонно-дуговая сварка $s \leq 3$ мм	Основной металл	≤ 30	22	0,8	50	65

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Детали для вертолетов, оперение, люки, створки, двери, сиденья, детали внутреннего набора самолетов и панели.

Сплав применяется для длительной работы при температурах до 150°С и для кратковременной — до 200°С.

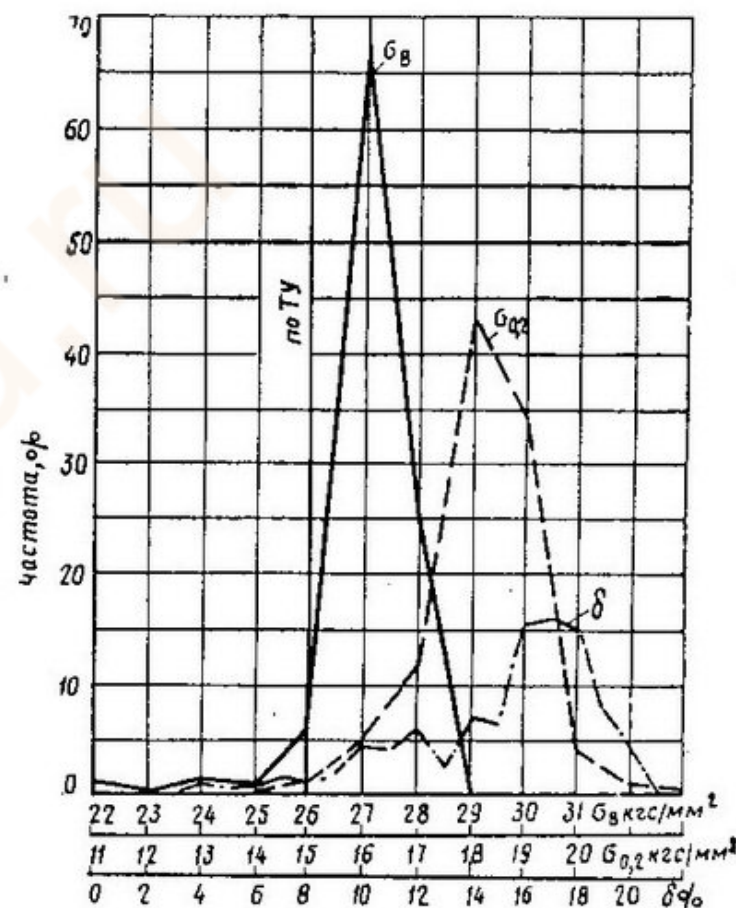


Рис. 1. Кривые нормального распределения механических свойств отожженных листов толщиной 3,1—10 мм из сплава МА2-1.

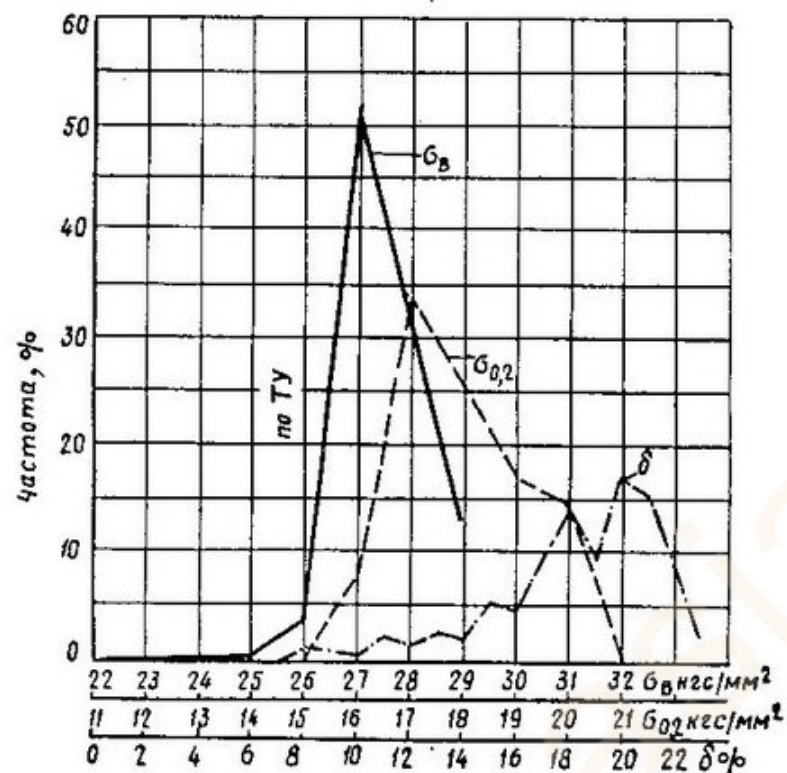


Рис. 2. Кривые нормального распределения механических свойств отожженных листов толщиной 0,8—3,0 мм из сплава МА2-1. Испытано 697 образцов.

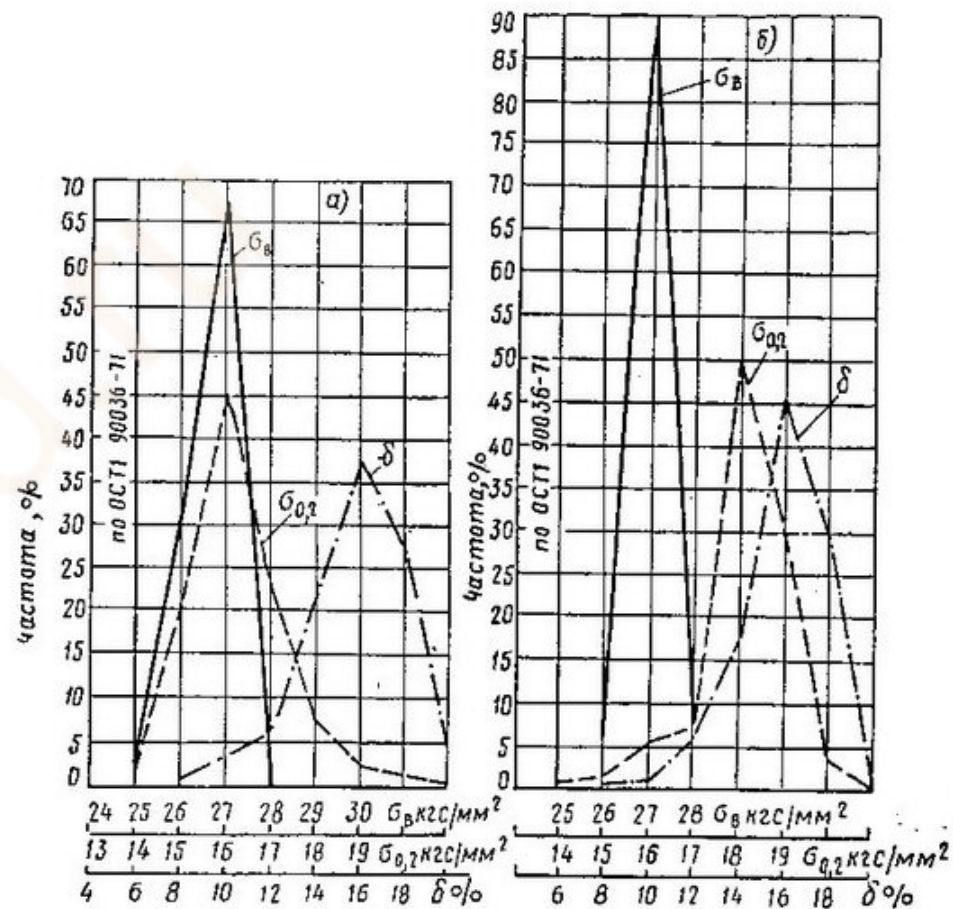


Рис. 3. Кривые нормального распределения механических свойств плит толщиной 12—32 мм из сплава МА2-1:
а — продольные образцы; б — поперечные образцы.

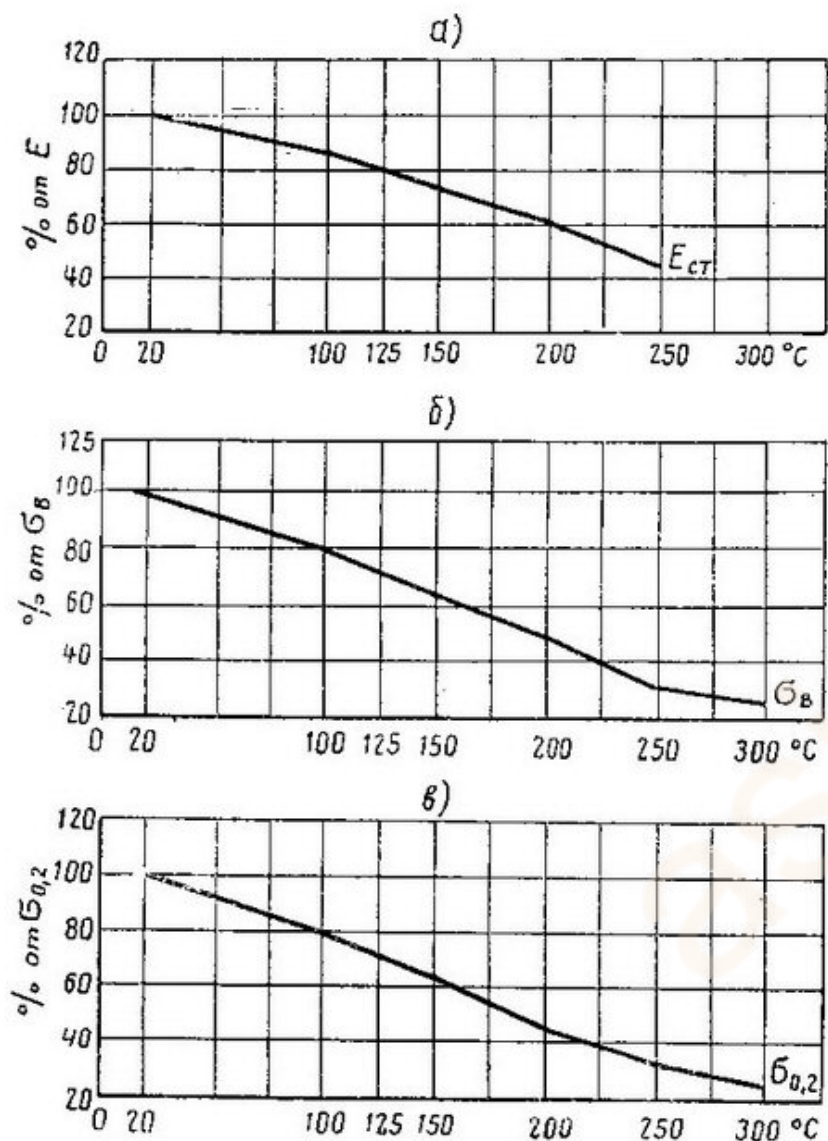


Рис. 4. Механические свойства прессованных прутков из сплава МА2-1 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):

а — % от E ; б — % от σ_B ; в — % от $\sigma_{0,2}$.

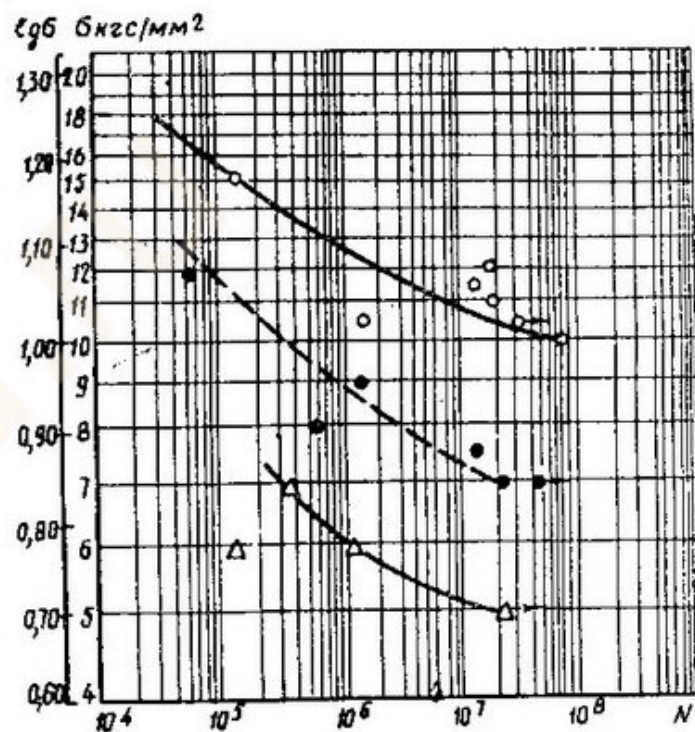


Рис. 5. Кривые выносливости при 20 и 150°C* при консольном изгибе вращающегося образца из прессованной плиты из сплава МА2-1:

○ — 20°C, гладкий образец; ● — 20°C, образец с надрезом; △ — 150°C, гладкий образец.

* С. Л. Жуков, В. Н. Васильев и др. Выносливость магниевых сплавов, ОНТИ ВИАМ, 1966, стр. 9

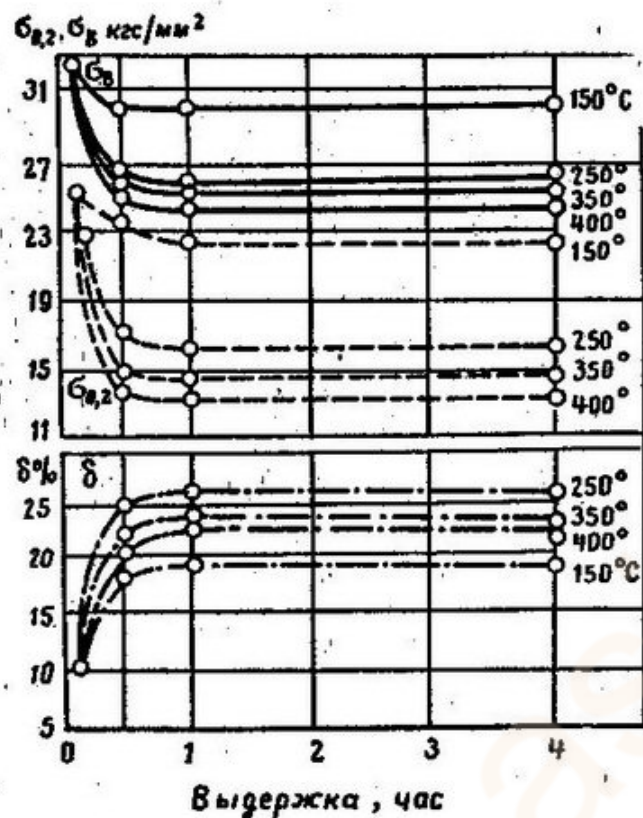


Рис. 6. Влияние температуры и времени выдержки при отжиге на механические свойства горячекатаных листов из сплава МА2-1 при 20°C.

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ

МА20 (ВМД8)

Химический состав в %

Zn	Ce	Zr	Mg	Cu	Ni	Fe	Si	Be	Прочие примеси
1,0—1,5	0,12—0,25	0,05—0,12	Осно- ва	0,02	0,005	0,03	0,1	0,002	0,3
не более									

Механические свойства по ТУ или СТУ

Вид полу- фабриката	ТУ или СТУ	Состоя- ние	$\sigma_{0,2}$	σ_{ν}	δ	$\sigma_{0,2 \text{ сж}}$
			кгс/мм ²		%	
Лист толщи- ной 0,6— 10,0 мм	ТУ ОП 1-9-419-72	Отжжен- ный (М)	16	23	18	12
Плита ката- ная толщ- ной 20—30 мм	ТУ ОП 1-9-230-72	Без терм- ической обработки	12	20	20	—
Пруток прес- сованный диа- метром до 160 мм	СТУ ОП 13-3-71	То же	18	25	$l_0=5 d_0$ 20	8
Полоса прес- сованная сече- нием до 130 см ²	СТУ ОП 13-3-71	»	18	25	20	8
Профиль прессованный сечением до 12 см ²	СТУ ОП 13-3-71	»	18	25	$l_0=11,3\sqrt{F^*}$ $l_0=5 d_0$ 20	8

* $l_0=11,3\sqrt{F_0}$ при толщине полки до 10 мм;

$l_0=5 d_0$ при толщине полки более 10 мм.

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	T	$\sigma_{\text{пл}}$		$\sigma_{0,2}$		δ_5	δ_{10}	δ_{20}	δ_{30}	δ_{50}	$\sigma_{\text{ср}}$	$\sigma_{\text{ср}}^{0,2}$	$\sigma_{\text{ср}}^{0,5}$	$\sigma_{\text{ср}}^{0,1}$	$\sigma_{\text{ср}}^{0,2}$	$\sigma_{\text{ср}}^{0,5}$	$\sigma_{\text{ср}}^{1}$	a_n	σ_{-1}			τ_{-1}
			кгс/мм ²	кгс/мм ²	кгс/мм ²	кгс/мм ²														кгс/мм ²	кгс/мм ²	кгс/мм ²	
Плита толщиной 30 мм Лист толщиной 2-3 мм	Без термической обработки	4100	6	11	21	20	40	42	30	1550	6	8,5	4	8*	—	—	—	—	1,4	—	—	—	8*
	Отожженный при 200°C, 1 час	4100	10	16	24	20	—	—	—	—	—	9	14	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	10***

* Предел выносливости определен при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

** Надрез $r=0,75$ мм, $\alpha_n=2,2$.

*** Предел выносливости при пульсирующем растяжении.

**** Образец с отверстием $d_{\text{отв}}=3$ мм, ширина образца 15 мм.

Механические свойства при -70°C

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ ($l_0=11,3\sqrt{F_0}$)	a_n
Плита толщиной 30 мм	Без термической обработки	16	27	10	1
Лист толщиной 2 мм	Отожженный при 260°C, 1 час	17	31	20	—

Пределы ползучести и длительной прочности

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{100}	$\sigma_{0,2/10^3}$
Плита толщиной 30 мм	Без термической обработки	100	—	6,5
		150	7	4
Лист толщиной 2 мм	Отожженный при 250°C, 1 час	100	12	8
		150	6	2

Чувствительность к надрезу

Вид полуфабриката	Состояние	При статической нагрузке		При повторных нагрузках	
		$\frac{\sigma_b^{II}}{\sigma_b}$		$\frac{\sigma_{-1}^{II}}{\sigma_{-1}^{II}}$	
		Температура испытания °C			
		-70	20	150	
Плита толщиной 30 мм	Без термической обработки	1,0	1,15	1,33**	—
Лист толщиной 2 мм		0,8	1,00	1,66***	1,5

* Надрез при статической нагрузке $r_n=0,1$ мм, $\alpha_n=4,0$.

** Надрез при повторных нагрузках $r_n=0,75$ мм, $\alpha_n=2,2$.

*** Образец с отверстием $d_{\text{отв}}=3$ мм, ширина образца 15 мм.

Малоцикловая усталость при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$	σ_{max} кгс/мм ²	N циклы
Плита * толщиной 30 мм	Без термической обработки	0,5	11,5	3800
		0,7	16	1000
Лист ** толщиной 2 мм	Отожженный при 250°, 1 час	0,5	11,5	4200
		0,7	16	1200

* Цилиндрический образец с круговым надрезом, $\alpha_k = 2,2$.** Образцы с отверстием $\alpha_k = 2,6$.

Физические свойства

Плотность $d = 1760$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100		100—200		200—300	
	20—100	100—200	200—300	20—200	20—300	20—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	29,1	29,4	31,0	29,2	29,8	

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20		100		200		300		400	
	20	100	200	300	400	20	100	200	300	400
λ вт/м·град	136	138	140	142	142					

Удельная теплоемкость

Температура °C	100		200		300	
	100	200	300	400	500	600
c кдж/кг·град	0,963	1,11	1,21			

Удельное электросопротивление при 20°C $\rho = 4,98 \cdot 10^8$ ом·см.

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью, не склонен к коррозионному растрескиванию. Коррозионная стойкость сварного соединения аналогична коррозионной стойкости основного материала.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температурный интервал деформации °C		Скорость деформации	Допустимая степень деформации %
	340—390	350—390		
Прессование	340—390	350—390	5—20 м/мин	80—96
Прокатка плит	350—390	350—390	1,4 м/сек	—
Прокатка листов	350—390	350—390	1,2 м/сек	Не более 50% за проход
Листовая штамповка	150—250	150—250	—	—

Пластичность сплава в горячем состоянии высокая; при комнатной температуре возможна штамповка деталей несложной формы.

Штампуемость

Вид обработки; степень деформации	Температура, °C							
	20		100		150		200	
	вдоль волока	поперек волока	вдоль волока	поперек волока	вдоль волока	поперек волока	вдоль волока	поперек волока
Гибка * Минимальный радиус сгиба	2,5 s	3,0 s	1,0 s	1,0 s	0,25 s	0,25 s	0	0
Вытяжка Коэффициент вытяжки	1,25	1,25	1,75	1,75	2,20	2,20	2,40	2,40
Отбортовка Степень отбортовки	1,25	1,25	1,75	1,75	2,15	2,15	3,25	3,25
Выдавка Степень выдавки в %	3	—	10	—	20	—	30	—

* Радиус сгиба при гибке на 90° $R = ns$; s — толщина материала.

Рекомендуемая термическая обработка

Листы поставляются в отожженном состоянии, остальные полуфабрикаты — в состоянии без термической обработки.

Снятие напряжений после деформации

Вид термической обработки	Вид полуфабриката	Температура °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Отжиг	Лист	260±10	1	Воздух

После операции сварки конструкции не требуют снятия напряжений.

Свариваемость

Метод сварки	Состояние	Присадочный материал	Коэффициент трещинообразования К _{тр} , %	Предел прочности сварного соединения кгс/мм ²		Коэффициент прочности сварного соединения	Угол изгиба ° град	
				-70°	20°		основного материала	сварного соединения
ААрДЭС (ИМП)	Отжиг при 250°C, 1 час	Проволока Св1	≤10	24	21,5	0,9	80	60
		Проволока Св2	≤15	24	21,5	0,9		70

* Толщина $s=2$ мм.

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Для сварных деталей сложной геометрической формы, работающих длительно до температуры 150°C и кратковременно — до 200°C.

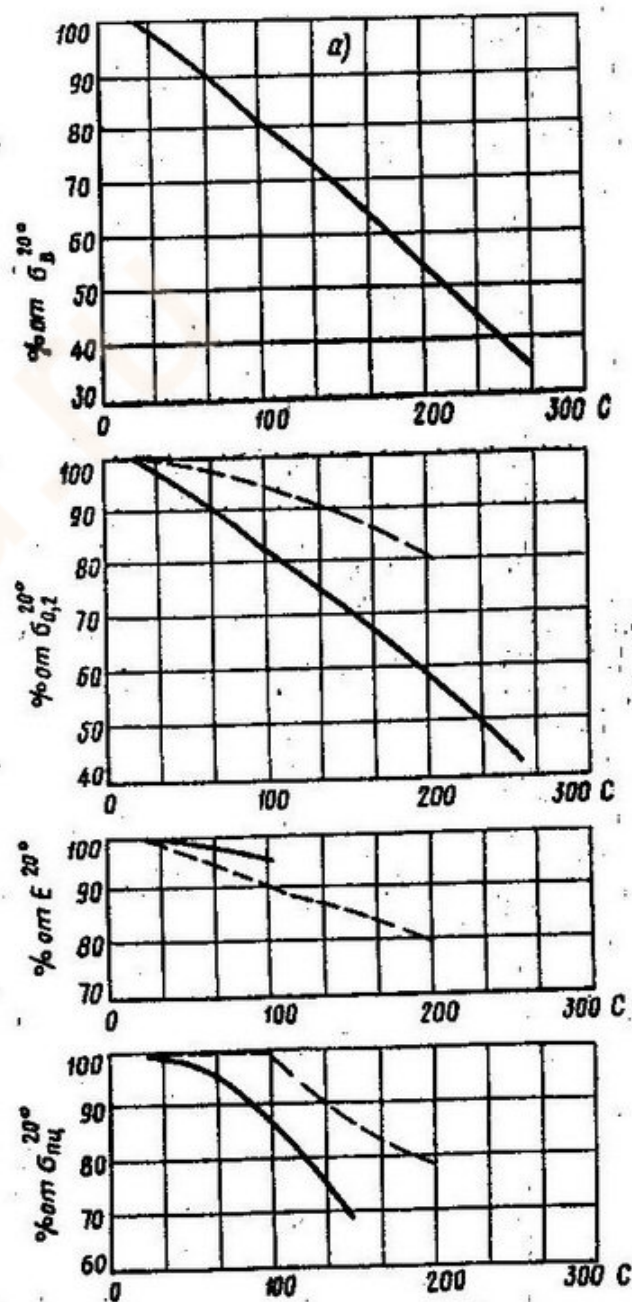


Рис. 1. Механические свойства сплава МА20 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре: E , $\sigma_{пл}$, $\sigma_{0.2}$, $\sigma_{0.1}$):
 ———— данные каталожной толщины 30 мм;
 ———— испытание на растяжение; ———— испытание на сжатие.

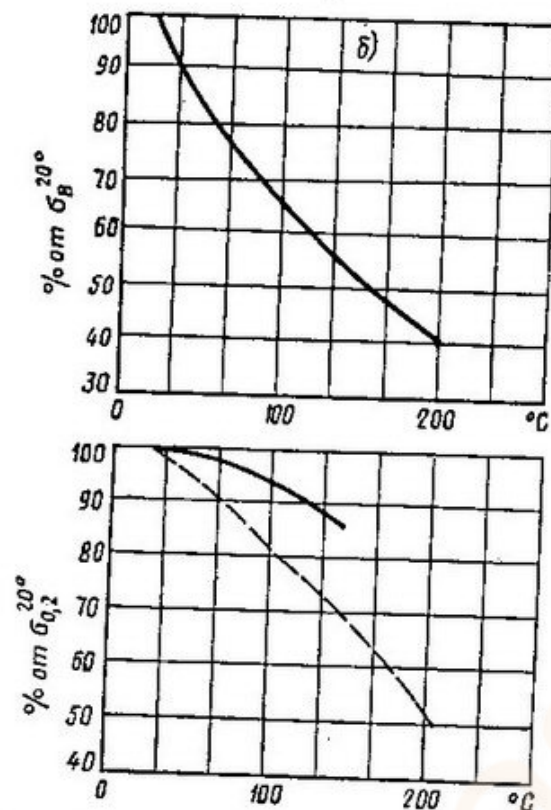


Рис. 1. Механические свойства сплава МА20 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре: $\sigma_{0.2}$, σ_B):

б — лист отожженный толщиной 2 мм.
— испытание на растяжение; — — испытание на сжатие.

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ

В эту группу входят сплавы МА5, МА14 (ВМ65-1), МА15 (ВМДЗ) и МА19 (ВМД6). Сплавы МА5 и МА14 упрочняются термической обработкой. Технологическая пластичность высокопрочных сплавов, за исключением сплава МА15, ниже, чем у среднепрочных, но они достаточно хорошо обрабатываются прессованием и объемной штамповкой. Сплав МА15 имеет высокую технологическую пластичность и может обрабатываться прокаткой для получения плит и листов. Сплавы МА5 и МА15 свариваются контактной и аргоно-дуговой сваркой, а сплавы МА14 и МА19 — только контактной сваркой. Коррозионная стойкость высокопрочных сплавов удовлетворительная. Склонность к коррозии под напряжением сплава МА5 повышенная, и поэтому его применение в некоторых случаях ограничивается. Сплавы МА15, МА14 и МА19 незначительно склонны к коррозии под напряжением. Сплавы МА15, МА5, МА19 предназначены для изготовления деталей, длительно работающих при температурах до 150° и кратковременно — до 200° .

Сплав МА14 рекомендуется для деталей, работающих до 125° .

Наиболее высокие механические свойства, особенно предел текучести, при комнатной и высоких температурах среди высокопрочных сплавов имеет сплав МА19.

Прессованные полуфабрикаты из сплава МА5 поставляются в горячепрессованном и закаленном (Т4) состояниях. Полуфабрикаты из сплавов МА15 и МА19 поставляются без термической обработки.

Сплав МА14 получил наиболее широкое применение для деталей узлов управления, панелей, штампованных барабанов авиаколес и других нагруженных деталей. Полуфабрикаты из сплава МА14 поставляются в искусственно состаренном состоянии (Т1). Прутки, профили, полосы, панели и штамповки применяются для изготовления нагруженных деталей летательных аппаратов.

Сплав МА19 рекомендуется для тех же целей, что и сплав МА14, но имеет более высокие прочностные свойства при комнатной и высоких температурах. Сплав МА15 обладает меньшей прочностью, чем другие высокопрочные сплавы. Этот сплав в виде прессованных полуфабрикатов, поковок и штамповок, катаных листов и плит может применяться для нагруженных деталей летательных аппаратов, в том числе для деталей и узлов, подвергающихся сварке.

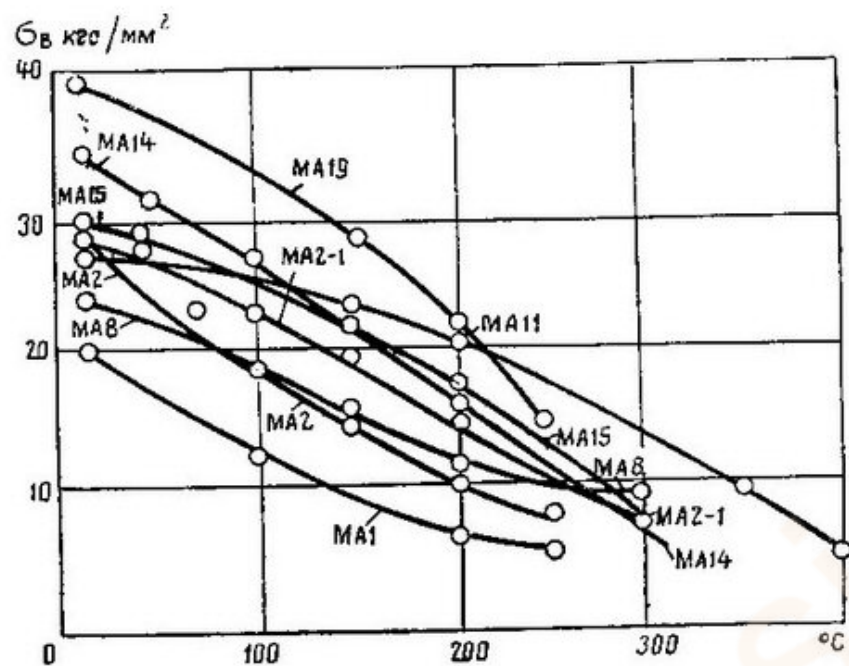


Рис. 1. Влияние температуры испытания на предел прочности деформируемых магниевых сплавов при кратковременном растяжении.
Прессованные прутки.

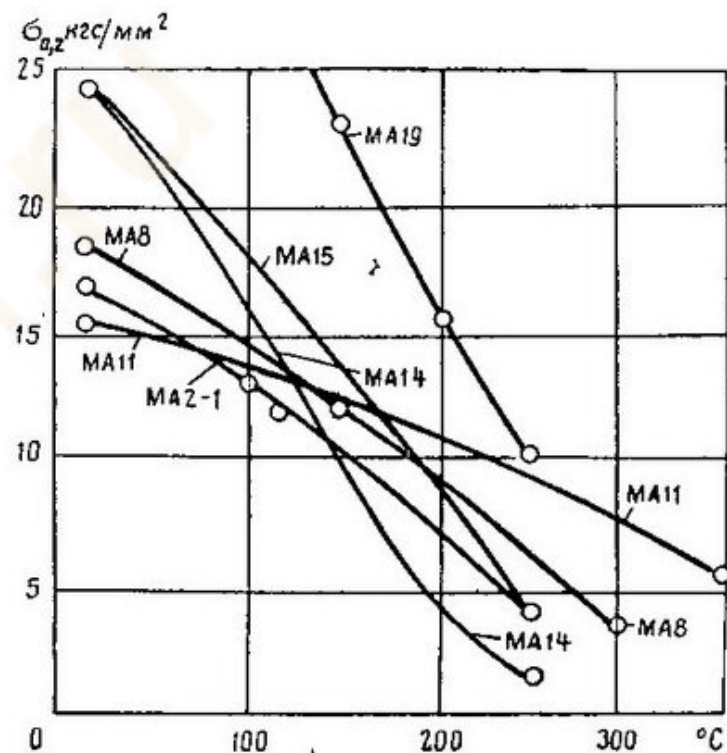


Рис. 2. Влияние температуры испытания на предел текучести деформируемых магниевых сплавов при кратковременном растяжении.
Прессованные прутки.

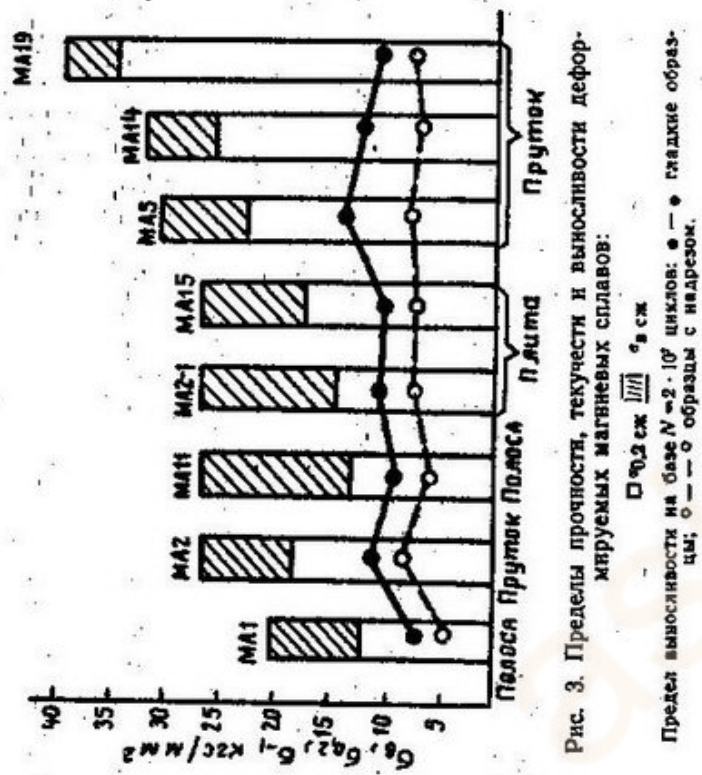


Рис. 3. Пределы прочности, текучести и выносливости деформируемых магниевых сплавов:

□ $\sigma_{0,2}$ сж $\sigma_{0,2}$ сж $\sigma_{0,2}$ сж
 ● — гладкие образцы; ○ — образцы с надрезом.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ

МА5

Химический состав в %

Al	Mn	Zn	Mg	Cu	Ni	Si	Be	Fe	Прочие примеси
				не более					
7,8—9,2	0,15—0,5	0,2—0,8	Осно- ва	0,05	0,005	0,10	0,002	0,05	0,3

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5 %
			кгс/мм ²		
Прутки прессованный диаметром (в мм):	ГОСТ 18351—73	Закаленный (Т4)	19	30	$l_0 = 5 d_0$ 6
			18	28	5
			—	27	4
5—100		Без термиче- ской обработ- ки	19	30	6
			18	28	5
			—	27	4
101—160					
161—200					

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полу- фабриката	Состояние	$E_{ст}$ кгс/мм ²	G	μ	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0,2}$		δ_5	ψ	$F_{сж}$	$F_{пл}$	$F_{0,2 сж}$	$\sigma_{0,3}$	σ_n	$\sigma_{ср}$	a_n	σ_{-1}^*	
						кгс/мм ²	кгс/мм ²										кгс/мм ²	кгс/мм ²
Прутки прессован- ный	Закален- ный (Т4)	4300	1600	0,34	13	22	31	8	20	—	—	14	6,5	21	18	0,6	13	10

* Предел выносливости определялся при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов; надрез $r_n = 0,75$ мм, $\alpha_k = 2,2$.

Чувствительность к надрезу при комнатной температуре

Вид полу- фабриката	Состояние	Характер нагрузки	Чувствительность к надрезу
Прутки диамет- ром 50 мм	Закаленный (Т4)	При статичес- кой нагрузке	$\frac{\sigma_B^*}{\sigma_B} = 1,0$
		При повторных нагрузках	$\frac{\sigma_{-1}^{**}}{\sigma_{-1}^*} = 1,85$

* Надрез при статической нагрузке $r_n = 0,1$ мм, угол надреза 60°

** Надрез при повторных нагрузках $r_n = 0,75$ мм, $\alpha_k = 2,2$.

Физические свойства

Плотность $d = 1800$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100°
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	26,0

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25
λ вт/м·град	58,7

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	350
c кдж/кг·град	1,13	1,21	1,26	1,30

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Склонность к коррозионному растрескиванию повышенная.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температурный интервал деформации °С	Скорость деформации м/мин
Прессование	320—360	3—12
Ковка на прессе	300—380	—
Штамповка	300—380	—

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °С	Выдержка час	Охлаждающая среда
Закалка (Т4)	410—425	2—6	Воздух

Свариваемость сплава пониженная; склонен к образованию трещин при сварке.

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Детали, работающие длительно при температурах до 150°С и кратковременно — до 200°С.

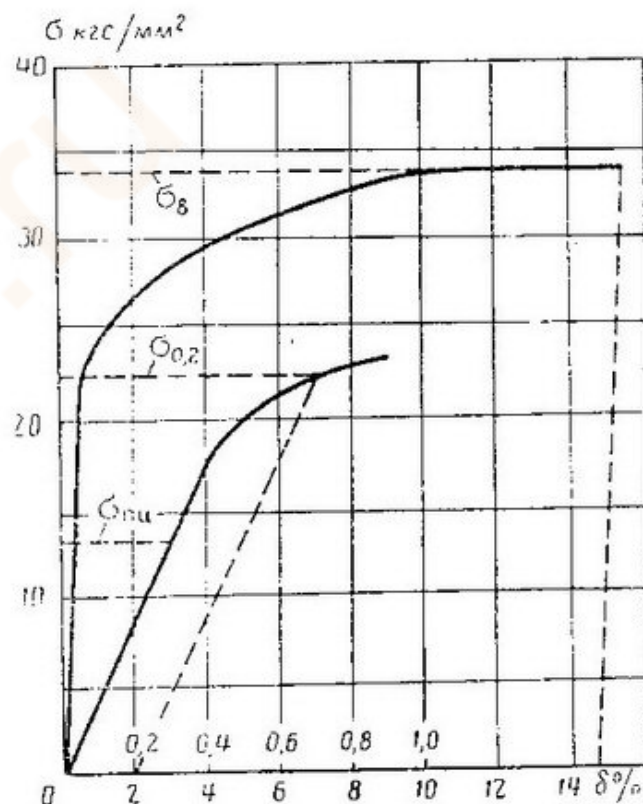


Рис. 1. Диаграмма растяжения прутка диаметром 23 мм из сплава МА5.

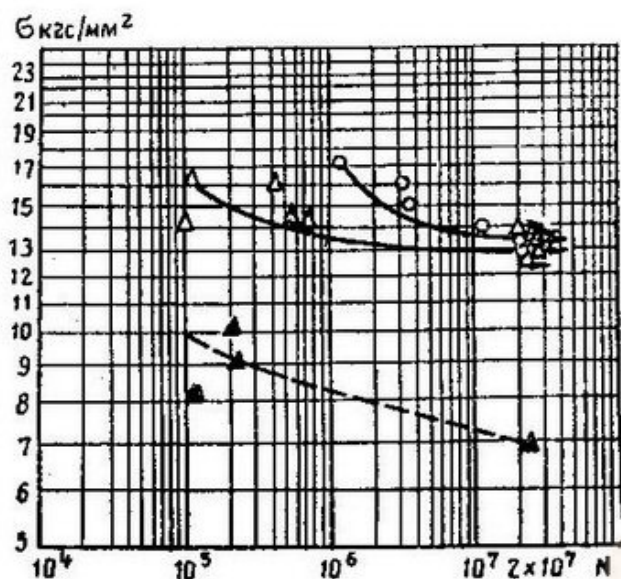


Рис. 2. Кривые выносливости при консольном изгибе вращающегося образца из прессованного прутка диаметром 22 мм из сплава МА5 при температуре 20°C:

○ — исходное состояние; гладкие образцы; после старения; △ — гладкий образец; ▲ — образец с надрезом.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ

МА14 (ВМ65-1)

Химический состав в %

Zr	Zr	Mg	Cu	Ni	Al	Si	Fe	Mn	Re	Прочие примеси
5,0—6,0	0,3—0,9	Основа	0,05	0,005	0,05	0,05	0,03	0,1	0,002	0,3
не более										

Механические свойства по ГОСТ, ТУ или ОСТ (не менее) *

Вид полуфабриката	ГОСТ, ОСТ или ТУ	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_n	δ ($l_0=5d_0$)	НВ	$\sigma_{0,2сж}$
			кгс/мм ²		%		
Пруток прессованный диаметром (в мм): 8—100 101—160 161—200	ГОСТ 18351—73	Искусственно состаренный (Т1)	25	32	6	—	—
			24	31	6	—	—
			18	27	4	—	—
Профиль прессованный (все размеры)	АМТУ 527-66	То же	25	32	6**	60	—
Полоса прессованная сечением до 130 см ²	ОСТ 1 90037—71	.	24	32	6	—	15
Штамповка весом (в кг): до 30 30—100 более 100	ОСТ 1 90010—70	Искусственно состаренный (Т1)	—	30	7	65	—
			—	28	7	60	—
			—	27	6	60	—
Поковка весом (в кг): до 50 50—100 более 100	ОСТ 1 90010—70	То же	—	28	6	55	—
			—	27	6	55	—
			—	26	5	55	—

* Свойства вдоль направления волокна.

** При полке до 10 мм $l_0=11,3\sqrt{F_0}$; при полке более 10 мм $l_0=5d_0$.

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	E кгс/мм ²	G	μ	σ _{лп} σ _{0,2} кгс/мм ²		σ _в кгс/мм ²	δ (l ₀ = 5 d ₀) %	ψ	E _{ск}	σ _{тп} кгс/мм ²	σ _{вск} σ _{0,3} кгс/мм ²	τ _в кгс/мм ²	σ _н кгс·м/см ²	σ-1 образцы					
					с над- крит. нагр.	с над- крит. нагр.														
Пруток прессован- ный	Искус- ственно соста- вленный (Т1)	3300	16000	0,34	14,5	30	35	9	24	4500	13	18	48	12,5	23,5	18	12,5	7,5		
Профиль прессован- ный	То же	—	—	—	15	29	34	10**	26	—	—	13,5	19,0	49	13	24,5	19	0,9	12	7,5
Полоса прессован- ная	»	—	—	—	13	29	34	10**	25	—	—	12,5	16,0	46	12,5	23	16	0,7	11	7,5
Полоска весом до 50 кг	»	—	—	—	—	25	30	12	26	—	—	—	—	—	12	22	14	0,6	—	—
Штампов- ка весом до 30 кг	»	—	—	—	—	26	32	14	27	—	—	—	—	—	12,5	23	16	0,7	—	—

* Предел выносливости определяется при знакопеременном изгибе пружинящего образца на базе $2 \cdot 10^7$ цик-
лов, $r_n = 0,75$ мм, $a_k = 2,2$.

** При полке 10 мм $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$; при полке более 10 мм $l_0 = 5 d_0$.

Механические свойства при низких температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпера- тура испытания °С	σ _н кгс/мм ²	ψ	δ ₅ %	a _н кгс·м/см ²
		-40	39	10	9	0,5
		-70	41	8	8	0,4
		-196	47	—	2,5	0,2

Механические свойства после длительных нагревов при температуре испытания

Направление вырезки образца	Температура нагрева и испытания °С	Время вы- держки при нагреве час	σ _{0,2}	σ _н	δ ₁₀

Прессованные прутки диаметром 25 мм

Продольное	125	30 мин	15,5	22,0	30
		2500	15,5	21,0	30
		10000	15,5	21,0	30
		20000	13,5	20,0	30
	150	30 мин	13,0	18,0	35
		2500	11,0	16,0	35
		10000	11,0	16,0	40
		20000	11,0	16,0	50

Штамповка тормозного барабана

Осевое	125	30 мин	12,0	17,5	30
		2500	12,0	17,0	30
		10000	12,0	17,0	30
		20000	11,0	16,0	30
	150	30 мин	10,0	15,5	35
		2500	7,5	12,5	40
		10000	7,5	12,5	40
		20000	7,5	12,5	40
Радиальное	150	30 мин	10,0	15,0	35
		2500	7,5	12,5	50
		10000	7,5	12,5	50
		20000	7,5	12,5	50
Тангенциальное	150	30 мин	11,0	15,0	35
		2500	—	—	—
		10000	9,0	12,5	40
		20000	9,0	12,5	40

Пределы ползучести штамповки при 100 и 125°C

Вид полу- фабриката	Состояние	Направление вырезки образца	100°C			125°C		
			10 час	30 час	100 час	10 час	30 час	100 час
			кгс/мм ²					
Штамповка тор- мозного барабана	Искусствен- но состарен- ная (T1)	Тангенциаль- ное	5,7	5,0	3,5	3,2	2,8	1,5

Чувствительность к надрезу*

Вид полу- фабриката	Состояние	Характер нагружения	Чувствительность к надрезу при температуре испытания °C			гк
			-70	-40	20	
Полоса сечени- ем 80×140 мм	Искусствен- но состаренная (T1)	При статичес- кой нагрузке	1,11	1,08	1,2	4,0
		$\frac{\sigma_{\text{в}}^{\text{н}}}{\sigma_{\text{в}}}$				
		При повторных нагрузках	—	—	1,5	2,2
		$\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1}^{\text{н}}}$				

* Надрез при статической нагрузке $r_{\text{н}}=0,1$ мм, угол надреза 60°, надрез при повторных нагрузках $r_{\text{н}}=0,75$ мм.

Физические свойства

Плотность $d=1800$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	100—200	20—200
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	20,9	22,6	21,8

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300	400
λ , вт/м·град	117	121	126	126	126

Удельная теплоемкость

Температура °C	20
c , кдж/кг·град	1,03

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^6$ ом·см	5,65

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью, имеет незначительную склонность к коррозионному растрескиванию.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температурный интервал деформации °C	Скорость деформации м/мин
Прессование	300—350	3
Ковка	420—320	—
Штамповка	400—280	—

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °C	Время выдержки час	Охлаждающая среда
Искусственное старе- ние (T1)	170	10—24	Воздух

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Детали, работающие при температурах до 125°C.

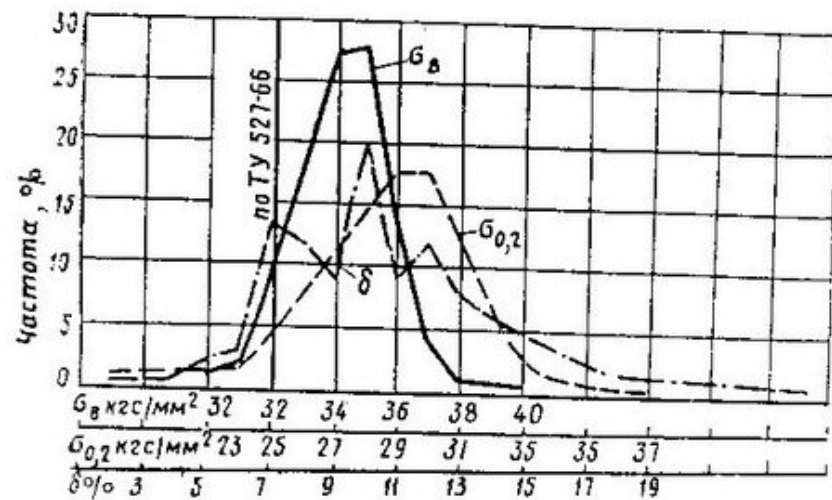


Рис. 1. Кривые нормального распределения механических свойств профилей с толщиной полки 1,0—16,0 мм из сплава МА14.

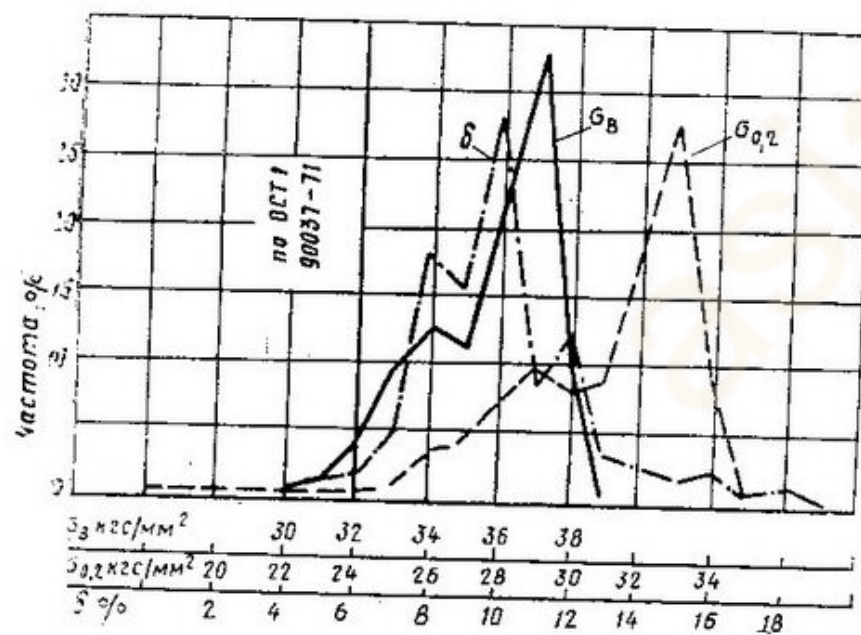


Рис. 2. Кривые нормального распределения механических свойств стержней размером 18×40 ± 92×300 мм из сплава МА14.

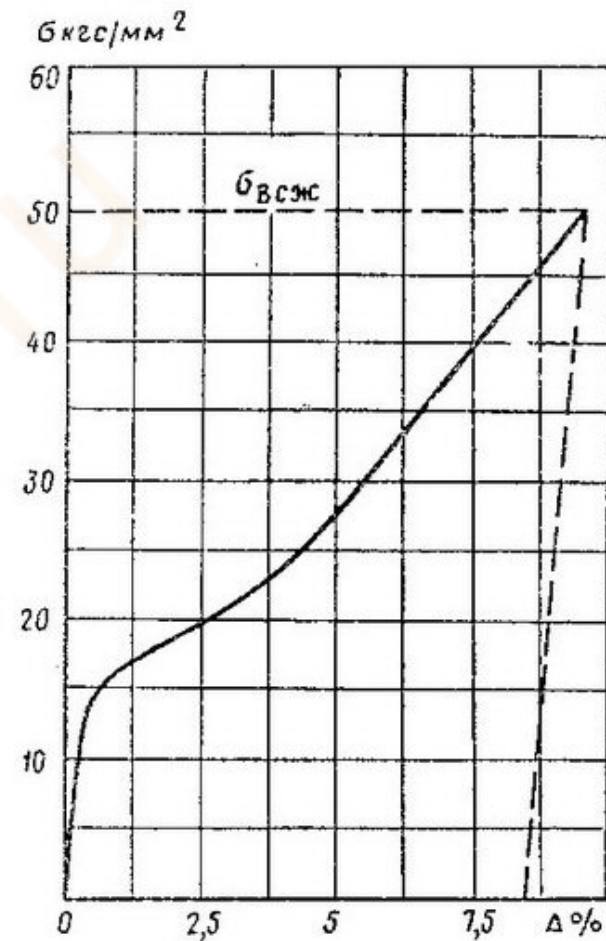


Рис. 3. Диаграмма сжатия прессованной полосы сечением 80×140 мм из сплава МА14 (продольные образцы) в состаренном состоянии.

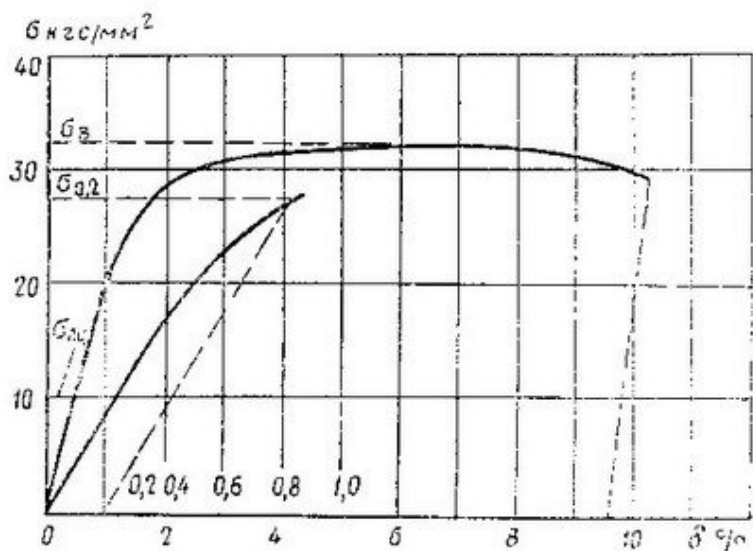


Рис. 4. Диаграмма растяжения прессованной полосы сечением 80×140 мм из сплава МА14 (продольные образцы) в состаренном состоянии.

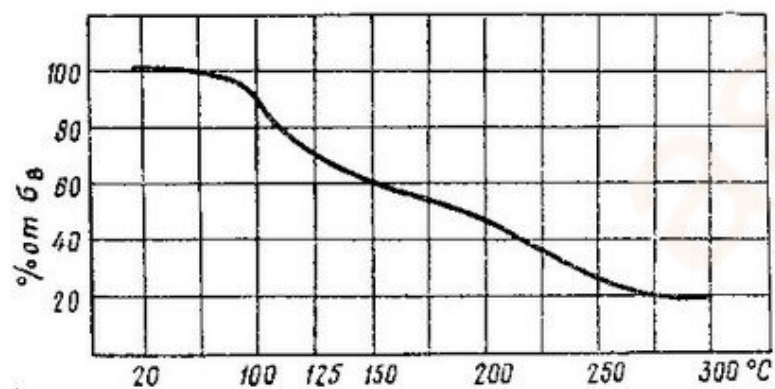


Рис. 5. Механические свойства прутка из сплава МА14 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):

$$\sigma_{\text{в}}^{20^\circ} = 34 \text{ кгс/мм}^2; \delta = 10\%$$

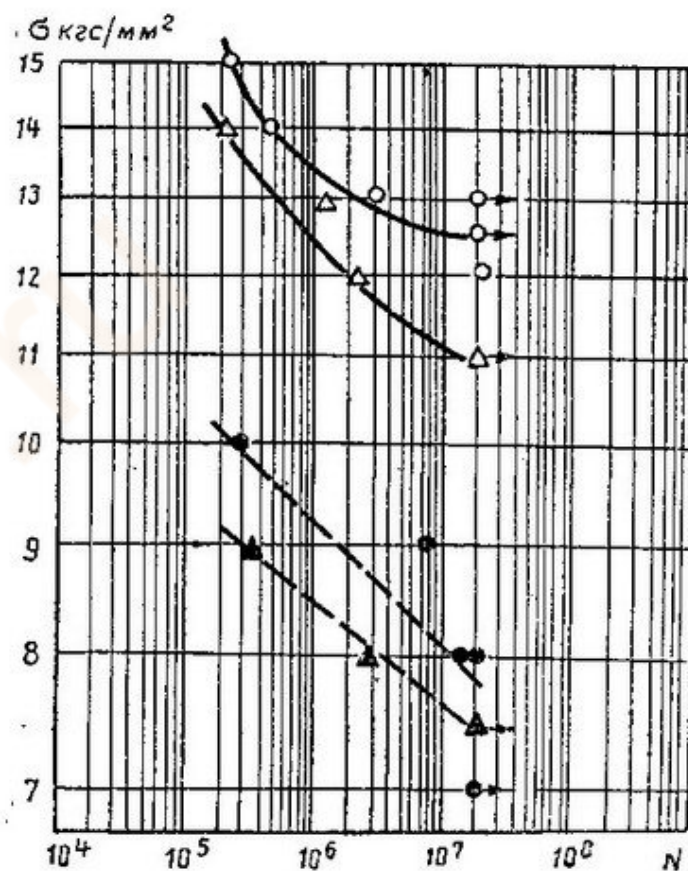


Рис. 6. Кривые выносливости* при консольном изгибе вращающегося образца из прутка после старения при $170^\circ\text{C} - 10$ час (диаметр прутка 20 мм) и прессованной полосы сечением 80×140 мм при комнатной температуре:

пруток
 ○ — гладкий образец; ● — образец с надрезом;
 полоса
 △ — гладкий образец; ▲ — образец с надрезом.

* С. Л. Жуков, Б. И. Васильев и др. «Выносливость магниевых сплавов», ОНТИ ВИАМ, 1966, стр. 20—21.

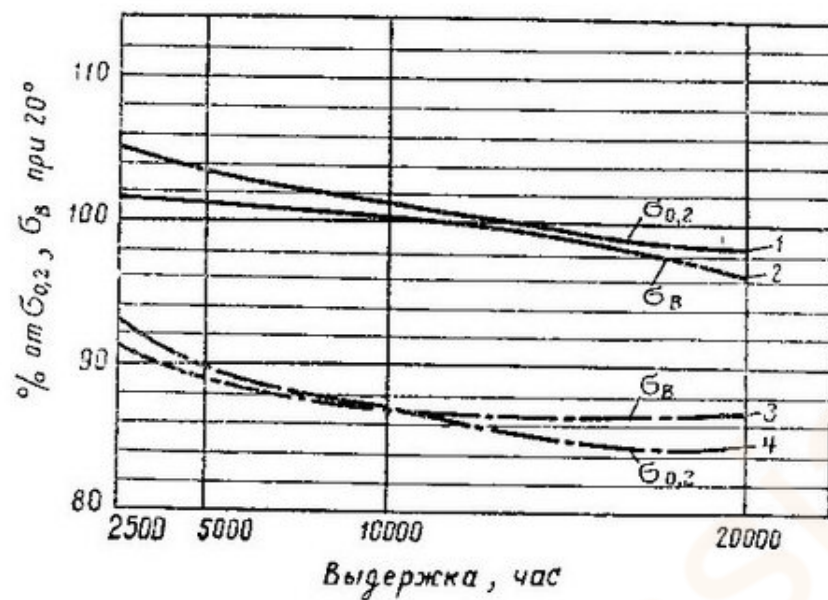


Рис. 7. Механические свойства прутка диаметром 25 мм из сплава МА14 при комнатной температуре после длительных нагревов (в % от соответствующих исходных значений при комнатной температуре):

кривые 1, 2—после длительных нагревов при 125°C; кривые 3, 4—после длительных нагревов при 150°C.

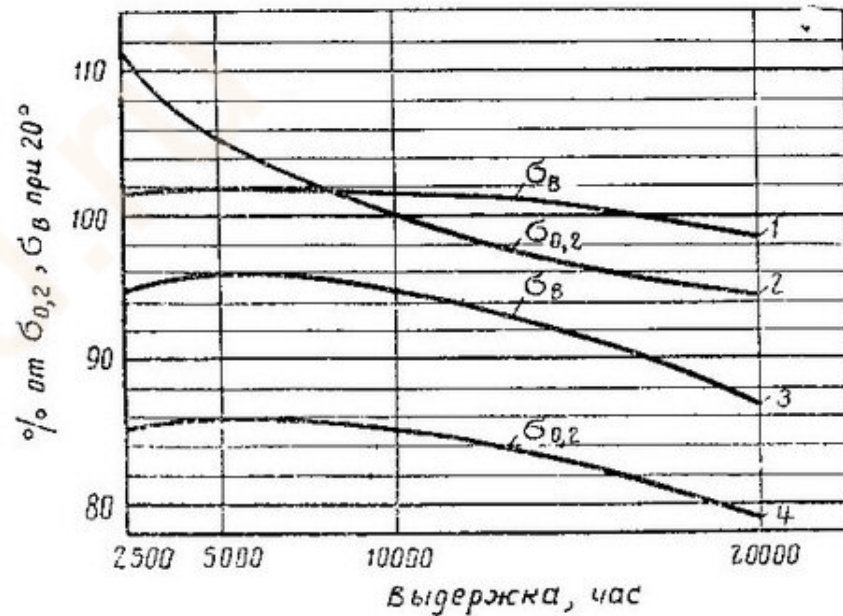


Рис. 8. Механические свойства штамповок тормозного барабана КТ5 из сплава МА14 при комнатной температуре после длительных нагревов (в % от соответствующих исходных значений при комнатной температуре):

кривые 1, 2—после длительных нагревов при 125°C; кривые 3, 4—после длительных нагревов при 150°C.

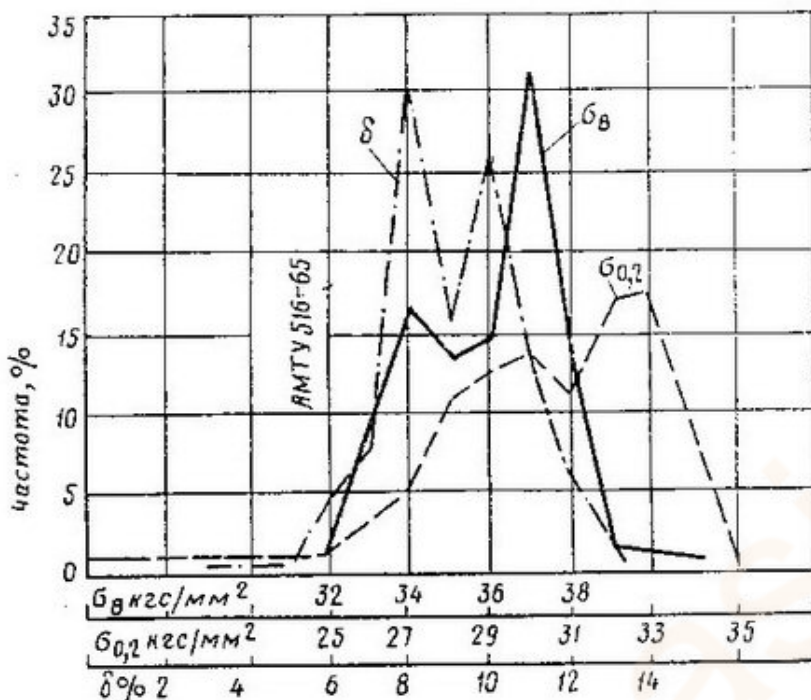


Рис. 9. Кривые нормального распределения механических свойств прутков диаметром 10—160 мм из сплава МА14. (АМТУ 516-65 заменены ГОСТ 18351—73).

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ

МА15 (ВМДЗ)

Химический состав в %

Zn	Cd	Zr	La	Mg	Cu	Al	Si	Ni	Fe	Mn	Be	Прочие примеси
2,5—3,5	1,2—2,0	0,45—0,9	0,7—1,1	Основа	0,03	0,05	0,05	0,005	0,03	0,1	0,002	0,3
не более												

Механические свойства различных полуфабрикатов по ГОСТ, ОСТ, ТУ или СТУВ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ, ОСТ, ТУ или СТУВ	Состояние	σ		δ %	$\sigma_{0,2 \text{ сж}}$ кгс/мм ²	
			$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{н}}$			
			кгс/мм ²				
Плита катаная толщиной (в мм):	СТУВ 4-2-68	Без термической обработки			$l_0 = 5 d_0$		
			11—40	17	26	5	11
			41—70	16	25	5	10
Лист толщиной (в мм):	ТУ1-9-543-73	Отожженный (М)			$l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$		
			0,8—2,0	19	26	6	—
			2,5—3,5	19	26	4	16
			4,0—10,0	18	25	4	—
Пруток пресованный диаметром (в мм):	ГОСТ 18351—73	Без термической обработки			$l_0 = 5 d_0$		
			8—50	22	28	6	—
			51—100	21	30	6	—
			101—160	22	29	5	—
			161—200	—	28	5	—
Полоса пресованная сечением до 130,0 см ²	ОСТ1 90037—71	То же			$l_0 = 5 d_0$		
			22	29	6	14	

Продолжение

Вид полуфабриката	ГОСТ, ТУ или СТУВ	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ %	$\sigma_{0,2 \text{ сж}}$
			кгс/мм ²			
Труба прессованная диаметром 16—26 мм с толщиной стенки 1,5—2,0 мм, длиной 3000 мм	СТУВ 44-16-67	Отожженная (М)	23	29	$l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$ 6	—
		Без термической обработки	23	29		6
Профиль прессованный	СТУВ 15-3-70	То же	23	28	$l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}^*$ $l_0 = 5 d_0$ 5	—
Штамповка	СТУВ 9-9-66	»	25	30		5
Поковка	СТУВ 60-4-69	»	17	27	$l_0 = 5 d_0$ 5	14

* $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$ при толщине полки до 10 мм.
 $l_0 = 5 d_0$ при толщине полки более 10 мм.

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E кгс/мм ²	G кгс/мм ²	μ	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ %	ψ	$\sigma_{пл \text{ сж}}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,3}$	τ_B	$\tau_{ср}$	d_H	σ_{-1}	σ_{-1}^H	кгс/мм ²	кгс·м/см ²	кгс/мм ²	кгс/мм ²	кгс/мм ²	кгс/мм ²	
																								кгс/мм ²
Плита катаная толщиной 30 мм	Без термической обработки	4200	1600	0,31	—	20	27	5	9	10	12	7	15	14	0,4	10*	—	—	—	—	—	—	—	—
Лист толщиной 2 мм	Отожженный (М)	4100	—	—	—	20	27	6	—	—	—	—	—	—	0,4	11****	—	—	—	—	—	—	—	—
Пруток прессованный диаметром 22 мм	Без термической обработки	4200	1600	0,31	20	26	32	6	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости определялся при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

** Надрез $r_H = 0,75$ мм, $\alpha_K = 2,2$.

*** Предел выносливости при пульсирующем растяжении.

**** Образец с отверстием $d_{отв} = 3$ мм, ширина образца 15 мм.

Механические свойства при низкой температуре (-70°C)

Вид полу- фабриката	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	a_{II}
		кгс/мм ²		%	
Лист толщиной 3 мм	Отожженный (М)	26	35	5	—
Плита катаная толщиной 30 мм	Без термичес- кой обработки	25	30	2	0,3
Пруток прессо- ванный диамет- ром 22 мм	То же	35	40	7	0,8

Пределы ползучести и длительной прочности

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания $^{\circ}\text{C}$	σ_{100}	$\sigma_{0,2/100}$
			кгс/мм ²	
Лист толщиной 3 мм	Отожженный (М)	100	13	7
		150	5	2,5
Плита катаная толщиной 30 мм	Без термичес- кой обработки	150	7	3
Пруток прессо- ванный диаметром 22 мм	То же	150	10	3

Чувствительность к надрезу

Вид полу- фабриката	Состояние	При статической нагрузке		При повтор- ных нагрузках	Работа разрушения
		$\frac{\sigma_B^{H*}}{\sigma_B}$	температура, $^{\circ}\text{C}$		
		σ_{-1}^{**}	σ_{-1}^{H*}	$a_{T,y}$	
Лист толщиной 3 мм	Отож- женный (М)	0,97	1,05	1,6 ***	0,2
Плита толщиной 30 мм	Без тер- мической обработки	1,05	1,15	1,5 **	—
Пруток прессо- ванный диаметром 22 мм	То же	1,15	1,2	1,5 **	—

* Надрез при статической нагрузке $r_H=0,1$ мм, $\alpha_K=4,0$.

** Надрез при повторных нагрузках $r_H=0,75$ мм, $\alpha_K=2,2$.

*** Образец с отверстием, $d_{отв}=3$ мм, ширина образца 15 мм.

Малочикловая усталость

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания $^{\circ}\text{C}$	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_B}$	σ_{max} кгс/мм ²	N циклы
Лист * толщи- ной 3 мм	Отожжен- ный (М)	20	0,7	19,5	3600
Плита ** ката- ная толщиной 30 мм	Без термичес- кой обработ- ки	20	0,7	18	2500
Пруток ** прес- сованный диамет- ром 22 мм	То же	20	0,7	18	3000

* Образцы с отверстием $\alpha_K=2,6$.

** Цилиндрические образцы с круговым надрезом $\alpha_K=2,2$.

Физические свойства

Плотность $d = 1830 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	100—200	200—300	300—400	20—200	20—300	20—400
$\alpha \cdot 10^6 \text{ /град}$	25,9	27,8	30,6	30,1	26,8	28,1	28,6

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20	100	200	300	400
$\lambda \text{ вт/м} \cdot \text{град}$	113	117	121	125	129

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400
$c \text{ кдж/кг} \cdot \text{град}$	1,00	1,07	1,13	1,19

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^6 \text{ ом} \cdot \text{см}$	6,56

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью, имеет незначительную склонность к коррозионному растрескиванию. Коррозионная стойкость сварного соединения аналогична коррозионной стойкости основного материала.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температурный интервал деформации °C	Скорость деформации	Допустимая степень деформации %
Прокатка плит	370—400	1,4 м/сек	Не более 25 за проход
Прокатка листов	350—370	1,2 м/сек	
Прессование	300—360	0,5—3 м/мин	80—95
Штамповка на молоте	350—380	—	70—80
Штамповка на прессе	250—360	—	70—80
Ковка на молоте	360—390	—	70—80

Пластичность сплава в горячем состоянии высокая.

Штампуемость

Вид обработки; степень деформации	Температура, °C											
	20		100		150		200		250		300	
	поперек волокну	вдоль волокну	поперек	вдоль	поперек	вдоль	поперек	вдоль	поперек	вдоль	поперек	вдоль
Гибка * Максимальный радиус сгиба	4—5 s	5—6 s	—	—	2—3 s	4—5 s	1,5—2 s	3—4 s	1—1,5 s	2—3 s	1—0,8 s	1,5—2 s
Вытяжка Коэффициент вытяжки	—	—	—	—	1,35—1,50	—	1,8—2,0	—	2,05—2,15	—	2,2—2,4	—
Отбортовка Степень отбортовки	—	—	—	—	1,3—1,4	—	1,7—1,8	—	1,9—2,0	—	2,2—2,3	—
Выдавка Степень выдавки в %	—	—	—	—	16—19	—	25—27	—	33—35	—	41—43	—

* Радиус сгиба при гибке на $< 90^\circ$, $r = n \cdot s$; s — толщина материала.

Рекомендуемая термическая обработка

Лист поставляется в отожженном состоянии, трубы — в отожженном состоянии без термической обработки; остальные полуфабрикаты поставляются в состоянии без термической обработки.

Снятие напряжений после деформации и сварки

Вид термической обработки	Состояние	Температура °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Снятие напряжений после деформации	Отжиг	260 ⁺¹⁵	0,5	Воздух
Снятие напряжений после сварки	Для всех полуфабрикатов	250	0,5	Воздух

Свариваемость

Метод сварки	Состояние	Присадочный материал	Коэффициент трещинообразования $K_{тр}$, %	Предел прочности сварного соединения σ_w , кгс/мм ²	Коэффициент прочности сварного соединения	Угол изгиба град	
						основного металла	сварного соединения
Аргонно-дуговая сварка $s \leq 3$ мм	Отжиг при 250°C — 0,5 час	Основной металл	≤ 30	24	0,80	48	60

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Сварные конструкции, работающие длительно до 150°C и кратковременно до 200°C

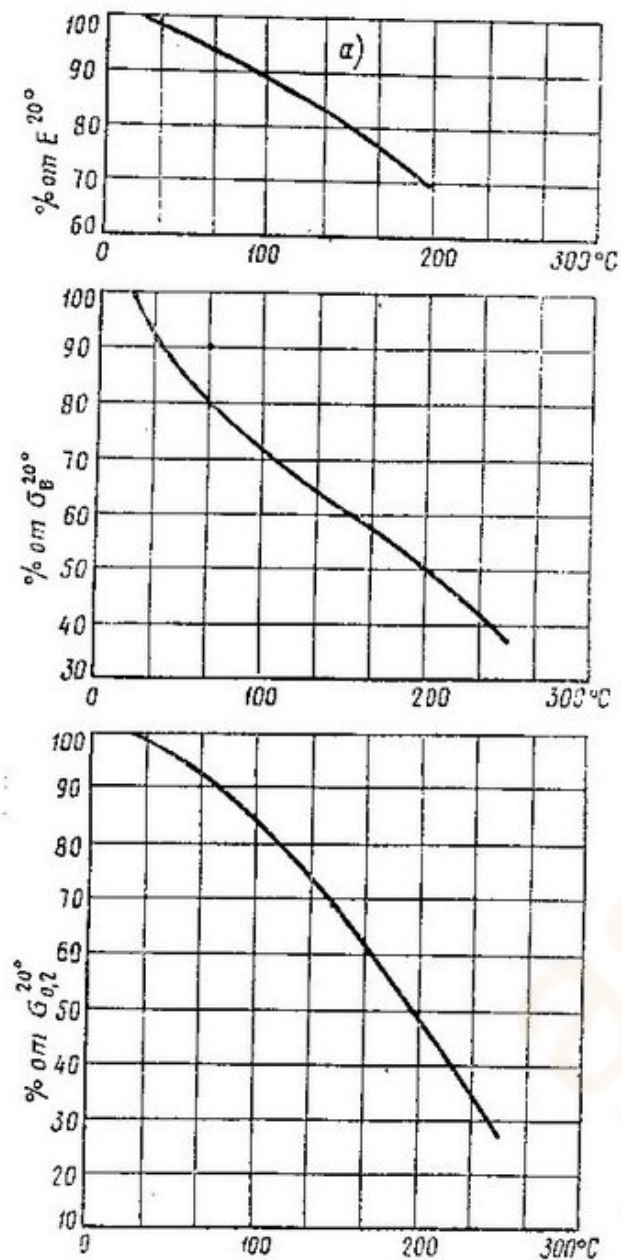


Рис. 1. Механические свойства при высоких температурах сплава МА15 (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре: E ; $\sigma_{в}$; $\sigma_{0,2}$; $\sigma_{0,2_{сж}}$):
 а — плита катаная толщиной 20–30 мм (E ; $\sigma_{в}$; $\sigma_{0,2}$)

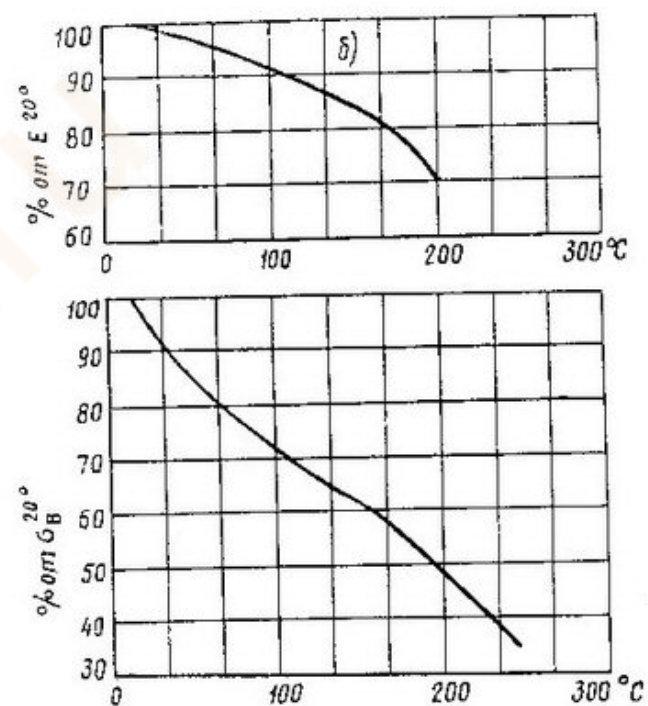


Рис. 1. Механические свойства при высоких температурах сплава МА15 (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре: E ; $\sigma_{в}$; $\sigma_{0,2}$; $\sigma_{0,2_{сж}}$):

б — пруток прессованный диаметром 22 мм (E ; $\sigma_{в}$).

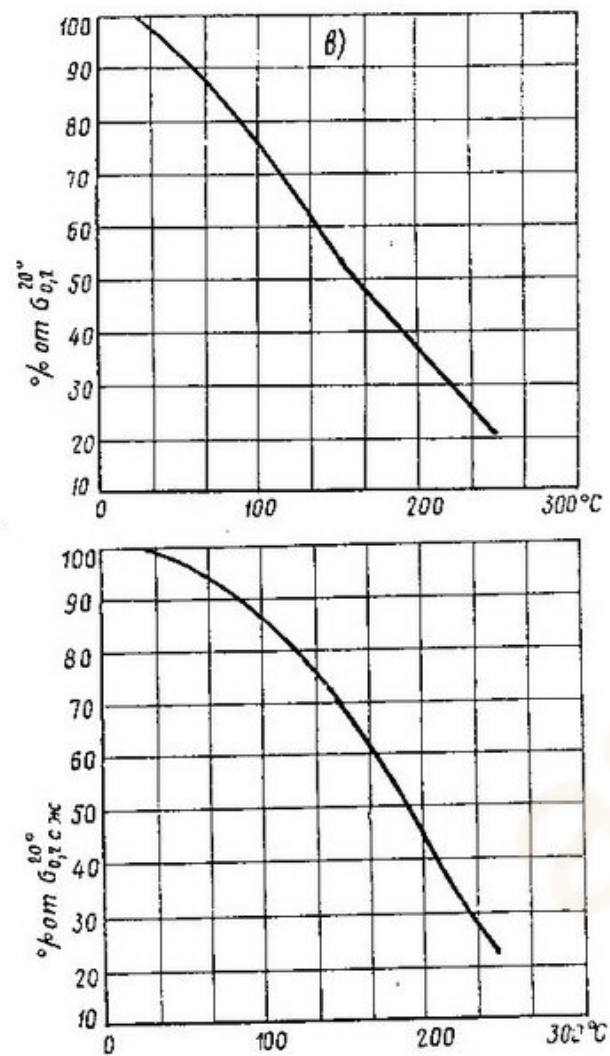


Рис. 1. Механические свойства при высоких температурах сплава МА15 (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре: E ; $\sigma_{0.2}$; $\sigma_{0.2}^{60}$; $\sigma_{0.2}^{20}$);

а — прутки прессованный диаметром 22 мм ($\sigma_{0.2}$; $\sigma_{0.2}^{60}$);

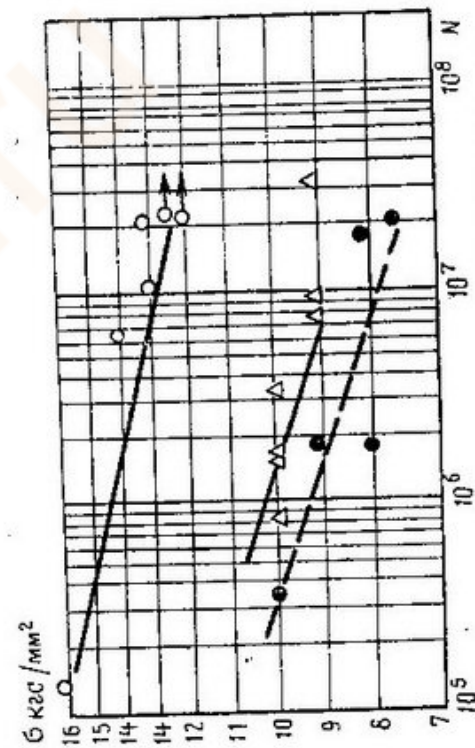


Рис. 2. Кривые выносливости сплава МА15 при консолидном изгибе вращающегося образца; прессованный прутки диаметром 22 мм:

○ — образцы без надреза; температура испытания 20°C; ● — образцы с надрезом ($r_n = 0,75$ мм; $r_n = 2,2$ мм); температура испытания 150°C; △ — образцы без надреза; температура испытания 150°C.

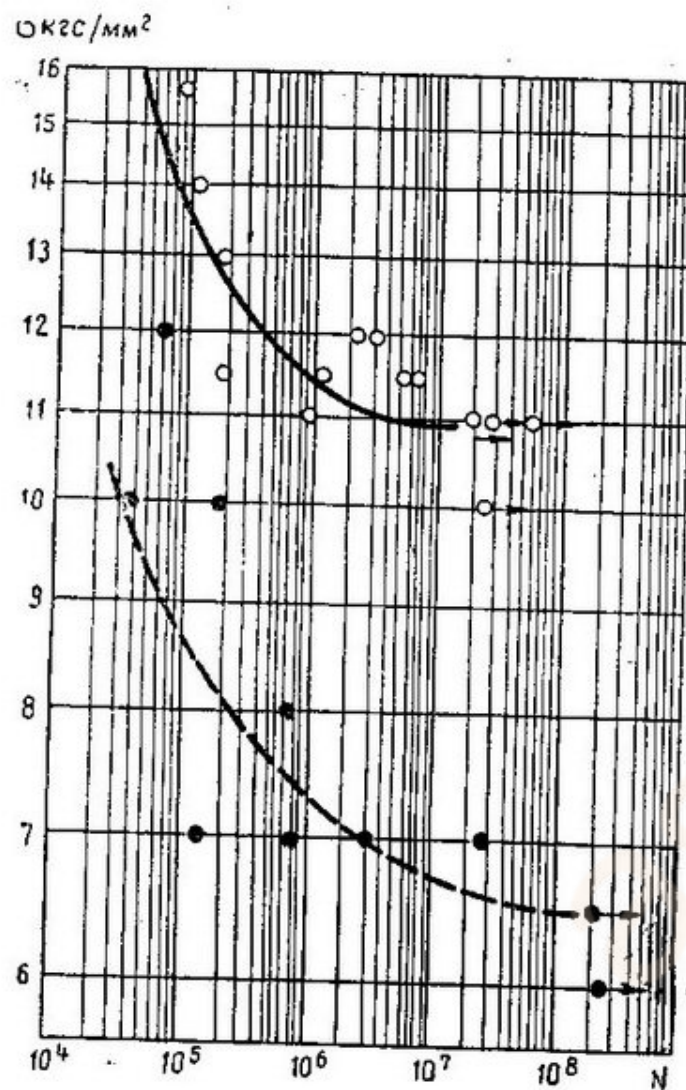


Рис. 3. Кривые выносливости сплава МА15 при консольном изгибе вращающегося образца; катаная плита толщиной 17 мм:
 ○ — образцы без надреза; ● — образцы с надрезом ($r_n = 0,75$ мм; $r_k = 2,2$).

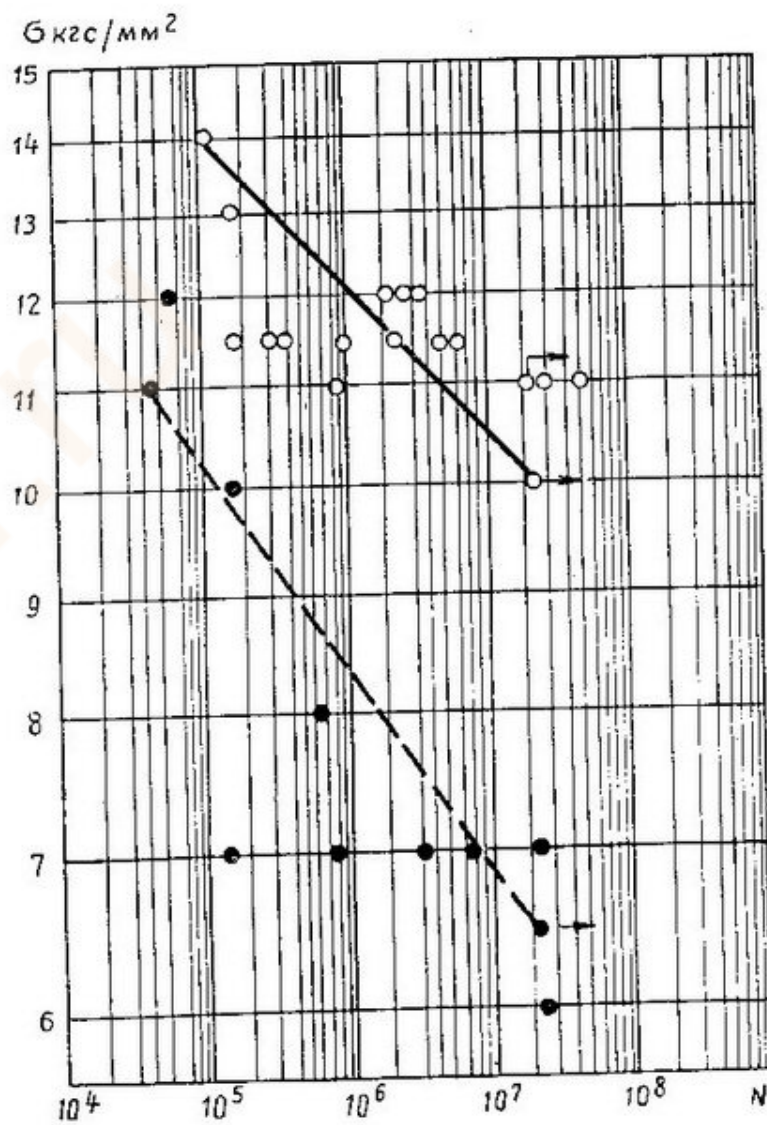


Рис. 4. Кривые выносливости сплава МА15 при консольном изгибе вращающегося образца; катаная плита толщиной 30 мм:
 ○ — образцы плоские; ● — образцы с надрезом ($r_n = 0,75$ мм; $r_k = 2,2$).

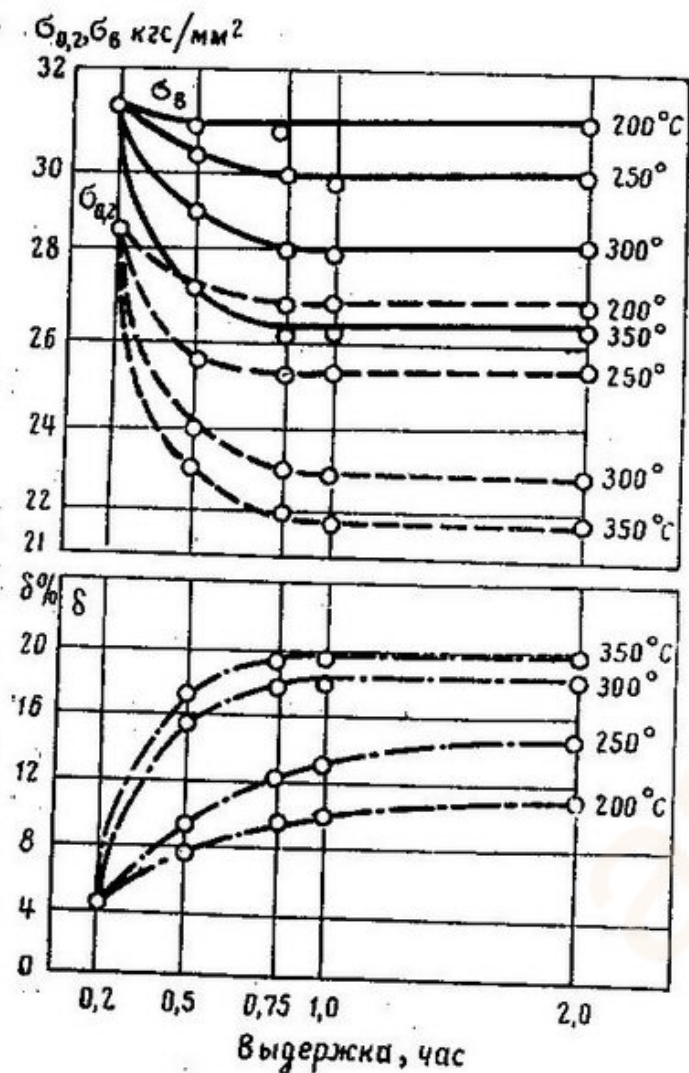


Рис. 5. Влияние температуры и времени выдержки при отжиге на механические свойства горячекатаных листов из сплава МА15.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ

МА19 (ВМД6)

Химический состав в %

Zn	Cd	Zr	Nd	Mg	Cu	Ni	Fe	Si	Al	Mn	Be	Прочие примеси
					не более							
5,5— —7,0	0,2— —1,0	0,5— —0,9	1,4— —2,0	Ос- нова	0,05	0,005	0,05	0,05	0,05	0,1	0,002	0,3

Механические свойства по СТУ

Вид полу- фабриката	СТУ	Состояние	σ		δ_s
			$\sigma_{0.2}$	σ_B	
			кгс/мм ²		
Пруток прессо- ванный диамет- ром (в мм): до 30 40—200	СТУ ОП 28-3-68	Без термичес- кой обработки	—	38	$l_0 = 5 d_0$ 5
		То же	—	35	4

Механические свойства прессованных прутков при комнатной температуре

Вид полу-фабриката	Состояние	E		G	μ		σ _{плц}	σ _{0,2}	σ _в	δ ₅	ψ	E _{сж}	ε _{плсж}	σ _{0,2сж}	τ _{0,3}	τ _в	τ _{ср}	a _н	σ ₋₁ *	
		кгс/мм ²	кгс/мм ²		кгс/мм ²	кгс/мм ²													кгс/мм ²	кгс/мм ²
Пруток прессованный диаметром 22 мм	Без термической обработки	4200	1600	0,3	20	34	39	8	12	4500	—	20	12	23	18	0,5	9	7		

* Предел выносливости определялся при консольном изгибе вращающегося образца на базе 2·10⁷ циклов. Надрез r_н=0,75 мм, α_к=2,2.

Изменение пластичности прессованных прутков при высоких температурах

Состояние	Температура испытания °С	δ ₁₀	ψ
		%	
Без термической обработки	20	7	10
	150	15	33
	200	17	60
	250	30	—

Механические свойства прессованных прутков при комнатной и низкой температурах

Состояние	Температура °С	E	σ _{0,2}	σ _в	δ ₁₀	ψ	a _н
		кгс/мм ²			%		кгс·м/см ²
Без термической обработки	20	4200	33	38	5	10	0,5
	-70	—	38	40	4	9	0,5

Пределы ползучести и длительной прочности прессованных прутков

Состояние	Температура испытания °С	σ ₁₀₀	σ _{0,2,100}
		кгс/мм ²	
Без термической обработки	150	10	5
	200	6	—
	250	3,5	—

Секундная прочность прессованных прутков при высоких температурах

Состояние	Температура, °С								
	250			350			400		
	время, сек								
	60	120	300	60	120	300	60	120	300
кгс/мм ²									
Без термической обработки	15	13,5	12	7	6	5,5	4	3,5	2,5

Чувствительность к надрезу

Вид полу- фабриката	Состояние	Характер нагружения	Чувствительность к надрезу при температурах °C	
			-70	20
Прессованный пруток диаметром 22 мм	Без термиче- ской обработ- ки	При стати- ческой нагруз- ке	1,00	1,10
		При повтор- ных нагрузках		1,28
		$\frac{\sigma_{\text{н}}^*}{\sigma_{\text{в}}}$		
		$\frac{\sigma_{-1}^{**}}{\sigma_{-1}^{\text{н}}}$		

Надрез при статической нагрузке $r_{\text{н}}=0,1$ мм, угол надреза 60° .

** Предел выносливости определяется при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов. Надрез $r_{\text{н}}=0,75$ мм, $\alpha_{\text{к}}=2,6$.

Малоцикловая усталость

(пульсирующее растяжение $\sigma_{\text{min}}/\sigma_{\text{max}}=0$, $n=8$ цикл/мин)

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испы- тания °C	$\frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{\text{в}}}$	σ_{max} кгс/мм ²	N^* циклы
Прессован- ный прут	Без термической обработки	20	0,5	19	4500
			0,7	27	1000

* Образцы с круговым надрезом $r_{\text{н}}=0,75$ мм, $\alpha_{\text{к}}=2,2$.

Физические свойства

Плотность $d=1180$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	100—200	200—300	300—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	26,2	27,8	31,4	31,9

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	400
λ , вт/м·град	119	121	123	126

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400
c , кдж/кг·град	1,00	1,09	1,15	1,21

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^6$ ом·см	6,16

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью, имеет незначи-
тельную склонность к коррозионному растрескиванию.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температурный интервал деформации °C	Допустимая степень деформации %	Скорость деформации л/мин
Прессование	320—360	>85	0,2—0,5
Ковка на прессе	340—400	Осадка в горел 45—65, по образу- ющей 25	
Штамповка на мо- лите	320—380	Осадка в горел 60—80, по образу- ющей 50—60	

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Детали, работающие при 150°C длительно и при 200°C — кратковременно

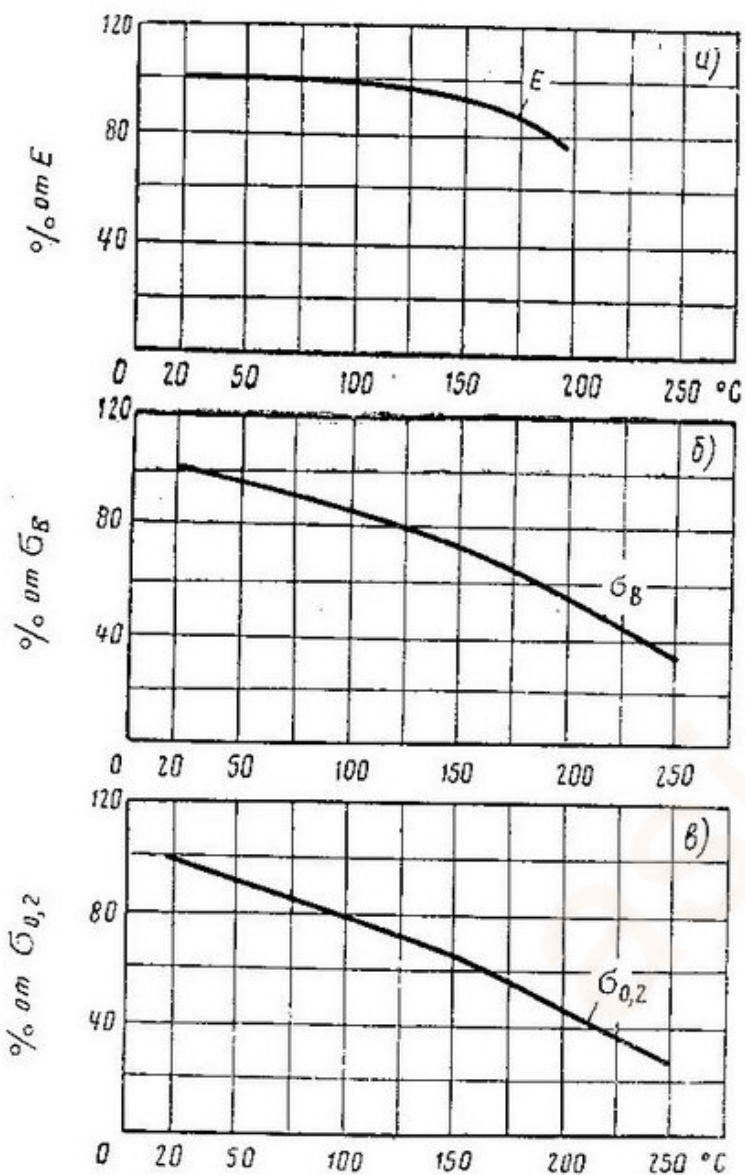


Рис. 1. Механические свойства сплава МА19 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):

а—E; б— σ_B ; в— $\sigma_{0,2}$

ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ

В эту группу входят сплавы МА11 и МА12. Сплав МА11 рекомендуется для изготовления прессованных полуфабрикатов и штамповок, сплав МА12 — для изготовления всех видов полуфабрикатов, в том числе листов. Сплавы МА11 и МА12 упрочняются термической обработкой. Технологическая пластичность сплава МА12 высокая, сплав МА11 — менее пластичен.

Сплав МА12 хорошо сваривается аргоно-дуговой сваркой, сплав МА11 может свариваться аргоно-дуговой сваркой только при толщине полосы ≥ 5 мм. Оба сплава удовлетворительно свариваются контактной сваркой.

Коррозионная стойкость сплава МА12 удовлетворительная, а сплава МА11 — пониженная; сплавы данной группы не склонны к коррозии под напряжением.

Сплав МА11 имеет достаточно высокое сопротивление ползучести до 250°C и достаточно высокую прочность при кратковременном разрыве в условиях нагрева до 300—350°C. Поэтому этот сплав может применяться для деталей самолетов, работающих при температурах до 250°C и деталей летательных аппаратов, нагреваемых в полете до температур 300—350°C.

Сплав МА12, обладая рядом преимуществ по сравнению со сплавом МА11, по технологической пластичности, свариваемости и коррозионной стойкости, несколько уступает последнему по жаропрочности.

Сплав МА12 рекомендуется для длительной работы при температурах до 200°C и для кратковременной — до 300—350°C.

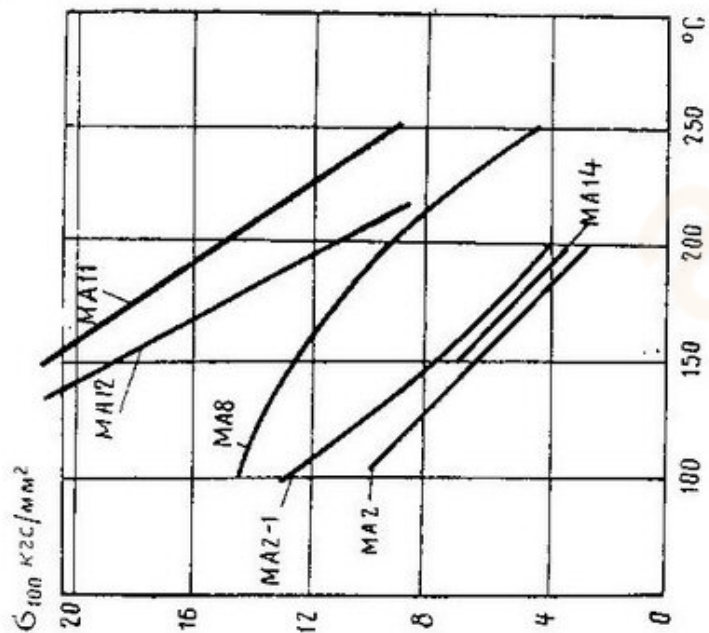


Рис. 1. Длительная прочность деформируемых магниевых сплавов за 100 час.

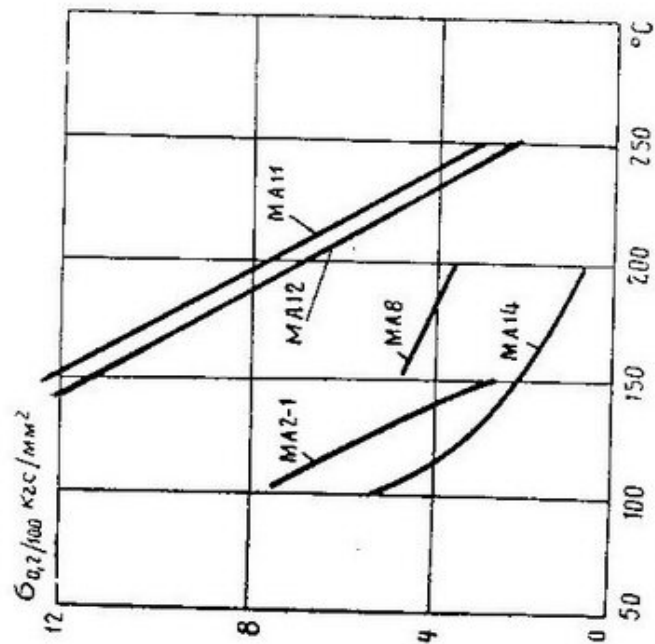


Рис. 2. Предел ползучести деформируемых магниевых сплавов за 100 час.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ

МА11

Химический состав в %

Mn	Nd	Ni	Mg	Cu	Fe	Al	Zn	Si	Be	Прочие примеси
				не более						
1,5—2,5	2,5—3,5	0,13—0,25	Основа	0,03	0,03	0,1	0,2	0,10	0,002	0,3

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние	При 20 $^{\circ}\text{C}$			При 250 $^{\circ}\text{C}$	
			$\sigma_{0.2}$	σ_b	δ^*	σ_b	δ^*
			кгс/мм 2		%	кгс/мм 2	
Полоса прессованная сечением до 130 см 2	СТУВ 31-3-68	Закаленная и искусственно состаренная (Т6)	13	26	5	18	10
Штамповка	СТУ ОП 59-4-70	То же	13	26	5	17	10

* Для полос $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$, для штамповок $l_0 = 5 d_0$.

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полу- фабриката	Состояние	E ккс/мм ²	σ	μ	σ _{пл}	σ _{0,2}	σ _н	δ°	ψ	E _{см}	σ _{пл ск}	σ _{0,2 ск}	τ _{0,8}	τ _{ср}	σ _н	σ-1**																																
																ккс/мм ²	ккс/мм ²																															
Пруток прессован- ный	Закален- ный и ис- кусственно состарен- ный (Т6)	4300	1600	0,31	8	15	28	12	15	4300	7	13,0	9,0	18	0,4	8	5																															
																Полоса прессован- ная	То же	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
																																	Штампов- ка	»	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Для полос $l_0=11,3\sqrt{F_0}$, для штамповок и поковок $l_0=5d_0$, для прутков $l_0=10d_0$.** Предел выносливости (σ-1) для круглых образцов определялся при консольном изгибе вращающегося об-
разца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов; надрез $r_n=0,75$ мм, $r_k=2,2$.

Механические свойства при комнатной и низкой температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпера- тура испытания °С	σ _{0,2}	σ _н	δ ₁₀	α _к
			ккс/мм ²	ккс/мм ²	%	ккс·м/см ²
Пруток прессо- ванный	Закаленный и искусствен- но состарен- ный (Т6)	20	15	28	12	0,4
		-70	-	29	-	0,3

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	кгс/мм ²							σ ₋₁ * (гладкие образцы)														
			σ ₆	σ ₃₀	σ ₁₀₀	σ _{0,2/6}	σ _{0,2/30}	σ _{0,2/100}	σ _{0,2/100}															
Пруток прессованный	Закаленный и искусственно состаренный (Т6)	150	—	—	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
		200	19	18	14,5	9,5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
		250	11	10	9	7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		300	7	6	—	3,5	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		350	3,5	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Полоса прессованная	То же	150	—	—	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		200	—	—	14,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		250	—	—	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Штамповка	»	150	—	—	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		200	—	—	14,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		250	—	—	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Поковка	»	150	—	—	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		200	—	—	14,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		250	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* На базе 2 · 10⁷ циклов.

Чувствительность к надрезу при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	Характер нагружения	Коэффициент надреза
Пруток прессованный	Закаленный и искусственно состаренный (Т6)	При статической нагрузке	0,95
		При вибрационной нагрузке	1,6

* Надрез ∠30°, глубина 1,5 мм, r_н = 0,1 мм.

Малоцикловая усталость

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_B}$	σ_{max} кгс/мм ²	N циклы
Пруток прессованный	Закаленный и искусственно состаренный (Т6)	20	0,7	19,5	800—900

Физические свойства

Плотность $d = 1800$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	100—200	200—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	25,7	28,7	30,4	29,3	30,1

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300	400
λ вт/м·град	109	113	117	117	117

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	350
c кдж/кг·град	0,963	1,03	1,11	1,13

Удельное электросопротивление

Температура °C	20
$\rho \cdot 10^6$ ом·см	6,21

Коррозионная стойкость

Сплав обладает пониженной коррозионной стойкостью. Не склонен к коррозионному растрескиванию.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температурный интервал деформации °C	Допустимая степень деформации %	Скорость деформации м/мин
Прессование	410—430	—	0,3—0,6
Ковка и штамповка на гидравлических прессах	380—480	50—60	—

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева	Выдержка час	Охлаждающая среда
Закалка	480—500	4	Воздух или вода
Старение	175±5	24	Воздух

Свариваемость

Сплав плохо сваривается аргоно-дуговой сваркой. Контактной сваркой сплав сваривается удовлетворительно.

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Детали, длительно работающие при температурах до 250°C и кратковременно — до 300—350°C.

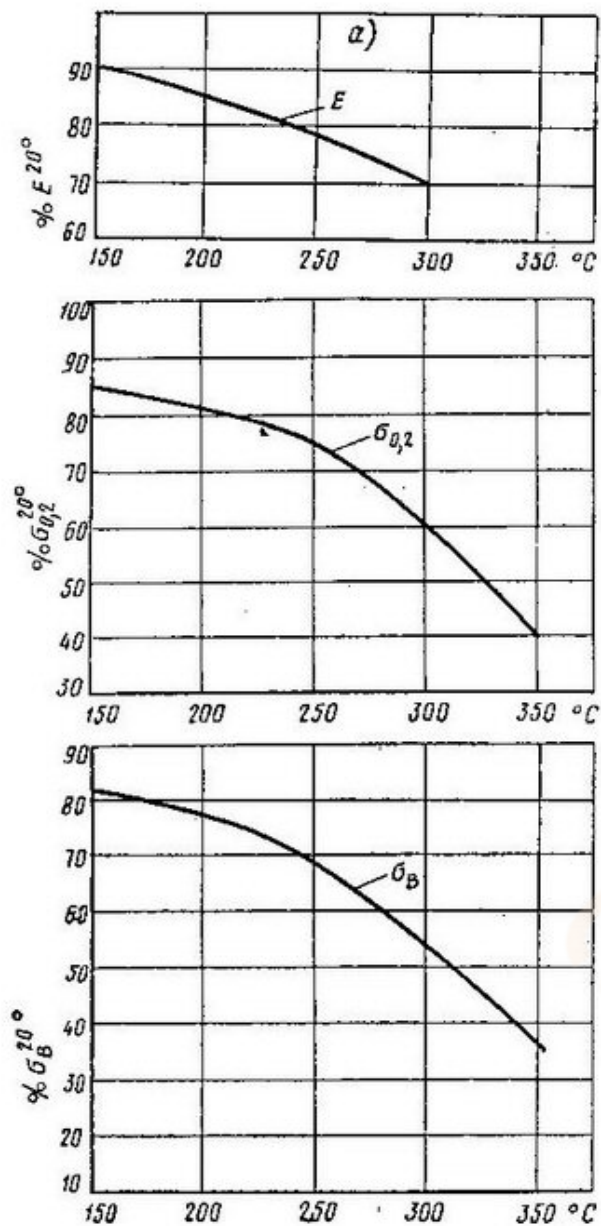


Рис. 1. Механические свойства сплава МА11 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):
а — прутки прессованные;

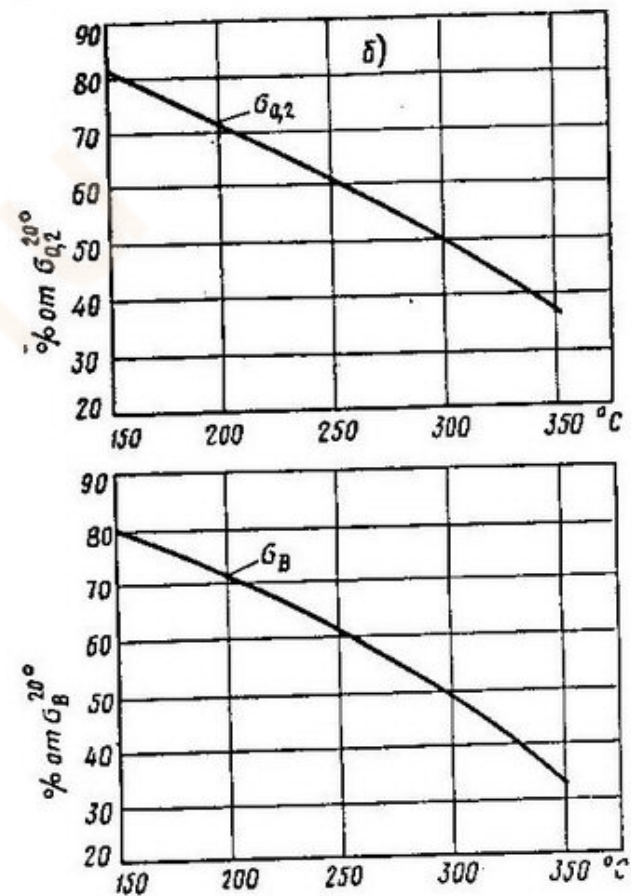


Рис. 1. Механические свойства сплава МА11 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):
б — полосы прессованные;

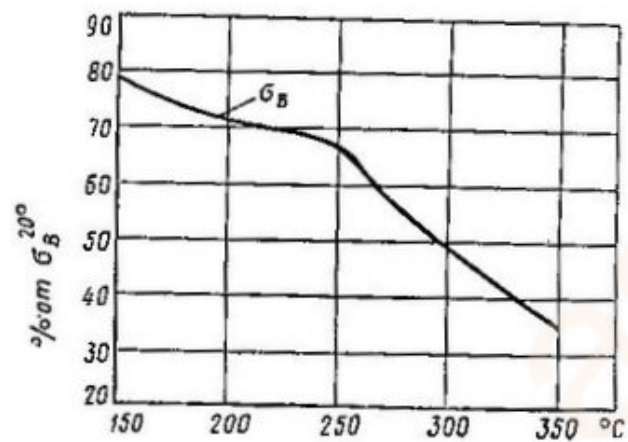
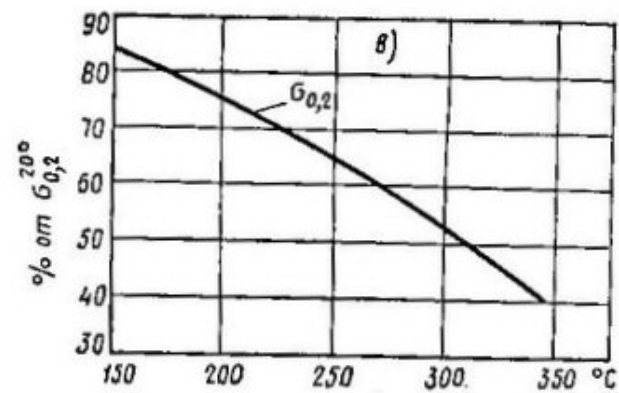


Рис. 1. Механические свойства сплава МА11 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):

а — штамповки;

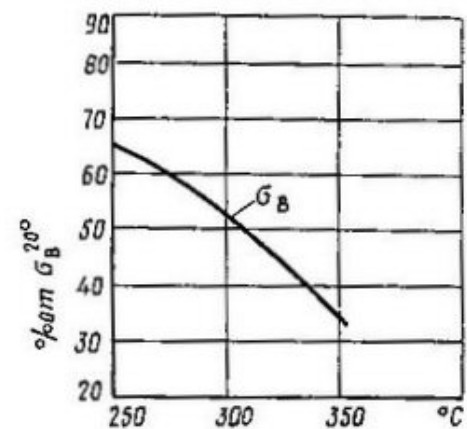
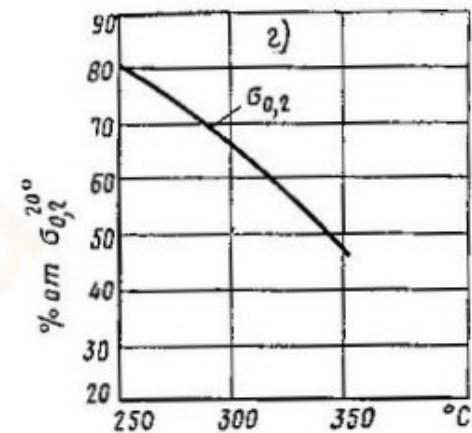


Рис. 1. Механические свойства сплава МА11 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):

а — ковки.

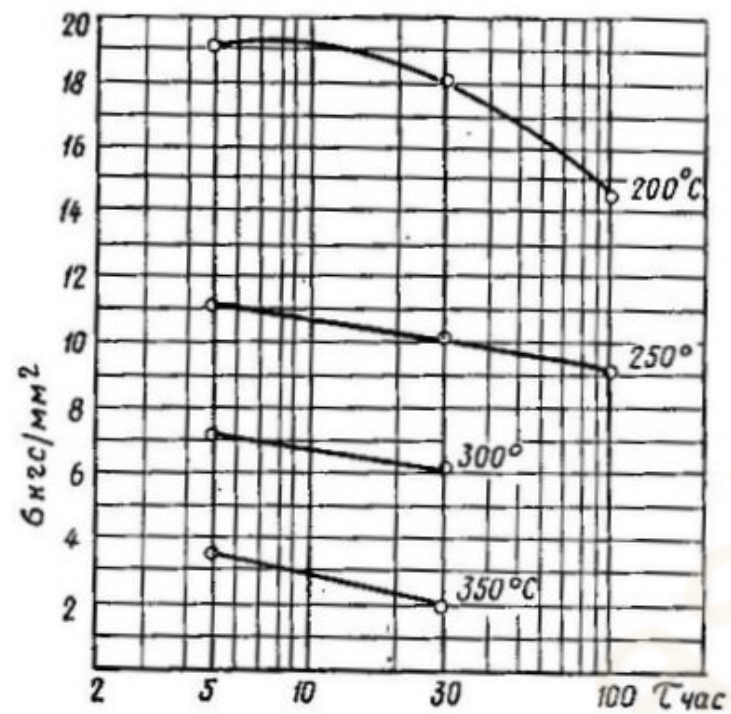


Рис. 2. Пределы длительной прочности сплава МА11 (пруток прессованный) при температурах 200; 250; 300 и 350°C за 5, 30 и 100 час.

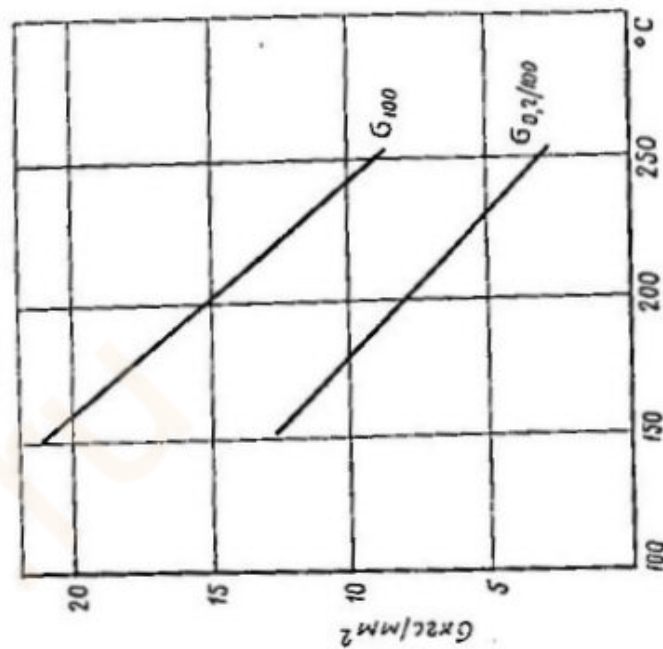


Рис. 4. Пределы длительной прочности и ползучести сплава МА11 (прессованный пруток) при высоких температурах за 100 час.

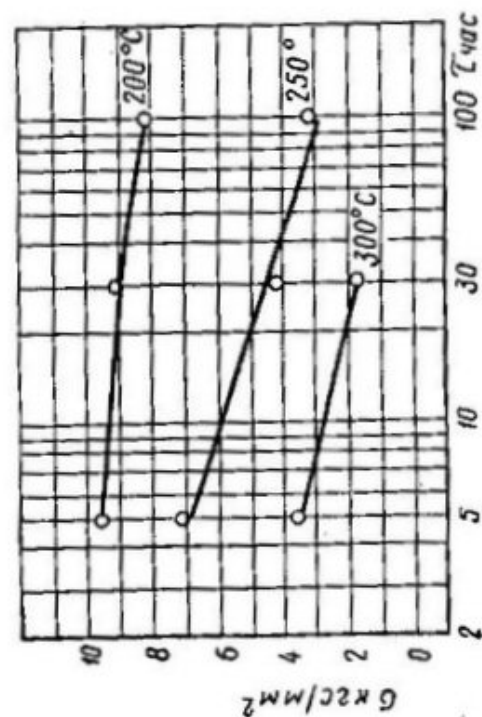


Рис. 3. Пределы ползучести сплава МА11 (прессованный пруток) при температурах 200, 250, 300°C за 5, 30 и 100 час.

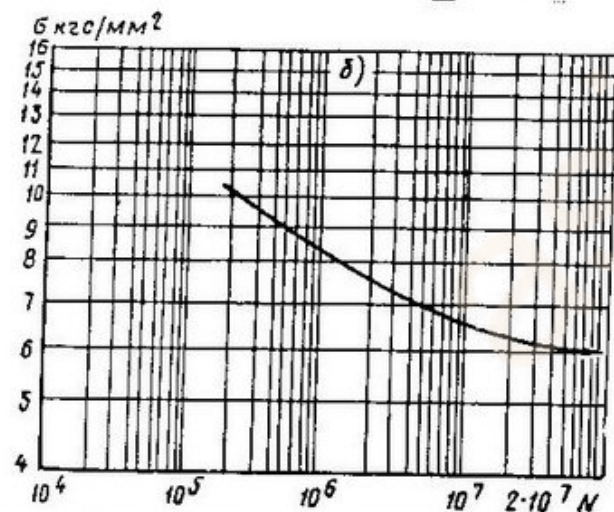
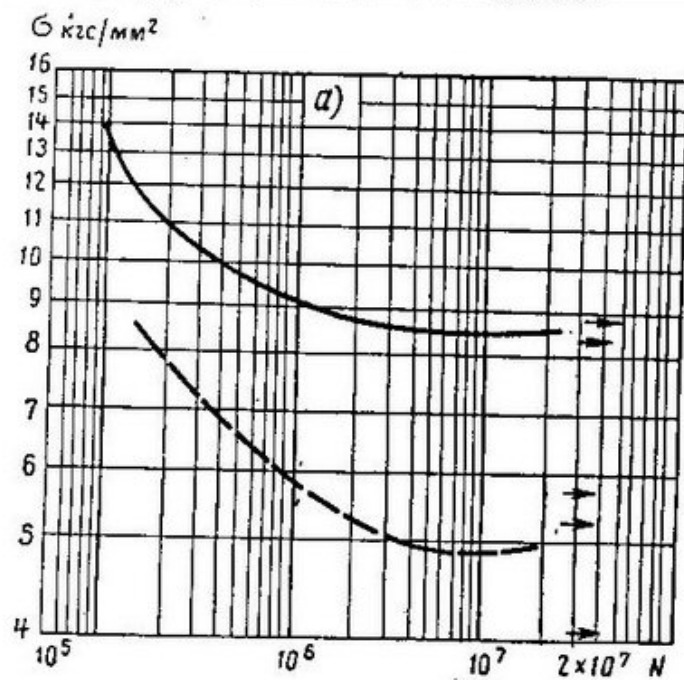


Рис. 5. Кривые выносливости сплава МА11* (прессованные прутки диаметром 22 мм):
 а — при комнатной температуре; б — при температуре 250°;
 — гладкие образцы; --- образцы с надрезом.

* С. А. Жуков, Б. Н. Васильев и др. Выносливость магниевых сплавов, ОНТИ ВИАМ, 1966, стр. 24.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ	МА12
-------------------	------

Химический состав в %

Nd	Zr	Mg	Cu	Ni	Fe	Al	Zn	Si	Mn	Be	Прочие примеси
			не более								
2,5—3,5	0,3—0,8	Основа	0,05	0,005	0,05	0,05	0,1	0,05	0,1	0,002	0,3

Механические свойства по СТУ (не менее)

Вид полуфабриката	СТУ	Состояние	При 20°C			При 200°C		
			$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ^*	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ^*
			кгс/см²			кгс/мм²		
Лист толщиной 1—3 мм	СТУ ОП 4-2-71	Закаленный и искусственно состаренный (Т6)	14	28	4	12	16	14
Пруток диаметром 20—150 мм	СТУ ОП 4-3-71	То же	12	26	4	10	14	10

* Для листов $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$ для прутков $l_0 = 10 d_0$.

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полу- фабриката	Состояние	E кгс/мм ²	μ	σ _{0,2}	σ _к	δ [*]	ψ	E _{сж}	σ _{ппсж}	σ _{0,2сж}	τ _{0,3}	τ _{ср}	σ _H	σ ₋₁ **		
														глад- ких образцы	с над- резом	
														кгс/мм ²		
Лист тол- щиной 1— 3 мм	Закален- ный и ис- кусственно состарен- ный (Т6)	4200	—	20	30	7	—	4200	8	12	—	—	0,6	7	5	
				15	28	8	18	—	—	13	23	16	1,3	9	6	
Прессо- ванный пруток диа- метром 25— 180 мм	То же	4200	1550	0,3	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Поковка (радиаль- ное направ- ление)	»	4200	—	—	15	28	8	10	—	—	—	—	—	—	—	—

* Для листов $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$, для прутков $l_0 = 10d_0$, для поковок $l_0 = 5d_0$.

** Предел выносливости (σ₋₁) для листов определяется при пульсирующем растяжении на базе 2·10⁷ циклов, на гладких образцах и образцах с отверстием $b/d = 5$, $\alpha_k = 2,6$; для прутков — при консольном изгибе вращающегося образца на базе 2·10⁷ циклов; на гладких образцах и об-
разцах с круговым надрезом $r_k = 0,75$ мм, $\alpha_k = 2,2$.

Механические свойства при низких температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпера- тура испытания °С	σ _{0,2}	σ _к	δ [*] %	σ _H
			кгс/мм ²			
Лист толщиной 1—3 мм	Закаленный и искусствен- но состарен- ный (Т6)	20	20	30	7	—
		-70	20	30	5	—
		-196	21	34	4	—
Пруток прессо- ванный диаметром 25—180 мм	То же	20	15	28	8	1,3
		-70	17	31	7	0,8
		-196	—	—	—	0,6

* Для листов $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$, для прутков $l_0 = 10d_0$.

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °C	Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости																				
			по остаточной деформации																				
			σ_{100}	σ_{200}	σ_{500}	σ_{1000}	σ_{2000}	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/300}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,2/2000}$											
Лист толщиной 1—3 мм	Закаленный и искусственно состаренный (Т6)	100	23	23	23	22,5	22	15	15	14,5	14	14	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		150	20	18	17	16	15	13	13	12	11,5	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Прессованный пруток диаметром 25—180 мм	То же	200	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		150	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Поковка	То же	200	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		150	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости (σ_{-1}) определялся при консольном изгибе вращающегося образца на базе 2·10⁷ циклов.

** Надрез $r_n = 0,75$ мм, $\alpha_k = 2,2$.

Чувствительность к надрезу

Вид полуфабриката	Состояние	Характер нагружения	Температура испытания °C			
			—196	—70	20	
Лист толщиной 1—3 мм	Закаленный и искусственно состаренный (Т6)	При статической нагрузке	$\frac{\sigma_B^H}{\sigma_B^T}$	0,63	0,73	0,83
		То же	$\frac{\sigma_{-1}^H}{\sigma_{-1}^T}$	—	1,5	1,6
Пруток прессованный диаметром 25—180 мм	То же	То же	$\frac{\sigma_B^H}{\sigma_B^T}$	—	1,07	1,17
		При вибрационной нагрузке ($\alpha_k = 2,2$)	$\frac{\sigma_{-1}^H}{\sigma_{-1}^T}$	—	1,5	1,6

Чувствительность к трещине

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$a_{T,y}$
			ксс·м/смм ²
Пруток прессованный диаметром 25—180 мм	Закаленный и искусственно состаренный (Т6)	—196	0,4
		—70	0,5
		20	0,6
		200	0,75
		350	1,6

Малоцикловая усталость

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ_B кгс/мм ²	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_B}$	σ_{max} кгс/мм ²	N^* циклы
Прутки прессованные	Закаленный и искусственно состаренный (T6)	20	28	0,5	14	26500—65500
				0,7	19,5	7000—8500

* Образцы цилиндрические с круговым надрезом $r_n = 0,75$ мм, $\alpha_k = 2,2$.

Физические свойства

Плотность $d = 1780$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	10—100	20—200	20—300	20—400	100—200	200—300	300—400	400—500
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	25,7	26,0	26,5	27,0	26,3	27,5	28,6	—

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	100	200	300	400
λ Вт/м·град	105	109	113	117

Удельная теплоемкость

Температура °С	100	200	300	400
c кДж/кг·град	1,11	1,17	1,25	1,34

Удельное электросопротивление

Температура °С	20
$\rho \cdot 10^6$ ом·см	8,14

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Не склонен к коррозионному растрескиванию. Коррозионная стойкость сварного шва несколько ниже коррозионной стойкости основного материала.

Технологические данные

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температурный интервал деформации °С	Допустимая степень деформации %	Скорость деформации м/мин
Прокатка	380—480	10—25 за 1 проход	—
Прессование	420—450	—	1—2
Ковка и штамповка на гидравлических прессах	350—480	60—70	—

Штампуемость

Вид обработки	Показатель деформации при температурах, °С	
	200—250	300—350
Гибка Минимальный радиус сгиба	4,5 * s	2,5 s
		2,5
Вытяжка Коэффициент вытяжки	2,2	2,0
		2,5
Отбортовка Степень отбортовки	1,6	2,0
		2,0
Выдавка Степень выдавки, в %	22—25	35—40
		35—40

* s — толщина материала.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °С	Выдержка час	Охлаждающая среда
Закалка	630—645	1—4	Воздух или струя воздуха
Старение	200	16	Воздух

Свариваемость

Вид полуфабриката	Состояние после сварки	Метод сварки	Присадочный материал	Коэффициент трещинообразования K_{tr}	Температура испытания, °С	Предел прочности сварного соединения кгс/мм ²	Коэффициент прочности соединения в св. соед. в осн. мет.	Угол изгиба град	
								основного материала	сварного соединения
Лист толщиной 1—3 мм	Закаленный и искусственно состаренный (T6)	Аргонно-дуговая сварка	Основной металл	Не более 20	-196	20	0,6	—	—
					-70	20	0,7	—	—
					20	19	0,73	45	50
					200	18	0,95	—	—
					350	7	1	—	—
Полоса прессованная сечением 10—160 мм	То же	То же	То же	—	20	19	0,76	39	46
					350	7	1	—	—

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Детали, длительно работающие при температурах до 200°С и кратковременно — до 350°С.

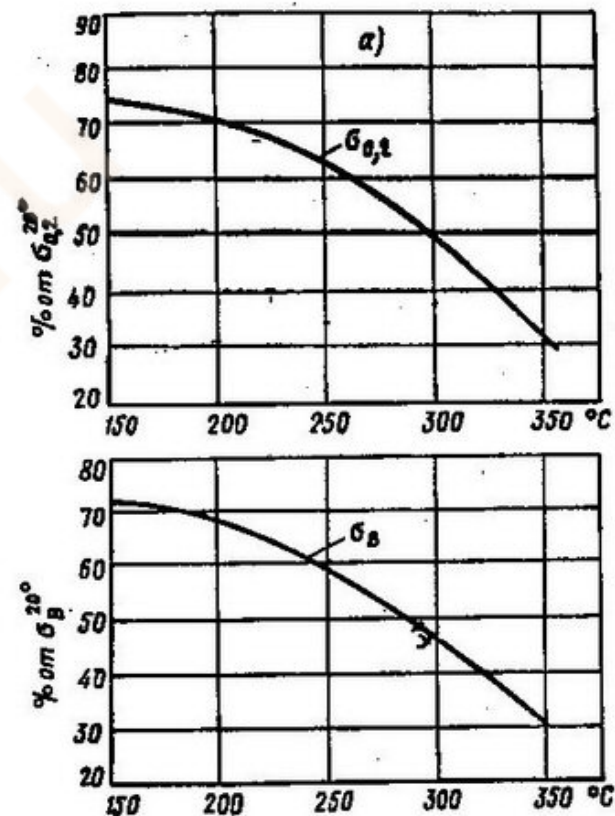


Рис. 1. Механические свойства сплава MA12 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):
а — листы толщиной 1—3 мм;

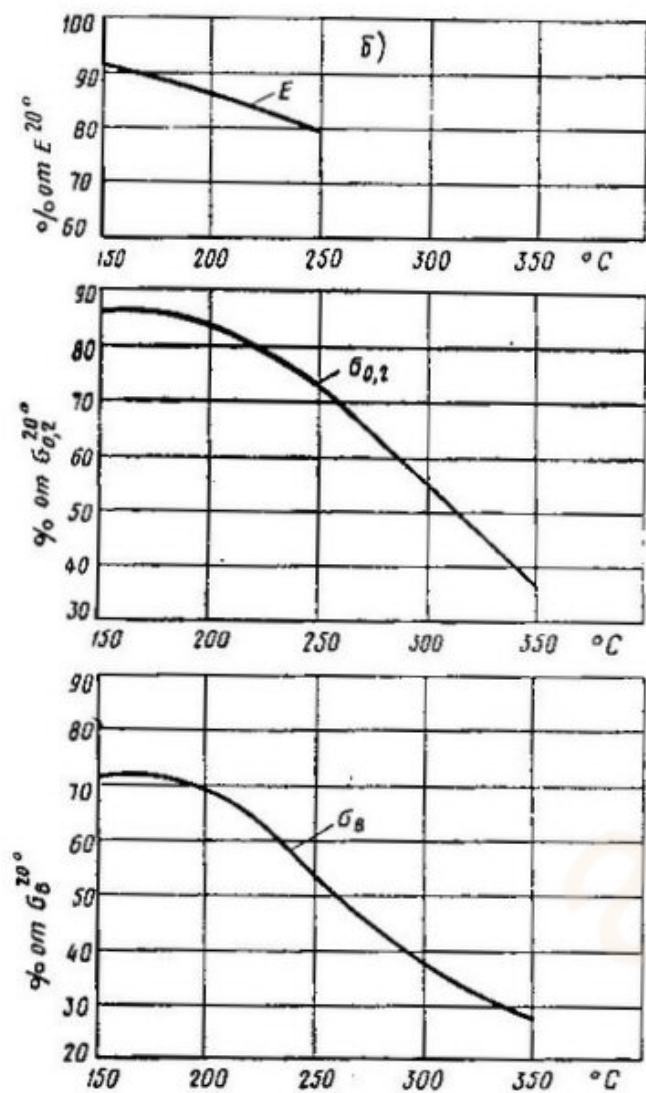


Рис. 1. Механические свойства сплава МА12 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):
 ○ — прутки прессованные диаметром 25-180 мм.

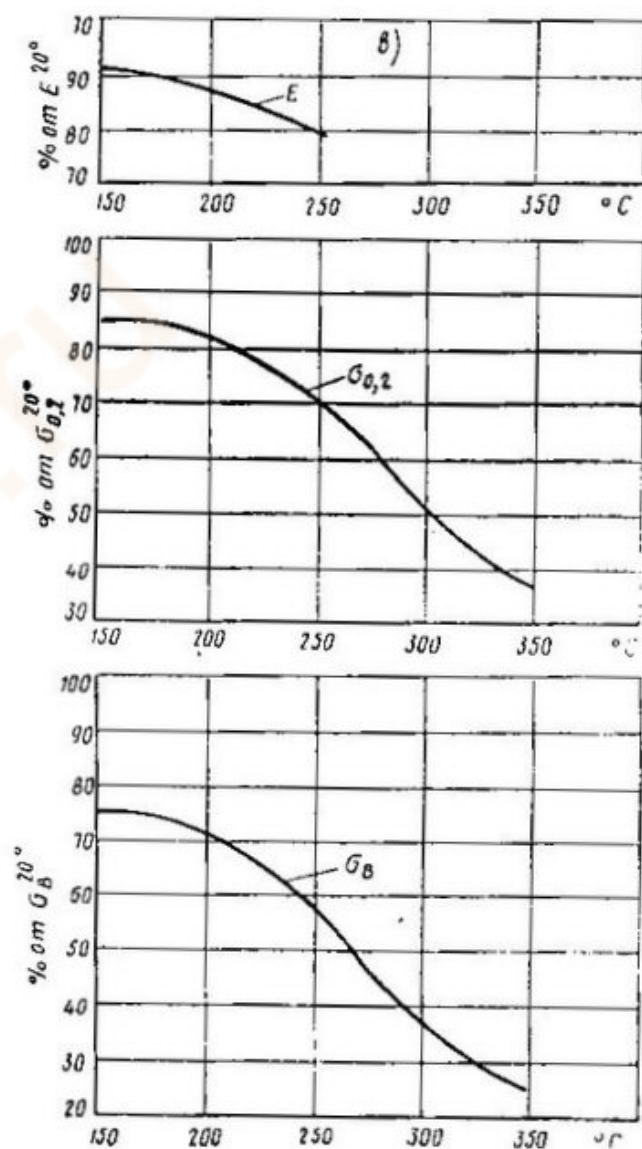


Рис. 1. Механические свойства сплава МА12 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):
 в — поковки (радикальное направление).

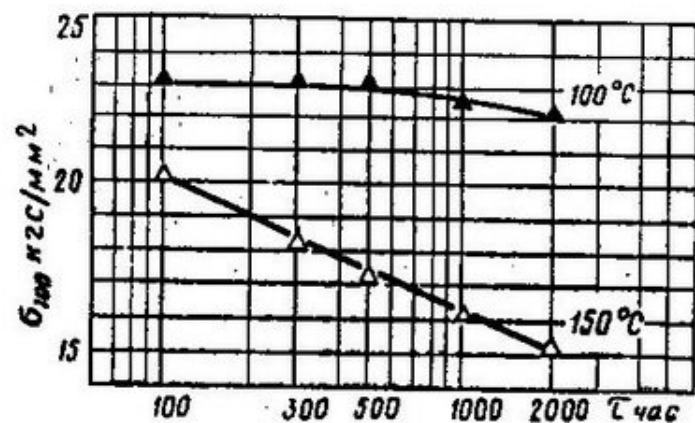


Рис. 2. Пределы длительной прочности сплава МА12 (листы толщиной 1—3 мм) при температурах 100 и 150°C за 100, 300, 500, 1000 и 2000 час.

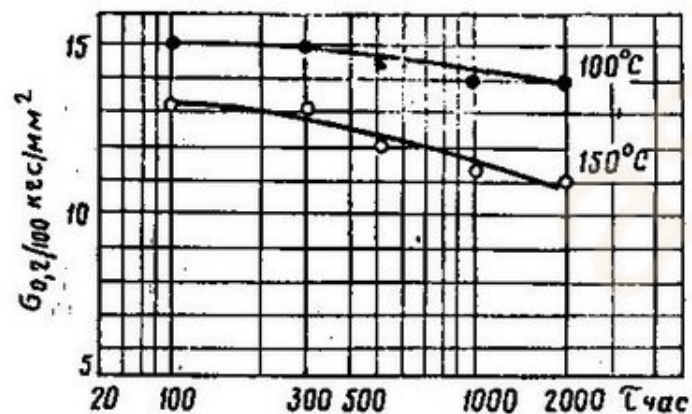


Рис. 3. Пределы ползучести сплава МА12 (листы толщиной 1—3 мм) при температурах 100 и 150°C за 100, 300, 500, 1000 и 2000 час.

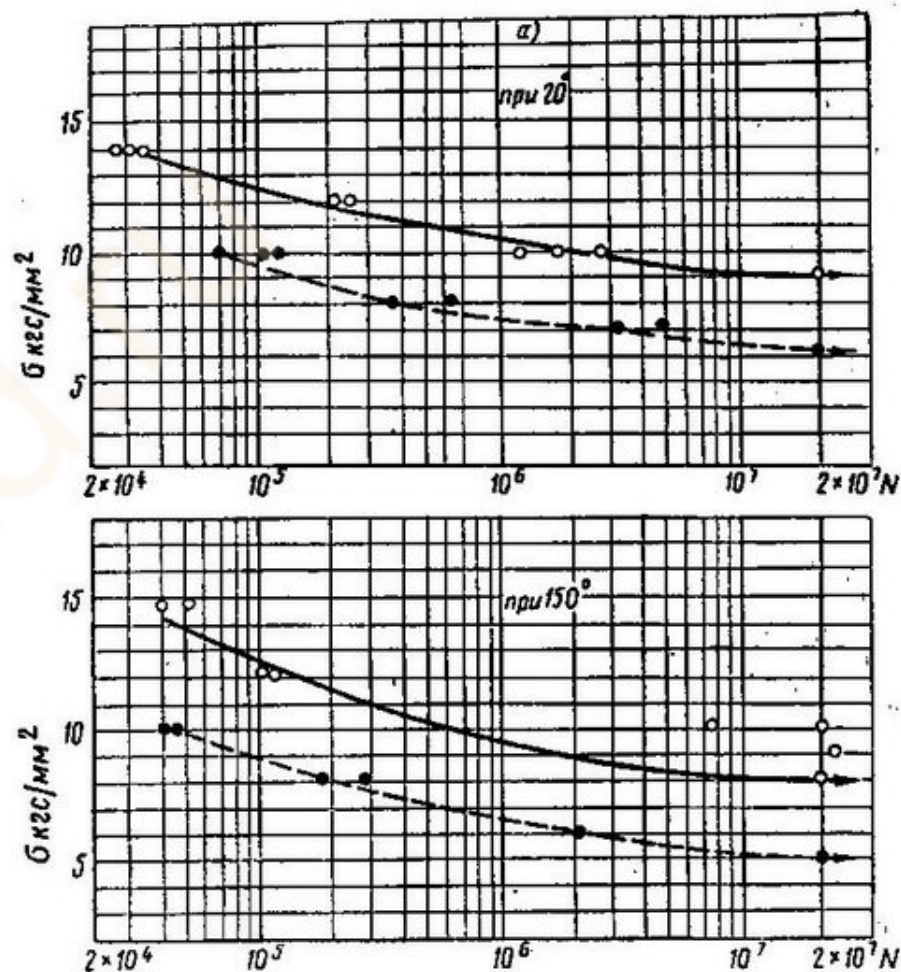


Рис. 4. Кривые выносливости сплава МА12 при температурах 20 и 150°C:

○ — прессованные прутки диаметром 25—150 мм;
 ○—○ — образцы гладкие; ● — образцы с надрезом.

СПЛАВ ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ

Магниево-литиевые сплавы содержат наряду с другими легирующими элементами литий в количестве до 14%. В зависимости от содержания лития сплавы относятся к фазовым областям: α (до 5,7% Li); $\alpha + \beta$ (5—10,3% Li); β (свыше 10,3% Li). С повышением содержания лития плотность сплавов снижается и составляет 1650—1360 кг/м³ вместо 1780—1820 кг/м³ для обычных магневых сплавов.

Сплав МА18 (ВМД5) относится к β -области. Он имеет плотность 1500 кг/м³ и отличается высокой пластичностью при комнатной и криогенных температурах, повышенным модулем упругости (на 5—10%) и высокой удельной жесткостью. Сплав хорошо прокатывается, сваривается и может подвергаться операциям листовой штамповки при комнатной температуре. Коэффициент трещинообразования при аргоно-дуговой сварке равен нулю.

Коррозионная стойкость сплава удовлетворительная. Он не склонен к коррозии под напряжением.

Из сплава МА18 могут быть изготовлены все виды полуфабрикатов.

Сплав предназначен для деталей приборов и аппаратов, работающих при комнатной и низких температурах.

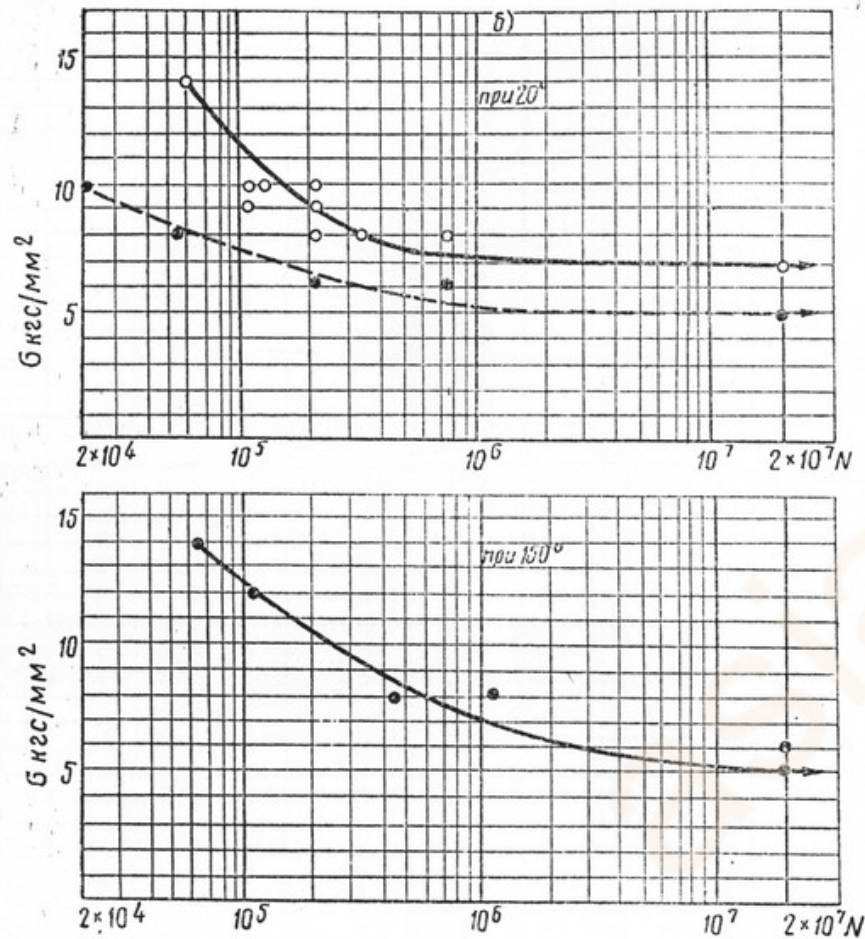


Рис. 4. Кривые выносливости сплава МА12 при температурах 20 и 150°C:

б — листы толщиной 3 мм;
 ○—○ — образцы гладкие; ● — образцы с надрезом.

СПЛАВ Пониженной плотности	МА18 (ВМД5)
----------------------------	-------------

Химический состав в %

Li	Zn	Al	Mn	Ce	Mg	Si	Fe	Ni	Cu	Na	Be	K	Прочие примеси
10—11,5	2—2,5	0,5—1,0	0,1—0,4	0,15—0,35	Основа	0,15	0,05	0,005	0,05	0,01	0,002	0,005	

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Состояние	E	G	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_{10}^*	ψ	E _{сж}	$\sigma_{пл сж}$
Лист толщиной 2 мм	Отожженный (М)	4500	—	7	13	17	30	—	4500	10
Пруток диаметром 20 мм	То же	4800	1500	9	14	18	30	65	—	—

Продолжение табл.

Вид полуфабриката	Состояние	$\sigma_{0,2 сж}$	$\tau_{0,3}$	τ_b	$\tau_{ср}$	a_n	σ_{-1}^{**}	
							образцы	образцы
		кгс/мм ²				кгс·м/см ²	гладкий	с надрезом
Лист толщиной 2 мм	Отожженный (М)	14	—	—	—	—	7	5***
Пруток диаметром 20 мм	То же	—	8	12	13	2,5	—	—

* Для листов $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$, для прутков $l_0 = 10 d_0$.
 ** Предел выносливости (σ_{-1}) определялся при пульсирующем растяжении плоских образцов на базе $2 \cdot 10^7$ циклов.
 *** Надрез $b/d = 5$, $\alpha_k = 2,6$.

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_{10}^*	a_n	$a_{т.у.}$
			кгс/мм ²				
Лист толщиной 2 мм	Отожженный (М)	20	13	17	30	—	2,1
		-70	14	21	12	—	—
		-196	16	24	16	—	—
		-253	24	30	20	—	—
Пруток диаметром 20 мм	»	20	14	18	30	2,5	—
		-70	—	—	—	2,7	—
		-196	—	—	—	2,8	—
		-253	—	—	—	2,5	—

Чувствительность к надрезу

Вид полуфабриката	Состояние	Характер нагружения	Температура испытания °С		
			-196	-70	20
Лист толщиной 2 мм	Отожженный (М)	Статическое растяжение	1,04	0,98	1,03

* Надрез $r_n = 0,1$ мм, угол 60° .

Физические свойства

Плотность $d = 1500$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	100—200	300—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	39,7	37,4	35,1	43,2

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300
λ вт/м·град	58,6	58,6	58,6	58,6

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300
c кдж/кг·град	1,34	1,49	1,63

Удельное электросопротивление

$$\rho \cdot 10^6 = 13,1 \text{ ом}\cdot\text{см.}$$

Коррозионная стойкость

Сплав обладает пониженной коррозионной стойкостью. Не склонен к коррозии под напряжением. Коррозионная стойкость сварного шва аналогична коррозионной стойкости основного материала.

Технологические данные

Сплав имеет высокую технологическую пластичность при горячей обработке давлением в интервале температур 200—250°C. Допускает прокатку и листовую штамповку в холодном состоянии.

Горячая обработка давлением

Вид обработки давлением	Температурный интервал деформации °C	Допустимая степень деформации за 1 ход пресса или 1 проход %	Скорость деформации л/мин
Прокатка	210—260	25—30	—
Прессование	220—250	99	5—20

Штампуемость

Вид обработки	Показатель деформации при температурах °C			
	20	100	150	200
Гибка				
Минимальный радиус гибки	3 s *	2 s	1,5 s	—
Вытяжка				
Коэффициент вытяжки	1,6—1,8	2,0—2,2	2,2—2,4	—
Отбортовка				
Степень отбортовки	1,2	1,75	1,75	1,75
Выдавка				
Степень выдавки, в %	—	5	17—25	19—28

* s — толщина материала.

Свариваемость

Угол изгиба град	основного материала	180
	сварного соединения	100—180
Коэффициент прочности сварного соединения $\frac{\sigma_{св.соед}}{\sigma_{б.осн.мет}}$		0,9
Предел прочности сварного соединения $\sigma_{св}$ кгс/мм ²		15,5
Коэффициент трещинообразования $K_{тр}$ %		По крестовой пробе трещины в швах отсутствуют
Температура испытания °С		20
Прикладной материал		Основной металл
Метод сварки		Аргонно-дуговая
Состояние		Отожженный (М)
Вид полуфабриката		Лист толщиной 1—3 мм

Термическая обработка

Сплав термической обработкой не упрочняется. Отжиг производится при температуре 150°C в течение 4—15 час.

Применение

Сплав предназначен для мало нагруженных деталей приборов и аппаратов, требующих высокой жесткости, работающих при комнатной и низких температурах.

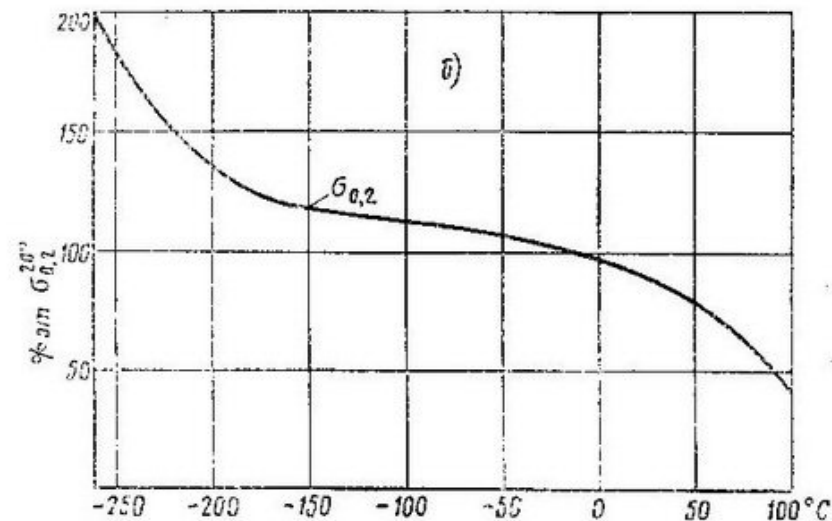
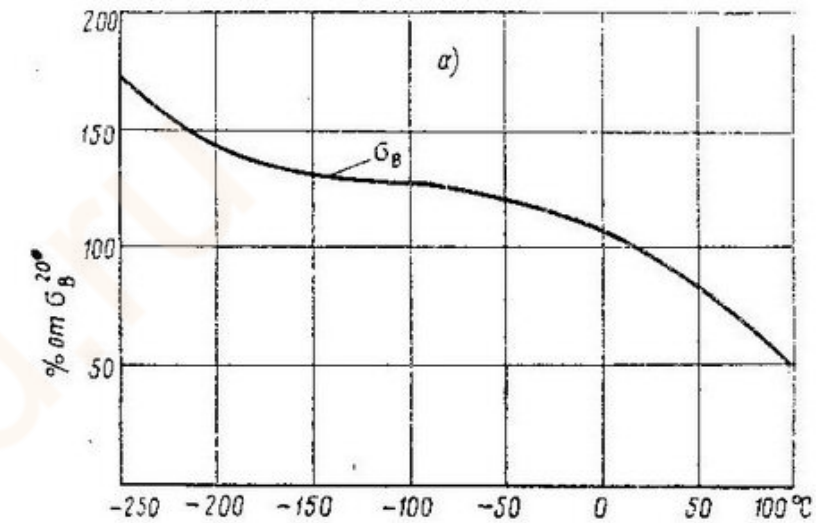


Рис. 1. Изменение механических свойств сплава МА18 в зависимости от температуры. Лист толщиной 2 мм:

а — предел прочности; б — предел текучести.

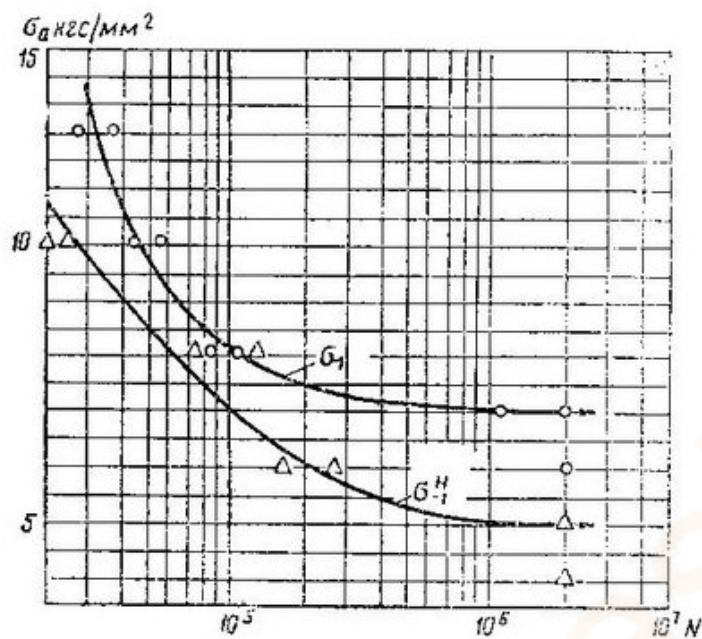


Рис. 2. Кривые выносливости сплава МА18. Лист толщиной 2 мм:

○ — гладкие образцы; △ — образцы с надрезом.

ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ

К этой группе относятся сплавы МЛ4, МЛ4п.ч., МЛ5, МЛ5п.ч., МЛ6, МЛ8, МЛ12, МЛ15, ВМЛ5, ВМЛ6 и ВМЛ9, обладающие высокими механическими свойствами при комнатной температуре, предназначенные для длительной эксплуатации в условиях нагрева до 150°C (сплавы МЛ12 и МЛ15 — до 200°C) и кратковременно до 200—250°C (сплав МЛ15 — до 350°C).

Сплавы МЛ5 (МЛ5п.ч.), МЛ6 системы Mg—Al—Zn—Mn обладают хорошими технологическими свойствами.

Максимальные механические свойства сплавов данной системы достигаются термической обработкой по режимам Т4 (закалка) и Т6 (закалка и старение).

Сплавы МЛ5п.ч. и МЛ4п.ч. по механическим свойствам аналогичны сплавам МЛ5 и МЛ4, но благодаря повышенной чистоте отличаются более высокой коррозионной стойкостью в морской среде и рекомендуются для деталей, работающих в неблагоприятных атмосферных условиях. Наибольшей коррозионной стойкостью обладает сплав ВМЛ9.

Сплавы МЛ8, МЛ12, МЛ15, ВМЛ5 и ВМЛ6 системы Mg—Zn—Zr (в сравнении со сплавами системы Mg—Al—Zn—Mn) обладают следующими свойствами:

- более высоким пределом текучести при комнатной и высоких температурах;
- повышенным сопротивлением ползучести при длительных выдержках;
- пониженной чувствительностью к влиянию изменения сечения на механические свойства;
- пониженной чувствительностью к влиянию микрорыхлоты на механические свойства;
- пониженной чувствительностью к надрезу при статическом нагружении;
- повышенной герметичностью.

Сравнительные данные по свойствам высокопрочных магниевых сплавов приведены на рис. 1—6.

Высокопрочные сплавы имеют вполне удовлетворительные литейные свойства. Из сплавов системы Mg—Al—Zn наибольшее распространение имеют сплавы МЛ5 и МЛ5п.ч., обладающие лучшими технологическими характеристиками.

Технологические свойства сплавов МЛ4 и МЛ4п.ч. ниже, чем у сплавов МЛ5 и МЛ6.

Из сплавов системы Mg—Zn—Zr наилучшими технологическими свойствами обладает сплав МЛ15.

Температура литья высокопрочных сплавов колеблется в пределах 700—800°C. Заливка форм сплавами системы Mg—Zn—Zr производится при температуре на 10—20° выше по сравнению с заливкой сплава МЛ5.

Подварку дефектов деталей из сплавов МЛ4 и МЛ5 (МЛ4п.ч., МЛ5п.ч.), МЛ6 рекомендуется производить аргоно-дуговым способом. Допускается применение газовой сварки. Присадочным материалом служит основной металл.

Исправление дефектов деталей из магнийциркониевых сплавов производится подваркой аргоно-дуговым способом. В качестве присадочного материала при подварке деталей из сплавов МЛ8, МЛ12 и МЛ15 применяется материал Св-122; для деталей из сплавов ВМЛ5 и ВМЛ6 присадочным материалом служит основной металл.

Сплав МЛ12 обладает высокими механическими свойствами в литом состоянии и может применяться в литом и искусственно состаренном из литого состояния (Т1). Сочетание высоких значений пределов прочности и текучести при высокой пластичности дает возможность использовать этот сплав для литых деталей, длительно работающих в условиях больших статических и знакопеременных нагрузок. Ресурс барабанов авиаколес из сплава МЛ12-Т1 в 2—6 раз превосходит ресурс работы таких же барабанов из сплава МЛ5-Т4 при равных условиях нагружения.

Сплав МЛ15 рекомендуется применять в состоянии Т1. Этот сплав обладает наиболее высокой жаропрочностью при 200°C по сравнению с другими сплавами данной группы. Отливки из сплава МЛ15 отличаются высокой герметичностью.

Сплавы ВМЛ6, ВМЛ5 и МЛ8 обладают наиболее высокими значениями пределов прочности и текучести при комнатной температуре. Эти сплавы применяются в термически обработанном состоянии: сплавы МЛ8 и ВМЛ6 — по режимам Т6 и Т61, сплав ВМЛ5 — по режиму Т61. Благодаря высоким значениям удельной прочности сплавы ВМЛ6, ВМЛ5 и МЛ8 во многих случаях могут быть использованы для замены поковок и штамповок из алюминиевых сплавов АК4, АК6 и отливок из ряда алюминиевых сплавов.

Высокопрочные сплавы применяются для отливки деталей самолетов, посадочных устройств, двигателей, агрегатов, приборов и других изделий, работающих в условиях как длительного, так и кратковременного нагружения.

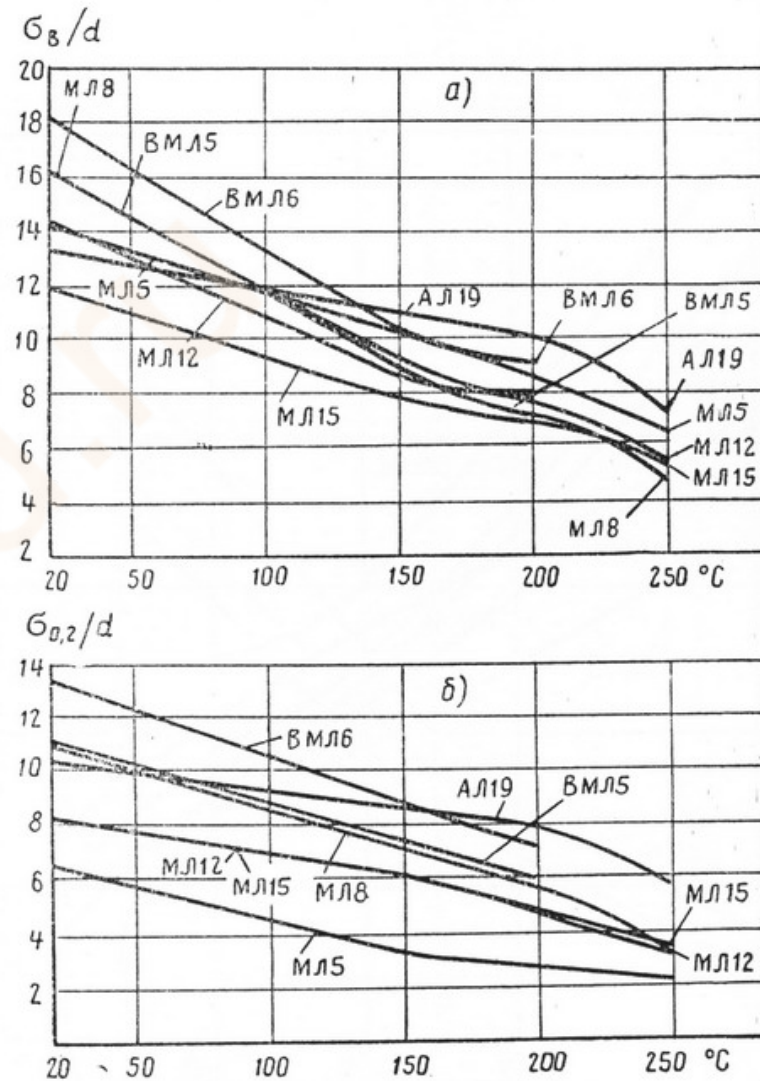


Рис. 1. Удельная прочность высокопрочных сплавов МЛ5, МЛ12, МЛ8, ВМЛ6, ВМЛ5, МЛ15 в сравнении с удельной прочностью жаропрочного алюминиевого сплава АЛ19:

а — $\sigma_{0.2}/d$; б — σ_B/d .

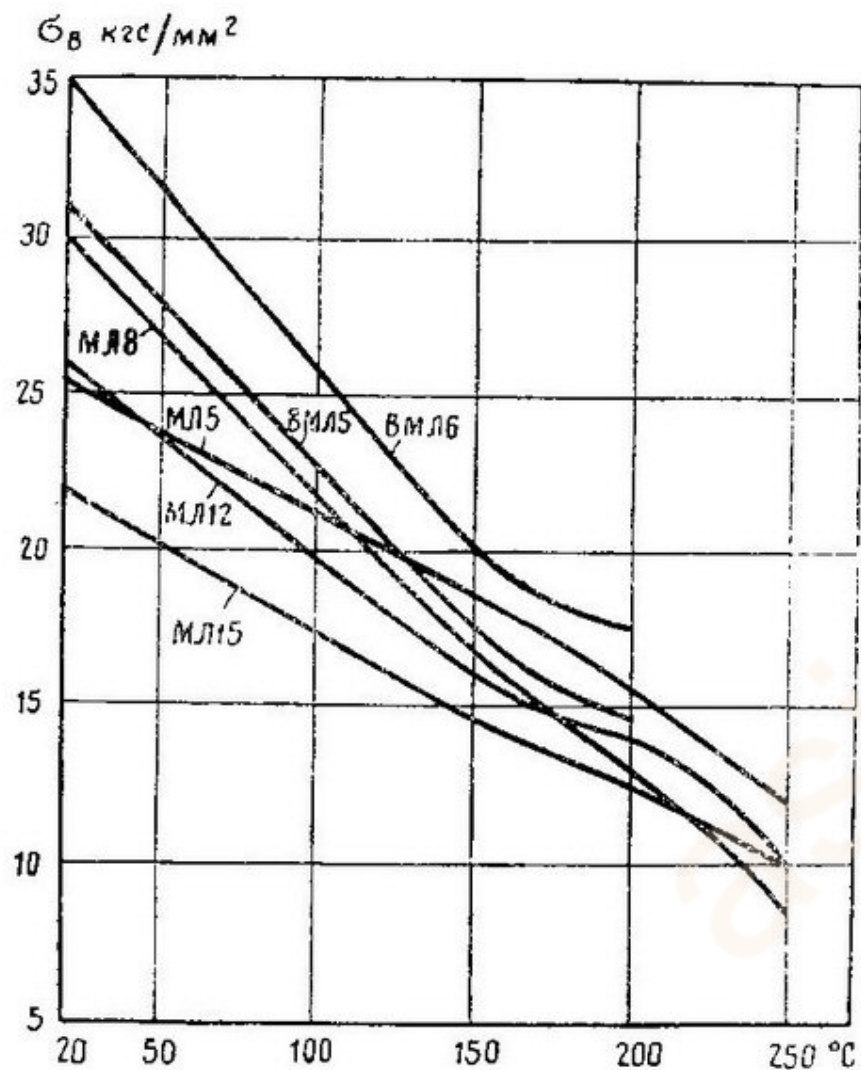


Рис. 2. Предел прочности высокопрочных литых магниевых сплавов при комнатной и высоких температурах.

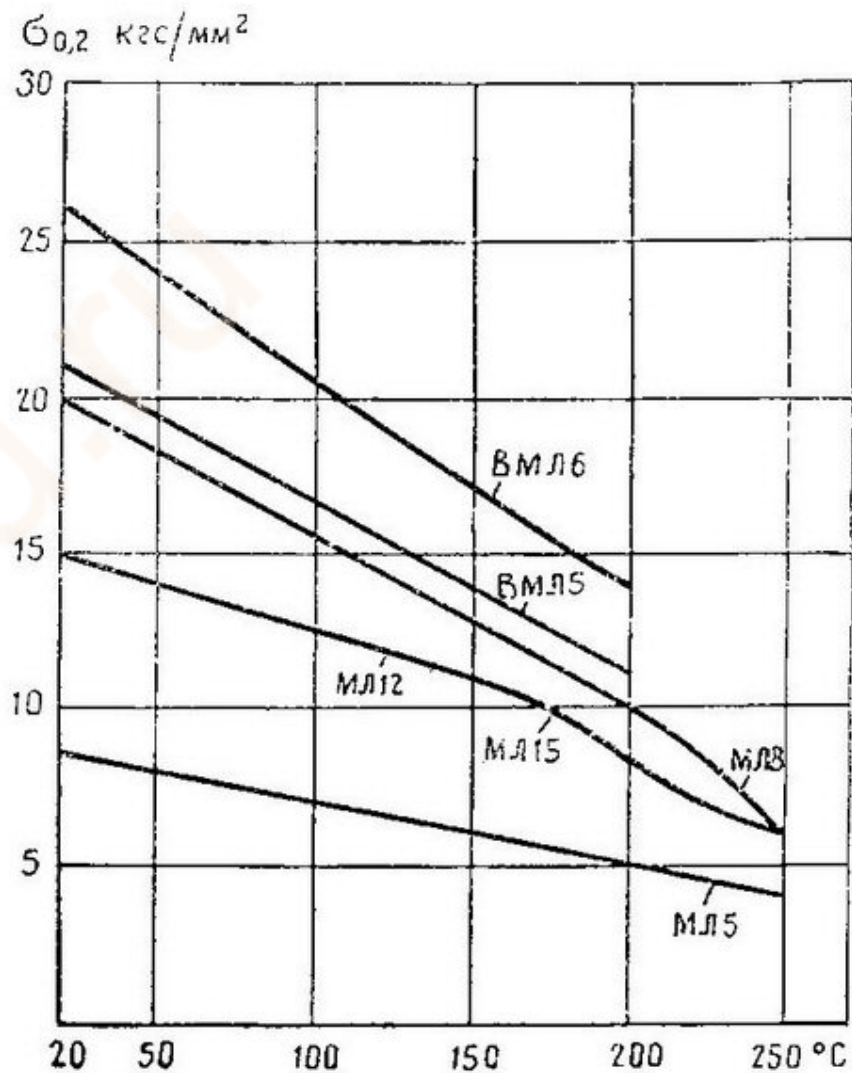


Рис. 3. Предел текучести высокопрочных литых магниевых сплавов при комнатной и высоких температурах.

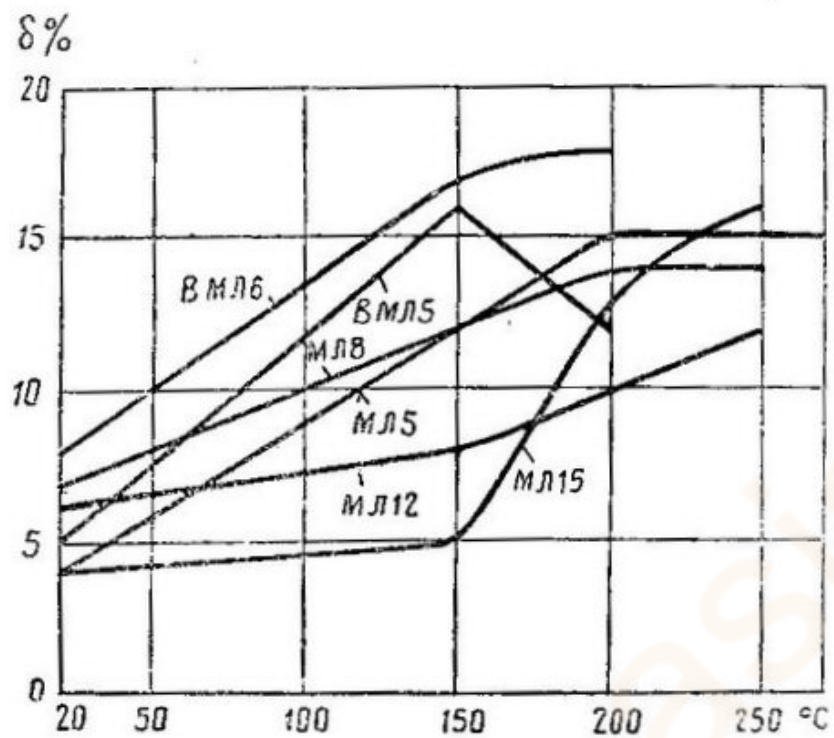


Рис. 4. Удлинение высокопрочных литейных магниевых сплавов при комнатной и высоких температурах.

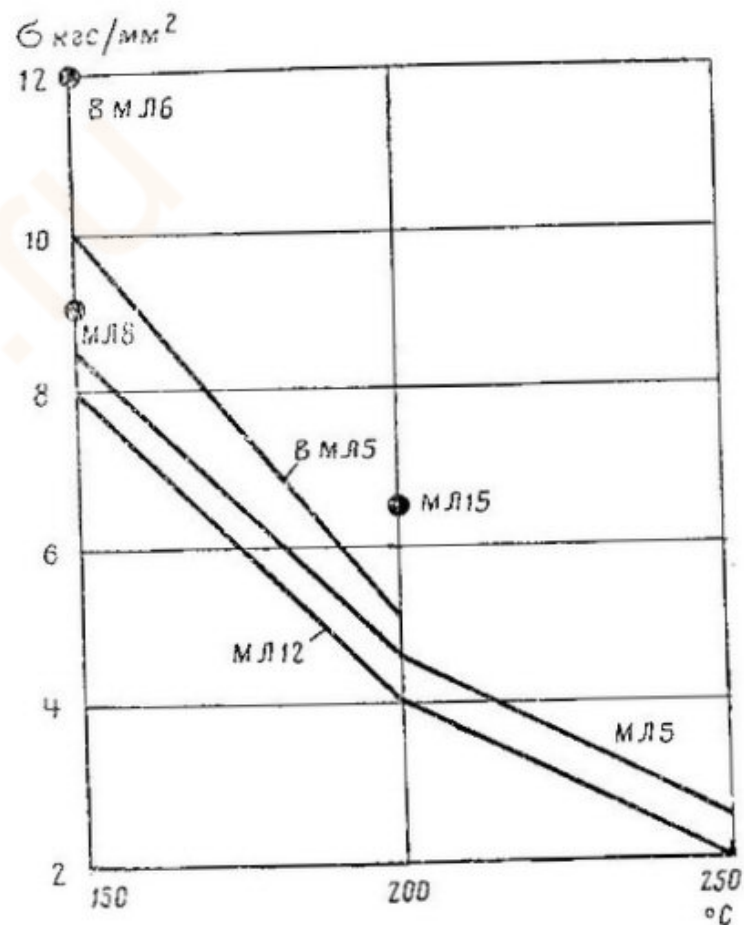


Рис. 5. Предел длительной прочности высокопрочных литейных магниевых сплавов за 100 час.

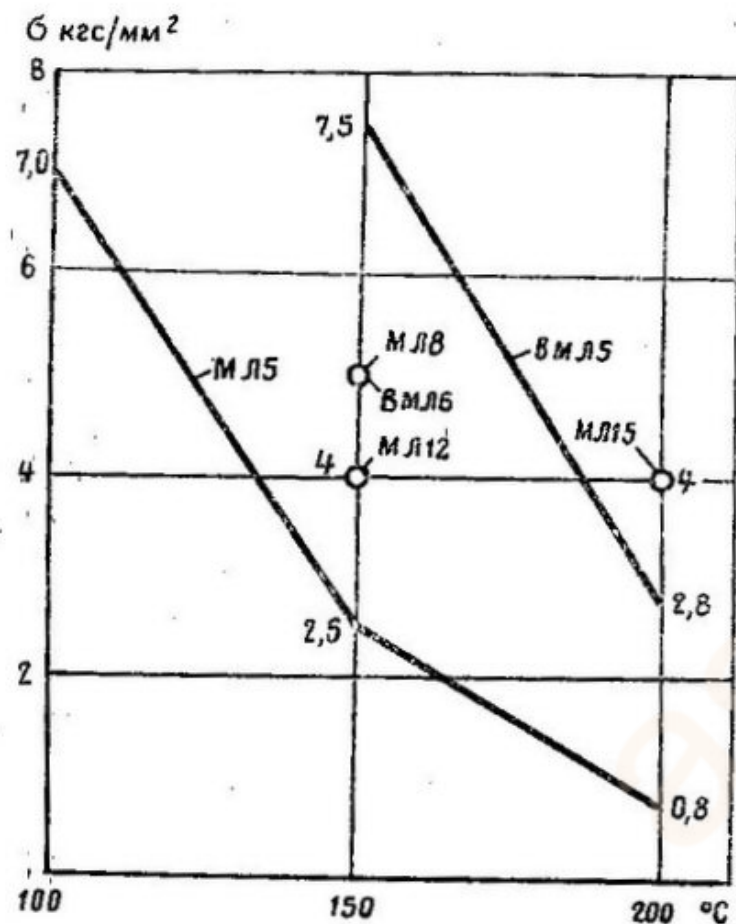


Рис. 6. Предел ползучести высокопрочных литейных магниевых сплавов за 100 час.

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ

МЛ4, МЛ4п. ч. *

Химический состав в %

Марка сплава	Al	Zn	Mn	Mg	Si	Cu	Fe	Ni	Be	Zr	Сумма примесей **
					не более						
МЛ4	5,0—7,0	2,0—3,0	0,15—0,5	Основа	0,25	0,1	0,06	0,01	0,002	0,002	0,5
МЛп. ч.	5,0—7,0	2,0—3,0	0,15—0,5	Основа	0,08	0,04	0,007	0,002	0,002	0,002	0,14

* Механические свойства для сплавов МЛ4 и МЛ4п. ч. равнозначны.

** Допускается присадка кальция в количестве до 0,1% в сплаве МЛ4.

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм ²	$\delta_{\text{с}}$ %
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	ГОСТ 2856—68	З	Без термической обработки	16,0 *	3,0 *
			Закаленные (Т4)	22,0	5,0
			Закаленные и состаренные (Т6)	23,0	2,0

* Только для сплава МЛ4.

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E		G	μ	σ _{лп}	σ _{0,2}	σ _в	δ ₁₀	ψ	σ _{вск}	τ _{0,3}	τ _в	τ _{ср}	α _н	σ ₋₁ *		
			кгс/мм ²														кгс/мм ²	кгс/мм ²	Гладкий
Образцы, отлитые, диаметром 12 мм	3	Без термической обработки	—	1600	0,33	—	9,5	18,0	5,0	6,0	—	—	—	13,0	—	0,2	4,5	—	—
		Закаленные (Т4)	4200	1600	0,33	1,8	8,5	25,0	9,0	13,0	37,0	4,5	16,5	13,5	—	0,4	—	—	—
		Закаленные и состаренные (Т6)	4200	1600	0,33	4,5	11,5	25,5	6,0	8,0	39,0	6,0	18,0	14,5	—	0,2	8,0	7,0	—

* Предел выносливости (σ₋₁) определяется при знакопеременном изгибе вращающегося образца на базе 5·10⁷ циклов.** Надрез r_н=0,75 мм, α_к=2,2.

Пределы ползучести

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °С	σ _{0,2/100} (по остаточной деформации) кгс/мм ²
Образцы, отлитые, диаметром 12 мм	3	Без термической обработки	100	6,0
			150	2,7
			200	1,6
		Закаленные (Т4)	100	6,6
			150	2,9
			200	1,2
Закаленные и состаренные (Т6)	100	6,3		
	150	2,7		
	200	1,4		

Физические свойства

Плотность d=1830 кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	100—200	200—300
α·10 ⁶ 1/град	26,4	27,6	28,3	28,8	29,7

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	25	100	200	300
λ, вт/м·град	65	71,2	81,8	83,8

Удельная теплоемкость

Температура °С	20—100
c кдж/кг·град	1,05

Коррозионная стойкость

Сплав МЛ4 обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Сплав МЛ4п.ч. имеет повышенную коррозионную стойкость.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горячеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
	°C					
З. О	610—400	700—800	1,2—1,4	245	37,5	Удовлетворительная при отсутствии микропористости

Примечание. Механические свойства сплавов находятся в зависимости от толщины сечения отливки. При литье толстостенных и массивных деталей следует увеличивать количество холодильников и выпоров в массивных частях отливки. Литье в кокиль не рекомендуется.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Закалка (T4)	380±5	8—16	Воздух
Закалка и старение (T6)	Закалка с 380±5, старение при 175±5	8—16 16	Воздух Воздух

Свариваемость

Сплав сваривается аргоно-дуговой и газовой сваркой с присадкой из основного материала. Свариваемость хуже, чем у сплава МЛ15. Следует применять предварительный подогрев в печи при температуре 350—380°C.

Обрабатываемость резанием отличная.

Применение

Корпусные детали и детали управления летательных аппаратов, подвергаемые статическим и динамическим нагрузкам. Корпуса приборов и инструментов.

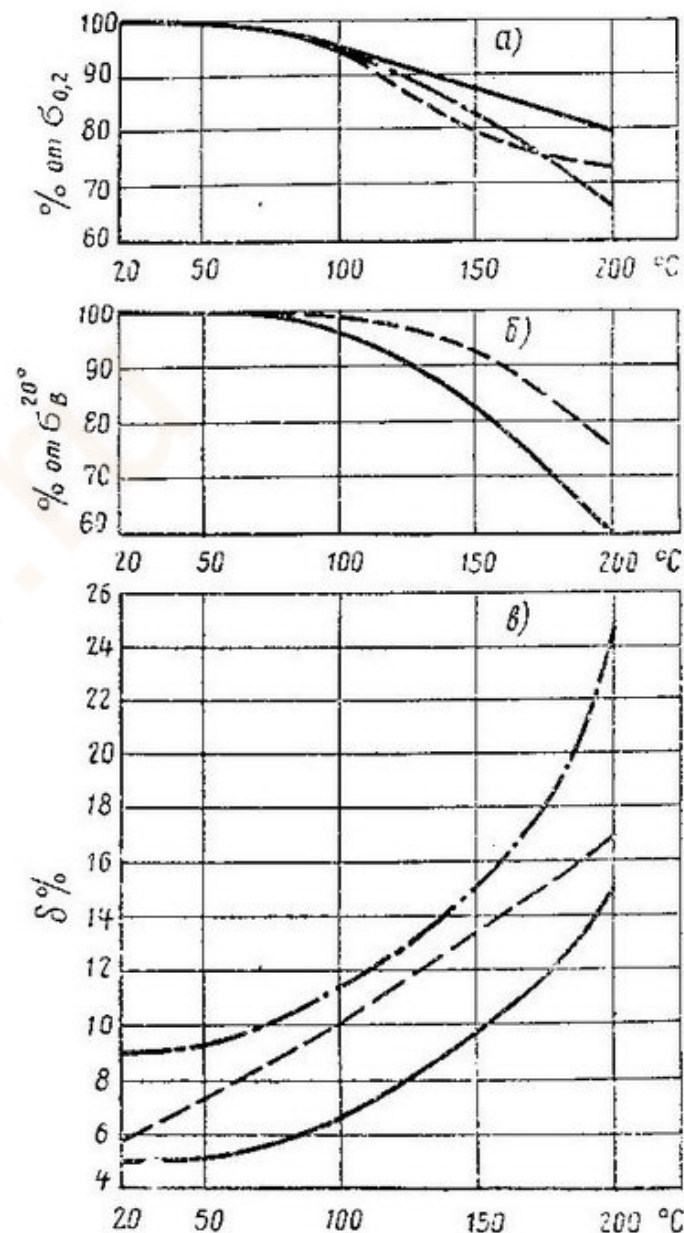


Рис. 1. Механические свойства сплава МЛ4 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре: отдельно отлитые в землю образцы диаметром 12 мм):

а — предел текучести (— литое состояние; --- в состоянии T4; --- в состоянии T6); б — предел прочности (— литое состояние; --- в состоянии T4 и T6); в — изменение абсолютных значений удлинения в зависимости от температуры (— литое состояние; --- в состоянии T4; --- в состоянии T6).

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ	МЛ5, МЛ5п. ч.
-----------------------------	----------------------

Химический состав в %

Марка сплава	Al	Zn	Mn	Mg	Si	Cu	Fe	Ni	Be	Zr	Сумма примесей*
					не более						
МЛ5	7,5—9,0	0,2—0,8	0,15—0,5	Осно-ва	0,25	0,1	0,06	0,01	0,002	0,002	0,5
МЛ5п. ч.	7,5—9,0	0,2—0,8	0,15—0,5	Осно-ва	0,08	0,04	0,007	0,001	0,002	0,002	0,14

* Допускается для сплава МЛ5 присадка кальция в количестве до 0,1%.

Механические свойства по ГОСТ или АМТУ (не менее)*

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5 %
				кгс/мм ²		
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	ГОСТ 2856—68	З	Без термической обработки	—	15,0	2
			Отожженные (Т2)	—	15,0	2
			Закаленные (Т4)	8,5	23,0	5
			Закаленные и состаренные (Т6)	—	23,0	2
	АМТУ 546-69	З	Закаленные (Т4)	8,5	24,0	5

* Механические свойства для сплавов МЛ5 и МЛ5п. ч. равнозначны.

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E кгс/мм ²	G кгс/мм ²	μ	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²	σ_B кгс/мм ²	ψ %	$\epsilon_{0,3}$ %	ϵ_B %	ϵ_{cp} %	a_H кгс-м/см ²	σ_{-1} кгс/мм ²			
													гладкий	с надрезом		
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	З	Без термической обработки	4200	1600	0,34	—	9,5	16,0	3,0	4,0	—	—	—	4,5	—	
		Отожженные (Т2)	4200	1600	0,34	—	8,0	16,0	5,0	6,0	—	11,5	12,0	—	—	
		Закаленные (Т4)	4200	1600	0,34	3,0	9,0	25,0	9,0	15,0	4,0	15,5	13,5	0,5	8,5	7,0
		Закаленные и состаренные (Т6)	4200	1600	0,34	4,5	12,0	25,5	4,0	8,5	6,0	17,0	14,0	0,3	8,5	7,0
		Закаленные (Т4)	—	—	—	—	—	9,0	22,5	6,0	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости (σ_{-1}) определялся при знакопеременном изгибе вращающегося гладкого образца на базе $5 \cdot 10^7$ циклов.
** Надрез $r_n = 0,75$ мм, $a_n = 2,2$.

Секундная прочность и ползучесть

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °С	кгс/мм ²															
				10"			60"			120"			180"			300"			
				$\sigma_{0,5}^{**}$	σ_1	σ_{τ}	$\sigma_{0,5}$	σ_1	σ_{τ}	$\sigma_{0,5}$	σ_1	σ_{τ}	$\sigma_{0,5}$	σ_1	σ_{τ}	$\sigma_{0,5}$	σ_1	σ_{τ}	
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 4 мм	3	Закаленные (Т4)	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			200	—	—	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
			300	6,5	7	9,5	5,5	6	9	5,5	6	9	5,5	6	9	5,5	6	9	5,5
			350	9	5,5	7	4	5	6	3,5	4	5	6	3,5	4	5	6	3,5	4

* σ_{τ} — разрушающие напряжения.** $\sigma_{0,5}$ и σ_1 — напряжения, вызывающие деформацию 0,5 и 1%.

Чувствительность к трещине при ударном изгибе

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	$a_{т.у.}$ кгс·м/см ²
Образцы, отдельно отлитые	3	Закаленные (Т4)	0,5
		Закаленные плюс состаренные при 150°, выдержка 10000 час	0,13
		Закаленные плюс состаренные при 175°, выдержка 500 час	0,13

Физические свойства

Плотность $d = 1810$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура испытания °С	20—100	20—200	20—300	100—200	200—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	26,8	28,1	28,7	29,4	29,9

Коэффициент теплопроводности

Температура испытания °С	25	100	200	300
λ вт/м·град	65	71,2	77,6	79,7

Удельная теплоемкость

Температура испытания °С	20—100
c кдж/кг·град	1,05

Коррозионная стойкость

Сплав МЛ5 обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью, а сплав МЛ5п.ч. имеет повышенную коррозионную стойкость.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горячеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
	°C			мм		
Литье в песчаные формы (З)	600—430	720—780	1—1,2	290—300	30	Удовлетворительная при отсутствии микрорыхлоты
Литье в оболочковые формы (О)	600—430	720—780	—	—	—	
Литье в кокиль (К)	600—430	720—780	—	—	—	
Литье под давлением (Д)	600—430	720—760	—	—	—	
Литье по выглаваемым моделям и в гипсовые формы (В, Г)	600—430	720—760	—	—	—	

Примечание. Сплав обладает малой склонностью к образованию горячих трещин.

Рекомендуемая термическая обработка

Группа литья	Условные обозначения режимов	Закалка			Отжиг			Старение		
		температура нагрева °C	выдержка час	охлаждающая среда	температура нагрета °C	выдержка час	охлаждающая среда	температура нагрева °C	выдержка час	охлаждающая среда
Все группы литья	I. Отливки с толщиной стенок не более 10 мм, отлитые в песчаную или оболочковую формы и имеющие массивные части в виде фланцев, бобышек и т. п., толщиной или диаметром до 20 мм, заготовленные путем установок на них холодильников	—	—	—	350±5	2—3	Воздух	—	—	—
		415±5	8—16	Воздух	—	—	—	175±5 или 200±5	16 или 8	Воздух
II. Отливки с толщиной стенок от 10 до 20 мм, отлитые в песчаные или оболочковые формы и имеющие массивные части толщиной до 40 мм, заготовленные путем установок на них холодильников	Закаленные (Т2)	360±5	3	Воздух	—	—	—	—	—	—
		420±5	13—21	То же	—	—	—	175±5 или 200±5	16 или 8	Воздух
	Закаленные и состаренные (Т6)	360±5	3	То же	—	—	—	—	—	—
		420±5	13—21	То же	—	—	—	175±5 или 200±5	16 или 8	Воздух

Группа литья	Условные обозначения режимов	Закалка			Отжиг			Старение		
		температура нагрева °С	выдержка час	охлаждающая среда	температура нагрева °С	выдержка час	охлаждающая среда	температура нагрева °С	выдержка час	охлаждающая среда
III. Отливки с толщиной стенок более 20 мм, отлитые в песчаные или оболочковые формы и имеющие массивные части толщиной более 40 мм	Закаленные (Т4)	360±5	3	Воздух	—	—	—	—	—	—
		420±5	21—29	То же	—	—	—	175±5 или 200±5	16 или 8	Воздух
IV. Все отливки, отлитые в кокиль	Закаленные и состаренные (Т6)	360±5	3	То же	—	—	—	—	—	—
		420±5	21—29	Воздух	—	—	—	175±5 или 200±5	16 или 8	Воздух
	Закаленные (Т4)	415±5	8—16	Воздух	—	—	—	—	—	—
	Закаленные и состаренные (Т6)	415±5	8—16	То же	—	—	—	—	—	—

Примечание. Отливки II и III группы, термически обрабатываемые по режиму Т4, допускаются нагревать до температуры 415±5, при этом следует применять одноступенчатый нагрев, а время выдержки брать ближе к верхнему пределу.

Свариваемость

Сваривается аргоно-дуговой и газовой сваркой с присадкой основного материала. Сваривается удовлетворительно после общего подогрева в печи при 350—380°С. Допускается местный подогрев.

Обработка резанием отличная.

Применение

Нагруженные детали самолетов, двигателей, приборов и других конструкций, тормозные барабаны, колодки, штурвалы, качалки, педали, кронштейны, фермы, рамы и др.

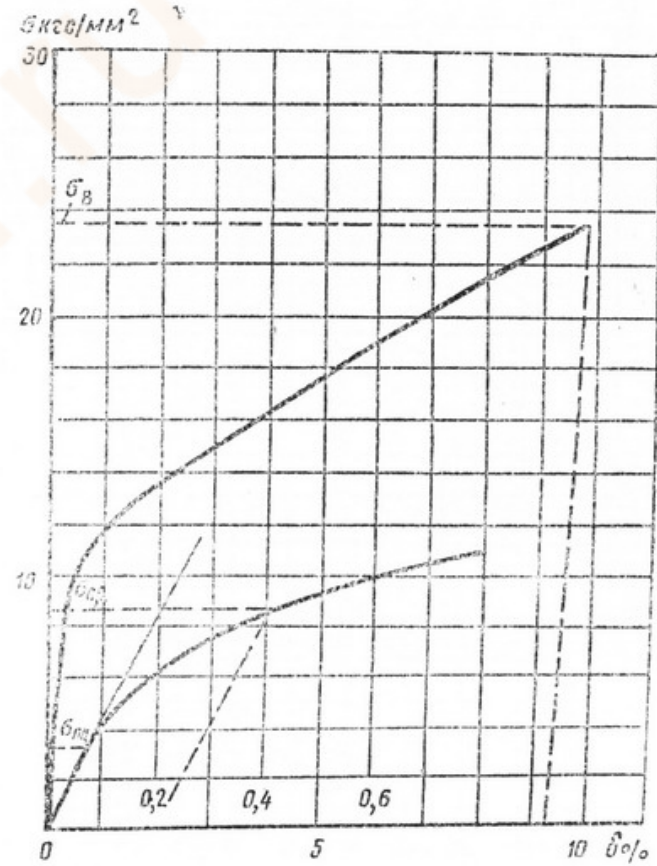


Рис. 1. Диаграмма растяжения сплава МЛ5-Т4, отлитого в землю, при комнатной температуре.

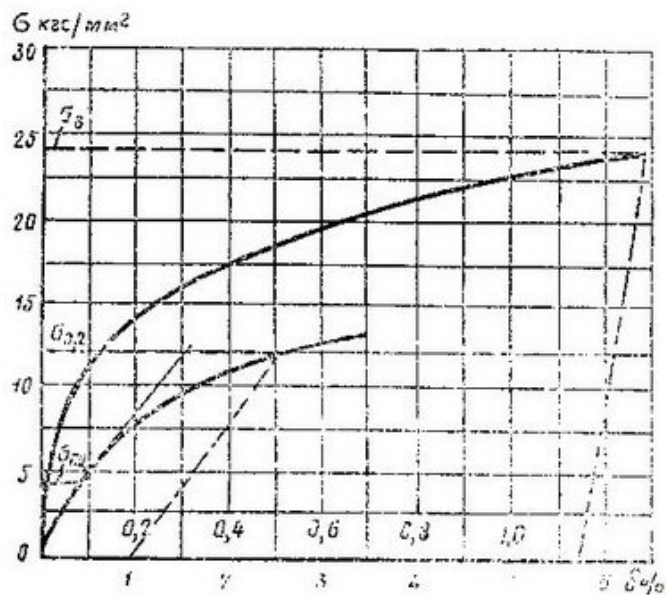


Рис. 2. Диаграмма растяжения, сплав МЛ5-Т6, отлитого в землю, при комнатной температуре.

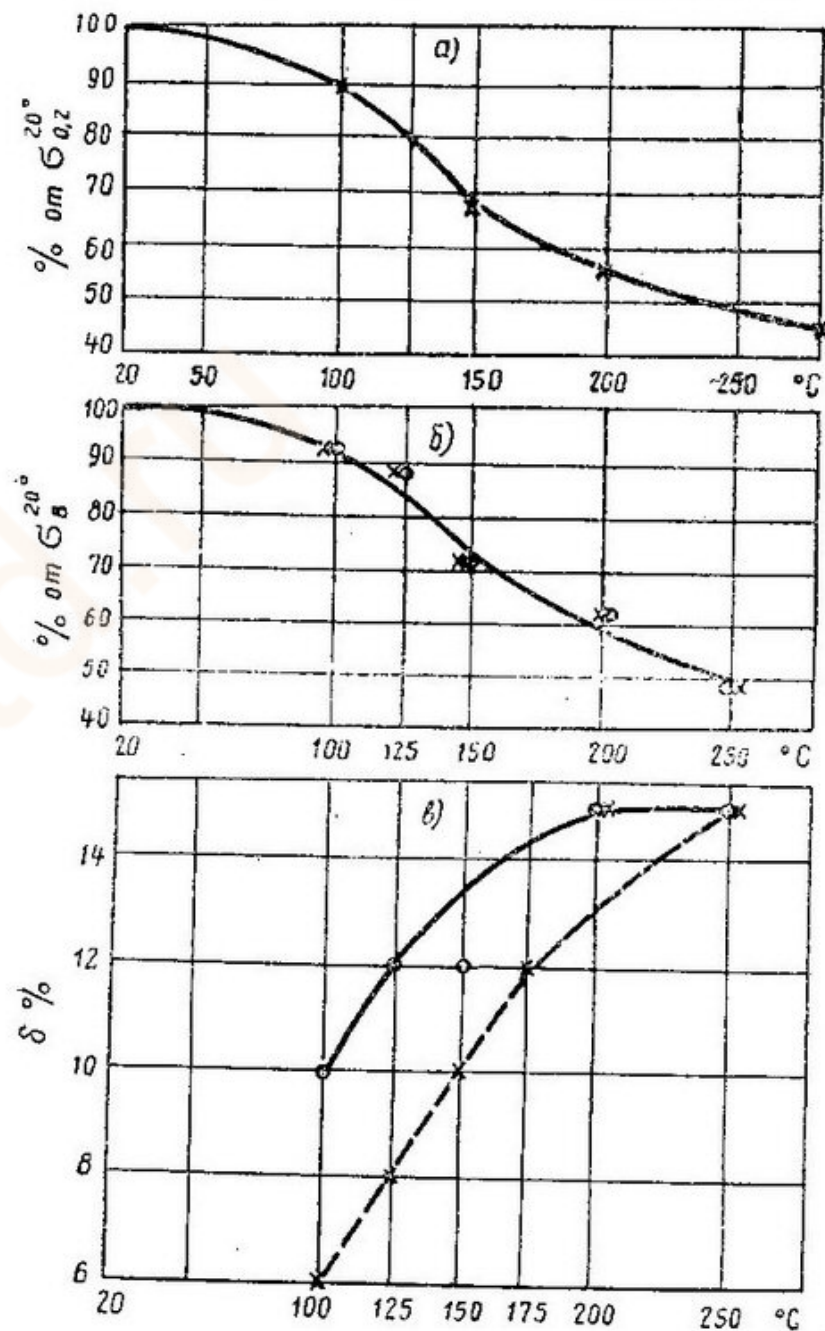


Рис. 3. Механические свойства сплава МЛ5 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре; отлитые в землю образцы диаметром 12 мм): а — предел текучести; в состоянии Т4; б — предел прочности в состояниях Т4 (●) и Т6 (×); в — изменение абсолютных значений удлинения в зависимости от температуры (● — в состоянии Т4; × — в состоянии Т6).

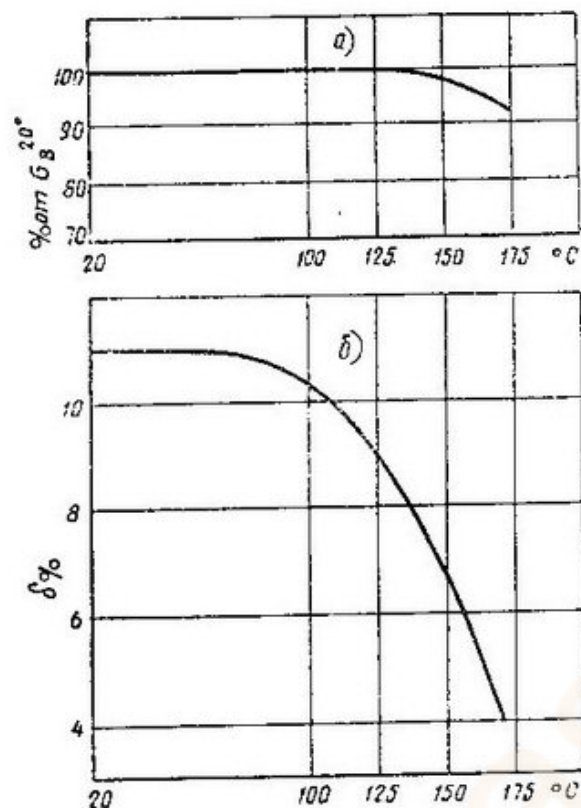


Рис. 4. Механические свойства сплава MJ5-T4 при комнатной температуре после длительных нагревов при 100—175°C ($\sigma_{в}$ в % от исходного значения при комнатной температуре; отдельно отлитые в землю образцы диаметром 12 мм):

a — предел прочности; б — удлинение.

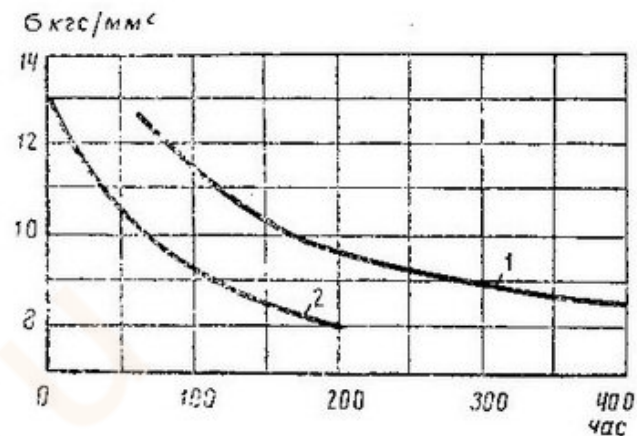


Рис. 5. Кривые длительной прочности сплава MJ5-T4 при 150°C:

1 — образцы с круглым надрезом (угол надреза 90°, радиус надреза 0,1 мм); 2 — гладкие круглые образцы.

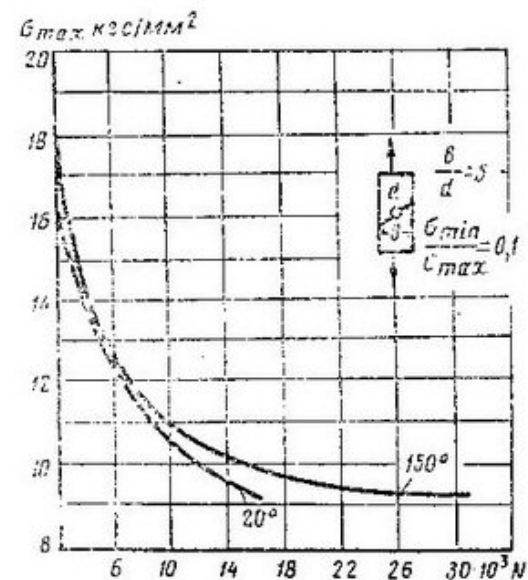


Рис. 6. Малоцикловая усталость сплава MJ5-T4 при асимметричном растяжении.

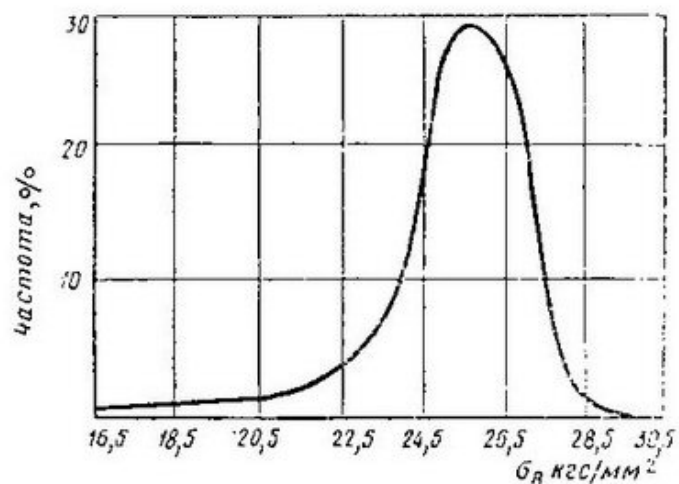


Рис. 7. Кривая нормального распределения предела прочности сплава МЛ5-Т4. Испытано 20000 образцов диаметром 12 мм.

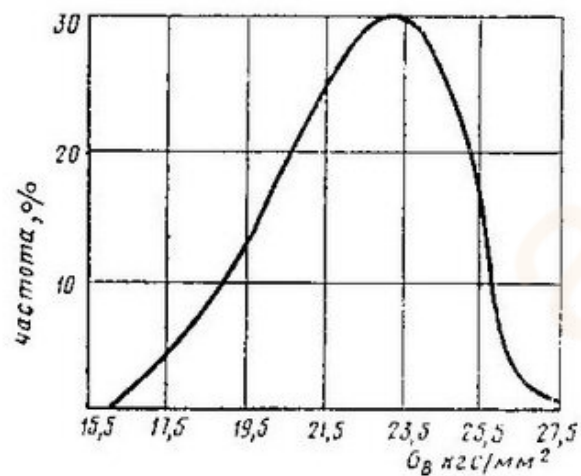


Рис. 8. Кривая нормального распределения прочности отливок из сплава МЛ5-Т4, залитых в кокиль. Испытано 1280 образцов диаметром 6 мм.

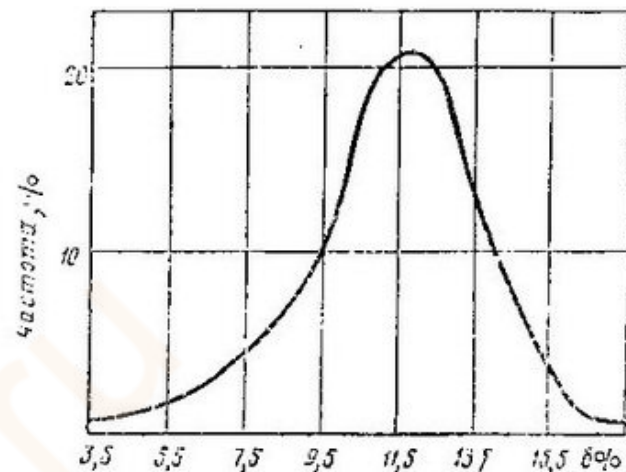


Рис. 9. Кривая нормального распределения относительного удлинения образцов диаметром 12 мм из сплава МЛ5-Т4. Испытано 20 000 образцов.

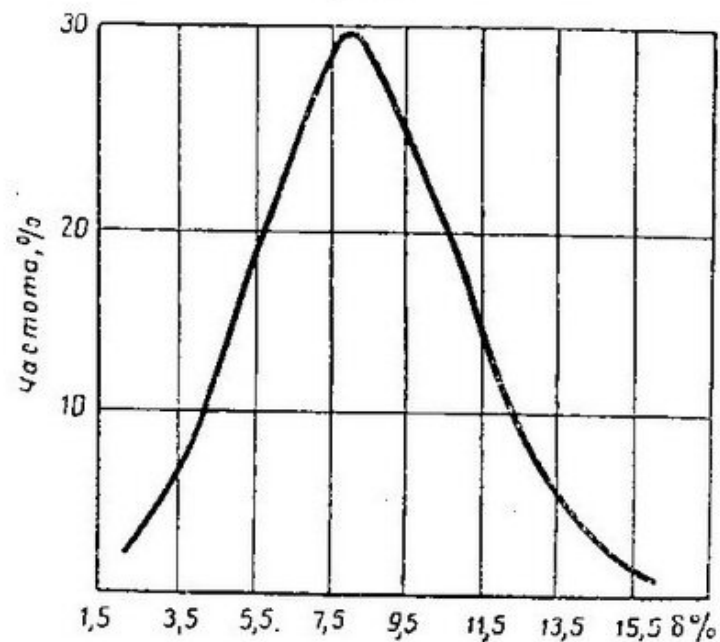


Рис. 10. Кривая нормального распределения относительного удлинения отливок из сплава МЛ5-Т4, залитых в кокиль. Испытано 1280 образцов диаметром 6 мм.

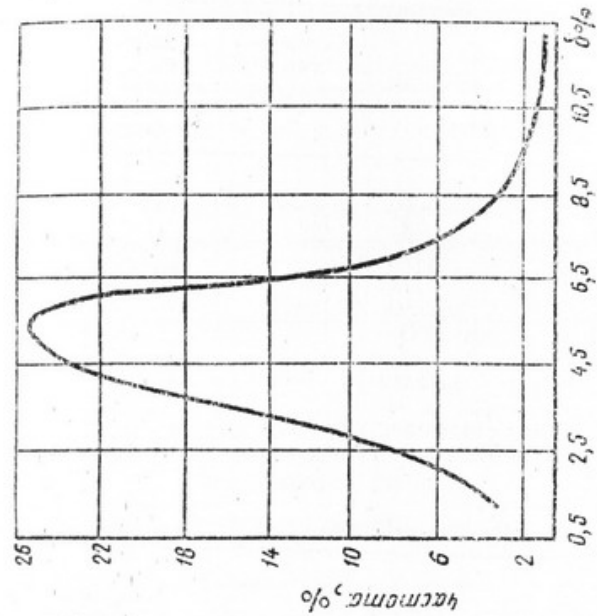


Рис. 12. Кривая нормального распределения от-носительного удлинения сплава MJ15-T6. Испы-тано 870 образцов диаметром 12 мм.

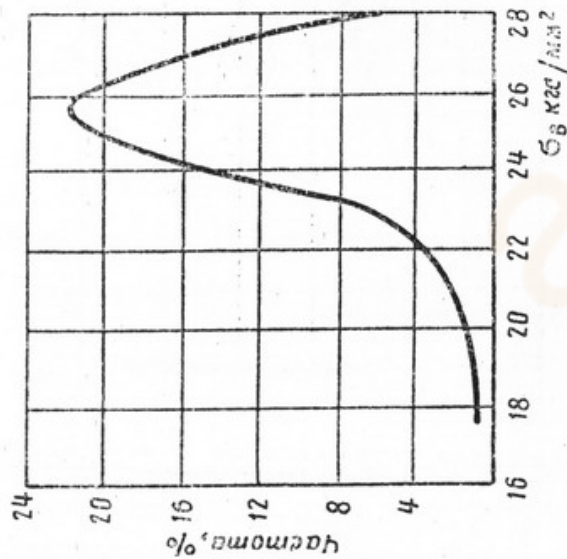


Рис. 11. Кривая нормального распределения предела прочности сплава MJ15-T6. Испытано 870 образцов диаметром 12 мм.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ

МЛ16

Химический состав в %

Al	Zn	Mn	Mg	Si	Cu	Fe	Ni	Be	Zr	Сумма приме-сей*
				не более						
9,0—10,2	0,6—1,2	0,1—0,5	Ос-нова	0,25	0,1	0,07	0,01	0,002	0,002	0,5

* Допускается присадка кальция в количестве до 0,1%.

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_{10} %
				кгс/мм ²		
Образцы, от-дельно отлитые, диаметром 12 мм	ГОСТ 2856—68	3	Без термической обработки	—	15	1,0
			Закаленные (T4)	11	22	4
			Закаленные и состаренные (T6)	14	22	1
			Закаленные в воде и состаренные (T61)	14	23	1

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E кгс/мм ²	μ	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²		δ_{10}	ψ	σ_{-1} кгс/мм ²						
					кгс/мм ²	кгс/мм ²			гладкий	с надрезом ψ_k					
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Без термической обработки	4200	0,33	11,0	16,0	1,5	2,5	6,0	4,5					
										10,0	25,0	5,0	12,0	9,5	7,5
										14,0	26,0	1,0	3,0	8,5	7,0

* Предел выносливости (σ_{-1}) определен при значительном числе вращающегося образца на базе $5 \cdot 10^7$ циклов.

** Надрез $r_n = 0,75$ мм; $\sigma_k = 2,2$.

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²	δ_{10} %	ψ	a_{10} кгс·м/см ²
		Закаленные (T4)	-70	27,0	5,0	8,5	0,3
		Закаленные и состаренные (T6)	-70	27,5	1,0	2,5	0,1

Предел ползучести

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma^{*0,2,100}$ кгс/мм ²
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Закаленные (T4)	100	7,2
			150	2,1
			200	0,7
		Закаленные и состаренные (T6)	100	7,5
			150	2,6
			200	1,0

по остаточной деформации.

Физические свойства

Плотность $d = 1810$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	100—200	200—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	26,1	27,3	27,7	28,5	28,4

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20	100
λ , Вт/м·град	60,8	67,1

Удельная теплоемкость

Температура °C	20—100
c кДж/кг·град	1,05

Коррозионная стойкость

Коррозионная стойкость сплава удовлетворительная.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации °C	Температура литья °C	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горючеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
				мм		
З; К; Д	600—420	720—780	1,1—1,2	330	27,5	Удовлетворительная, при отсутствии микро-рыхлоты

Примечание. Сплав обладает хорошими литейными свойствами.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Закалка (Т4)	360±5 + 410±5	3 21—29	Воздух
Закалка и старение (Т6)	Закалка: 360±5+ +410±5	3 21—29	Воздух
	Старение: 190±5	4—8	Воздух
Закалка в воде и старение (Т61)	Закалка: 360±5+ +410±5	3 21—29	Вода 90°
	Старение: 190±5	4—8	Воздух

Свариваемость

Сплав сваривается аргоно-дуговой сваркой с присадкой основного металла несколько хуже, чем сплав МЛ5. Перед заваркой дефектов отливки следует подвергать общему подогреву в печи до 350—370°C.

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Высоко- и средненагруженные детали. Различные корпуса, детали приборов, аппаратуры и т. п. Целесообразно применять для изготовления деталей, требующих повышенного предела текучести.

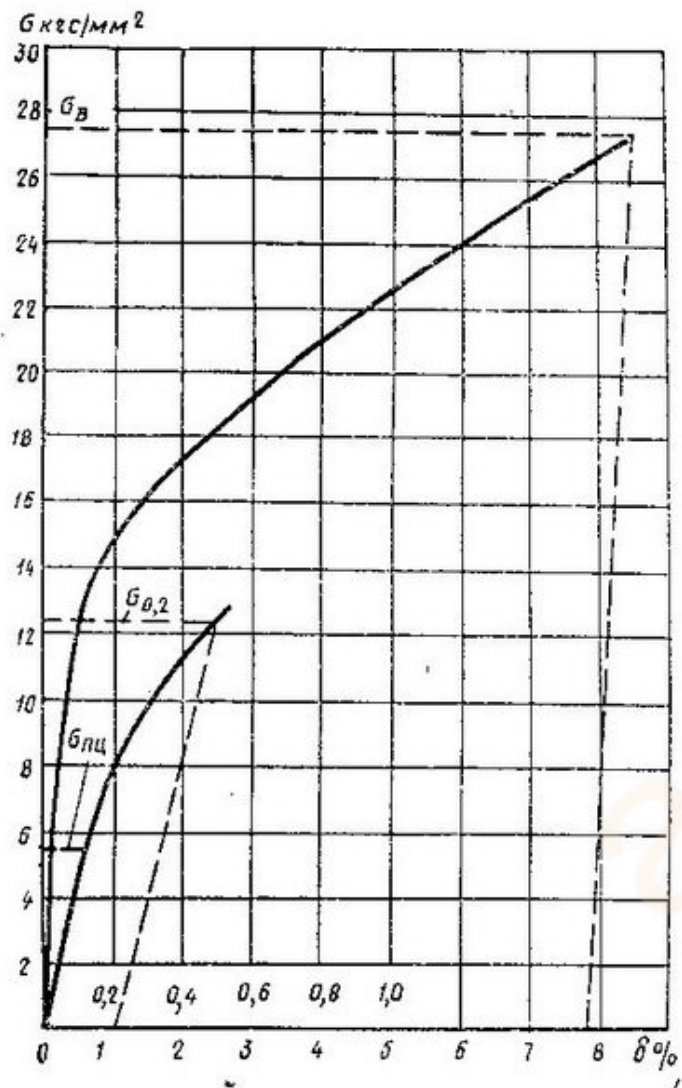


Рис. 1. Диаграмма растяжения при комнатной температуре сплава МЛ6, отлитого в землю.

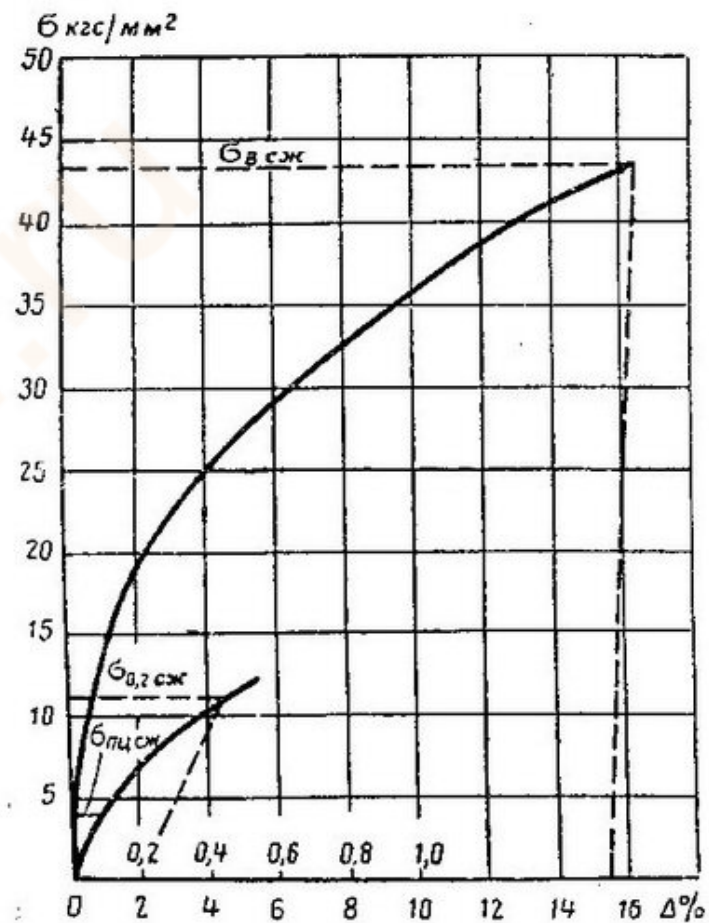


Рис. 2. Диаграмма сжатия при комнатной температуре сплава МЛ6, отлитого в землю.

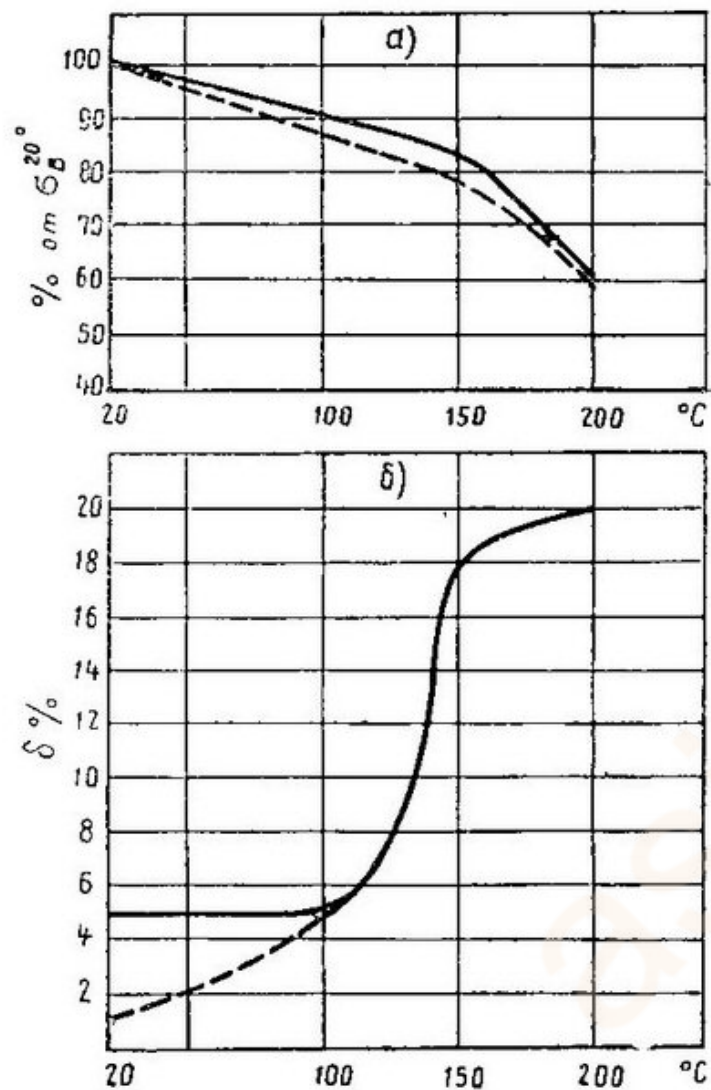


Рис. 3. Механические свойства при высоких температурах сплава МЛ6 в состояниях Т4 и Т6 ($\sigma_{0.2}$ в % от исходного значения при комнатной температуре, отдельно отлитые в землю образцы диаметром 12 мм).

— в состоянии Т4; --- в состоянии Т6.
 а — предел прочности; б — удлинение.

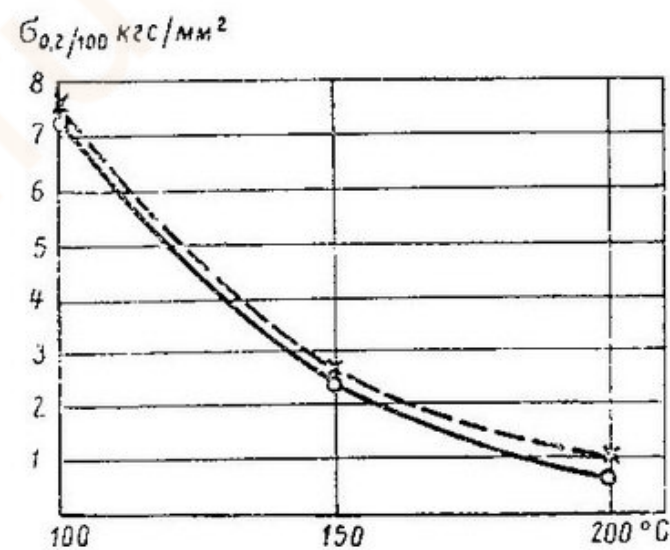


Рис. 4. Предел прочности сплава МЛ6 при различных температурах:

— в состоянии Т4; --- в состоянии Т6.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ	МЛ18
----------------------------	-------------

Химический состав в %

Zn	Zr	Cd	Mg	Al	Si	Fe	Ni	Cu	Be	Прочие примеси	Сумма примесей
5,5—6,6	0,7—1,1	0,2—0,8	Основа	0,02	0,03	0,01	0,005	0,03	0,001	0,12	0,2
не более											

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5 %
				кгс/мм ²		
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	ГОСТ 2856—68	З	Закаленные на воздухе и состаренные (Т6)	17	27	4
			Закаленные в воде и состаренные (Т61)	18	28	4

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E		G		μ		σ _ц	σ _{0,2}	σ _B	ψ	E _{ск}	σ _{0,2 см}	γ _а	d _н кгс·м/см ²	σ ₋₁ кгс/мм ²	
			кгс/мм ²		%		%											
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	З	Закаленные на воздухе и состаренные (Т6)	4200	1600	0,33	10	19	29	6	13	4200	9	19	—	—	0,3	7,5	
			4200	1600	0,33	12	20	30	7	8	4200	—	19	8,5	20	0,3	7,5	
			—	—	0,33	—	19	27	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	20	28	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Образцы, диаметром 6 мм, вырезанные из средних и крупных отливок сложной конфигурации	З	Закаленные на воздухе и состаренные (Т6)	4200	1600	0,33	10	19	29	6	13	4200	9	19	—	—	0,3	7,5	
			4200	1600	0,33	12	20	30	7	8	4200	—	19	8,5	20	0,3	7,5	
			—	—	0,33	—	19	27	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	20	28	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости (σ₋₁) определялся при знакопеременном изгибе вращающегося гладкого образца на базе 2 · 10⁶ циклов.

Механические свойства при температуре -70°C

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_{10} %	a_n кгс-м/см ²
			кгс/мм ²			
Образцы, отливо отлитые, диаметром 10 мм	3	Закаленные на воздухе или в воде и состаренные (Т6 и Т61)	20	33	4	0,25

Пределы ползучести и длительной прочности

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания $^{\circ}\text{C}$	σ_{10}	σ_{100}	$\sigma_{0,2/10}$	$\sigma_{0,2/100}$
				кгс/мм ²			
Образцы, отливо отлитые, диаметром 10 мм	3	Закаленные на воздухе и состаренные (Т6)	150	10,5	8,5	—	4,5
			200	6,5	—	3	—
		Закаленные в воде и состаренные (Т61)	150	11	9	—	5
			200	7	—	3,5	—

Чувствительность к надрезу*

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Характер нагрузки	Температура испытания $^{\circ}\text{C}$	
				-70	20
Образцы, отливо отлитые, диаметром 10 мм	3	Закаленные на воздухе или в воде и состаренные (Т6 и Т61)	При статической нагрузке	1,15	1,23

* Надрез при статическом разрыве $r_n = 0,1$ мм, угол 60° .

Физические свойства

Плотность $d = 1820$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура $^{\circ}\text{C}$	20—100	20—200	20—300	100—200	200—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	26,6	27,2	27,8	27,8	28,0

Коэффициент теплопроводности

Температура испытания $^{\circ}\text{C}$	25	100	200	300
λ вт/м-град	123	125	127	130

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горячеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
	$^{\circ}\text{C}$					
З, К, О	636—525	720—800	1,3—1,4	290	30—32,5	Повышенная по сравнению со сплавом МЛ5

Примечание. В литом и термически обработанном состояниях отливки обладают высокими и однородными механическими свойствами. Механические свойства образцов, отлитых отдельно и вырезанных из деталей, близки между собой. Микрорыхлота снижает свойства отливок из сплава МЛ8 в значительно меньшей степени, чем из сплава МЛ5.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
T6	Закалка 490 ± 5	5	Сжатый воздух
	Старение 165 ± 5	24	
	или: 130 ± 5	48	Воздух
T61	Закалка 490 ± 5	5	Горячая вода $-90 \pm 10^\circ$
	Старение 165 ± 5	24	
	или: 130 ± 5	48	Воздух

Примечание. При скорости подъема температуры в печи при нагреве под закалку, превышающей 200°C в час, или при загрузке деталей в нагретую печь рекомендуется применять двухступенчатый нагрев: I ступень нагрева — до $420-440^\circ\text{C}$, выдержка 1-2 час; II ступень нагрева — до $490 \pm 5^\circ\text{C}$, выдержка 5 час.

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева в печи °C	Предел прочности при 20°C		Коэффициент прочности сварного соединения % от %	Характеристика свариваемости
			основного материала	сварного соединения		
Аргонно-дуговая сварка	Прессованная проволока из сплава Св 122	400-440	26-27	22-24	0,85-0,90	Удовлетворительная при аргонно-дуговой сварке

Обрабатываемость резанием отличная.

Применение

Высоконагруженные детали (кронштейны, фермы, детали управления, барабаны, реборды, детали приборов, агрегатов и др.).

В ряде случаев может быть заменителем литых и деформируемых алюминиевых сплавов (АЛ9, АЛ14, АЛ7, АК4, АК6).

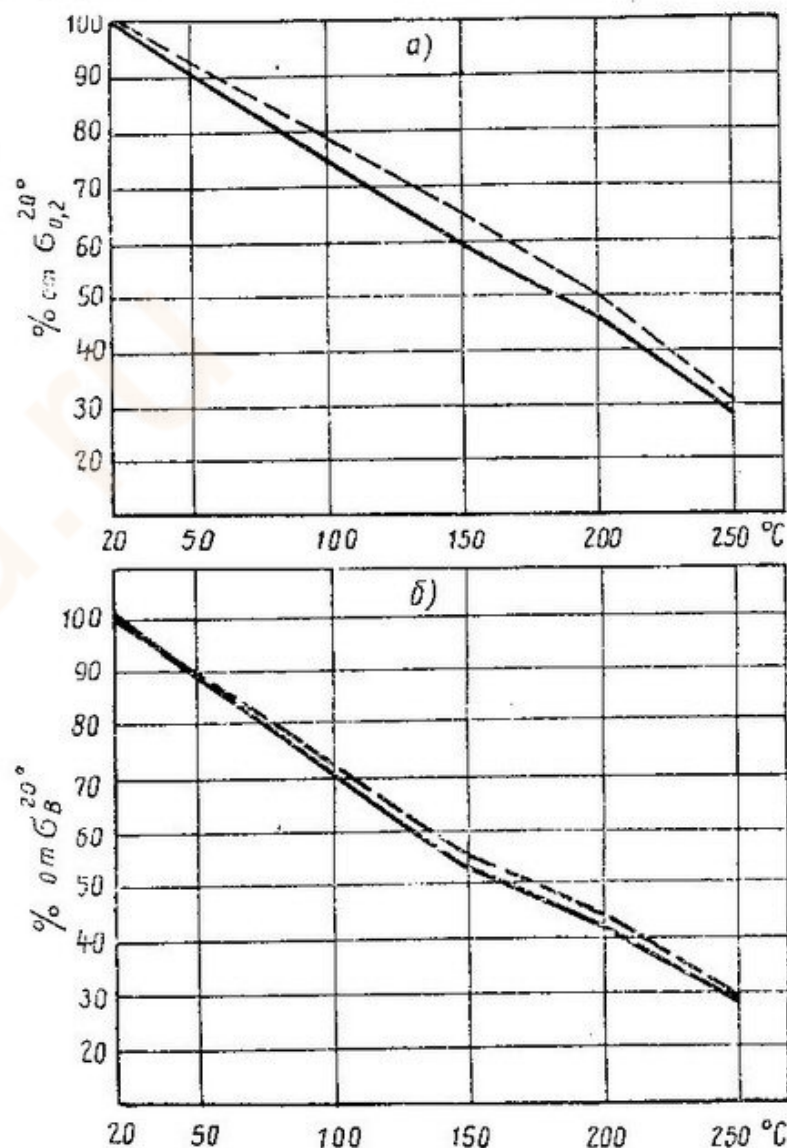


Рис. 1. Механические свойства сплава М18 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре; отдельно отлитые в землю образцы диаметром 12 мм):

— в состоянии T6; - - в состоянии T61.
а — предел текучести; б — предел прочности.

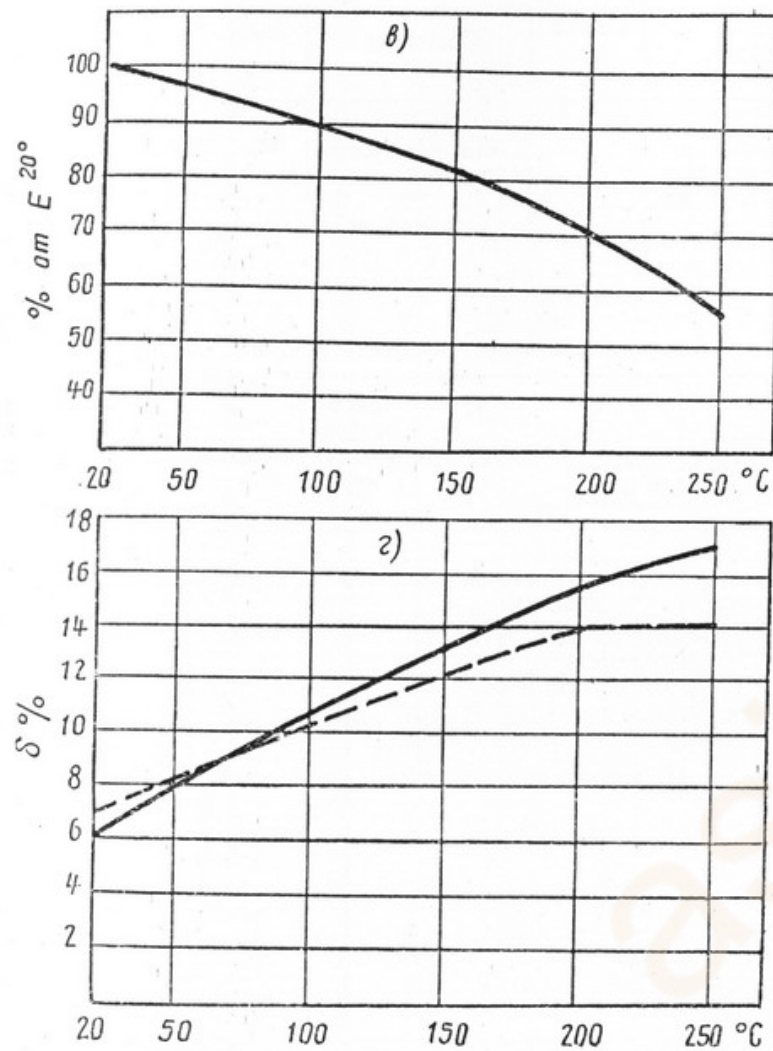


Рис. 1. Механические свойства сплава МЛ18 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре; отдельно отлитые в землю образцы диаметром 12 мм):

— в состоянии Т6; — — в состоянии Т61.
 a — модуль упругости при растяжении; δ — изменение абсолютных значений удлинения в зависимости от температуры.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ

МЛ12

Химический состав в %

Zn	Zr	Mg	Al	Si	Fe	Ni	Cu	Be	Прочие примеси	Сумма примесей
не более										
4,0—5,0	0,6—1,1	Осно- ва	0,02	0,03	0,01	0,005	0,03	0,001	0,12	0,2

Механические свойства по ГОСТ или АМТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ или ТУ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5 %
				кгс/мм ²		
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	ГОСТ 2856—68	3	Без термической обработки	9	20	6
			Состаренные (Т1)	13	23	5
	АМТУ 546-69	3	Состаренные (Т1)	14	24	5

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E кгс/мм ²	G мм	μ	σ _{шт}	σ _{0,2}	σ _в	δ ₅	ψ	E _{сж}	σ _{0,2 сж}	τ _{0,3}	τ _в	τ _{ср}	a _н кгс·м/см ²	σ ₋₁ * кгс/мм ²
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	З	Без термической обработки	4400	1650	0,33	8	12	22	7	8	—	—	—	—	15,5	0,5	—
		Состаренные (Т1)	4400	1650	0,33	9	15	26	6	7	4400	14	9,5	19	15,5	0,4	7,5
Образцы, диаметром 6 мм, вырезанные из средних и крупных отливок сложной конфигурации	З; К	Состаренные (Т1)	—	—	—	—	15	24	6	—	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости (σ₋₁) определялся при знакопеременном изгибе вращающегося гладкого образца на базе 2·10⁷ циклов.

Механические свойства при низкой температуре (-70°)

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	σ _{0,2}	σ _в	δ ₁₀ %	a _н кгс·м/см ²
			кгс/мм ²			
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 10 мм	З	Без термической обработки	16	23	2,5	0,4
		Состаренные (Т1)	20	25	2,0	0,4

Предел длительной прочности

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °С	σ ₃₀	σ ₁	σ ₅	σ ₃₀	σ ₁₀₀
				кгс/мм ²				
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 10 мм	З	Состаренные (Т1)	150	12,5	12	10	—	8
			200	—	8	7,5	—	4
			250	5,5	5	3,5	3	2
			300	3,5	—	—	—	—

Предел ползучести *

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °C	кгс/мм ²							
				$\sigma_{0,230}$	$\sigma_{0,25}$	$\sigma_{0,239}$	$\sigma_{0,2100}$	$\sigma_{0,5-1}$	$\sigma_{0,5/10}$	$\sigma_{0,5/100}$	$\sigma_{0,5/1000}$
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 10 мм	3	Состаренные (T1)	100	—	—	—	—	12,5	11,5	10,0	8,4
			150	7,5	5	—	9,0	7,7	6,4	5,0	
			200	—	3,5	3	6,3	5,0	3,8	2,4	
			250	2	1,2	—	—	—	—	—	

* По остаточной деформации.

Чувствительность к надрезу * при статическом разрыве при 20°

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	σ_b^H / σ_b^C
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 10 мм	3	Состаренные (T1)	0,95

* Надрез при статической нагрузке $r_H = 0,1$ мм; угол 60°.

Физические свойства

Плотность $d = 1810$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	100—200	200—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	26,2	27,8	28,9	29,5	31,2

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200
λ вт/м·град	134	130	130

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Технология литья

*Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горячеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
	°C					
З	644—550	740—800	1,3—1,4	290	30—32,5	Герметичность повышенная по сравнению со сплавом МЛ15
К	644—550	720—800	1,3—1,4	290	30—32,5	
О	644—550	720—800	1,3—1,4	290	30—32,5	
В, Г	644—550	720—800	1,3—1,4	290	30—32,5	

Примечание. В литом и термически обработанном состоянии отливки обладают высокими и однородными механическими свойствами. Механические свойства образцов, отлитых отдельно и вырезанных из деталей, близки между собой. Микрорыхлота в значительной меньшей степени снижает свойства отливок из сплава МЛ12, чем из сплава МЛ15.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Старение (Т1)	300±5	4—6	Воздух

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева в печи °C	Коэффициент прочности сварного соединения $\sigma_{н\text{св}}/\sigma_{н}$	Характеристика свариваемости
Аргонодуговая сварка	Прессованная проволока Св 122	400—440	0,85	Удовлетворительная

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Нагруженные детали (барабаны, реборды, колеса и другие детали), длительно работающие при температурах до 200°C и кратковременно — до 250°C.

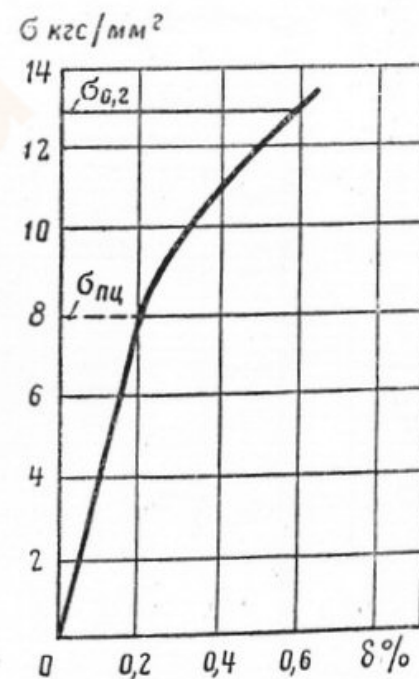


Рис. 1. Кривая растяжения при комнатной температуре сплава МЛ12, отлитого в землю.

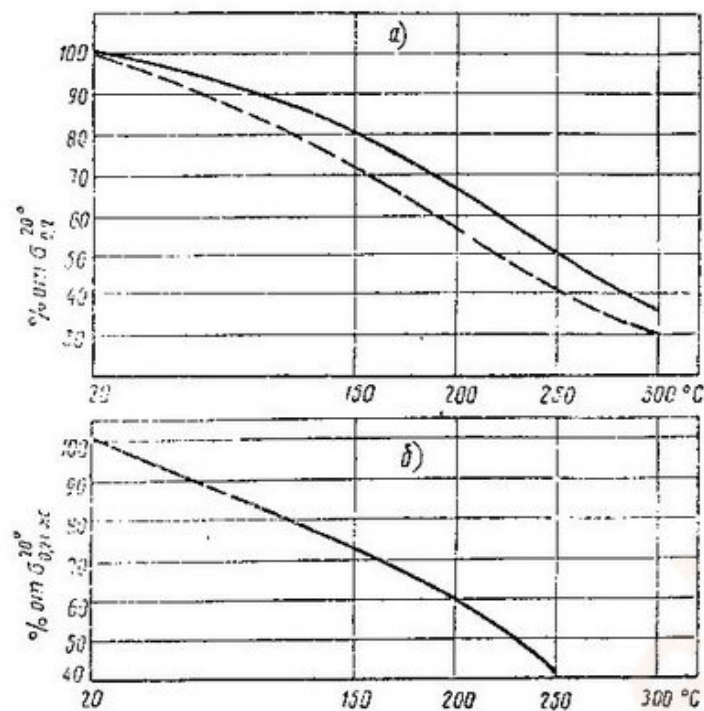


Рис. 2. Механические свойства при высоких температурах сплава МЛ12 (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре). Образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм:

— без термической обработки; - - - в состаренном состоянии;

а — предел текучести при растяжении;

б — предел текучести при сжатии.

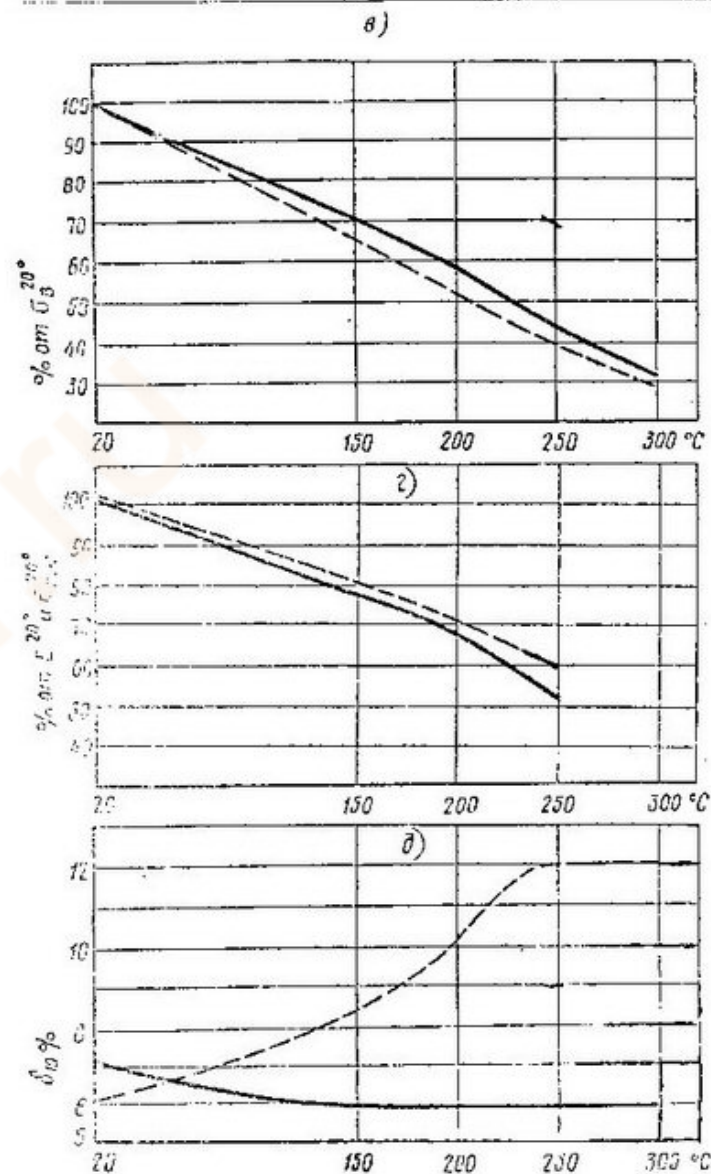


Рис. 2. Механические свойства при высоких температурах сплава МЛ12 (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре). Образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм:

а — предел прочности при растяжении;

— без термической обработки; - - - в состаренном состоянии;

б — модуль упругости при растяжении и сжатии;

- - - при растяжении в состаренном состоянии; — при сжатии в состаренном состоянии;

в — абсолютные значения удлинения в зависимости от температуры;

- - - в литом состоянии; — в состаренном состоянии.

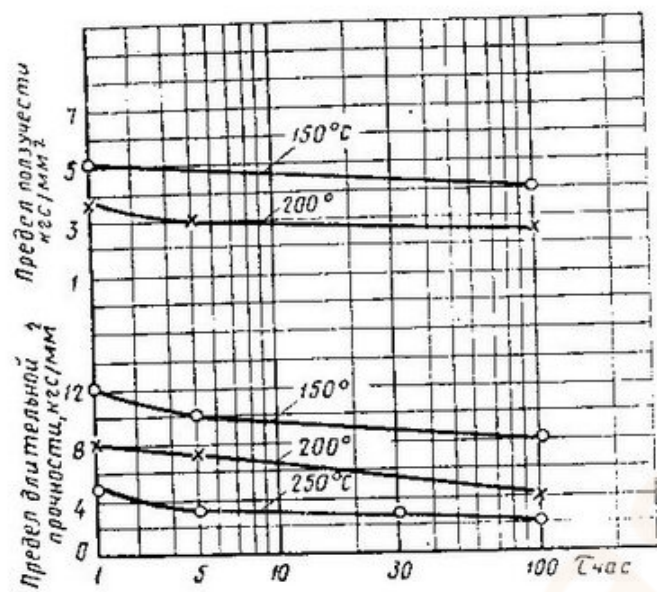


Рис. 3. Пределы ползучести и длительной прочности сплава MJ12.

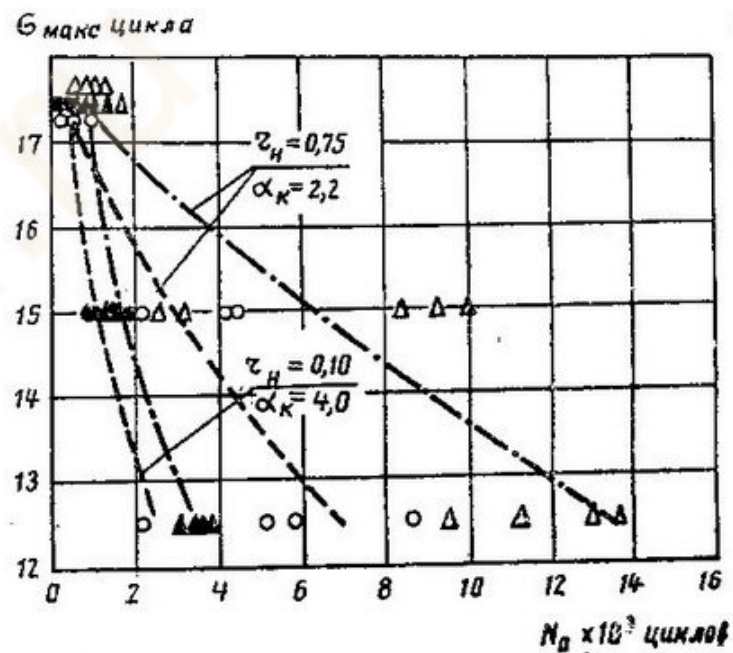


Рис. 4. Малоцикловая усталость сплава MJ12-T1: из отдельно отлитой заготовки, \circ — $r_H = 0,75$; \bullet — $r_H = 0,10$; Δ — из детали $r_H = 0,75$; \blacktriangle — $r_H = 0,10$.

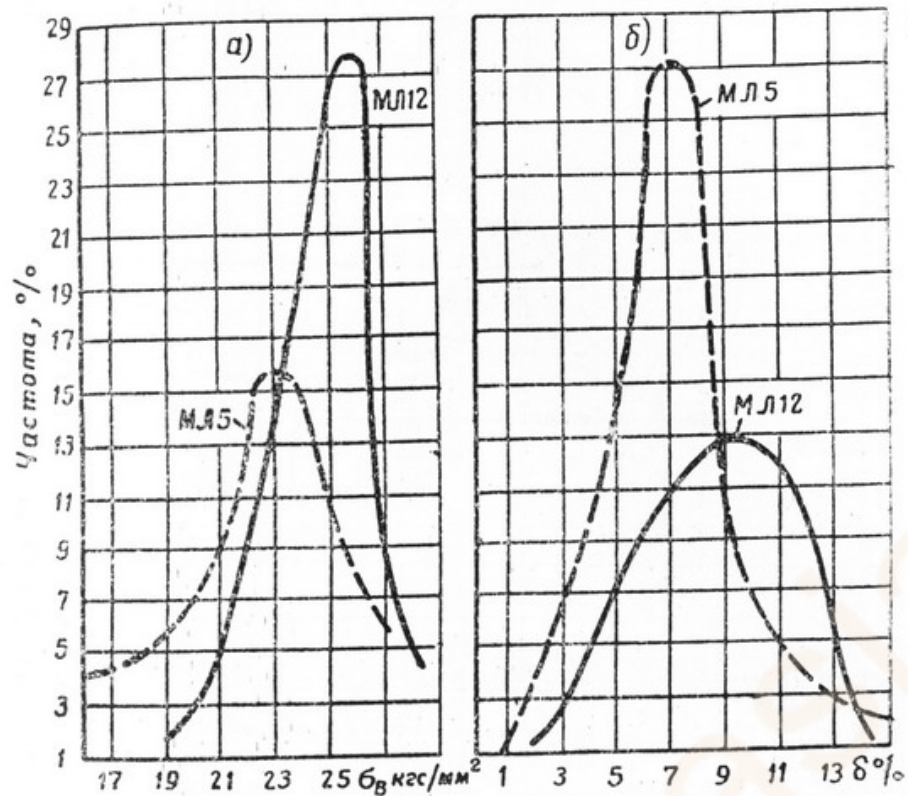


Рис. 5. Кривые нормального распределения механических свойств деталей среднего веса (до 100 кг) из сплавов МЛ12 и МЛ5. Испытано 350 образцов:

а — предел прочности; б — относительное удлинение.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ

МЛ15

Химический состав в %

Zn	La	Zr	Mg	Fe	Si	Cu	Ni	Al	Прочие примеси	Сумма всех примесей
				не более						
4,0—5,0	0,6—1,2	0,7—1,1	Основа	0,01	0,03	0,03	0,005	0,02	0,12	0,2

Механические свойства по ГОСТ

Вид полуфабриката	ГОСТ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5 %
				кгс/мм ²		
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	ГОСТ 2856—68	З	Состаренные (Т1)	13	21	3

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	E	E _d	G	μ	σ _{пл}		σ _п	δ ₅	ψ	E _{сж}	σ _{пл сж}	σ _{0,2сж}	τ _{0,3}	τ _н	τ _{ср}	a _n
							кгс/мм ²	кгс/мм ²										
Образцы, от- дельно отли- тые, диамет- ром 12 мм	3	Состарен- ные (Т1)	4300	4500	1600	0,34	8	15	22	4	5	4300	9	15	9	17	15	0,20
									15	22	4							
Образцы, от- делом 6 мм, вырезан- ные из средних и крупных де- талей сложной конфигурации	3	То же							22									

Механические свойства при низких температурах

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	E	σ _{0,2}	σ _в	δ ₁₀	ψ	a _n кгс-м/см ²
				кгс/мм ²			%		
Образцы, от- дельно отли- тые, диамет- ром 12 мм	3	Состарен- ные (Т1)	-70	4500	14	21	1	3,2	0,18
			-196	5000	16	22	<1	3,0	0,15

Механические свойства после длительных нагревов при температурах испытания

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	Темпе- ратура нагрева и испы- тания, °С	Выдержка					
				30 мин			1000 час		
				σ _{0,2}	σ _в	δ ₁₀ %	σ _{0,2}	σ _в	δ ₁₀ %
Образцы, от- дельно отли- тые, диамет- ром 12 мм	3	Состарен- ные (Т1)	100	13	19,5	7,5	15,5	21,5	10,5
			150	11,5	17,5	15	12,5	17,5	12,5
			200	10	13,5	22	8,5	12,5	23

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	σ_{20}	σ_{20}	σ_{100}	σ_{100}	$\sigma_{2/30}$	$\sigma_{2/30}$	по остаточной деформации			I-D ***	I-D **		
										$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/30}$				
Образцы, от- дельно отли- тые, диамет- ром 12 мм	З	Состарен- ные (Т1)	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	7	
			100	—	—	14	12,5	—	—	—	—	—	—	8	—	
			150	—	—	10	8,5	—	—	—	—	—	—	5	—	
			200	10,5	8,5	7	6,5	5	6,5	5,5	—	4	—	—	5	3,5
			250	7,5	5,5	4,5	4	3	4,5	3,5	2	—	—	—	4	3
			300	5,5	4	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—

* Пределы длительной прочности и ползучести определены расчетным путем.

** Предел выносливости (σ_{-1}) определяется при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ цик-

лов.

*** Надрез $r_H = 0,75$ мм; $r_K = 2,2$.

Секундная прочность и ползучесть

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состоя- ние	Температура испытания °С	σ_a кгс/мм ²	10"			60"			120"			180"			300"		
					σ_{τ}	$\sigma_{0,5}$	$\sigma_{1,0}$	σ_{τ}	$\sigma_{0,5}$	$\sigma_{1,0}$	σ_{τ}	$\sigma_{0,5}$	$\sigma_{1,0}$	σ_{τ}	$\sigma_{0,5}$	$\sigma_{1,0}$	σ_{τ}	$\sigma_{0,5}$	$\sigma_{1,0}$
Образцы диаметром 4 мм, выре- занные из деталей	З	Состарен- ные (Т1)	200	15	16,0	11,5	12	15,5	10	10,5	15,5	9,5	10	15	9,5	10	15	9,5	10
			250	12	12,5	—	—	11,5	—	—	10,5	—	—	10	—	—	10	—	—
			300	9,5	10,0	—	—	8,5	6	6,5	8	5,5	6	7,5	5,5	6	7,4	5,4	5,8
			350	8	8	6	—	6,5	5	5,5	5	5,5	4	5	5,5	4	4,9	5,4	4

* σ_{τ} — разрушающее напряжение.

** $\sigma_{0,5}$ и $\sigma_{1,0}$ — напряжение, вызывающее деформацию 0,5 и 1%.

Малоцикловая усталость *

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °С	$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{в}}^{20^\circ}}$		N циклы
				σ_{\max}	$\sigma_{\text{в}}$	
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Состаренные (Т1)	20	0,7	14,7	4600—8100
				0,5	10,5	190000—487000
			150	0,7	14,7	3200—7000
				0,5	10,5	47300—51600
			200	0,7	14,7	10800—16600
				0,5	10,5	10800—16600

* Образцы с надрезом $\alpha_k = 2,2$; $\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0,1$.

Чувствительность к надрезу *

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Характер нагружения	Температура испытания, °С				
				-196	-70	20	200	250
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Состаренные (Т1)	При статической нагрузке	0,92	0,95	1	—	—
			При повторной нагрузке	—	—	1,3	1,3	1,3

* Надрез при статической нагрузке $r_n = 0,1$ мм, $\alpha_k = 4,0$.

Надрез при повторных нагрузках $r_n = 0,75$ мм, $\alpha_k = 2,2$.

Физические свойства

Плотность $d = 1830$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	20—400	100—200	200—300	300—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	25,9	26,9	27,9	28,8	27,9	29,8	31,5

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	25	100	200	300	400
λ Вт/м·град	138	134	130	125	125

Удельная теплоемкость

Температура °С	100	200	300	400
c кДж/кг·град	0,92	1,00	1,13	1,21

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть	Горячеломкость	Герметичность
Литье в песчаные формы	630—539	720—790	1,2—1,5	320	27,5—30	Повышенная. Детали с толщиной стенки 3 мм выдерживают гидростатическое давление > 150 ат и пневмодавление > 100 ат

Примечание. Механические свойства отливок по всему сечению однородные, близкие к свойствам отдельно отлитых образцов.

Сплав рекомендуется для отливки в песчаные формы, кокиль, гипсовые формы и по выплавляемым моделям.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Старение из литого состояния (T1)	300±5	2—6	Воздух

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева перед сваркой °C	Предел прочности при 20°C		Коэффициент прочности сварного соединения $\sigma_{св}^{20}$ / $\sigma_{в}^{20}$	Характеристика свариваемости
			сварного соединения	основного материала		
			кгс/мм ²			
Аргондуговая сварка	Прессованная проволока марки Св 122	Подогрев в печи до 300±10°C с последующим местным подогревом участка отливки в зоне заварки до 400—440°C. Суммарное время местного нагрева в интервале температур 300—440° не должно превышать 15 мин. Заварку дефектов производить в интервале температур 400—440°C	19,5	21	0,85—1	Удовлетворительная

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Нагруженные детали, работающие длительно при температурах до 200°C, кратковременно до 350°C; детали высокой герметичности.

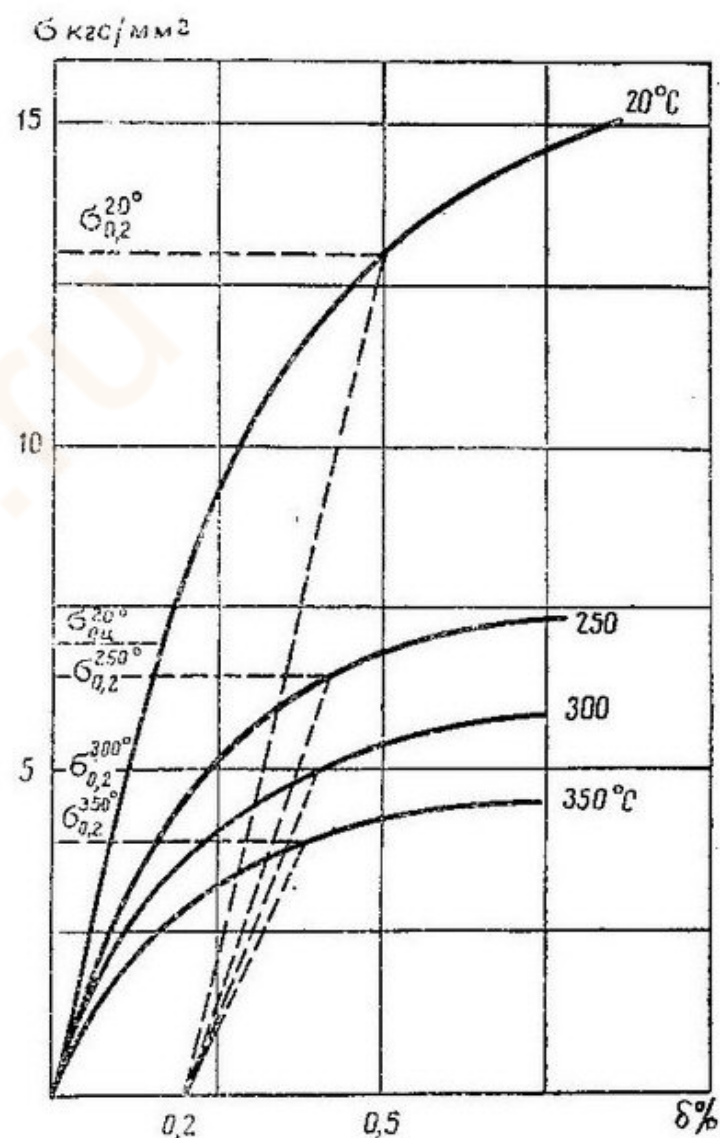


Рис. 1. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава МЛ15-Т1 при комнатной и высоких температурах.

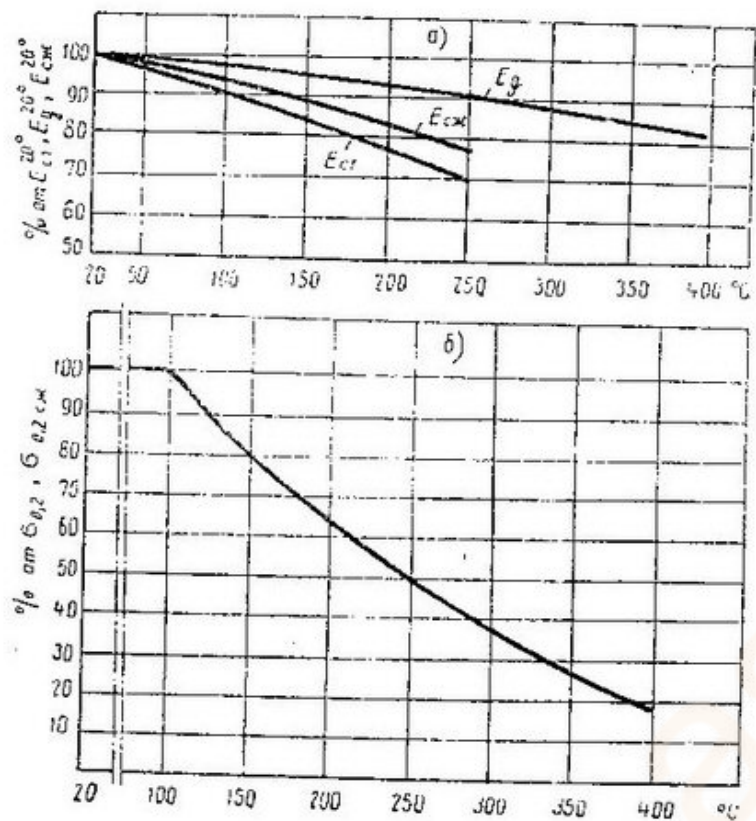


Рис. 2. Механические свойства сплава МЛ15-Т1 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре. Отдельно отлитые в землю образцы диаметром 12 мм):

а — модуль упругости; б — предел текучести при растяжении и сжатии.

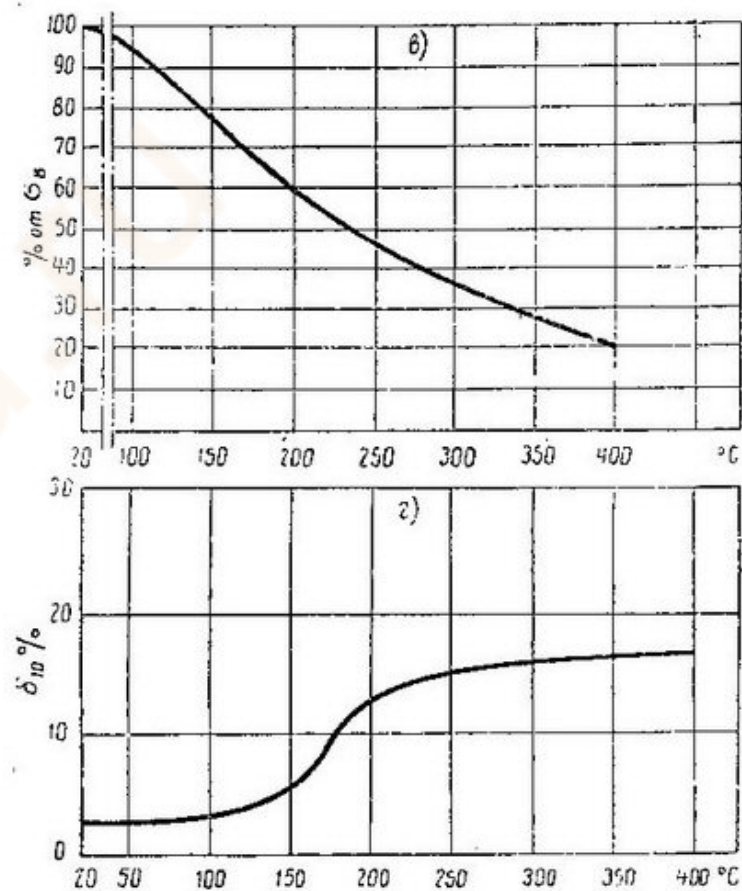


Рис. 2. Механические свойства сплава МЛ15-Т1 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре. Отдельно отлитые в землю образцы диаметром 12 мм):

а — предел прочности при растяжении; з — удлинение при комнатной и высоких температурах.

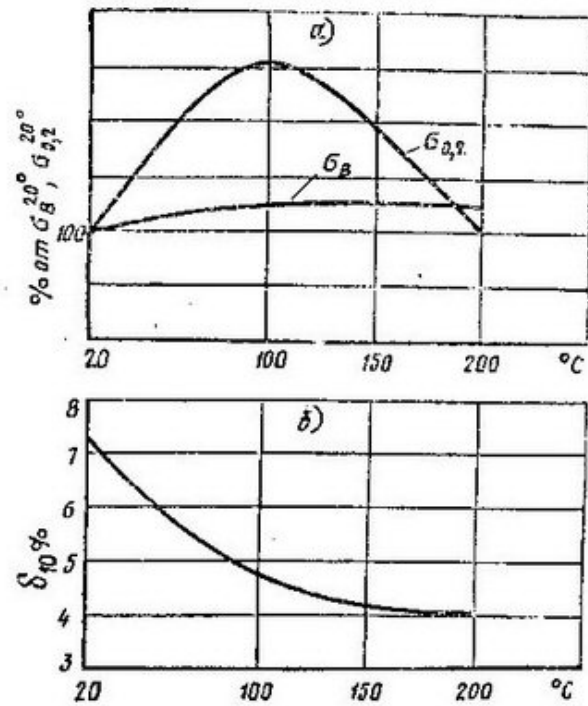


Рис. 3. Механические свойства сплава МЛ15-Т1 после нагрева в течение 1000 час при 100—200°C (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре. Отлитые в землю образцы диаметром 12 мм):

а — $\sigma_{0.2}$ и σ_B ; б — удлинение при комнатной и высоких температурах.

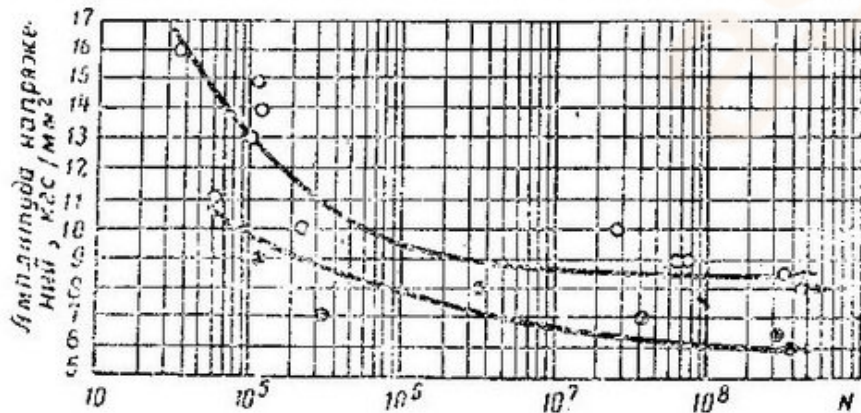


Рис. 4. Кривые выносливости при консольном изгибе сплава МЛ15-Т1 при 20°C (—○—) и 100°C (—△—). Образцы, отлитые в землю, диаметром 10 мм).

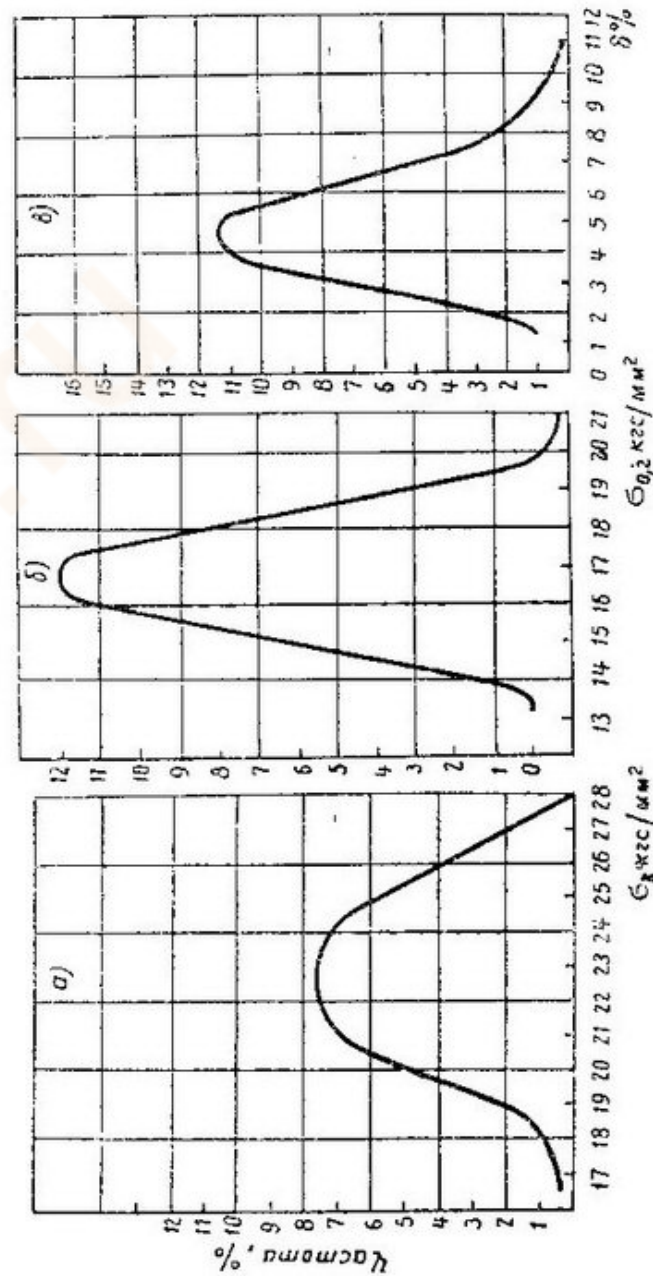


Рис. 5. Кривые нормального распределения механических свойств сплава МЛ15-Т1 при 20°C. Образцы, парезанные из отливок (литые в землю и кокиль). Испытано 1200 образцов. По данным завода.

а — предел прочности; б — предел текучести; в — удлинение.

Механические свойства при низких температурах

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	Темпера- тура испытания °С	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²
				кгс/мм ²		%		
Образцы, от- дельно отли- тые, диамет- ром 12 мм	3	Закален- ные в во- де или мас- ле и соста- ренные (Т61)	-70	22	35	2	4	0,25
			-196	24	36	1,5	2,5	—

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	σ_{100}	$\sigma_{0,2/100}$	σ_{-1}^*	σ_{-1}^{***}	Сопrotивление повтор- ным статическим нагрузкам***		цикл N
								σ_{\max} кгс/мм ²	σ_b	
Образцы, от- дельно отли- тые	3	Закаленные в воде или масле и соста- ренные (Т61)	20	—	—	9	7	0,7	21	2000
			150	10,0	7,5	7	4,5	—	—	—
			200	5,0	2,8	—	—	—	—	—

* Предел выносливости (σ_{-1}) определяется при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ цик-
лов.

** Надрез $r_n = 0,75$ мм; $\alpha_k = 2,2$.

*** Образцы с надрезом $\alpha_k = 2,2$; $\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = -0,1$.

Чувствительность к надрезу *

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Характер нагружения	Температура испытания, °C				
				-196	-70	20	100	150
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Закаленные в воде или масле и состаренные (Т61)	При статической нагрузке $\sigma_{\text{ст}}^{\text{н}}$	0,85	0,92	1,12	—	—
			При повторной нагрузке $\sigma_{\text{п-1}}^{\text{н}}$	—	—	1,3	—	1,6

* Надрез при статической нагрузке $r_{\text{н}}=0,1$ мм, $\alpha_{\text{к}}=4,0$.
Надрез при повторных нагрузках $r_{\text{н}}=0,75$ мм, $\alpha_{\text{к}}=2,2$.

Физические свойства

Плотность $d=1890$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400	100—200	200—300	300—400
$\alpha \cdot 10^6$ /град	27,6	27,9	28,3	—	28,3	29,2	—

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300
λ , Вт/м·град	126	128	130	121

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300
c , кДж/кг·град	0,921	1,05	1,17

Удельное электросопротивление при 20°C

$\rho \cdot 10^6 = 5,41$ ом·см.

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью, но более низкой, чем сплав МЛ5.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации °C	Температура литья °C	Линейная усадка %	Жидкотекучесть мм	Горячеломкость мм	Герметичность ат

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °C	Выдержка час, мин	Охлаждающая среда
Закалка в воде или масле и старение (Т61)	440 ⁻¹⁰ +400 ⁺¹⁰ (двухступенчатый нагрев)	(4—8) час + (15—30) мин	Вода (80—90°C) или масло (20—30°C)
	150 ⁺¹⁰	24—50 час	Воздух
Закалка на воздухе и старение (Т6)	440 ⁻¹⁰	4—8 час	Обдув сжатым воздухом
	150 ⁺¹⁰	24—50 час	Воздух

Примечание. Режим термической обработки (Т6) допускается при условии соответствия механических свойств АМТУ 554-69.

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева при сварке °С	Предел прочности при 20°С		Коэффициент прочности сварного соединения $\sigma_{н св}$ σ_n	Характеристика свариваемости
			сварного соединения	основного материала		
			кгс/мм ²			
Аргонно-дуговая сварка	Прессованная проволока из сплава ВМЛ5	400—440	24,3	29,4	0,8—1	Удовлетворительная

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Нагруженные детали, работающие длительно при температурах до 150°С, кратковременно — до 200°С.

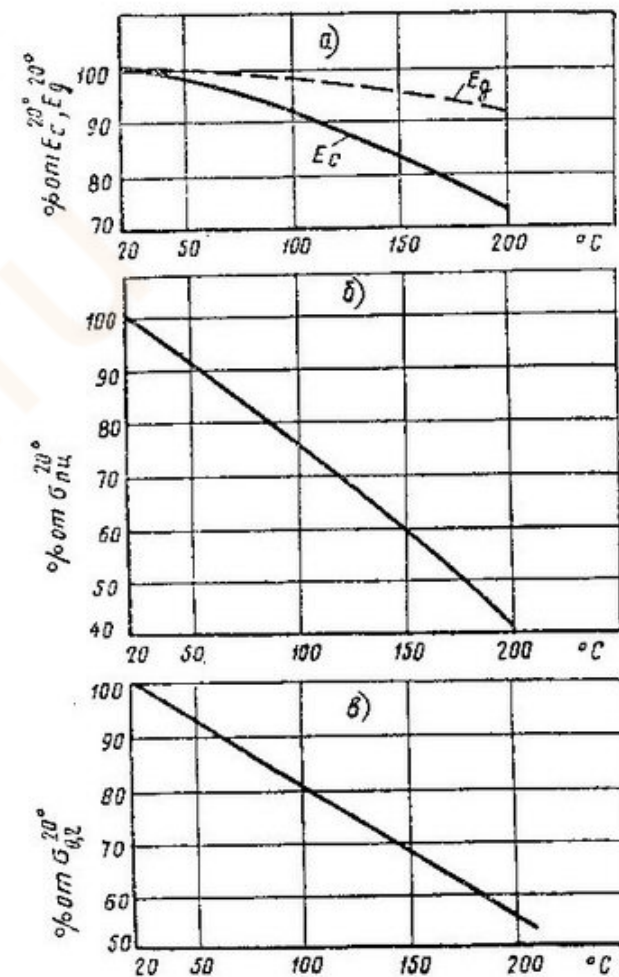


Рис. 1. Механические свойства сплава ВМЛ5 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре. Отдельно отлитые образцы в землю):

а — модуль упругости; б — предел пропорциональности; в — предел текучести.

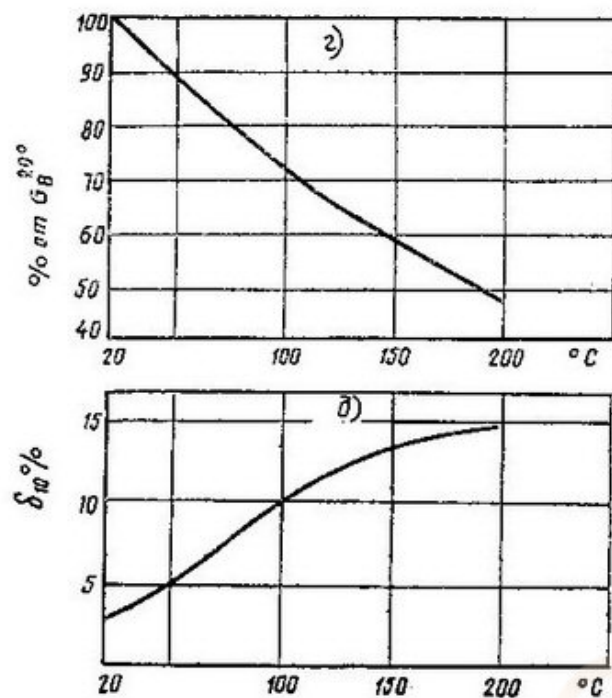


Рис. 1. Механические свойства сплава ВМЛ15 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре. Отдельно отлитые образцы в землю):
 σ — предел прочности; δ — удлинение.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ										ВМЛ6		
Химический состав в %												
Zn	Ag	Zr	Cd	Mg	Al	Si	Fe	Ni	Cu	Be	Прочие примеси	Сумма примесей
не более												
7,0—8,0	1,0—1,6	0,7—1,1	0,4—1,0	Основа	0,02	0,03	0,01	0,005	0,03	0,001	0,12	0,20
Механические свойства по ТУ (не менее)												
Вид полуфабриката	ТУ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5 %	$\sigma_{0,2сж}$ кгс/мм ²					
				кгс/мм ²								
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	АМТУ 554-69	З	Закаленные на воздухе и состаренные (Т6)	24	33	5	—					
			Закаленные в воде и состаренные (Т61)	25	34	6	24					

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E		G	μ	σ _{0,2}		σ _в	δ ₁₀	ψ	E _{ск}	E _{пл.ск.}	σ _{0,2 ск.}	σ _{0,3}	τ _{0,3}	σ _н	σ _н ¹⁻⁰	
			кгс/мм ²	кгс/мм ²			кгс/мм ²	кгс/мм ²											
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	З	Закаленные и состаренные (Т6)	4300	1600	0,34	17	25	34	7	12	-	-	-	-	-	-	-	0,26	9,0
			4300	1600	0,34	17	26	35	8	10	4100	-	-	-	-	-	-	230	289,0
Образцы диаметром 6 мм, вырезанные из средних и крупных отливок сложной конфигурации	З; К	Закаленные и состаренные (Т6)	-	-	-	-	24	33	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	25	34	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Предел выносливости (σ_н) определен при знакопеременном изгибе вращающегося гладкого образца на базе 2 · 10⁷ циклов.

Механические свойства при температуре -70°C

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	σ _{0,2}	σ _в	δ ₁₀ %	σ _н кгс/мм ²
			кгс/мм ²			
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 10 мм	З	Закаленные и состаренные (Т6)	26,0	33,0	-	0,25
		Закаленные в воде и состаренные (Т61)	26,0	35,0	-	0,25

Пределы длительной прочности и ползучести

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °C	σ ₁₀	σ ₁₀₀	σ _{0,2;10}	σ _{0,2;100}
				кгс/мм ²			
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 10 мм	З	Закаленные в воде и состаренные (Т61)	150	-	12	-	5
			200	9	-	3,5	-

Чувствительность к надрезу*

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Характер нагружения	Температура испытания °C	
				-70	20
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 10 мм	З	Закаленные на воздухе или в воде и состаренные (Т6 и Т61)	При статической нагрузке σ_n / σ_n^r	1,08	1,12

* Надрез при статической нагрузке r_н = 0,1 мм, угол 60°.

Физические свойства

Плотность $d=1930$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400	100—200	200—300	300—400
$\alpha \cdot 10^6$ /град	27,1	27,6	28,0	28,8	28,0	28,9	31,3

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300
λ Вт/м·град	167	146	125	121

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300
c кДж/кг·град	1,09	1,17	1,23

Коррозионная стойкость

Сплав обладает повышенной коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации		Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горячеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
	°C					
З; К; О	620—415	720—800	1,2—1,4	315	27,5—30	Повышенная по сравнению со сплавом МЛ6

Примечание. Механические свойства отливок по всему сечению однородные, близкие к свойствам отдельно отлитых образцов.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки материала	Температура нагрева, °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Закаленный на воздухе и состаренный (Т6)	Закалка: 430 ± 5	8	Сжатый воздух
	Старение: 130 ± 5	48	Воздух
Закаленный в воде и состаренный (Т61)	Закалка: 430 ± 5	8	Горячая вода ($90 \pm 10^\circ\text{C}$)
	Старение: 130 ± 5	48	Воздух

Примечание. При скорости подъема температуры печи при нагреве под закалку, превышающей 200°C в час, или при загрузке деталей и нагретую печь рекомендуется применять двухступенчатый нагрев:I ступень: нагрев до $400 \pm 5^\circ\text{C}$, выдержка 2 час;II ступень: нагрев до $430 \pm 5^\circ\text{C}$, выдержка 8 час.

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева в печи °C	Предел прочности при 20°C		Коэффициент прочности сварного соединения $\frac{\sigma_{св}}{\sigma_0}$	Характеристика свариваемости
			основного материала	сварного соединения		
			кгс/мм ²			
Аргонодуговая сварка	Прессованная проволока из сплава ВМЛ6	400—420	33	31	0,90—0,95	Удовлетворительная

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Сплав ВМЛ6 рекомендуется для изготовления высоконагруженных литых деталей летательных аппаратов, длительно работающих при температурах до 150°C и кратковременно — до 200°C . Сплав может применяться взамен поковок и штамповок из алюминиевых сплавов, а также вместо отливок из высокопрочных алюминиевых сплавов.

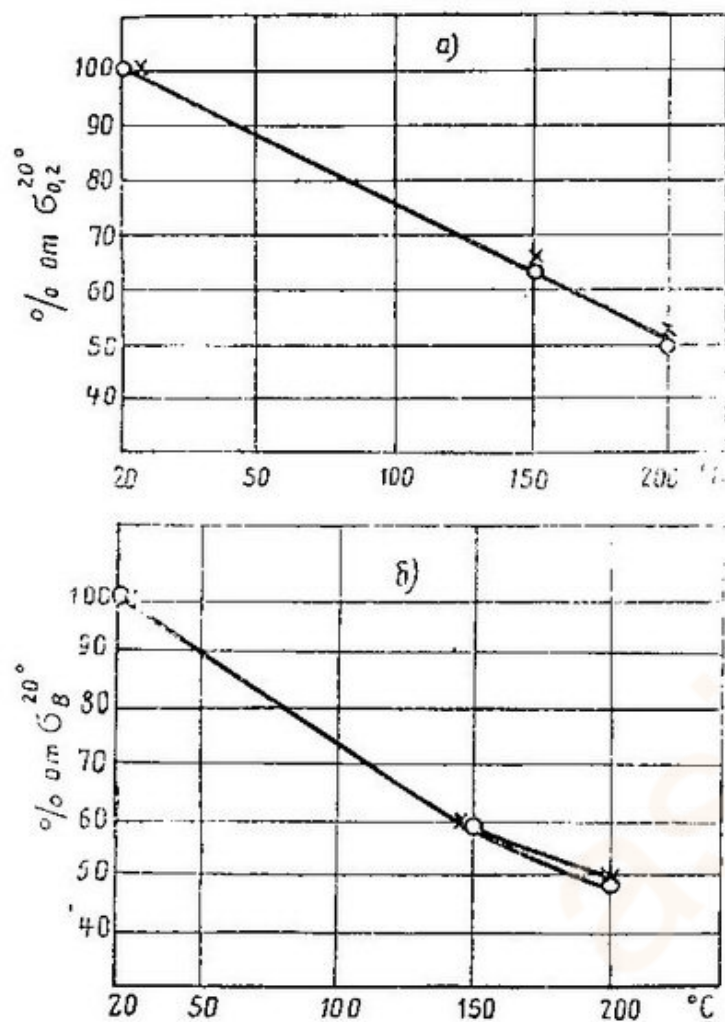


Рис. 1. Механические свойства сплава ВМ16 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре. Отдельно отлитые в земную образцы диаметром 12 мм):

○ — Т6; × — Т61.

а — предел текучести; б — предел прочности.

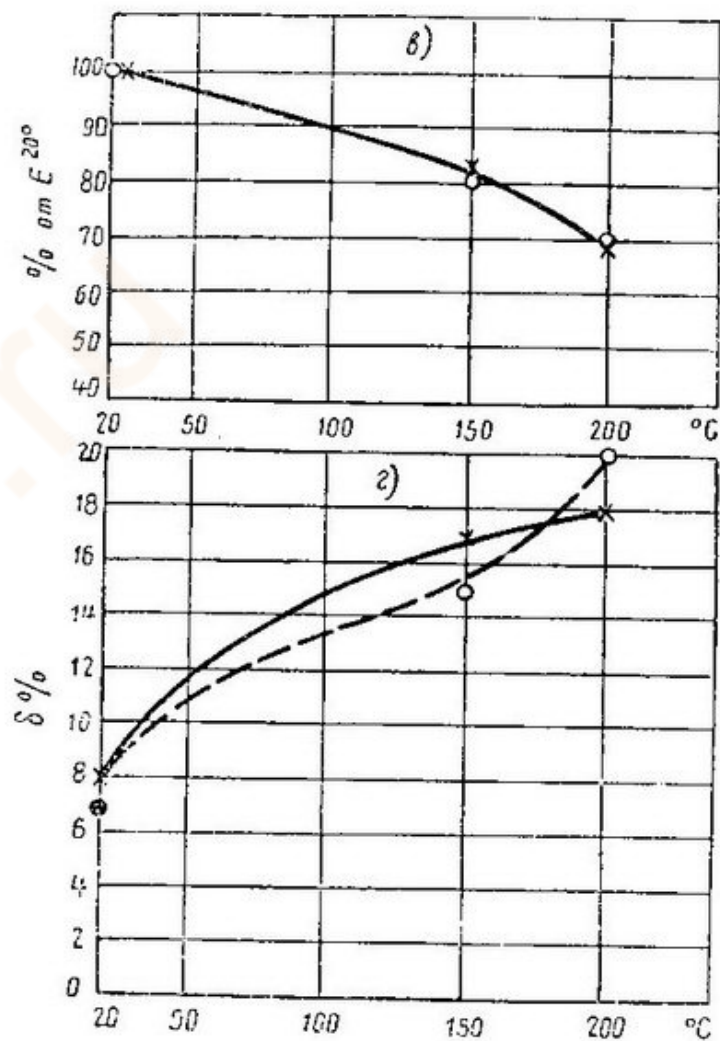


Рис. 1. Механические свойства сплава ВМ16 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре. Отдельно отлитые в земную образцы диаметром 12 мм):

○ — Т6; × — Т61.

в — модуль упругости при растяжении; г — начальные абсолютные значения удлинения в зависимости от температуры.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ КОРРОЗИОННОСТОЙКИЙ СПЛАВ	ВМЛ9
--	------

Механические свойства и коррозионная стойкость
(Паспортные данные)

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5 %	К. С. * см ³ /см ²
			кгс/мм ²			
Образцы, от- дельно отли- тые, диамет- ром 12 мм	З	Литые	—	—	—	2,0
		Закаленные (Т4)	9	21	5	2,5
		Закаленные и соста- решные (Т6)	12	21	1	3,0

* К. С. — коррозионная стойкость, определенная по объему водорода, выделенного при погружении образца в 3%-ный раствор NaCl за 48 час.

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	τ , кгс/мм ²				d_H кгс-м/см ²
								$\sigma_{пл}$ сж	$\sigma_{0,2}$ сж	$\tau_{0,3}$	τ_b	
Образцы, от- дельно отли- тые, диаметром 12 мм	З	Закаленные (Т4)	4200	3,0	9	23	8	6	16	15	0,8	
		Закаленные и состаренные (Т6)	4200	4,0	12	23	12	9	16	15	0,3	

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5 %	a_n кгс·м/см ²
				кгс/мм ²			
Отдельно отлитые образцы диаметром 12 мм	3	Закаленные (Т4)	-70	13	25	5,5	0,60
			-196	16,5	20	3,0	0,45
		Закаленные и состаренные (Т6)	-70	14,5	25	2,5	0,20
			-196	16,0	18,5	1,5	0,15

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °С	σ_{100}	$\sigma_{0,2/100}$	σ_{-1}^*	$\sigma_{-1}^{H^{**}}$	Сопротивление повторным статическим нагрузкам ***		N циклы	
								$\frac{\sigma}{\sigma_B}$	$\frac{\sigma}{\sigma_H}$		
Образцы, отдельно отлитые	3	Закаленные (Т4)	20	—	—	9	—	0,7	18,2	1200—1600	
			150	10	3	4	—	—	—	—	—
			200	5	2	—	—	—	—	—	—
			20	—	—	9	6	0,7	18,2	970—1200	
		Закаленные и состаренные (Т6)	150	8,5	3	3	—	—	—	—	—
			200	4,5	2,5	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости (σ_{-1}) определяется при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

** $r_n = 0,75$ мм; $\alpha_k = 2,2$.

*** Образцы с надрезом $\alpha_k = 2,2$; $\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \approx 0,1$.

Чувствительность к надрезу*

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Характер нагружения	Температура испытания, °C		
				-196	-70	20
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	З	Закаленные (Т4)	При статической нагрузке $\sigma_B^H / \sigma_B^Г$	0,97	1	1
			При повторной нагрузке $\sigma_{-1}^Г / \sigma_{-1}^H$	—	—	1,3
		Закаленные и состаренные (Т6)	При статической нагрузке $\sigma_B^H / \sigma_B^Г$	1	0,96	0,96
			При повторной нагрузке $\sigma_{-1}^Г / \sigma_{-1}^H$	—	—	1,0

* Надрез при статической нагрузке $r_H = 0,1$ мм, $\alpha_K = 4,0$.
Надрез при повторных нагрузках $r_H = 0,75$ мм, $\alpha_K = 2,2$.

Физические свойства

Плотность $d = 1850$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	Температура °C						
	20—100	20—200	20—300	20—400	100—200	200—300	300—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град							
Закаленное состояние (Т4)	27,6	28,5	29,4	30,2	29,4	31,1	32,8
Закаленное и состаренное состояние (Т6)	26,7	27,6	28,2	29,1	28,5	29,5	31,7

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	Температура °C				
	25	100	200	300	400
λ Вт/м·град					
Закаленное состояние (Т4)	62,8	67,0	75,4	81,6	83,7
Закаленное и состаренное состояние (Т6)	71,2	75,4	79,5	83,7	79,5

Удельная теплоемкость

Температура °C	Температура °C			
	100	200	300	400
c кДж/кг·град				
Закаленное состояние (Т4)	1,1	1,12	1,20	1,26
Закаленное и состаренное состояние (Т6)	1,14	1,18	1,24	1,30

Удельное электросопротивление

Температура °C	Температура °C
$\rho \cdot 10^6$ Ом·см	
Закаленное состояние (Т4)	15,5
Закаленное и состаренное состояние (Т6)	12,9

Коррозионная стойкость

Сплав обладает повышенной коррозионной стойкостью. Коррозионная стойкость выше, чем у сплава МЛ5п. ч.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горячеломкость (по ширине кольца)
	°C				
Литье в песчаные формы	590—394	780—800	1,1—1,3	290	27,5—30

Примечание. Приготовление сплава производится по специальной технологии.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Закалка (Т4)	400±5 (закалка)	24	Воздух или обдув сжатым воздухом
Закалка и старение (Т6)	400±5 (закалка)	24	Воздух
	200±5 (старение)	8	

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева °C	Состояние материала	Предел прочности при 20°C		Коэффициент прочности сварного соединения	Характеристика свариваемости
				сварного соединения	основного материала		
				кгс/мм ²			
Аргондуговая	Прессованная проволока из сплава ВМЛ19	300—350	Закаленный (Т4)	18,5	22	0,85	Удовлетворительная
			Закаленный и состаренный (Т6)	19,5	22,5	0,85	

Обрабатываемость резанием отличная.

Применение

Нагруженные детали, работающие длительно при температурах до 150°C, кратковременно — до 200°C.

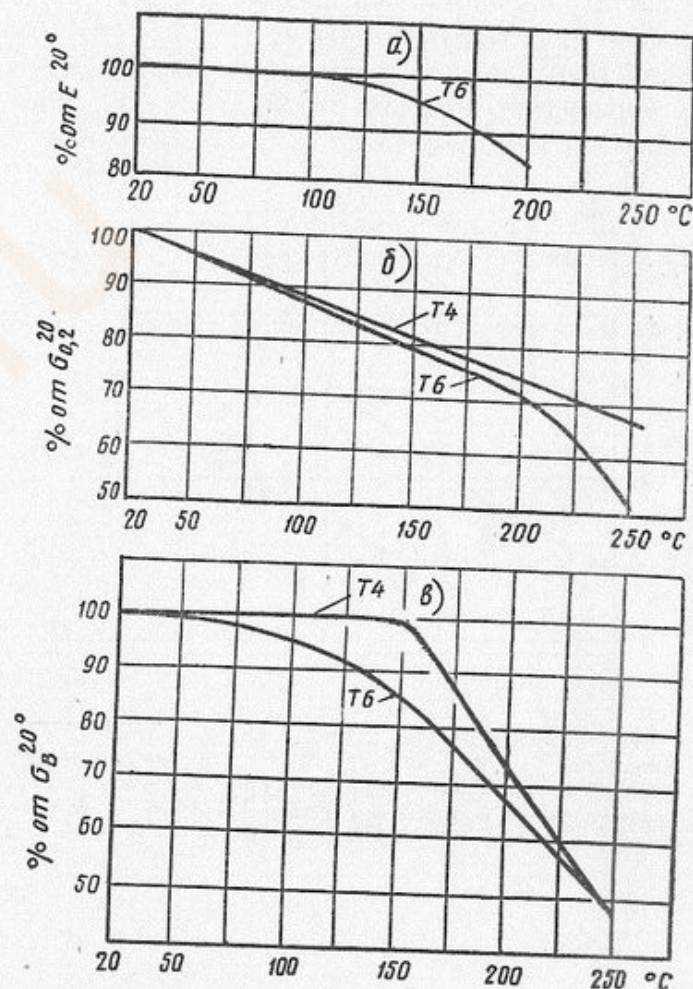


Рис. 1. Механические свойства сплава ВМЛ19 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):

а — модуль упругости; б — предел текучести; в — предел прочности.

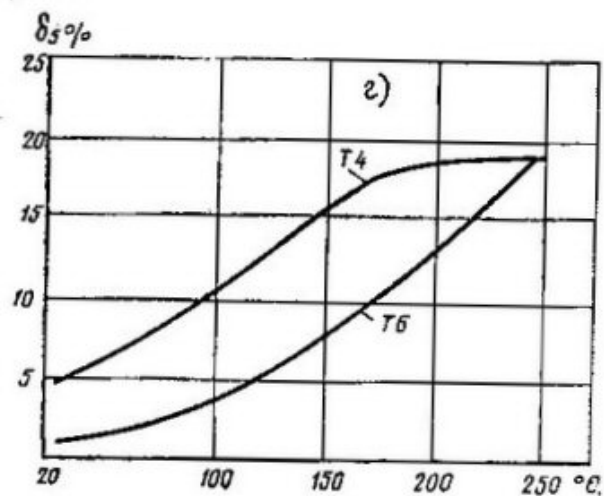


Рис. 1. Механические свойства сплава ВМЛ9 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре):

z — удлинение в закаленном (T4) и закаленном и состаренном (T6) состояниях.

СПЛАВЫ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ

К этой группе относится сплав МЛ7-1 системы Mg—Al—Zn с минимальным пределом прочности при комнатной температуре 16 кгс/мм^2 . Термической обработкой он не упрочняется.

Сплав МЛ7-1 отличается повышенным сопротивлением ползучести при $150\text{—}200^\circ\text{C}$ по сравнению со сплавом МЛ5 (в 2—2,5 раза). Он обладает удовлетворительными литейными свойствами; плотность и герметичность отливок из этого сплава несколько выше плотности и герметичности отливок из сплава МЛ5.

Сплав МЛ7-1 имеет удовлетворительную коррозионную стойкость, сваривается аргоно-дуговой и кислородно-ацетиленовой сваркой.

Применяется для деталей корпуса, нагреваемых во время эксплуатации до $150\text{—}200^\circ\text{C}$.

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ					МЛ7-1			
-------------------------	--	--	--	--	-------	--	--	--

Химический состав в %

Al	Ca	Mn	Zn	Mg	Fe	Si	Cu	Сумма примесей
					не более			
5,0—6,5	0,2—0,5	0,3—0,6	0,3—0,7	Основа	0,1	0,25	0,1	0,45

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²	δ_5 %
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	АМТУ 554-69	3	Без термической обработки	16,0	4,0
			Отожженные (Т2) *	16,0	4,0

* Отжиг применяется для снятия внутренних напряжений в деталях сложной конфигурации.

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E	G	μ	$\sigma_{0,2}$	σ_k	δ_{10}	ψ
			кгс/мм ²			кгс/мм ²			
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Без термической обработки и после термической обработки по режиму Т2	4200	1550	0,35	7,0	18,0	6,0	7,0

Механические свойства при низких температурах

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °С	σ_k	δ_{10}	ψ
				кгс/мм ²	%	
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Без термической обработки и после термической обработки по режиму Т2	-70	19,5	5,0	5,5
			-40	19,5	6,5	7,5
			20	19,0	8,0	9,0

Пределы ползучести, длительной прочности и выносливости

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °С	σ_{100}	$\sigma_{0,2/100}$ кгс/мм ²		σ_{-1}^*	
					по остаточной деформации	по общей деформации	образцы с гладкой поверхностью	образцы с надрезом
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Без термической обработки или после термической обработки по режиму Т2	20	—	—	—	5,5	5
			150	9,0	5,5	3,5	—	—
			200	5,5	2,5	2,0	3,5	—

* Предел выносливости при 20°С определяется при консольном изгибе вращающегося образца на базе 2·10⁷ циклов, радиус надреза 0,75 мм, $\alpha_K=2,2$; при 20°С — при знакопеременном изгибе вращающегося образца на базе 2·10⁷ циклов.

Физические свойства

Плотность $d=1760$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °С	20—100	20—200	20—300	100—200	200—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	27,4	27,7	27,8	28,1	28,1

Коэффициент теплопроводности

Температура °С	25	100	200	300
λ вт/м·град	79,7	83,8	88,0	92,1

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горячеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
	°С					
Литье в песчаные формы	640—505	720—800	1,2—1,5	250	32,5—37,5	Выше, чем у сплава МЛ5

Примечание. Сплав обладает удовлетворительными литейными свойствами.

Рекомендуемая термическая обработка

Сплав термической обработкой не упрочняется. Для снятия литейных напряжений детали сложной конфигурации подвергают отжигу при 325°C в течение 5 час (T2). Охлаждающая среда — воздух.

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева в печи °C	Коэффициент прочности сварного соединения	Характеристика свариваемости
Аргонно-дуговая и газовая	Проволока из основного материала или из сплава МЛ15	350—380	0,75	Удовлетворительная

Применение

Детали двигателя, нагревающиеся в процессе эксплуатации до температуры 200°C.

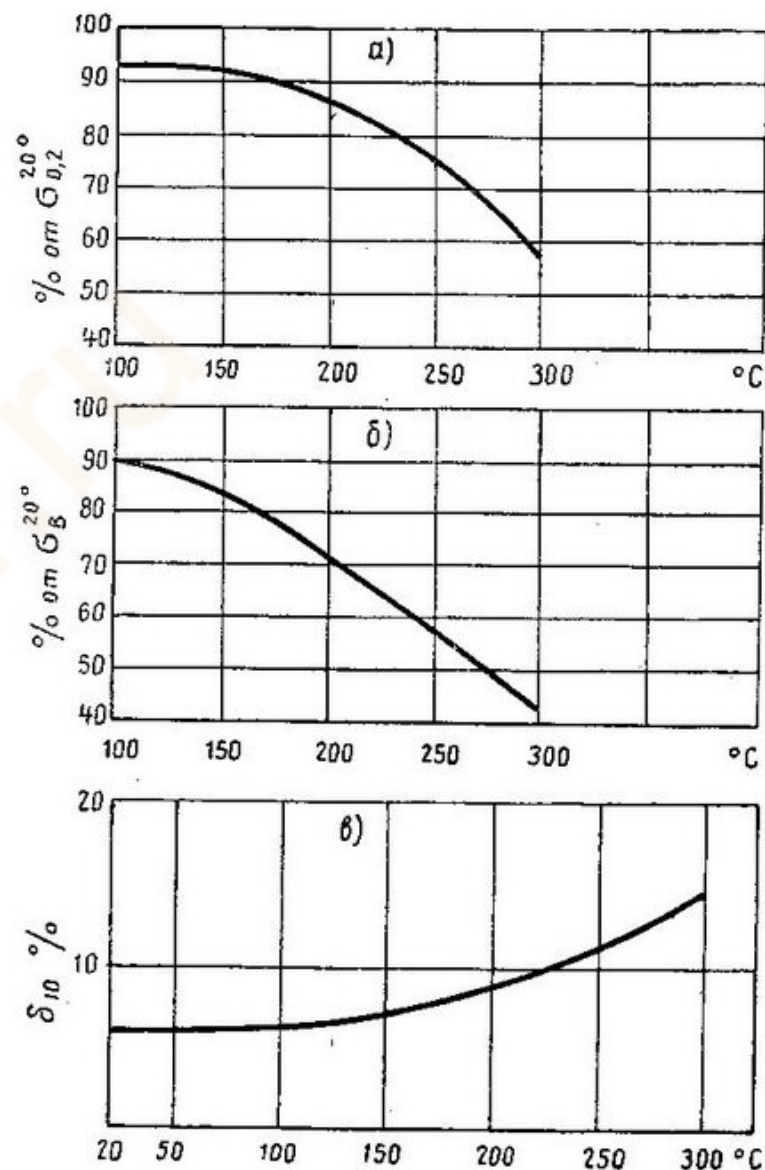


Рис. 1. Механические свойства сплава МЛ1-1 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре; образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм):

а — предел текучести; б — предел прочности; в — изменение абсолютных значений удлинения в зависимости от температуры.

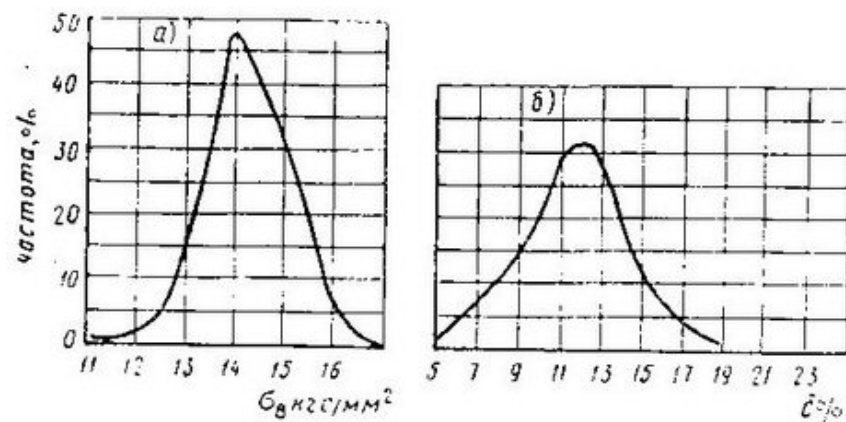


Рис. 2. Кривые нормального распределения механических свойств отдельно отлитых образцов из сплава МЛ7-1 при температуре 170°C. Испытано 2005 образцов. (Данные заводов):

а — предел прочности; б — удлинение.

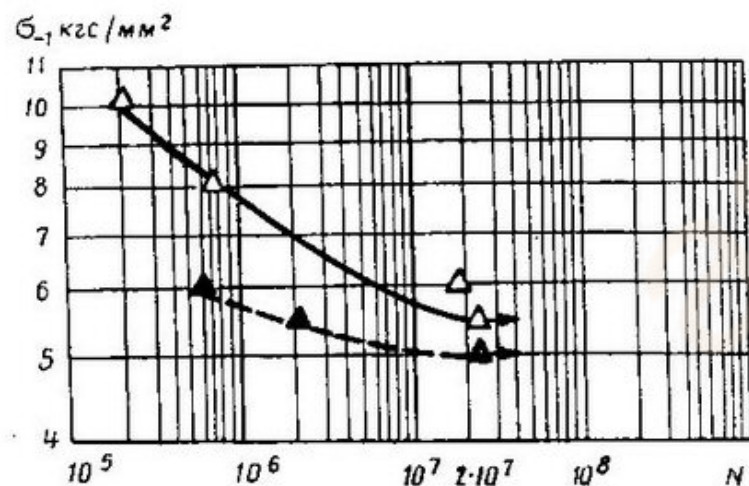


Рис. 3. Кривые выносливости сплава МЛ7-1 при 20°C (образцы, отлитые в землю, диаметром 10 мм):

△ — гладкие образцы; ▲ — образцы с надрезом.

ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ

Сплавы МЛ9, МЛ10, МЛ11 и ВМЛ7 предназначены для длительной эксплуатации при температурах до 250—300°C и кратковременной — при температурах 350—400°C.

При комнатной температуре жаропрочные сплавы обладают относительно высокими механическими свойствами, за исключением сплава МЛ11, заметно уступающего остальным по прочности (рис. 1 и 2).

Сплавы МЛ9, МЛ10 и ВМЛ7 по характеристикам прочности при комнатной температуре находятся на уровне высокопрочных магниевых сплавов МЛ12-Т1 и МЛ15-Т1, а при высоких температурах значительно их превосходят как при кратковременных, так и при длительных испытаниях.

Сравнительные данные по свойствам жаропрочных магниевых сплавов приведены на рис. 1—6.

Литейные жаропрочные магниевые сплавы, как и все сплавы на основе системы Mg—Zr, отличаются от сплава МЛ15 повышенной коррозионной стойкостью (особенно сплав МЛ9). Хорошие литейные свойства дают возможность получать из них сложные крупногабаритные отливки.

Благодаря присутствию циркония, эффективно измельчающему зерно, отливки обладают однородными механическими свойствами, близкими к свойствам отдельно отлитых образцов. Жаропрочные сплавы мало склонны к образованию микропористости и отливках и отличаются высокой герметичностью.

Литые детали из жаропрочных сплавов, особенно из сплава МЛ10, отличаются высокой стабильностью размеров.

Температура заливки деталей из этих сплавов находится в пределах 720—800°C (на 10—20°C выше температуры заливки сплава МЛ5).

Все жаропрочные сплавы хорошо свариваются аргоно-дуговой сваркой. В качестве присадочного материала используют проволоку из основного сплава. Механические свойства образцов, вырезанных поперек сварного шва, как правило, составляют 80—85% от свойств основного материала.

Отливки из сплавов МЛ9, МЛ10 и ВМЛ7 поставляются в термически обработанном состоянии по режиму Т6 (закалка + старение). Отливки из сплава МЛ11 поставляются в термически обработанном состоянии по режимам Т2 (отжиг после литья), Т4 (закалка), Т6 (закалка + старение). Жаропрочные магниевые сплавы не содержат в своем составе радиоактивных и токсичных добавок.

Жаропрочные сплавы применяются для отливки деталей самолетов, двигателей, приборов и других конструкций.

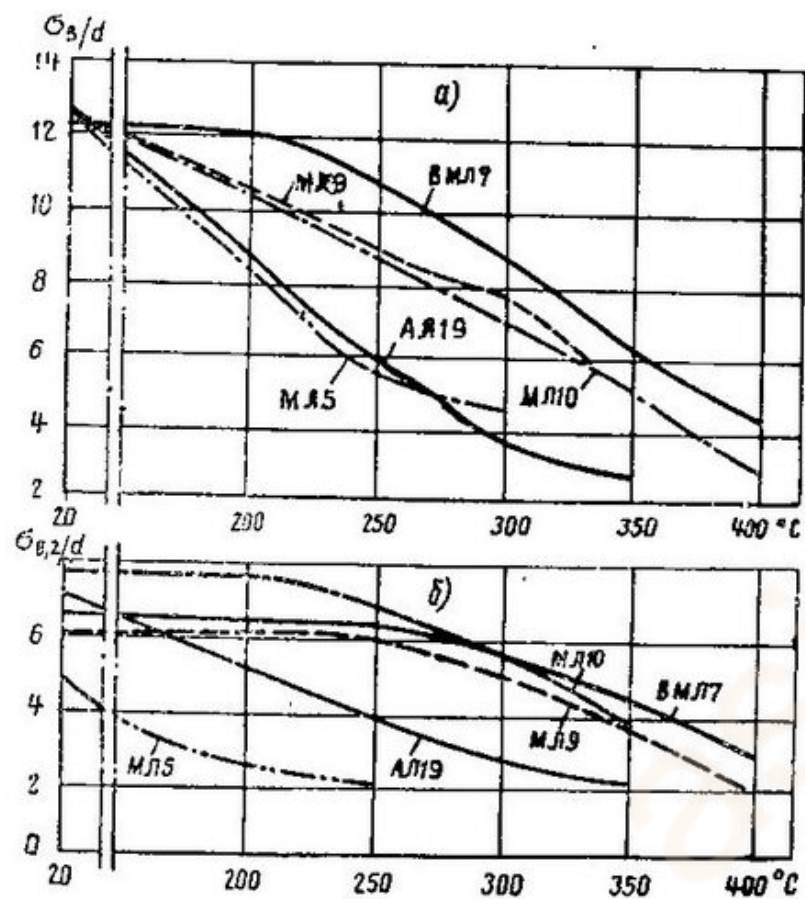


Рис. 1. Удельная прочность магниевых литейных жаропрочных сплавов МЛ9, МЛ10, ВМЛ7 в сравнении с удельной прочностью алюминиевого сплава АЛ19:

а — удельная прочность при различных температурах; б — удельный предел текучести при различных температурах.

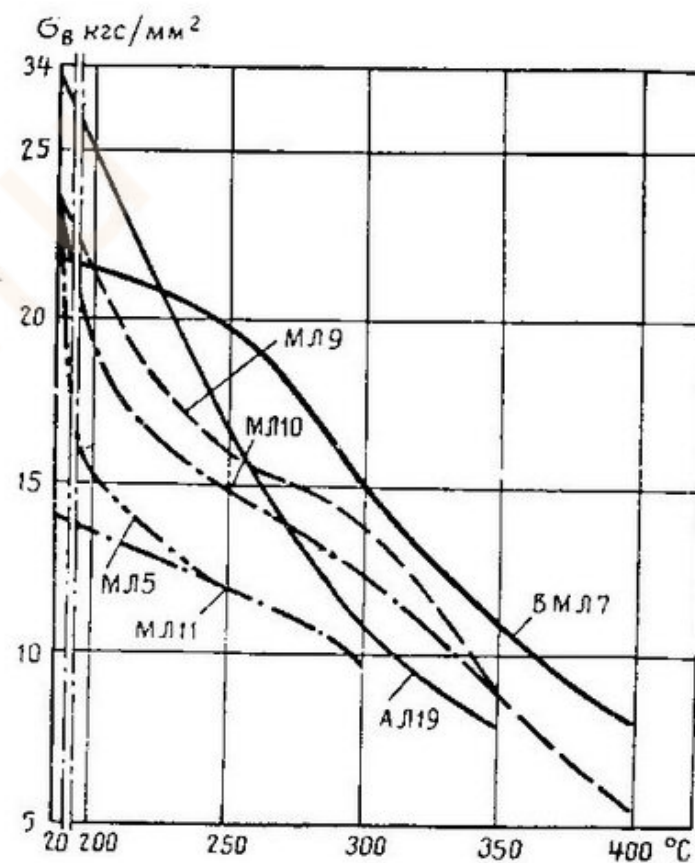


Рис. 2. Предел прочности магниевых жаропрочных сплавов МЛ9, МЛ10, МЛ11, ВМЛ7 при различных температурах (минимальные значения).

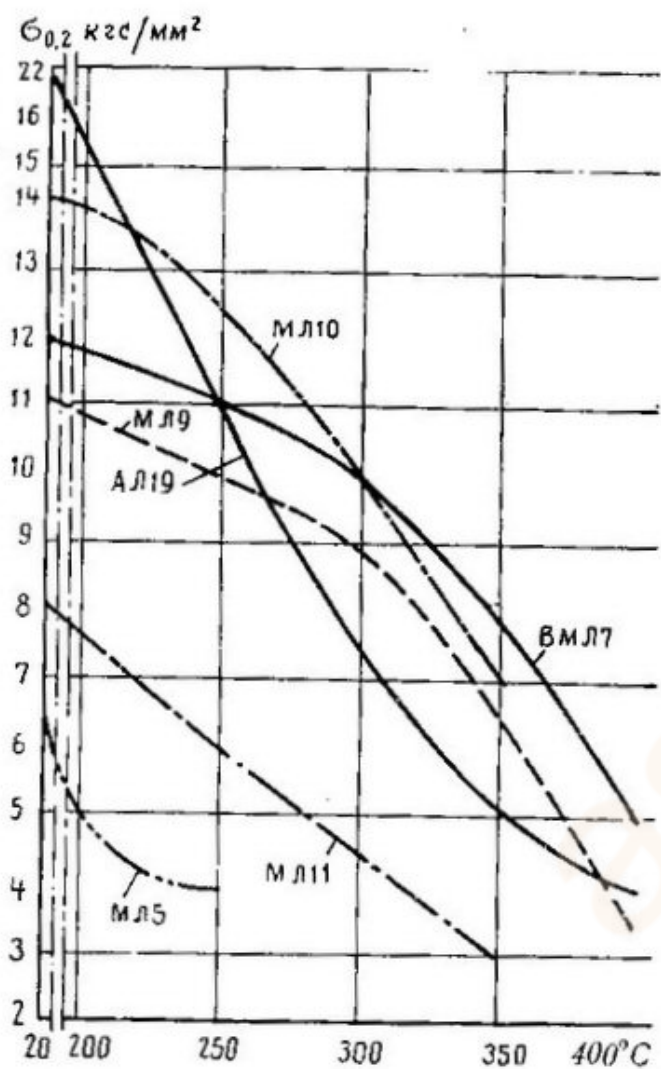


Рис. 3. Предел текучести магниевых литейных жаропрочных сплавов МЛ9, МЛ10, МЛ11, ВМЛ7 в сравнении с пределом текучести жаропрочного алюминиевого сплава АЛ19 при различных температурах (минимальные значения).

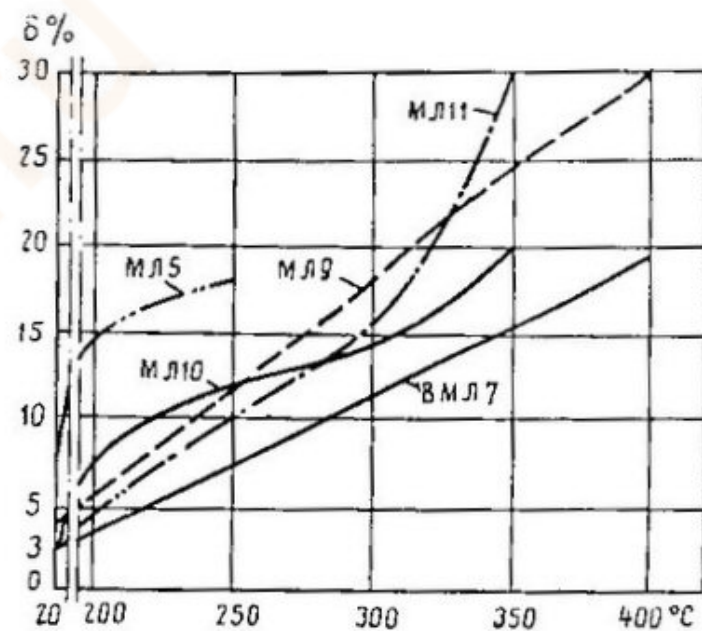


Рис. 4. Относительное удлинение магниевых литейных жаропрочных сплавов МЛ9, МЛ10, МЛ11, ВМЛ7 при различных температурах.

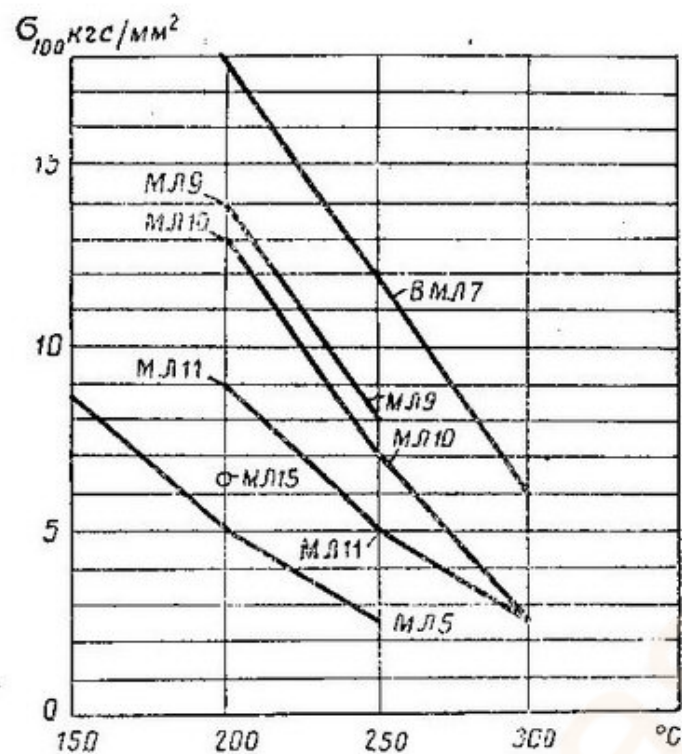


Рис. 5. Длительная прочность магниевых литейных жаропрочных сплавов за 100 час.

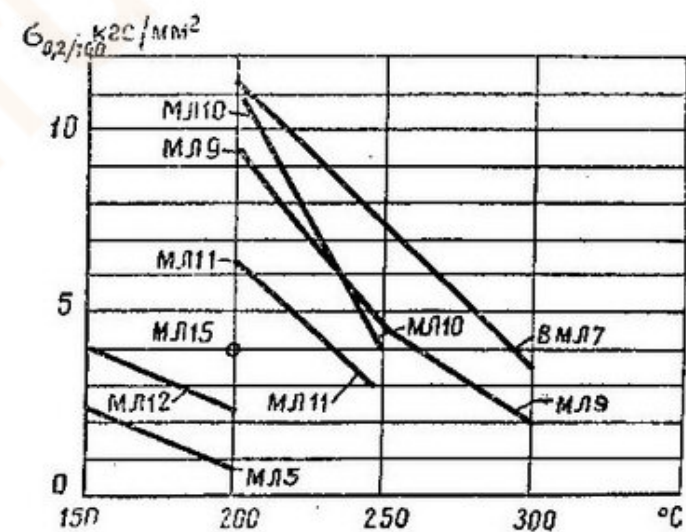


Рис. 6. Предел ползучести магниевых литейных жаропрочных сплавов (по остаточной деформации 0,2%) за 100 час.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ	МЛ9
-------------------	-----

Химический состав в %

Nd	In	Zr	Mg	Fe	Si	Cu	Ni	Al	Zn	Be	Сумма примесей
				не более							
1,9—2,6	0,2—0,8	0,4—1,0	Основа	0,01	0,03	0,03	0,005	0,02	0,15	0,001	0,35

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5
				кгс/мм ²		
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	ГОСТ 2856—68	З	Закаленные и состаренные (Т6)	11	23	4

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E		μ	$E_{сж}$	ψ	$\sigma_{пл сж}$	$\sigma_{пл сж} \cdot 0,2$	$\tau_{0,2}$	$\tau_{ср}$	σ_{D1}^* кгс/мм ²	σ_{D1}^* кгс/мм ²
			E_d	G									
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	З	Закаленные и состаренные (Т6)	1300	4550	1600	0,34	6	12	23	6	8	170,65	6
			То же	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Образцы, диаметром 6 мм, вырезанные из средних и крупных деталей сложной конфигурации	З	То же	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости (σ_{D1}) определялся при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

** δ_5

Механические свойства при низких температурах *

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °С	σ_a кгс/мм ²	δ_5 %	a_n кгс·м/см ²
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 10 мм	3	Закаленные и состаренные (Т6)	-196	32	4,5	0,7
			-183	32	4,5	0,7
			20	25	7,0	0,7
Образцы, вырезанные из деталей, диаметром 6 мм			-196	32	4,5	0,65
			20	24,5	6,0	0,7

* По данным завода.

Прочность после длительных нагревов при температурах испытания

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура нагрева и испытания °С	Выдержка 30 мин		Выдержка 1000 час	
				σ_n кгс/мм ²	δ_5 %	σ_n кгс/мм ²	δ_5 %
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 10 мм	3	Закаленные и состаренные (Т6)	200	19,5	13,0	16,5	15,0
			250	19,0	17,0	11,5	20,0

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °С	σ_1	σ_5	σ_{10}	σ_{100}	σ_{1000}	по общей деформации				по остаточной деформации					
									$\sigma_{0,5}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}$				
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Закаленные и состаренные (Т6)	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			200	—	—	13,5	11,5	—	—	—	—	—	—	—	—	9,5	7,5	
			250	16	14	13	8	5,0	—	—	—	—	—	—	—	4,5	—	
			300	8,5	7,5	—	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,8	—
			350	5,0	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости (σ_{-1}) определялся при консольном изгибе вращающегося образца на базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

Чувствительность к надрезу при статическом нагружении ($\alpha_k = 4,0$)

Характер нагружения	Температура испытания °C	
	20	300
$\frac{\sigma_{\text{н}}}{\sigma_{\text{к}}}$	1,0	1,0

Физические свойства

Плотность $d = 1760 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	Температура °C						
	20—100	20—200	20—300	20—400	100—200	200—300	300—400
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	27,7	28,0	28,3	28,9	28,3	29,0	29,4

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	Температура °C				
	25	100	200	300	400
$\lambda \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$	117	117	117	122	122

Удельное электросопротивление при 20°C
 $\rho \cdot 10^8 = 7,26 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горячеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
	°C			мм		
Литье в песчаные формы	650—558	720—800	1,2—1,4	250	25	Повышенная: крупногабаритные детали с толщиной стенки 6 мм выдерживают пневмодавление >150 ат
Литье в кокиль		680—780	1,2—1,4	—	—	

Примечание. Сплав обладает хорошими литейными свойствами. Отливки имеют высокие и однородные по сечению механические свойства.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки (Т6)	Температура нагрева °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Закалка	540±5	8—12	Обдувка сжатым воздухом
Старение	200±5	6—12	Воздух

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева в печи °C	Коэффициент прочности сварного соединения $\frac{\sigma_{\text{св}}^{20^\circ}}{\sigma_{\text{в}}^{20^\circ}}$	Характеристика свариваемости
Аргонно-дуговая	Прессованная проволока из сплава МЛ9	400—440	0,85	Удовлетворительная при аргонно-дуговой сварке, аналогична сплаву МЛ5

Обрабатываемость резанием отличная.

Применение

Детали, работающие длительно при температурах до 250—300°C и коротковременно до 350—400°C.

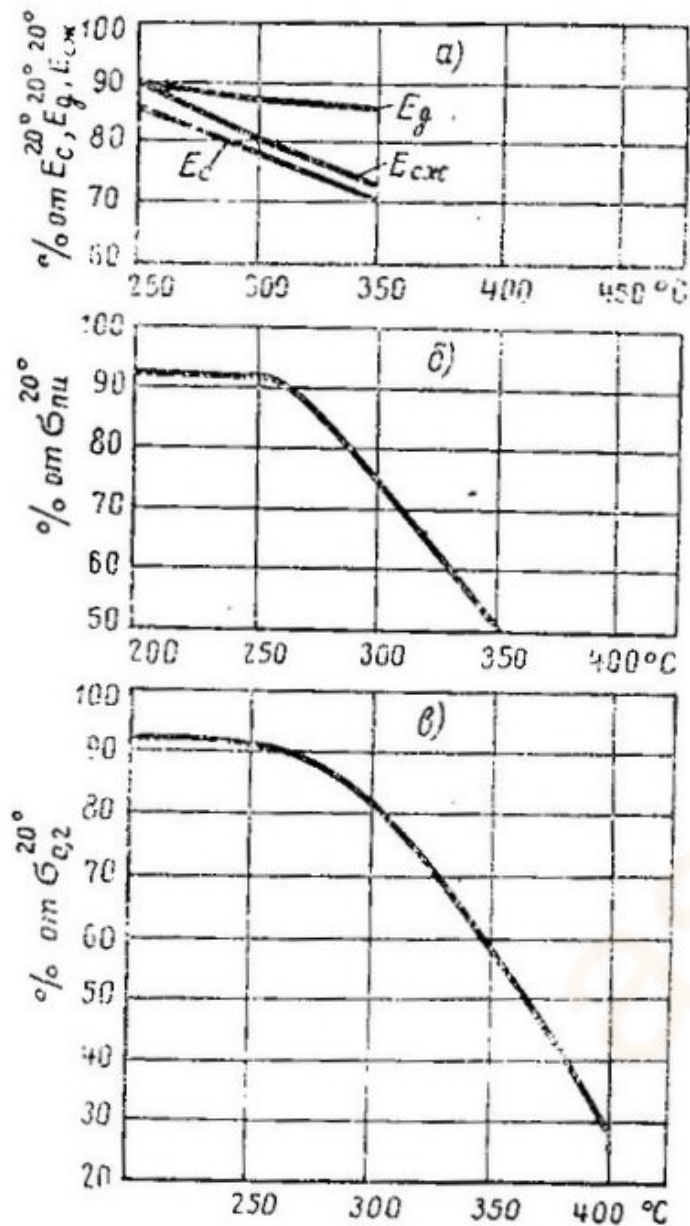


Рис. 1. Механические свойства сплава МЛ9-Т6 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре). Образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм:
 σ — модуль упругости; $\sigma_{пл}$ — предел пропорциональности; $\sigma_{с2}$ — предел текучести.

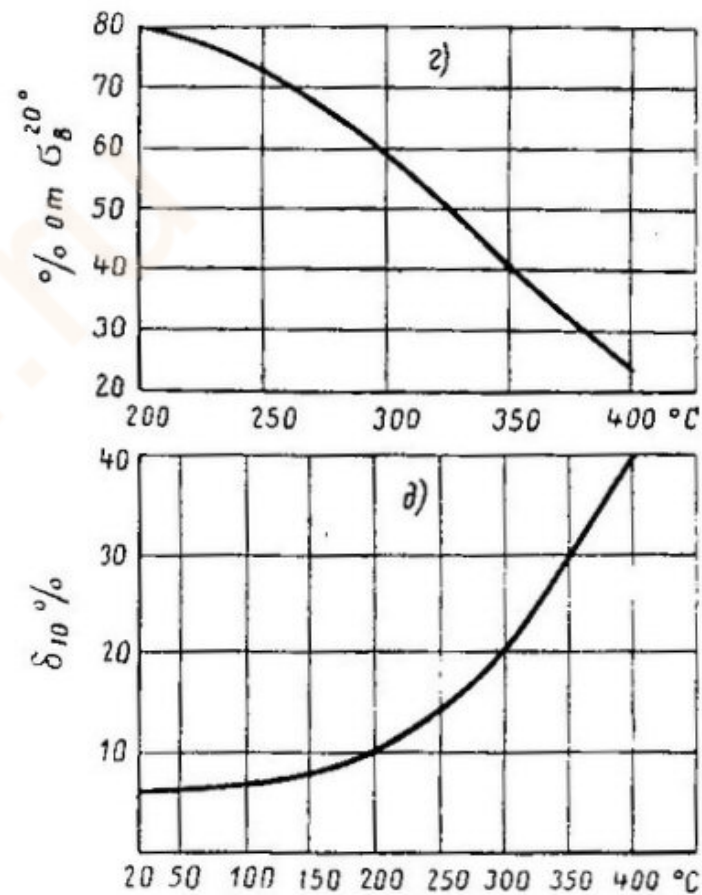


Рис. 1. Механические свойства сплава МЛ9-Т6 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре). Образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм:

— предел прочности; δ — удлинение в зависимости от температуры испытания (абсолютные значения)

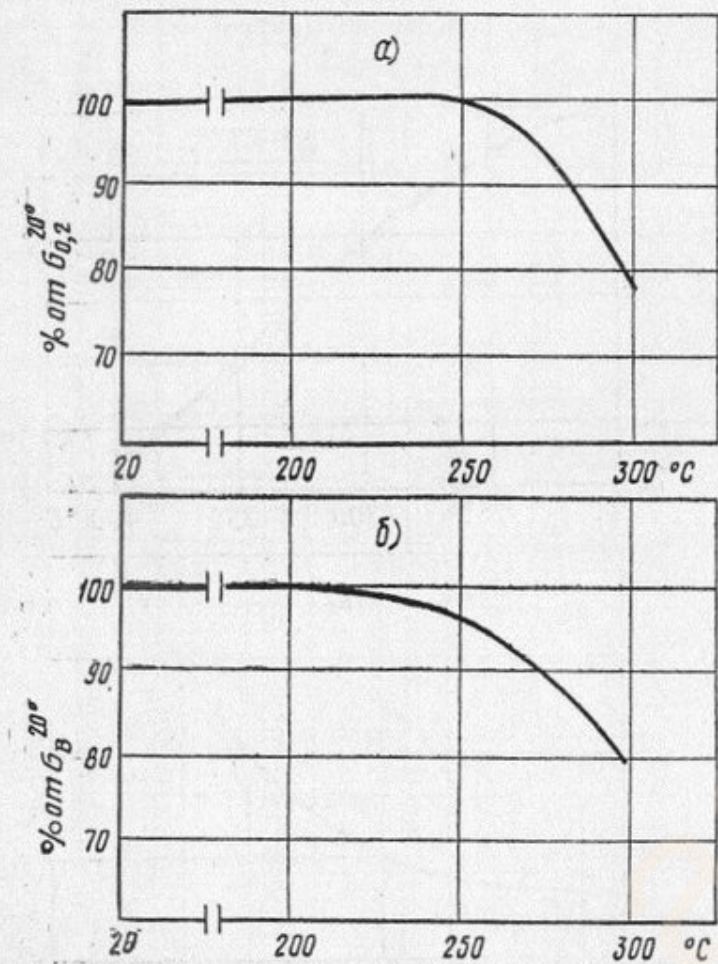


Рис. 2. Механические свойства сплава МЛ19-Т6 при комнатной температуре после длительных нагревов при 200—300°C и выдержки при этих температурах в течение 1000 час*. Образцы, отлитые в землю, диаметром 12 мм:

а — предел текучести; б — предел прочности.

* Пластичность сплава при 20°C после длительных нагревов не изменяется.

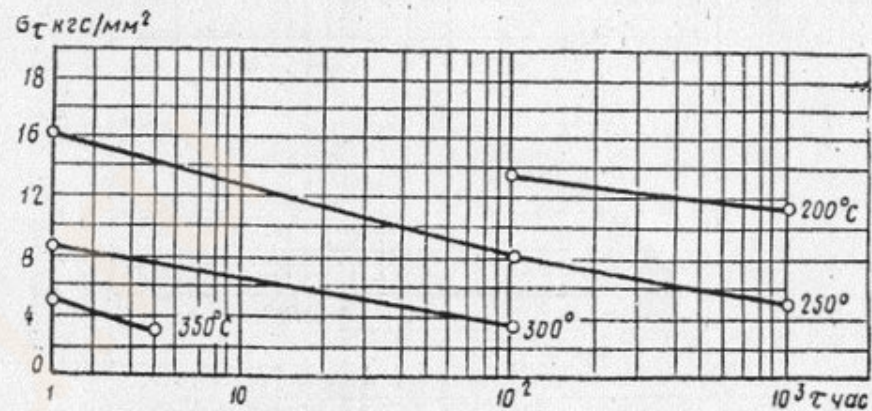


Рис. 3. Длительная прочность сплава МЛ19-Т6

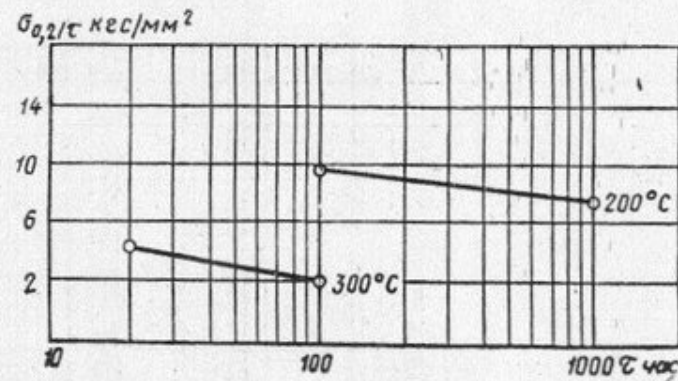


Рис. 4. Предел ползучести сплава МЛ19-Т6 (остаточная деформация 0,2%).

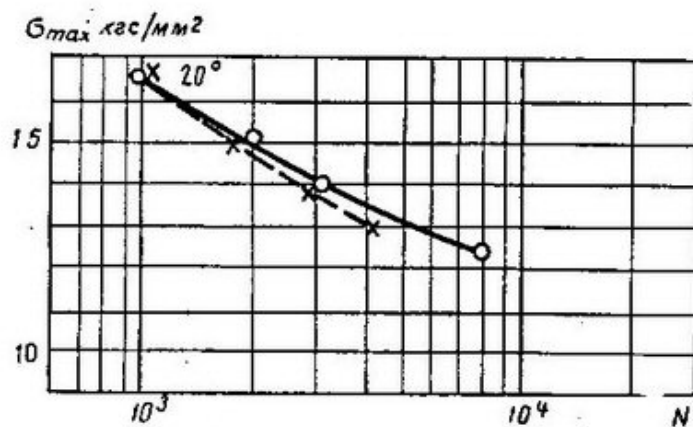


Рис. 5. Малоцикловая усталость сплава МЛ9-Т6 при 20°C на образцах с надрезом $\alpha_k = 2,2$ (образцы диаметром 10 мм, отлитые в землю):

○—○ состояние Т6; ×—× состояние Т6+200°C—200 час

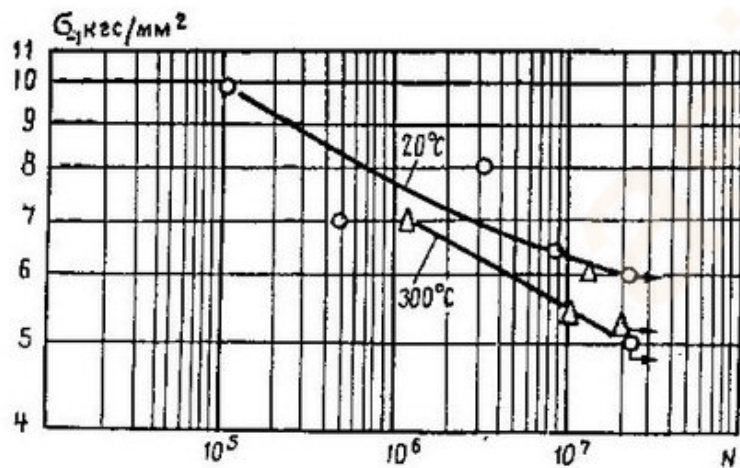


Рис. 6. Кривые выносливости сплава МЛ9-Т6 при 20 и 300°C (гладкие образцы).

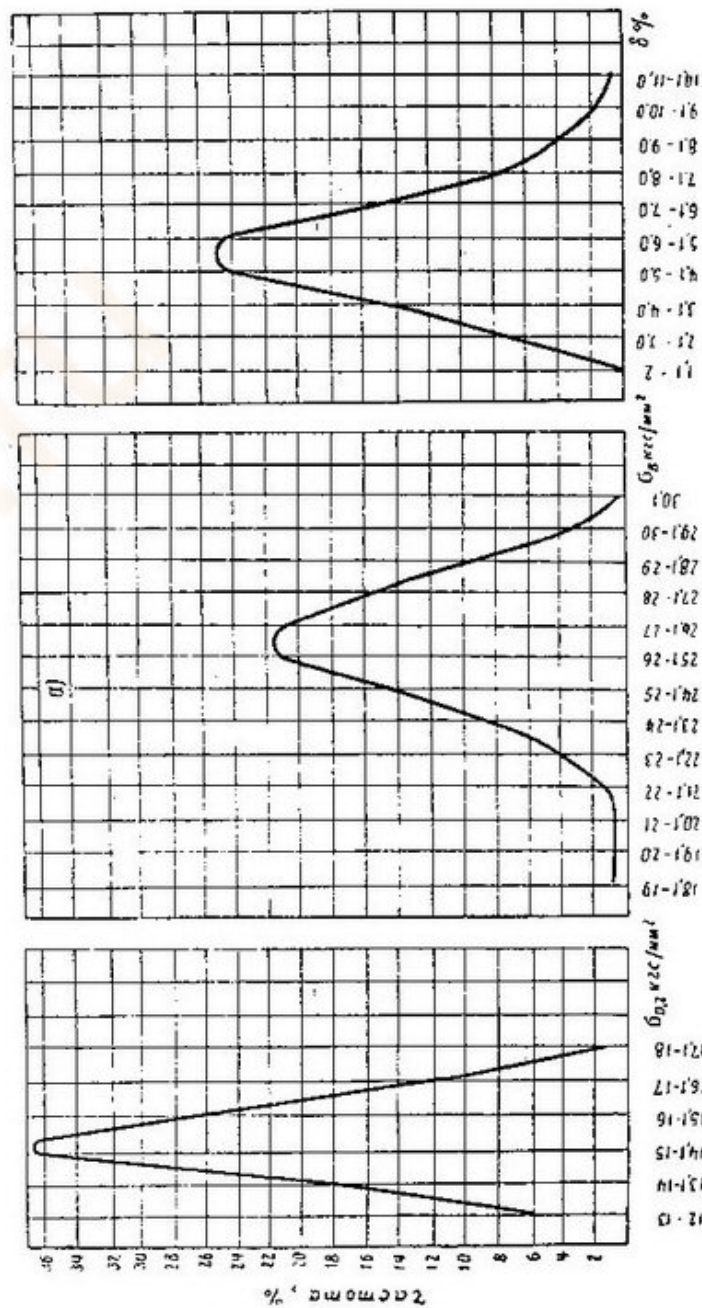


Рис. 7. Кривые нормального распределения механических свойств сплава МЛ9-Т6 при 20°C: а — образцы, отдельно отлитые в землю. Испытано 285 образцов.

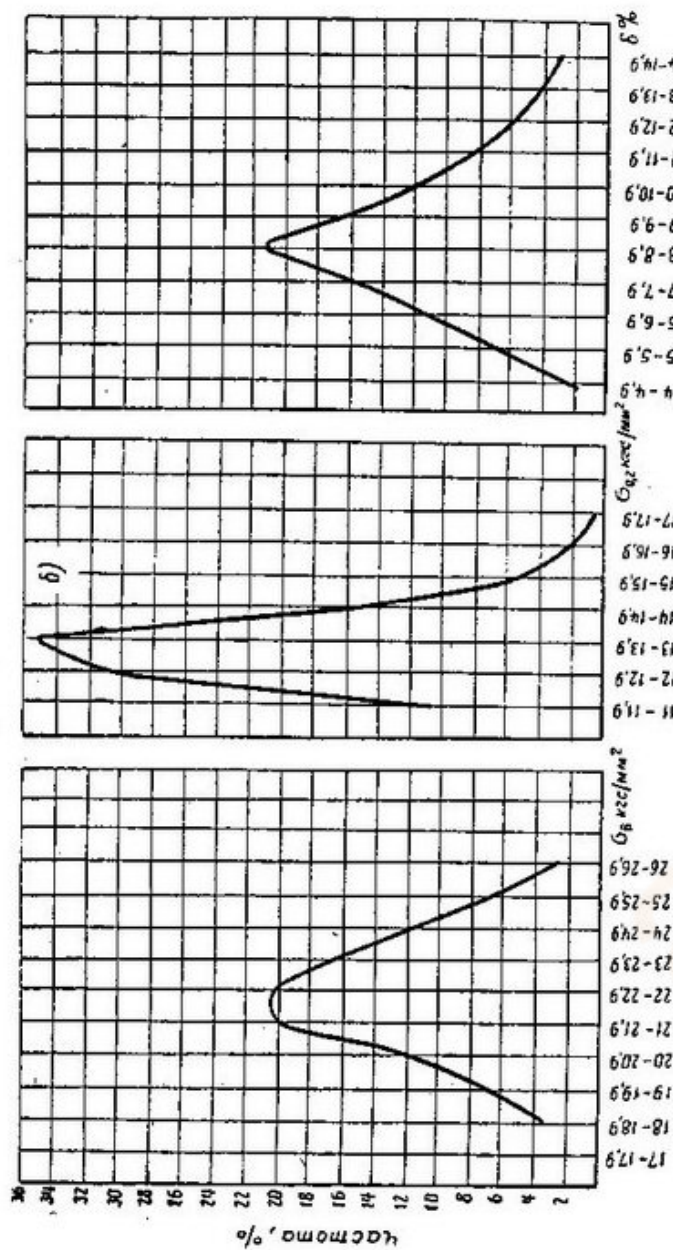


Рис. 7. Кривые нормального распределения механических свойств сплава MJ19-T6 при 20°C. б) образцы, вырезанные из отливок (литые в землю). Испытано 220 образцов

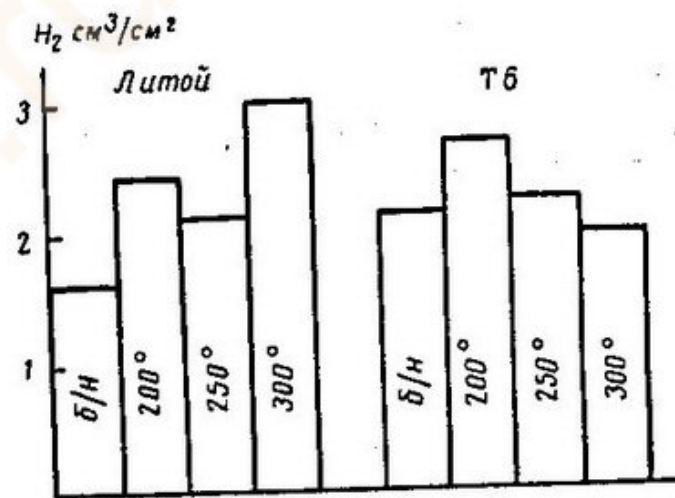


Рис. 8. Влияние длительных нагревов (1000 час) на коррозионную стойкость сплава MJ19-T6 в 3%-ном растворе NaCl за 96 час.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ										МЛ10	
Химический состав в %											
Nd	Zn	Zr	Mg	Fe	Si	Cu	Ni	Al	Be	Прочие примеси	Сумма примесей
				не более							
2,2— 2,8	0,1— 0,7	0,4— 1,0	Ос- нова	0,01	0,03	0,03	0,005	0,02	0,001	0,12	0,2
Механические свойства по ГОСТ (не менее)											
Вид полуфабриката	ГОСТ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5 %					
				кгс/мм ²							
Образцы, отлитые, 12 мм	ГОСТ 2856—68	З	Закаленные и состаренные (Т6)	14	23	3					

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E	E _d	G	μ	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_{10}	ψ	E _{сж}	$\sigma_{пл сж}$	$\sigma_{0,2 сж}$	$\tau_{ср}$	a_H кгс·м/см ²
Образцы, отлитые, диаметр 12 мм	З	Т6	4200	4500	1650	0,33	10	15	25	5	7	4200	10	14	18	0,5
			4200	4500	1650	0,33	10	17	27	5	7	4200	10	16	18	0,5
Образцы, диаметром 6 мм, вырезанные из средних и крупных деталей сложной конфигурации	З, О	Т6	—	—	—	—	—	14	23	5*	7	—	—	13	—	—
			—	—	—	—	—	—	15,5	24	4*	—	—	—	15	—
	К	Т6	—	—	—	—	—	—	15	25	8*	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	16	26	6*	—	—	—	—	—

Механические свойства при низких температурах

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	Темпера- тура испытания °C	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_{10}	ψ	a_n кгс·м/см ²
				кгс/мм ²		%		
Образцы, от- дельно отли- тые, диамет- ром 10 мм	3	Закален- ные и со- старенные (Т6, Т61)	20	15	25	5	7,0	0,5
			-70	16	23	4,5	6,5	0,4
			-183	20	30	4	6,5	0,4
			-196	20	30	4	6,5	0,4
			-253	20	29	4	—	0,2

Механические свойства сплава после длительных нагревов при температурах испытания

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	Темпе- ратура нагрева и испыта- ния °C	Выдерж- ка час	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ %	
					кгс/мм ²			
Образцы, от- дельно отли- тые, диамет- ром 12 мм	3	Закален- ные и со- старенные (Т6)	100	0,5	14,5	22	5,5	
					1000	14,5	22	8,0
					2500	14,5	22	8,0
			125	0,5	13,5	21	8,0	
					2500	13,5	21	8,0
					10000	13,5	21	8,0
					20000	13,5	21	8,0
					30000	13,5	21	8,0
					12,5	21	8,0	
			150	0,5	13,0	20	9	
					1000	13,0	19	9
					2500	13,0	18	9
					10000	12,5	18	9
					20000	12,5	18	9
					30000	12,5	18	9
200	0,5	13,5	18,5	15				
		2500	10,5	15	16			
		10000	10,5	15	19			

Секундная прочность при высоких температурах

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{100''}$	$\sigma_{300''}$
				кгс/мм ²		
Образцы, от- дельно отли- тые, диамет- ром 10 мм	3	Закаленные и состаренные (Т6)	200	19	19	19
			250	18,5	18,5	18,5
			300	18	17	15
			400	9,5	6	4,5
			450	6	3,5	2,5

Чувствительность к надрезу при статическом нагружении ($\sigma_k = 4,0$)

Характер нагружения	Температура испытания °C				
	-196	-70	20	200	250
σ_B^k / σ_B^0	0,89	0,96	1,0	1,2	1,2

Физические свойства

Плотность $d = 1780 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	27,7	28,0	28,3	28,6	29,1

Температура °C	20—100	100—200	200—300	300—400	400—500
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	27,7	28,3	29,0	29,4	31,1

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300	400
$\lambda \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$	113	113	113	113	118

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400
$c \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$	0,963	1,05	1,13	1,21

Удельное электросопротивление

Температура, °C	20
$\rho \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$	8,44

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Нагревы длительностью до 30 000 час при температурах 125—150°C и до 1000 час при 200—250°C не изменяют коррозионной стойкости сплава.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горючеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
Литье в песчаные формы	640—550	720—800	1,2—1,5	250	15—20	Повышенная. При толщине стенки > 5 мм отливки выдерживают пневматическое давление до 250—300 ат
Литье в кокиль		680—780	1,2—1,5	—	—	

Примечание. Сплав обладает хорошими литейными свойствами. Механические свойства отливок по всему сечению однородные, близкие к свойствам отдельно отлитых образцов. Детали характеризуются высокой герметичностью и высокой стабильностью размеров.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки (Т6)		Температура нагрева °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Т6	Закалка	540±5	8—12	Обдувка сжатым воздухом
	Старение	205±5	12—18	Воздух
Т61	Закалка	545±5	4—8	Вода ≥ 80°C
	Старение	205±5	8—12	Воздух

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева в печи °С	Предел прочности при 20°С		Коэффициент прочности сварного соединения $\sigma_{св}^{20^\circ} / \sigma_{осн}^{20^\circ}$	Характеристика свариваемости
			основного материала	сварного соединения		
Аргонно-дуговая	Прессованная проволока из сплава МЛ10	400—440	23—25	20,0—24,0	0,85	Хорошая при аргонно-дуговой сварке с присадкой основного материала

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Нагруженные детали, работающие длительно при температурах до 250°С, кратковременно до 350°С: детали высокой герметичности; детали с высокой стабильностью размеров.

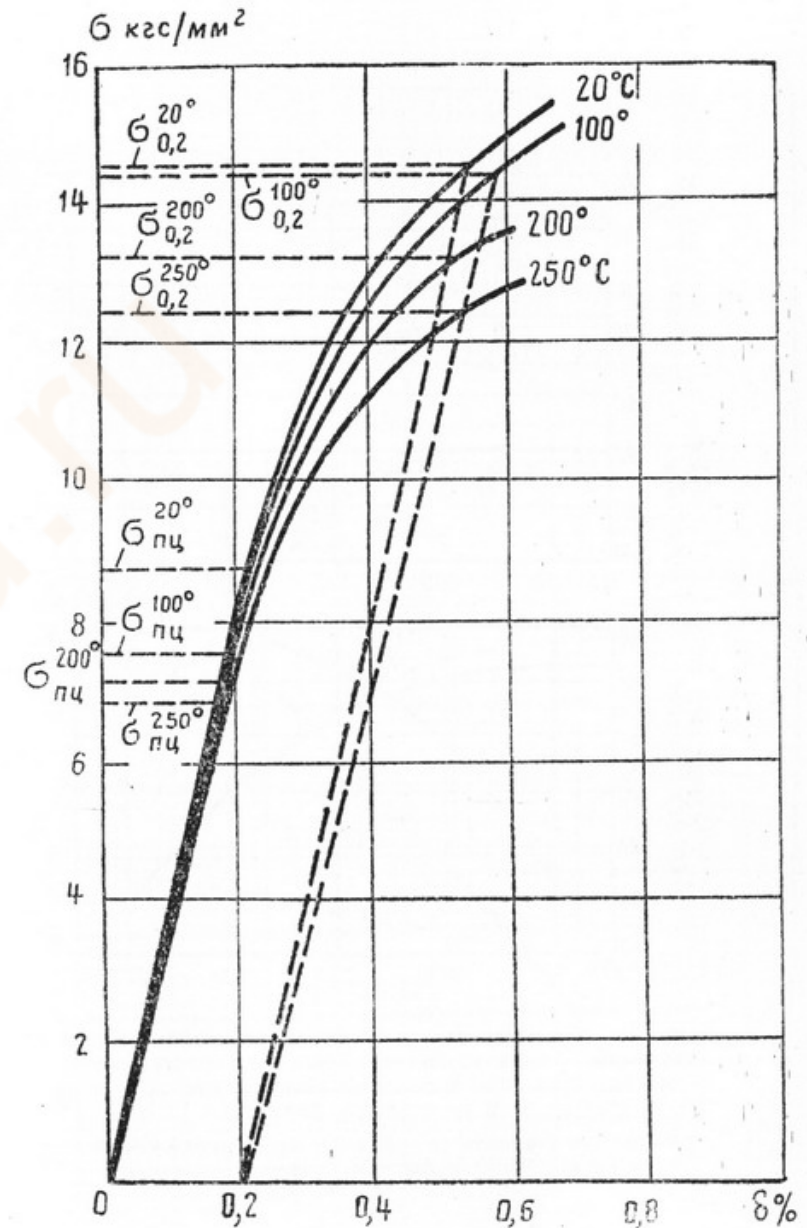


Рис. 1. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава МЛ10-Т6 при комнатной и высоких температурах.

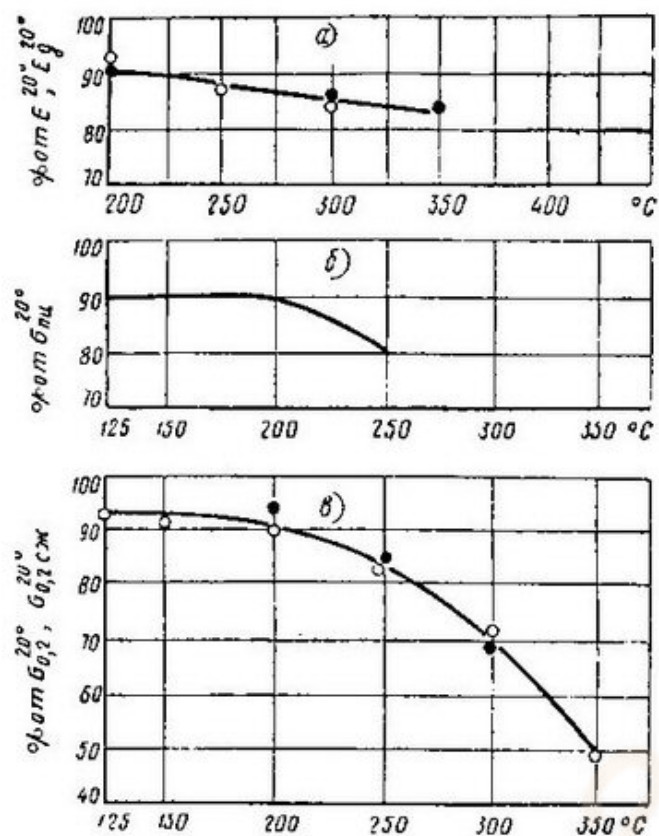


Рис. 2. Механические свойства сплава МЛ10-Т6 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре; образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм):

а — модуль упругости (● — E_{λ} ; ○ — E); б — предел пропорциональности; в — предел текучести при растяжении и сжатии (○ — 0,2; ● — 0,2 сж).

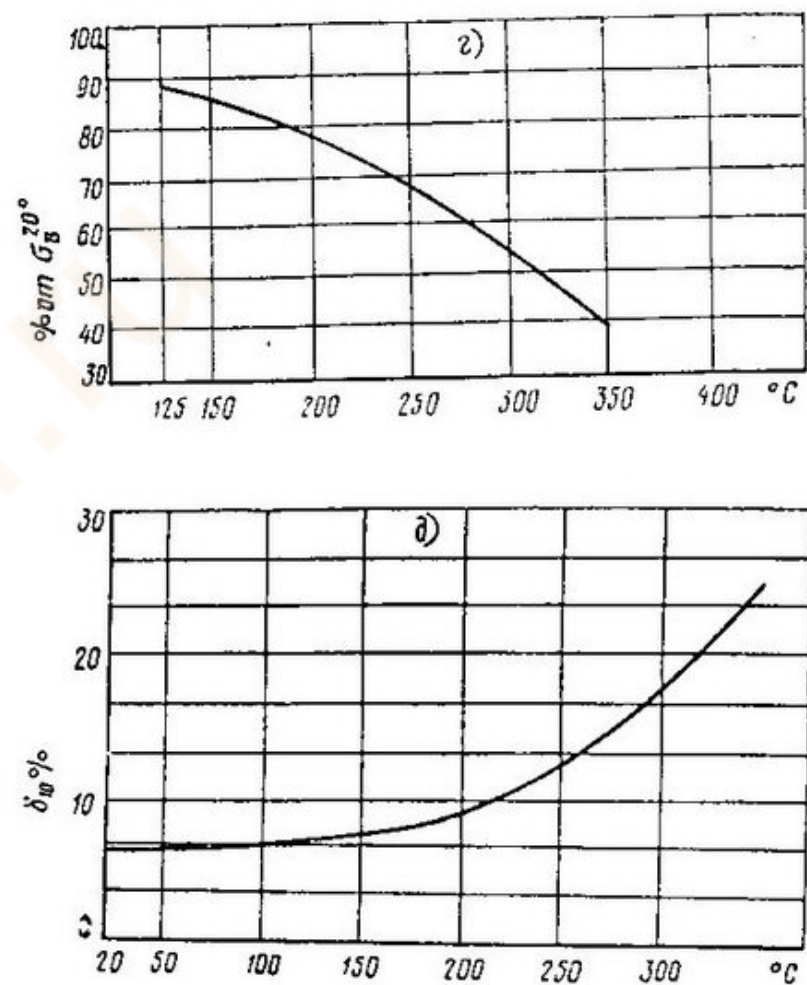


Рис. 2. Механические свойства сплава МЛ10-Т6 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре; образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм):

з — предел прочности; д — изменение абсолютных значений удлинения в зависимости от температуры испытания.

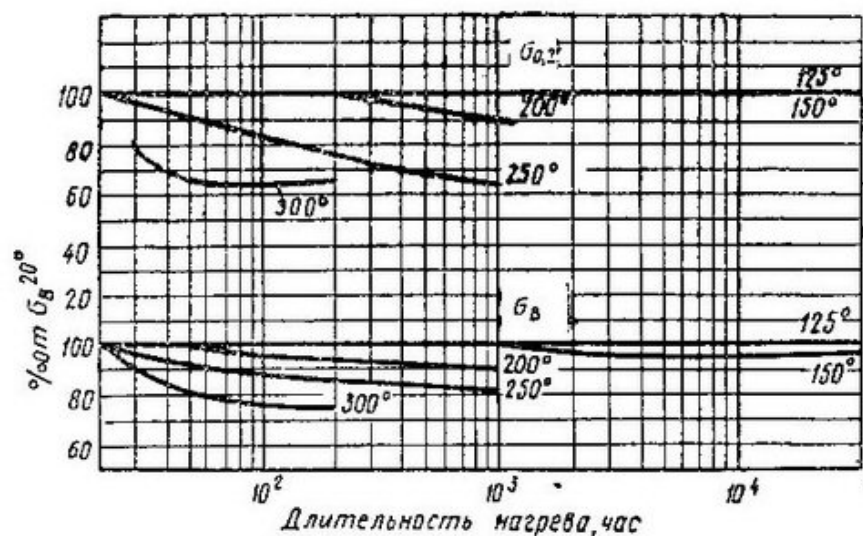


Рис. 3*. Механические свойства при комнатной температуре сплава МЛ10-Т6 после длительных нагревов при 125—300°C (в % от соответствующих исходных свойств при комнатной температуре). Образцы диаметром 12 мм, отлитые в землю.

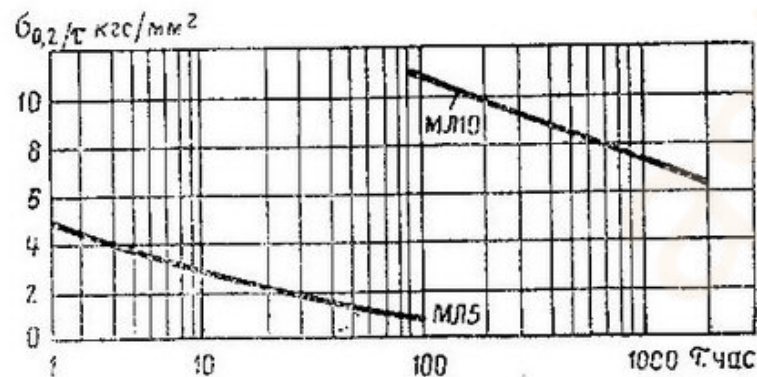


Рис. 4. Предел ползучести сплавов МЛ5-Т4 и МЛ10-Т6 при 200°C.

* Пластичность сплава при 20°C после длительных нагревов не изменяется.

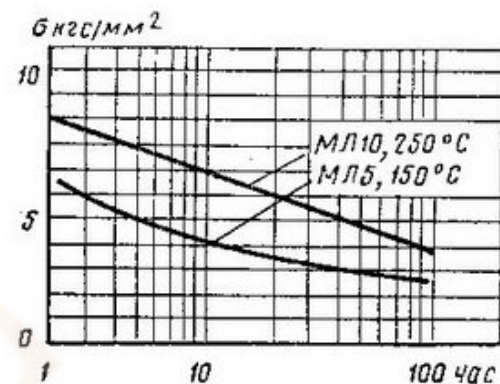


Рис. 5. Предел ползучести сплава МЛ10-Т6 при 250°C и сплава МЛ5-Т4 при 150°C.

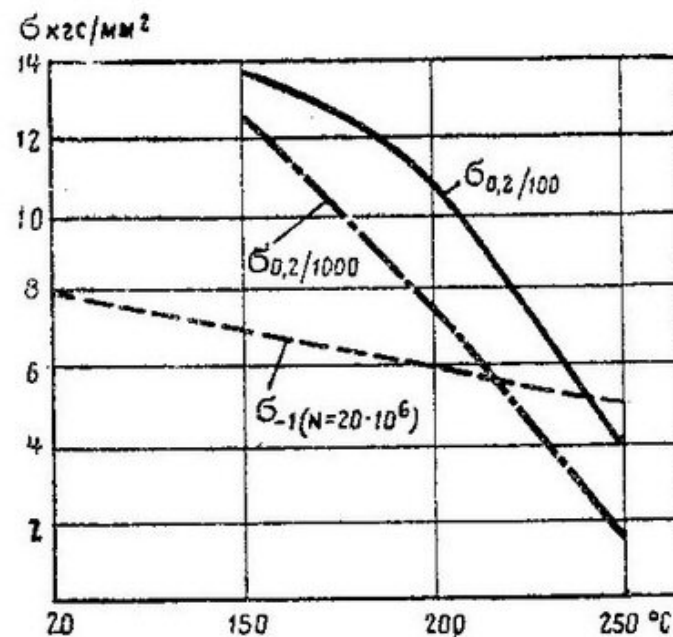


Рис. 6. Изменение пределов ползучести и выносливости сплава МЛ10-Т6 в зависимости от температуры испытания.

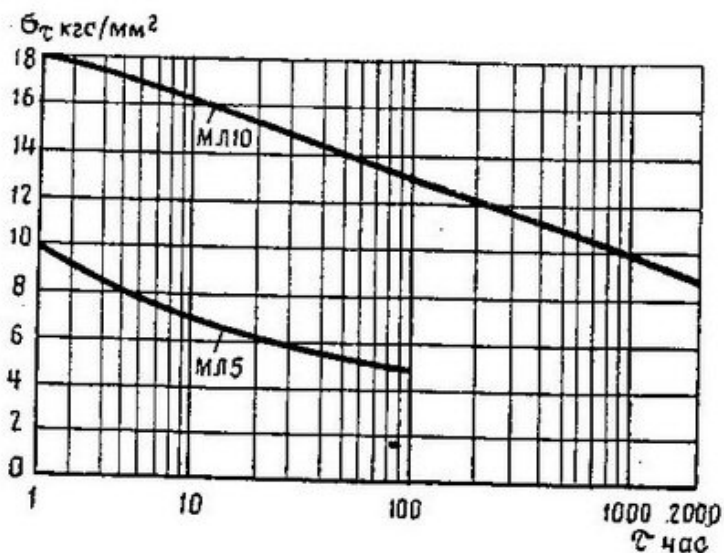


Рис. 7. Предел длительной прочности сплавов МЛ5-Т4 и МЛ10-Т6 при 200°C.

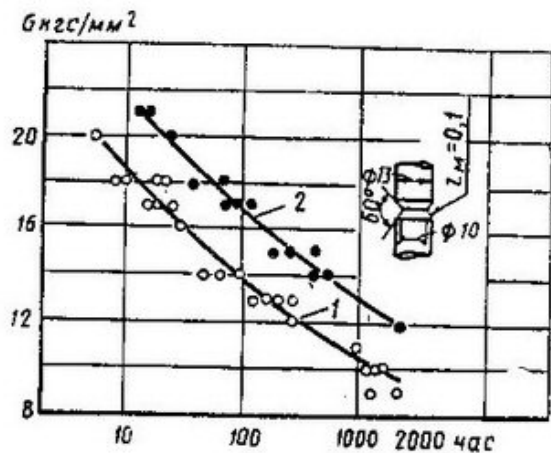


Рис. 8. Длительная прочность сплава МЛ10-Т6 при 200°C на образцах гладких (1) и с надрезом (2):

1 — образцы гладкие; 2 — образцы с надрезом.

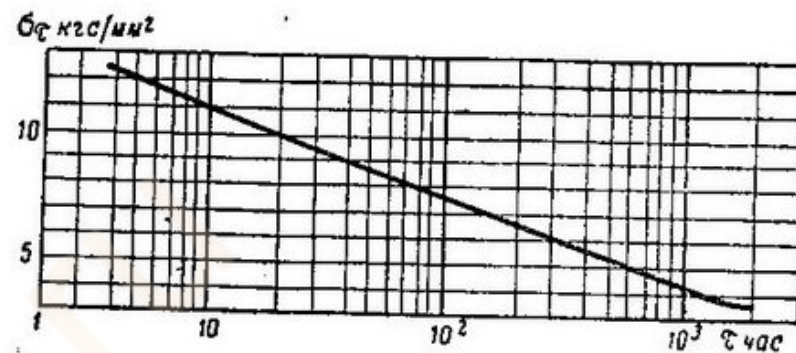


Рис. 9. Длительная прочность сплава МЛ10-Т6 при 250°C.

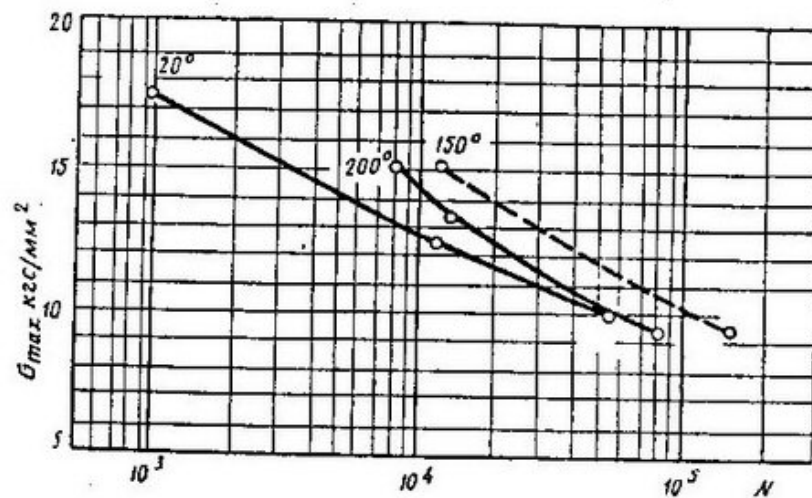


Рис. 10. Малоцикловая усталость сплава МЛ10-Т6 при 20, 150 и 200°C на образцах с круговым надрезом, $\alpha_n=2,2$. Образцы, диаметром 10 мм, отлитые в землю.

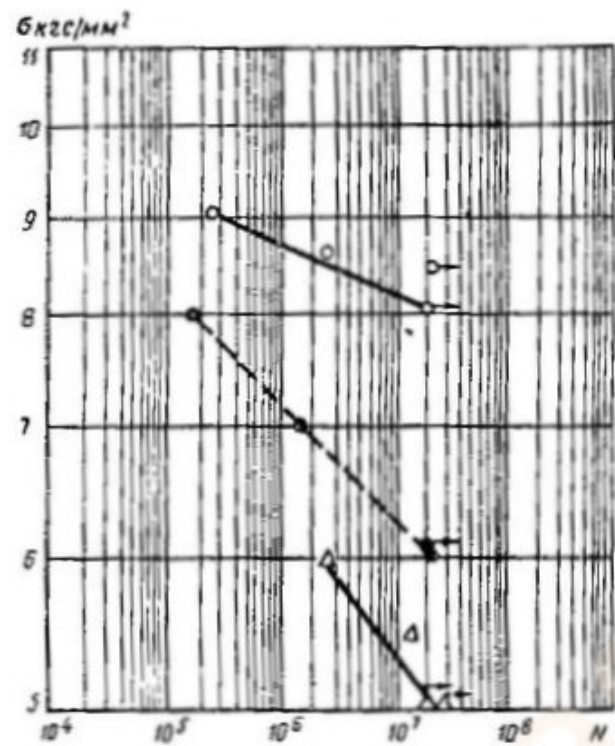


Рис. 11. Кривые выносливости при консольном изгибе сплава МЛ110-Т6 при 20 и 250°C (образцы, отлитые в землю, диаметром 10 мм):

○ — гладкий образец при 20°C; ■ — образец с надрезом при 20°C; $r_n = 0,25$ мм; □ — гладкий образец при 250°C

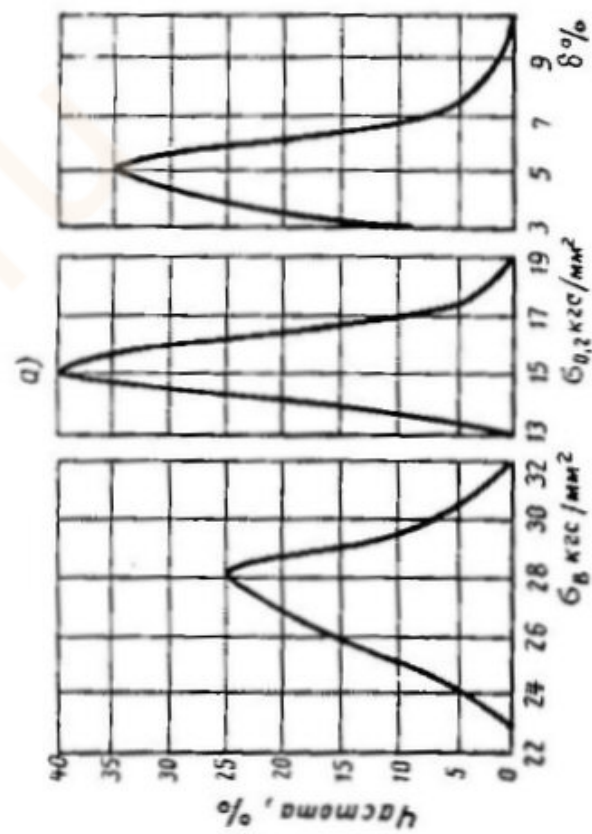


Рис. 12. Кривые нормального распределения остаточных свойств сплава МЛ110-Т6 при 20°C:

a) — гладкий образец в земле; b) — образец с надрезом диаметром 12 мм; c) — гладкий образец в земле.

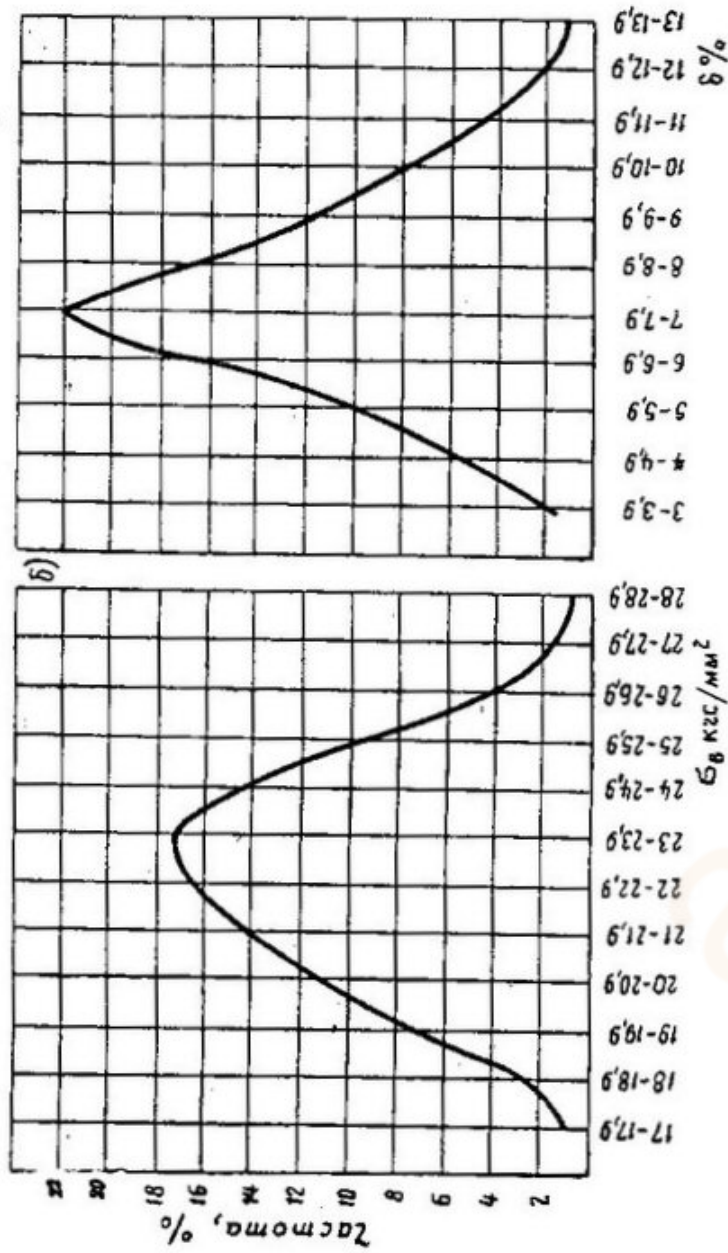


Рис. 12. Кривые нормального распределения механических свойств сплава МЛ10-Т6 при 20°C.

По данным завода:

а — образцы, вырезанные из отливок (литые в землю). Испытано 400 образцов.

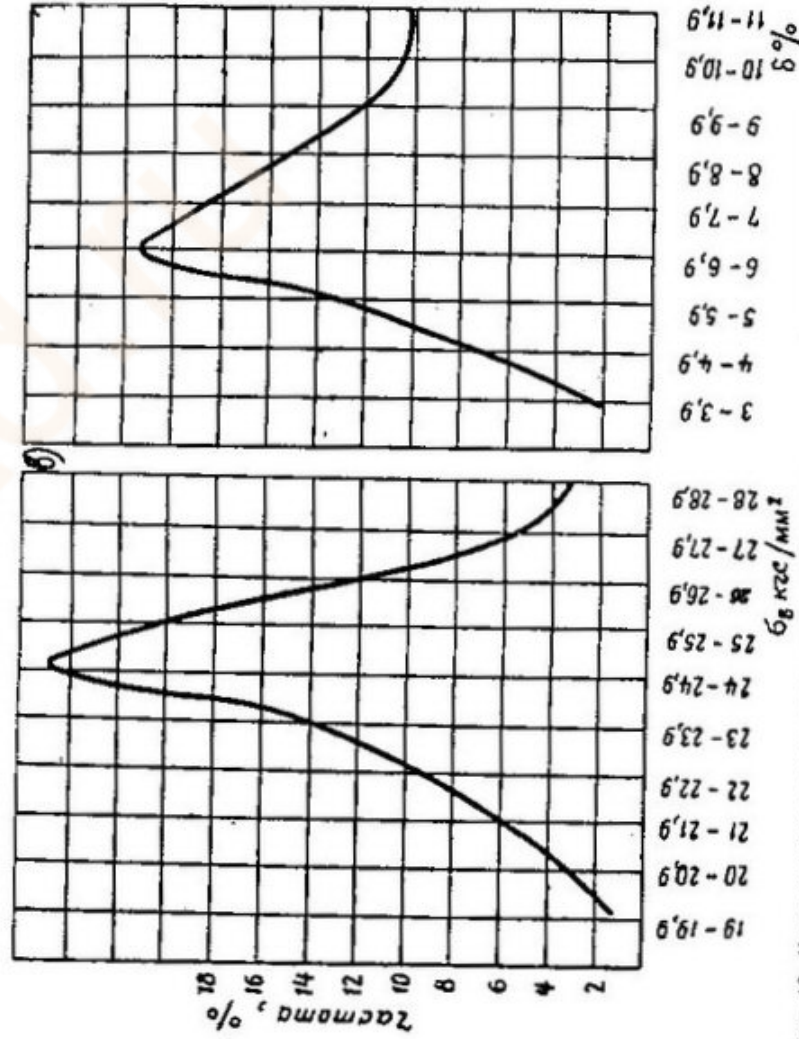


Рис. 12. Кривые нормального распределения механических свойств сплава МЛ10-Т6 при 20°C.

б — образцы, вырезанные из отливок (литые в кокиль). Испытано 107 образцов.

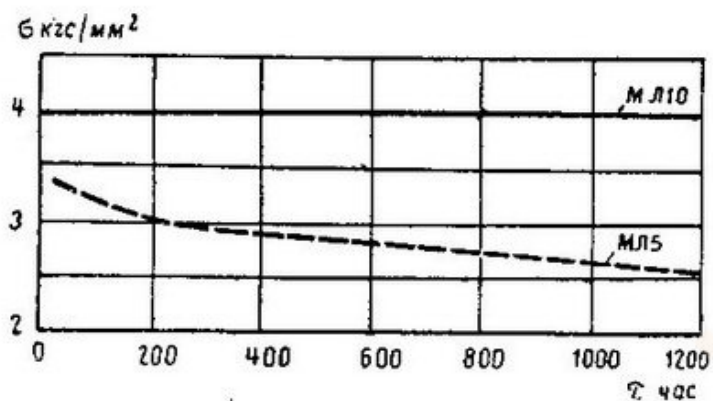


Рис. 13. Релаксационная стойкость сплавов МЛ5-Т4 и МЛ10-Т6 при 100°C.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ							МЛ11				
Химический состав в %											
Σ _{р.з.м.}	Zr	Zn	Mg	Fe	Si	Cu	Ni	Al	Be	Прочие примеси	Сумма примесей
				не более							
2,5—4,0	0,4—1,0	0,2—0,7	Ос-пова	0,03	0,03	0,03	0,005	0,02	0,001	0,15	0,25

* Цериевый миниметалл с содержанием не менее 45% Се.

Механические свойства по ГОСТ (не менее)

Вид полуфабриката	ГОСТ	Способ литья	Состояние	σ _{0,2}	σ _в	δ ₅ %
				кгс/мм²		
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	ГОСТ 2856—68	З	Без термической обработки	—	12	1,5
			Отожженные (Т2)	—	12,0	1,5
			Закаленные (Т4)	8,5	14	3,0
			Закаленные и состаренные (Т6)	10,0	14	2,0

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E		G	μ	σ _{плц}	σ _{0,2}		δ ₁₀	ψ	σ _{0,2} сж	τ _{0,3}	τ _н	τ _{ср}	σ ₋₁			
			кгс/мм ²	кгс/мм ²				кгс/мм ²	кгс/мм ²							глад-кий	с над-резом		
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Без термической обработки и отожженные (Т2)	4200	1600	—	—	4	10	13	3	3,5	—	—	—	—	—	7*	—	
			4200	1600	—	—	4	9	15	5	7	9	5,5	13,5	12	—	7**	5***	
			4200	1600	—	—	4,5	10,5	16	3	5	10,5	6,5	14,0	12	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	10	12	2,5****	3,0	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	9	13,5	3,5****	4,5	—	—	—	—	—	—
Образцы, диаметром 6 мм, вырезанные из средних и крупных деталей сложной конфигурации	3	Без термической обработки и отожженные (Т2)	4200	1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			4200	1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			4200	1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Образцы, закаленные (Т4)	3	Закаленные и состаренные (Т6)	4200	1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			4200	1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			4200	1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

лов. * Предел выносливости (σ₋₁) определяется при консольном изгибе вращающегося образца на базе 2·10⁷ циклов.

** Предел выносливости (σ₋₁) определялся при чистом изгибе на базе 2·10⁷ циклов.

*** Радиус надреза 0,75 мм; α_к = 2,2.

**** δ_к.

Прочность после длительных выдержек при температурах испытания

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Температура нагрева и испытания °С	Выдержка час	σ _{0,2}	σ _к
					кгс/мм ²	
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	3	Т6	20	—	10,0	15,0
					8,0	14,5
					8,0	14,5
					8,0	14,0
					8,0	13,0
					8,0	13,0
			250	10 мин	7,0	12,5
					7,0	12,5
					5,5	10,0
					5,0	9,5
					5,0	9,5
					5,0	9,5

Пределы ползучести, длительной прочности и выносливости

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	σ_s	σ_{100}	по общей деформации			по остаточной деформации			σ_{-1}^* кгс/мм ²		
						$\sigma_{0,5/1}$	$\sigma_{0,5/5}$	$\tau_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/1000}$	кгс/мм ²			
Образцы, от- дельно отлитые, диаметром 12 мм	З	Без термической обработки и отож- женные (Т2)	200	—	9	—	—	5	—	—	—	—	—	
			250	10	5	—	—	2,5	—	—	—	5	—	
			300	6	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Закаленные (Т4)	200	—	11,5	—	—	—	—	5,5	—	—	—	—
			250	10	5,5	6,5	—	—	3,0	—	—	—	5	—
			300	6,5	2,5	4,7	—	—	—	—	—	—	—	—
		Закаленные и состаренные (Т6)	200	—	11,5	—	—	—	—	6,5	—	—	—	6,5
			250	10	5,5	6,5	—	—	—	—	—	—	—	5,0
			300	6,5	2,5	4,7	—	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости (σ_{-1}) определяется при чистом изгибе на базе $2 \cdot 10^7$ циклов.

Чувствительность к надрезу при статическом растяжении ($\alpha_k = 3,8$) при 20°C

Характер нагрузки	Состояние	
	литое и Т2	Т4
σ_n^H / σ_n^r	1,0	1,0

Физические свойства

Плотность $d = 1800$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	100—200	200—300
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	21,9	22,7	24,8	23,5	25,0

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300
λ вт/м·град	105	109	113	117

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью

Технологические данные

Технология литья сплава

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горячеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
	°C					
Литье в песчаные формы	645—590	720—800	1,2—1,5	290	20	Повышенная по сравнению со сплавом МЛ15
Литье в кокиль		680—780	1,2—1,5	—	—	

Примечание. Сплав обладает удовлетворительными литейными свойствами. Механические свойства отдельно отлитых образцов и образцов, вырезанных из деталей, имеют близкие значения. Отливки имеют однородные механические свойства.

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура нагрева °C	Выдержка час	Охлаждающая среда
Отжиг (T2)	325±5	3—5	Воздух
Закалка (T4)	570±5	4—6	Обдувка сжатым воздухом
Старение *	200±5	12—16	Воздух

* Закалка+старение (режим T6).

Свариваемость *

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева в печи °C	Предел прочности при 20°C		Коэффициент прочности сварного соединения $\sigma_{в св}/\sigma_{в}$	Характеристика свариваемости
			основного материала	сварного соединения		
Аргонодуговая	Прессованная проволока из сплава МЛ11	400—440	14,5—16,0	12,0—15,0	0,8	Удовлетворительная

* Без термической обработки.

Обработываемость резанием отличная.

Применение

Детали двигателя, нагревающиеся в процессе работы до 250—300°C, а также детали, от которых требуется повышенная герметичность

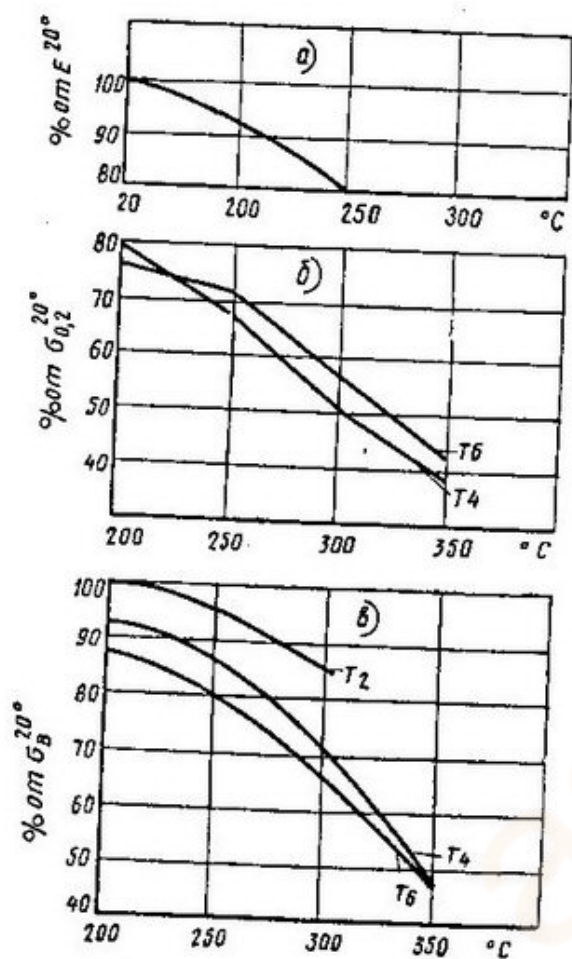


Рис. 1. Механические свойства сплава МЛ11 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре); образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм: состояние литое и отожженное (Т2), закаленное (Т4), закаленное и состаренное (Т6):

а — модуль упругости; б — предел текучести; в — предел прочности.

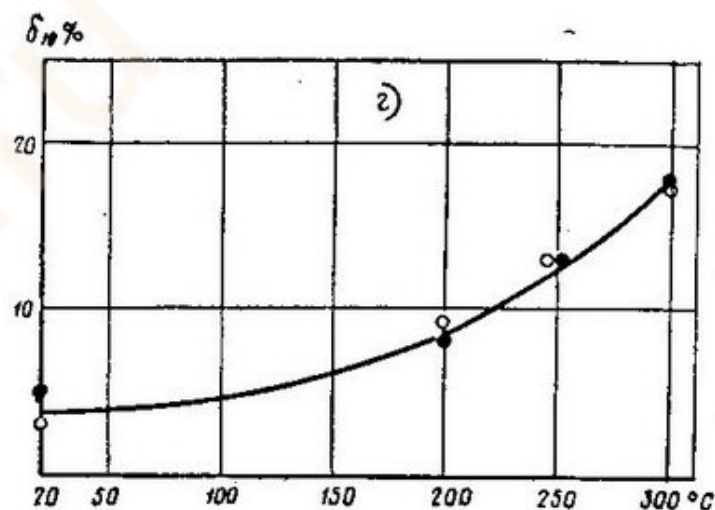


Рис. 1. Механические свойства сплава МЛ11 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре); образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм; состояние литое и отожженное (Т2), закаленное (Т4):

— изменение абсолютных значений удлинения в зависимости от температуры испытания.
○ — состояние Т2; ● — состояние Т4.

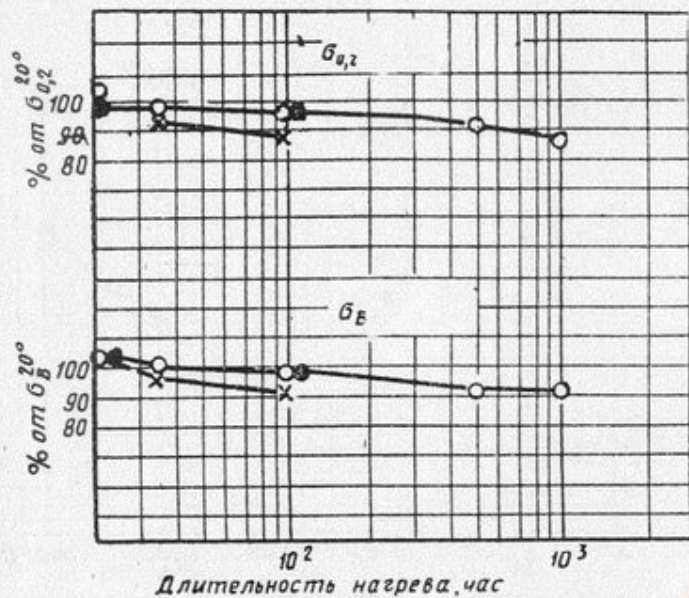


Рис. 2*. Механические свойства при комнатной температуре сплава МЛ11-Т6 после длительных нагревов при температурах 200—300°C (образцы, отлитые в землю, диаметром 12 мм).
 ○ — 200°; ● — 250°; × — 300°С.

* Пластичность сплава при 20°C после длительных нагревов не изменяется.

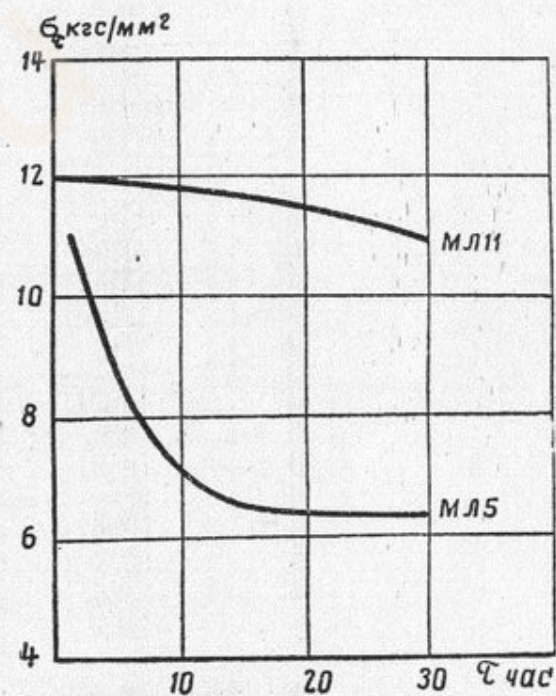


Рис. 3. Кривые длительной прочности сплавов МЛ5-Т4 и МЛ11-Т2 при 200°C.

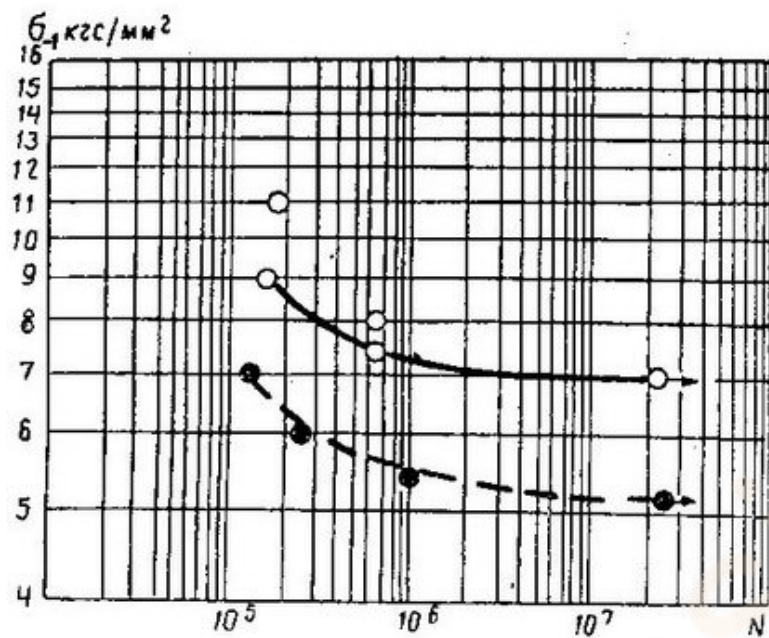


Рис. 4. Кривые выносливости при консольном изгибе образцов сплава MJ11-T2 при 20°C. (Образцы, отлитые в землю, диаметром 10 мм):

○ — гладкие образцы; ● — образцы с надрезом; $r_n = 0,75$ мм, $\alpha_k = 2,2$.

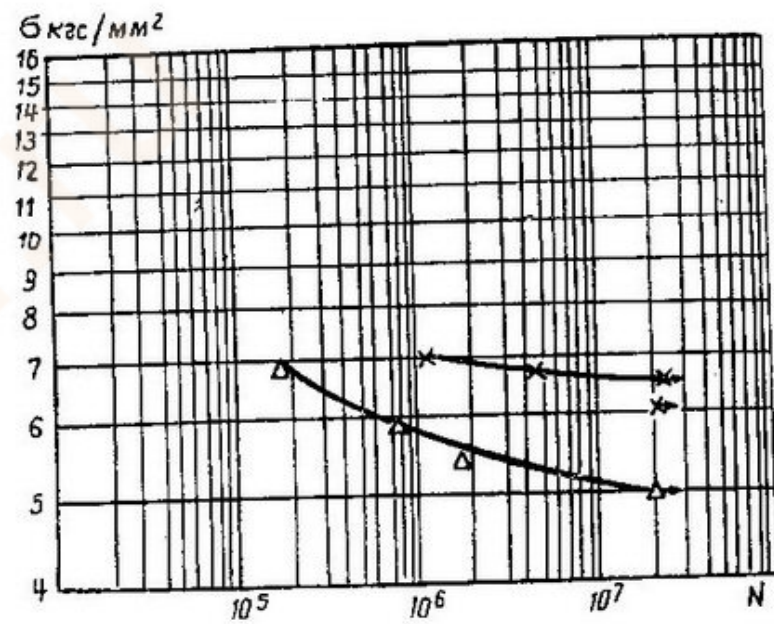


Рис. 5. Кривые выносливости при чистом изгибе гладких образцов сплава MJ11-T2 при 200 и 250°C (образцы, отлитые в землю, диаметром 10 мм):

× — 200°C; △ — 250°C.

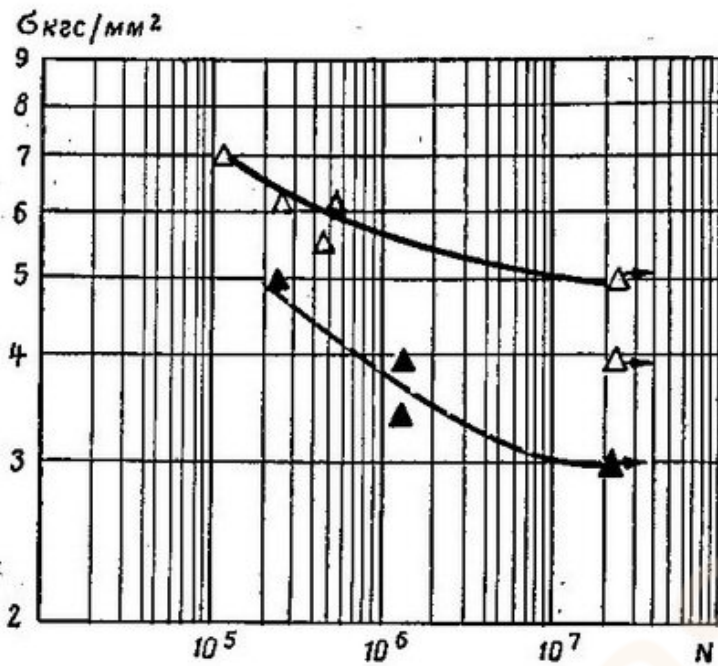


Рис. 6. Кривые выносливости при чистом изгибе образцов сплава М11-Т4 при 250°C. (Образцы, отлитые в землю, диаметром 10 мм):

△ — гладкие образцы; ▲ — образцы с надрезом, $r_n = 0,75$ мм, $\sigma_k = 2,2$.

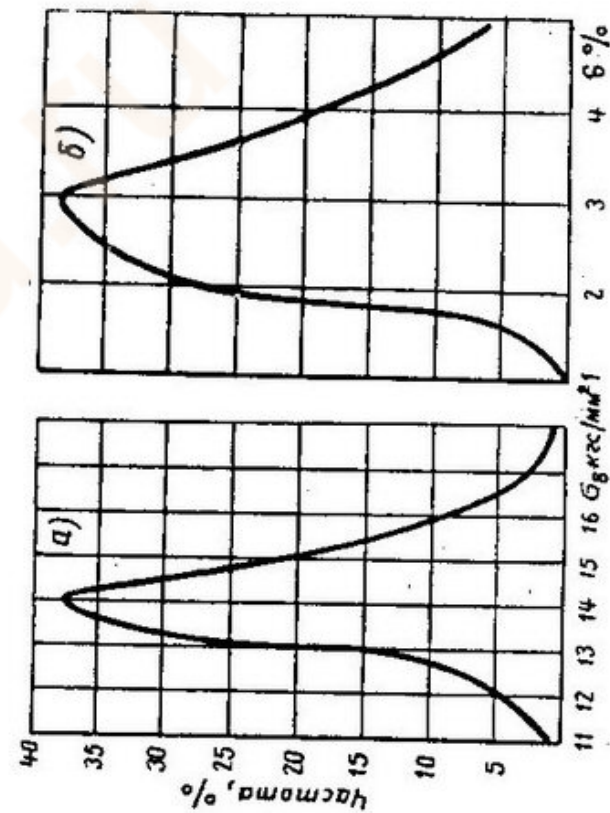


Рис. 7. Кривые нормального распределения механических свойств отдельно отлитых образцов сплава М11 при комнатной температуре. (По данным завода):

а — предел прочности; б — удлинение.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ	ВМЛ7
-------------------	------

Механические свойства по СТУ (не менее)

Вид полуфабриката	ТУ	Способ литья	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5 %
				кгс/мм ²		
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	ТУ-1-92-20-73	З	Закаленные и состаренные (Т6)	12	22	3

Механические свойства при комнатной температуре

Вид полуфабриката	Способ литья	Состояние	E		G	μ	σ _{пц}	σ _{0,2}		δ ₁₀	ψ	E _{сж}	σ _{плсж}	σ _{0,2сж}	τ _{0,3}	τ _в	τ _{ср}	σ _н кгс·м/см ²	σ ₋₁ * кгс/мм ²
			кгс/мм ²					кгс/мм ²											
Образцы, отдельно отлитые, диаметром 12 мм	З	Закаленные и состаренные (Т6)	4200	1600	0,31	—	8	13	25	5	7	4200	5,5	11	8,5	20,5	16,5	0,5	7,0
								12	23										
Образцы, диаметром 6 мм, вырезанные из средних и крупных деталей сложной конфигурации	З	Закаленные и состаренные (Т6)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Предел выносливости (σ₋₁) определялся при консольном изгибе вращающегося образца на базе 2·10⁷ циклов.
** δ₅

Механические свойства при низких температурах

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	Темпера- тура испы- тания °C	σ_B	δ_5	ψ
				кгс/мм ²	%	
Образцы, от- дельно отлитые, диаметром 10 мм	З	Закаленные и состарен- ные (Т6)	-196	36	5,5	7,0
			-70	32	7,0	8,5

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Способ литья	Состояние	Температура испытания °C	σ_{10}	σ_{100}	σ_{500}	$\sigma_{0,2/100}$ $\sigma_{0,2/500}$		σ_{-1}^*	σ_{H-1}^{**}
							по остаточ- ной дефор- мации			
кгс/мм ²										
Образцы, от- дельно отли- тые, диаметром 12 мм	З	Т6	200	—	18	17	11,5	9,5	—	—
			250	16,0	11,5	9	7,5	5,5	—	—
			300	9,5	6,0	4,5	3,5	1,5	5,5	4,0
			350	5,0	2,5—3,0	—	0,7	—	—	—

* Предел выносливости (σ_{-1}) определялся при консольном изгибе вращающегося образца; $N=2 \cdot 10^7$ циклов.

** $r_H=0,75$ мм, $\alpha_K=2,2$.

Чувствительность к надрезу при статическом нагружении ($\alpha_K=3,8$)

Характер нагружения	Температура °C		
	-196	-70	20
σ_B^H / σ_B^T	0,89	0,96	0,96

Физические свойства

Плотность $d=1790$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	26,9	27,7	28,6	29,6
Температура °C	20—100	100—200	200—300	300—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	26,9	28,6	30,2	32,8

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	25	100	200	300	400	450
λ вт/м·град	83,7	87,9	92,1	96,3	100	102

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400	450
c кДж/кг·град	1,13	1,17	1,21	1,25	1,27

Удельное электросопротивление при 20°C

$\rho \cdot 10^6 = 9,60$ ом·см.

Коррозионная стойкость

Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Длительный нагрев при 300°C в течение 500 час не изменяет коррозионной стойкости сплава.

Технологические данные

Технология литья

Метод литья	Температурный интервал кристаллизации	Температура литья	Линейная усадка %	Жидкотекучесть (по длине прутка)	Горячеломкость (по ширине кольца)	Герметичность
Литье в песчаные формы	650—558	720—810	1,2—1,5	250	27,5	Повышенная
Литье в кокиль		680—780	1,2—1,5	—	—	

Примечание. Сплав имеет хорошие литейные свойства. Отливки обладают высокими и однородными по сечению механическими свойствами.

Рекомендуемая термическая обработка

Режим Т6

Вид термической обработки	температура нагрева °С	выдержка час	охлаждающая среда
Закалка	535 ± 5	4—8	Обдувка сжатым воздухом
Старение	205 ± 5	8—16	Воздух

Свариваемость

Метод сварки	Присадочный материал	Температура подогрева в печи °С	Предел прочности при 20°С		Кoeffициент прочности сварного соединения	Характеристика свариваемости
			основного материала	сварного соединения		
Аргондуговая сварка	Прессованная проволока из сплава ВМЛ7	400—440	27,0	23,5	0,85	Хорошая при аргондуговой сварке с присадкой основного материала

Обрабатываемость резанием отличная.

Применение

Детали, работающие длительно при температурах до 300°С и кратковременно — до 400°С.

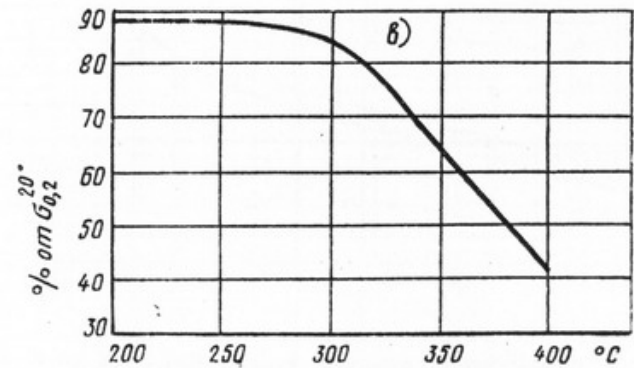
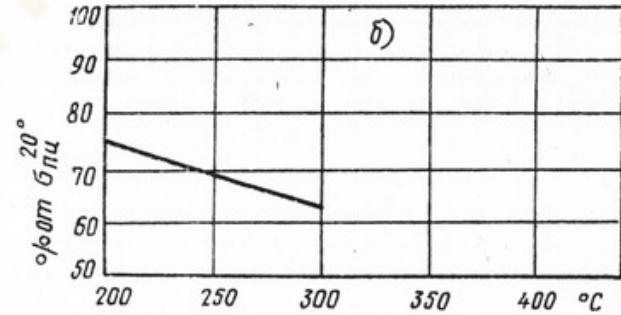
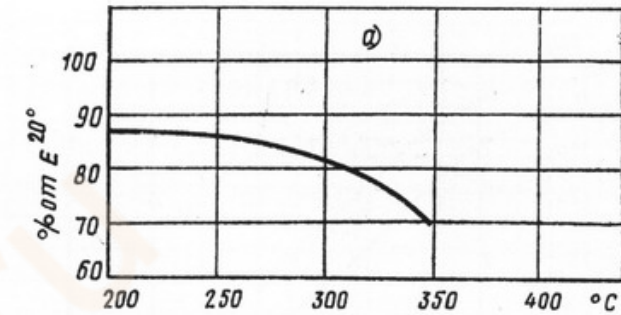


Рис. 1. Механические свойства сплава ВМЛ7-Т6 при высоких температурах (в % от соответствующих свойств при комнатной температуре. Образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм):

а — модуль упругости; б — предел пропорциональности; в — предел текучести.

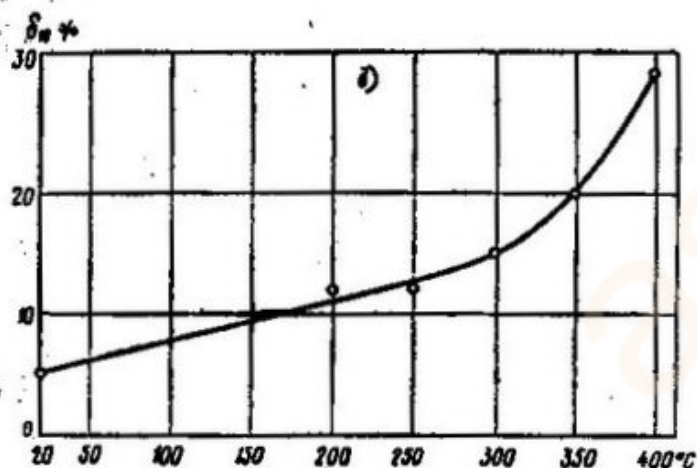
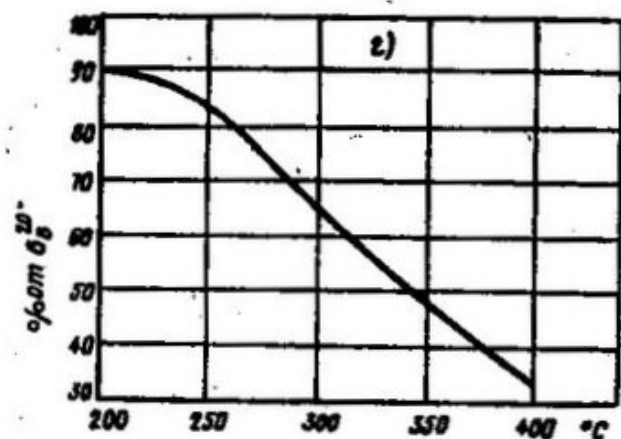


Рис. 1. Механические свойства сплава ВМЛ7-Т6 при высоких температурах (а % от соответствующих свойств при комнатной температуре. Образцы, отдельно отлитые в землю, диаметром 12 мм):

а — предел прочности; б — удлинение в зависимости от температуры испытания (абсолютные значения).

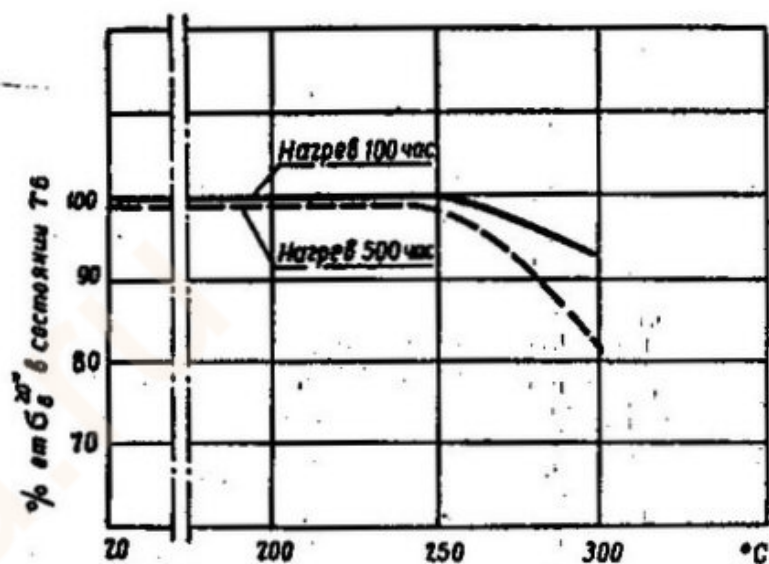


Рис. 2*. Прочность при комнатной температуре сплава ВМЛ7-Т6 после длительных нагревов при 200—250°C. Образцы диаметром 12 мм.

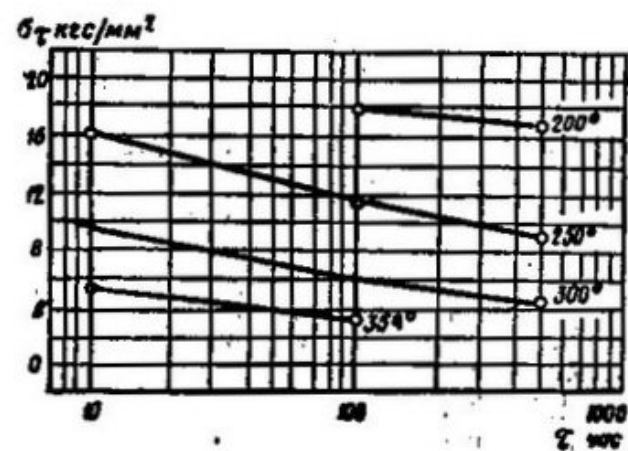


Рис. 3. Пределы длительной прочности сплава ВМЛ7-Т6.

* Пластичность сплава при 20°C после длительных нагревов не изменяется.

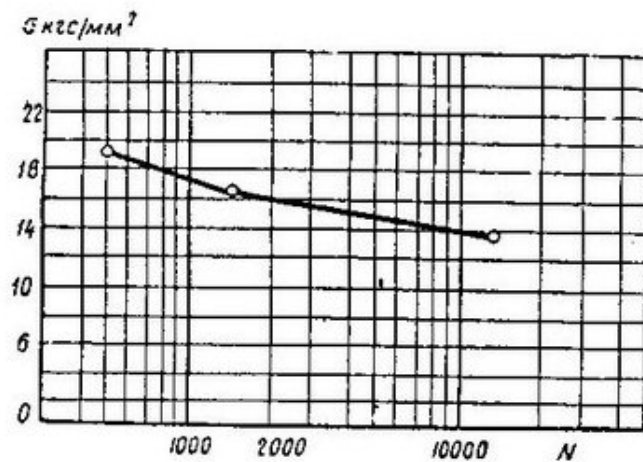


Рис. 4. Малоцикловая усталость сплава ВМ17-Т6 при комнатной температуре на образцах с надрезом, $\alpha_k = 2,2$. Образцы диаметром 10 мм, отлитые в землю.

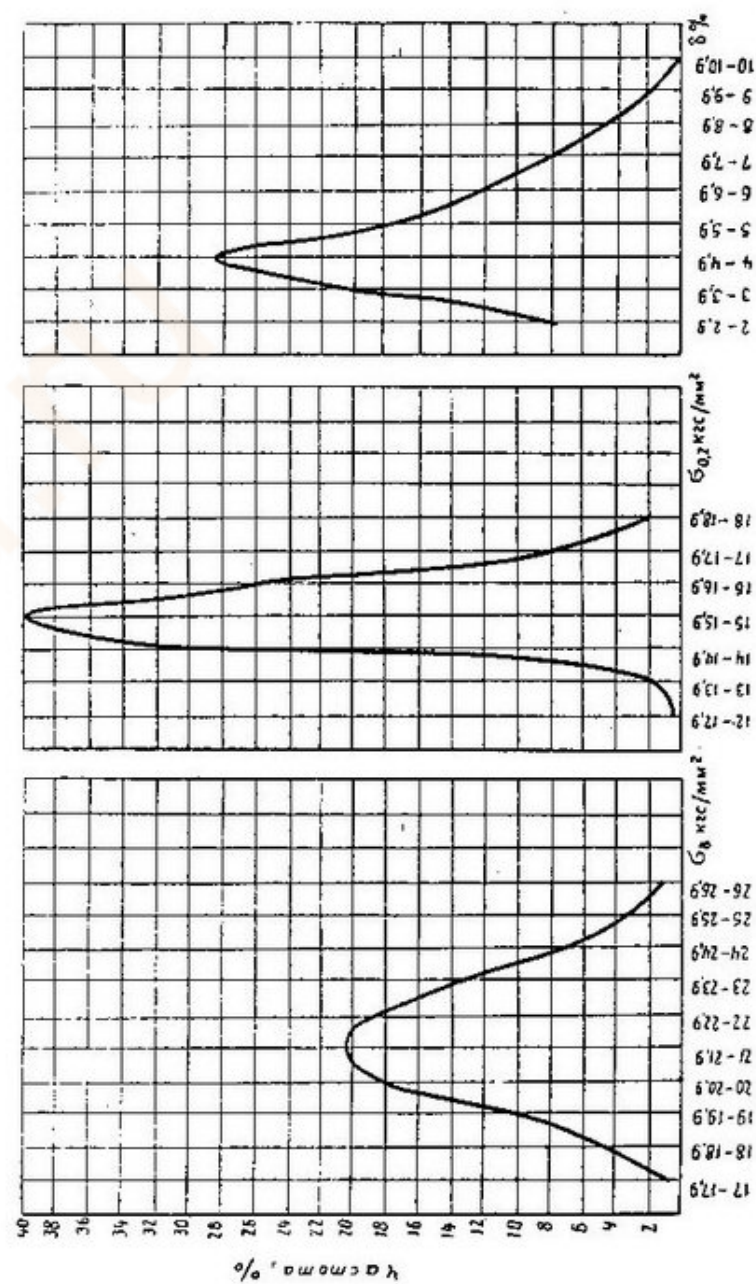


Рис. 5. Кривые нормального распределения механических свойств сплава ВМ17-Т6 при комнатной температуре. Образцы, вырезанные из отливок (литые в землю, испытано 340 образцов):

Глава II

ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ

Основные преимущества титановых сплавов — малая плотность, высокие механические свойства в интервале температур от криогенных (-250°C) до умеренно высоких ($300-600^{\circ}\text{C}$) и отличная коррозионная стойкость в большинстве агрессивных сред. Титановые сплавы в основном нехладноломки. Сплавы с α -структурой (например, ВТ5-1 или титан ВТ1-00) при температуре жидкого водорода имеют прочность вдвое большую, чем при комнатной, удовлетворительную пластичность и могут превосходить коррозионностойкую сталь не только по удельной, но и по абсолютной прочности. При комнатной и высоких температурах титановые сплавы успешно конкурируют с легкими сплавами, коррозионностойкими и конструкционными сталями, превосходя их либо по удельной прочности, либо по коррозионной и эрозивной стойкости. Так, лопатки первых ступеней компрессоров реактивных двигателей изготавливают из титановых сплавов, хотя высокая температура эксплуатации этих деталей создает выгодные условия для применения более дешевых алюминиевых сплавов.

Листовые титановые сплавы находят все более широкое применение как материал для обшивки и силового набора самолетов, особенно сверхзвуковых. По подсчетам специалистов, замена алюминия в конструкции планера сверхзвукового пассажирского лайнера титаном приведет к снижению веса примерно на 6 т, увеличению вместимости на 40 пассажирских мест, а следовательно, и к повышению технико-экономической эффективности (на 23%).

Титановые сплавы выгодно использовать для изготовления крупных штампованных деталей шасси и силовых узлов конструкции крыла и фюзеляжа самолетов дозвуковых скоростей взамен высокопрочной стали. Например, из титана выполнен один из крупных узлов — опорная балка главного шасси пассажирского лайнера Боннг 747 (вес балки 798 кг, длина 12 м и высота 0,9 м).

По прогнозам американских специалистов, в 1980 г. для изготовления планера дозвуковых самолетов будут использованы алюминий (44%), титан (15%), армированные пластики (25%) и

прочие материалы (16%). Вероятно, предел эффективного применения титана в планере дозвуковых самолетов с учетом возможности изготовления из этого металла крепежных деталей, авиаколес, вспомогательного оборудования и бортовых агрегатов составит 15—20%.

В самолетах сверхзвуковых скоростей титан может быть основным конструкционным материалом (90% от веса планера).

В авиационном двигателестроении титановые сплавы уже в конце 60-х годов использовались в качестве основного материала для изготовления узла компрессора (диски, лопатки, промежуточные кольца и др.). Применение титановых сплавов взамен стали позволило благодаря их более высокой удельной жаропрочности снизить вес компрессора на 30—35%.

Недостатками титановых сплавов являются низкие антифрикционные свойства и высокая химическая активность в некоторых условиях (например, при высоких температурах и контакте с сухими галоидами). При трении титан и его сплавы склонны к схватыванию и задиранию, что необходимо учитывать при изготовлении деталей, длительно работающих при больших удельных давлениях. Для повышения износостойкости и уменьшения фрикционной коррозии деталей из титановых сплавов, например, на контактных поверхностях замков лопаток, применяют гальванические покрытия (медью, серебром, хромом и др.), смазки, содержащие дисульфид молибдена, и покрытия твердыми веществами (карбидом вольфрама), наносимые плазменным или детонационным методом.

При определенных сочетаниях концентрации и давления кислорода в реагенте, а также при наличии свежего излома возможно возгорание титана. Кроме того, титановые сплавы склонны к коррозии под напряжением в некоторых средах, в частности в дымящей азотной кислоте. Продукты коррозии в этом случае пиррофорны и воспламеняются при ударе. Поэтому применение титановых сплавов для работы в контакте с подобными реагентами, особенно при температурах и напряжениях, превышающих допустимые, не рекомендуется. В особых случаях возможно загорание титана на воздухе, например, при соприкосновении концов титановых лопаток с титановым корпусом компрессора.

Максимально допустимая рабочая температура зависит от состава сплава и продолжительности работы (ресурса) изделия. Жаропрочные титановые сплавы могут работать при температурах до 500°C в течение 6 000 час, при 550°C — 3 000 час, а при 600°C — не более 500 час. Эти ограничения определяются термической стабильностью сплава (способностью сохранять удовлетворительную пластичность после длительного воздействия рабочих температур) и сопротивлением сплава диффузионному, или «проникающему»,

окислению. Термическая стабильность сплава зависит от его химического состава. Чем меньше в сплаве нестабильных фаз (например, α_2 -фазы, возникающей при высоком содержании алюминия), тем выше термическая стабильность.

Титан способен образовывать твердые растворы с кислородом, что и определяет особый характер его окисления. При повышенной температуре кислород медленно диффундирует в глубь титана, образуя твердый хрупкий «альфированный» слой. При определенной температуре и выдержке может произойти сквозное охрупчивание детали, что особенно опасно для таких тонких и тяжело нагруженных деталей, как лопатки высоких ступеней компрессора. «Проникающее» окисление является основным препятствием, не позволяющим повысить рабочую температуру титановых сплавов: для его предотвращения необходимо применять защитные покрытия, например, получаемые алитированием.

Титановые сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью во всеклиматических условиях при температурах до 300°C. Возможность применения этих сплавов и покрытий при более высоких температурах в условиях отложения на поверхности деталей галонидных солей в процессе эксплуатации, а также при контакте с фторированными резинами необходимо согласовывать с ВИАМ в каждом конкретном случае.

Титановые сплавы могут свариваться всеми видами сварки при условии соблюдения надлежащих мер защиты*. Наиболее хорошей свариваемостью обладают технический титан и сплавы с α -структурой. Титановые сплавы удовлетворительно обрабатываются резанием**.

В настоящем справочнике титановые сплавы группируются по способу изготовления, уровню прочности и целевому назначению.

Деформируемые сплавы

Сплавы повышенной пластичности (предел прочности в отожженном состоянии не более 60 кгс/мм²) — технический титан ВТ1-00, ВТ1-0, низколегированные сплавы ОТ4-0 и ОТ4-1, применяемые в основном в виде листов, штамповка которых может осуществляться в холодном состоянии.

Сплавы средней прочности (предел прочности в отожженном состоянии 60—100 кгс/мм²) — α -сплавы ВТ5 и ВТ5-1, псевдо- α -сплавы ОТ4, ВТ4, ВТ20 и $\alpha + \beta$ -сплавы ВТ6С, ВТ6*** и ВТ16. Сплавы этой группы обладают удовлетворительной техно-

* Инструкция НИАТ № ПИ 126-67.

** ТР-180-69, НИАТ.

*** После упрочняющей термической обработки предел прочности выше 100 кгс/мм².

гической пластичностью, но их листовая штамповка должна, как правило, проводиться с подогревом.

Высокопрочные сплавы (предел прочности выше 100 кгс/мм²) — ВТ6, ВТ14, ВТ15, ВТ22 и опытный ВТ23. Для получения гарантированной прочности сплавы (за исключением ВТ22) должны подвергаться упрочняющей термической обработке. Сплав ВТ22, имеющий в отожженном состоянии гарантированный предел прочности выше 110 кгс/мм², не требует упрочняющей термической обработки, что является большим технологическим преимуществом.

Жаропрочные сплавы (предел прочности в отожженном состоянии ~100 кгс/мм², после ВТМО или упрочняющей термической обработки — выше 120 кгс/мм²) — двухфазные сплавы ВТ3-1*, ВТ8, ВТ9, ВТ25 (опытный), α -сплав ВТ18 (опытный). Мало отличаясь от сплавов предыдущей группы по прочности при комнатной температуре, сплавы этой группы имеют более высокую прочность при 400—600°C. Применяются для изготовления штампов.

Литейные сплавы

Большинство промышленных деформируемых титановых сплавов (системы Ti—Al) обладают удовлетворительными литейными свойствами, поскольку имеют небольшой температурный интервал кристаллизации. В настоящее время в качестве литейных применяются α -сплав ВТ5Л, псевдо- α -сплавы ВТ20Л и ВТ21Л, двухфазные сплавы ВТ3-1Л, ВТ6Л и ВТ9Л. Для фасонного литья чаще всего используется сплав ВТ5Л (предел прочности выше 70 кгс/мм²). Сплав ВТ21Л, имеющий гарантированный предел прочности 100 кгс/мм², из-за сравнительно невысоких литейных свойств может применяться лишь для отливок простой конфигурации. Остальные литейные сплавы имеют предел прочности от 85 до 95 кгс/мм². Применение фасонного литья для изготовления деталей сложной конфигурации способствует повышению коэффициента использования металла и снижению трудоемкости. Однако необходимо учитывать, что литейные титановые сплавы имеют предел выносливости** на 40—60% ниже, чем деформируемые, и более низкую пластичность.

* В некоторых случаях может использоваться как высокопрочный.

** Для всех титановых сплавов предел выносливости гладких и надрезанных ($\alpha_k = 2.2$) образцов определяли при знакопеременном изгибе.

ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ТИТАН	BT1-00
-------------------	--------

Химический состав в % по ОСТ1 90013-71

Ti	C	Fe	Si	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
не более							
Основа	0,05	0,20	0,08	0,10	0,04	0,008	0,10

Примечания. 1. Допускается $\leq 0,30\%$ Al (кроме сварочной проволоки).
2. В сварочной проволоке допускается $\leq 0,003\%$ H₂, $\leq 0,20\%$ Al, $\leq 0,15\%$ Fe, $\leq 0,12\%$ O₂.

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм ²	δ_5	ψ	$a_{\text{н}}$ кгс·м/см ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{\text{отп}}$) мм		
				%					не менее	
Лист толщиной (в мм):	AMTY 475-1-67	Отож- женные с после- дующей проглад- кой	30-45	25	—	—	≥ 140	—		
	ОСТ1 90042-71			30	—		140-80	—		
	—			25	—		≥ 80	—		
	—			20	—		≥ 80	—		
Плита толщи- ной 12-60 мм	ОСТ1 90024-71	Горя- чеката- ные	30-45	14	30*	—	—	—		
Лента толщи- ной (в мм):	ОСТ1 90027-71	Отож- женные	—	—	—	—	По Эрик- сену	$\geq 4,5$		
							—	—	—	—
							30-45	45	—	—
—	—	—	30-45	35	—	—	—	—		

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм ²	δ_5	ψ	$a_{\text{н}}$ кгс·м/см ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{\text{отп}}$) мм	
				%					не менее
Пруток ката- ный диаметром 10-60 мм	AMTY 451-67	Отож- женные	30-45	25	55	12	—	4,9- 5,5	
Пруток ката- ный крупногаба- ритный диаметром (в мм):	ТУ1-92- 6-72	То же	65-100 **	30-45	25	55	12	4,9- 5,5	
				27-45	21	36	6	4,9- 5,5	
				101-150 ***	—	—	—	—	
Пруток кованный диаметром или со стороной квадрата (в мм):	AMTY 534-67	»	65-100 **	30-45	25	55	12	4,9- 5,5	
				27-45	21	36	6	4,9- 5,5	
				151-250 ***	27-45	19	34	6	4,9- 5,5
Штамповка и псковка толщиной (в мм):	ОСТ1 90000-70	»	до 100 **	30-45	25	55	12	4,9- 5,5	
				27-45	21	36	6	4,9- 5,5	
				101-150 ***	27-45	19	34	6	4,9- 5,5
				151-250 ***	—	—	—	—	
Труба с наруж- ным диаметром 6-62 мм	ОСТ1 90050-72	»	30-45	20	—	—	—	—	
				$(\delta_{11,3\sqrt{F_0}})$		—	—	—	
Труба повыше- ного качества с наружным диа- метром 8-30 мм	ОСТ1 90065-72	»	30-45	25	—	—	—	—	
				$(\delta_{11,3\sqrt{F_0}})$		—	—	—	

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	σ_b кгс/мм ²	δ_b	ψ	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{отп}$) мм
				%				
				не менее				
Труба сварная с паружным диа- метром 25—102 мм	ОСТ1 90051—72	Отж- женные	30—45	20	—	—	—	—
Проволока сва- рочная диамет- ром 1,0—7,0 мм	ОСТ1 90015—71	То же	≤43	15 (δ_{100})	—	—	—	—

- * Свойства факультативны.
 ** В продольном направлении.
 *** В поперечном направлении.

Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Температура испытания °C	E	$\sigma_{0,2}$	σ_a	σ_b^H	$\sigma_{0,2}^H$	δ	ψ	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²
Пруток кованый диаметром 14 мм	Отж- женный	-253	—	85	120	—	—	10	40	8
		-196	—	50	85	95	1,11	15	50	10
		20	11 000	27	40	65	1,62	20	60	12
		100	10 400	20	31	—	—	20	60	—
		150	9 500	15	26	—	—	20	60	—
		200	9 000	11	21	—	—	20	60	—

Физические свойства

Плотность $d=4500$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20— 100	20— 200	20— 300	20—400	20—500	20—600	20—700
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,2	8,6	8,8	9,1	9,3	9,5	9,6

Температура °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,9	9,3	9,8	10,2	10,4	10,5

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20	100	200	300	400	500	600
λ вт/м·град	19,3	18,9	18,4	18,0	18,0	18,0	18,0

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400	500	600
c кдж/кг·град	0,503	0,545	0,566	0,587	0,628	0,670

Удельное электросопротивление при 20°C

$\rho \cdot 10^6 = 48,7$ ом·см.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг листов	520—540	0,5	На воздухе
Отжиг прутков, поковок, штамповок и труб	670—690	1	То же
Неполный отжиг	445—485	0,25—1	»

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температура деформации °С		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитков	1050	750	20—30	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки толщиной до 100 мм	950	700	40	То же
Штамповка на прессе	890	650	40—50	»
Штамповка на молоте	920	700	40—50	»

Штампуемость*

Температура °С	Вытяжка $K_{раб}$	Отбортовка $K_{раб}$	Выдавка $K_{раб}$ %	Гибка на угол 90° r_{min}
20	1,5—2,0	1,4—1,8	12—20	1,0—3,0 s **
550—600	1,8—2,0	—	15—25	0,5—1,5 s

* Инструкция ВИАМ № 642-71.

** s — толщина листа.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Механические свойства сварных соединений при 20°С		
				σ_b кгс/мм ²	σ_{II} кгс·м/см ²	угол изгиба град
BT1-00+BT1-00	ААрДЭС	BT1-00	Неполный отжиг	0,9 σ_b основного материала	≥ 7	135 * 110 **

* Толщина листа 1,5 мм.

** Толщина листа 3,0 мм.

Применение

Сварочная проволока, малонагруженные детали сложной конфигурации, длительно работающие при температурах до 150°С, и детали, работающие при низких температурах (до -253°С).

ТЕХНИЧЕСКИЙ ТИТАН

BT1-0

Химический состав в % по ОСТ1 90013—71

Ti	C	Fe	Si	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
	не более						
Основа	0,07	0,30	0,10	0,20	0,04	0,010	0,30

Примечание. Допускается содержание $\leq 0,7\%$ Al.

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	σ_b кгс/мм ²	δ_5 %		ψ %	σ_{II} кгс·м/см ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{отп}$) мм
				не менее					
Лист толщиной (в мм):	АМТУ 475-2-67	Отожженные с последующей проглажкой	40—55	25	—	—	≥ 140	—	—
			40—55	30	—	—	140—80	—	—
			40—55	25	—	—	≥ 80	—	—
			40—55	20	—	—	≥ 80	—	—
Плита толщиной (в мм):	ОСТ1 90024—71	Горячекатаные	40—55	13	27*	—	≥ 40	—	—
			40—55	13	27	—	—	—	—
Лента толщиной (в мм):	ОСТ1 90027—71	Отрженные	—	—	—	—	—	По Эриксену $\geq 4,5$	
			35—50	45	—	—	—	—	
			35—50	35	—	—	—	—	
Пруток катаный диаметром 10—60 мм	АМТУ 451-67	То же	40—55	20	50	10	—	4,7—5,2	

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	σ_B кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_n кгс-м/см ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{отп}$) мм	
				%					
				не менее					
Пруток ката- ный крупногаба- ритный диаметром (в мм):	ТУ1-92- -6-72	Отж- женные	40—55	20	50	10	—	4,7— 5,2	
				65—100 **	36—55	17	32,5	5	—
Пруток кованый диаметром или со стороной квадрата (в мм):	АМТУ 534-62	То же	40—55	20	50	10	—	4,7— 5,2	
				65—100 **	36—55	17	32,5	5	—
Штамповка и поковка толщиной (в мм):	ОСТ1 90000—70	»	40—55	20	50	10	—	4,7— 5,2	
				до 100 **	36—55	17	32,5	5	—
Труба с наруж- ным диаметром 6—62 мм	ОСТ1 90050—72	»	40—55	15	—	—	—	—	
				101—150 ***	36—55	17	32,5	5	—
Труба повышен- ного качества с наружным диа- метром 8—30 мм	ОСТ1 90065—72	»	40—55	20	—	—	—	—	
				151—250 ***	36—55	15	30	5	—

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	σ_B кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_n кгс-м/см ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{отп}$) мм	
				%					
				не менее					
Труба сварная с наружным диа- метром 25—102 мм	ОСТ1 90051—72	Отж- женные	40—55	15	—	—	—	—	
				$(\delta_{11,3\sqrt{F_0}})$					

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Температура испытания °C	E	$\sigma_{0,2}$	σ_B	σ_B^p	σ_B^H	δ	ψ	a_n кгс-м/см ²
			кгс/мм ²						%	
Пруток кованый диаметром 14 мм	Отж- женный	-253	—	110	120	—	—	10	35	6
		-196	—	75	97	109	1,13	20	48	8
		20	11000	38	50	68	1,36	30	55	10
		100	10400	30	42	—	—	30	55	—
		150	9500	25	35	—	—	30	55	—
		200	9000	21	30	—	—	30	55	—

Физические свойства

Плотность $d=4500$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20— 100	20— 200	20— 300	20—400	20—500	20—600	20—700
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,2	8,6	8,8	9,1	9,3	9,5	9,6

Температура °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,9	9,3	9,8	10,2	10,4	10,5

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	20	100	200	300	400	500	600
λ вт/м·град	19,3	18,9	18,4	18,0	18,0	18,0	18,0

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400	500	600
c кдж/кг·град	0,503	0,545	0,566	0,587	0,628	0,670

Удельное электросопротивление при 20°C
 $\rho \cdot 10^6 = 48,7$ ом·см.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг листов	520—540	0,5	На воздухе
Отжиг прутков, ковок, штамповок и труб	670—690	1	То же
Неполный отжиг	445—485	0,25—1	>

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условие охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитков	1050	750	20—30	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки толщиной до 100 мм	950	700	≥ 40	То же
Штамповка на прессе	890	650	40—50	>
Штамповка на молоте	920	700	40—50	>

Штампуемость*

Температура °C	Вытяжка K _{раб}	Отбортовка K _{раб}	Выдавка K _{раб} %	Гибка на угол 90° r _{мин}
20	1,5—2,0	1,4—1,8	12—20	1,0—3,0 s**
550—600	1,8—2,0	—	15—25	0,5—1,5 s

* Инструкция ВИАМ № 642-71.

** s — толщина листа.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Механические свойства сварных соединений при 20°C		
				σ_s кгс/мм ²	σ_b кгс·м/см ²	угол изгиба град
BT1-0+BT1-0	AApДЭС	BT1-00	Неполный отжиг	0,9 σ_s основного материала	≥ 7	135* 110**

* Толщина листа 1,5 мм.

** Толщина листа 3,0 мм.

Применение

Сварочная проволока, малонагруженные детали сложной конфигурации, работающие при температурах до 150°C, и детали, работающие при низких температурах (до -253°C).

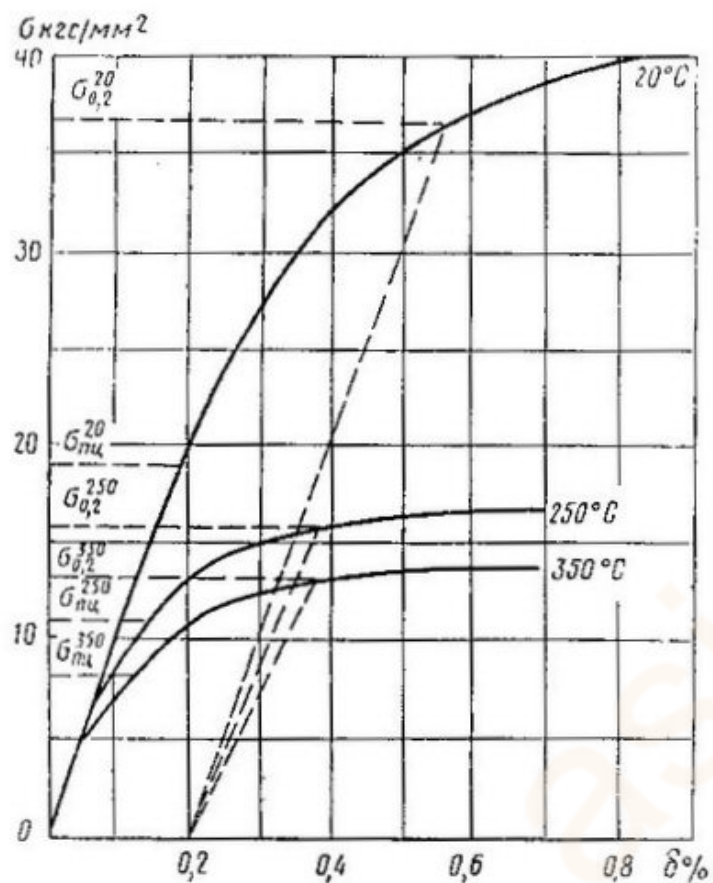


Рис. 1. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава ВТ1-0 при комнатной и высоких температурах. Отожженный лист толщиной 1,0 мм; $\sigma_0^{20^\circ} = 50 \text{ кгс/мм}^2$.

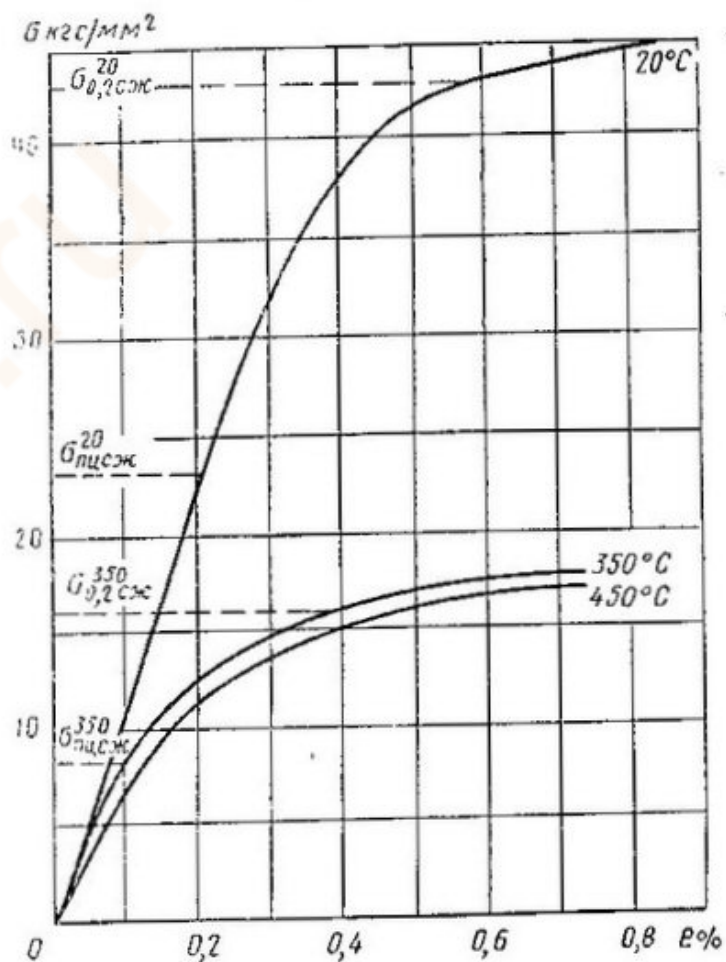


Рис. 2. Диаграммы сжатия до предела текучести сплава ВТ1-0 при комнатной и высоких температурах. Отожженный лист толщиной 1,0 мм; $\sigma_0^{20^\circ} = 50 \text{ кгс/мм}^2$.

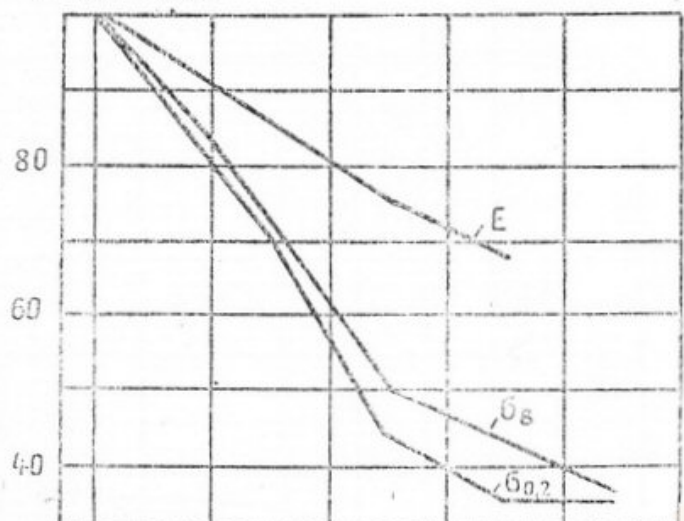
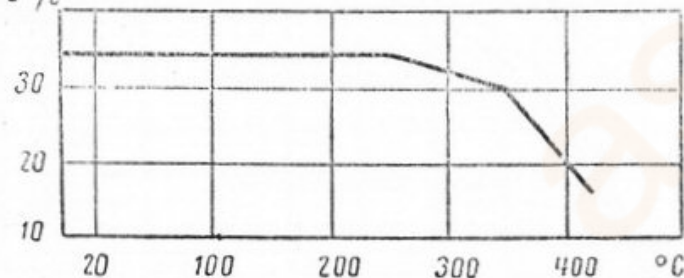
$E, \sigma_{0,2}, \sigma_B \%$  $\delta \%$ 

Рис. 3. Зависимость механических свойств сплава ВТ1-0 от температуры испытания ($\sigma_B, \sigma_{0,2}, E$ в % от показателей при комнатной температуре). Отожженный лист толщиной 1,0 мм, $\sigma_B^{20} = 50 \text{ кгс/мм}^2$.

СПЛАВ ПОВЫШЕННОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ

ОТ4-0

Химический состав в % по ОСТ1 90013-71

Ti	Al	Mn	C	Fe	Si	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
Основа	0,2—1,4	0,2—1,3	0,10	0,30	0,15	0,30	0,15	0,05	0,012	0,30

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	σ_B кгс/мм ²	δ_5	ψ	α_n кгс·м/см ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{отп}$) мм					
				%									
				не менее									
Лист толщиной (в мм):	АМТУ 475-10-67	Отожженные с последующей проглажкой	50—65	25	—	—	≥ 140	—					
	0,3—0,4								ОСТ1 90042-71	30	—	—	140—80
	0,5—1,8								—	25	—	—	≥ 80
	2,0—6,0								—	20	—	—	≥ 80
Лента толщиной (в мм):	ОСТ1 90027-71	Отожженные	—	—	—	—	—	По Эриксену ≥ 3,0					
	0,10—0,25								—	—	—	—	
	0,30—1,45								45—65	25	—	—	—
Плита толщиной (в мм):	ОСТ1 90024-71	Горячекатаные	50—65	12	24*	—	—	—					
	12—20								50—65	11	24*	—	—
Пруток катаный диаметром 10—60 мм	АМТУ 451-67	Отожженные	50—65	20	45	7	—	4,2—4,8					
	—								—	—	—	—	

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	$\sigma_{0.2}$ кгс/мм ²	δ_5	ψ	$\alpha_{0.2}$ кгс·м/см ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{0.2}$) мм
				%				
				не менее				
Пруток катаный крупногабаритный диаметром (в мм): 65—100** 101—150***	ТУ1-92-6-72	Отожженные	50—65	20	45	7	—	4,2— 4,8
			45—65	17	30	5	—	4,2— 4,8
Пруток кованый диаметром или стороной квадрата (в мм): 65—100** 101—250***	АМТУ 534-67	То же	50—65	20	45	7	—	4,2— 4,8
			45—65	17	30	5	—	4,2— 4,8
Штамповка и ковка телничной (в мм): до 100** 101—250***	ОСТ1 90030—70	»	50—65	20	45	7	—	4,2— 4,8
			45—65	17	30	5	—	4,2— 4,8
Труба с наружным диаметром 6—62 мм	ОСТ1 93050—72	»	50—65	15	—	—	—	—
Труба повышенного качества с наружным диаметром 8—30 мм	ОСТ1 90065—72	»	50—65	18	—	—	—	—
Труба сварная с наружным диаметром 25—102 мм	ОСТ1 90051—72	»	50—65	15	—	—	—	—

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Температура испытания °С	E	$\sigma_{0.2}$	$\sigma_{0.2}$	σ_b	δ_{10}	ψ	$\alpha_{0.2}$ кгс·м/см ²	НВ кгс/мм ²	
			кгс/мм ²				%				
Лист	Отожженный	20	11 500	25	50	55	15	40	10	200	
		250	—	18	28	33	20	—	—	—	
		300	8 700	12	26	32	15	—	—	—	
	Пруток	То же	250	8 600	21	24	34	18	60	—	—
			300	8 300	19	20	30	14	—	—	—
			400	7 900	17	19	29	13	—	—	—
500	7 200	13	17	29	15	—	—	—			

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпе- ратура испы- тания °С	σ_{100}	σ_{500}	$\sigma_{0.2,100}$	σ_{-1}	σ_{-1}^n
						на базе 10 ⁷ циклов	
кгс/мм ²							
Лист	Отожженный	300	—	30	26	—	—
		400	—	—	15	—	—
Пруток диаметром 20 мм	То же	20	—	—	—	32	24
		300	34	—	20	22	—
		400	—	—	16	22	—

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ_5 %	Угол изгиба град	$\alpha_{0.2}$ кгс·м/см ²
	темпе- ратура °С	время час				
Отожженный лист	Исходное состояние		55	30	80	15
	200	500	56	26	78	12
	300	500	56	25	76	9
	450	500	57	29	73	9

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

Физические свойства

Плотность $d = 4510 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20— 500	20— 600	20— 700
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	8,0	8,2	8,5	8,7	8,9	9,1	9,3

Температура °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	8,5	9,0	9,5	9,9	10,1	10,2

Коэффициент теплопроводности

Температура °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\lambda \text{ вт/м} \cdot \text{град}$	13,0	13,8	14,2	15,1	16,3	17,6	18,0	18,8	20,1

Удельная теплоемкость

Температура °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$c \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$	0,544	0,586	0,628	0,670	0,712	0,755	0,838	0,879	0,921

Удельное электросопротивление

Температура, °C	20	100
$\rho \cdot 10^6 \text{ ом} \cdot \text{см}$	76,7	91

Степень черноты полного нормального излучения

Состояние поверхности	$\epsilon_{\text{н}}$ при температуре в °C								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Травленая	0,15	—	0,20	—	0,25	0,3	0,49	0,54	0,5

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг листов и деталей из них	590—610	0,25—1	На воздухе
Отжиг прутков, поковок и штамповок	690—710	0,25—1	На воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условие охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	950—1050	750	30—50	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготов- ки	950	700	40—70	То же
Штамповка на прессе	860—890	650	40—70	»
Штамповка на молоте	870—950	700	40—70	»

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Штампуемость*

Толщина листа мм	Вытяжка $K_{\text{вр}}$	Гибка на угол 90° r_{min}	Толщина листа мм	Отбортовка $K_{\text{пр}}$	Выдавка $K_{\text{пр}}$ %
До 1	1,55—1,85	1,5—2,0 s**	0,3—0,7	1,4—1,65	12—15
1—3	1,85—2,0	1,8—2,2 s	0,8—1,5	1,7—1,75	18—20
Более 3	1,5—1,65	2,5—3,5 s	1,6—3,0	1,5—1,6	15—18

* Инструкция ВИАМ № 642-71.

** s — толщина листа.

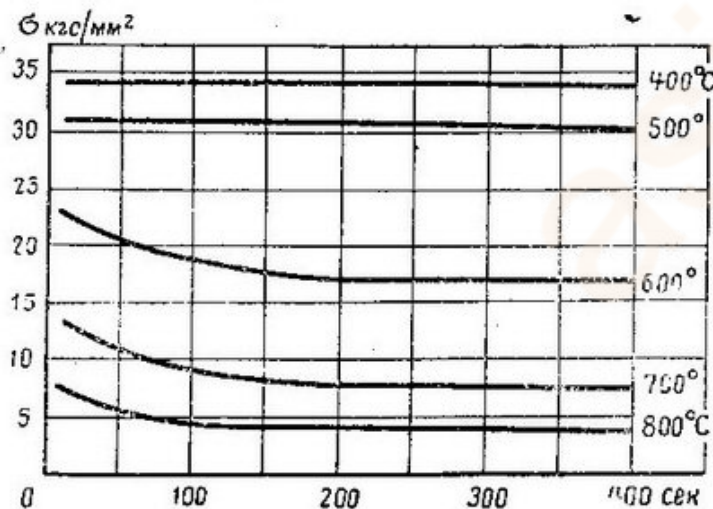
Свариваемость

Свариваемый материал	Метод сварки	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Температура испытания, °C	Механические свойства сварных соединений			
					σ_B	σ_{100}	σ_{-1}^*	Угол изгиба град
					кгс/мм ²			
OT4-0+ +OT4-0	ЛАрДЭС	Без присадки	Без термической обработки	20	50-65	—	22	100-130
				300	30-37	37	19	—
				400	25-30	—	—	—

* На базе 10^7 циклов.

Применение

Сварные узлы и детали, длительно работающие (5000 час) при температурах до 300°C.

Секундная прочность сплава OT4-0 при высоких температурах. Отожженная плита толщиной 20 мм, $\sigma_B = 61$ кгс/мм².

СПЛАВ ПОВЫШЕННОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ

OT4-1

Химический состав в % по ОСТ1 90013-71

Ti	Al	Mn	C	Fe	Si	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
Остаток	1,0-2,5	0,7-2,0	0,10	0,30	0,15	0,30	0,15	0,05	0,012	0,30

Примечание. В сварочной проволоке содержание H₂ ≤ 0,008%.

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	Температура испытания, °C	σ_B кгс/мм ²	δ_5	ψ	σ_{100} кгс/мм ²	Угол изгиба град	σ_{100} кгс/мм ²	НВ (отп) мм
Лист толщиной (в мм):	АМТУ 475-4-67, АМТУ 551-69*, ОСТ1 90042-71 (сортмент)	Отожженные с последующей проглажкой	20	60-75	20	—	—	≥ 120	—	—
				60-75	25	—	—	≥ 100	—	—
				60-75	20	—	—	50-70	—	—
				60-75	15	—	—	≥ 60	—	—
				60-75	13	—	—	≥ 60	—	—
				350	≥ 33	—	—	—	—	≥ 32
Плита толщиной (в мм):	ОСТ1 90024-71	Горячекатаные	20	60-75	10	21**	—	—	—	—
				60-75	9	21**	—	—	—	—
				60-75	9	21**	—	—	—	—

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Температура испытания, °С	σ_a кгс/мм ²	δ_5	ψ	σ_H кгс·м/см ²	Угол изгиба град	σ_{100} кгс/мм ²	НВ ($d_{отп}$) мм				
					%									
					не менее									
Пруток катаный диаметром (в мм): 10—24 25—60	АМТУ 451-67	Отож- женные	20	65—80	15	35	4,5	—	—	3,8— 4,3				
				60—75	15	35	4,5	—	—	3,8— 4,3				
Пруток катаный крупногаба- ритный диа- метром (в мм): 65—100*** 101—150****	ТУ1- 92-6-72	То же	20	60—75	15	35	4,5	—	—	3,8— 4,3				
				55—75	12	23	4	—	—	3,8— 4,3				
				Пруток кованый диаметром или со сто- роной квад- рата (в мм): 65—100*** 101—150**** 151—250****	АМТУ 534-67	»	20	60—75	15	35	4,5	—	—	3,8— 4,3
								55—75	12	23	4	—	—	3,8— 4,3
Штампов- ка и поков- ка толщи- ной (в мм): до 100*** 101—150**** 151—250****	ОСТ1 90000—70	»	20	60—75	15	35	4,5	—	—	3,8— 4,3				
				55—75	12	23	4	—	—	3,8— 4,3				
				55—75	10	23	4	—	—	3,8— 4,3				

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Температура испытания, °С	σ_a кгс/мм ²	δ_5	ψ	σ_H кгс·м/см ²	Угол изгиба град	σ_{100} кгс/мм ²	НВ ($d_{отп}$) мм
					%					
					не менее					
Труба с наружным диаметром 22—62 мм	ОСТ1 90050—72	Отож- женные	20	60—75	15	—	—	—	—	—
				$(\sigma_{н.з.В.F.})$						
Кольцо сварное с шириной полки (в мм): до 80 более 80	АМТУ 529-7-68	То же	20	60—80	15	35	4,5	—	—	3,8— 4,3
				60—80	12	28	4	—	—	3,8— 4,3
				сварной шов	20	55—80	8	20	3	—
Проволо- ка свароч- ная диамет- ром (в мм): 1,0—1,4 1,5—3,0 3,5—7,0	ОСТ1 90015—71	»	20	≤80	7,5	—	—	—	—	—
				≤80	9	—	—	—	—	—
				≤80	12	—	—	—	—	—
				(δ_{100})						

* Свойства при комнатной температуре.

** Свойства факультативны.

*** В продольном направлении.

**** В поперечном направлении.

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0.2}$	σ_b	δ %
Лист толщиной 0,5—10,0 мм	Отожженный	20	11 000	40	57	70	30
		250	8 800	27	38	45	30
		300	8 400	26	37	43	28
		350	8 000	26	35	41	27
		400	—	—	33	38	22

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ_{100}	σ_{100}^H		$\sigma_{100}^H / \sigma_{100}$	$\sigma_{0.2/100}$	$\sigma_{0.2,2000}$	σ_{-1}	σ_{-1}^H
				$\alpha_k = 2.5$	$\alpha_k = 4.5$					
				кгс/мм ²						
Лист толщиной 0,5—10 мм	Отожженный	20	—	—	—	>1	—	—	36	—
		250	—	—	—	>1	—	—	—	—
		300	—	46	50	>1	33	26*	—	—
		350	34	—	—	>1	—	—	—	—
		400	29	—	—	—	19	—	20	—
Прутки	То же	20	—	—	—	—	—	—	45	35
		400	—	—	—	—	—	—	23	13

* Лист толщиной 2,0 мм.

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ_{10} %	Угол изгиба град	$a_{т.у}$ кгс·м/см ²
	температура °С	время час				
Отожженный	Исходное состояние		72	17	85	12,5
	200	3 000	73	16,5	75	—
		5 000	74	14,5	81	—
		10 000	74	15	70	15
		20 000	74	16	82	13
		30 000	74	15	99	—
	300	3 000	74	18	74	9
		5 000	75	16	77	—
		10 000	76	16	72	9,5
		20 000	76	16	81	7,5
		30 000	76	17	81	—

Физические свойства

Плотность $d = 4550$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °С	20—100	20—200	20—300	20—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,0	8,3	8,5	8,8

Температура, °С	100—200	200—300	300—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,6	9,1	9,6

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	100	200	300	400	500	600
λ вт/м·град	10,5	11,3	12,2	13,4	14,7	16,3

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600
c кдж/кг·град	0,503	0,566	0,628	0,670	0,755	0,838

Удельное электросопротивление

Температура, °C	20	100
$\rho \cdot 10^6$ ом·см	101	114

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг листов и деталей из них	640—660	0,25—1	На воздухе
Отжиг прутков, поковок, штамповок, труб, профилей и деталей из них	740—760	0,25—1	То же

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации, °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	950—1050	750	30—50	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки	880—950	750	40—70	То же
Штамповка на прессе	880—910	700	40—70	»
Штамповка на молоте	890—950	750	40—70	»

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Штампуемость*

Толщина листа мм	Вытяжка $K_{пр}$	Гибка на угол 90° r_{min}	Толщина листа мм	Отбортовка $K_{от}$	Выдавка $K_{вд}$ %
До 1	1,55—1,8	1,8—2,5 s**	0,3—0,7	1,35—1,5	12—15
1—3	1,8—1,85	2,0—2,5 s	0,8—1,5	1,6—1,7	18—20
Более 3	1,45—1,6	2,5—3,5 s	1,6—3,0	1,45—1,55	15—18

* Инструкция ВИАМ № 642-71.

** s — толщина листа.

Свариваемость

Механические свойства сварного соединения при комнатной температуре

Свариваемый материал	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	$\sigma_{св}$ кгс/мм ²	Угол изгиба град	$\sigma_{т.у}$ кгс·м/см ²
OT4-1+ +OT4-1	ААрДЭС	2,0	Без присадки	Без термической обработки	74	70	5,8

Механические свойства сварного соединения при комнатной температуре после длительных нагревов

Свариваемый материал	Термическая обработка после сварки	Режим нагрева		σ_B	σ_{-1}^*	Угол изгиба град	$\sigma_{т.у}$ кгс/мм ²	N при $\sigma_{max} = 0,8 \sigma_B$ циклы	
		температура °C	время час						
OT4-1+ +OT4-1	Без термической обработки	Исходное состояние		74	23	70	5,8	12 800	
		200	3000	73	—	90	5,2	12 105	
			10000	—	—	—	4,2	—	
			20000	74	—	90	—	10 150	
		300	30000	—	—	—	6,1	—	
			3000	3000	76	—	81	5,8	8 799
				10000	—	—	—	3,6	—
			20000	75	18	75	4,8	10 350	
30000	—	—	—	5,9	—				

* На базе 10^7 циклов.

Применение

Сварные узлы, детали и изделия, в том числе тонкостенные детали сложной конфигурации, длительно работающие при температурах до 300°C (30 000 час) и при 350°C (2000 час).

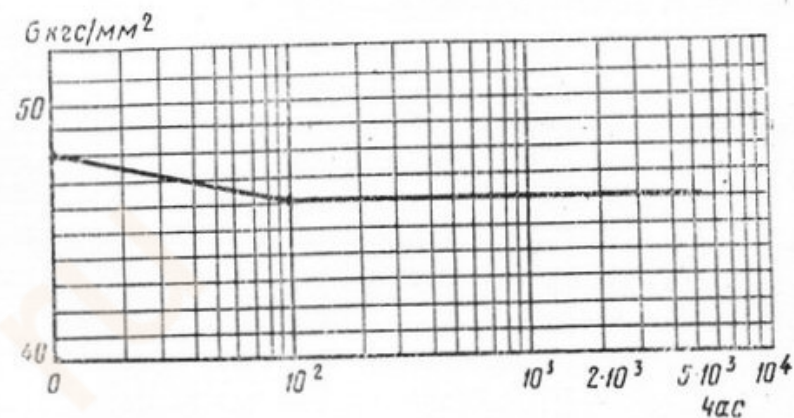


Рис. 1. Длительная прочность титанового сплава OT4-1 при 300°C. Отожженный лист, $\sigma_B = 48$ кгс/мм².

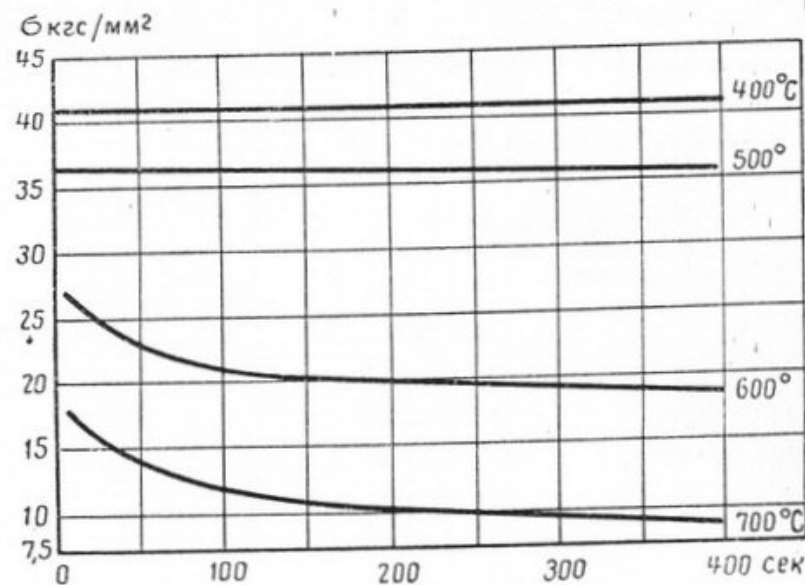


Рис. 2. Секундная прочность сплава OT4-1 при высоких температурах. Отожженный лист толщиной 1,0 мм, $\sigma_B = 69$ кгс/мм².

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ										ОТ4
Химический состав в % по ОСТ1 90013-71										
Ti	Al	Mn	C	Fe	Si	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
не более										
Основа	3,5—5,0	0,8—2,0	0,10	0,30	0,15	0,30	0,15	0,05	0,012	0,35

Примечание. В сварочной проволоке содержание H₂ ≤ 0,008%.

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние конт- рольных образцов	Температура испытания, °С	σ _т кгс/мм ²	δ ₅		ψ	α _н кгс·м/см ²	Угол изгиба град	σ ₁₀₀ кгс/мм ²	НВ (d _{срн}) мм
					%						
не менее											
Лист тол- щинной (в мм):	АМТУ 475-3-67, ОСТ1 90042-71 (сорта- мент)	Отож- женные с после- дующей проглад- кой	20	70—85	20	—	—	—	80—70	—	—
			70—90	15	—	—	≥60	—	—		
			70—90	12	—	—	≥50	—	—		
			350	≥43	—	—	—	≥10	—		
400	≥40	—	—	—	—	≥37	—	—	—		
0,5—1,0 1,2—1,8 2,0—10,0	АМТУ 551-69	То же	20	75—90	20	—	—	—	80—70	—	—
			75—90	15	—	—	≥60	—	—		
			75—90	12	—	—	≥50	—	—		
Плита толщинной (в мм):	ОСТ1 90024-71	Горяче- катание	20	70—90	8	20*	—	—	—	—	—
			70—90	7	20*	—	—	—	—		
Пруток катанный диаметром 10—60 мм	АМТУ 451-67	Отож- женные	70—90	11	30	4	—	—	—	3,6— 4,2	—

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние конт- рольных образцов	Температура испытания, °С	σ _т кгс/мм ²	δ ₅		ψ	α _н кгс·м/см ²	Угол изгиба град	σ ₁₀₀ кгс/мм ²	НВ (d _{срн}) мм
					%						
не менее											
Пруток катанный крупногаба- ритный диа- метром (в мм):	ТУ1- 92-6-72	Отож- женные	20	70—90	10	30	4	—	—	—	3,6— 4,2
			65—100**	65—90	8,5	20	3,5	—	—	3,6— 4,2	
			101—150***	20	70—90	12	32	4	—	—	3,6— 4,2
Пруток и заготовка лонаток диаметром 25—60 мм	ОСТ1 90006-70	То же	400	—	—	—	—	—	—	≥30	—
			20	70—90	10	30	4	—	—	3,6— 4,2	
Пруток кованный диаметром или со сто- роной квад- рата (в мм):	АМТУ 534-67	»	20	70—90	10	30	4	—	—	—	3,6— 4,2
			65—100**	65—90	8,5	20	3,5	—	—	3,6— 4,2	
			101—250***	20	70—85	10	—	—	—	—	—
Штампов- ка и поков- ка толщи- ной (в мм):	ОСТ1 90000-70	»	20	70—90	10	30	3,5	—	—	—	3,6— 4,2
			до 100**	65—90	8,5	20	3,5	—	—	—	
			101—250***	20	70—85	10	—	—	—	—	—
Труба наружным диаметром 22—62 мм	ОСТ1 90050-72	»	20	70—85	10	—	—	—	—	—	—
			($\delta_{11,3l/F_c}$)								

Продолжение

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	Температура испытания, °C	σ_n кгс/мм ²	δ_5	ψ	σ_n кгс./мм ²	Угол нагиба град	σ_{100} кгс./мм ²	НВ (d _{ср}) мм
					%					
					не менее					
Кольцо сварное с шириной полки (в мм): до 80 более 80	АМТУ 329-13-68	Отожженные	20	70-90	12	33	3,5	—	—	3,6-4,2
			70-90	10	29	3	—	—	3,6-4,2	
			20	65-90	7	20	2	—	—	—
сварной шов			20	65-90	7	20	2	—	—	—
Проволока сварочная диаметром (в мм): 1,0-1,4 1,5-3,0 3,5-7,0	ОСТ1 90015-71	То же	20	≤85	7****	—	—	—	—	—
			≤85	9****	—	—	—	—		
			≤85	10,5****	—	—	—	—		

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

**** δ_{100} .

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	E	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}$	σ_n	δ_5	ψ
			кгс/мм ²					%
Лист толщиной 0,5-10 мм	Отожженный	20	11 000	48	70	80	28	—
		250	9 300	29	45	55	30	—
		300	8 600	28	44	52	29	—
		350	8 200	28	42	51	26	—
		400	7 300	24	39	50	26	—
		450	—	—	—	48	25	—
Трубок	То же	20	12 000	71	82	87	9	47
		300	11 000	44	53	58	8	62
		550	7 300	17	34	45	11	76

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{100}	σ_{1000}	σ_{2000}	$\sigma^{\#}_{5000}$	$\sigma^{\#}_{10000}$	$\sigma^{\#}_{20000}$
			кгс/мм ²					
Лист	Отожженный	20	—	—	—	—	—	—
		250	—	52	52	52	52	—
		300	—	48	48	48	48	48
		350	—	46	46	—	—	—
		400	—	43	—	—	—	—
		450	—	—	—	—	—	—
Трубок	То же	20	—	—	—	—	—	—
		300	56	—	—	—	—	—
		550	10	—	—	—	—	—

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,2/2000}$	$\sigma_{0,2/5000}$	σ_{-1}	σ_{-1}^H	
			кгс/мм ²						на базе 10 ⁷ циклов	
Лист	Отож- женный	20	—	—	—	—	—	44	—	
		250	47	—	43	43	—	—	—	
		300	45	37	35	28	23	—	—	
		350	33	31	27	—	—	34	—	
		400	20	—	—	—	—	27	—	
		450	5	—	—	—	—	—	—	
Прутки	То же	20	—	—	—	—	—	41	36	
		550	—	—	—	—	—	25	17	

* Данные ЦКТИ.

Секундная ползучесть

Вид полу- фабри- ката	Состоя- ние	Температура испытания °C	$\sigma_{0,5/120''}$	$\sigma_{1/10''}$	$\sigma_{1/60''}$	$\sigma_{1/120''}$	$\sigma_{1/180''}$	$\sigma_{1/300''}$
			кгс/мм ²					
Лист толщи- ной 1,5 мм	Отож- женный	500	30	38,5	36	34,5	33,5	32
		600	9,5	20,5	15,5	13,5	12	10,5
		700	25,5	10	5,5	4,5	3,5	3

Механические свойства при комнатной температуре
после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм ²	δ_{10} %	Угол изгиба град	$a_{\text{т.у}}$ кгс·м/см ²
	темпе- ратура °C	время час				
Отожженный лист	Исходное состояние		80	13	72	11,5
	200	3 000	83	13	69	10,5
		5 000	84	14	62	—
		10 000	86	14	62	9
		20 000	85	11	64	18,5
		30 000	85	12	74	—
	300	3 000	87	13	69	7,5
		5 000	84	13	65	—
		10 000	88	12,5	65	5,0
		20 000	88	12	70	6,0
30 000		88	12	69	—	

Физические свойства

Плотность $d=4550$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,0	8,3	8,5	8,8	8,9	9,1
Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,6	9,1	9,6	9,4	9,8	

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	100	200	300	400	500	600
λ вт/м·град	10,4	11,3	12,1	13,4	14,6	16,3

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600
<i>c</i> кдж/кг·град	0,503	0,566	0,628	0,670	0,755	--

Удельное электросопротивление

Температура, °C	20	100
$\rho \cdot 10^6$ ом·см	138	146

Степень черноты полного нормального излучения

Состояние поверхности	ϵ_n при температуре, °C									
	100	200	300	400	500	600	700	800	850	900
Травленая		0,15—0,25				0,30	0,49	0,52	0,50	--
Химически полированная		0,15—0,25					0,38	0,52	--	0,56
Механически обработанная (г7)		0,15—0,25					0,38	0,52	--	0,56
Механически полированная (г9)		0,13—0,24				0,34	0,50	0,56	0,59	--
После гидрокоструйной обработки и травления		0,24—0,33					0,41	0,50	--	0,56

Примечание. Испытание на воздухе.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг листов и деталей из них	660—680	0,25—1	На воздухе
Отжиг прутков, поковок, штамповок, труб, профилей и деталей из них	740—760	0,25—1	На воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации, °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1080	850	30—50	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки	980	800	40—70	То же
Штамповка на молоте	910—950	800	40—70	"
Штамповка на прессе	900—930	750	40—70	"

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Штампуемость*

Толщина листа мм	Вытяжка $K_{\text{раб}}$	Гибка на угол 90° r_{min}	Толщина листа мм	Отбортовка $K_{\text{раб}}$	Выдавка $K_{\text{раб}}$ %
До 1	1,5—1,6	2,0—2,5 s**	0,3—0,7	1,3—1,4	6—10
1—3	1,6—1,7	2,5—3,0 s	0,8—1,5	1,5—1,6	12—14
Более 3	1,4—1,5	3,0—4,0 s	1,6—3,0	1,35—1,5	10—12

* Инструкция ВИАМ № 642-71.

** s — толщина листа.

Свариваемость

Механические свойства сварных соединений при комнатной температуре

Свариваемый материал	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	$\sigma_{\text{св}}$ кгс/мм ²	Угол изгиба град	$\delta_{\text{св}}$ кгс·мм/мм ²
OT4+OT4 (лист)	ААрДЭС неплавящимся электродом	2,5	Без присадки	Без термической обработки	82	60	5,9

Механические свойства сварного соединения при комнатной температуре после длительных нагревов

Свариваемый материал	Термическая обработка после сварки	Режим нагрева		σ_n	σ_{-1}^*	Угол изгиба град	$a_{т.у}$ кгс·м/см ²	N при $\sigma_{max} = 0,7 \sigma_n$ цикл
		температура °C	время час					
OT4+OT4 (лист толщиной 2,5 мм)	Без термической обработки	Исходное состояние		82	23	60	5,9	25 500
		200	3000	83	—	88	5,3	23 084
			10 000	—	—	77	4,0	—
			20 000	81	—	75	—	16 000
			30 000	—	—	77	5,2	—
		300	3000	86	—	77	5,6	9 003
			10 000	—	—	60	3,5	—
			20 000	85	28	66	—	17 900
			30 000	—	—	69	6,1	—

* На базе 10^7 циклов.

Применение

Сварные узлы и детали, длительно работающие при температурах до 300°C (30 000 час) и при 350°C (2000 час).

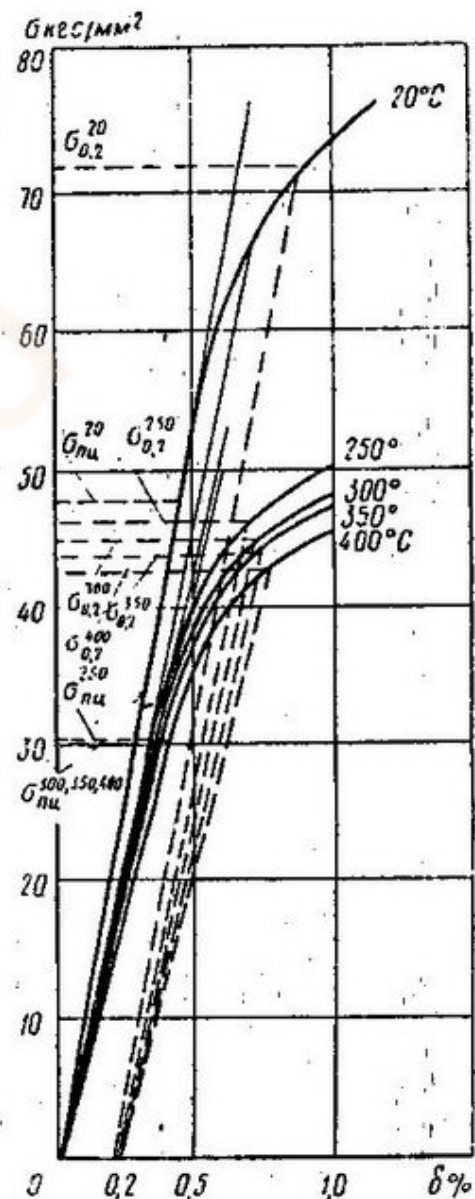


Рис. 1. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава OT4 при комнатной и высоких температурах. Лист толщиной 2 мм.

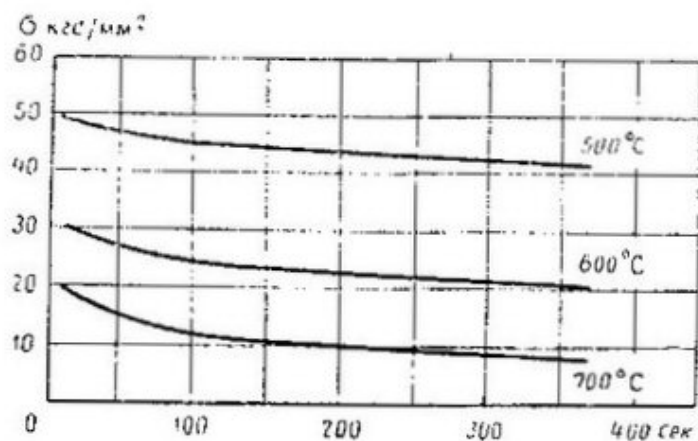


Рис. 2. Секундная прочность сплава ОТ4 при высоких температурах. Лист отожженный толщиной 1,5 мм, $\sigma_{\text{в}} = 81 \text{ кгс/мм}^2$.

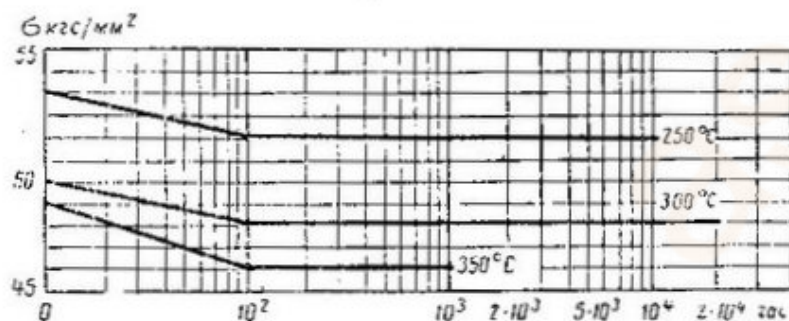


Рис. 3. Длительная прочность титанового сплава ОТ4. Отожженный лист, гладкие образцы; $\sigma_{\text{в}}^{50^\circ} = 54 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_{\text{в}}^{300^\circ} = 50 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_{\text{в}}^{350^\circ} = 49 \text{ кгс/мм}^2$.

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ

BT4

Химический состав в % по ОСТ1 90013—71

Гі	Mn	Al	C	Fe	Si	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
не более										
Основа	0,8—2,0	4,5—6,0	0,10	0,30	0,15	0,30	0,15	0,05	0,012	0,30

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	Температура испытания, °С	σ _в кгс/мм ²	δ ₅		ψ	σ _т кгс/мм ²	Угол изгиба град	σ ₁₀₀ кгс/мм ²	НВ (d _{отп}) мм
					не менее	%					
Лист толщиной (в мм):	АМТУ 475-6-67 ОСТ1 90042-71 (сортмент)	Отожженные с последующей проглажкой	20	85—105	15	—	—	—	≥60	—	—
				85—105	12	—	—	≥50	—	—	
				85—105	10	—	—	40—30	—	—	
				350	≥60	—	—	—	—	≥56	—
400	≥58	—	—	—	—	—	≥50	—			
Пруток катанный диаметром 10—60 мм	АМТУ 451-67	Отожженные	20	85—105	10	30	3,5	—	—	3,4—3,9	
				То же	То же	То же	То же	То же	То же	То же	
Пруток катанный крупногабаритный диаметром (в мм):	ТУ1-92-6-72	То же	20	85—105	10	30	3,5	—	—	3,4—3,9	
				85—105	8,5	20	3,0	—	—	3,4—3,9	

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Темпера- тура испытания, °C	σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ	$\sigma_{0,2}$ кгс·м/см ²	Угол изгиба град	σ_{100} кгс/мм ²	НВ ($d_{отп}$) мм
					%	%				
					не менее					
Пруток кованный диаметром или со сто- роной ква- драта (в мм): 65—100*	АМТУ 534-67	Отож- женные	20	85—105	10	30	3,5	—	—	3,4— 3,9
				80—105	8,5	20				3,0
Штампов- ка и поков- ка толщи- ной (в мм): до 100*	ОСТ1 90000—70	То же	20	85—105	10	30	3,5	—	—	3,4— 3,9
				80—105	8,5	20				3,0
101—250**										

* В продольном направлении.

** В поперечном направлении.

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	E	$\sigma_{цц}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ	ψ
Лист тол- щиной 1,0— 4,0 мм	Отожжен- ный	20	11000	65—80	75—90	95—105	15—22	34
		250	—	—	58	67	20	43
		300	—	—	57	65	19	—
		350	—	—	55	63	17	42
		400	—	—	53	61	17	—
		450	—	—	46	57	20	—
		500	—	—	38	53	25	—

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпера- тура испытания °C	σ_{100}	$\sigma_{0,2/100}$	σ_{-1}	σ_{-1}^n
			кгс/мм ²			
Лист	Отожженный	20	—	—	40	—
		350	55	37	—	—
		400	50	23	25	—
Пруток	То же	20	—	—	50	31
		400	—	—	31	15

Механические свойства при комнатной температуре
после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ_{10} %	Угол изгиба град
	темпера- тура °C	время час			
Отожженный лист толщиной 2 мм	Исходное состояние		90	10	61
	300	3 000	89	11	60
		10 000	92	12,5	47
		30 000	90	12,5	56

Физические свойства

Плотность $d=4600$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—200	20—300	20—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,7	8,9	9,1

Температура, °C	100—200	200—300	300—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,0	9,05	9,05

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	100	200	300	400
λ ат/м·град	9,2	10,5	11,7	13,0

Удельная теплосмкость

Температура, °C	100	200	300	400
c кдж/кг·град	0,503	0,566	0,608	0,670

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг листов и деталей из них	690—710	0,25—1	На воздухе
Отжиг прутков, штампов, труб, профилей и деталей из них	740—760	0,25—1	То же

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1100	850	30—50	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки	1020	850	40—70	То же
Штамповка на молоте	950—980	850	40—70	>
Штамповка на прессе	940—970	800	40—70	>

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Штампуемость*

Вытяжка		Отбортовка		Выдавка		Гибка на угол 90°	
$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр.плоск.}$	$K_{пр.сфер.}$	r_{max}	$r_{раб}$
1,40—1,60	1,30—1,35	1,30—1,60	1,20—1,40	0,12—0,16	0,25—0,35	3,5—4,0 s**	5,0—6,0 s

* Инструкция ВИАМ № 642-71.

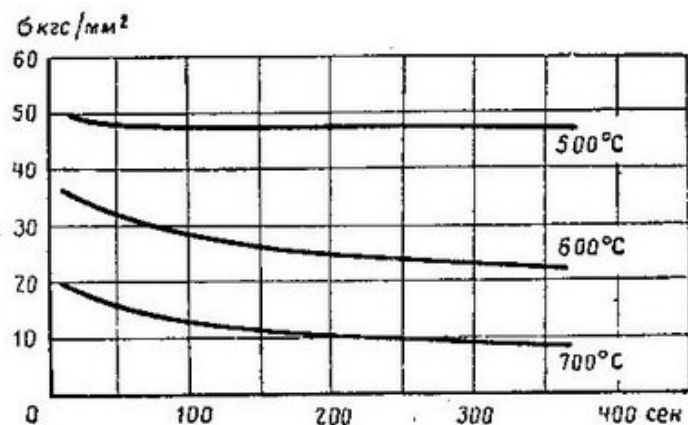
** s — толщина листа.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °C	Механические свойства сварных соединений	
					σ_a кгс/мм ²	угол изгиба град
BT4 + BT4	ААрдЭС	Без присадки	Без термической обработки	20	85	45
			350	65	—	
	РАрдЭС	Полоски из сплава BT4	Отжиг при 600—680°C	20	85	40
			350	65	—	

Применение

Сварные детали, кратковременно работающие при температурах до 400—450°C.



Секундная прочность сплава ВТ4. Отожженный лист толщиной 1,5 мм, $\sigma_{\text{в}} = 83$ кгс/мм².

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ

ВТ5

Химический состав в % по ОСТ1 90013—71

Ti	Al	C	Fe	Si	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
Основа	4,3—6,2	0,10	0,30	0,15	0,30	0,20	0,05	0,015	0,30

Примечание. Допускается содержание $\leq 0,8\%$ Mo и $\leq 1,2\%$ V.

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	Температура испытания, °C	$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм²	δ_5 ψ		$\sigma_{\text{н}}$ кгс·м/см²	σ_{100} кгс·м/мм²	НВ (d ₀₁₀) мм
					%				
не менее									
Пруток катаный диаметром 10—60 мм	АМТУ 451-67	Отожженные	20	75—95	10	25	5	—	3,4—4,0
			350	≥ 43	—	—	—	40	—
Пруток катаный крупногабаритный диаметром (в мм): 65—100 * 101—130 **	ТУ1-92-6-72	То же	20	75—95	10	25	3	—	3,4—4,0
				73—95	6	16	5	—	3,4—4,0
Пруток ковальный диаметром или со стороны квадрата (в мм): 65—100 * 101—250 **	АМТУ 534-67	>	20	75—95	10	25	3	—	3,4—4,0
				73—95	6	16	5	—	3,4—4,0
Штамповка и ковка толщиной (в мм): до 100 * 101—250 **	ОСТ1 90000—70	>	20	75—95	10	25	3	—	3,4—4,0
				73—95	5	15	4,5	—	3,4—4,0

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Темпера- тура испытания, °С	σ_B кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_H кгс·м/см ²	σ_{100} кгс/мм ²	НВ ($d_{отп}$) мм		
										%	
										не менее	
Кольцо свар- ное: основной ме- талл сварной шов	АМТУ 529-10-68	Отож- женные	20	70—95	10	25	3	—	3,4—4,0		
				65—95	7	17	2,5	—	—		

* В продольном направлении.

** В поперечном направлении.

Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпе- ратура испытания °С	E	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_{10}	ψ	a_H кгс·м/см ²
Прутки	Отож- женный	—196	—	115	125	6	30	3
		—70	—	85	90	8	35	—
		20	12 500	72	75	8	40	4—7
		200	11 500	—	—	—	—	—
		250	—	47	55	9	60	—
		300	11 000	45	50	9	62	—
		350	—	42	48	9	68	—
		400	10 500	40	47	9,5	73	—
		500	9 200	37	44	7,5	70	—
		600	—	—	38	20	—	—
650	—	—	35	24	—	—		

Механические свойства при сжатии и кручении

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испытания °С	G	$\sigma_{0,2}$ сж	$\tau_{пш}$	$\tau_{0,3}$	τ_B
Прутки	Отожжен- ный	20	4700	75	32	49	67

Пределы длительной прочности* и ползучести

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпе- ратура испытания °С	σ_{100}	σ_{150}	σ_{1900}	σ_{2500}	σ_{4500}	σ_{6000}	$\sigma_{10\ 000}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/3000}$
Прутки	Отож- женный	20	—	—	72	72	—	71	70	—	—
		100	—	65	64	—	61	—	—	—	—
		300	48	—	—	—	—	—	—	—	—
		350	45	—	—	—	—	—	—	40	36
		500	26	—	—	—	—	—	—	12	—

* При 20 и 100°С по данным ЦКТИ.

Физические свойства

Плотность $d=4400$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,3	8,6	8,9	9,3	9,5	9,9

Коэффициент теплопроводности

Температура, °С	25	100	200	300	400	500	600	700
λ вт/м·град	8,8	9,6	10,5	11,3	12,6	14,2	15,5	16,8

Удельная теплоемкость

Температура, °С	100	200	300	400	500	600
<i>c</i> кдж/кг·град	0,545	0,587	0,628	0,670	0,712	0,755

Удельное электросопротивление при 20°С

$\rho \cdot 10^8 = 108 \text{ ом}\cdot\text{см}$

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Термическая обработка	Температура °С	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг	800—850	0,25—1	На воздухе
Неполный отжиг	550—600	0,5—4	То же

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации, °С		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1180	900	30—50	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки	1100	850	40—70	То же
Штамповка на прессе	1020	850	40—70	•
Штамповка на молоте	1100	900	40—70	•

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Свариваемость

Сплав сваривается всеми видами сварки, пригодными для титановых сплавов. Рекомендуемый присадочный материал — проволока из сплавов ВТ1-00, ВТ2. Предел прочности при кратковременном растяжении и длительная прочность сварного соединения равны $0,9\sigma_s$ и $0,9\sigma_c$ основного материала соответственно при всех рабочих температурах. Сплав может свариваться со всеми свариваемыми титановыми сплавами.

Применение

Сварные детали и узлы, длительно работающие (10 000 час) при температурах до 400°С

СПЛАВЫ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ	BT5-I, BT5-IK
--------------------------	---------------

Химический состав в % по ОСТ1 90013-71

Марка сплава	Ti	Al	Sn	C	Fe	Si	Zr	Mn	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
				не более								
BT5-I	Основа	4,0—6,0	2,0—3,0	0,10	0,30	0,15	0,30	—	0,15	0,05	0,015	0,30
BT5-IK	Основа	4,5—5,6	2,0—3,0	0,08	0,20	0,08	—	0,10	0,12	0,04	0,008	0,30

Примечания. 1. В листах сплава BT5-I содержание алюминия 4,0—5,5%, в остальных полуфабрикатах — 4,5—6,0%.

2. В сплаве BT5-I допускается ≤1,0% V.

3. Сплав BT5-IK изготавливается по СТУ.

Механические свойства сплава BT5-I по ТУ и ОСТ

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	σ _в кгс/мм ²	δ ₅	ψ	Угол изгиба град	НВ (d _{отп}) мм
				%			
не менее							
Лист толщиной (в мм): 0,8—1,2 1,5—1,8 2,0—6,0 6,5—10,0	АМТУ 475-7-67, ОСТ1 90042-71 (сортмент)	Отожженные	75—95	15	—	60	—
			75—95	12	—	50	—
			75—95	10	—	40	—
			75—95	8	—	40	—
Плита толщиной (в мм): 12—20 21—60	ОСТ1 90042-71	Горячекатаные	75—95	6	16*	—	—
			75—95	5	16*	—	—
Пруток катаный диаметром 10—60 мм	АМТУ 451-67	Отожженные	80—100	10	25	4	3,4—3,9

Продолжение

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	σ _в кгс/мм ²	δ ₅	ψ	σ _н кгс/мм ²	Угол изгиба град	НВ (d _{отп}) мм
				%				
не менее								
Пруток катаный крупногабаритный диаметром (в мм): 65—100 ** 101—130 ***	ТУ1-92-6-72	Отожженные	80—100	10	25	4	—	3,4—3,9
			76—100	6	16	4,5	—	3,4—3,9
Пруток кованый диаметром или со стороны квадрата (в мм): 65—100 ** 101—250 ***	АМТУ 534-67	То же	80—100	10	25	4	—	3,4—3,9
			76—100	6	16	4,5	—	3,4—3,9
Штамповка и ковка толщиной (в мм): до 100 ** 101—250 ***	ОСТ1 90000-70	»	80—100	10	25	4	—	3,4—3,9
			76—100	6	16	4,5	—	3,4—3,9

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

Механические свойства сплава BT5-1 при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпе- ратура испыта- ния °C	E_d	E	G	μ	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ
			кгс/мм ²				кгс/мм ²		%	
Пруток диаметром до 100 мм	Отож- женный	20	12 800	—	4500	0,33	75	85	8	33
		400	11 200	—	3900	0,43	—	—	—	—
		500	10 700	—	—	—	—	—	—	—
		600	10 100	—	3500	0,45	31	46	7	49
		700	9500	—	3280	0,45	17	33	25	68
		800	9000	—	3000	0,50	8	20	40	92
Лист тол- щиной до 3 мм	То же	20	—	11 500	—	—	75	85	13	—
		250	—	9500	—	—	52	60	13	—
		350	—	8500	—	—	48	55	10	—
		400	—	—	—	—	46	54	10	—
		500	—	7300	—	—	40	48	9	—

Механические свойства сплава BT5-1 при сжатии, кручении и срезе при комнатной температуре

Вид полу- фабриката	Состояние	$\sigma_{0,2}$ сж.	$\sigma_{ш}$ сж.	$\tau_{0,2}$	τ_b	$\tau_{ср}$
		кгс/мм ²				
Пруток	Отожженный	80	160	48	67	61

Механические свойства листов и прутков из сплава BT5-1K при низких и комнатной температурах

Состояние материала	Темпе- ратура испыта- ний °C	$\sigma_{0,2}$	σ_b	$\sigma_b/\sigma_{0,2}$	δ_5	ψ	a_H	$a_{т,у}$
		кгс/мм ²						
Отожжен- ный	-253	130—150	135—160	1,0	8	16	3	—
	-196	118—126	120—135	1,2	15	25	4	3
	20	65—85	70—87	1,2	12	35	6	4

* Лист толщиной 2 мм

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости сплава BT5-1

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпе- ратура испыта- ния °C	σ_{100}	σ_{500}	σ_{1000}	σ_{2000}	$\sigma_{0,2 100}$	σ_{-1}^*
			кгс/мм ²					
Пруток диаметром до 100 мм	Отож- женный	20	—	—	—	—	—	50
		250	60	—	—	—	—	—
		300	57	—	—	—	—	—
		350	55	—	—	—	—	35
		400	47	40	—	37	38	—
		450	33	28	—	23	20	—
		500	25	20	—	15	8	27
		550	15	—	—	—	—	—
Лист тол- щиной 3 мм	То же	20	—	—	—	—	—	40
		250	—	—	59	—	50	—
		300	—	—	56	—	45	—
		350	—	—	54	—	38	35
		400	—	—	39	—	—	—
		450	—	—	26	—	—	—
		500	—	—	17	—	5	26

* На базе $1 \cdot 10^7$ циклов.

Секундная прочность сплава BT5-1

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпе- ратура испыта- ния °C	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{100''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{200''}$	$\sigma_{240''}$	$\sigma_{300''}$
			кгс/мм ²						
Лист тол- щиной до 2 мм	Отож- женный	500	56	—	54	53	—	52	52
		600	39	—	35	34	—	33	33
		700	26	—	22	21	—	20	19
		800	16	15	—	—	12	—	10

**Механические свойства при комнатной температуре
после длительных нагревов**

Вид полу- фабриката	Состояние	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ
		темпе- ратура °C	время час			
Прутки	Отожжен- ный	Исходное со- стояние		80	12	34
		350	3000	80	11,5	33
		450	3000	81	12	30

Физические свойства

 Плотность $d=4420$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20— 100	20— 200	20— 300	20— 400	20— 500	20— 600	20— 700	20— 800	20— 900
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,5	8,9	9,1	9,3	9,5	9,6	9,7	10,1	10,5

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,3	9,7	10,0	10,3	10,5	11,0

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25	100	200	300	400	500	600	700	800
λ вт/м·град	8,8	9,6	10,9	12,2	13,4	14,7	15,9	17,2	18,4

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800
c кдж/кг·град	0,503	0,545	0,566	0,587	0,628	0,670	0,712	0,796

Удельное электросопротивление при 20°C

 $\rho \cdot 10^6 = 138$ ом·см.

Степень черноты полного нормального излучения*

Состояние поверхности	ϵ_n при температуре, °C							
	100	200	300	400	500	600	700	800
Лист после отжига и теплой проглажки	—	—	0,315	0,335	0,35	0,46	0,64	0,66

* Испытание на воздухе при ступенчатом нагреве с выдержкой 2 час через каждые 100°C.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Темпе- ратура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг листов	700—750	0,25—1	На воздухе
Отжиг прутков, поковок, штамповок и профилей	800—850	0,25—1	То же
Неполный отжиг	500—600	0,5—4	>

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условие охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1180	900	30—50	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготов- ки	1100	850	40—70	То же
Штамповка на прессе	1020	850	40—70	>
Штамповка на молоте	1100	900	40—70	>

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Штампуемость*

Температура °С	Вытяжка $K_{\text{раб}}$	Отбортовка $K_{\text{раб}}$	Выдавка $K_{\text{раб}}$ %	Гибка на угол 90° r_{min}
20	1,2—1,5	1,2—1,5	5—8	3,5—5,0 s**
600—750	1,4—1,7	1,4—1,75	12—16	2,3—4,0 s

* Инструкция ВИАМ 642-71.

** s — толщина листа.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °С	Механические свойства сварного соединения			
						σ_b кгс/мм ²	угол загиба град	$P_{\text{ср}}$	$P_{\text{отг}}$
BT5-1+ +BT5-1	ААрДЭС	≤3	Без присадки	Отжиг при 550°С, 0,5—4 час	20	75—82	50—60	—	—
					350	50	—	—	—
					500	45	—	—	—
BT5-1+ +BT5-1	Контактная точечная	1,5+1,5	—	Без термической обработки	20	—	—	1680	430

Примечание. Сплав может свариваться со всеми листовыми свариваемыми титановыми сплавами. Предел прочности сварного соединения > 0,9 σ_b основного материала менее прочного сплава.

Применение

Сплав BT5-1 — для сварных силовых деталей и узлов, работающих длительно (10 000 час) при температурах до 450°С и кратковременно (до 5 мин) при 800°С.

Сплав BT5-1К — для изделий, работающих при низких температурах (до -253°С).

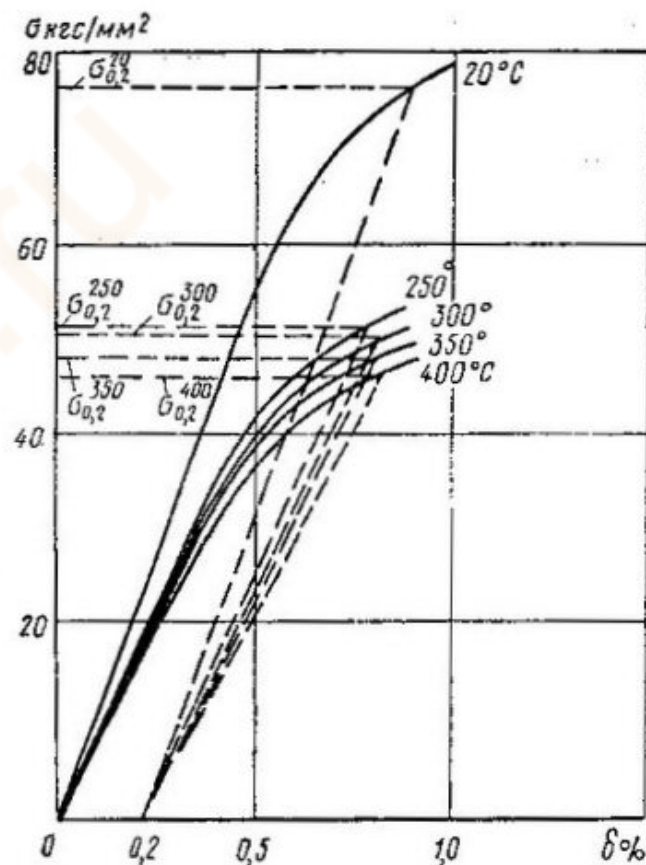


Рис. 1. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава BT5-1 при комнатной и высоких температурах. Лист толщиной 3 мм.

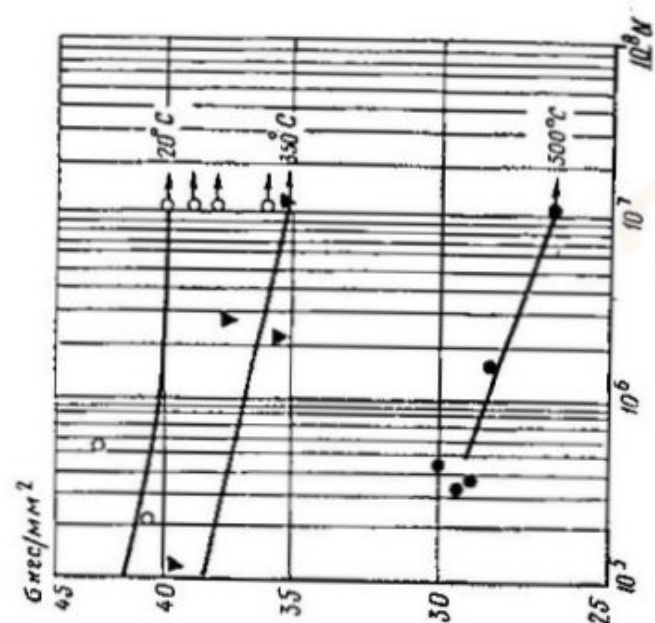


Рис. 2. Кривые выносливости сплава ВТ5-1 при знакопеременном консольном изгибе. Лист толщиной 1,5 мм.

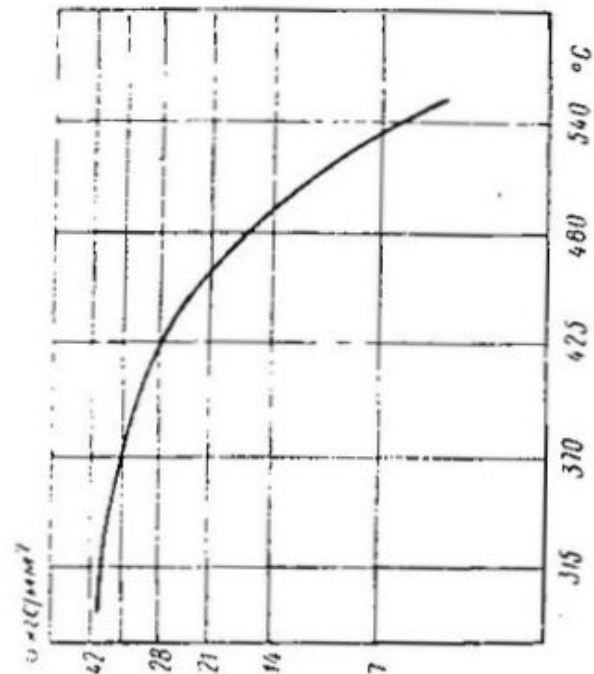


Рис. 3. Предел ползучести $\sigma_{0.1}$ сплава ВТ5-1 за 150 час.

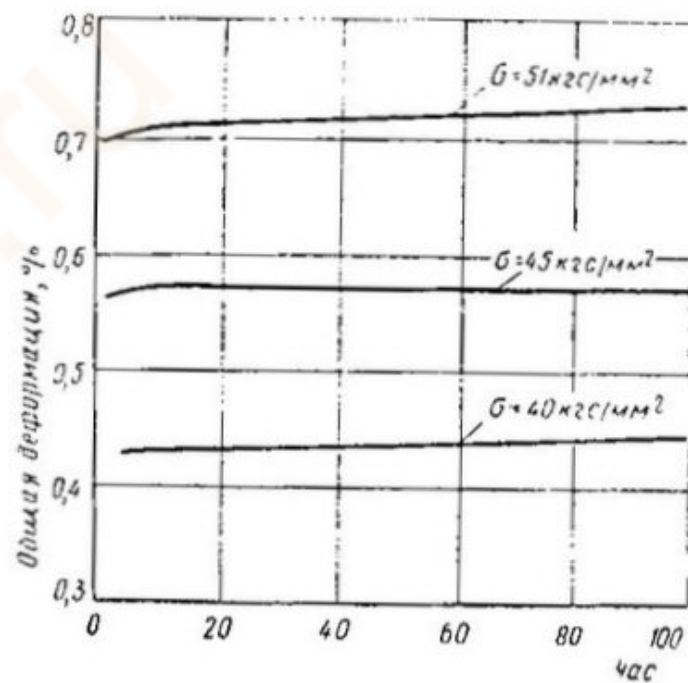


Рис. 4. Кривые ползучести сплава ВТ5-1 при 250°C Лист толщиной 3 мм.

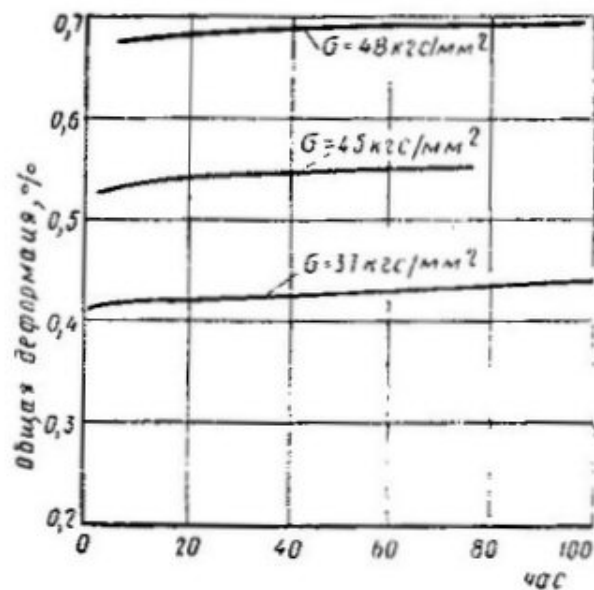


Рис. 5. Кривые ползучести сплава ВТ5-1 при 300°C. Лист толщиной 3 мм.

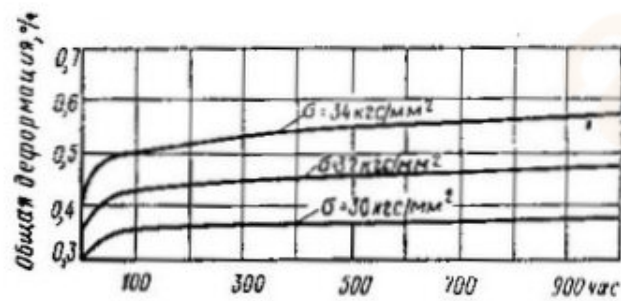


Рис. 6. Кривые ползучести сплава ВТ5-1 при 350°C за 1000 час. Лист толщиной 3 мм.

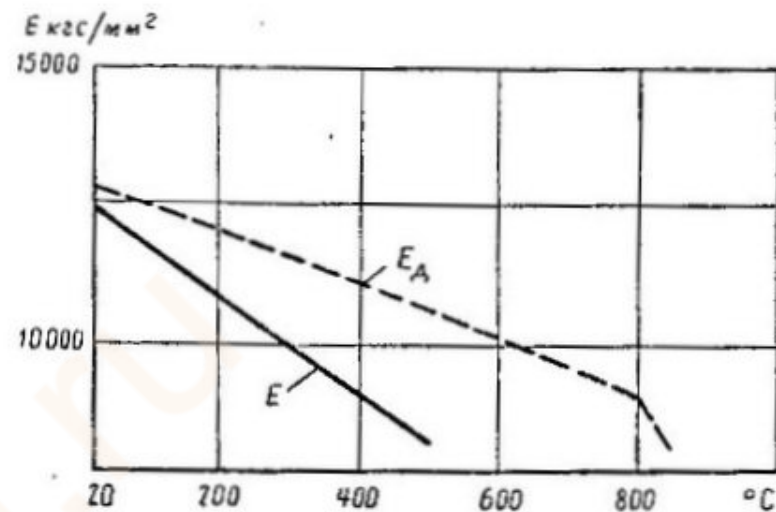


Рис. 7. Статический и динамический модули упругости сплава ВТ5-1. Пруток.

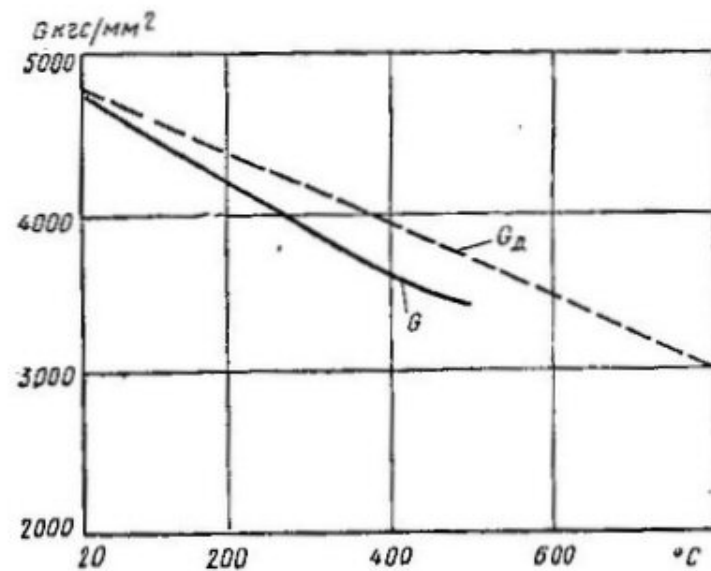


Рис. 8. Статический и динамический модули касательной упругости сплава ВТ5-1. Пруток.

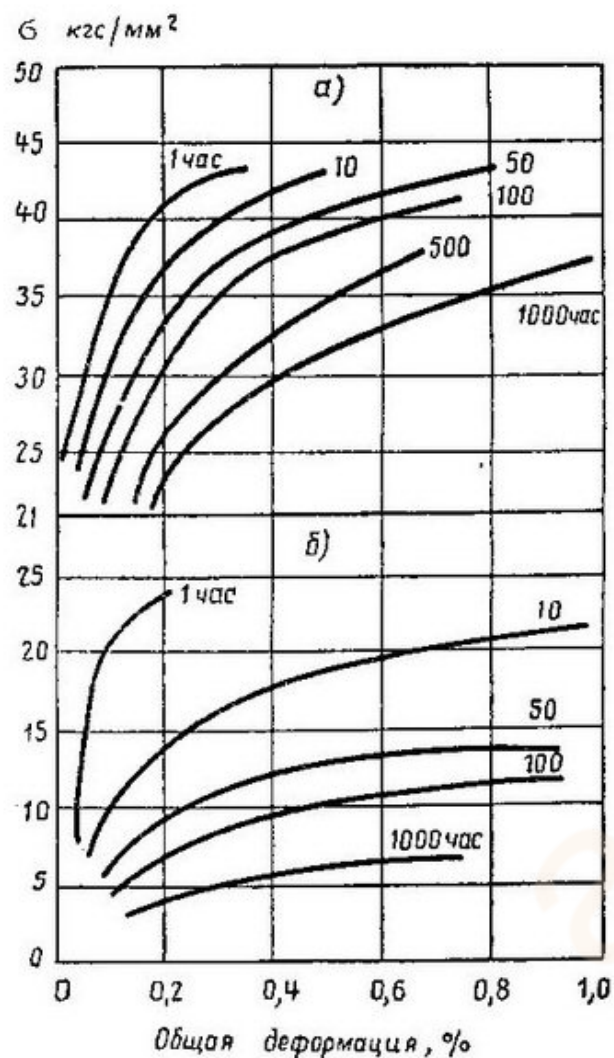


Рис. 9. Кривые напряжение — деформация при 430 (а) и 540°C (б). Отожженный лист толщиной 1,6 мм.

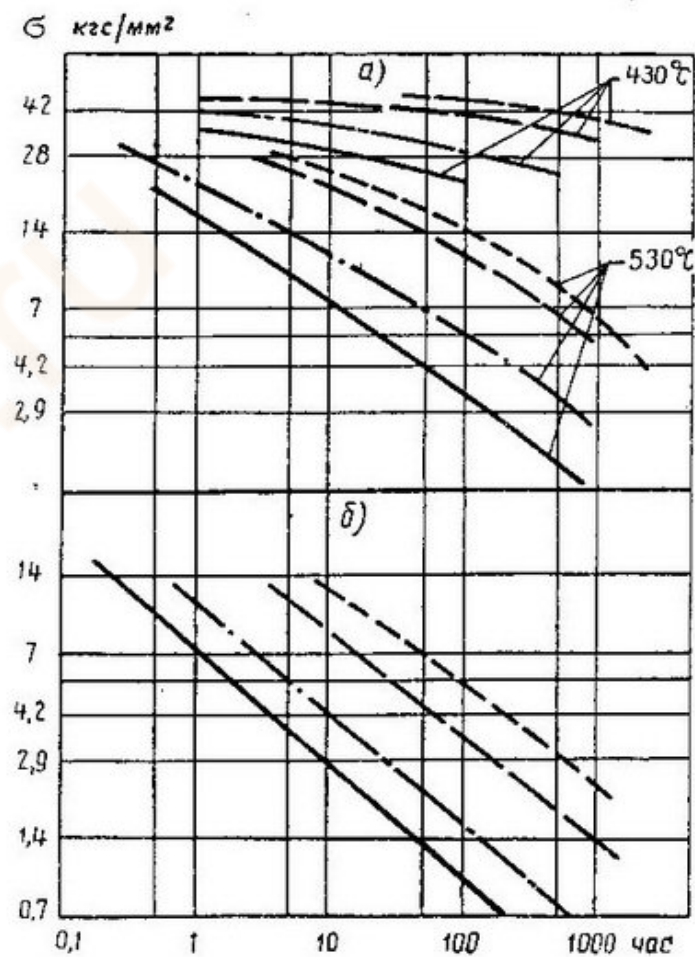


Рис. 10. Кривые деформации при ползучести сплава Ti-5Al-2.5Sn при 430 и 530 (а) и при 600°C (б).

Поперечная деформация — — — — — 0,05; - - - - - 0,1; - - - - - 0,5; - - - - - 1,0%.

Отожженный лист толщиной 1,6 мм, продольное направление

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ										BT6C
Химический состав в % по ОСТ1 90013—71										
Ti	Al	V	C	Fe	Si	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочных примесей
не более										
Основа	5,0—6,5	3,5—4,5	0,08	0,25	0,15	0,30	0,15	0,05	0,015	0,30

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние контр- ольных образцов	σ_s кгс/мм ²	δ_s	ψ	σ_H кгс./мм ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{отт}$) мм
				%				
не менее								
Лист тол- щиной (в мм):	АМТУ 475-9-67	Отож- женные с после- дующей проглад- кой	85—100	12	25	—	30	—
	ОСТ1 9042—71 (сорта- мент)		85—100	12	23	—	40	—
			85—100	10	22	5	40—50	—
			85—100	10	20	—	50	—
			>105	8	—	—	—	—
Плита толщиной (в мм):	ОСТ1 90024—71	Отож- женные	85—100	7	16*	5	30	—
			85—100	7	16*	5	—	—
			>105	6	12	—	—	—
				Зака- ленные и соста- ренные *	—	—	—	—

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние контр- ольных образцов	σ_s кгс/мм ²	δ_s	ψ	σ_H кгс./мм ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{отт}$) мм	
				%					
не менее									
Пруток катаный диаметром 10—60 мм	АМТУ 451-67	Отож- женные	85—100	10	30	4	—	3,4—3,9	
			>105	6	25	3	—	3,2—3,4	
Пруток катаный крупнога- баритный диа- метром (в мм):	ТУ1- 92-6-72	Отож- женные	85—100	10	25	4	—	3,4—3,9	
			101—130 ***	6	20	4	—	3,4—3,9	
			>105	6	20	3	—	3,2—3,4	
				Зака- ленные и соста- ренные *	—	—	—	—	—
Пруток кованный диаметром или со сто- роной квад- рата (в мм):	АМТУ 531-67	Отож- женные	85—100	10	25	4	—	3,4—3,9	
			101—250 ***	6	20	4	—	3,4—3,9	
			65—100	105—120	6	20	3	—	3,2—3,4
				Зака- ленные и соста- ренные *	—	—	—	—	—
Штампов- ка и поков- ка толщи- ной (в мм):	ОСТ1 90000—70	Отож- женные	85—100	10	30	4	—	3,4—3,9	
			до 100 **	77—100	6	20	4	—	3,4—3,9
					101—250 ***	—	—	—	—

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °C	E_d	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²
			кгс/мм ²					%		
Лист	Отожжен- ный	20	—	11500	—	80	85	8	—	—
		200	—	10300	—	58	60	12	—	—
		350	—	8500	—	50	54	15	—	—
		500	—	—	—	40	47	15	—	—
Пруток диаметром до 100 мм	То же	20	12500	12000	70	82	90	13	40	5
		200	12100	11000	58	67	75	12,5	50	—
		300	11700	—	50	60	68	12	60	—
		350	—	10000	—	—	—	—	—	—
		400	11100	—	42	54	63	12	65	—
		500	10700	8500	34	50	60	14	70	—
		600	10100	—	—	—	48	20	70	—
		700	9500	—	—	—	—	—	—	—
Лист	Закален- ный и со- старенный	20	—	11500	—	100	110	8	—	—
		200	—	9300	—	60	75	7	—	—
		350	—	7100	—	53	69	6	—	—

Механические свойства при комнатной и низких температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испытания °C	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ^*	ψ^*	a_n кгс·м/см ²
			кгс/мм ²		%		
Пруток	Отожжен- ный	20	81	86	10—15	30—50	6
		—196	127	131	7—10	20—40	4
		—253	156	158	3—6	10—20	2,5

* В зависимости от типа структуры.

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испытания °C	σ_{100}	σ_{1000}	$\sigma_{0,2/100}$	σ_{-1}	σ_{-1}^H
						на базе 10 ⁷ циклов	
кгс/мм ²							
Лист	Отожжен- ный	20	—	—	—	40	—
		200	58	58	—	—	—
		350	50	50	32	29	—
		350	63	—	45	—	—
Пруток	Закален- ный и со- старенный	350	63	—	45	—	—
		350	63	—	45	—	—
	Отожжен- ный	20	—	—	—	53	—
		200	70	70	—	—	—
		350	62	62	38	43	30

Секундная прочность

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испытания °C	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$
			кгс/мм ²				
Пруток	Отожжен- ный	500	—	59	58,5	58	57
		600	—	45	—	42	40
		700	—	28	—	25	23
		800	—	13	—	11	9
		800	—	13	—	11	9
	Закален- ный и со- старенный	500	60	59	57,5	56,5	56
		600	45	40	37	36	34
		700	29	23,5	20	18	15,5
		700	29	23,5	20	18	15,5
		800	16	10,5	9	8	7

Физические свойства

Плотность $d=4450 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	8,4	8,7	9,0	9,3	9,6	9,9	10,1

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	9,0	9,6	10,2	10,8	11,4	11,3	—

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\lambda \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$	8,4	9,2	10,5	11,7	13,0	14,7	15,9	17,2	18,9	20,1

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$c \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$	0,545	0,587	0,625	0,670	0,712	0,755	0,796	0,830	0,922

Удельное электросопротивление при 20°C

 $\rho \cdot 10^6 = 142 \text{ ом} \cdot \text{см}$.

Степень черноты полного нормального излучения*

Состояние поверхности	ϵ_{λ} при температуре, °C								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
После пескоструйной обработки и травления	0,22	0,22	0,22	0,23	0,255	0,3	0,45	0,53	0,59

* Испытание на воздухе при ступенчатом нагреве с выдержкой 2 час через каждые 100°C.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура, °C	Выдержка, час	Условия охлаждения
Неполный отжиг	600—650	0,5—4	На воздухе
Отжиг	750—800	15—60 мин	То же
Изотермический отжиг:	850	0,5	В печи до 750°C
	+	0,5	На воздухе
	750	0,5	На воздухе
Закалка	800	0,5	В печи до 500°C, далее на воздухе
	880—930	5—60 мин	В воде, в масле
Старение	450—500	2—4	На воздухе
Индукционный отжиг сварных соединений	800	7—12 мин	В защитной атмосфере, на воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации, °C		Степень деформации за один нагрев, %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитков	1100	850	30—70	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки толщиной (в мм):	до 100	1000	800	40—70
	более 100	1020	800	40—70
Штамповка на прессе	≤940	≥750	40—70	>
Штамповка на молоте	≤960	≥800	40—70	>

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Штампуемость*

Температура °С	Вытяжка $K_{\text{раб}}$	Отбортовка $K_{\text{раб}}$	Выдавка $K_{\text{раб}}$	Гибка на угол 90° r_{min}
20	1,2—1,5	1,3—1,5	6—7	3,5—5,0 s **
650—800	1,4—1,7	1,45—1,75	10—14	2,3—4,0 s

* Инструкция ВИАМ № 642-71.

** s — толщина листа.

Свариваемость

Свариваемый материал	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °С	Механические свойства сварных соединений					
						$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{н}}$ кгс/мм ²	угол изгиба град	$\sigma_{\text{т}}$ кгс/мм ²		
BT6C+ +BT6C (лист)	ААрДЭС неплавищимся электродом	3,0	Без присадки	Отжиг при 750°С	20	85—92	—	42	26		
					200	60—65	—	—	—		
					350	54—58	—	—	—		
					500	47—50	—	—	—		
	3,0	BT1-00	То же	То же	20	85—90	—	45	—		
					3,0	Без присадки	Закалка с 850°С + старение при 500°С, 2 час	20	100—105	—	30
ААрДЭС «погруженной дугой»	5,0	1-й слой без присадки, 2-й — BT1-00	Отжиг при 750°С	20	90			4	42	—	
				7,0	То же	То же	20	90	5	40	—
							20	85	5	—	—
BT6C+ +BT6C (локовка)	ААрДЭС	8—12	BT6C	→	20	85	5	—	—		

Примечания. 1. Рекомендуемый присадочный материал — проволока из сплавов BT1-0, BT2, BT6C, 2B, C11T2 (BT6C и C11T2 — для термически упрочняемых изделий).

2. Сплав сваривается со всеми титановыми свариваемыми сплавами.

Применение

Силовые детали и сварные узлы, длительно работающие (до 10 000 час) при температурах до 400—450°С, а также газовые баллоны высокого давления

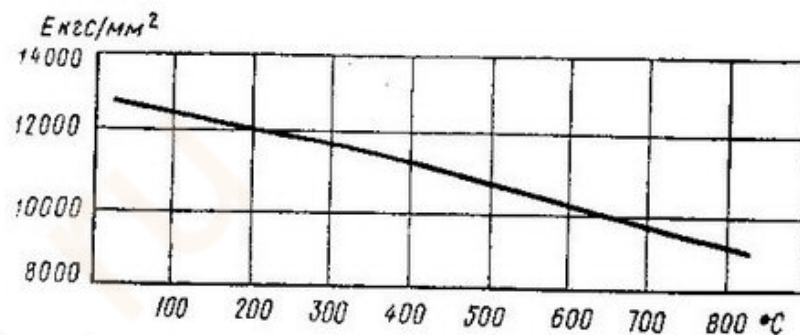


Рис. 1. Динамический модуль упругости сплава BT6C при высоких температурах. Пруток.

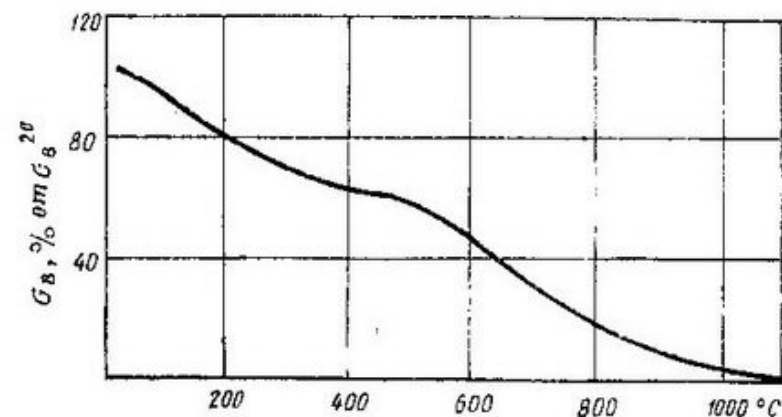


Рис. 2. Зависимость предела прочности сплава BT6C от температуры испытания (в % от $\sigma_{\text{в}}$ при комнатной температуре)

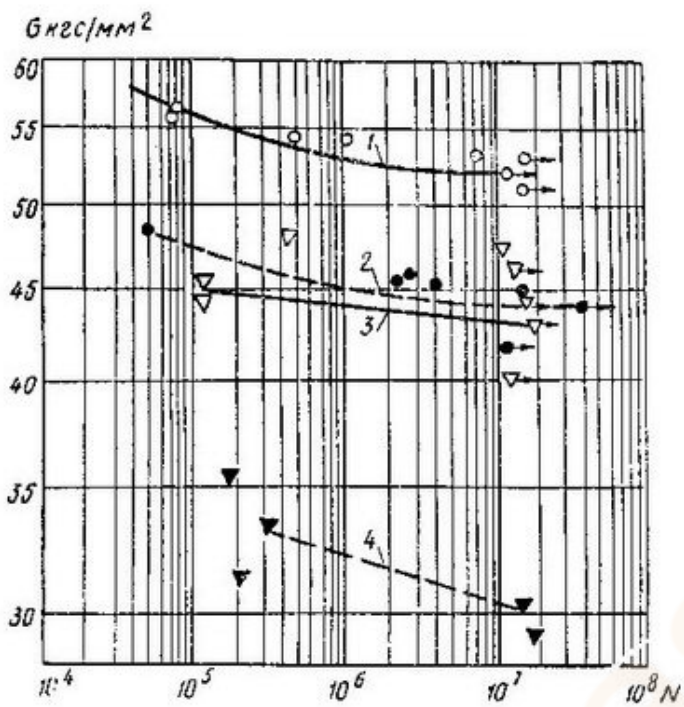


Рис. 3. Кривые выносливости сплава VT6C при изгибе с вращением:

при комнатной температуре — консольный изгиб: 1 — образец гладкий, 2 — образец с надрезом; при 350°C — чистый изгиб: 3 — образец гладкий, 4 — образец с надрезом.
Пруток, $\sigma_B = 100 \text{ кгс/мм}^2$.

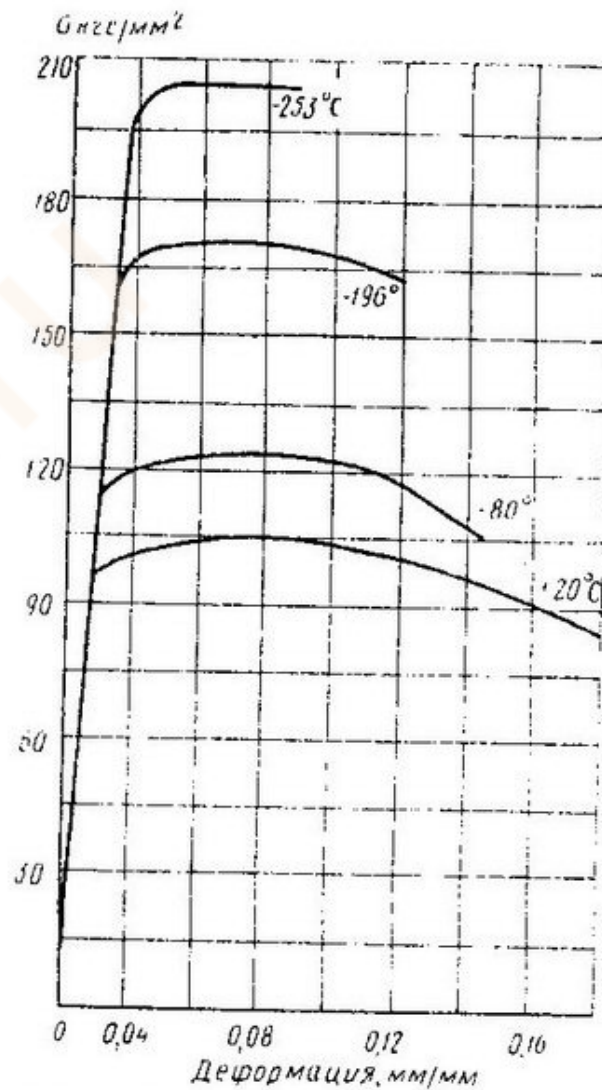


Рис. 4. Диаграммы деформации сплава VT6C при низких температурах.

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ	BT6
-------------------------	-----

Химический состав в % по ОСТ1 90013—71

Ti	Al	V	C	Fe	Si	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
Основа	5,5—7,0	4,2—6,0	0,10	0,30	0,15	0,20	0,05	0,015	0,30

Примечание. Допускается содержание $\leq 2,0\%$ Zr.

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние конт- рольных образцов	Температура испытания, °С	σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ %	$\sigma_{0,2}$ кгс-м/см ²	σ_{100} кгс/мм ²	НВ ($d_{отп}$) мм
Лист толщиной 1,0—10,0 мм	АМТУ 475-8-67 ОСТ1 90042—71 (сорта- мент)	Отож- женные	20	90—110	8	—	—	—	—
			20	95—112	10	30	4	—	3,3—3,8
Пруток катаный диаметром (в мм):	АМТУ 451-67	То же	20	92—107	10	30	4	—	3,3—3,8
			20	≥ 110	6	20	2,5	—	3,1—3,4
		Зака- ленные и соста- ренные *	20	≥ 110	6	20	2,5	—	3,1—3,4
			400	≥ 65	—	—	—	60	—

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние конт- рольных образцов	Температура испытания, °С	σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ %	$\sigma_{0,2}$ кгс-м/см ²	σ_{100} кгс/мм ²	НВ ($d_{отп}$) мм
Пруток катаный крупногаба- ритный диа- метром (в мм):	ТУ1- 92-6-72	Отож- женные	20	92—107	10	30	3	—	3,3—3,8
			20	85—107	6	20	3	—	3,3—3,8
			20	≥ 110	6	20	2,5	—	3,1—3,4
Пруток кованый диаметром или со сто- роной квад- рата (в мм):	АМТУ 534-67	Отож- женные	20	92—107	10	30	3	—	3,3—3,8
			20	85—107	6	20	3	—	3,3—3,8
			20	110—125	6	20	2,5	—	3,1—3,4
Штампов- ка и поков- ка толщи- ной (в мм):	ОСТ1 90000—70	Отож- женные	20	92—110	10	30	3	—	3,3—3,8
			20	85—107	6	20	3	—	3,3—3,8
			20	92—110	10	30	3	—	3,3—3,8

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Темпе- ратура испыта- ния, °С	$\sigma_{0.2}$ кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_H кгс·м/см ²	σ_{100} кгс/мм ²	НВ ($d_{отп}$) мм	
					%					
					не менее					
Кольцо сварное с шириной полки (в мм):	АМТУ 529-11-68	То же	20	95—110	10	30	3	—	3,3—3,8	
										до 80
										более 80
сварной шов			20	85—110	5	15	2	—	—	

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабри- ката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	E	$\sigma_{0.2}$	$\sigma_{0.2}$	σ_n	δ_5	ψ	a_H кгс·м/см ²
Пруток, поковка, штам- повка	Отожжен- ные	20	12 500	78	90	100	10	30	3—5
		250	—	52	60	75	10	36	—
		350	10 200	35	45	65	11	39	—
		450	9700	30	42	55	9	38	—
	Закален- ные и со- старенные	20	12 500	85	105	115	8	30	2,5
		300	—	—	75	87	8	40	—
		350	10 200	54	72	86	8	45	—
		400	10 100	48	60	82	9	50	—

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °С	σ_{100}	σ_{1000}	$\sigma_{0.2/103}$	σ_{-1} на базе 10 ⁷ цик- лов
Пруток, по- ковка, штам- повка	Отожжен- ные	20	—	—	—	53
		200	73	—	—	—
		300	64	—	—	—
		350	62	—	—	43
		400	60	51	36	—
		450	42	35	14	39
	Закаленные и состаренные	350	83	—	—	—
		400	80	—	40	—
		500	27	13	5,5	—

Физические свойства

Плотность $d=4430$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °С	20—100	20—200	20—300	20—400
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,4	8,9	9,1	9,4
Температура, °С	100—200	200—300	300—400	
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,3	9,8	10,1	

Коэффициент теплопроводности

Температура, °С	100	200	300	400	500	600	700
λ Вт/м·град	9,2	10,9	11,3	12,6	13,8	15,5	16,8

Удельная теплоемкость

Температура, °С	100	200	300	400	500	600
c кДж/кг·град	0,545	0,587	0,670	0,712	0,796	0,880

Удельное электросопротивление при 20°C

$\rho = 10^{-6} = 160 \text{ ом}\cdot\text{см}$

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C		Выдержка час	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Неполный отжиг	600—650		0,5—4	На воздухе
Отжиг	750—800		15—60 мин	То же
Изотермический отжиг	850		0,5	В печи до 750°C
	+		0,5	На воздухе
	750		0,5	В печи до 500°C, далее на воздухе
Закалка	900—950		5—60 мин	В воде, в масле
Старение	450—550		2—4	На воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения	
	начала	окончания			
Ковка слитков	1100	850	30—70	На воздухе	
Ковка предварительно деформированной заготовки толщиной (в мм):					
	до 100	1000	800	40—70	То же
	более 100	1080	800	40—70	*
Штамповка на прессе	≤950	750	40—70	*	
Штамповка на молоте	≤970	800	40—70	*	

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Свариваемость

Свариваемый материал	Метод сварки	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	σ_b сварного соединения кгс/мм ²
BT6+BT6	ААрДЭС неплавящимся электродом	Без присадки	Отжиг при 750—800°C	95—100
	То же		Закалка с 900°C+старение при 500°C, 2 час	105

Примечания. 1. Сплав сваривается всеми видами сварки, пригодными для титановых сплавов, и со всеми листовыми титановыми сплавами.

2. Рекомендуемый присадочный материал — проволока из сплавов BT1-00, BT6С, BT2, СПТ2.

3. Длительная прочность сварного соединения при всех рабочих температурах составляет 0,9 σ_b основного материала при соответствующей температуре.

Применение

Силовые сварные детали, длительно работающие в отожженном состоянии при температурах до 450°C (10 000 час) и в термически упрочненном — до 400°C (3000 час)

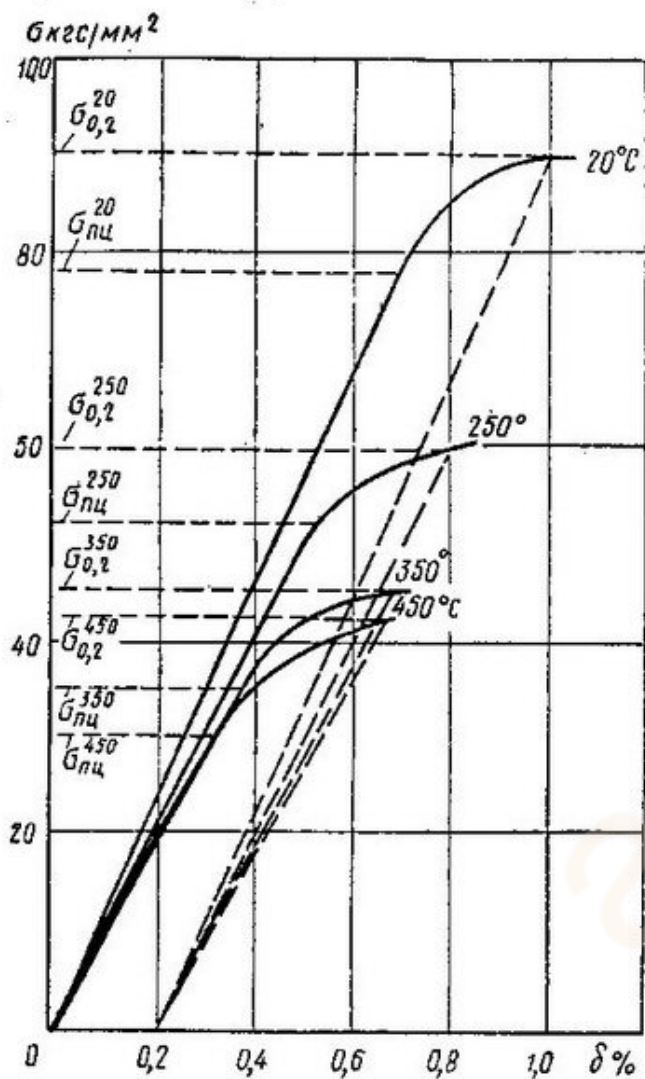


Рис. 1. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава ВТ6 при комнатной и высоких температурах. Пруток, $\sigma_8^{2,1'} = 100$ кгс/мм².

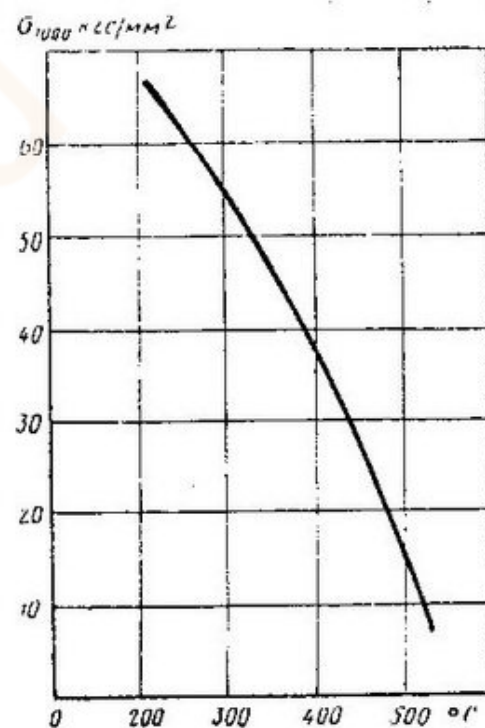


Рис. 2. Длительная прочность за 1000 час сплава ВТ6 при высоких температурах. Пруток, $\sigma^{2,1'} = 100$ кгс/мм².

СПЛАВ СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ	BT20
-------------------------	------

Химический состав в % по ОСТ1 90013-71

Ti	Al	Zr	Mo	V	C	Fe	Si	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочных примесей
					не более						
Основа	5,5—7,5	1,5—2,5	0,5—2,0	0,8—1,8	0,10	0,30	0,15	0,15	0,05	0,015	0,30

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	Температура испытания, °С	σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ	σ_{100} кгс/мм ²	Угол изгиба град	НВ (d _{отп}) мм
					%				
Лист толщиной (в мм):	АМТУ 475-12-67	Отожженные с последующей проглажкой	20	100—120	8	—	—	30	—
				100—120	6*	—	—	30	—
	ОСТ1 30042-71 (сортмент)	Отожженные	20	95—115	12	—	—	30	—
				95—115	10	—	—	30	—
				95—115	8	—	—	30	—
500	≥65*	—	—	—	45*	—	—		
Плита толщиной 12—60 мм	ВТУ 518-1-68	Горячекатаные	20	95—115	6	15	5	—	3,3—3,8
				≥95	10	25	4	—	—
Профиль прессованный	СТУ 136-3-68	Отожженные	20	≥95	10	25	4	—	—
Пруток катанный диаметром 25—60 мм	АМТУ 451-67	То же	20	95—110	10	25	4	—	3,3—3,8

Продолжение

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	Температура испытания, °С	σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ	σ_{100} кгс/мм ²	σ_{100} кгс/мм ²	Угол изгиба град	НВ (d _{отп}) мм
					%					
Пруток катанный крупногабаритный диаметром (в мм):	ТУ1-92-6-72	Отожженные	20	95—115	10	25	4	—	—	3,3—3,8
				90—115	8	20	3	—	—	3,3—3,8
				101—130**	—	—	—	—	—	—
Пруток кованый диаметром (в мм):	СТУ 467-1-68	То же	20	95—110	10	25	5	—	—	3,3—3,8
				93—110	8	20	5	—	—	—
				90—110	7	20	4	—	—	3,3—3,8
Штамповка и поковка (в мм):	ОСТ1 30000-70	»	20	95—115	10	25	4	—	—	3,3—3,8
				до 100**	—	—	—	—	—	—
				101—250***	—	—	—	—	—	—
Кольцо цельнопрокатное	ОСТ1 30043-72	»	20	≥95	8	20	3	—	—	3,3—3,8
				500	≥65	—	—	—	45	—

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

Механические свойства при низких, комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Температура испытания, °C	E	E _d	σ _{пц}	σ _{0,2}	σ _в	δ _{11,3} /F ₀ или δ ₁₀	ψ	σ _н кгс·м/см ²
			кгс/мм ²						%	
Лист тол- щиной 1— 5 мм	Отож- женный	-253	—	—	—	—	145— 160	< 2	—	—
		-196	—	—	—	145	140— 150	5—8	—	—
		20	12000	—	75—95	85— 105	95— 115	10—12	—	—
		350	9500	—	40	60	70	—	—	—
		500	8200	—	30	50	65	—	—	—
		550	7500	—	20	43	60	—	—	—
Пруток диаметром до 50 мм и плита тол- щиной 45 мм	То же	-196	—	—	—	135	140	6	20—30	2,5
		20	12500	13400	75—90	85— 100	95— 110	10—15	25—45	5—7
		350	10000	—	40	60—65	70—82	10	40—50	—
		500	9500	10950	35	50—60	65—75	10—15	40—55	—
		550	—	—	30	45—53	60—68	—	50—60	—
		600	—	10450	—	—	—	—	—	—
800	—	9100	—	—	—	—	—	—	—	

Механические свойства при сжатии и кручении

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Температура испытания °C	G	E _{сж}	σ _{0,2 сж}	σ _{в сж}	τ _{пц}	τ _{0,3}	τ _{max}
			кгс/мм ²						
Лист тол- щиной 1— 3 мм	Отож- женный	20	—	11 000— 12 000	85—105	100—120	—	—	—
		200	—	10 500— 11 500	65—85	75—95	—	—	—
Пруток	То же	20	4500	12 300	88	145	46	56	79

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпе- ратура испыта- ния °C	σ ₁₀₀	σ ₅₀₀	σ ₁₀₀₀	σ ₂₀₀₀	σ ₅₀₀₀
			кгс/мм ²				
Лист и пруток	Отож- женные	200	80	—	—	—	—
		350	68—71	68—71	68—71	68—71	68—71
		450	60—63	53—56	49—53	46—50	43—47
		500	45—48	32—34	27—30	23—25	20

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпе- ратура испыта- ния °C	σ _{0,2/100}	σ _{0,2/500}	σ _{0,2/1000}	σ _{0,2/2000}	σ ₋₁ на базе 10 ⁷ цик- лов
			кгс/мм ²				
Лист и пруток	Отож- женные	20	—	—	—	—	42
		350	55—60	53—57	50—54	48—50	—
		450	29—33	26—30	22—25	19—21	—
		500	15—17	9—10	6—7	—	36

Секундная прочность и ползучесть

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпе- ратура испыта- ния °C	σ _{10"}	σ _{30"}	σ _{60"}	σ _{120"}	σ _{200"}	σ _{300"}
			кгс/мм ²					
Лист толщи- ной 1,5 мм	Отож- женный	700	46	41	38,5	35,5	34	33,5
		800	24	21,5	18,5	15,5	13,5	13
		900	11	8,5	6,5	4,5	4	3,5
		1000	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1
Пруток диамет- ром 12 мм	То же	700	52	50,5	48,5	46,5	45	43,5
		800	34	30	26	22	19,5	19
		900	19	16	13,5	11	9,5	9
		1000	6,5	5	4	3,5	3	2,5

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	°0,5/10"	°0,5/20"	°0,5/30"	°0,5/120"	°0,5/200"	°0,5/300"
			кгс/мм ²					
Лист тол- щиной 1,5 мм	Отожженный	700	34,5	27	22	17,5	15	13
		800	8	5,5	4,5	3	2,5	2

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ_5 %	ψ %	a_{10} кгс·м/см ²	Угол изгиба град
	темпе- ратура °C	время час					
Отожженный лист толщиной 2 мм	Исходное со- стояние		98	10	—	—	49
	300	1000	98	8	—	—	47
		2000	100	8	—	—	42
		3000	101	8	—	—	50
		5000	103	8	—	—	50
		Исходное со- стояние	—	—	—	—	—
	400	1000	102	8	—	—	47
		2000	107	9	—	—	40
		3000	108	8	—	—	47
		5000	111	8	—	—	46
		Исходное со- стояние	—	—	—	—	—
	500	1000	111	8	—	—	37
		2000	113	8	—	—	37
		3000	114	7	—	—	20
		5000	117	6	—	—	20
Исходное со- стояние		—	—	—	—	—	—
Отожженный пруток	Исходное со- стояние		95	11	37	5	—
	300	100	96	14	39	5	—
		500	95	14	39	5	—
		1000	95	14	39	5	—
		3000	96	14	38	—	—
		5000	97	13	29	—	—
	400	100	96	13	37	5	—
		500	95	15	39	5	—
		1000	96	15	42	5	—
		3000	97	14	38	—	—
		5000	98	14	35	—	—
	500	100	98	15	38	5	—
		500	97	14	38	4,7	—
		1000	99	14	38	4,9	—
		3000	99	14	38	—	—
5000		100	12	28	—	—	

Физические свойства

Плотность $d=4450$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—200	20—300	20— 400	20— 500	20— 600	20— 700	20— 800
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,9	9,0	9,2	9,3	9,5	9,7	9,7
Температура, °C	100—200	200—300	300— 400	400— 500	500— 600	600— 700	700— 800
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,0	9,2	9,7	10,0	10,4	10,9	9,9

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ вт/м·град	8,8	10,2	10,9	12,2	13,8	15,1	16,8	18,0	19,7

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
c кдж/кг·град	0,545	0,587	0,623	0,670	0,712	0,755	0,838	0,880	0,922

Удельное электросопротивление при 20°C
 $\rho \cdot 10^6 = 163$ ом·см.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг листов	700—800 **	1	На воздухе
Отжиг прутков	700—850	1	То же
Неполный отжиг листов и прутков	600—650	1	

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

** Допускается 650—750°C.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °С		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитков	1180	900	20—30	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки	1080	900	≥40	То же
Штамповка на прессе**	970—1000	900	40—50	>
Штамповка на молоте	990—1020	850—900	40—50	>

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

** При изготовлении крупногабаритных штамповок температура окончания деформации составляет 850°С, степень деформации за один нагрев 50—70%.

Штампуемость*

Температура штамповки °С	Вытяжка $K_{раб}$	Отбортовка $K_{раб}$	Выдавка $K_{раб}$ %	Гибка на угол 90° r_{min}
20	—	1,2—1,35	—	4,0—7,0 s**
700—900	1,3—1,6	1,5—1,7	6—10	2,0—3,5 s

* Инструкция ВИАМ № 642-71.

** s — толщина листа.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °С	Механические свойства сварного соединения									
						$\sigma_{св}$ кгс/мм ²	Угол изгиба град	α в шва кгс·м/см ²	σ_{100} кгс/мм ²	σ_{-1} кгс/мм ²					
BT20+ +BT20 (лист)	ААрдЭС неплавящимся электродом	До 3,0	Без присадки	Отжиг при 650°С— 1 час	20	95	40	—	—	30					
					350	74	—	—	69	—					
					500	70	—	—	46	46					
					550	60	—	—	26	—					
BT20+ +BT20 (поковка)	ААрдЭС плавящимся электродом	15,0— 20,0	BT20-2	>	20	92	—	6	—	28					
					300	60	—	—	—	—					
					BT20+ +BT6C (лист)	ААрдЭС неплавящимся электродом	3,0	Без присадки	Отжиг при 800°С— 1 час	20	92	44	3,5	—	—
										350	61	—	—	—	—
500	52	—	—	—	—	—	—								
BT20+ +BT14 (лист)	То же	3,0	То же	То же	20	88	50	4	—	—					
					350	60	—	—	—	—					
					500	52	—	—	—	—					

Свариваемые материалы	Метод сварки	Толщина мм	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °С	Механические свойства сварного соединения	
					$R_{ср}$	$R_{отр}$
					кгс	
BT20+BT20	Контактная точечная	1,0+1,0	Без термической обработки	20	1000	—
		1,5+1,5			1500	450
		2,0+2,0			2300	600

Свариваемые материалы	Метод сварки	Толщина мм	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °С	Механические свойства сварных соединений	
					$P_{ср}$	$P'_{отр}$
					кгс	
BT20+OT4	Контактная точечная	1,5+1,5	Без термической обработки	20	1600	500
BT20+BT5-1		1,5+1,5	То же	20	1000	450

Примечания. 1. Сплав может свариваться со всеми листовыми титановыми сплавами, σ_s сварного соединения $\approx 0,9-0,95 \sigma_s$ основного материала.
2. σ_s определяли на листах при симметричном изгибе, на поковках при изгибе с кручением. База испытания $2 \cdot 10^7$ циклов.

Применение

Сварные детали и узлы, длительно работающие при 450 (6000 час) и 500°С (3000 час), а также детали, работающие кратковременно (до 5 мин) при температурах до 800°С.

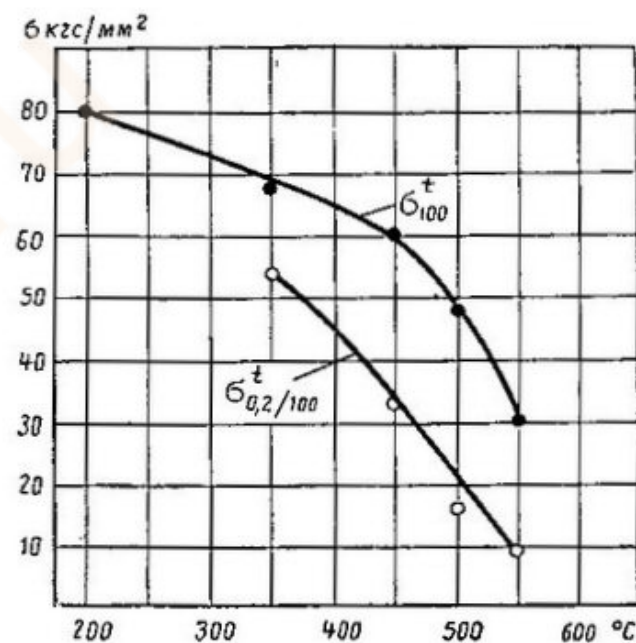


Рис. 1. Длительная прочность и сопротивление ползучести за 100 час при высоких температурах сплава BT20.

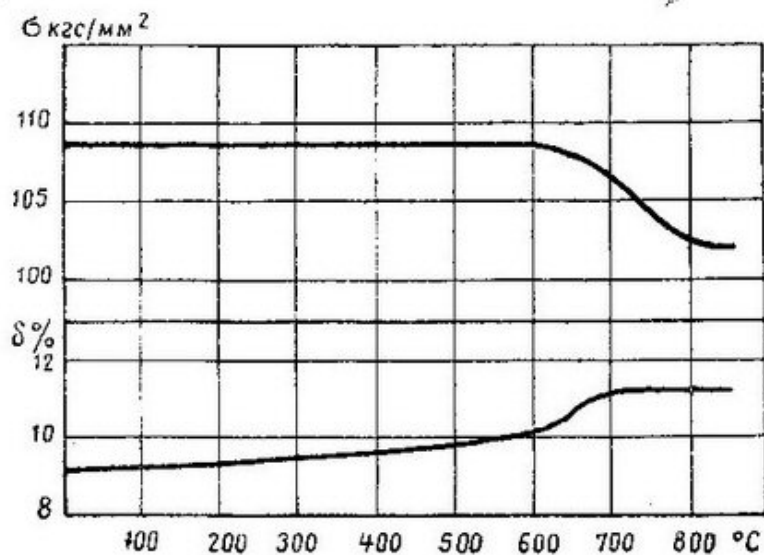


Рис. 2. Влияние температуры отжига на свойства сплава BT20. Лист толщиной 2 мм.

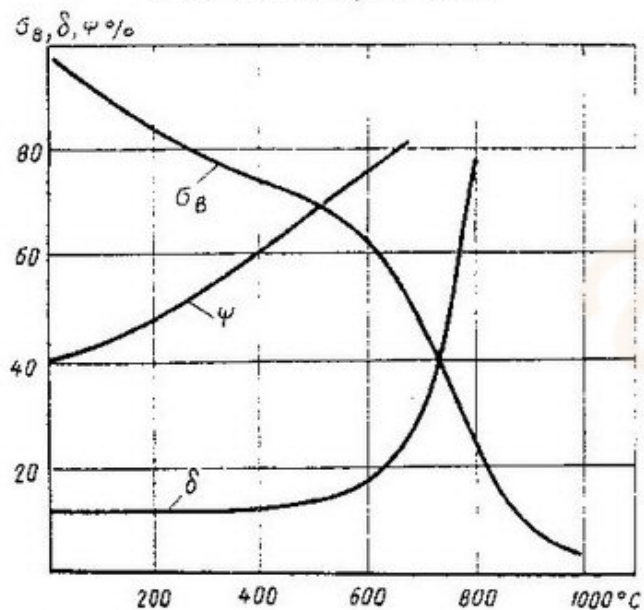


Рис. 3. Зависимость механических свойств сплава BT20 от температуры испытания (σ_b в % от σ_b при комнатной температуре).

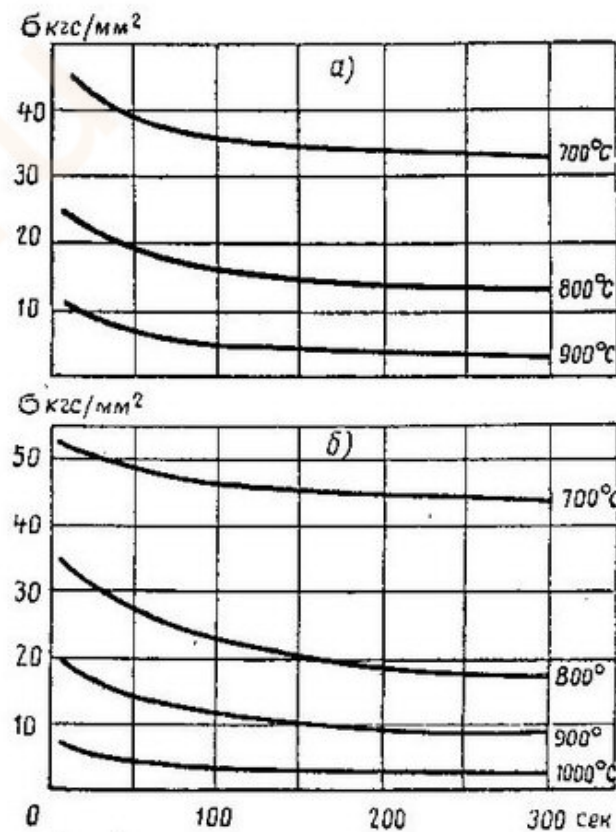


Рис. 4. Секундная прочность сплава BT20:
а — лист толщиной 1,5 мм; б — пруток диаметром 12 мм

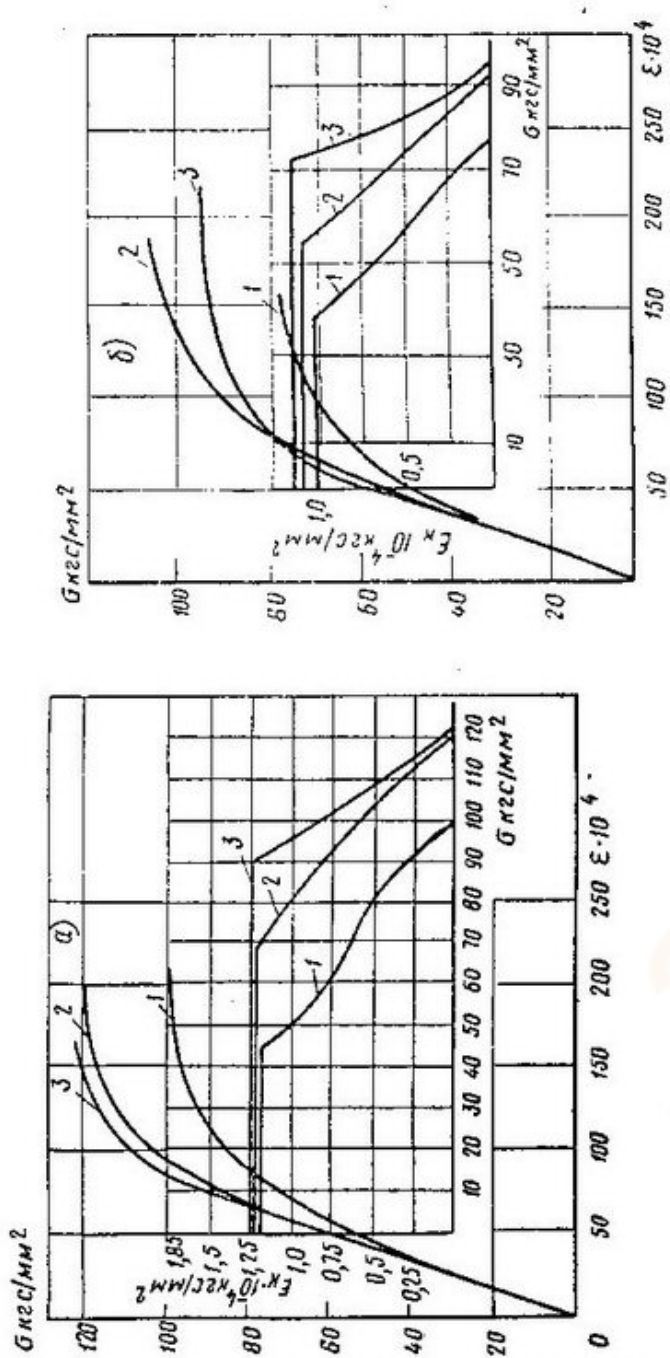


Рис. 5. Кривые сжатия и касательного модуля сплава VT20. Данные завода «Опыт»:

а — при комнатной температуре: 1 — лист толщиной 1 мм, $E_{сж} = 11500$ кгс/мм², $\sigma_{пл.сж} = 55,4$ кгс/мм², $\sigma_{0,2 сж} = 80,7$ кгс/мм², $E_{ск} = 12000$ кгс/мм², $\sigma_{пл.ск} = 85,2$ кгс/мм², $\sigma_{0,2 ск} = 108,1$ кгс/мм², 2 — лист толщиной 3 мм, $E_{сж} = 12170$ кгс/мм², $\sigma_{пл.сж} = 100,4$ кгс/мм², $\sigma_{0,2 сж} = 113,8$ кгс/мм², $E_{ск} = 9770$ кгс/мм², $\sigma_{пл.ск} = 49,4$ кгс/мм², $\sigma_{0,2 ск} = 66,35$ кгс/мм², 3 — лист толщиной 3 мм, $E_{сж} = 10880$ кгс/мм², $\sigma_{пл.сж} = 65,9$ кгс/мм², $\sigma_{0,2 сж} = 82,1$ кгс/мм², 3 — лист толщиной 3 мм, $E_{ск} = 11300$ кгс/мм², $\sigma_{пл.ск} = 79,45$ кгс/мм², $\sigma_{0,2 ск} = 88,58$ кгс/мм².

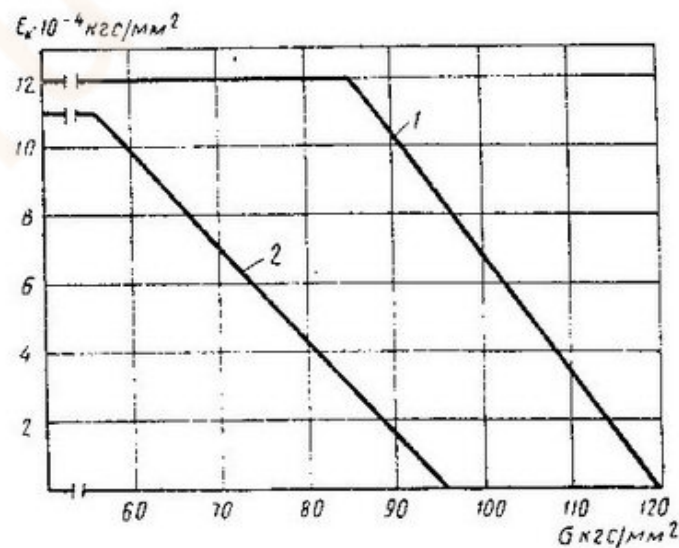


Рис. 6. Изменение касательного модуля сплава VT20. Лист толщиной 2 мм, отожженный при 650°C — 1 час в вакууме.

1 — при комнатной температуре, 2 — при 200°C.
Данные завода «Опыт».

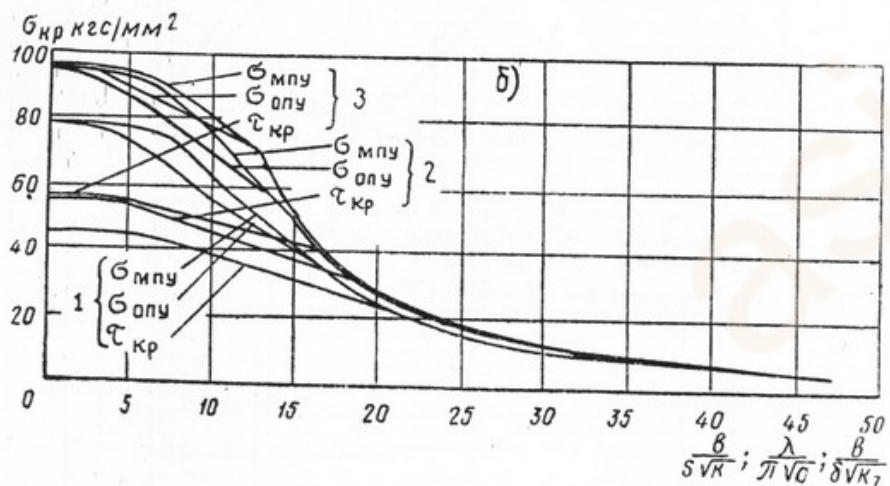
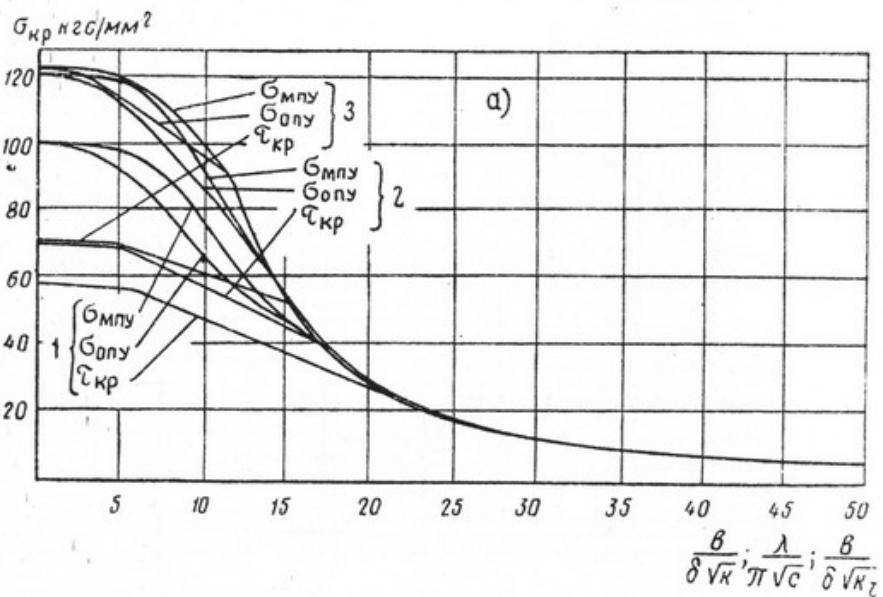


Рис. 7. Кривые критических напряжений гнутых профилей и обшивки из сплава BT20 при комнатной температуре (а) и при 200°C (б). Отжиг при 650°C — 1 час в вакууме.

1 — лист толщиной 1 мм, 2 — лист толщиной 2 мм, 3 — лист толщиной 3 мм.
 $\sigma_{мпу}$ и $\sigma_{опу}$ — местная и общая потери устойчивости.
 Данные завода «Опыт».

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ	BT14
----------------------------	-------------

Химический состав в % по ОСТ1 90013—71

Ti	Al	Mo	V	C	Fe	Si	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
Основа	3,5—6,3	2,5—3,8	0,9—1,9	0,10	0,30	0,15	0,30	0,15	0,05	0,015	0,30
не более											

Примечание. В листах толщиной до 10 мм содержание алюминия — 3,5—4,5%, в остальных полуфабрикатах — 4,5—6,3%.

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полуфабриката	ТУ, ОСТ	Состояние контрольных образцов	$\sigma_{н}$ кгс/мм ²	δ_5 %	ψ %	a_n кгс·м/см ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{отн}$) мм	
									не менее
Лист толщиной (в мм):	АМТУ 475-11-67	Отожженные							
	ОСТ1 90042—71 (сортамент)	0,6—5,0	90—107	8	—	—	60—30	—	
		5,5—10,0	85—107	8	—	—	≥30	—	
	Закаленные и состаренные	0,6—1,5	≥110	5	—	—	—	—	
		1,8—5,0	≥120	6	—	—	—	—	
		5,5—7,0	≥110	4	—	—	—	—	
8,0—10,0	≥112	4	—	—	—	—	—		
Плита толщиной 12—60 мм	ОСТ1 90024—71	Отожженные	85—105	7	25*	—	—	—	
		Закаленные и состаренные	≥110	4	10*	—	—	—	
Пруток катаный диаметром (в мм):	АМТУ 451-67	Отожженные	10—24	95—112	10	35	5	—	3,3—3,8
			25—60	90—105	10	35	5	—	3,3—3,8
	То же	Закаленные и состаренные	10—60	≥112	6	12	2,5	—	3,1—3,4

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ	$\sigma_{0.2}$ кгс/мм ²	Угол изгиба град	НВ ($d_{0.1}$) мм
				%				
				не менее				
Пруток ката- ный крупнога- баритный диа- метром (в мм): 65—100 **	ТУ1- 92-6-72	Отож- женные Зака- ленные и соста- ренные	90—110	9	30	5	—	3,3—3,8
			>110	4	8	2	—	3,1—3,4
			88—110	8	23	4,5	—	3,3—3,8
101—130 ***		Отож- женные	88—110	8	23	4,5	—	3,3—3,8
Пруток кова- ный диаметром или со сторо- ной квадрата (в мм): 65—100 **	АМТУ 534-67	Отож- женные Зака- ленные и соста- ренные	90—110	9	30	5	—	3,3—3,8
			>110	4	8	2	—	3,1—3,4
			88—110	8	23	4,5	—	3,3—3,8
101—150 *** 151—250 ***		Отож- женные	85—107	6	20	3	—	3,3—3,8
Штамповка и поковка тол- щиной (в мм): до 100 ** 101—150 *** 151—250 ***	ОСТ1 90003—70	Отож- женные	90—110	10	35	5	—	3,3—3,8
			88—110	7	20	4,5	—	3,3—3,8
			85—110	7	20	4	—	3,3—3,8
Штамповка и поковка ве- сом до 50 кг I группы II группы III группы	АМТУ 561-70	Зака- ленные и соста- ренные	>112	6	14	2,5	—	3,0—3,4
			>112	5	12	2,3	—	3,0—3,4
			>112	4	8	2	—	3,0—3,4

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабри- ката	Состоя- ние	Температура испытания °С	E	$\sigma_{ли}$	$\sigma_{0.2}$	σ_b	δ_{10}	ψ	d_n кгс/мм ²		
			кгс/мм ²							%	
Лист толщи- ной 1,2 мм	Отож- женный	20	—	—	85— 100	90—115	6—14	—	6—12		
		20	—	—	65—76	95—100	12—16	—	5—8		
	Зака- ленный и соста- ренный	-196	—	—	—	165	—	—	1,8— 2,5		
		-70	—	—	120— 135	130—150	1,5— 3,5	—	2,0— 2,5		
		20	11000	95— 100	108— 130	115—140	6—10	—	2,5— 3,5		
	Пруток кольчатый диамет- ром 20 мм	Отож- женный	350	8900	53—60	70—80	85—100	3,5—6	—	—	
			400	8700	45—55	68—75	80—95	4—6	—	—	
450			8500	40—50	60—70	75—90	4—6	—	—		
500			6700	30—40	50—60	70—75	6—10	—	—		
Пру- шина	Отож- женный	20	12000	67—85	89— 100	90—105	7—9	40—70	—		
		300	10500	47—60	61—75	70—85	7—9	50—80	—		
	Зака- ленный и соста- ренный	400	9800	40—55	53—70	66—80	6—8	50—80	—		
		20	12000	74—90	100— 120	120—140	4—6	30—50	—		
Отож- женная в вакуу- ме при 750°С, 2 час	Зака- ленная с 950°С (1 час) и соста- ренная	300	10500	49—60	70—95	96—110	5—8	50—65	—		
		400	9800	44—55	66—80	92—108	4—7	50—65	—		
Пру- шина	Отож- женная в вакуу- ме при 750°С, 2 час	20	—	—	—	84	—	—	—		
		20	—	—	—	95,5	—	—	—		

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{100}	σ_{2000}	σ_{4000}	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/200}$	$\sigma_{0,2/500}$	σ_{-1} на базе $2 \cdot 10^6$ циклов	
			кгс/мм ²							
Лист тол- щиной 1,2 мм	Отожжен- ный	20	—	—	—	—	—	—	39	
		Закален- ный и со- старенный	20	—	—	—	—	—	44	
			350	—	—	—	53	—	—	
			400	68	—	—	35	—	38	
Пруток кованый диаметром 20 мм	Отожжен- ный	300	65	65	64	—	—	—	—	
		Закален- ный и со- старенный	300	—	83	—	—	—	—	
			Отожжен- ный	20	—	—	—	—	—	41
				300	—	—	—	56	50	49
Пруток катаный диаметром 20 мм	Закален- ный и со- старенный	20	—	—	—	—	—	—	48	
		300	—	—	—	—	—	—	—	
			—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	60	—	—	—

Секундная прочность и ползучесть

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$	$\sigma_{0,5/10''}$	$\sigma_{0,5/60''}$
			кгс/мм ²					
Лист тол- щиной 2 мм	Закален- ный и со- старенный	500	71	68	66	64	55	50
		600	44	37	32	30	30	23
		700	16	13	11	10	9	6
		800	9	7	5	4	—	—

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- °C	$\sigma_{0,2/120''}$	$\sigma_{1/10''}$	$\sigma_{1/60''}$	$\sigma_{1/120''}$	$\sigma_{1/180''}$	$\sigma_{1/300''}$
			кгс/мм ²					
Лист тол- щиной 2 мм	Закален- ный и со- старенный	500	47,5	60	55	52,5	51	50
		600	20	38	28	25,5	24	21
		700	4,5	12	7,5	6	5,5	4,5

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	$\delta_{11,3V/E}$ %	Угол изгиба град	a_{T-y} кгс·м/см ²
	темпе- ратура °C	время час				
Отожженный лист толщиной 1,5 мм	Исходное со- стояние		93	9	65	4,6
	300	10 000	94	8	65	2,6
Закаленный и состаренный лист толщиной 2 мм	Исходное со- стояние		128	7	60	2,0
	300	10 000	128	6	60	1,4

Физические свойства

Плотность $d=4520$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20— 100	20— 200	20— 300	20— 400	20— 500	20— 600	20— 700	20— 800	20— 900
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,0	8,2	8,5	8,8	8,9	8,7	8,8	9,1	8,6

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,4	9,1	9,7	9,3	—

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ вт/м·град	9,2	10,5	11,7	13,0	13,8	15,5	16,8	18,4	20,1

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800
c кдж/кг·град	0,503	0,545	0,587	0,628	0,670	0,712	0,838	1,00

Удельное электросопротивление

Температура, °C	-100	-60	0	25	100	200	300	350	400	450
$\rho \cdot 10^6$ ом·см	150	153	157	159	163	168	172	173	175	176

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Неполный отжиг	550—650	2—8	На воздухе
Отжиг	740—760	15—60 мин	То же
Закалка	870—910	5—60 мин	В воде
Старение	480—560	8—16	На воздухе
Изотермический отжиг	790—810	15—60 мин	В печи до 640—660°C
	+ 640—660	0,5	На воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитков	1100	850	30—50	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки	980—1070	800	40—70	То же
Штамповка на молоте	930—960	800	40—70	»
Штамповка на прессе	920—940	750	40—70	»

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Штампуемость*

Состояние материала	Температура штамповки °C	Вытяжка		Отбортовка		Выдавка		Гибка на угол 90°	
		$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр}$	$K_{раб}$	$K_{пр, плоск}$	$K_{раб, сфер}$	r_{min}	$r_{раб}$
Отожженный	20	1,5—1,6	1,4—1,5	1,5—1,65	1,35—1,40	0,12—0,15	0,25—0,30	3,5—4,5s**	4,5—5,5s
	600—750	2,0	—	1,6—1,7	1,4—1,6	—	—	2,0—2,5s	3,0—3,5s
Закаленный	20	1,65—1,7	1,5—1,55	1,6—1,70	1,4—1,55	0,15—0,20	0,30—0,40	3,0—3,5s	3,5—4,0s

* Инструкция ВИАМ 642-71.

** s — толщина листа.

Механические свойства сварных соединений при комнатной температуре

Свариваемый материал	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	σ_b кгс/мм ²	Угол изгиба град	σ_{-1} кгс/мм ²	Малоцикловая усталость	
								σ_{\max} кгс/мм ²	N циклы
BT14 + BT14 (лист)	ААрДЭС неплавящимся электродом	1,5	Без присадки	Отжиг при 750°C, 30 мин	98	45	29	67,7	10 500
					113	35	33	79	6 000
	То же	3,0	То же	Отжиг при 750°C, 2 час	102,7	41	—	57	53 873
				Закалка с 870°C (10 мин) + старение при 520°C, 16 час	116	32	—	57	26 659
	То же	2,5—3,0	BT2	Отжиг при 750°C, 2 час	102	—	—	—	—
				Закалка с 870°C (10 мин) + старение при 520°C, 12 час	100	—	—	—	—

Продолжение

Свариваемый материал	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	σ_b кгс/мм ²	Угол изгиба град	σ_{-1} кгс/мм ²	Малоцикловая усталость	
								σ_{\max} кгс/мм ²	N циклы
BT14 + BT14 (лист)	ААрДЭС неплавящимся электродом	2,5—3,0	СПТ2	Отжиг при 750°C, 30 мин	99	—	—	69,4	6 927
				Закалка с 870°C (10 мин) + старение при 520°C, 12 час	112	—	—	73,3	4 653
BT14 + BT14 (поковка)	ААрДЭС плавящимся электродом	16—18	То же	Отжиг при 750°C, 30 мин	86	—	—	—	—
				Закалка с 870°C (1 час) + старение при 520°C, 12 час	98	—	—	—	—

Свариваемые материалы	Метод сварки	Толщина мм	Термическая обработка до и после сварки	$P_{ср}$	$P_{отр}$	Малоцикловая усталость	
				кгс		P_{max} кгс	N циклы
BT14+BT14 (лист)	Контактная точечная	1,5+ 1,5	Без термической обработки	1550	430	620	17000
			Сварка + отжиг при 650°C, 30 мин	1425	370	570	5000
			Закалка с 870°C (10 мин) + сварка + старение при 515°C, 16 час	1000	300	620	5450
			Сварка + закалка с 870°C (10 мин) + старение при 515°C, 16 час	1585	420	570	2700

Механические свойства сварных соединений при комнатной температуре после длительных нагревов

Свариваемый материал	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Режим нагрева		$\sigma_{\text{в}} \text{ кгс/мм}^2$	$\sigma_{\text{п}} \text{ кгс/мм}^2$	$\sigma_{\text{ср}} \text{ кгс/мм}^2$	Малоцикловая усталость	N	
					температура °C	время час						σ_{max} кгс/мм ²
BT14+BT14 (лист)	ААрДЭС нелавя- щимся электродом	1,5	Без присадки	Отжиг при 750°C, 30 мин Закалка с 890°C (10 мин) + старение при 515°C, 16 час	Исходные стояние	300	98	29	67,7	10 500	79	6 000
							96	24	67,7	11 800		
							88	26	77	5 500		
							113	33	79	6 000		
							105	28	79	5 300		
							94	30	79	5 500		

Свариваемый материал	Метод сварки	Толщина мм	Термическая обработка до и после сварки	Режим нагрева		$R_{\sigma T}$	$R_{\sigma 0.2}$	Малозначковая усталость	
				температура °C	время час			R_{\max} кгс	N циклов
BT14 + BT14 (лист)	Контактная точечная	1,5 + 1,5	Сварка + отжиг при 650°C, 30 мин	Исходное состояние	300	1425	370	570	5 000
						1680	430	570	6 450
			Закалка с 870°C (10 мин) + сварка + старение при 515°C, 16 час	Исходное состояние	300	1240	310	570	6 500
						1000	300	620	5 450
						1470	270	620	1 200
						1150	220	570	3 000

Применение

Силовые детали и сварные узлы, длительно работающие при температурах до 400°C: в отожженном состоянии — 10 000 час, в термически упрочненном — 2 000 час, а также корпуса и емкости высокого внутреннего давления.

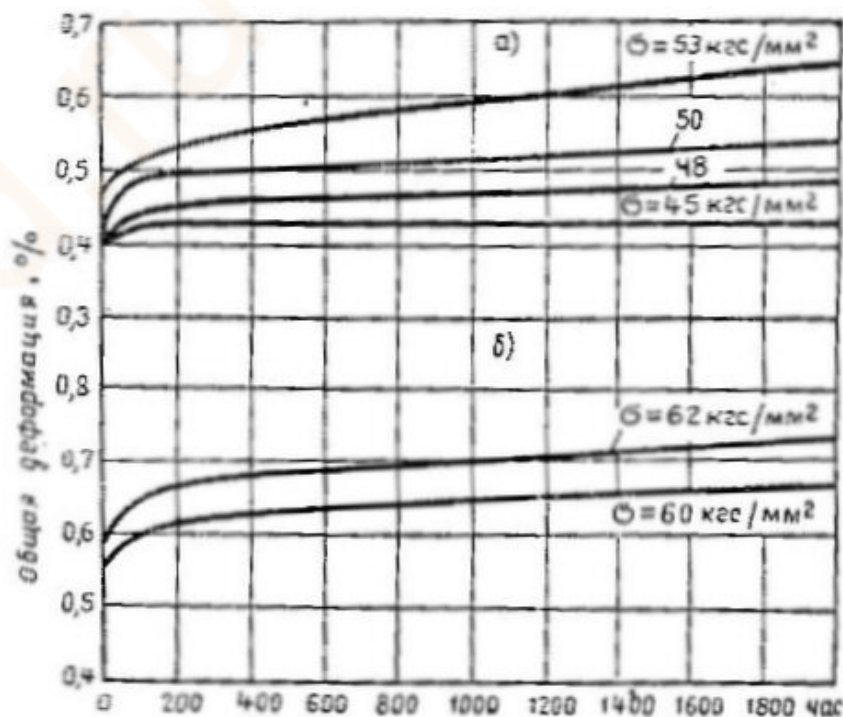


Рис. 1. Кривые ползучести сплава BT14 при 300°C в отожженном при 750°C — 1 час (а) и закаленном и состаренном при 500°C — 16 час (б) состояниях. Пруток диаметром 20 мм.

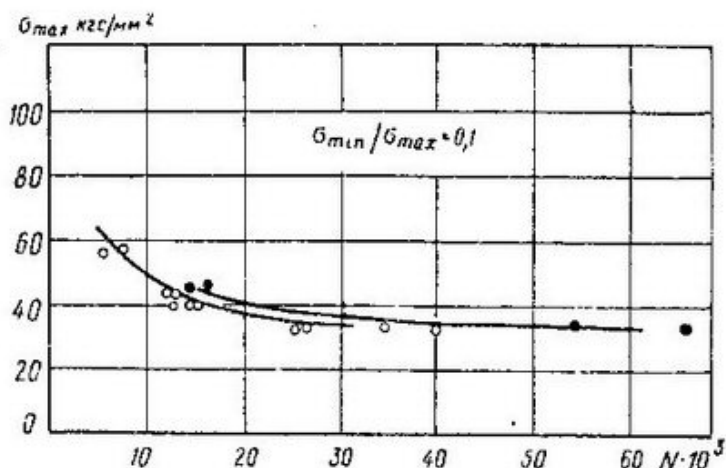


Рис. 2. Малоцикловая усталость сплава ВТ14 при повторном растяжении. Проушина с различной формой кромок ($\sigma_n = 93 \text{ кгс/мм}^2$).

○ — острая кромка, ● — кромка с фаской $\angle 45^\circ \times 0,5 \text{ мм}$.

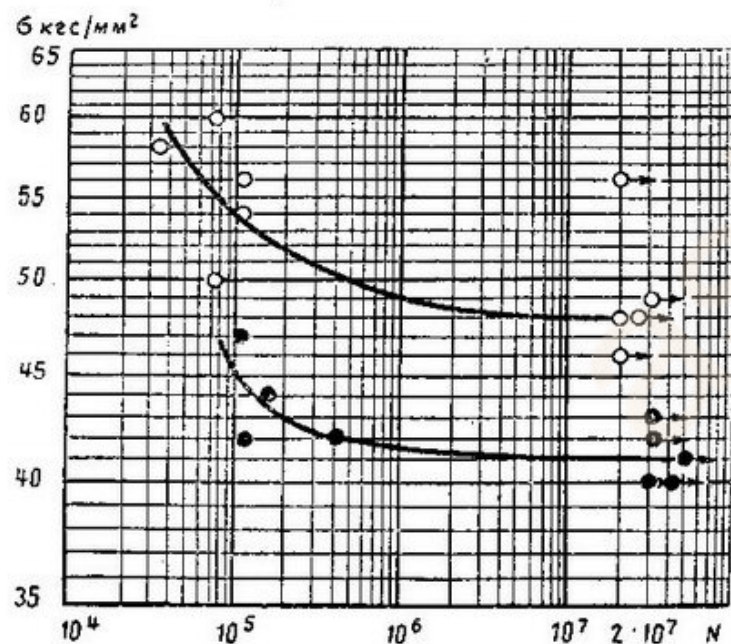


Рис. 3. Кривые выносливости сплава ВТ14 в различных состояниях:

○ — закаленное и состаренное, ● — отожженное. Прутки диаметром 20 мм, образцы гладкие.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ										ВТ15	
Химический состав в %											
Ti	Al	Mo	Cr	C	Fe	Si	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей	
не более											
Основа	2,3—3,6	6,8—8,0	9,5—11,5	0,10	0,30	0,15	0,12	0,05	0,012	0,30	

Примечание. Допускается содержание $\leq 1,5\%$ Zr.

Механические свойства по СТУ

Вид полуфабриката	СТУ	Состояние	σ_n кгс/мм ²	δ^*	ψ	σ_n кгс/мм ²	Угол изгиба град
				%			
не менее							
Лист плакированный толщиной в мм:	СТУ 415-7-65	Закаленный	85—100	12	30	—	80
			85—100	12	28	—	70
	То же	Закаленный и состаренный	≥ 130	4	—	—	—
			≥ 130	4	—	—	—
Пруток, поковка диаметром 100 мм	СТУ 146-12-61	Закаленные	≥ 90	12	—	4	—
			≥ 135	4	—	—	—

Для листов δ и ψ ; для прутков δ_n .

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0.2}$	σ_b	$\delta \cdot$	$\sigma_{нл}$	НВ
Лист, прутки	Закаленные	20	11 000	70	85	90	8	4	270—290
		300	10 000	46	65	70	10	—	—
		400	9 500	46	60	70	10	—	—
		500	7 500	45	60	65	12	—	—
Лист, прутки	Закаленные и состаренные	20	—	100	118	130	3	2,5	380—420
		300	—	90	105	120	4	—	—
		400	—	84	100	110	4	—	—
		500	—	45	60	100	6	—	—

* Для листов $\delta_{11.3 \sqrt{F_0}}$, для прутков δ_5 .

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ_b	σ_{100}	$\sigma_{0.25}$	$\sigma_{0.2/100}$
Лист, прутки	Закаленные	350	—	65	—	45
		500	—	—	10	—
	Закаленные и состаренные	350	—	95	60	53
		500	50	35	—	—

Секундная прочность и ползучесть

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$
Пруток	Закаленный и состаренный	300	—	—	—	135
		400	—	—	—	130
		500	105	101	98	96
		600	48	39	33	33
		700	15	12	12	12

Физические свойства

Плотность $d = 4890$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °С	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,9	9,1	9,3	9,5	9,7

Температура, °С	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,4	9,5	10,0	10,5	—

Коэффициент теплопроводности

Температура, °С	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ вт/м·град	8,0	9,63	11,3	13,0	14,7	16,3	18,0	20,1	21,8

Удельная теплоемкость

Температура, °С	100	200	300	400	500	600	700	800	900
c кдж/кг·град	0,503	0,545	0,587	0,628	0,670	0,712	0,755	0,796	0,838

Удельное электросопротивление при 20°C

$$\rho \cdot 10^6 = 155 \text{ ом} \cdot \text{см.}$$

Степень черноты полного нормального излучения

Состояние поверхности	в н при температуре, °C			
	100	200	300	400
После холодной прокатки	—	0,29	0,30	0,34

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Закалка	700—800	15—60 мин	В воде
Старение	450—500	15—25	На воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитков	1180	850	30—50	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки толщиной (в мм):	до 100	850	40—70	То же
	более 100	1050	40—50	»
Штамповка на прессе	920—900	700	40—70	»
Штамповка на молоте	930—900	800	30—60	»

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Штампуемость*

Состояние материала	Условия штамповки	Вытяжка $K_{\text{раб}}$	Отбортовка $K_{\text{раб}}$	Выдавка $K_{\text{раб}} \%$	Гибка на угол 90° r_{min}
Отожженный	Без нагрева	1,2—1,4	1,3—1,5	—	3,0—5,5 s**
	С нагревом	1,45—1,7	1,4—1,7	10—14	2,8—4,0 s
Закаленный	Без нагрева	1,3—1,5	1,4—1,6	4—7	2,5—5,0 s

* Инструкция ВИАМ № 642-71.

** s — толщина листа.

Свариваемость

Сплав сваривается аргоно-дуговой сваркой. Сварное соединение предварительно закаленных элементов обладает удовлетворительной пластичностью. Прочность сварного соединения листа толщиной до 2,5 мм составляет 0,9 от прочности основного материала.

Термическая обработка после сварки — старение или закалка и старение — не рекомендуется, так как вызывает охрупчивание сварного соединения.

Применение

Детали, кратковременно работающие при температурах до 500°C и длительно — до 150°C, а также корпуса, изготавливаемые с применением поперечной раскатки.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ	BT16
----------------------------	-------------

Химический состав в % по ОСТ1 90013-71

	Ti	Al	Mo	V	C	Fe	Si	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
Основна	1,6—3,0	4,5—5,5	4,0—5,0	0,10	0,25	0,15	0,30	0,15	0,05	0,015	0,30	0,30

Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние контрольных образцов	σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_{11} кгс·м/см ²
не менее						
Прутки калиброванные диаметром 4—16 мм	ТУ1-92-3-72	Отожженные	83—95	16	60	—
Прутки катаные диаметром 8—20 мм	АМТУ 552-69	Закаленные и состаренные	105—125	12	50	3
Прутки шлифованные диаметром 4—16 мм	АМТУ 553-69	То же	105—125	12	50	—
Лист толщиной 1—10 мм	СТУ 227-1-63	Отожженные	80—100	12	—	6
		Закаленные и состаренные	110—125	6	—	3
Лента толщиной 0,12—1,9 мм	СТУ 238-4-63	Отожженные	80—100	12	—	—
		Закаленные и состаренные	110—125	5	—	—

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	E	$\tau_{пл}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	$\frac{\sigma_{HV}}{\sigma_b}$	δ_5	ψ	a_{11} кгс·м/см ²	НВ кгс/мм ²
Прутки шлифованные диаметром 4—20 мм	Отожженный	20	10500	—	80	85	1,35	22	65	16	—
	Закаленный и состаренный	20	11200	—	90	110	1,23	16	60	8	—
		300	9200	—	60	90	—	25	70	—	—
Прутки катаные диаметром 20—60 мм	Отожженный	20	10700	—	82	87	—	20	60	10	230—280
	Закаленный и состаренный	20	11200	83	117	135	—	8	40	5	—
		300	9200	53	83	108	—	9	27	—	—
		450	8200	52	83	107	—	9	20	—	—
		450	8000	38	66	85	—	9	—	—	—
Лист толщиной 1,5 мм	Отожженный	20	10500	—	78	87	—	19	—	—	—
	Закаленный и состаренный	20	11000	92	116	133	—	7	—	—	340—370
		300	9000	58	85	95	—	8	—	—	—
		350	8700	55	83	93	—	8	—	—	—
		400	8300	52	81	91	—	8	—	—	—
		450	8000	38	66	85	—	9	—	—	—

Механические свойства крепежных деталей при комнатной температуре

Крепежная деталь	Состояние	σ_b	$\tau_{ср}$	σ_b при угле перегиба, град		σ_{-1} на базе $2 \cdot 10^7$ циклов
				4	8	
кгс/мм ²						
Болт М10×1,5	Отожженный	105	64	105	105	—
	Закаленный и состаренный	125	72	110	100	16

* При асимметричном растяжении ($r=0,1$).

Малоцикловая усталость крепежных деталей при асимметричном растяжении ($r=0,1$)

Крепежная деталь	Состояние	Температура испытания °С	σ_{max} кгс/мм ²	N циклы	
Болт М10Х1,5	Закаленный и состаренный	20	40	20 000	
			50	7 000	
			60	2 500	
			70	1 000	
			350	30	38 000
				40	9 000
				50	2 000
				55	1 000

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ_{100}	$\sigma_{0,2/100}$	σ_{-1} и σ_{-1}^H	
					на базе 10^7 циклов	
кгс/мм ²						
Пруток диаметром 4—20 мм	Закаленный и состаренный	20	—	—	44	32
		300	70	50	—	—
		350	60	40	—	—
		400	—	—	33	30
		400	—	—	36	—
Лист толщиной 0,5—5 мм	То же	20	—	—	36	—
		300	90	70	—	—
		350	80	60	35	+
		400	67	27	35	—

Секундная прочность и ползучесть *

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	σ_{10^4}	σ_{30^4}	σ_{100^4}	σ_{200^4}	σ_{300^4}	$\sigma_{0,5/10^4}$	$\sigma_{0,5/30^4}$
			кгс/мм ²						
Лист толщиной 0,5—5,0 мм	Отожженный	500	61,5	60	58	—	54	—	48
		600	44	39	32	30	29	—	17
		700	25	20	15	12	11	—	3
	Закаленный и состаренный	500	91,5	91,4	90,5	—	89	—	79,5
		600	67	63	55,5	—	50,5	52	36
		700	35	32,5	27	—	21,5	—	12,7

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{0,5/100^4}$	$\sigma_{1/30^4}$	$\sigma_{1/100^4}$	$\sigma_{1/200^4}$	$\sigma_{1/300^4}$
			кгс/мм ²				
Лист толщиной 0,5—5,0 мм	Отожженный	500	43	54,5	50	47,5	45
		600	12,5	25	18	15	13
		700	2,5	6	4	3	2,5
	Закаленный и состаренный	500	76	86	83	—	79,5
		600	29	55	41	—	32
		700	8	18	13	—	8,5

* С учетом начальной деформации.

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ	$R_{разр}$, кгс, при угле перегиба град	
	температура °C	время час				0	4
Закаленный и состаренный прутки диаметром до 20 мм	Исходное состояние		111	16	59	—	—
	300	2000	112	15	59	—	—
болт М10Х × 1,5	Исходное состояние		—	—	—	6250	6100
	300	2000	—	—	—	6200	6120

Физические свойства

Плотность $d=4680$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,1	9,4	9,7	9,9	10,0

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,8	10,4	10,5	10,3

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ Вт/м·град	10,9	12,1	13,4	14,6	15,9	16,7	18,0	19,6	21,3

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
c кДж/кг·град	0,461	0,503	0,545	0,587	0,670	0,712	0,796	0,838	0,880

Удельное электросопротивление при 20°C
 $\rho \cdot 10^8 = 111$ Ом·см.

Степень черноты полного нормального излучения

Состояние поверхности	ϵ_n при температуре, °C								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
После холодной прокатки	0,20	0,225	0,25	0,275	0,31	0,37	0,46	0,63	0,69
После пескоструйной обработки	0,45	0,47	0,49	0,52	0,54	0,55	0,56	0,63	0,70
После травления	0,49	0,55	0,61	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг	770—790	2	В печи, со скоростью 1—5 град/мин, до 500°C, затем на воздухе
Закалка	800—820	2	В воде
Старение	540—570	6—10	На воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением *

Вид обработки	Температура деформации °С		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1150	850	30—60	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки	1000	750	40—70	То же
Горячая прокатка:				
предварительная	1060—1100	800	40—70	*
окончательная	860	700	40—70	*
Штамповка на прессе	840	700	40—60	*
Штамповка на молоте	860	700	40—60	*

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Штампуемость

Состояние материала	Вытяжка		Отбортовка		Гибка на угол 90°	
	K _{пр}	K _{раб}	K _{пр}	K _{раб}	r _{max}	r _{раб}
Отожженный или закаленный	1,6—1,8	1,5—1,7	1,5—1,65	1,45—1,60	1,5—2,05 s *	2,5—3,5 s

* s — толщина листа.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °С	Механические свойства сварных соединений	
					σ_n кгс/мм ²	угол изгиба град
BT16+BT16	ААрДЭС	Без присадки	Без термической обработки	20	90—93	110—120
				350	80—83	—

Примечание. Сплав сваривается всеми видами сварки, применяемыми для титановых сплавов.

Применение

Крепежные и другие резьбовые детали диаметром не более 40 мм, длительно работающие при температурах до 350°С, а также сотовые и тонколистовые конструкции.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ						BT22					
---------------------	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--

Химический состав в % по ОСТ1 90013—71

Ti	Al	Mo	V	Fe	Cr	C	Si	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
Основа	4,4—5,9	4,0—5,5	4,0—5,5	0,5—1,5	0,5—2,0	0,10	0,15	0,30	0,20	0,05	0,015	0,30

Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние контрольных образцов	σ_n кгс/мм ²	δ_5	ψ	d_{11} кгс·м/см ²	НВ (d _{отп}) мм
				%			
не менее							
Пруток катаный диаметром 25—60 мм	АМТУ 451-67	Отожженные	110—125	10	35	3	3,1—3,6
Пруток катаный крупногабаритный диаметром 65—130 мм	ТУ1-92-6-72	То же	110—130	8	20	3	3,1—3,6
Штамповка и поковка весом (в кг):	ТУ1-92-2-72	*					
до 10			≥ 110	8	20	3	3,1—3,6
более 10			≥ 110	6	18	3	3,1—3,6
Профиль прессованный	ТУ1-9-465-72	*	110	8	25	2,5	3,1—3,6
Профиль прессованный с законцовкой	ТУ1-9-327-72	*	110	6	20	2,2	3,1—3,6

Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °C	E _д	E	σ _{пл}	σ _{0,2}	σ _з	δ ₅	ψ	A ₅ кгс·м/см ²	HB кгс/мм ²
Прутки ката- ный диаметром 30 мм	Отж- женный	-70	-	-	-	-	125-135	5-10	20-40	3-5	-
		20	-	11 000	95-110	105-115	110-125	10-16	35-50	3,5-6,0	-
		300	-	9 500	70-75	80-85	90-95	8-16	35-60	-	-
		400	-	8 500	52-55	70-75	80-90	10-18	40-65	-	-
Полоса ката- ная (балка) се- чением 170× ×270 мм	Отж- женная	20	-	11 500	93-100	100-110	110-115	7-14	18-40	3	-
		300	-	10 000	65-75	75-80	88-92	9-16	25-50	-	-
		20	-	11 500	95-105	105-115	110-120	8-16	25-50	3	-
Поковка круп- ногабаритная ве- сом до 2 т	То же	20	-	11 500	95-105	105-115	110-120	7-15	18-40	3	-
		300	-	10 000	68-76	80-90	90-96	9-18	25-50	-	-
Штамповка	»	20	-	11 500	96-105	105-115	110-120	7-15	18-40	3	-
		300	-	10 000	68-76	80-90	90-96	9-18	25-50	-	-
Профиль прес- сованный	Отж- женный	20	-	11 500	98-107	104-115	110-120	10-18	0-50	2,5	-
		100	-	-	-	-	100-110	8-22	55-70	-	-
		200	-	-	-	-	93-95	18-25	55-70	-	-
		300	-	9 500	70-80	80-90	87-92	17-20	55-70	-	-
400	-	8 500	52-60	70-80	83-89	18-22	55-80	-	-		

Продолжение

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °C	E _д	E	σ _{пл}	σ _{0,2}	σ _з	δ ₅	ψ	A ₅ кгс·м/см ²	HB кгс/мм ²
Профиль прес- сованный с за- концовкой	Отж- женный	20	-	11 500	97-105	105-110	110-115	8-16	20-40	2,2	-
		300	-	9 500	66-75	78-85	80-90	12-20	25-50	-	-
		-70	-	-	-	140-150	145-165	6-4	20-40	2,5-3,5	-
		20	12250	105-115	125-135	135-150	7-10	30-40	3-4	350-370	-
Прутки кова- ный для катаный диаметром до 60 мм, поковка и штамповка с тол- щиной стенки до 40 мм и весом не более 8 кг	Закален- ные и со- старенные	300	10900	75-85	100-110	115-120	9-12	40-50	-	-	
		350	10600	70-80	100-110	115-120	6-9	45-55	-	-	
		400	10400	70-75	90-95	105-115	7-10	45-55	-	-	

Механические свойства крепежных деталей при комнатной температуре

Крепежная деталь	σ_b , кгс/мм ² , при угле перегиба, град		N, циклы, при σ_{max}		σ_{-1}^* на базе 10^7 циклов кгс/мм ²
	0	8	$0,5 \sigma_b$	$0,6 \sigma_b$	
Болт М10×1,5	125	115	10 800 **	7300	—
Болт М24×1,5	—	—	—	—	15

* При асимметричном растяжении, $r=0,1$.** Образцы с надрезом, $r_n=0,75$ мм.

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{100}	σ_{200}	σ_{300}	σ_{500}	σ_{1000}	σ_{2000}	σ_{2000}^H
			кгс/мм ²						
Пруток диаметром 30 мм	Отожженный	300	84—89	84—89	84—89	84—89	84—89	84—89	108—112
		400	73—76	—	—	—	62—64	—	—
Полоса катаная сечением 170×270 мм	Отожженная	300	78—82	78—82	78—82	78—82	78—82	78—82	105—108
		350	100	—	—	—	—	—	—
Пруток диаметром до 60 мм, штамповка с толщиной стенки до 40 мм и весом не более 8 кг	Закаленные и состаренные	400	85	—	—	—	—	—	—

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\frac{\sigma_{100}^H}{\sigma_{100}}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	σ_{-1}	σ_{-1}^H
						на базе 10^7 циклов	
кгс/мм ²							
Пруток диаметром 30 мм	Отожженный	20	—	—	—	55	38
		300	1,25	76—80	56—60	—	—
Полоса катаная сечением 170×270 мм	Отожженная	20	—	—	—	50	34
		300	1,31	66—70	56—60	—	—
Штамповка и поковка	Отожженные	20	—	—	—	50	36
		20	—	—	—	60	30
Профиль прессованный	То же	20	—	—	—	50	28
		20	—	—	—	50	28
Пруток диаметром до 60 мм и штамповка с толщиной стенки до 40 мм	Закаленные и состаренные	20	—	—	—	38	38
		350	—	62***	—	48	38
		400	—	32***	—	—	—

* $\sigma_k=2,2$.

** Свойства законцовки.

*** По общей деформации.

Секундная прочность

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{230''}$	$\sigma_{300''}$
			кгс/мм ²			
Пруток кованый диаметром 20 мм	Закаленный и состаренный	400	99	98,5	98,5	98,5
		500	91,5	91	90,5	90,5
		600	75	66	63	60
		700	44	32,5	28,5	25,5
		800	20	12,5	11	9,5
		900	7,5	4,5	4	3,5

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ_2 %	ψ %	σ_{-1} кгс·м/см ²	
	температура °C	время час					
Отожженный прут	Исходное состояние		114	12	36	3,5	
		200	10	114	12	39	3,5
			100	115	11	33	3,3
			1000	116	11	37	3,4
		10000	114	10	35	3,2	
	300		100	117	12	39	3,4
		1000	118	11	33	3,2	
		10000	120	9	30	3,0	
	400	10	118	11	36	3,4	
		100	119	9	31	3,3	
		1000	119	8	20	3,0	

Физические свойства

Плотность $d = 4620$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,4	8,8	9,3	9,8

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ вт/м·град	9,21	10,5	11,7	13,4	14,6	15,9	17,2	18,4	19,7

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800
c кдж/кг·град	0,523	0,565	0,586	0,649	0,712	0,795	0,879	0,863

Удельное электросопротивление

Температура, °C	-60	-100	0	20	100	200	300	350	400
$\rho \cdot 10^8$ ом·см	148	147	151	153	156	159	162	163	164

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях, в морской воде — при температурах до 300°C

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг	720—780	1—2	В печи до 400°C, далее на воздухе
Закалка	700—760	;	В воде
Старение	500—560	8—16	На воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением *

Вид обработки	Температура деформации °С		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1180	850	30—50	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки	1020	800	40—70	На воздухе
Штамповка на молоте	950	800	40—70	На воздухе, в печи
Штамповка на прессе	840	750	20—50	На воздухе, в печи
Прокатка, прессование	1050—950	800—750	20—60	На воздухе, в печи или на специальных стеллажах

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Механические свойства сварных соединений		
					$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{н}}$ кгс·м/см ²	N, циклы, при σ макс. кгс/мм ²
BT22 + BT22	ААрДЭС плавящимся электродом	10—30	СПП2	Отжиг при 750°С, 1 час, охлаждение в печи (со скоростью 3 град/мин) до 350°С, далее на воздухе	95—105	3,5	27500
					90—100	4,5—6	51900
					—	—	71700

* По переходной зоне.

Применение

Силовые детали и сварные узлы, длительно работающие (до 10 000 час) при температурах до 350°C, а также крупногабаритные крепежные детали

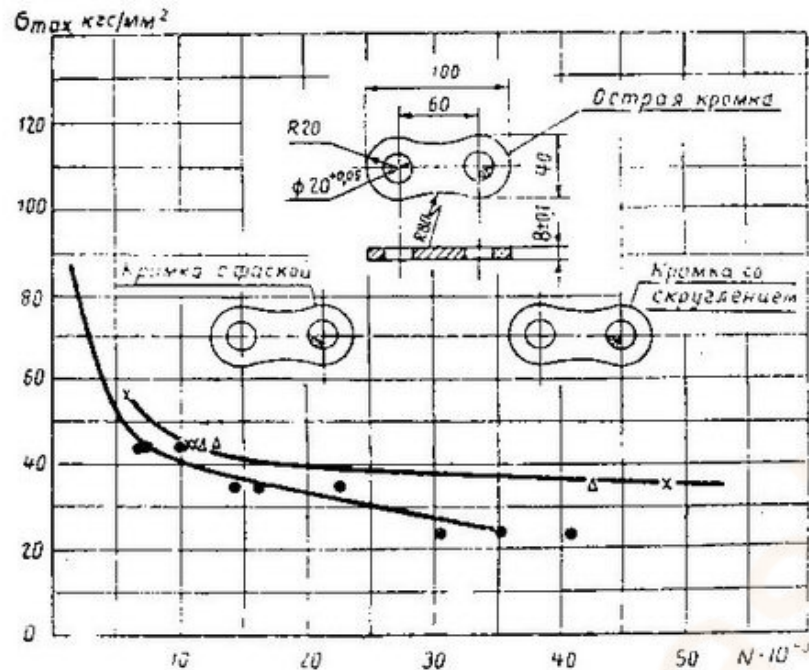


Рис. 1. Малоцикловая усталость сплава ВТ22. Проушина в отожженном состоянии (отжиг при 730°C — 30 мин, охлаждение в печи до 350°C, далее на воздухе); балка сечением 270×170 мм, $\sigma_B = 110$ кгс/мм².

● — острая кромка, △ — кромка с фаской под углом 45°×0,5 мм, ○ — кромка со скруглением, r=1 мм.

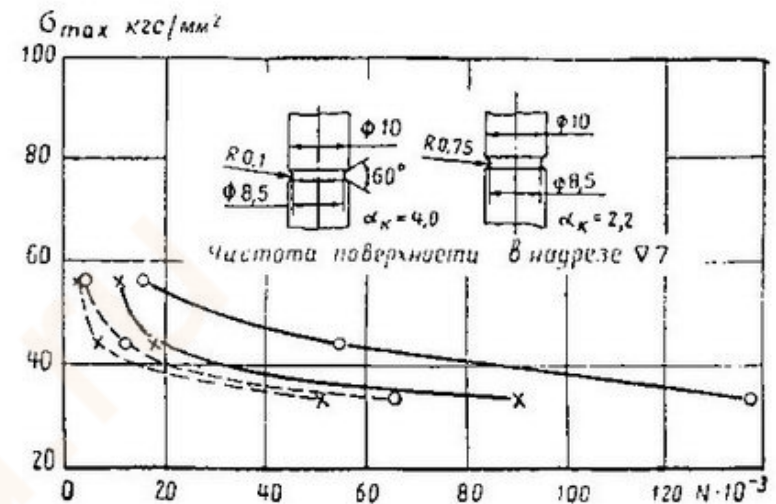


Рис. 2. Малоцикловая усталость сплавов ВТ22 и ВТ14.

Образцы с надрезом:

○ — сплав ВТ22, $\sigma_B = 110$ кгс/мм², × — сплав ВТ14, $\sigma_B = 100$ кгс/мм²,
— — — $r_n = 0.75$ мм; - - - $r_n = 0.1$ мм.

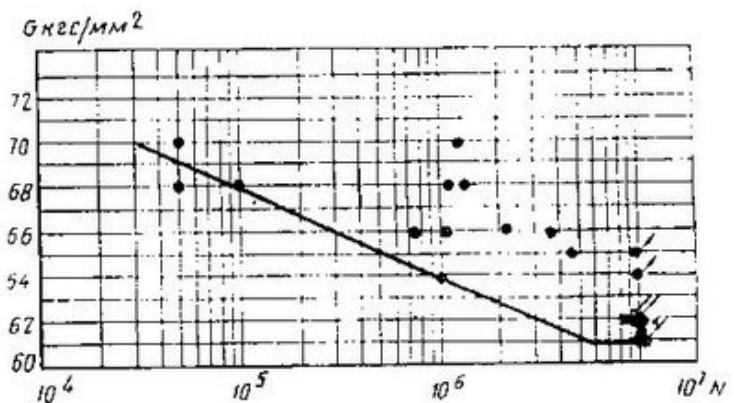


Рис. 3. Кривые выносливости сплава ВТ22 в отожженном состоянии. Прессованный профиль; образцы гладкие.

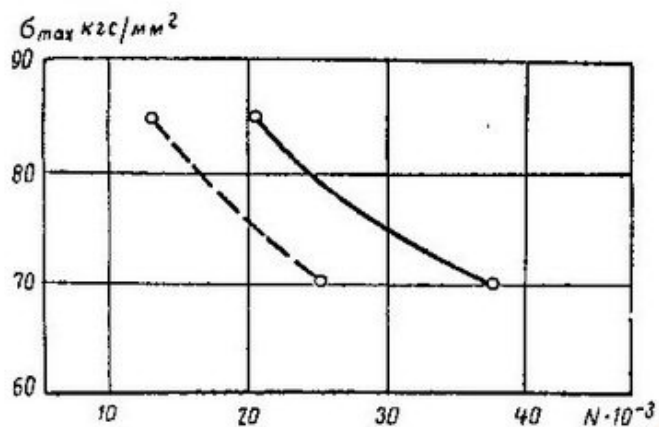


Рис. 4. Влияние химического никелирования на малоцикловую усталость сплава VT22. Профиль отожженный:

--- шлифование; — химическое никелирование после обдувки корундовым песком.

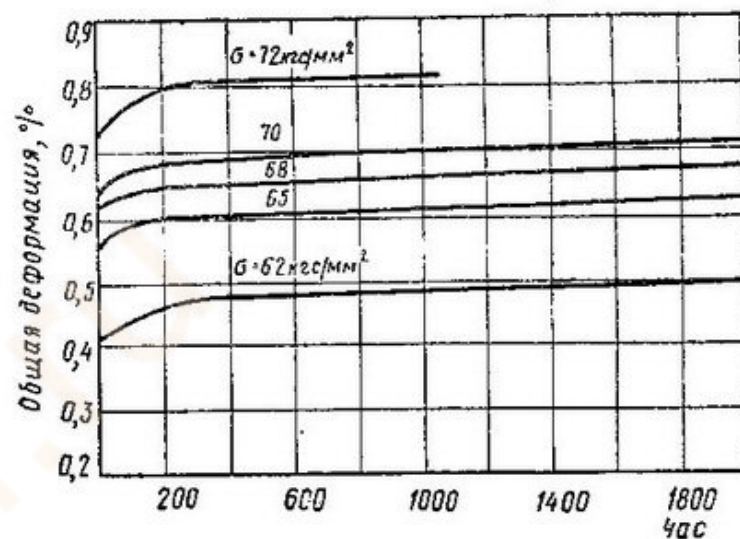


Рис. 5. Кривые ползучести сплава VT22 при 300°C. Пруток диаметром 20 мм, отожженный.

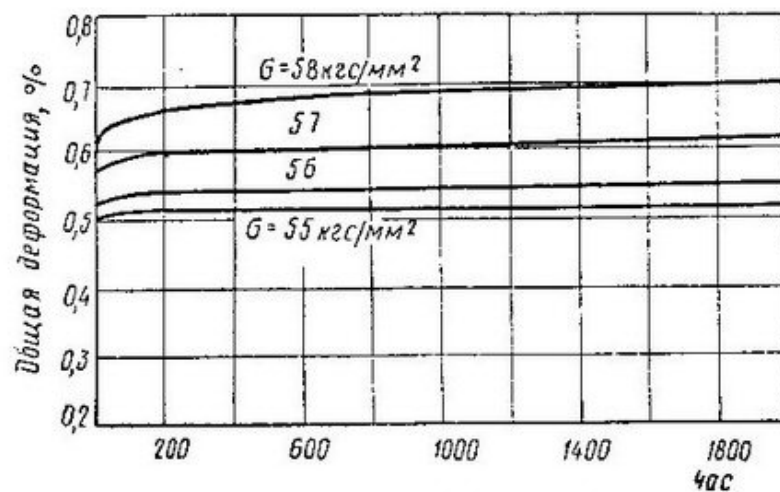


Рис. 6. Кривые ползучести сплава VT22 при 300°C. Балка сечением 270×170 мм, отожженная.

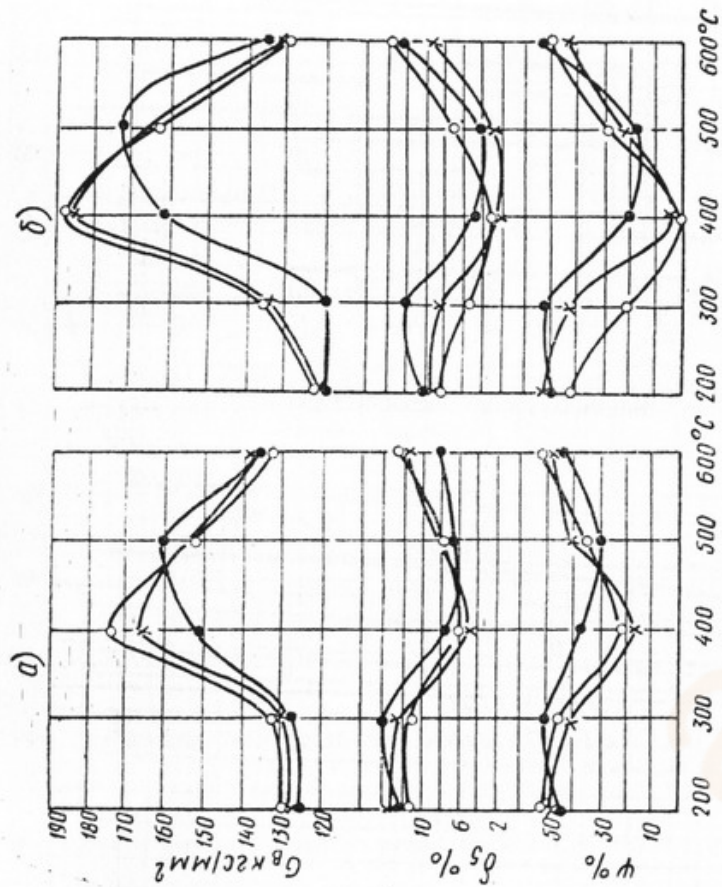


Рис. 7. Влияние температуры и продолжительности старения на свойства сплава ВТ22, закаленного в воде с 700°С (а) и 750°С (б): ● — 4 час, ○ — 16 час, × — 64 час.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ СПЛАВ							ВТ23				
Химический состав в %											
Ti	Al	Mo	V	Cr	Fe	C	Si	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
не более											
Основа	4,0—6,3	1,5—2,5	4,0—5,0	0,8—1,4	0,4—0,8	0,10	0,15	0,15	0,05	0,015	0,30

Примечание. В листах содержание алюминия — 4,0—5,0%, в прутках — 5,0—6,3%.

Механические свойства по СТУ

Вид полуфабриката	СТУ	Состояние контрольных образцов	σ_b кгс/мм ²	δ_5 %	ψ %	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²
Лист толщиной 1,5—10,0 мм	СТУ 33-71 *	Отожженные	110	8	—	—
		Закаленные и состаренные	140	6	—	—
Пруток	СТУ 31-71 *	Отожженные	110	8	40	4
		Закаленные и состаренные	140	6	20	2,5

* Свойства факультативны.

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5^*	δ_{10}	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²	HV кгс/мм ²
Лист	Отожженный	20	10500	90—95	100—110	110—120	10—13	5—7	10—12	255—270
		300	9500	55—63	70—75	75—80	10—12	7—8	—	—
		400	8500	52—55	65—70	75—80	10—13	6—7	—	—
		500	6500	50—55	52—55	65—70	13—16	8—11	—	—

Продолжение

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	E	$\sigma_{0.2}$	$\sigma_{0.2}$	σ_b	δ_5^*	δ_{10}	σ_H кгс/мм ²	НВ кгс/мм ²
			кгс/мм ²				%			
Лист	Закаленный и состаренный	20	11000	105—115	130—145	145—160	6—9	4—6	5—7	—
		300	9500	55—60	80—90	115—120	7—10	5,5—6	—	—
		400	9000	55—65	75—85	105—115	—	—	—	—
		500	7000	—	—	75—85	15—17	10—13	—	—
Прутки	Отожженный	20	10500	90	100	110	14	8	—	—
		100	10200	75	90	100	18	11	—	—
		200	9800	60	80	95	16	10	—	—
		300	9300	55	70	85	15	8	—	—
	400	8900	50	65	80	14	8	—	—	
	Закаленный и состаренный	20	10500	100	120	145	6	5	—	—
		100	10200	85	105	130	7	4	—	—
		200	9800	75	90	115	9	6	—	—

* Для листа $\delta_{5,65} \sqrt{F_b}$.

Чувствительность к надрезу и перекосу

Вид полуфабриката	Состояние	σ_b кгс/мм ²	σ_b^H , кгс/мм ² , при угле перекоса, град		
			0	4	6
Прутки	Отожженный	110	166	123	81
	Закаленный и состаренный	145	167	93	60

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{50}	σ_{100}	$\sigma_{0.2(100)}$	σ_{-1} на базе 10 ⁷ циклов
			кгс/мм ²			
Лист	Отожженный	20	—	—	—	44
		300	—	72—76	60—62	—
		350	—	—	—	30
	400	—	70	—	—	
	Закаленный и состаренный	300	—	110—115	78—80	—
		400	100	—	—	—

Малоцикловая усталость при асимметричном растяжении ($r=0$)

Вид полуфабриката	Состояние	σ_{max}	N циклы
Лист	Отожженный	$0,5 \sigma_b^*$	9500—11500
		$0,7 \sigma_b$	2900—3800

* $\sigma_b = 110—120$ кгс/мм².

Секундная прочность

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{30''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{200''}$	$\sigma_{300''}$	
			кгс/мм ²						
Лист	Закаленный и состаренный	400	110	110	110	110	109	109	
		500	97	94	92	88	86	84	
		600	57	52	47,5	42	38	36	
		700	25	22	17	14	12	12	
		800	11	9	7	5	4	4	
		Отожженный	400	90	90	90	90	89	88
			500	63	62	60	58	57	55
	600		44	42	39	36	34	32	
	700		27	22	17	12	10	9	

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов
(Лист толщиной 1,2 мм)

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	$\delta_{11,3} \sqrt{F}$ %	σ_{-1} на базе 10^7 циклов кгс/мм ²
	температура °C	время час			
Термически обработанный по режиму лужения *	Исходное состояние		111—117	7—9	42
	300	300	110—115	7—9	—
		1 000	112—120	7—8	—
		3 000	115—120	5,5—7	—
		10 000	113—116	7—9	—
	400	300	110—115	7—9	—
		1 000	110—118	7—9	—
		3 000	113—119	5,5—6,5	—
		10 000	113—118	6—7	—
	После лужения серебряным припоем ВПр15	Исходное состояние		110—115	7—9
300		3 000	114—122	5—6	—
		10 000	112—115	5—6	—
400		3 000	110—120	5—6	—
		10 000	112—116	5—7	—

* Режим лужения: нагрев при 920°C—20 мин, охлаждение в контейнере на воздухе.

Физические свойства

Плотность $d=4570$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800
	$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9,0	9,3

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,6	8,9	9,3	9,2	9,3	11,5	10,3

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ Вт/м·град	8,37	9,63	11,3	12,1	13,4	15,1	16,3	17,6	18,8	20,1

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
c кДж/кг·град	0,544	0,586	0,628	0,668	0,754	0,816	0,921	0,981	1,05

Удельное электросопротивление при 20°C

$\rho \cdot 10^6 = 135$ ом·см (отожженное состояние), $\rho \cdot 10^6 = 127$ ом·см (закаленное и состаренное состояние).

Степень черноты полного нормального излучения

Состояние поверхности	ϵ_n при температуре, °C								
	100	200	300	400	500	550	600	650	700
Механически полированная *	0,19	0,20	0,22	0,26	0,28	0,29	0,32	0,52	0,54
Травленая *	0,15	0,165	0,175	0,21	0,23	0,25	0,41	0,505	0,55

Состояние поверхности	ϵ_n при температуре, °C						
	800	850	900	1000	1100	1200	1300
Механически полированная *	0,74	0,79	0,81	—	—	—	—
Травленая *	0,74	0,78	0,79	—	—	—	—
Механически полированная **	0,26	0,255	0,255	0,26	0,265	0,27	0,265
Механически полированная ***	0,23	0,235	0,24	0,25	0,26	0,27	0,265

* Испытание на воздухе при ступенчатом нагреве через каждые 50°C. выдержка на каждой ступени 2 час.

** Испытание в вакууме $1 \cdot 10^4$ тор при ступенчатом нагреве, выдержка на каждой ступени 15 мин.

*** Испытание в вакууме $1 \cdot 10^4$ тор при ступенчатом охлаждении с 1300°C. выдержка на каждой ступени 15 мин.

Коррозионная стойкость

Устойчив в морской воде и во влажной морской атмосфере.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг	740—760	15—60 мин *	На воздухе
Закалка	780—800	5—60 мин *	В воде
Старение	450—520	10	На воздухе

* В зависимости от толщины (диаметра) полуфабриката.

Горячая обработка давлением *

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1180	850	30—70	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки	1020	800	40—50	То же
Штамповка на прессе	870	750	40—50	»
Штамповка на молоте	880	750	40—50	»

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

Штампуемость *

Состояние материала	Штампуемость *		
	Вытяжка $K_{раб}$	Отбортовка $K_{раб}$	Гибка на угол 90° $r_{раб}$
Отожженный в вакууме	1,92	1,73	4 s **
Закаленный	1,73	1,62	4 s

* Инструкция ВИАМ № 642-71.

** s — толщина листа.

Свариваемость

Свариваемый материал	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °C	Механические свойства сварного соединения		
						σ_n кгс/мм ²	угол изгиба град	N циклы при $\sigma_{max} = 70$ кгс/мм ²
BT23+ +BT23	ААрдЭС неллавящимся электродом	2,0	Без присадки	Отжиг при 750°C, 30 мин	20	100	10	12 000—
					300	71	—	25 000
					400	70	—	—
					500	65	—	—
					500	65	—	—
				Закалка с 800°C (20 мин) + старение при 550°C, 10 час	20	125	25	—
					300	96	—	—
					400	93	—	—
					500	77	—	—
					500	77	—	—

Применение

Сварные и паяные конструкции, работающие при температурах до 500°C; корпуса и емкости высокого внутреннего давления.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ	BT3-1
--------------------------	--------------

Химический состав в % по ОСТ 90013-71

Ti	Al	Mo	Cr	Si	Fe	C	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
Основа	5,5—7,0	2,0—3,0	0,8—2,3	0,15—0,40	0,2—0,7	0,10	0,50	0,18	0,05	0,015	0,30

Примечание. Допускается частичная замена молибдена вольфрамом ≤0,3%.

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Температура испытания, °С	σ _в кгс/мм ²	δ ₅	ψ	σ _н кгс-м/см ²	σ ₅₀	σ ₁₀₀	НВ (d _{отп}) мм
Прутки катаный диаметром 10—60 мм	АМТУ 451-67	Отж- женные	20	100—120	10	30	3	—	—	3,2—3,7
			400	≥75	—	—	—	—	68	—
			450	≥65	—	—	—	—	55	—
Прутки катаный крупнога- баритный диа- метром (в мм): 65—100** 101—130***	ТУ1- 92-6-72	Зака- ленные и соста- ренные*	20	≥120	6	20	2	—	—	3,0—3,3
			Отж- женные	20	100—120	10	25	3	—	—
Прутки кованый диаметром или со сто- роной квад- рата (в мм): 65—100** 101—250***	АМТУ 534-67	То же	20	95—120	8	20	3	—	—	3,2—3,7
			20	100—120	10	25	3	—	—	3,2—3,7
			400	≥75	—	—	—	—	68	—
			450	≥65	—	—	—	—	55	—
			20	100—120	10	25	3	—	—	3,2—3,7

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Температура испытания, °С	σ _в кгс/мм ²	δ ₅	ψ	σ _н кгс-м/см ²	σ ₅₀	σ ₁₀₀	НВ (d _{отп}) мм
Прутки и заготовка для лопаток диаметром (в мм): до 25 25—60	ОСТ 90006—70	Отж- женные	20	100—125	12	35	3	—	—	3,2—3,7
			400	≥70	—	—	—	70	68	—
			450	≥65	—	—	—	58	55	—
			20	≥120	6	20	2	—	—	3,0—3,3
			более 40	≥1,0	6	16	1,8	—	—	3,0—3,3
Штампо- ванная ло- патка малога- баритная	ОСТ 90002—70	Отж- женные	20	≥100	10	30	3	—	—	3,2—3,7
			20	≥120	6	20	2	—	—	3,0—3,4
			20	≥100	10	25	3	—	—	3,2—3,7
крупнога- баритная Штампо- ванный диск весом (в кг): до 25 26—100 101—200	АМТУ 548-69	Отж- женные	20	≥98	9	22	3	—	—	3,2—3,7
			20	≥96	9	20	3	—	—	3,2—3,7
			20	≥95	8	20	3	—	—	3,2—3,7
			400	≥75	—	—	—	71	68	—
			450	≥65	—	—	—	58	55	—

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Температура испытания, °С	σ_n кгс/мм ²	δ_5	ψ	d_n кгс·м/см ²	σ_{50}	σ_{100}	HB (d _{отп}) мм		
											не менее	
											%	кгс/мм ²
Штампов- ка и поков- ка толщи- ной (в мм): до 100** 101—250***	ОСТ1 90000—70	Отож- женные	20	100—120	10	25	3	—	—	3,2—3,7		
			400	95—120	8	20	3	—	—	3,2—3,7		
			450	≥72	—	—	—	70	68	—		
			450	≥65	—	—	—	58	55	—		
Кольцо цельнорас- катное	ОСТ1 9043—72		20	≥95	8	20	3	—	—	3,2—3,7		
Кольцо сварное с шириной пошки (в мм): до 80 более 80 сварной шов	АМТУ 529-9-68		20	100—120	10	25	3	—	—	3,2—3,7		
			20	100—120	8	20	2,5	—	—	3,2—3,7		
			20	90—120	6	15	2	—	—	—		

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Температура испытания °С	E	E _x	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{тп}$	σ_n	σ_{H_2O}	σ_D	δ_{10}	ψ	σ_{H_2O}	HB (d _{отп}) мм	
														кгс/мм ²
Пруток кованый диаметром до 60 мм (микро- структура II типа)	Отож- женный	—196	—	—	—	—	—	—	—	6**	25	—	—	
		—70	—	—	—	—	—	—	—	10**	30	—	—	
		—40	—	—	—	—	—	—	—	—	12**	35	—	—
		20	11 500	12 750	85—110	93—115	100—120	1,5	9—13	10—18**	30—50	3,2—3,7	—	
		100	11 300	12 300	75	82	95	—	10	—	45	—	—	
		200	11 100	11 900	65	73	90	—	10	—	52	—	—	
		300	10 800	11 450	55	66	83	—	9	—	52	—	—	
		400	10 000	10 300	52	63	80	—	8	—	55	—	—	
450	9 800	10 250	44	60	75	—	11	—	63	—	—			
500	8 900	10 000	37	55	67	—	13	—	69	—	—			
600	8 000	9 800	—	—	54	—	18	—	80	—	—			

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	f	E _Л	σ _{пл}	σ _{0,2}	σ _в	σ _в /σ _{0,2}	δ ₁₀	ψ	D _н , кгс/мм ²	HB (d _{отп}), мм
Прутки кованый диаметром до 60 мм (микроструктура II типа)	Закаленный и состаренный	-196	—	—	—	190	200	—	4	20	1,8	—
		-70	—	—	—	150	155	—	5	26	2,0	—
	20	11 500	12 780	105	115	130—160	—	4—10/20—35 7—12**	—	—	2,5—4	3,0—3,4
	100	10 900	12 400	105	105	120	—	6	35	—	—	—
	200	10 400	11 900	95	95	110	—	6	40	—	—	—
	300	10 350	11 350	85	85	105	—	6	40	—	—	—
	400	10 300	10 880	80	80	95	—	6	40	—	—	—
	450	9 500	10 500	73	73	90	—	6	40	—	—	—
	500	8 700	10 200	65	65	85	—	8	50	—	—	—
	600	7 300	9 700	18	5,5	53	—	17	85	—	—	—

* Угол надреза 60°, r_н=0,1 мм.

** Испытание образцов с диаметром рабочей части 5 мм

Механические свойства при кручении, растяжении с перекосом, сжатии и срезе

Вид полуфабриката	Состояние	σ	τ _{пл}	τ _{0,3}	τ _в	φ, град	σ _в , кгс/мм ² , при угле перекоса, град				σ _{0,2} сж		Δ%	τ _{ср} , кгс/мм ²	F
							0	2	4	6	кгс/мм ²				
											σ _{0,2} сж	σ _{0,2} сж			
Прутки диаметром 14 мм	Отожженный	4600	58	70	89	435	143	130	113	83	95	175	23	70	0,3

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °С	σ ₁₀₀	σ ₅₀₀	σ ₁₀₀₀ *	σ ₂₀₀₀	σ ₅₀₀₀	σ ₁₀₀₀₀ *	σ ₁₀₀₀₀₀ **	σ ₁₀₀ ^н
			кгс/мм ²							
Прутки кованый диаметром до 60 мм (микроструктура II типа)	Отожженный	20	—	—	95	—	—	92	88	—
		100	—	—	92	—	—	88	82	—
		150	—	—	—	—	—	—	77	—
		200	—	—	84	—	—	80	75	—
		300	82	81	—	78	—	—	—	—
	Закаленный и состаренный	400	78	76	—	72	—	—	—	> 85
		450	61	59	—	53	—	—	—	> 68
		500	40	—	—	—	23***	18***	—	—
		300	104	103	—	102	—	—	—	—
		400	95	92	—	88	—	—	—	—
450	67	63	—	52	—	—	—	—		
500	36	—	—	—	—	—	—	—		

* Данные ЦКТИ (по уровню соответствуют типичным).

** Данные, полученные экстраполяцией.

*** Данные ЦНИИТМАШ (по уровню соответствуют типичным).

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{100}^H	$\sigma_{0,2/25}$	$\sigma_{0,2/50}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{0,2/2000}$	σ_{-1}	σ_{-1}^*	$\frac{\sigma_{-1}^H}{\sigma_{-1}^H}$	
									кгс/мм ²			на базе, циклы
									$2 \cdot 10^7$	10^7		
Пруткованный диаметр до 60 мм (микроструктура II типа)	Отожженный	20	—	—	—	—	—	—	50—53	39—43	1,3	
		300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		400	1,1	52	51	50	45	37	45—48	38	—	
		450	1,1	29,5	29	28	23	20	—	—	—	
		500	—	10	9	8	—	—	—	—	—	
	Закаленный и состаренный	20	—	—	—	—	—	—	62	—	—	
		300	—	—	—	80	78	75	—	—	—	
		400	—	—	—	60	52	44	49	—	—	
		450	—	40	—	25	20	—	—	—	—	

* $r_H = 0,75$ мм.

Сопротивление ползучести за 1000 час

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	Деформация, %, при напряжении, кгс/мм ²		
			45	56	67
Пруток	Отожженный	20	0,02	0,01	0,02
		100	0,04	0,02	0,02
		150	0,00	0,00	0,01
		200	0,00	0,00	0,04

Секундная прочность

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{30''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{300''}$
			кгс/мм ²				
Пруткованный	Отожженный	600	60	60	59	57	55
		700	42	39	38	31	26
		800	21	18	15	12	9

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ	ψ	a_H кгс·м/см ²	
	температура °C	время час					
Отожженный	Исходное состояние	400	110	16	45	4	
			10 000	115	15	35	3
	15 000	120	12	20	2		
		20 000	120	8	10	2	
	30 000	120	5	8	2		
		118	8	15	3		
	Закаленный и состаренный	Исходное состояние	400	123	12	43	4
				6 000	130	12	30
		10 000	130	10	20	2	
		15 000	135	4	7	1,2	
30 000		135	2	5	0,7		

Физические свойства

Плотность $d = 4500$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800
	$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,2	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1	10,2
	9,2	9,5	9,8	10,0	10,3	10,5	—	—

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800
	$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,5	9,9	10,2	10,7	11,2	11,1
	9,8	10,3	10,9	11,4	11,4	—	—

Примечание. Первая строчка — отожженное, вторая — закаленное и состаренное состояние.

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25	100	200	300	400	500	600	700
λ вт/м·град	8,0	8,8	10,1	11,3	12,6	14,2	15,5	16,8

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700
c кдж/кг·град	0,461	0,503	0,545	0,608	0,670	0,712	—

Удельное электросопротивление при 20°C

$$\rho \cdot 10^6 = 136 \text{ ом}\cdot\text{см.}$$

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Неполный отжиг	530—620	0,5—4	На воздухе, в аргоне
Изотермический отжиг	870—920	1—4	В печи (или перенос в другую печь) до 650°C
	600—650	2	На воздухе
Двойной отжиг	870—920	1—4	То же
	550—600	2—5	»
Закалка	840—900	1—4	В воде
Старение	500—620	1—6	На воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1180	850	≥40	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки диаметром (в мм):	1000—980	820	40—50 **, 70 ***	То же
более 100	1100—1020	850	40—50 **, 70 ***	»
Штамповка на прессе	930—950	800	40—60	»
Штамповка на молоте	940—980	850	40—60	»

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

** Деформация в $\alpha + \beta$ -области.*** Деформация в β -области.

Температура полного полиморфного превращения 950—1000°C.

Свариваемость

Свариваемый материал	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Механические свойства сварного соединения		
					$\sigma_{в.св}$ кгс/мм ²	$\sigma_{шва}$ кгс/мм ²	σ_{100}^* кгс/мм ²
BT3-1+ +BT3-1	ЭЛС	5—10	—	Отжиг при 800—850°C, 1—2 час, охлаждение на воздухе	0,9 $\sigma_{в}$ основного материала	≥2,5	0,9 σ_{100}^* основного материала
					То же	0,85 $\sigma_{в}$ основного материала	≥4
AApДЭС	5—10	СПТ2, BT20-2	BT2	»	0,75 $\sigma_{в}$ основного материала	≥6	—
					»	»	»

* σ_{100}^* при 300 и 400°C.

Применение

Детали, длительно работающие при температурах до 400°C (6000 час) в отожженном и термически упрочненном состояниях, при 450°C — 2000 час в отожженном состоянии и 100 час в термически упрочненном состоянии, а также шовные и крепежные детали и сварные узлы.

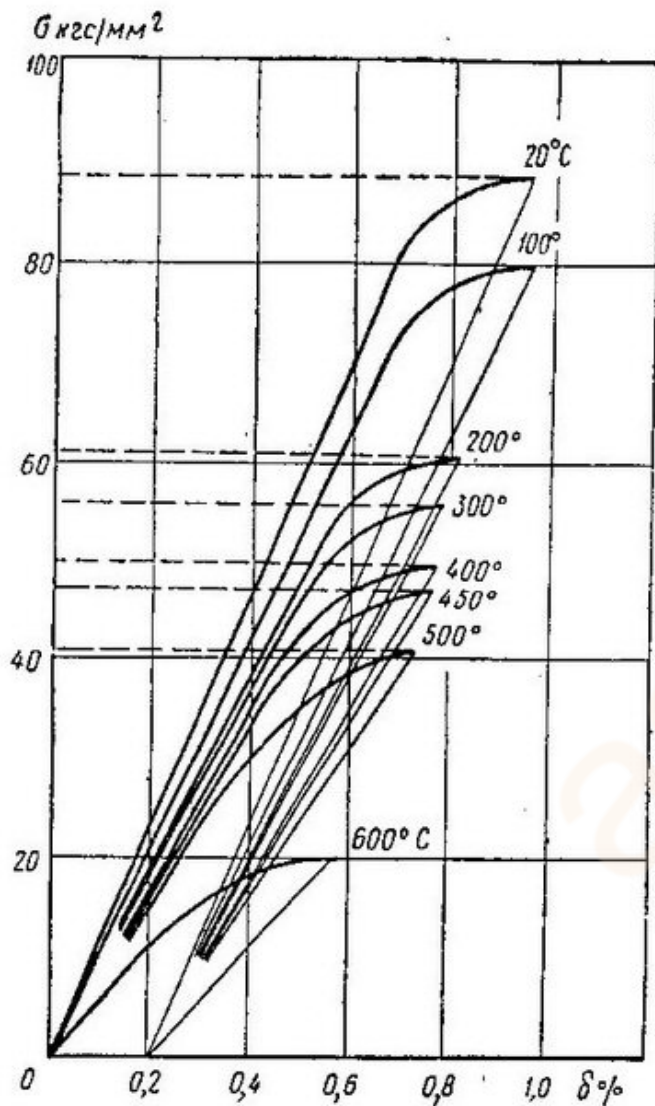


Рис. 1. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава ВТЗ-1 при комнатной и высоких температурах. Пруток, $\sigma_b = 100$ кгс/мм².

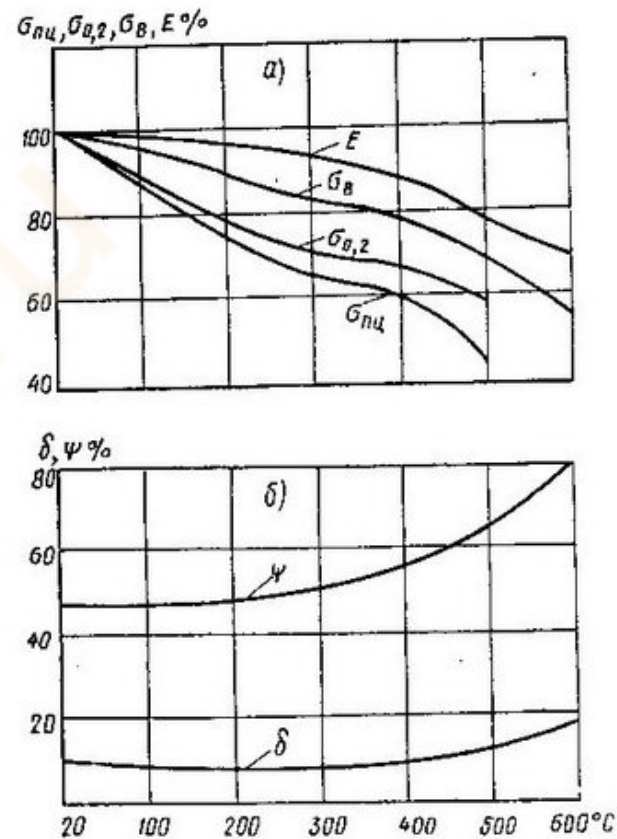


Рис. 2. Зависимость механических свойств сплава ВТЗ-1 от температуры испытания ($\sigma_{пц}$, $\sigma_{0.2}$, σ_b , E в % от показателей при комнатной температуре).

$a - \sigma_{пц}, \sigma_{0.2}, \sigma_b, E$; $b - \delta, \psi$.

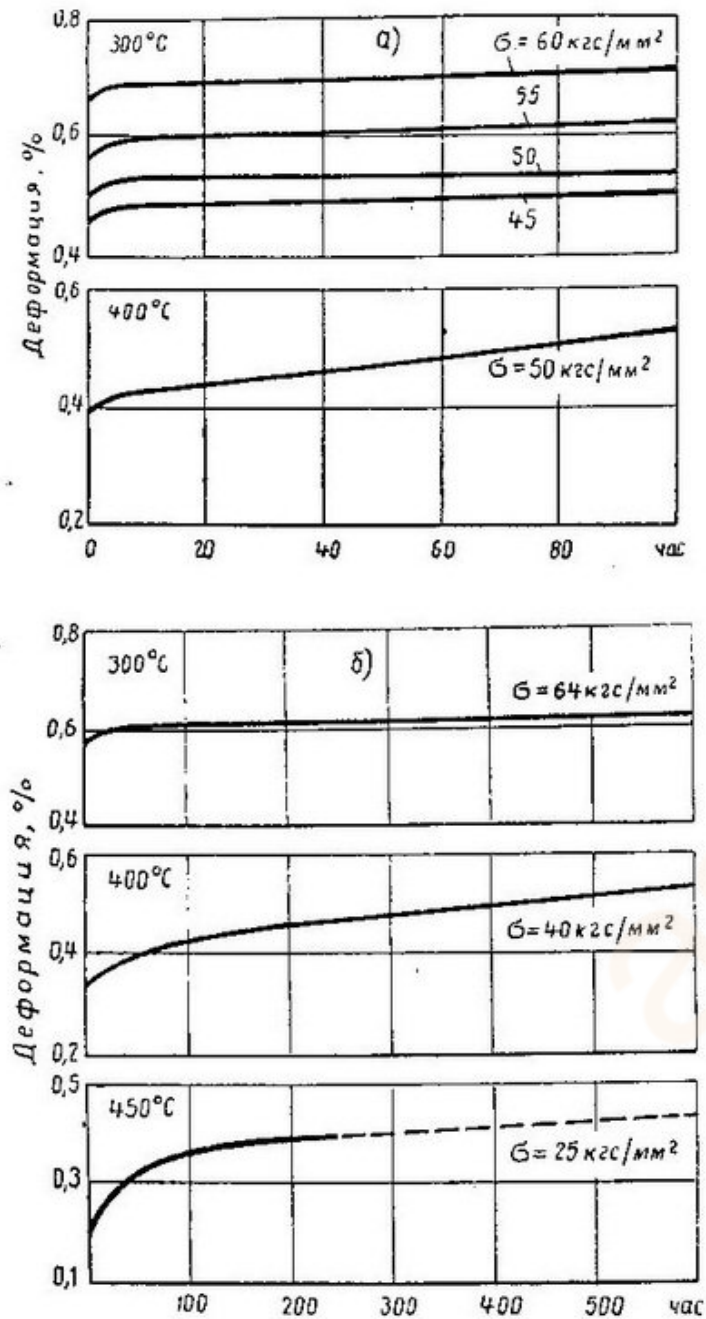


Рис. 3. Кривые ползучести сплава ВТЗ-1 при 300 и 400°C за 100 час (а) и при 300, 400 и 450°C за 600 час (б).

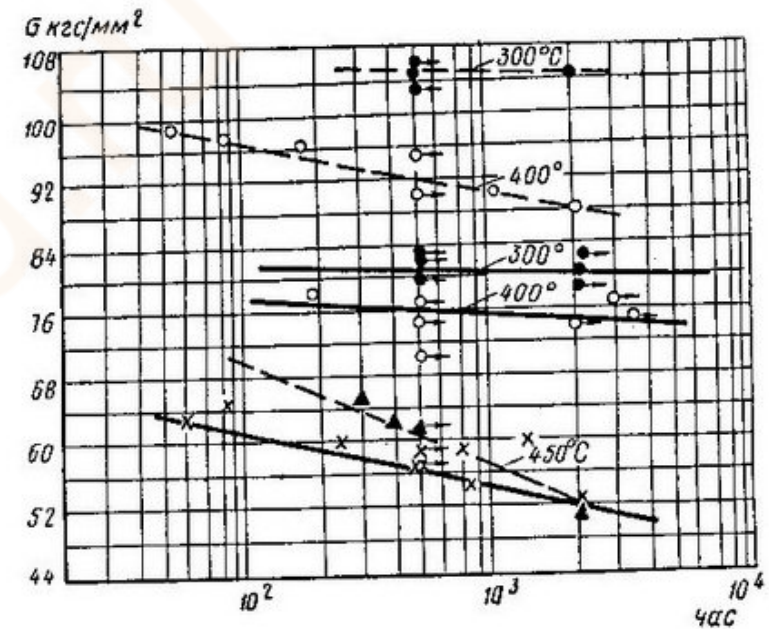


Рис. 4. Длительная прочность сплава ВТЗ-1 при высоких температурах:

— изотермический отжиг; --- закалка + старение.

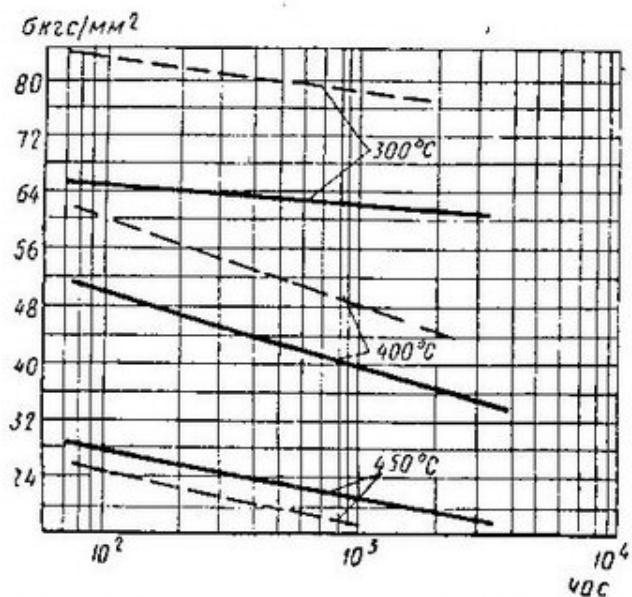


Рис. 5. Предел ползучести сплава ВТ3-1 при 300, 400 и 450°C (остаточная деформация 0,2%):
 - - - изотермический отжиг, — закалка + старение.

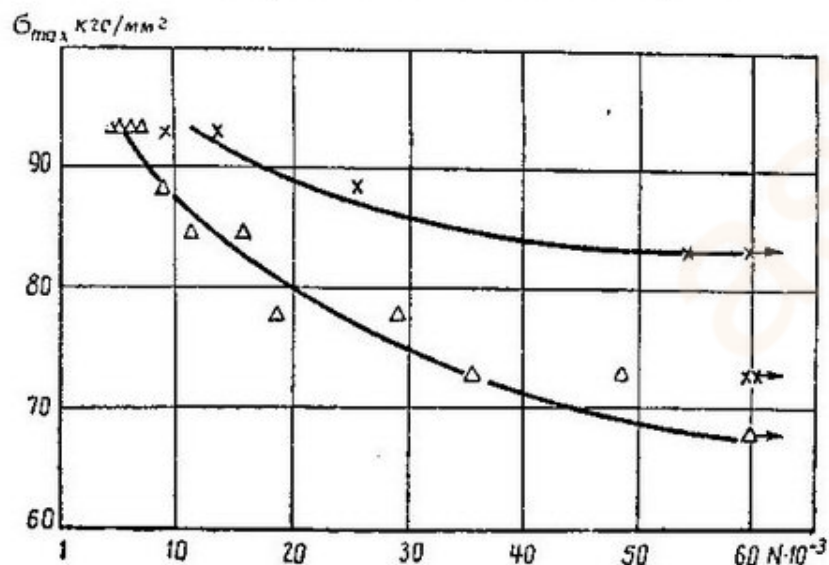


Рис. 6. Малоцикловая усталость сплава ВТ3-1 ($\sigma_{\min}/\sigma_{\max} = 0,1$; $n = 8$ цикл/мин) при комнатной температуре. Пруток диаметром 20 мм:

△ — без наклепа, × — после наклепа дробью.

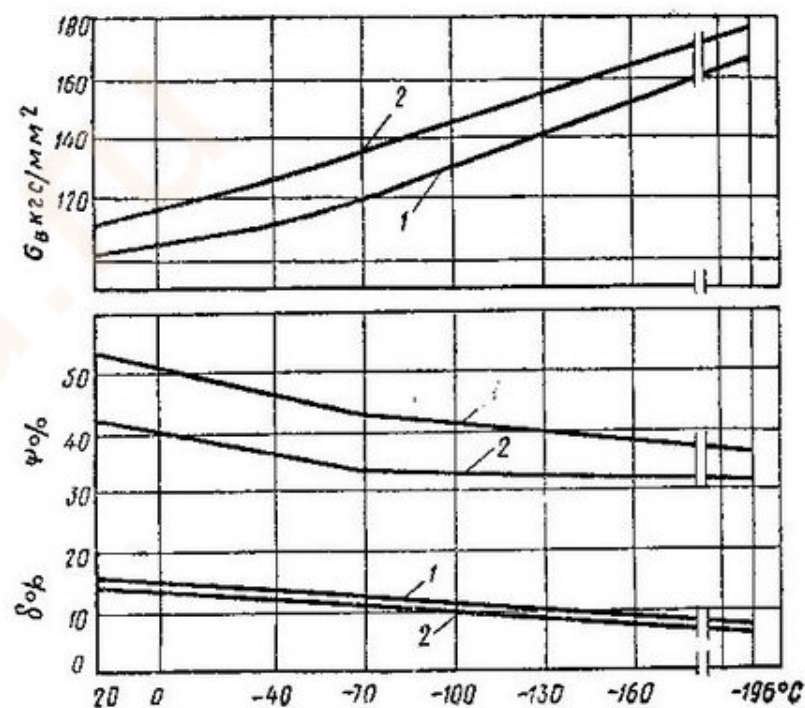


Рис. 7. Механические свойства сплава ВТ3-1 при низких температурах:

1 — изотермический отжиг при 870°C — 1 час, охлаждение до 650°C, выдержка 2 час, охлаждение на воздухе; 2 — закалка с 830°C (1 час) в воде, старение при 550°C — 5 час, охлаждение на воздухе.

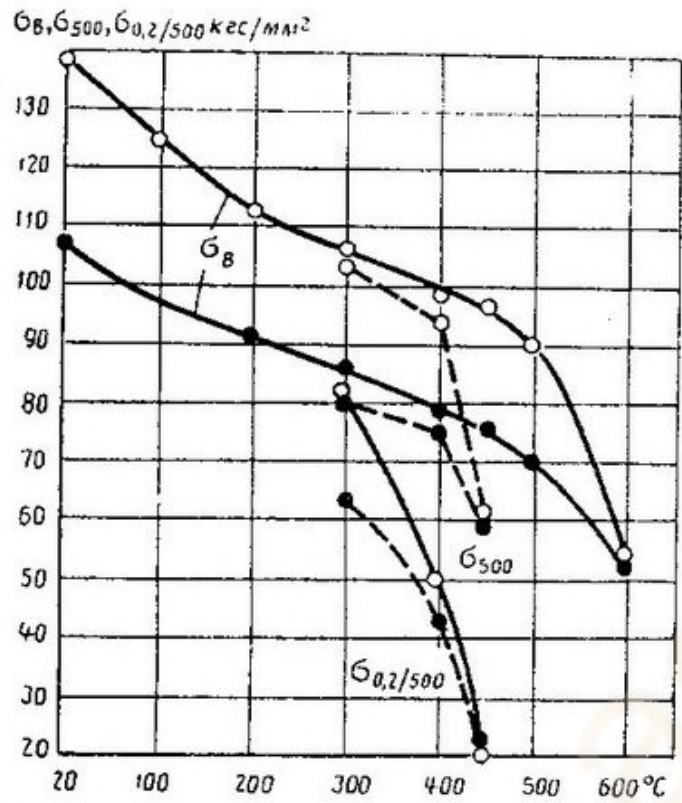


Рис. 8. Влияние термической обработки на свойства сплава ВТ3-1 при высоких температурах. Пруток диаметром 14 мм:

● — изотермический отжиг. — закалка + старение.

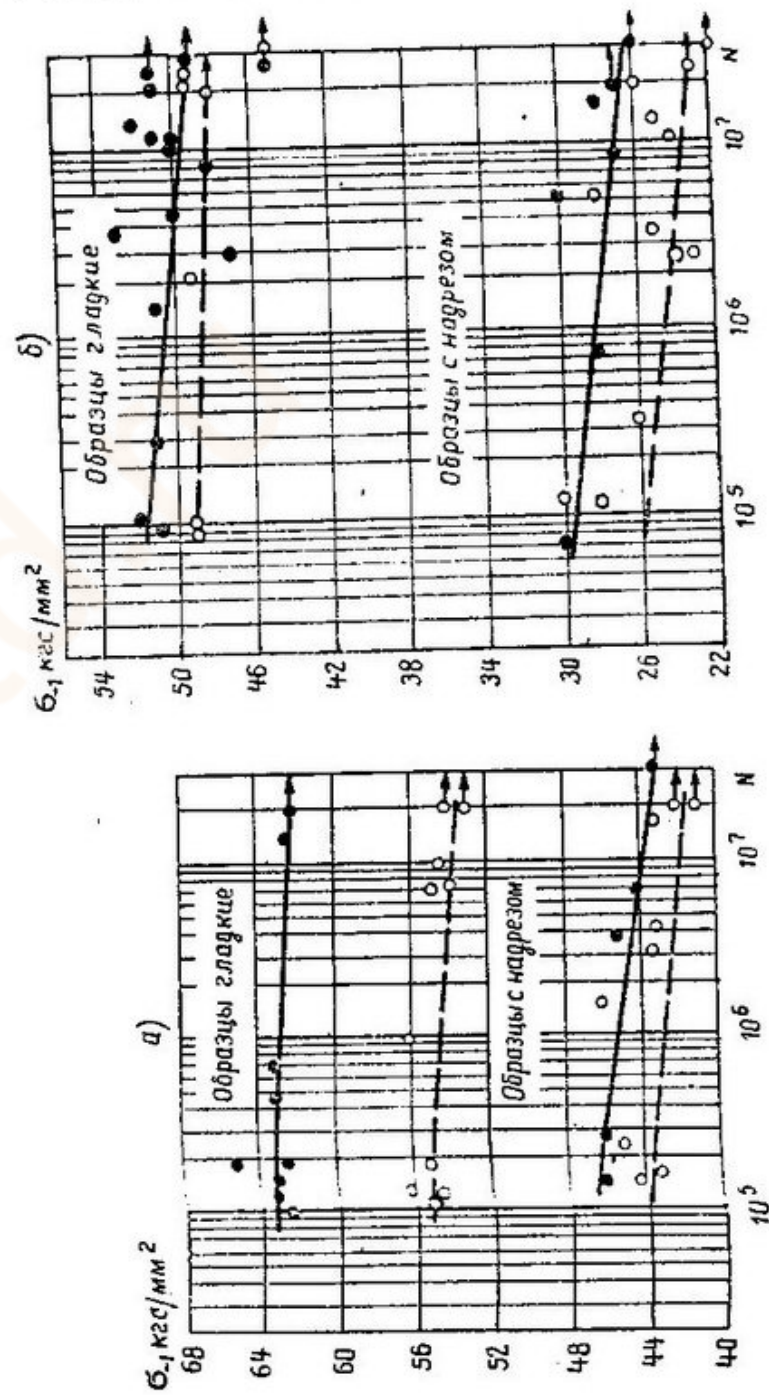


Рис. 4. Влияние термической обработки на предел выносливости сплава ВТ3-1 при комнатной температуре (а) и при 400°C (б): ● — изотермический отжиг при 880°C (1 час) в воде + старение при 550°C , 3 час; ○ — изотермический отжиг при 570°C — 1 час, охлаждение до 650°C , выдержка 2 час, охлаждение на воздухе.

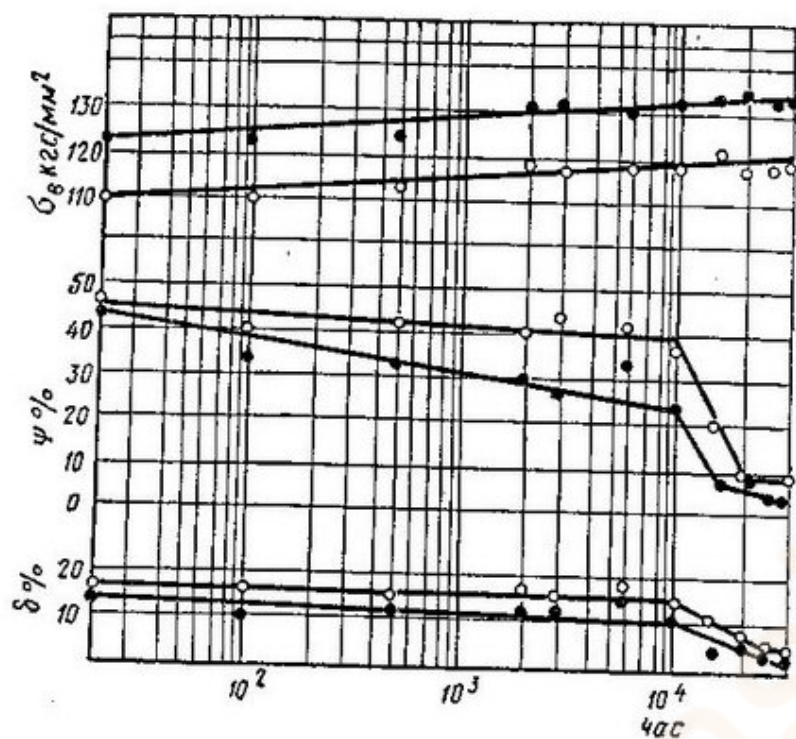


Рис. 10. Влияние продолжительности нагрева при 400°C на свойства (σ_v [кгс/мм²], ϕ , δ) сплава ВТЗ-1 в термически упрочненном и отожженном состояниях при комнатной температуре. Пруток диаметром 14 мм:

● — закалка с 880°C (1 час) в воде + старение при 550°C — 5 час, ○ — изотермический отжиг при 870°C — 1 час, охлаждение до 650°C, выдержка 2 час, охлаждение на воздухе.

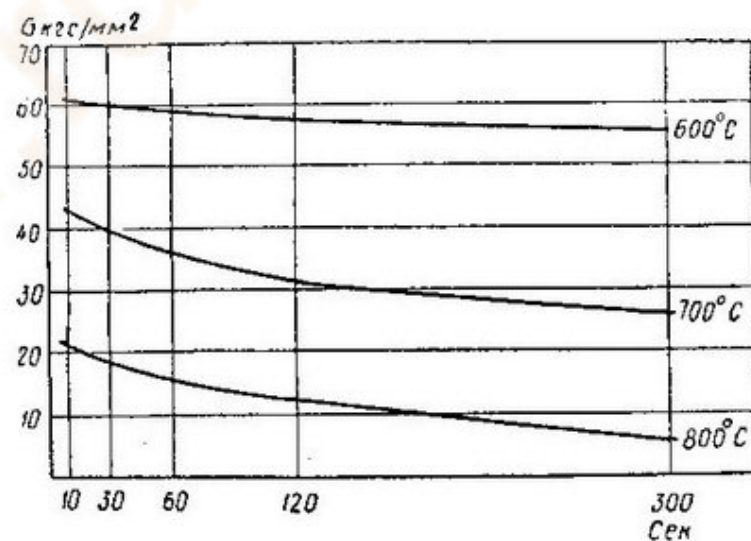


Рис. 11. Секундная прочность сплава ВТЗ-1 при высоких температурах. Пруток диаметром 14 мм после изотермического отжига.

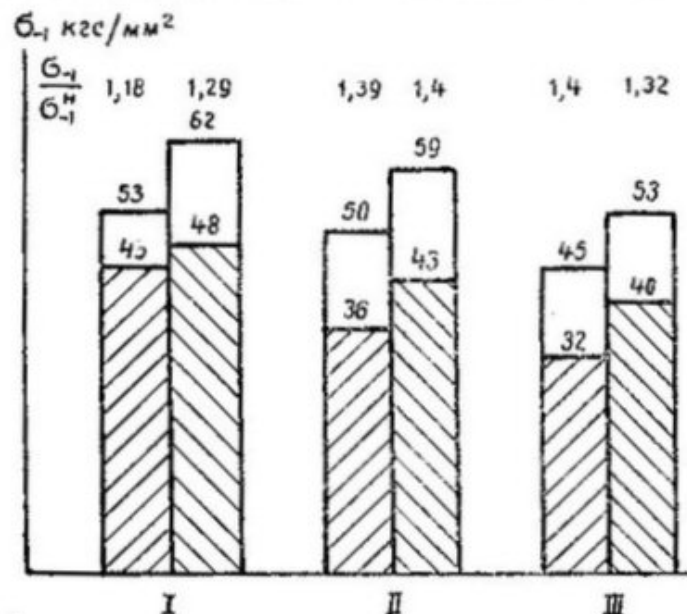


Рис. 12. Влияние микроструктуры и термической обработки на предел выносливости сплава ВТЗ-1 при комнатной температуре (на базе 10^7 циклов). Верхняя цифра — образцы гладкие, нижняя — образцы с надрезом ($r_H = 0,75$ мм):

I, II, III — типы структуры. См. рис. 16
 [штрихи] — изотермический отжиг, [штрихи/зигзаг] — закалка + старение.

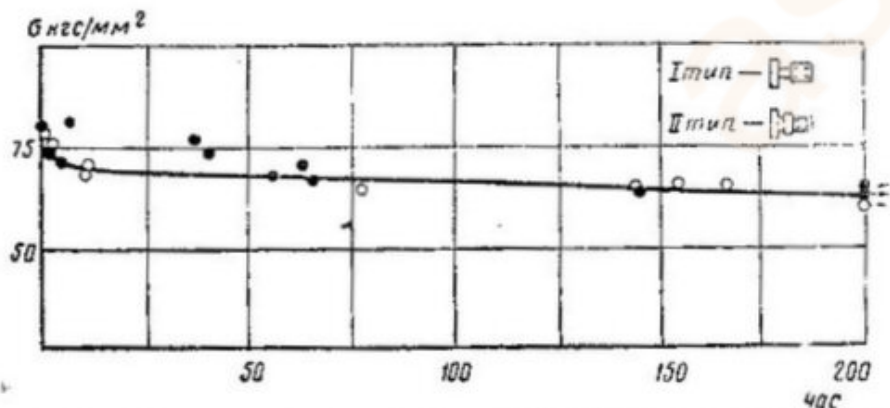


Рис. 13. Длительная прочность болтов М8х1,25 из сплава ВТЗ-1 при 450°C:

● — I тип, ○ — II тип.

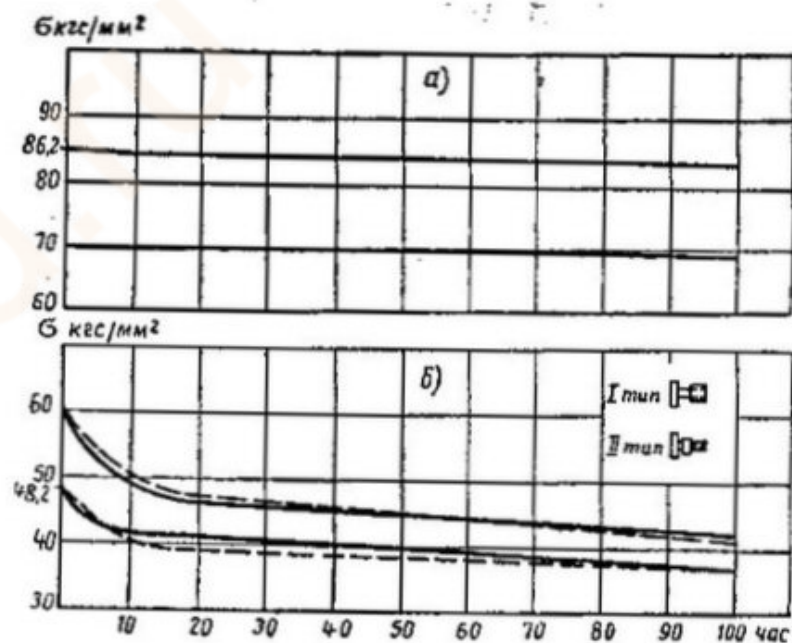


Рис. 14. Релаксация напряжений при растяжении в болтах М8х1,25 из сплава ВТЗ-1 при комнатной температуре (а) и при 450°C (б):

— I тип, - - - II тип.

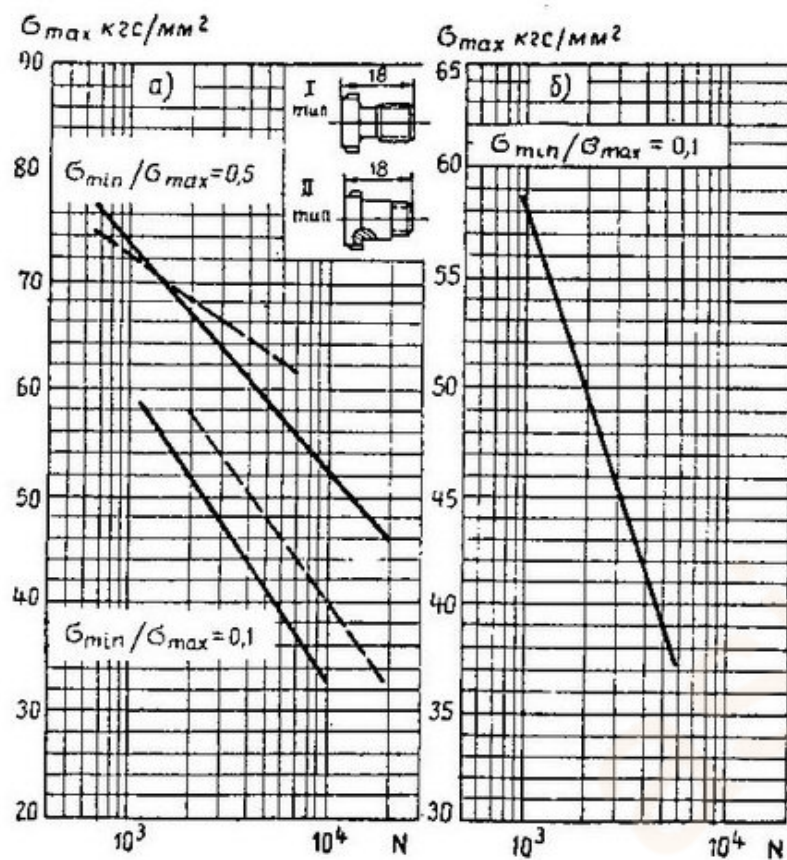


Рис. 15. Влияние степени асимметрии на малоцикловую устойчивость при растяжении болтов М8×1,25 из сплава ВТЗ-1 при комнатной температуре (а) и при 450°C (б):

— I тип, - - - II тип.

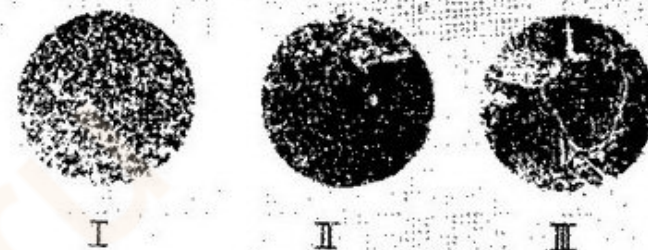


Рис. 16. Типы микроструктуры сплава ВТЗ-1. $\times 300$:

I — равноосная ($\alpha+\beta$), II — мелкокошлячатая «корзиночного плетения», III — крупнокошлячатая.

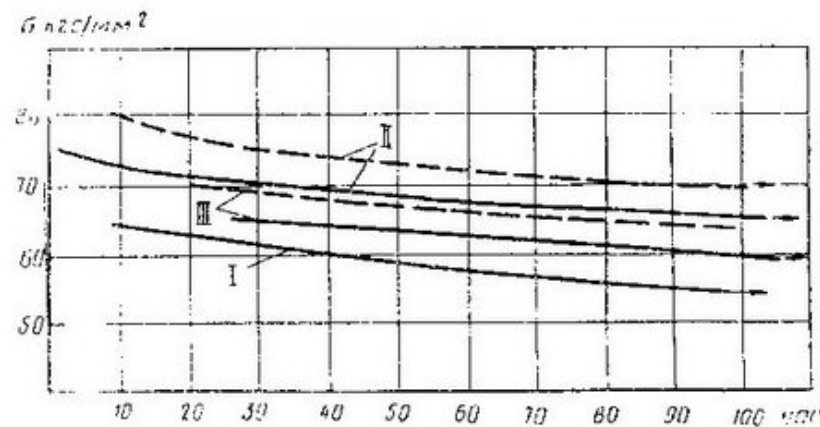


Рис. 17. Влияние структуры на длительную прочность сплава ВТЗ-1:

— изотермической отжиг, - - - закалка + старение.
I, II, III — типы структуры.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ										BT8
Химический состав в % по ОСТ1 90013-71										
Ti	Al	Mo	Si	C	Fe	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
не более										
Основа	6,0-7,3	2,8-3,8	0,20-0,40	0,10	0,30	0,50	0,15	0,05	0,015	0,30
Механические свойства по ТУ и ОСТ										
Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Температура испытания, °С	σ _т кгс/мм ²	δ ₅	ψ	d _н кгс·м/см ²	σ ₅₀	σ ₁₀₀	НВ (d _{отп}) мм
Пруток катаный диаметром 10-60 мм	АМТУ 451-67	Отж- женные	20	100-120	9	30	3	—	—	3,2-3,7
			450	≥75	—	—	—	—	65	—
			500	≥60	—	—	—	—	50	—
Пруток катаный крупногаба- ритный диа- метром (в мм): 65-100** 101-130***	ТУ1- 92-6-72	Отж- женные	20	>120	6	20	2	—	—	3,0-3,3
			20	100-120	9	25	3	—	—	3,2-3,7
				95-120	7	16	3	—	—	3,2-3,7
Пруток кованый диаметром или со сто- роной квад- рата (в мм): 65-100**	АМТУ 534-67	То же	20	100-120	9	25	3	—	—	3,2-3,7
			450	≥75	—	—	—	—	65	—
			500	≥60	—	—	—	—	50	—

Продолжение											
Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Температура испытания, °С	σ _т кгс/мм ²	δ ₅	ψ	d _н кгс·м/см ²	σ ₅₀	σ ₁₀₀	НВ (d _{отп}) мм	
											не менее
101-150***	ОСТ1 90006-70	Отж- женные	20	95-120	7	16	3	—	—	3,2-3,7	
151-250***			95-120	6	16	3	—	—	3,2-3,7		
Пруток и заготовка для лопаток	ОСТ1 90006-70	То же	20	105-125	11	30	3	—	—	3,2-3,7	
			450	≥75	—	—	—	67	65	—	
			500	≥60	—	—	—	52	50	—	
Штампо- ванная ло- патка	ОСТ1 90002-70	»	20	≥100	10	30	3	—	—	3,2-3,7	
				20	>120	6	20	2	—	—	3,0-3,4
					После ВТМО и старения	3,0-3,4					
Штампо- ванный диск весом (в кг): до 25 26-50 51-100 101-200*	АМТУ 548-69	Отж- женные	20	≥100	8	22	3	—	—	3,2-3,7	
				≥98	8	20	3	—	—	3,2-3,7	
				≥95	8	18	3	—	—	3,2-3,7	
				≥95	6	16	3	—	—	3,2-3,7	
				450	≥68	—	—	—	61	58	—
				500	≥55	—	—	—	48	45	—
Штампов- ка и поков- ка толщи- ной (в мм): до 100** 101-150*** 151-250***	ОСТ1 30000-70	То же	20	100-125	9	25	3	—	—	3,2-3,7	
				95-120	7	16	3	—	—	3,2-3,7	
				95-120	6	16	3	—	—	3,2-3,7	
				450	≥68	—	—	—	61	58	—
				500	≥55	—	—	—	48	45	—

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Температура испытания, °С	σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²	σ_{50}	σ_{100}	НВ ($d_{отп}$) мм				
											%		кгс/мм ²	
											не менее			
Кольцо цельнорас- катное	ОСТ1 00043-72	Отож- женные	20	≥95	8	20	3	—	—	3,2-3,7				
Кольцо сварное с шириной полки (в мм):	АМТУ 529-12-68	То же												
до 80			20	105-125	9	30	3	—	—	3,2-3,7				
более 80			20	105-125	8	20	2,5	—	—	3,2-3,7				
сварной шов			20	95-125	5	15	2,0	—	—	3,2-3,7				

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	E _d	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²	G кгс/мм ²								
												кгс/мм ²						%	
Пруток кованный диаметром до 60 мм (микро- структура II типа)	Отожжен- ный	-196	—	—	—	155	165	6	25	2,9	—								
		-70	—	—	—	120	130	9	30	4,4	—								
		20	12000	12900	78	95	110	12	40	3-6	4400								
		300	10050	—	55	—	88	12	52	—	—								
		400	10000	11200	45	65	82	12	54	—	—								
		450	9500	10900	41	—	80	12	55	—	—								
		500	9000	10800	38	57	75	12	60	—	—								
550	8500	10700	30	53	72	16	68	—	—										

Продолжение

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	E _d	$\sigma_{пц}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²	G кгс/мм ²								
												кгс/мм ²						%	
Пруток кованный диаметром до 60 мм (микро- структура II типа)	Отожжен- ный	600	8000	—	15	40	68	18	76	—	—								
		650	—	—	—	—	60	22	80	—	—								
		700	—	—	—	—	40	40	85	—	—								
		800	—	—	—	—	20	80	92	—	—								
		20	—	—	—	110-120	120-140	6	20	—	—								
	Закален- ный и со- старенный	300	—	—	—	90	100	10	40	—	—								
		400	—	—	—	85	95	12	50	—	—								
		450	—	—	—	80	90	12	50	—	—								
		500	—	—	—	78	87	12	50	—	—								

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабри- ката	Состоя- ние	Температура испытания °С	σ_{100}	σ_{500}	σ_{2000}	$\sigma_{10\ 000}$	σ_{100}^H	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{0,2/2000}$						
											кгс/мм ²					
Пруток кованный диаметром до 60 мм	Отож- женный	20	—	—	—	—	>1	—	—	—						
		450	70-75	63-70	61	55	>1	48	38	30						
		500	50-55	40-45	32	—	>1	25	20	10						
		550	38	—	—	—	—	8-10	—	—						
(микро- структу- ра II ти- па)	Зака- ленный и соста- ренный	500	58	43	36	—	—	—	—	—						

Вид полу- фабри- ката	Состоя- ние	Температура испытания °C	σ_{-1} , кгс/мм ² , на базе, циклы							σ_{-1}^H на базе $2 \cdot 10^7$ цик- лов кгс/мм ²
			10^5	10^6	10^7	$2 \cdot 10^7$	10^8	$2 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	
Пруток кованный диамет- ром до 60 мм	Отж- женный	20	54	—	53	—	—	—	—	45
		300	54	49	44	—	39	38	—	29
		400	53	48	43	—	39	38	—	27
		500	—	42	40	—	—	—	—	23
	Зака- ленный и соста- ренный	20	—	—	62	—	—	—	—	—
Отж- женный*	400	46	41	36,5	35	32,5	31,5	30	—	

* При асимметричном нагружении, $\sigma_{ст} = 20$ кгс/мм².

Секундная прочность

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	$\sigma_{60"}$	$\sigma_{120"}$	$\sigma_{180"}$	$\sigma_{300"}$
			кгс/мм ²			
Пруток диа- метром до 60 мм	Отожженный	600	65	61	60	59
		700	38	34	32	31
		800	20	16	15	13

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_H кгс·м/см ²
	темпе- ратура °C	время час				
Отожжен- ный пруток	Исходное со- стояние		110	15	40	4,5
	500	100	110	15	36	4,2
		500	110	15	34	3,8
		2 000	112	12	31	3,0
		6 000	115	10	24	2,6

Физические свойства

Плотность $d = 4480$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,3	8,6	8,7	8,8	9,1	9,5

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,8	8,9	9,4	10,4	10,9

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25	100	200	300	400	500	600	700
λ , Вт/м·град	7,1	8,4	9,6	11,3	12,6	14,2	15,5	16,8

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500
c кДж/кг·град	0,503	0,545	0,587	0,608	0,628

Удельное электросопротивление при 20°C
 $\rho \cdot 10^6 = 161 \text{ ом}\cdot\text{см}$.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Неполный отжиг	630—620	0,5—4	На воздухе, в аргоне
Двойной отжиг	920—950	1—4	На воздухе
	+ 570—600	1	То же
Закалка	920—940	1—4	В воде
Старение	500—600	1—6	На воздухе
Изотермический отжиг	920—950	1—4	В печи (или перенос в другую печь) до 570—600°C
	+ 570—600	1	На воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Температура полиморфного превращения 980—1020°C.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1180	900	>40	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки диаметром (в мм):				
	до 100	1020—1000	850	40—50**, 70***
более 100	1100—1020	900	40—50**, 70***	>
Штамповка на прессе	1000—960	850	40—60	>
Штамповка на молоте	980—950	800	40—60	>

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

** Деформация в α - β -области.

*** Деформация в β -области.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Механические свойства сварных соединений		
					$\sigma_{\text{с}}$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{шва}}$ кгс-м/см ²	σ_{100}^{500} кгс/мм ²
BT8+BT8	ЭЛС	4—10	Без присадки	Отжиг при 920—950°C, 1 час, охлаждение на воздухе + при 590—620°C, 1 час, охлаждение на воздухе	0,9 $\sigma_{\text{с}}$ основного материала	3,0—4,5	0,9 σ_{100}^{500} основного материала

Применение

Детали, длительно работающие в отожженном состоянии при температурах до 500°C (6000 час), в термически упрочненном — до 450°C (6000 час) и при 500°C (100 час), а также сварные узлы.

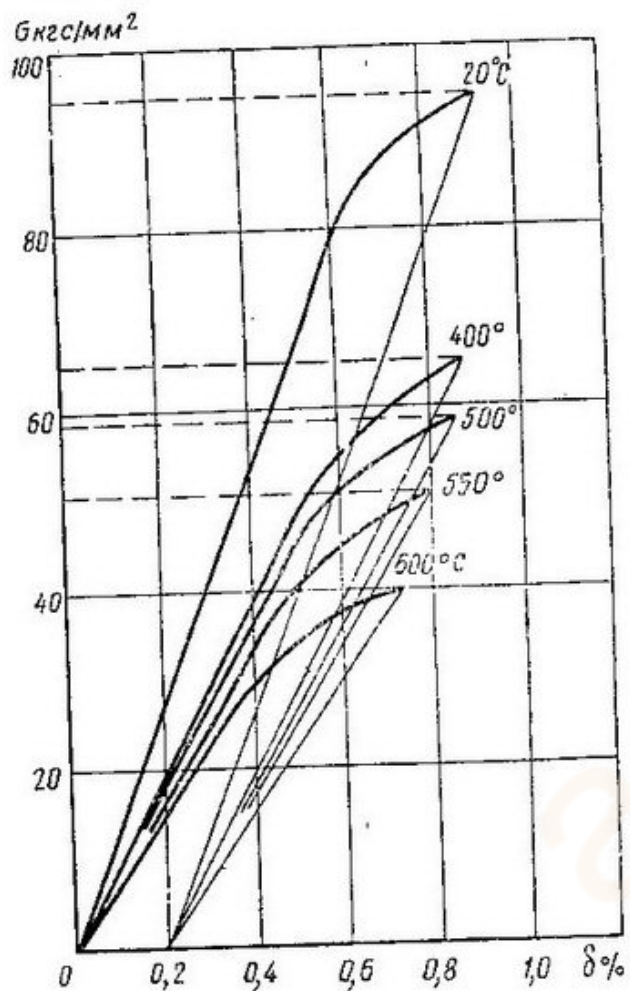


Рис. 1. Диаграммы растяжения сплава ВТ8 до предела текучести. Пруток кованый диаметром 22 мм, отожженный.

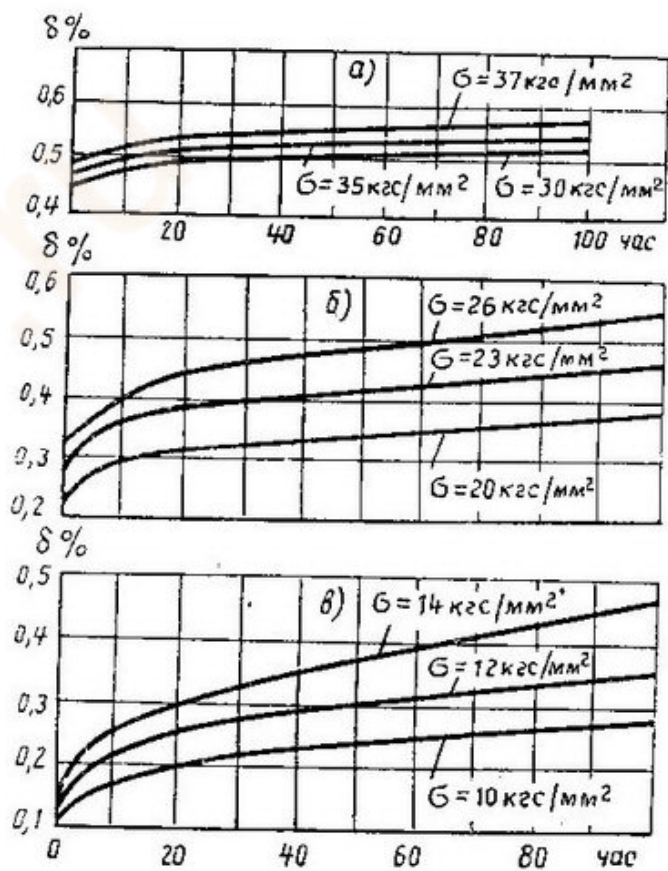


Рис. 2. Кривые ползучести сплава ВТ8 при 450 (а), 500 (б) и 550°C (в). Пруток кованый диаметром 22 мм, отожженный.

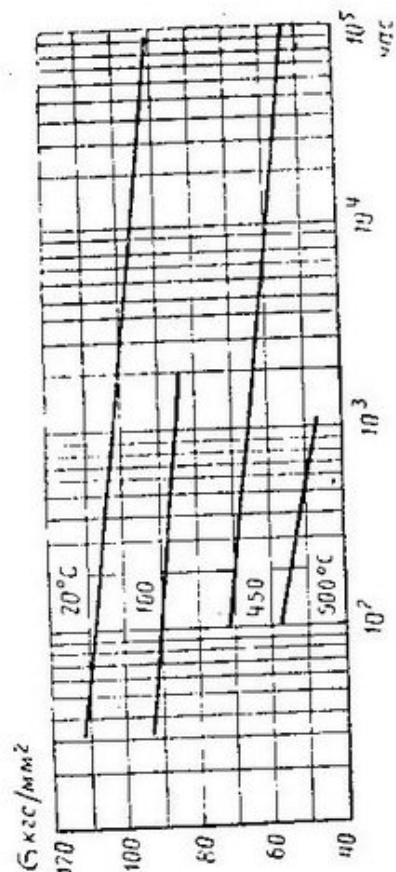


Рис. 3. Длительная прочность сплава BT8 при комнатной и высоких температурах. Пруток кованный диаметром 14 мм, отожженный. (По данным ВИАМ, ЦКТИ, ЦНИИТМАШ и завода).

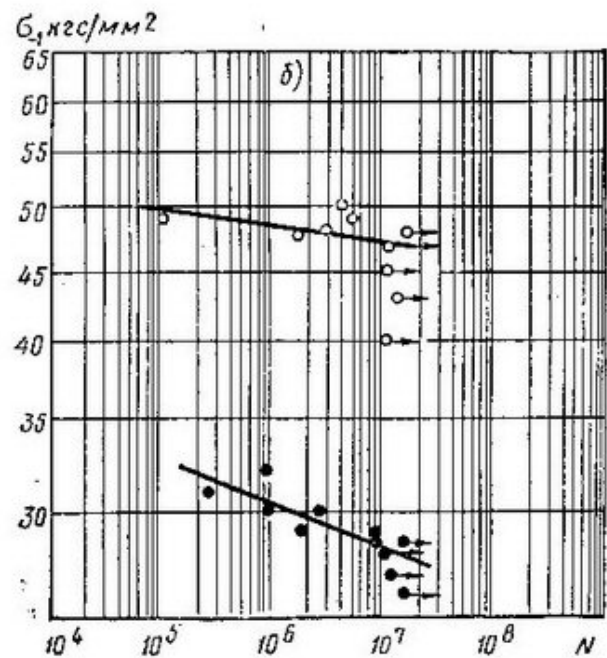
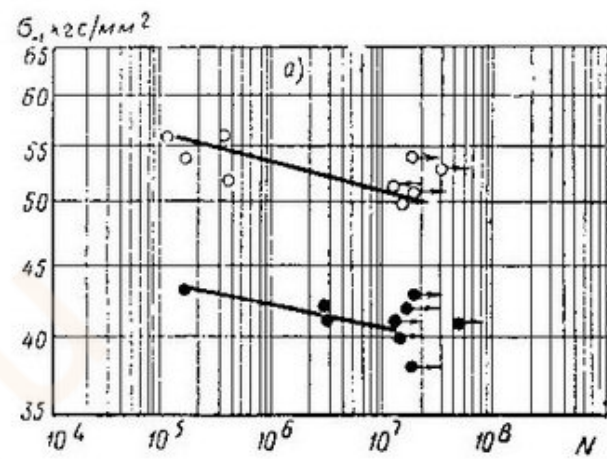


Рис. 4. Кривые выносливости сплава BT8 при комнатной температуре (а) и при 500°C (б). Пруток кованный диаметром 15 мм, отожженный:
 ○ — гладкие образцы; ● — образцы с надрезом,
 $r_{нн} = 0,75$ мм.

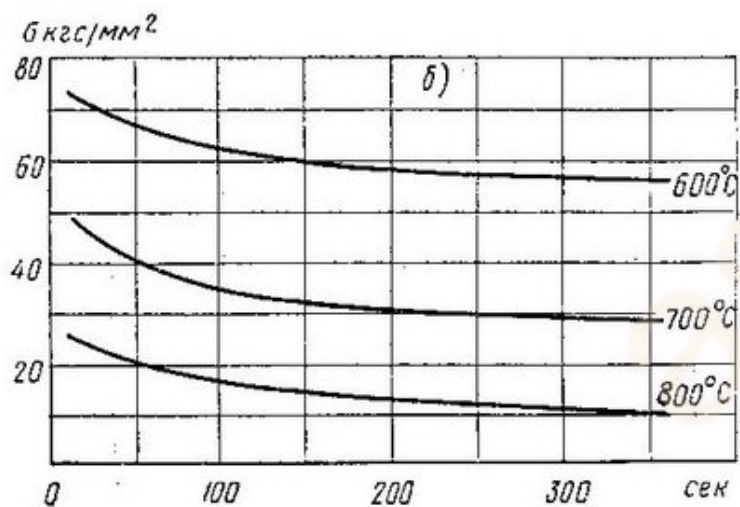
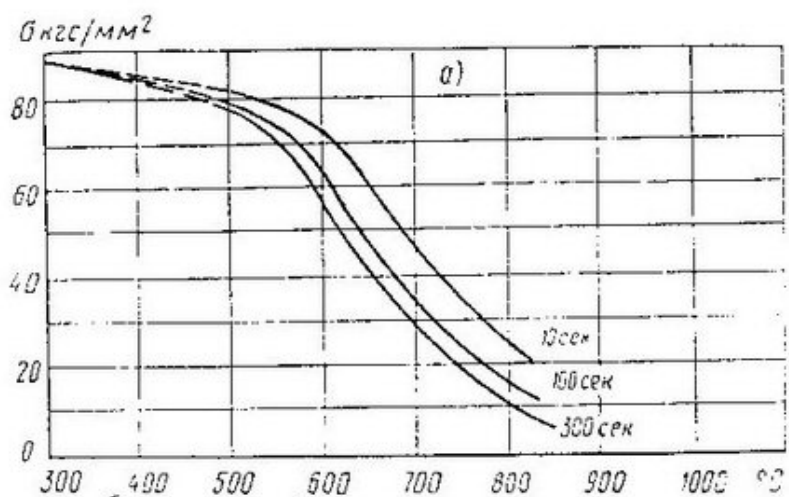


Рис. 5. Секундная прочность сплава BT8 в зависимости от температуры (а) и времени (б) испытания. Пруток отожженный.

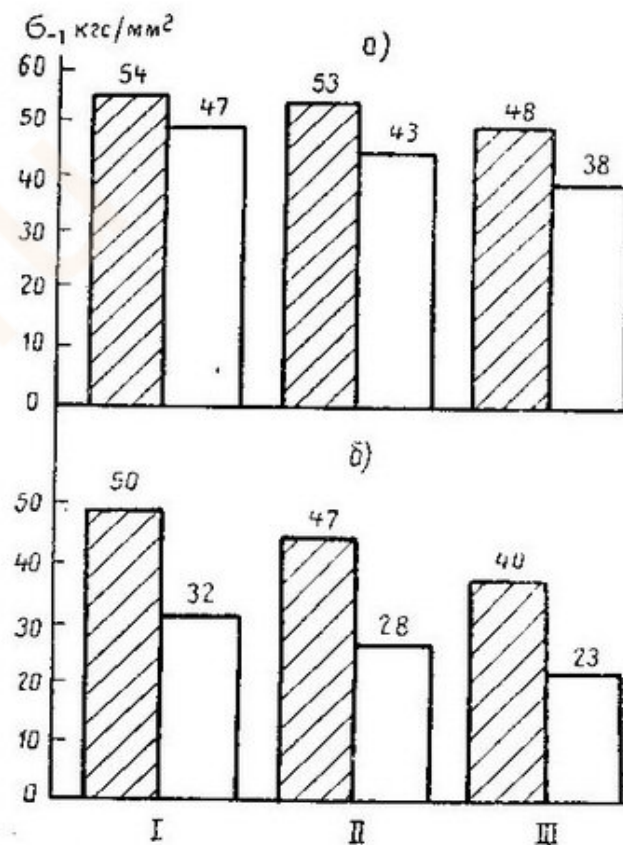


Рис. 6. Влияние микроструктуры на предел выносливости сплава BT8 при комнатной температуре (а) и при 500 $^{\circ}\text{C}$ (б);

I, II, III — типы структур.

▨ — гладкие образцы; □ — образцы с надрезом, $r_n = 0.75 \text{ мм}$.

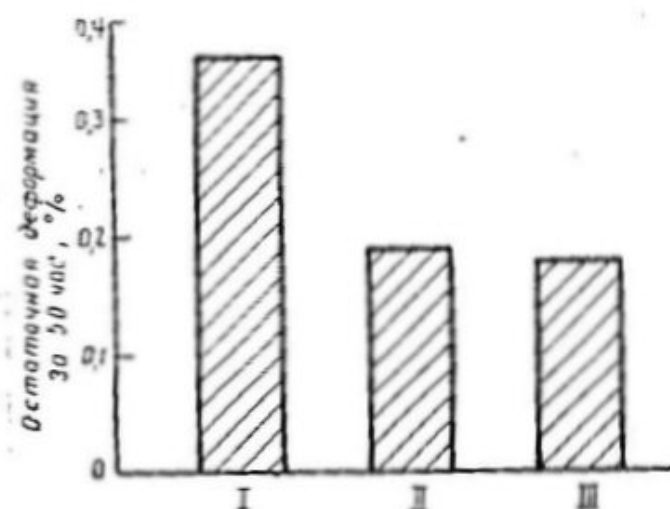


Рис. 7. Влияние микроструктуры на ползучесть сплава ВТ8 при 500°C и $\sigma = 30 \text{ кгс/мм}^2$:
I, II, III — типы структуры.

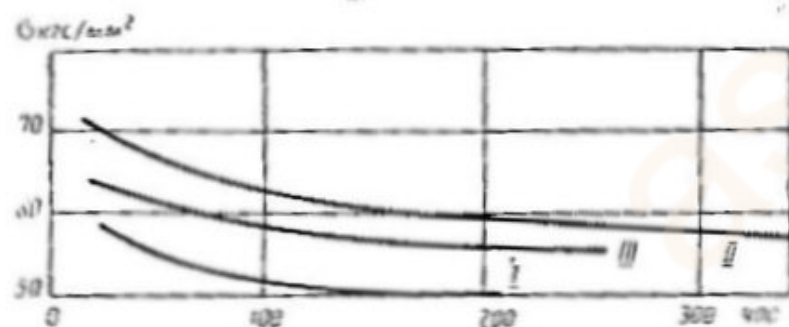


Рис. 8. Влияние микроструктуры на длительную прочность сплава ВТ8 при 500°C. Пруток кованый диаметром 14 мм, отожженный:
I, II, III — типы структуры.

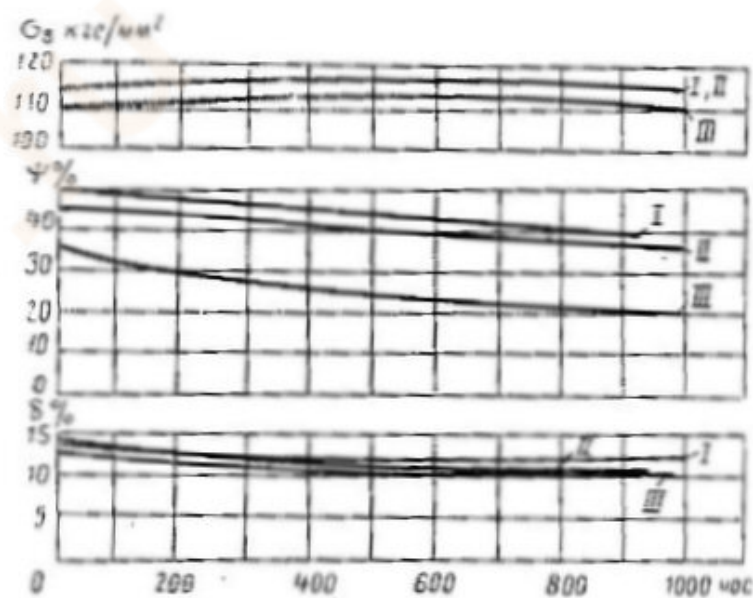


Рис. 9. Влияние микроструктуры на механические свойства при комнатной температуре сплава ВТ8 после длительных нагревов при 500°C:
I, II, III — типы структуры.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ										BT9	
Химический состав в % по ОСТ1 90013-71											
Ti	Al	Mo	Zr	Si	C	Fe	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей	
					не более						
Осно- ва	5,8-7,0	2,8-3,8	0,8-2,5	0,2-0,35	0,10	0,25	0,15	0,05	0,015	0,30	

Механические свойства по ТУ и ОСТ

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние конт- рольных образцов	Температура испытания, °С	σ_x кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²	σ_{50}	σ_{100}	НВ ($d_{отп}$) мм
					%					
Пруток катаный диаметром 10-60 мм	АМТУ 451-67	Отж- женные	20	105-125	9	30	3	—	—	3,2-3,7
			500	≥70	—	—	—	—	60	—
			20	≥120	6	20	2	—	—	3,0-3,4
Пруток катаный крупноба- ритный диа- метром (в мм): 65-100** 101-130***	ТУ1- 92-6-72	Отж- женные	20	105-125	9	25	3	—	—	3,2-3,7
			100-125	6	14	3	—	—	3,2-3,7	
			20	105-125	9	25	3	—	—	3,2-3,7
Пруток кованый диаметром или состо- роной квад- рата (в мм): 65-100** 101-150*** 151-250***	АМТУ 534-67	То же	20	105-125	9	25	3	—	—	3,2-3,7
			500	≥70	—	—	—	—	60	—
			20	100-125	6	14	3	—	—	3,2-3,7
			20	95-125	6	14	3	—	—	—

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние конт- рольных образцов	Температура испытания, °С	σ_x кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²	σ_{50}	σ_{100}	НВ ($d_{отп}$) мм
					%					
Пруток и заготовка для лопаток диаметром (в мм): до 50 50 и более	ОСТ1 90006-70	Отж- женные	20	105-125	11	33	3	—	—	3,2-3,7
			105-125	11	28	3	—	—	3,2-3,7	
			500	≥70	—	—	—	60	57	—
Штампо- ванная ло- патка малога- баритная	ОСТ1 90002-70	То же	20	≥105	10	30	3	—	—	3,2-3,7
			20	≥120	6	20	2	—	—	3,0-3,4
			20	≥105	9	22	3	—	—	3,2-3,7
крупнога- баритная	АМТУ 548-69	После ВТМО и старения	20	≥122	6	17	2	—	—	3,0-3,4
			20	≥105	9	22	3	—	—	3,2-3,7
			20	≥105	8	22	3	—	—	3,2-3,7
Штампо- ванный диск весом (в кг): до 25 26-50 51-100 101-200	АМТУ 548-69	Отж- женные	20	≥105	8	22	3	—	—	3,2-3,7
			20	≥105	8	20	3	—	—	3,2-3,7
			20	≥103	8	18	2,5	—	—	3,2-3,7
500	≥100	6	16	2,5	—	—	3,2-3,7			
500	≥70	—	—	—	63	60	—			

Продолжение

Вид полу- фабриката	ТУ, ОСТ	Состоя- ние кон- трольных образцов	Температура испытания, °С	σ_b кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²	σ_{50}	σ_{100}	НВ ($d_{отп}$) мм				
											%		кгс/мм ²	
											не менее			
Штампов- ка и поков- ка толщи- ной (в мм):	ОСТ1 90000—70	Отож- женный	20	105—125	9	25	3	—	—	3,2—3,7				
				100—125	6	14	3	—	—	3,2—3,7				
				95—125	6	14	3	—	—	3,2—3,7				
				≥70	—	—	—	63	60	—				
Кольцо цельнорас- катное	ОСТ1 90043—72	То же	20	≥100	8	20	2,5	—	—	3,2—3,7				
Труба внешним диаметром (в мм):	СТУ 628-70	»	20	≥105	10	18	3	—	—	—				
				≥95	9	20	3	—	—	—				

* Свойства факультативны.

** В продольном направлении.

*** В поперечном направлении.

Механические свойства при комнатной и высоких температурах.

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Температура испытания °С	E	E _A	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	δ_{10}	ψ
			кгс/мм ²					%		
Прутки диамет- ром до 60 мм	Отож- женный	20	12000	13600	75	95— 115	105— 125	10—14	8—12	30
		400	10800	11700	52	67	82—85	14	8	50
		450	10600	11400	45	66	80—82	14	8	55
		500	10000	11100	42	60	75—78	14	8	60
		550	9600	10800	40	57	70—73	13	9	62
		600	9000	10300	30	53	67—70	16	10	66
	700	—	—	—	25—30	40—48	15—30	—	—	70—85
	800	—	—	—	10—15	15—20	60—80	—	—	95—100
	20	—	—	—	110— 130	120— 140	6—10	—	—	20—30
Прутки диамет- ром до 60 мм	Зака- ленный и соста- ренный	20	—	—	—	—	—	—	—	—
		20	—	—	—	—	—	—	—	—

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Температура испытания °С	$\frac{\sigma_H}{\sigma_{H=0,1}}$	G	τ_{cp}	a_n	
			($r_H = 0,1$ мм)	кгс/мм ²	°	кгс/мм ²	кгс·м/см ²
Прутки диамет- ром до 60 мм	Отож- женный	20	1,36	4 400	0,31	70—80	3—6
		20	—	—	—	—	2—4

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Темпе- ратура испыта- ния °C	σ_{100}	σ_{500}	σ_{1000}	σ_{2000}	σ_{5000}
			кгс/мм ²				
Прутки кова- ные и катаные (микрострук- тура II типа)	Отож- женные	350	79—82	79—82	79—82	79—82	79—82
		400	78—80	—	—	—	—
		450	74—80	69—74	67—72	65—70	63—68
		500	60—68	46—55	42—50	39—46	34—40
Пруток ката- ный диаметром 60 мм (микро- структура I ти- па)	Отож- женный	500	57	—	—	—	—
		450	90	76	72	70	—
Штамповка	После ВТМО	450	90	76	72	70	—

Вид полу- фабриката.	Состоя- ние	Температура испытания, °C	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	$\sigma_{0,2/1000}$	$\sigma_{0,2/2000}$	σ_{-1}	σ_{-1}^H
			кгс/мм ²					
Прутки кованные и катаные (микро- структура II типа)	Отож- женные	20	—	—	—	—	54	35—40
		350	59—62	59—62	59—62	59—62	—	—
		450	50	45—48	40—42	38	—	—
		500	35—40	28—30	22	18	42—45	25—30
	Зака- ленные и соста- ренные	450	45	40	35	—	—	—
Пруток катаный диаметром 60 мм (ми- крострукту- ра I типа)	Отож- женный	500	26—28	—	—	—	—	—
		Штампов- ка	После ВТМО	450	47	41	38	—

Секундная прочность и ползучесть

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	σ_{10^2}	σ_{60^2}	σ_{120^2}	σ_{200^2}	σ_{300^2}
			кгс/мм ²				
Пруток кованный	Отожжен- ный	600	86	84	82	80	78
		700	58	53	49	46	44
		750	42	36	33	30	28
		800	30	25	22	20	18

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_B кгс/мм ²	δ_2	ψ	α_H кгс·м/см ²
	температура °C	время час				
Отожженный	Исходное состояние		112	10	40	4
	500	100	115	9	35	3,8
		500	120	8	25	2,5

Физические свойства

Плотность $d=4510$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,3	8,8	9,0	9,2	9,5	9,6

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,3	9,4	9,9	10,3	10,3

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25	100	200	300	400	500	600	700	800	900
λ вт/м·град	7,5	8,4	9,6	10,9	12,2	13,8	15,1	16,3	18	19,7

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600
<i>c</i> кдж/кг·град	0,545	—	0,587	0,608	0,628	0,650

Удельное электросопротивление при 20°C
 $\rho \cdot 10^6 = 161 \text{ ом} \cdot \text{см}$.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Неполный отжиг	530—620	0,5—4	На воздухе, в аргоне
Двойной отжиг	950—980	1—4	На воздухе
	+ 530—580	6	То же
Закалка	920—940	1—4	В воде
Старение	570	6	На воздухе
Изотермический отжиг	950—980	1—4	В печи (или перенос в другую печь) до 530—580°C
	+ 530—580	6	На воздухе

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Температура полиморфного превращения 980—1020°C.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения	
	начала	окончания			
Ковка слитка	1180	900	40	На воздухе	
Ковка предварительно деформированной заготовки диаметром (в мм):	до 100	1020—1000	850	40—50 **, 70 ***	То же
	более 100	1100—1020	900—850	40—50 **, 70 ***	»
	Штамповка на прессе	980—950	800	40—60	»
	Штамповка на молоте	1000—960	850	40—60	»

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

** Деформация в $\alpha + \beta$ -области.

*** Деформация в β -области.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Толщина мм	Термическая обработка после сварки	Механические свойства сварных соединений		
				$\sigma_{\text{н}}$ кгс/мм ²	$a_{\text{н}}$ кгс·м/см ²	$\sigma_{100}^{500^\circ}$ кгс/мм ²
BT9+BT9	ЭЛС	10	Отжиг при 950°C, 1 час, охлаждение на воздухе до 530°C, выдержка 6 час, охлаждение на воздухе	0,9 $\sigma_{\text{н}}$ основного материала	2,5	0,9 $\sigma_{100}^{500^\circ}$ основного материала

Применение

Детали, длительно работающие в отожженном состоянии при температурах до 500°C (500 час) и до 550°C (100 час), в термически упрочненном — до 450°C (1 000 час) и до 500°C (100 час); детали разового действия — при температурах до 700°C, а также силовые, крепежные детали и сварные узлы.

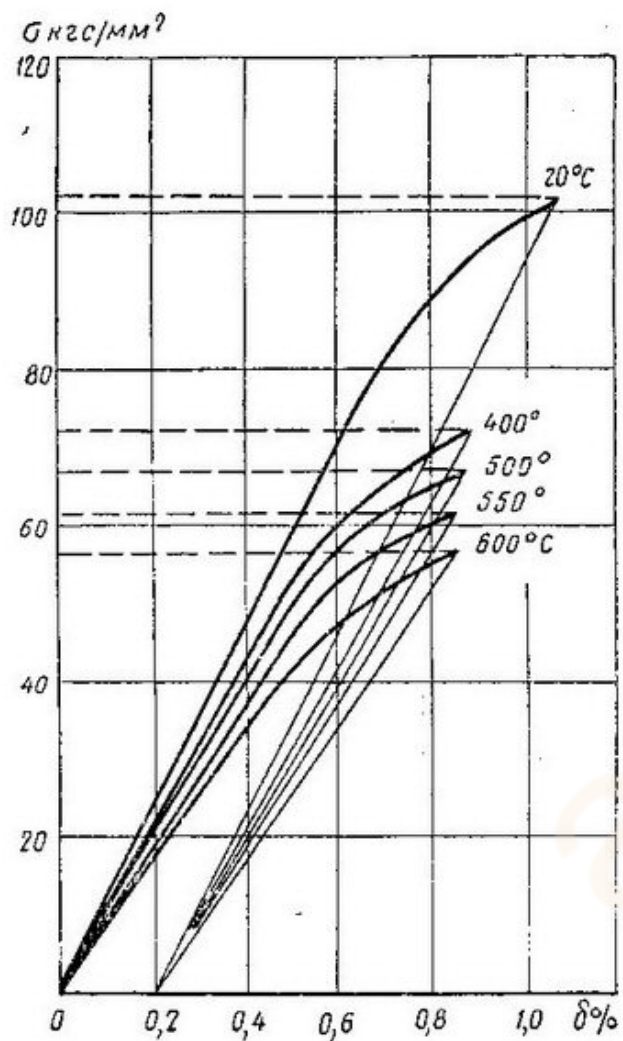


Рис. 1. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава BT9. Пруток кованый диаметром 22 мм, отожженный. Микроструктура «корзиночного плетения».

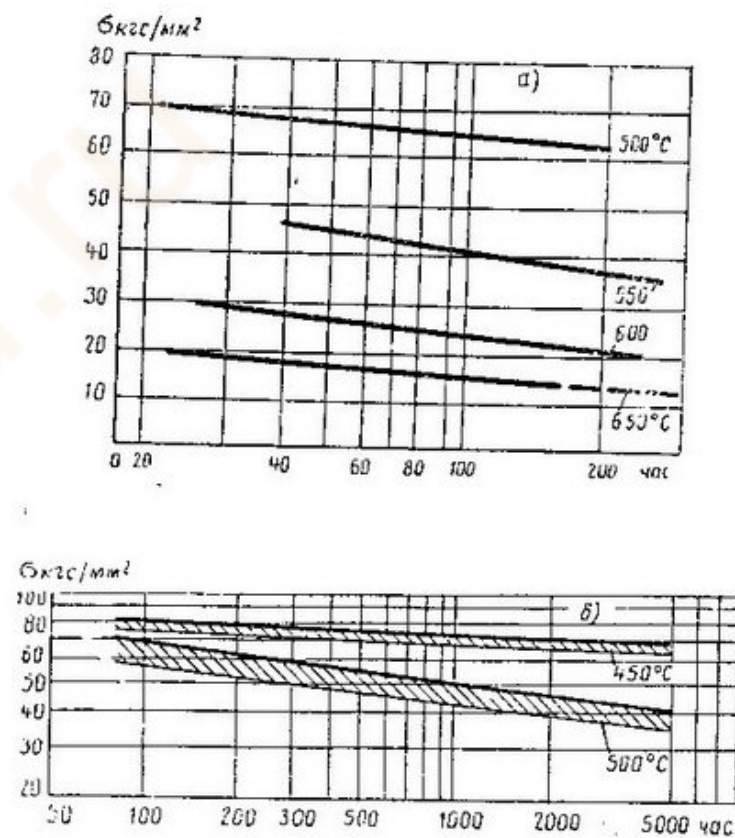


Рис. 2. Длительная прочность сплава BT9 при температурах 500—650°C за 100 час (а) и при 450 и 500°C за 100—5000 час (б).

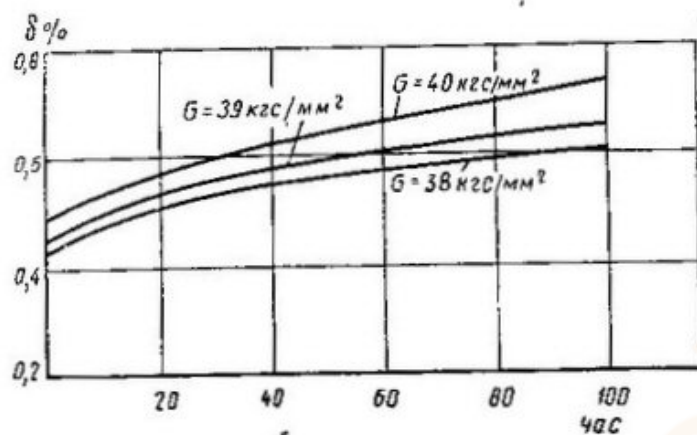


Рис. 3. Кривые ползучести сплава ВТ9 при 500°C за 100 час. Микроструктура II типа.

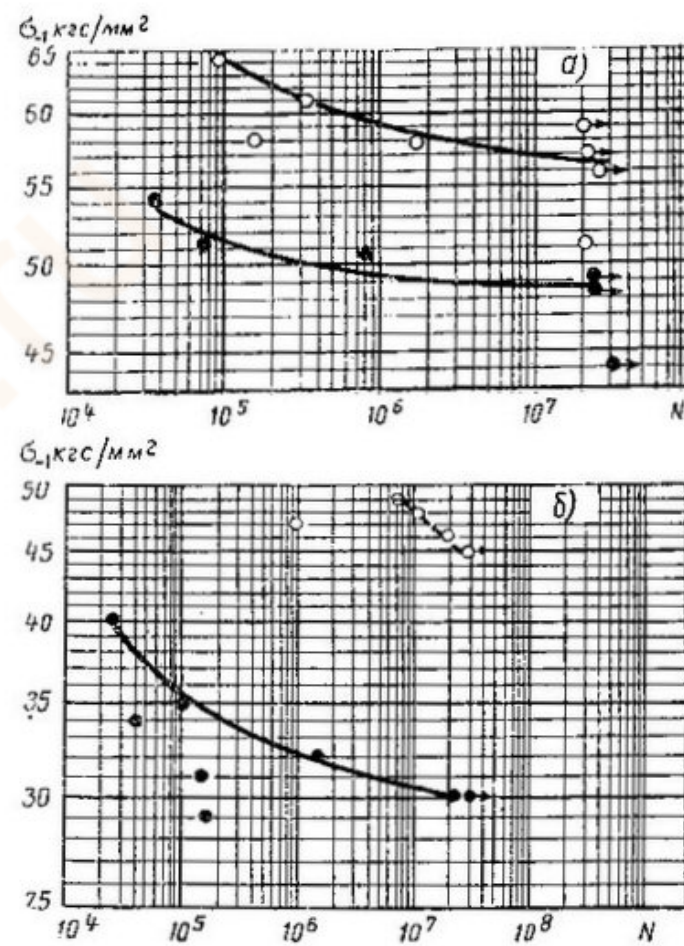


Рис. 4. Кривые выносливости сплава ВТ9 при комнатной температуре (а) и при 500°C (б). Пруток кованый: ○ — образцы гладкие, ● — образцы с надрезом. $r_H = 0,75$ мм.

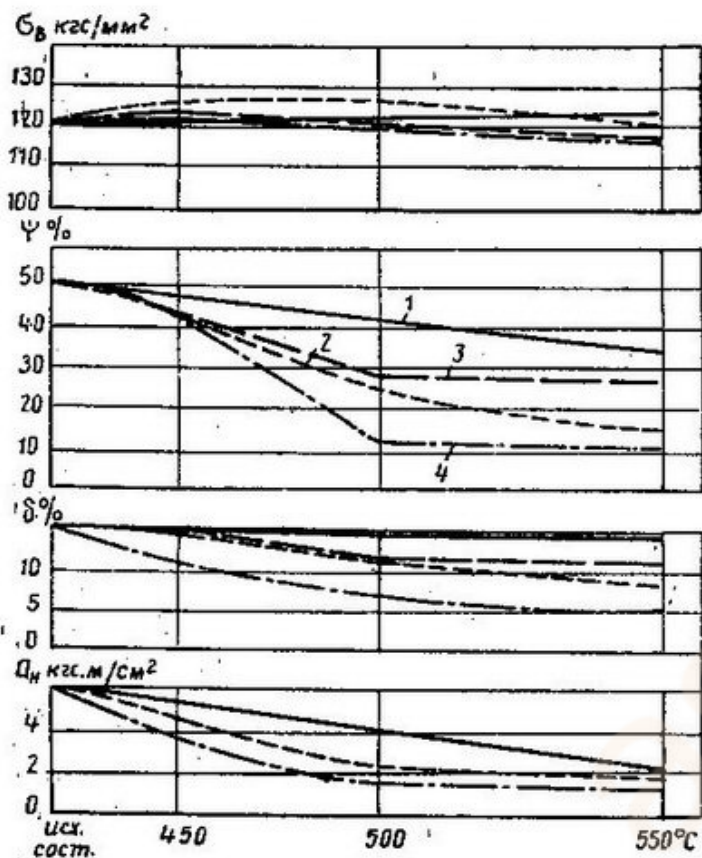


Рис. 5. Механические свойства сплава ВТ9 при комнатной температуре после длительных нагревов при 450, 500 и 550°C в течение:

1 — 100 час; 2 — 500 час; 3, 4 — 2000 час; (3 — заготовка, 4 — готовый образец из прутка ковкого диаметром 12 мм).

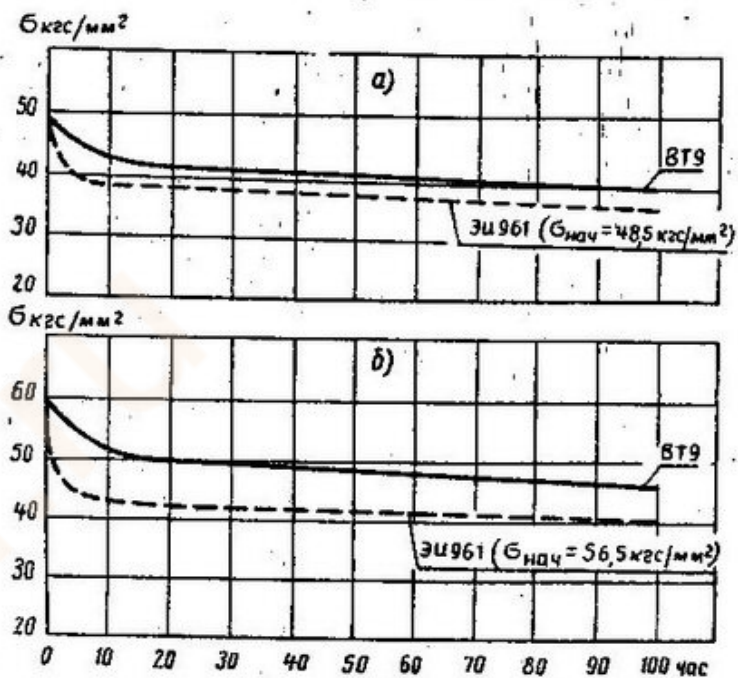


Рис. 6. Релаксация напряжений при растяжении болтов М8×1,25 из сплава ВТ9 при 500°C и начальных напряжениях 48,3 (а) и 59 кгс/мм² (б).

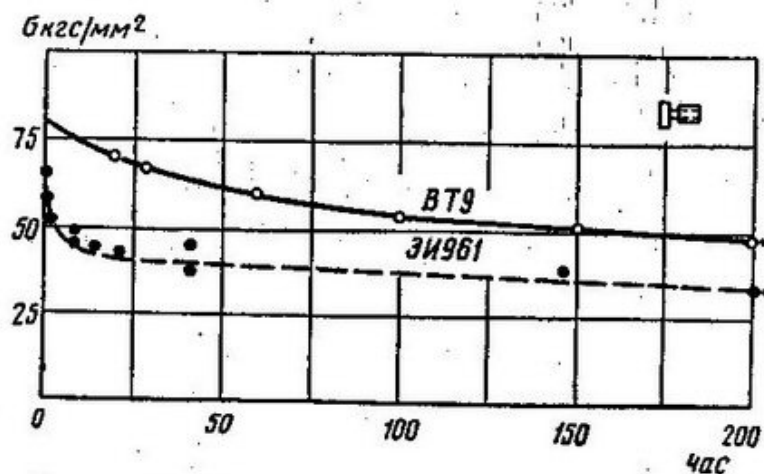


Рис. 7. Длительная прочность болтов М8×1,25 из сплава ВТ9 при 500°C.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ	BT18
-------------------	------

Химический состав (в %) по ОСТ1 90013—71

Ti	Al	Mo*	Zr	Nb*	Si	C	Fe	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
						не более					
Осно- ва	7,2— 8,2	0,2— 1,0	10,0— 12,0	0,5— 1,5	0,05— 0,18	0,10	0,15	0,15	0,05	0,015	0,30

* Суммарное содержание молибдена и ниобия должно находиться в пределах 0,9—2,1%.

Механические свойства по ТУ (не менее)

Вид полу- фабриката	ТУ	Состоя- ние	Температура испытания °C	σ_B кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_n	σ_{50} кгс/мм ²
					%			
Прутки катаный диамет- ром 25— 35 мм	ТУ 15026-72	Отож- женный	20	95—115	10	25	1,6	—
			600	66	—	—	—	30

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Температура испытания, °C	E	E _d	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5	δ_{10}	ψ	a_n кгс·м/см ²	НВ (d _{отп}) мм
			кгс/мм ²				%				
Прутки диамет- ром 14— 22 мм	Отож- женный	20	1200	13200	95— 115	100— 120	10— 16	8— 11	25— 45	2—4	3,2—3,5
		400	9800	11300	71	90	10	6	25	—	—
		500	9500	10850	69	88	13	6	25	—	—
		600	8500	10300	50	77	13	6	25	2,5	—
		700	6500	9860	38	65	20	13	50	—	—
		800	5700	9300	14	38	40	30	80	—	—

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состоя- ние	Температура испытания °C	σ_{100}	σ_{500}	$\frac{\sigma_{100}^n}{\sigma_{100}}$	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	σ_{-1}	σ_{-1}^H
								на базе, циклы	
								2·10 ⁷	10 ⁷
кгс/мм ²									
Прутки диа- метром 14— 35 мм с микрострук- турой «корзиночно- го плетения» равноосной	Отож- женный	20	—	—	1,3	—	—	48—52	36—38
		500	65—70	60	—	37	—	—	—
		550	50	35—41	—	20—22	11—13	—	—
		600	30—33	18—21	1,4	10—12	5	40—43	30—33
		650	19	10—12	—	7	3	—	—
		550	43—45	33—35	—	17—19	7—8	—	—
600	28—30	17—19	—	8—9	3—4	—	—		

Секундная прочность

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	$\sigma_{30''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{180''}$	$\sigma_{300''}$
			кгс/мм ²				
Прутки диаметром 14 мм	Отожжен- ный	700	74	71	67	65,5	62,5
		800	48,5	44	38	34,5	31,5
		900	26,5	21,5	18	16	14,5
		1000	6,5	5,5	4,5	4	3

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов*

Состояние материала	Режим нагрева		σ_B кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²	
	темпе- ратура °C	время час					
Отожженный	Исходное со- стояние	—	95—115	10—16	25—45	2—4	
		600	100	95—115	9—13	21—28	1,5—2,5
		500	—	95—115	7—13	14—28	—

* Нагрев заготовок под образцы.

Физические свойства

Плотность $d=4540 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—	20—	20—	20—	20—	20—	20—	20—	20—
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	9,0	9,3	9,5	9,8	10,0	10,2	10,4	10,7	10,9

Температура, °C	100—	200—	300—	400—	500—	600—	700—	800—	900—
	200	300	400	500	600	700	800	900	
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	9,6	9,9	10,4	11,0	11,0	11,7	13,1	12,6	

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	$\lambda \text{ вт/м}\cdot\text{град}$	7,1	7,9	9,6	10,9	12,2	13,8	15,1	16,7	18,4

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	$c \text{ кдж/кг}\cdot\text{град}$	0,503	0,545	0,608	0,670	0,712	0,755	0,795	0,838

Удельное электросопротивление при 20°C

 $\rho \cdot 10^6 = 176 \text{ ом}\cdot\text{см}$

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка*

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг	900—980	1—4	На воздухе
Двойной отжиг	900—980	1—4	То же
	+ 600	6	

* Инструкция ВИАМ № 685-69.

Горячая обработка давлением*

Вид обработки	Температура деформации °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1180	950	≥ 40	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки	1100—1040	950	30—50**	То же
Штамповка на молоте	1010—1030	900	40—60	.
Штамповка на прессе	980—1020	900	40—60	.

* Инструкция ВИАМ № 680-70.

** Деформация в β -области.

Свариваемость

Свариваемый материал	Метод сварки	Толщина мм	Термическая обработка после сварки	Механические свойства сварных соединений		
				$\sigma_{\text{ш}}$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{шв}}$ кгс·м/см ²	$\sigma_{\text{шн}}$ кгс/мм ²
BT18+BT18	ЭЛС	10	Отжиг при 900°C, 1 час	0,9 $\sigma_{\text{б}}$ основного материала	1,7	0,82 $\sigma_{\text{б}}$ основного материала

Применение

Детали, длительно работающие (до 500 час) при температурах до 600°C; детали разового действия (5 мин) — при температурах до 800°C, а также сварные узлы.

Примечание. Для изготовления крупных деталей сложной конфигурации (диски, лопатки и др.), а также сварных узлов с повышенными требованиями к пределу ползучести, термической стабильности при температурах 500—600°C и ударной вязкости следует применять сплав BT18U.

Характеристики сплава BT18U и рекомендации к его применению выдаются по запросу.

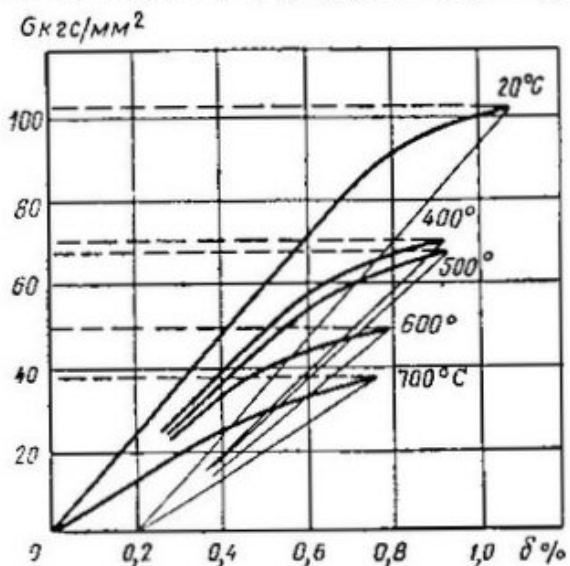


Рис. 1. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава VT18 при комнатной и высоких температурах. Прутки, $\sigma_k = 103 \text{ кгс/мм}^2$.

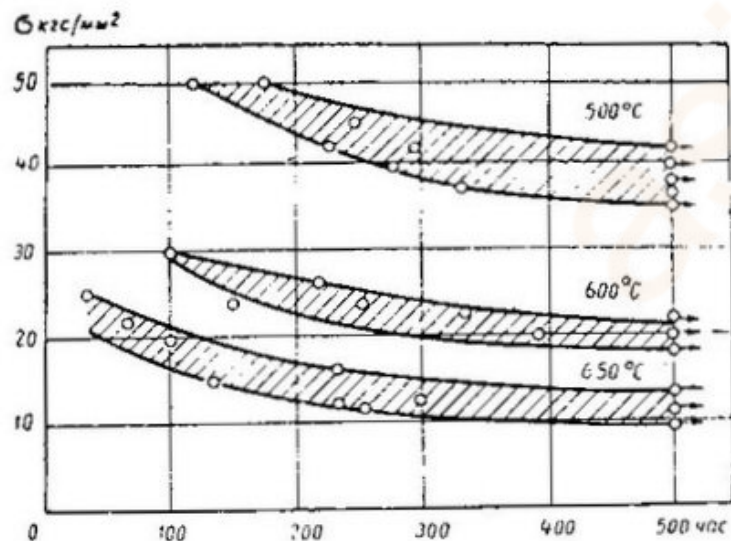


Рис. 2. Длительная прочность сплава VT18 при высоких температурах.

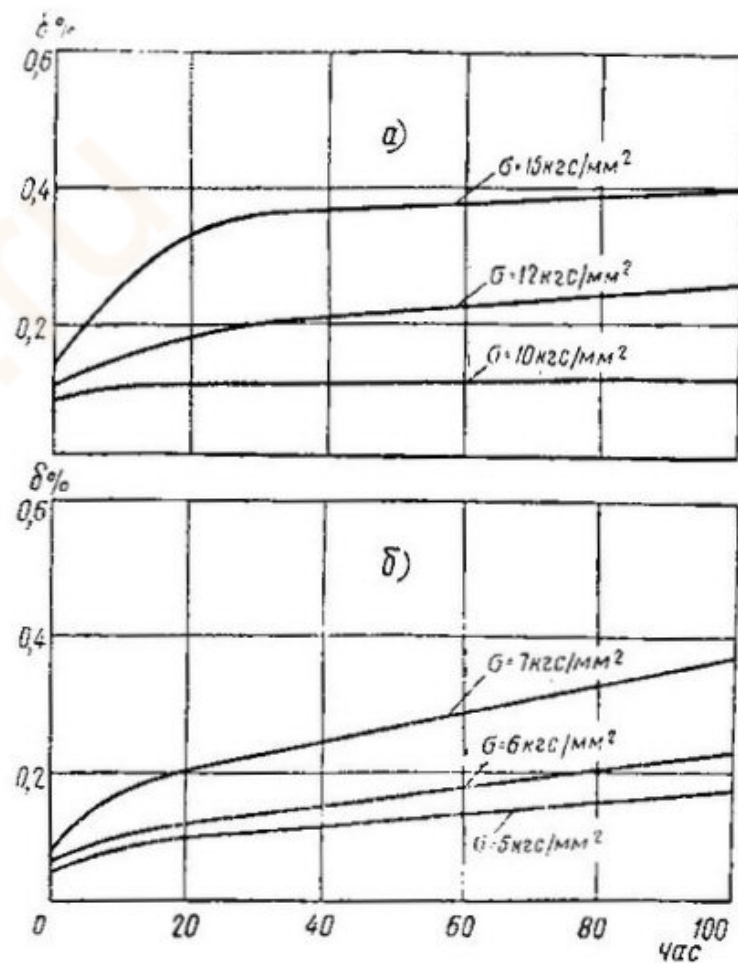


Рис. 3. Кривые ползучести сплава VT18 при 600 (а) и 650°C (б).

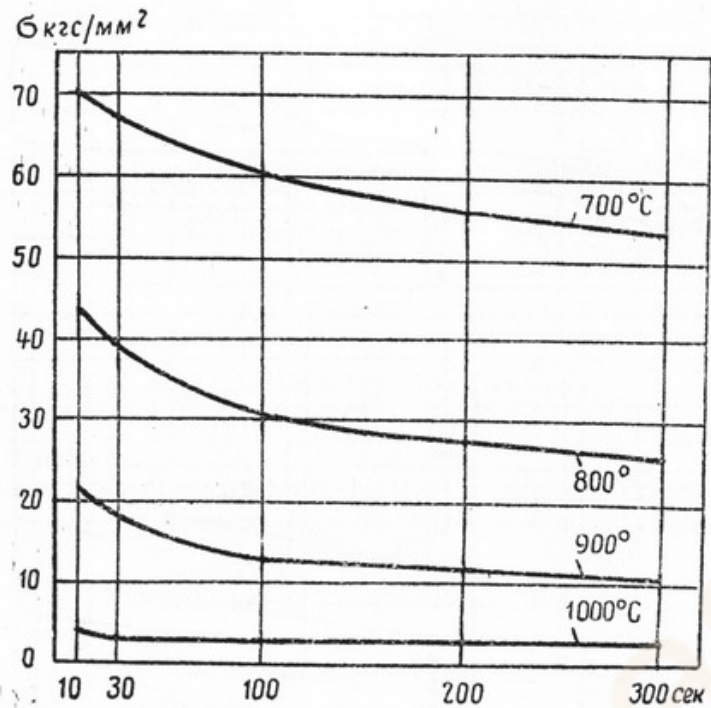


Рис. 4. Секундная прочность сплава VT18 при высоких температурах.

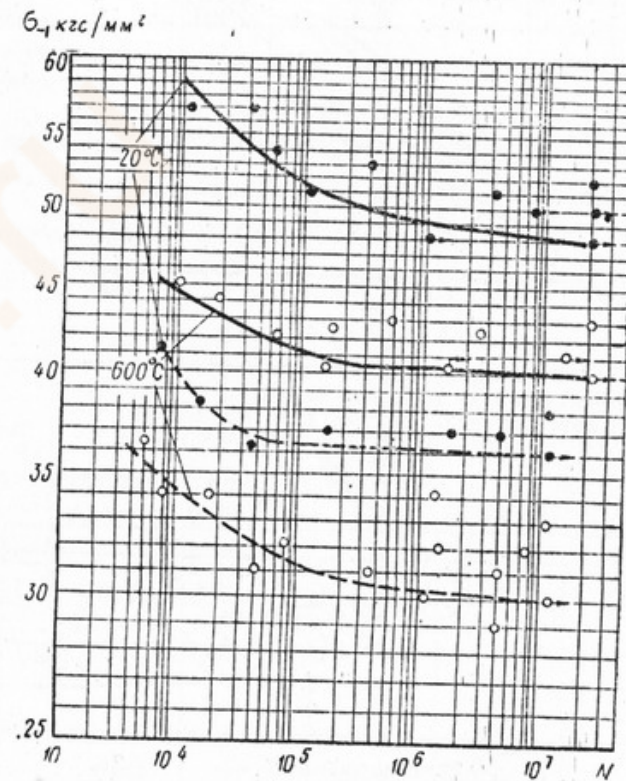


Рис. 5. Кривые выносливости сплава VT18 при комнатной температуре и при 600°C:
— образцы гладкие, --- образцы с надрезом.

ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ													BT25		
Химический состав в %															
	Ti	Al	Mo	Zr	Sn	W	Si	Cr	Fe	C	O ₂	N ₂	H ₂	Re	Сумма прочих примесей
	не более														
Основа	6,2—7,2	1,5—2,5	0,8—2,5	0,8—2,5	0,5—1,5		0,15—0,4	0,5	0,15	0,06	0,15	0,04	0,005	0,10	0,30

Механические свойства по СТУ (не менее)

Вид полуфабриката	СТУ	Состояние	Температура испытания, °C	σ_r кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²	σ_{100} кгс/мм ²	НВ (d _{отп}) мм
Прутки	СТУ	Отожженный	20	105—125	10	20	3	—	3,1—3,4
			500	75	—	—	—	62	—
Штамповка	СТУ		20	100—120	8	18	3	—	3,1—3,4
			500	75	—	—	—	65	—

Примечание. Механические свойства опытной партии факультативны.

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °C	E	$\sigma_{0,2}$	σ_r	δ_5^*	ψ	a_n кгс·м/см ²	НВ кгс/мм ²
Прутки диаметром 18—22 мм (микроструктура II типа)	Отожженный	20	12000	95—115	105—125	10—15	20—30	3—6	320—390
		400	10000	70—80	90—95	10—15	25—35	—	—
		500	9000	65—75	85—90	10—15	40—50	—	—
		550	8700	62—72	80—85	10—15	43—55	—	—
		600	8500	60—70	65—80	10—15	45—60	—	—
		700	—	25—30	40—50	13—17	80—90	—	—
		800	—	10—15	15—20	—	—	—	—

* При всех указанных температурах $\delta_{10}=8-10\%$.

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °C	σ_{100}	σ_{500}	σ_{100}^H	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	σ_{-1} σ_{-1}^H на базе циклов	
								2·10 ⁷	10 ⁷
			кгс/мм ²		кгс/мм ²		кгс/мм ²		
Прутки диаметром 14—22 мм (микроструктура II типа)	Отожженный	20	—	—	1,3	—	—	50—52	24—28
		450	85	—	—	56	—	—	—
		500	70—75	60	—	36	28	40—42	22
		550	44	40	—	17	—	—	—
		600	24	—	—	7	—	—	

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_r кгс/мм ²	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²
	температура °C	время час				
Отожженный	Исходное состояние		105	10	25	4
	500	100	105	9	25	3
		500	108	8	25	3
		2000	108	8	25	3
		3000	110	7	15	2,7
		6000	115	5	10	2,5
		550	100	105	9	25
	500	500	108	8	25	3
		2000	108	8	20	3
		3000	110	7	15	2,7

Физические свойства

Плотность $d = 4500 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100		20—200		20—300		20—400		20—500		20—600		20—700		20—800		20—900	
	$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	8,1	8,4	8,6	8,8	9,0	9,3	9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Температура, °C	100—200		200—300		300—400		400—500		500—600		600—700	
	$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	8,6	9,0	9,5	10,0	10,4	10,9	—	—	—	—	—

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25		100		200		300		400		500		600		700	
	$\lambda \text{ вт/м-град}$	6,27	7,51	8,79	10,0	11,7	13,4	14,6	16,3	—	—	—	—	—	—	—

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100		200		300		400		500		600		700	
	$c \text{ кдж/кг-град}$	0,544	0,580	0,628	0,668	0,754	0,837	0,921	—	—	—	—	—	—

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Двойной отжиг	950—970	1—4	На воздухе
	+ 530—570	6	То же

Температура полиморфного превращения 990—1030°C.

Горячая обработка давлением

Вид обработки	Температура деформации, °C		Степень деформации за один нагрев %	Условия охлаждения
	начала	окончания		
Ковка слитка	1180	900	>40	На воздухе
Ковка предварительно деформированной заготовки диаметром (в мм):				
до 100	1040—1020	850	40—50*, 70**	То же
более 100	1100—1020	900	40—50*, 70**	»
Штамповка на прессе	990—960	850	40—60	»
Штамповка на молоте	1020—970	850	40—60	»

* Деформация в $\alpha + \beta$ -области.** Деформация в β -области.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Механические свойства сварных соединений		
					σ_b кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²	σ_{100}^{500} кгс/мм ²
BT25+BT25	ААрДЭС	5—10	Без присадки	Отжиг при 750—850°C, 1—4 час	0,9 σ_b основного материала	2,1—2,9	0,8 σ_{100}^{500} основного материала
	ЭЛС			То же	0,9 σ_b основного материала		0,8 σ_{100}^{500} основного материала

Применение

Детали, длительно работающие при температурах до 500°C (6 000 час) и при 550°C (3 000 час), а также сварные узлы.

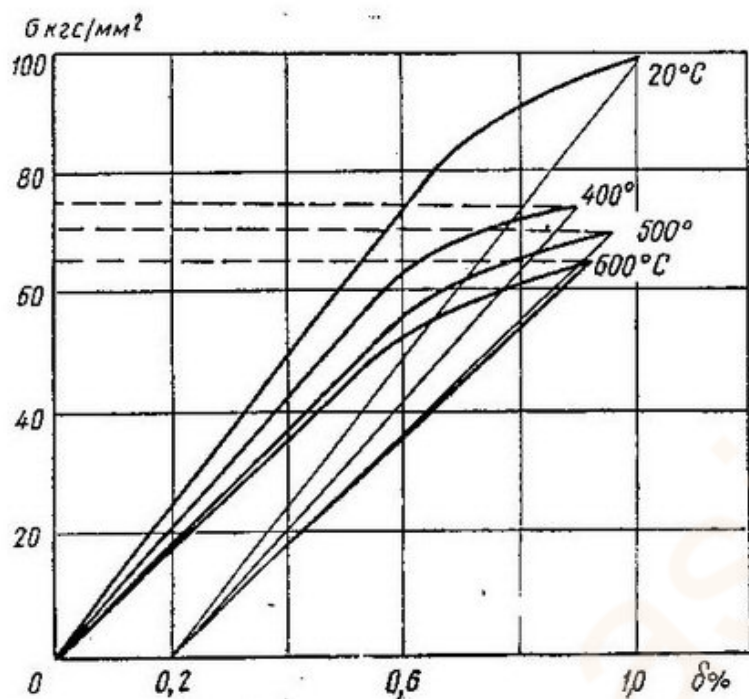


Рис. 1. Диаграммы растяжения до предела текучести сплава ВТ25 при комнатной и высоких температурах. Пруток, $\sigma_{\kappa} = 105 \text{ кгс/мм}^2$.

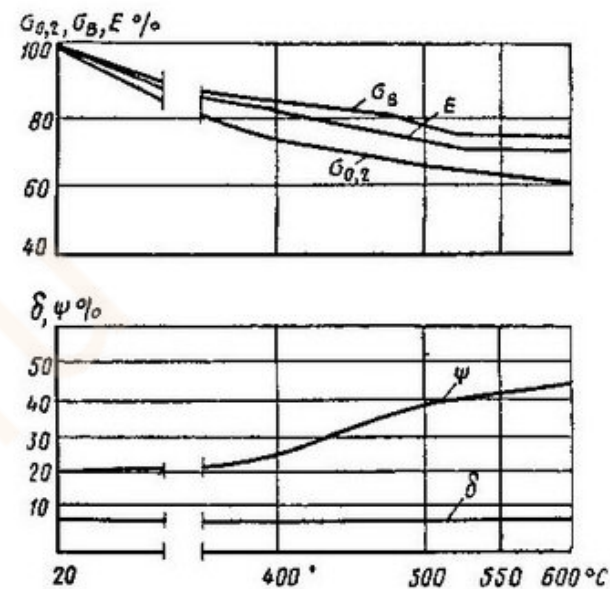


Рис. 2. Зависимость механических свойств сплава ВТ25 от температур испытания ($\sigma_{0,2}$, $\sigma_{\text{в}}$, E в % от показателей при комнатной температуре).

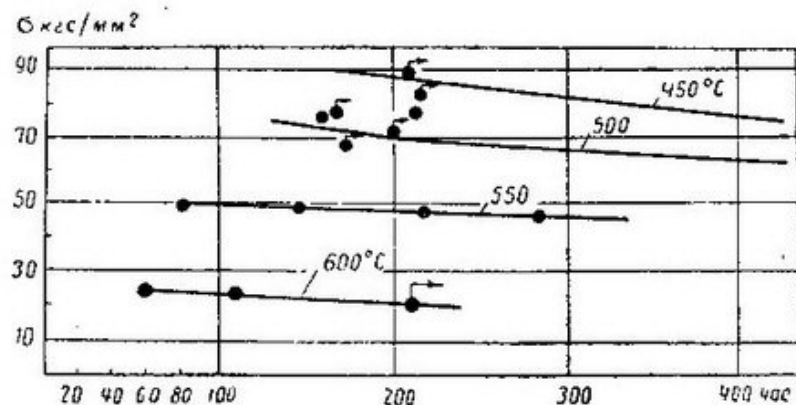


Рис. 3. Длительная прочность сплава ВТ25 при высоких температурах.

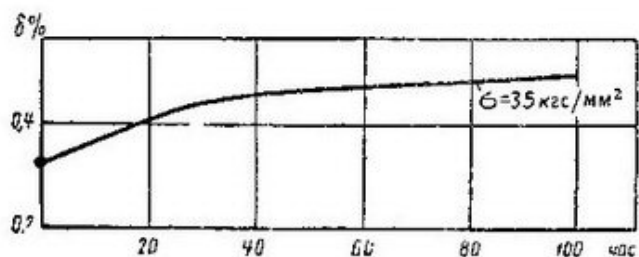


Рис. 4. Кривая ползучести сплава VT25 при 500°C за 100 час.

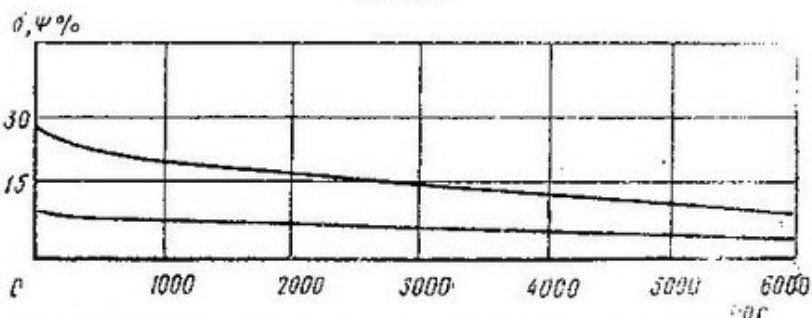


Рис. 5. Относительное сужение и удлинение сплава VT25 при комнатной температуре после длительных нагревов при 500°C

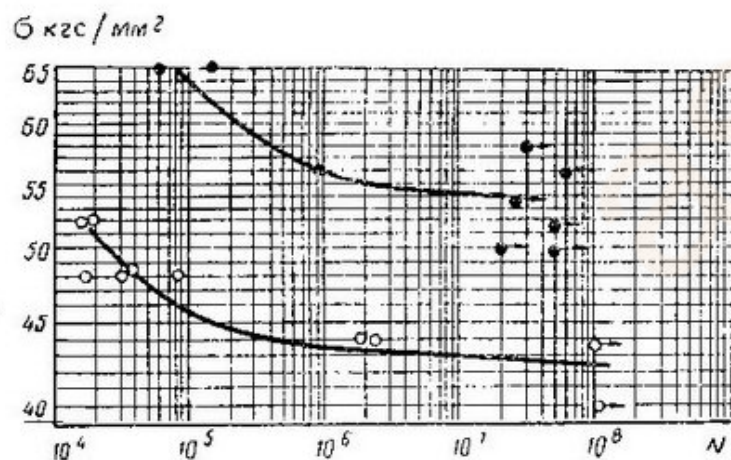


Рис. 6. Кривые выносливости сплава VT25 при комнатной температуре и 500°C. Пруток катаный диаметром 25 мм:
● — при 20°C, ○ — при 500°C.

ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ

ЛИТЕЙНЫЙ СПЛАВ	ВТ5Л
----------------	------

Химический состав в % по ОСТ1 90030—71

Ti	Al	C	Fe	Si	Zr	W	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
не более										
Осно- ва	4,1—6,2	0,20	0,35	0,20	0,80	0,20	0,20	0,05	0,01	0,30

Примечание. Допускается содержание до 0,8% Mo и до 1,2% V.

Механические свойства по ОСТ

Вид полу- фабриката	ОСТ	Состояние контрольных образцов	σ _{0,2}	σ _в	δ ₅	ψ	a _н кгс·м/см ²
			не менее				
Литье	ОСТ1 90060—72	Без тер- мической обработки	63	70	6	14	3

Механические свойства при различных температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	E	σ _{пл}	σ _{0,2}	σ _в	δ ₁₀	ψ	a _н кгс·м/см ²	N* при σ = 76 кгс/мм ² циклы
			кгс/мм ²				%			
Литье	Без тер- мической обработки	-70	—	—	79	85	6	12	1,5	—
		20	11800	55	68	78	6	14	3	20 000
		300	10500	25	32	40	8	25	—	—
		400	9300	20	25	35	10	30	—	—
		500	—	—	—	30	13	—	—	—

* Образцы с надрезом, σ = 0,65 σ_в.

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	σ_{100}	$\sigma_{0,2/100}$	σ_{-1}	
					на базе 10 ⁷ циклов	
кгс/мм ²						
Литье	Без тер- мической обработки	20	—	—	25	25
		300	40	—	—	—
		400	35	28	—	—

Секундная прочность

Вид полу- фабриката	Состояние	Темпе- ратура испыта- ния °C	$\sigma_{120^{\circ}}$	$\sigma_{180^{\circ}}$	$\sigma_{230^{\circ}}$
Литье	Без терми- ческой обра- ботки	600	24	24	23
		700	22	22,3	22
		800	17,5	16	15

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_y кгс/мм ²	δ %	a_k кгс·м/см ²
	темпе- ратура °C	время час			
Без термической обра- ботки	Исходное со- стояние		78	6	3
	400	2000	79	6	3

Физические свойства

Плотность $d=4410$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—	20—	20—	20—	20—	20—	20—	20—	
	100	200	300	400	500	600	700	800—	
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,6	8,8	8,9	9,1	9,2	9,3	9,5	9,6	9,8

Температура, °C	20—	100—	200—	300—	400—	500—	600—	700—	800—
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,6	9,1	9,2	9,7	9,8	9,9	10,3	10,7	11,3

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25	100	200	300	400	500	600
λ вт/м·град	8,79	9,63	10,9	11,7	13,0	14,2	15,5

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600
c кдж/кг·град	0,544	0,586	0,628	0,670	0,712	0,754

Удельное электросопротивление при 20°C
 $\rho \cdot 10^2 = 132$ ом·см

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Технология литья

Метод выплавки	Метод литья деталей	Температура, °C		Условия охлаждения	Жидко- текучесть мм	Линей- ная усадка %
		(точка) плавления	заливки			
Вакуумная дуговая гарни- сажная с рас- ходуемым элек- тродом	Цен- тробеж- ный	1640 (ликвидус)	1850— 2000	В вакууме	560 *	1—1,2
		1600 (солидус)				

* Определена по длине спиральной пробы, залитой в графитовый кокиль треугольного сечения площадью 0,75 см².

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{100}	σ_{500}	$\sigma_{0,2;100}$	$\sigma_{0,2;500}$	σ_{-1}	σ_{-1}^H
							на базе 10 ⁷ циклов	
кгс/мм ²								
Литье	Без тер- мической обработки	20	—	—	—	—	22	22
		400	72	68	47	38	—	—

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ %	a_H кгс·м/см ²
	темпе- ратура °C	время час			
Без термической об- работки	Исходное со- стояние		100	5	3
	400	2 000	103	4	2

Физические свойства

Плотность $d=4430$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,5	9,7	9,9	10,1	10,3

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	9,9	10,2	10,7	11,1

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25	100	200	300	400	500	600
λ вт/м·град	6,69	7,54	9,21	10,4	12,1	13,4	15,1

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600
c кдж/кг·град	0,565	0,607	0,649	0,691	0,754	0,795

Удельное электросопротивление при 20°C

 $\rho \cdot 10^8 = 168,5$ ом·см

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Технология литья

Метод выплавки	Метод литья деталей	Температура, °C		Условия охлаждения	Жидко- текучесть мм	Линей- ная усадка %
		плавления	заливки			
Вакуумная дуговая гарни- гажная с рас- ходоуемым элек- тродом	Цен- тробеж- ный	1620 (лиiquidus)	1850— 2000	В вакуу- ме или в нейтраль- ной среде	460*	0,8—1,15
		1560 (solidus)				

* Определена по длине спиральной пробы, залитой в графитовый кокиль треугольного сечения площадью 0,75 см².

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура °C	Видержка час	Условия охлаждения
Отжиг	650	1—2	На воздухе

Применение

Детали, работающие длительно при температурах до 400°C.

ЛИТЕЙНЫЙ СПЛАВ	BT6L
----------------	------

Химический состав в % по ОСТ 90030—71

Ti	Al	V	C	Fe	Si	Zr	W	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
			не более								
Основа	6,0—6,5	3,5—4,5	0,10	0,30	0,15	0,30	0,20	0,15	0,05	0,015	0,30

Механические свойства по ОСТ

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²
			кгс/мм ²		%		
			не менее				
Литье	ОСТ 90060—72	Без термической обработки	75	85	5	10	2,5

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	E	$\sigma_{цц}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²	НВ кгс/мм ²	
				кгс/мм ²				%			
				не менее							
Литье	Без термической обработки	20	11500	65	83	95	8	15	4,5	320—360	
		200	—	50	55	60	8	15	—	—	
		300	9500	40	50	55	9	16	—	—	
		400	9100	30	45	50	9	16	—	—	

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{100}	σ_{1000}	σ_{-1} на базе 10 ⁷ циклов
			кгс/мм ²		
Литье	Без термической обработки	20	—	—	20
		300	53	50	—
		400	47	40	—

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b кгс/мм ²	δ_5 %	a_n кгс·м/см ²
	температура °C	время час			
Без термической обработки	Исходное состояние		95	8	1,5
	400	500	95	7	4
	500	500	96	6	3,5

Физические свойства

Плотность $d=4430$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,3	8,7	8,9	9,2	9,5	9,8	10,0

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,9	9,4	10,0	10,6	11,2	11,8

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	25	100	200	300	400	500	600	700
λ вт/м·град	8,8	9,6	11,0	11,5	13,4	15,0	16,3	17,6

Удельная теплоемкость

Температура, °С	100	200	300	400	500	600	700
<i>c</i> кдж/кг·град	0,543	0,585	0,623	0,668	0,710	0,752	0,794

Удельное электросопротивление при 20°С

$$\rho \cdot 10^6 = 162 \text{ ом} \cdot \text{см}$$

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Технология литья

Метод выплавки	Метод литья деталей	Температура, °С		Условия охлаждения	Жидко-текучесть мм	Линейная усадка %
		плавления	заливки			
Вакуумная дуговая гарнсажная с расходуемым электродом	Центробежный	1650 (ликвидус) 1590 (солидус)	1850—2000	В вакууме	510*	1,1

* Определена по длине спиральной пробы, залитой в графитовый кокиль треугольного сечения площадью 0,75 см².

Применение

Литые детали, длительно работающие (10 000 час) при температурах до 400°С.

ЛИТЕЙНЫЙ СПЛАВ

ВТ9Л

Химический состав в % по ОСТ1 90030—71

Ti	Al	Mo	Zr	Si	C	Fe	W	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
Основа	5,6—7,0	2,8—3,8	0,8—2,0	0,2—0,35	0,15	0,30	0,20	0,15	0,05	0,015	0,30

Механические свойства по ОСТ

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние	σ _{0,2}	σ _в	δ ₅	ψ	a _н кгс·м/см ²
			%				
Литье	ОСТ1 90060—72	Без термической обработки	83	95	4	8	2

Примечание. Для обеспечения стабильности геометрических размеров крупные отливки сложной конфигурации отжигаются при 650°С — 1 час.

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	σ _{пл}	σ _{0,2}	σ _в	δ ₁₀	ψ	a _н кгс·м/см ²	N при σ _в = 0,5 σ _в * циклы
			кгс/мм ²							
Литье	Без термической обработки	20	10300	69	85	100	8	22	3,5	54 000—88 000
		150	9100	36	63	82	10	32	—	—
		300	9000	36	55	71	9	31	—	—
		400	8800	34	50	66	7	29	—	—
		450	8600	31	50	65	6	25	—	—
		500	8200	31	49	64	8	34	—	—
		550	8000	28	46	60	6	27	—	—
		600	7800	26	45	57	10	40	—	—
		700	—	—	—	46	14	29	—	—
		800	—	—	—	25	5	8	—	—
		900	—	—	—	16	6	12	—	—

* Образец с надрезом, σ_в = 100 кгс/мм².

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания, °C	σ_{100}	σ_{500}	σ_{2000}	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	σ_{-1}	σ_{-3}^H
								на базе, циклы	
								10^7	$2 \cdot 10^7$
<i>кгс/мм²</i>									
Литье	Без термической обработки	20	—	—	—	—	—	18	18
		300	65	—	—	50	—	20	—
		400	62	—	—	46	—	—	—
		450	60	55	—	—	—	—	—
		500	50	43	40	28	20	18	—
		550	35	—	—	20	10	—	—
	После поверхностного упрочнения (наклепа)	20	—	—	—	—	—	25—27	—
		300	—	—	—	—	—	24—25	—
		500	—	—	—	—	—	18—19	—

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_b <i>кгс/мм²</i>	δ_5	ψ
	температура °C	время час			
Без термической обработки	Исходное состояние		100	8	22
	500	500	103	6	13
		2000	103	4,5	7
		10000	105	2	4

Физические свойства

Плотность $d = 4490 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800
	$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	7,61	7,61	8,23	9,05	9,57	9,8	10,13

Температура, °C	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800	800—900
	$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	7,60	10,0	10,75	10,50	10,90	12,05	12,90

Удельное электросопротивление при 20°C
 $\rho \cdot 10^6 = 169 \text{ ом} \cdot \text{см}$.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Технология литья

Метод выплавки	Метод литья деталей	Температура, °C		Условия охлаждения	Жидкотекучесть мм	Линейная усадка %
		плавления	заливки			
Вакуумная дуговая горносплавная с расходуемым электродом	Центробежный	1620 (ликвидус)	1850—2000	В вакууме	515*	0,85—1,1
		1560 (солидус)				

* Определена по длине спиральной пробы, залитой в графитовый кокиль треугольного сечения площадью $0,75 \text{ см}^2$.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °С	Механические свойства сварного соединения		
					σ_b кгс/мм ²	a_n шва кгс·м/см ²	
BT9Л+ +BT9Л	РАрДЭС и ААрДЭС	BT1-00	Вакуумный отжиг при 750°С — 1 час	20	59	10	
				300	31	—	
				500	20	—	
			СПТ2	То же	20	85	2,5*
					300	60	—
					500	52	—
		BT20-2	»	20	90	2,5*	
				300	62	—	
				500	54	—	
		BT9 (лапша)	»	20	95	—	
				500	57	—	

* После нагрева при 500°С — 500 час $a_n = 2,5$ кгс·м/см².

Применение

Детали, длительно работающие (2000 час) при температурах до 500°С и 100 час при 550°С.

ЛИТЕЙНЫЙ СПЛАВ

BT14Л

Химический состав в % по ОСТ1 90030—71

Ti	Al	V	Mo	C	Fe	Si	Zr	W	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
				не более								
Основа	4,3—6,3	0,9—1,9	2,5—3,8	0,12	0,6	0,15	0,30	0,20	0,15	0,05	0,015	0,30

Примечание. Допускается содержание до 0,6% Cr.

Механические свойства по ОСТ

Вид полуфабриката	ОСТ	Состояние контрольных образцов	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²
			кгс/мм ²		%		
не менее							
Литье	ОСТ1 90060—72	Отожженные	80	90	5	12	2,5

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	E	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²
			кгс/мм ²				%		
Литье	Отожженное	20	11300	65	85	95	7	15	3,5
		300	9700	39	52	63	8	25	—
		400	9500	33	46	55	8	20	—

Секундная прочность

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °С	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{100''}$	$\sigma_{300''}$
			кгс/мм ²		
Литье	Отожженное	500	59	55	50
		600	44	40	32
		700	22	18	15

Физические свойства

Плотность $d=4500$ кг/м³.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °С	20—						
	100	200	300	400	500	600	700
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	7,82	8,14	8,41	8,68	8,73	8,79	8,84

Температура, °С	100—						
	200	300	400	500	600	700	800
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	8,25	8,91	9,57	10,82	11,45	12,94	13,72

Коэффициент теплопроводности

Температура, °С	100							
	200	300	400	500	600	700	800	
λ , вт/м-град	9,1	10,6	11,4	13,1	13,7	15,3	16,9	18,2

Удельная теплоемкость

Температура, °С	100							
	200	300	400	500	600	700	800	
c кдж/кг-град	0,501	0,542	0,581	0,623	0,667	0,710	0,833	0,993

Удельное электросопротивление при 20°С
 $\rho \cdot 10^6 = 161$ ом-см.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Технология литья

Метод выплавки	Метод литья деталей	Температура, °С		Условия охлаждения	Жидкотекучесть мм	Усадка, %	
		плавления	заливки			линейная	объемная
Вакуумная дуговая горнищная с расходуемым электродом	Центробежный	1650 (ликвидус)	1850—2000	В вакууме или в среде инертных газов	520*	1	3
		1590 (солидус)					

* Определена по длине спиральной пробы, залитой в графитовый кокиль треугольного сечения площадью 0,75 см².

Рекомендуемая термическая обработка

Вид термической обработки	Температура °С	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг	750—760	0,5—1	На воздухе

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	σ_b сварного соединения кгс/мм ²
BT14Л+BT14Л*	ААрДЭС	Без присадки	Отжиг при 750°С, 1 час	80

* Сплав может свариваться с деформируемым сплавом BT14.

Применение

Детали разового действия, работающие при температурах до 400°С.

ЛИТЕЙНЫЙ СПЛАВ					BT20Л						
Химический состав в %											
Ti	Al	Zr	Mo	V	C	Fe	Si	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
					не более						
Основа	8,5—7,5	1,5—2,5	0,5—2,0	0,8—1,8	0,15	0,30	0,15	0,15	0,05	0,015	0,30

Механические свойства по ТУ

Вид полуфабриката	ТУ	Состояние контрольных образцов	σ_x кгс/мм ²	δ_5		ψ %	σ_H кгс·м/см ²	НВ (d_{010}) ММ
				%				
не менее								
Литье	ВТУ 518-1-08	Без термической обработки	90	5	12	3	3,3—3,5	

Механические свойства при различных температурах

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	E	$\sigma_{0,2}$	σ_x	σ_H/σ_x	δ_5		ψ	σ_H кгс·м/см ²
							%			
кгс/мм ²										
%										
Литье	Без термической обработки	-196	—	—	150	1,2	5	6	—	2
		-70	—	—	110	1,4	5	13	—	—
		20	10800	65	95	1,45	8	20	—	4
		200	—	—	77	—	8	20	—	—
		300	—	—	67	—	10	30	—	—
		350	9300	32	49	63	—	10	34	—
		400	—	—	61	—	10	35	—	—
		450	—	—	59	—	12	35	—	—
500	8100	29	44	56	—	12	35	—		

Примечание. Для обеспечения стабильности геометрических размеров крупные отливки сложной конфигурации отжигаются при 650°C—1 час.

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полуфабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{100}	σ_{500}	σ_{1000}	σ_{10^7} на базе 10 ⁷ циклов
			кгс/мм ²			
Литье	Без термической обработки	20	—	—	—	20—22
		350	60	57	45	—
		500	43	33	16	—

Механические свойства при комнатной температуре после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_x кгс/мм ²	δ_5	ψ	σ_H кгс·м/см ²
	температура °C	время час				
Без термической обработки	Исходное состояние		98	8	17	5
	300	100	97	7	17	—
		500	97	8	19	—
		1000	97	10	20	5
		2000	97	7	17	5
		5000	97	4	19	5
	450	100	97	7	17	—
		500	97	8	19	—
		1000	98	7	18	4
		2000	99	6	17	4
		5000	98	5	17	—
	500	100	100	7	17	—
		500	99	7	16	—
		1000	100	6	14	3,5
		2000	99	5	12	3,5
5000		100	4	10	3,5	

Физические свойства

Плотность $d=4470 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	Температура, °C								
	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500	20—600	20—700	20—800	20—900
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	8,7	8,8	8,9	9,0	9,1	9,2	9,4	9,6	9,7

Температура, °C	Температура, °C							
	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800	800—900
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	9,0	9,0	9,2	9,6	9,7	11,1	10,7	10,8

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	Температура, °C								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\lambda \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$	8,37	9,63	10,4	12,1	13,8	15,1	16,3	18,0	19,3

Удельная теплоемкость

Температура, °C	Температура, °C								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$c \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$	0,586	0,628	0,668	0,712	0,754	0,795	0,858	0,921	0,981

Удельное электросопротивление при 20°C
 $\rho \cdot 10^6 = 168 \text{ ом} \cdot \text{см}$.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Технология литья

Метод выплавки	Метод литья деталей	Температура, °C		Условия охлаждения	Жидкотекучесть мм	Линейная усадка %
		плавления	заливки			
Вакуумная дуговая горносплавная с расходуемым электродом	Центробежный	1620 (ликвидус) 1560 (солидус)	1800—2000	В вакууме	480 *	1,05

* Определена по спиральной пробе, залитой в графитовый кокиль треугольного сечения площадью $0,75 \text{ см}^2$.

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °C	Механические свойства сварного соединения		
					σ_b кгс/мм ²	a_n кгс·м/см ²	σ_{100} кгс/мм ²
BT20Л + BT20Л	ААрДЭС	BT20-2	Вакуумный отжиг при 650°C, 1 час	20 350 500	80 60 52	3 — —	— 55 39

Применение

Литые детали, длительно работающие (500 час) при температурах 350—500°C.

ЛИТЕВНЫЙ СПЛАВ													BT21Л	
Химический состав в % по ОСТ1 90030—71														
Ti	Al	Mo	V	Zr	Cr	C	Fe	Si	O ₂	N ₂	H ₂	W	Сумма прочих примесей	
не более														
Ос- нова	5,8— 7,2	0,4— 1,0	0,8— 1,5	4,0— 6,0	0,2— 0,5	0,12	0,50	0,20	0,15	0,05	0,015	0,20	0,30	

Механические свойства по ОСТ

Вид полу- фабриката	ОСТ	Состояние контрольных образцов	$\sigma_{0,2}$	σ_a	δ_5	ψ	a кгс·м/см ²
			кгс/мм ²		%		
не менее							
Литье	ОСТ1 90060—72	Без терми- ческой обра- ботки	86	100	4	8	2

Механические свойства при комнатной и высоких температурах

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °C	E	E _L	$\sigma_{пл}$	$\sigma_{0,2}$	σ_a	δ_5	ψ	a_n кгс·м/см ²	НВ (d _{отп}) мм	N при $\sigma^*_{max} = 0,65 \sigma_a$ циклы
			кгс/мм ²						%			
Литье	Без тер- мической обработки	20	11200	12300	65	88	105	6	12	2	3,4— 3,5	13500
		300	—	—	—	—	70	10	19	—	—	—
		400	9300	10300	40	56	67	11	20	—	—	—
		500	8800	—	33	51	63	12	22	—	—	—

* Образцы с надрезом, $\sigma_a = 108$ кгс/мм².

Пределы длительной прочности, ползучести и выносливости

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °C	σ_{100}	σ_{500}	$\sigma_{0,2/100}$	$\sigma_{0,2/500}$	σ_{-1}	σ_{-1}^H
			кгс/мм ²					
Литье	Без тер- мической обработки	20	—	—	—	—	20	20
		400	57—63	52	42—45	40	18	—
		500	42—46	—	18	—	—	—

Секундная прочность

Вид полу- фабриката	Состояние	Температура испытания °C	$\sigma_{10''}$	$\sigma_{30''}$	$\sigma_{60''}$	$\sigma_{120''}$	$\sigma_{200''}$	$\sigma_{300''}$
			кгс/мм ²					
Литье	Без тер- мической обработки	600	58,5	58	57	56	55	55
		700	41	39	36	33	31	30
		800	25	22,5	19	17	15,5	14,5

Механические свойства при комнатной температуре
после длительных нагревов

Состояние материала	Режим нагрева		σ_a кгс/мм ²	δ_5 %	a_n кгс·м/см ²
	темпе- ратура °C	время час			
Без термической об- работки	Исходное со- стояние		105	6	3
	300	2000	106	4	2
	400	500	106	4	2

Физические свойства

Плотность $d=4470 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент термического линейного расширения

Температура, °C	20—	20—	20—	20—	20—	20—	20—	20—	20—
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	8,5	8,7	9,0	9,2	9,5	9,7	9,9	10,2	10,5

Температура, °C	100—	200—	300—	400—	500—	600—	700—	800—	900—
	200	300	400	500	600	700	800	900	
$\alpha \cdot 10^6 \text{ 1/град}$	9,0	9,5	10,0	10,5	10,6	11,7	12,2	12,4	

Коэффициент теплопроводности

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800
$\lambda \text{ вт/м-град}$	7,9	9,6	10,8	12,1	13,4	15,0	16,7	18,4

Удельная теплоемкость

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800
$c \text{ кдж/кг-град}$	0,515	0,570	0,625	0,675	0,730	0,780	0,845	0,900

Удельное электросопротивление при 20°C

 $\rho \cdot 10^9 = 170 \text{ ом} \cdot \text{см}$.

Коррозионная стойкость

Устойчив в атмосферных условиях и морской воде.

Технологические данные

Технология литья

Метод выплавки	Метод литья	Температура, °C		Условия охлаждения	Жидкотекучесть мм	Линейная усадка %
		плавления	заливки			
Вакуумная дуговая гарнизационная с расходуемым электродом	Центробежный	1630 (ликвидус) 1550 (солидус)	1850—2000	В вакууме или нейтральной среде	480 *	1

* Определена по спиральной пробе, залитой в графитовый кокиль треугольного сечения площадью 0,75 см².

Рекомендуемая термическая обработка для снятия напряжений

Вид термической обработки	Температура °C	Выдержка час	Условия охлаждения
Отжиг	650	1—2	На воздухе или в нейтральной среде

Свариваемость

Свариваемые материалы	Метод сварки	Толщина мм	Присадочный материал	Термическая обработка после сварки	Температура испытания °C	σ сварного соединения кгс/мм ²
BT21Л+BT21Л	ААрДЭС	10—15	BT2	Отжиг при 650°C, 1 час	20	80
			BT20-2	То же	400	47
					20	90—95

Применение

Литые сварные детали, работающие при температурах до 400°C — 100 час и до 500°C — 5 мин.