

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

ДЕФОРМИРУЕМЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ
СПЛАВЫ

Методическая разработка

Куйбышев 1990

Составитель доц. Г.З.Бунова

УДК 669.715.018.29

Деформируемые алюминиевые сплавы: Метод. разработка. /Куйбышев. авиац. ин-т; Сост. Г.З.Бунова. Куйбышев, 1990. 64 с.

Приведены данные по химическому составу, режимам термической обработки, свойствам и применению деформируемых алюминиевых сплавов, включенных в ГОСТы, ОСТы и другую нормативно-техническую документацию и справочники.

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я
механических и физических свойств металлов и сплавов

Наименование свойств	Обозначение	Единица измерения
Модуль нормальной упругости, определенный статическим методом		
при растяжении	E	кгс/мм ²
при сжатии	$E_{сж}$	кгс/мм ²
Модуль упругости при смятии	$E_{см}$	кгс/мм ²
Модуль упругости при сдвиге	G	кгс/мм ²
Модуль касательный	E_T	кгс/мм ²
Модуль секущий	E_S	кгс/мм ²
Коэффициент Пуассона	μ	
Гибкость	λ	
Предел пропорциональности		
при сжатии	$\sigma_{пц сж}$	кгс/мм ²
при растяжении	$\sigma_{пц}$	кгс/мм ²
при смятии	$\sigma_{пц см}$	кгс/мм ²
при кручении	$\tau_{пц}$	кгс/мм ²
Предел текучести условный (с допуском на остаточную деформацию 0,2%)		
при растяжении	$\sigma_{0,2}$	кгс/мм ²
при сжатии	$\sigma_{0,2 сж}$	кгс/мм ²
при смятии	$\sigma_{0,2 см}$	кгс/мм ²
Предел текучести условный при кручении (с допуском на остаточную деформацию сдвига 0,3%)	$\tau_{0,3}$	кгс/мм ²
Предел прочности		
при растяжении	σ_B	кгс/мм ²
при сжатии	$\sigma_{B. сж}$	кгс/мм ²
при смятии	$\sigma_{B. см}$	кгс/мм ²
при кручении	τ_B	кгс/мм ²
при изгибе	$\sigma_{B. изг}$	кгс/мм ²
Сопротивление срезу	$\tau_{ср}$	кгс/мм ²
Коэффициент концентрации напряжений теоретический	K_t	

Наименование свойств	Обозначение	Единица измерений
Предел прочности при растяжении образца с надрезом	σ_B^H	кгс/мм ²
Предел прочности при растяжении при температуре	σ_B^T	кгс/мм ²
Критическое напряжение при потере общей устойчивости	$\sigma_{кр}$	кгс/мм ²
Удлинение относительное после разрыва на длине:		
$l_0 = 5 d_0$	δ_5	%
$l_0 = 10 d_0$	δ_{10}	%
$l_0 = 5,65 \sqrt{F_0}$	$\delta_{5,65 \sqrt{F_0}}$	%
$l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$	$\delta_{11,3 \sqrt{F_0}}$	%
Сужение относительное после разрыва	ψ	%
Сужение равномерное	ψ_B	%
Ударная вязкость при изгибе образца размером 10x10x55 мм с полукруглым надрезом глубиной 2 мм и радиусом 1 мм	a_H	кгс·м/см ²
Работа разрушения (удельная) при ударном изгибе образца с трещиной	$a_{т.ч}$	кгс·м/см ²
Вязкость разрушения (или критический коэффициент интенсивности напряжений) при плоской деформации	K_{Ic}	кгс/мм ^{3/2}
Остаточная прочность пластины с центрально расположенной трещиной в сечении нетто, брутто	$\sigma_{нетто}^{тр}$	кгс/мм ²
	$\sigma_{брутто}^{тр}$	
Скорость роста трещины усталости	$d(2t)/dN$	мм/цикл или мкм/цикл
Коэффициент асимметрии цикла при испытании на усталость	R	
Предел выносливости		
гладкого образца	σ_R	кгс/мм ²
(при симметричном цикле: $R = -1$)	σ_{-1}	кгс/мм ²
образца с надрезом	σ_R^H	кгс/мм ²

Наименование свойств	Обозначение	Единица измерения
Напряжение цикла максимальное при испытании на усталость	σ_{max}	кгс/мм ²
Амплитуда напряжения при испытании на усталость	σ_a	кгс/мм ²
Число циклов до разрушения при испытании на усталость	N	цикл
Предел длительной прочности при высоких температурах (напряжение, вызывающее разрушение образца при заданном времени действия температуры и нагрузки: 100, 300ч и т.д.)	$\sigma_{100}, \sigma_{300}$	кгс/мм ²
Напряжение критическое при коррозии под напряжением	$\sigma_{кр}(к.п.н)$	кгс/мм ²
Твердость по Бринелю (шарик $d = 10$ мм, нагрузка P для мягких алюминиевых сплавов 500 кг, для прочных алюминиевых сплавов 1000 кг)	HB	кгс/мм ²
Твердость по Виккерсу	HV	кгс/мм ²
Твердость по Роквеллу при вдавливании алмазного конуса с углом при вершине 136 град под нагрузкой 150 кг	HRC	
Твердость по Роквеллу при вдавливании шарика $d = 1,588$ мм (1/16 дюйма) под нагрузкой 100 кг	HRB	
Плотность	d	кг/м ³
Степень черноты полного нормального излучения	σ_H	
Коэффициент теплопроводности	λ	Вт/м·град
Температурный коэффициент линейного расширения	α	1/град
Электросопротивление удельное	ρ	Ом·см

ДЕФОРМИРУЕМЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Алюминиевые деформируемые сплавы отличаются малой плотностью, хорошей коррозионной стойкостью, высокой электро- и теплопроводностью. Сплавы сравнительно легко поддаются горячей и холодной деформации, прокатке, ковке, волочению, гибке, листовой штамповке. Все алюминиевые сплавы можно сваривать точечной сваркой, а специальные свариваемые — сваркой плавлением и другими видами сварки.

Алюминиевые сплавы легко обрабатываются резанием, на них можно наносить защитные покрытия.

Все деформируемые сплавы разделяются на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой.

Для обозначения видов термической обработки деформируемых алюминиевых сплавов приняты следующие обозначения:

ГК — горячекатаный,

Пр — прессованный,

М — мягкий, отожженный,

Т — закаленный и естественно состаренный,

ТР (ТТР) — закаленный и состаренный (естественно и искусственно) с рекристаллизованной структурой,

ТТС — закаленный и искусственно состаренный, особо прочный (для листов),

ТПП (ТППП) — закаленный, состаренный (естественно и искусственно), повышенной прочности (для профилей и прутков с перекристаллизованной структурой),

Н — нагартованный,

П — полунангартованный,

ТН — закаленный, естественно состаренный и нагартованный,

ТНН — закаленный, нагартованный и искусственно состаренный,

Т2 — закаленный и искусственно состаренный по режиму, обеспечивающему наиболее высокие значения вязкости разрушения и лучшее сопротивление коррозии под напряжением,

ТЗ – закаленный и искусственно состаренный по режиму, обеспечивающему наиболее высокие сопротивление коррозии под напряжением и вязкость разрушения.

Буква П, входящая в марку сплава, обозначает, что разработанный сплав изготавливается только в виде проволоки (АМг5П). Буквы А, Б, У – характеризуют толщину плакированного слоя: А – нормальная толщина, У – утолщенная плакировка, Б – технологическая плакировка.

Механические свойства зависят от ориентации оси образца по отношению к оси наибольшей деформации полуфабриката. Направление вырезки образца обозначается следующим образом: Д – продольное, если эти оси совпадают; П – поперечное, если ось образца перпендикулярна оси деформации; В – высотное, Х – хордовое, Р – радиальное, если образец вырезан по высоте, хорде или радиусу заготовки соответственно.

Алюминиевые деформируемые сплавы для самолетных и вертолетных конструкций,
систем и агрегатов самолетов и вертолетов

Группа	Марка сплава	Основные узлы и детали силовых (стрингеров и вото напора)	Листовые конструкции, обшивка фюзеляжа, крыла	Магониаларуженные детали внутренних напорных элементов	Обшивка сотовых конструкций	Литые управленческие, нагруженные, детали из группы	Основные узлы шасси	Лопастные вертолеты, винты самолетов	Теплонагруженные элементы конструкций	Примечания
Высокопрочные	B93 л.ч.	T1, T2, T3	T1, T2				T2, T3, T3			
	B95 л.ч.				T2	Литые управленческие, нагруженные, детали из группы	T, T1, T1			
Конструктивные	B95 о.ч.	T	T	T	T, T1		T			
	Д16, Д164	T, T1	T, T1	T, T1	T, T1		T, T1			
	Д1604 (Д163)									
	Д19, Д194	T	T	T	T		T1, T1			
	АКЧ-1, АКЧ-1	T1	T1	T1			T1, T1		T1	
	АК6	T1 штампов. слож. формы								
	Д420		T1	T1					T1, T1	
	Д201		T1	T1						
	Д20									

Максимальная рабочая температура по режиму Т-80°С

Скопчанке

Група	Марка сплава	Основные узлы и детали силового напора и стрингера и т.п.	Листовые конструкции, обшивка дукти, обшивка фюзеляжа, крыла	Малонапряженные детали внутреннего напора	Обшивка самолетов	Литые упряжные детали из тру	Основные узлы шасси	Лопастные вертолетов, винты самолетов	Телонапряженные элементы конструкции	Примечания
Конструкционные	Д1		Т				Т			Макс. рабочая температура сплава 80°С
Коррозионно-стойкие	САП						Т ТТ			Макс. рабочая температура сплава 500°С
свариваемые	АДЗЗ АВ АМЦ АМГ2	Т, ТТ	Т, ТТ			ТТ				В состоянии "Н" фольга как заполнительной конструкции
	АМГ3 АМГ5		М	М	М					Макс. рабочая температура сплава 100°С
	АМГ6		М							При температуре 100°С ресурс работы сплава

Алюминиевые деформируемые сплавы для авиационных двигателей, их систем и агрегатов

Группа и назначение	Марка сплава	Состояние	Максимальная рабочая температура, °С	Примечание
Сплавы для лопаток вентиляторов, направляющих лопаток компрессора	ВД17	Т1	250	Жаропрочный сплав
Сплавы для силовых конструкций статора и корпусов компрессора и агрегатов	АК 4-1 АК 4-1 Д20	Т1	250 250-300	То же —
Коррозионно-стойкие свариваемые сплавы для деталей топливомасляных систем и агрегатов	АД АВ АМт2 АМт3 АМт5	М, Н Т, Т1 М М М	200 200 100	Макс. рабочая температура сплава 100°С. При этой температуре ресурс 100 ч
	АМт6	М	100	При рабочих темп. от -70 до +70°С ресурс 3000 ч. При рабочих температурах до 100°С ресурс 100 ч
Конструкционные сплавы	АМц Д АК6	М Т Т1	100-150 80 150	

Группа	Обозначение марки	Стандарт	Химический состав								Прочие примеси			
			Al	Cu	Mg	Mn	Zn	Fe	Si	Ni		Ti	Сумма в от-дельности	
Конструкционные	Д20	ОСТ 90048-77	осн. к.	6,2 7,0	0,05	0,45 0,8	0,2	0,3	0,3	0,1 0,2	0,05	0,1		
	Д1	ГОСТ 4784-74	осн. к.	3,8 4,8	0,4 0,8	0,4 0,8	0,3	0,7	0,7	0,1	0,05	0,1		
	ВЛ7	ОСТ 90048-77	осн. к.	2,6 3,2	0,2 2,4	0,45 0,7	0,1	0,3	0,3	0,1	0,05	0,1		
	СА7													
Коррозионно-стойкие	АД33	ГОСТ 4784-74	осн. к.	0,15 0,4	0,8 1,2	0,15	0,25	0,7	0,4	0,15 0,35	0,15	0,05	0,15	
	АВ	ГОСТ 4784-74	осн. к.	0,1 0,5	0,1 0,5	0,15 0,35	0,2	0,5	0,5	0,15 1,2	0,15	0,25	0,05	0,1
	АМ1	ГОСТ 4784-74	осн. к.	0,1	0,2	1,0 1,6	0,1	0,7	0,6	0,2	0,05	0,1		
	АМГ2	ГОСТ 4784-74	осн. к.	0,1 1,8	1,6 0,6	0,2	0,2	0,4	0,4	0,1	0,05	0,05	0,1	
	АМГ3	ГОСТ 4784-74	осн. к.	0,1	3,2 3,8	0,3 0,6	0,2	0,5	0,5	0,1	0,05	0,05	0,1	
	АМГ5	ГОСТ 4784-74	осн. к.	0,1	4,8 5,8	0,3 0,8	0,2	0,5	0,5	0,02 0,1	0,05	0,1		
АМГ6	ГОСТ 4784-74	осн. к.	0,1	5,8 6,8	0,5 0,8	0,2	0,4	0,4	0,02 0,10	0,05	0,1			

Механические свойства листов из деформируемых
алюминиевых сплавов (ГОСТ 21631-76)

Марка алюминия, алюминий-алюминиевого сплава и плакировка	Состояние материала листов	Обозначение сплава и состояние материала	Толщина листа, мм	Механические свойства при растяжении, не менее			
				σ_B , МПа (кгс/мм ²)	$\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	δ , % <i>при $\sigma = 110,5 \text{ МПа}$</i>	
А7, А6, А5, А0, АДО, АД1, АДО0, АД	Отожженные	А7М, А6М, А5М, АДОМ, АД1М, АДО0М, АДМ	От 0,3 до 0,5 Св. 0,5 \geq 0,9 \geq 0,9 \geq 10,5	60(6,0) 60(6,0) 60(6,0)	— — —	20,0 25,0 30,0	
		Полунагартованные	А7Н2; А6Н2, А5Н2, А0Н2, АД1Н2, АДО0Н2, АДН2	От 0,8 до 4,5	100(10,0)	—	6,0
		Нагартованные	А7Н, А6Н, А5Н, А0Н, АД0Н, АД1Н, АДО0Н, АДН	От 0,3 до 0,8 Св. 0,8 \geq 3,5 \geq 3,5 \geq 10,5	145(15,0) 145(15,0) 130(13,0)	— — —	3,0 4,0 5,0
	Без термической обработки	А7, А6, А5, А0, АДО, АД1, АДО0, АД	От 5,0 до 10,5	70(7,0)	—	15,0	
АМц, АМцС	Отожженные	АМцМ, АМцСМ	От 0,5 до 0,7 Св. 0,7 \geq 3,0 \geq 3,0 \geq 10,5	90(9,0) 90(9,0) 90(9,0)	— — —	18,0 22,0 20,0	
		Полунагартованные	АМцН2, АМцСН2	От 0,5 до 3,5 Св. 3,5 \geq 4,0	145(15,0) 145(15,0)	— —	5,0 6,0
	Нагартованные	АМцН, АМцСН	0,5 Св. 0,5 до 0,8 Св. 0,8 по 1,2 \geq 1,2 по 4,0	185(19,0) 185(19,0) 185(19,0) 185(19,0)	— — — —	1,0 2,0 3,0 4,0	
	Без термической обработки	АМц, АМцС	От 5,0 до 10,5	100(10,0)	—	10,0	
ММ	Нагартованные	ММН	От 1,0 до 4,5	Не испытываются			

Продолжение

Марка алюминия, алюминевого сплава и плакировка	Состояние материала листов	Обозначение сплава и состояние материала	Толщина листа, мм	Механические свойства при растяжении, не менее		
				σ_B , МПа (кгс/мм ²)	$\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	δ , % при $L=165\sqrt{R}$
Д12	Отожженные	Д12М	От 0,5 до 4,0	155(16,0)	—	14,0
	Полунагартованные	Д12Н2	От 0,5 до 4,0	220(22,5)	—	3,0
АМг2	Отожженные	АМг2М	От 0,5 до 1,0 Св. 1,0 до 10,5	165(17,0) 165(17,0)		16,0 18,0
	Полунагартованные	АМг2Н2	От 0,5 до 1,0 Св. 1,0 до 4,0	235-314 235-314	145(15,0) 146(13,0)	5,0 6,0
	Нагартованные	АМг2Н	От 0,5 до 1,0 Св. 1,0 \geq 4,0	265(27,0) 265(27,0)	215(22,0) 215(22,0)	3,0 4,0
	Без термической обработки	АМг2	От 5,0 до 10,5	175(18,0)		7,0
АМг3	Отожженные	АМг3М	От 0,5 до 0,6 Св. 0,6 \geq 4,5 \geq 4,5 \geq 10,5	195(20,0) 195(20,0) 185(19,0)	90(9,0) 100(10,0) 80(8,0)	15,0 15,0 15,0
	Полунагартованные	АМг3Н2	От 0,5 до 1,0 Св. 1,0 \geq 4,0	245(25,0) 245(25,0)	195(20,0) 195(20,0)	7,0 7,0
	Без термической обработки	АМг3	От 0,5 до 6,0 Св. 6,0 \geq 10,5	185(19,0) 185(19,0)	80(8,0) 80(8,0)	12,0 15,0
АМг5	Отожженные	АМг5М	От 0,5 до 0,6 Св. 0,5 \geq 4,5 Св. 4,5 до 10,5	275(28,0) 275(28,0) 275(28,0)	135(14,0) 145(15,0) 130(13,0)	15,0 15,0 15,0
	Без термической обработки	АМг5	От 5,0 до 6,0 Св. 6,0 \geq 10,5	275(28,0) 275(28,0)	130(13,0) 130(13,0)	12,0 15,0
АМг6Б, АМг6	Отожженные	АМг6М АМг6М	От 0,5 до 0,6 Св. 0,6 \geq 10,5	305(31,0) 315(32,0)	145(15,0) 155(16,0)	15,0 15,0
	Без термической обработки	АМг6Б АМг6	От 5,0 до 10,5	315(32,0)	155(16,0)	15,0
АМг6У	Отожженные	АМг6УМ	От 2,0 до 5,5	275(28,0)	130(13,0)	15,0

Марка алюминия и плакировка	Состояние материала листов	Обозначение сплава и состояние материала	Толщина листа, мм	Механические свойства при растяжении, не менее		
				σ_B , МПа (кгс/мм ²)	$\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	δ , % при $l_0 = 5,65 \sqrt{S}$
АВ	Отожженные	АВМ	От 0,5 до 5,0 Св. 5,0 \geq 10,5	145(15,0) 145(15,0)	— —	20,0 15,0
	Закаленные и естественно составленные	АВТ	От 0,5 до 0,6 Св. 0,6 \geq 3,0 \geq 3,0 \geq 5,0 \geq 5,0 \geq 10,5	195(20,0) 195(20,0) 195(20,0) 175(18,0)	— — — —	18,0 20,0 18,0 16,0
	Закаленные и искусственно составленные	АВТТ	От 0,5 до 5,0 Св. 5,0 \geq 10,5	295(30,0) 295(30,0)	— —	10,0 8,0
	Без термической обработки	АВ	От 5,0 до 10,5 От 5,0 до 10,5	175(18,0) 295(30,0)	— —	14,0 7,0
	Д1А	Отожженные	Д1АМ	От 0,5 до 1,0 Св. 1,9 \geq 10,5	145-225 (15,0-23,0) 145-235 (15,0-24,0)	— — — —
Закаленные и естественно составленные		Д1АТ	От 0,5 до 1,9 Св. 1,9 \geq 10,5	365(37,0) 375(38,0)	185(19,0) 195(20,0)	15,0 15,0
Без термической обработки		Д1А	От 5,0 до 10,5	355(36,0)	185(19,0)	12,0
Д1Б, Д1ББ	Отожженные	Д1БМ Д1БМ	От 5,0 до 10,5	145-235 (15,0-24,0)	— —	10,0
	Закаленные и естественно составленные	Д1БТ Д1БТ	От 0,5 до 1,5 Св. 1,5 \geq 6,0 \geq 6,0 \geq 10,5	440(45,0) 440(45,0) 440(45,0)	290(29,5) 290(29,5) 290(29,5)	13,0 11,0 10,0
Д1Б	Нагартованные после закалки и естеств. старения	Д1БТН Д1БТН	От 1,5 до 3,0 Св. 3,0 \geq 7,5	475(48,5) 475(48,5)	360(36,5) 360(36,5)	10,0 8,0

Марка алюминия и сплава и плакировка	Состояние материала листов	Обозначение сплава и состояние материала	Толщина листа, мм	Механические свойства при растяжении, не менее		
				$\sigma_B, \text{МПа}$ (кгс/мм ²)	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$ (кгс/мм ²)	$\delta, \%$ при $l_0 = 5l$
Д16А	Отожженные	Д16АМ	От 0,5 до 1,9 Св. 1,9 \geq 10,5	145-225 (15,0-23,0) 145-235 (15,0-24,0)		10,0 10,0
	Закаленные и естественно состаренные	Д16АТ	От 0,5 до 1,9 Св. 1,9 \geq 6,0 \geq 6,0 \geq 10,5	405(42,5) 425(43,5) 425(43,5)	270(27,5) 275(28,0) 275(28,0)	13,0 11,0 10,0
	Без термической обработки	Д16А	От 5,0 до 10,5	415(42,0)	255(26,0)	10,0
	Нагартованные после закалки и естественного старения	Д16АТН	От 1,5 до 1,9 Св. 1,9 \geq 7,5	425(43,5) 455(46,5)	335(34,0) 345(35,0)	10,0 8,0
Д16У	Отожженные	Д16УМ	От 0,5 до 1,9 Св. 1,9 \geq 4,0	130-225 (13-23) 130-235 (13,0-24,0)		10,0 10,0
	Закаленные и естественно состаренные	Д16УТ	От 0,5 до 1,9 Св. 1,9 \geq 4,0	365(37,0) 405(41,5)	230(23,5) 270(27,5)	13,0 13,0
В95А	Отожженные	В95АМ	От 0,5 до 10,5	Не более 245(25,0)		10,0*
	Закаленные и искусственно состаренные	В95АТ1	От 0,5 до 1,9 Св. 1,9 \geq 6,0 6,0 \geq 10,5	480(49,0) 490(50,0) 490(50,0)	400(41,0) 410(42,0) 410(42,0)	7,0 7,0 6,0
	Без термической обработки	В95А	От 5,0 до 10,5	490(50,0)	410(42,0)	6,0
	Отожженные	В95-2АМ В95-2ЕМ В95-1АМ АКМЕМ АКМАМ АКММ	От 1,0 до 10,5	Не более 245(25,0)		10,0

Марка алюминия алюминиевого сплава и плаки- ровка	Состояние материала листов	Обозначе- ние спла- ва и сос- тояние материала	Толщина листа, мм	Механические свойства при растяжении, не менее		
				$\sigma_B, \text{МПа}$ (кгс/мм ²)	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$ (кгс/мм ²)	$\delta, \%$ при L=11,5л
B95-2A B95-2B B95-1A B95-1 AKMB AKMA AKM	Нагарто- ванные	AKMAN	От 0,8 до 4,0	Не испытываются		
	Закален- ные и ес- тественно состарен- ные	B95-2AT B95-1AT AKMAT	От 1,0 до 10,5	315(32,0)		10,0
	Без тер- мической обработки	B95-2A B95-1A B95-1 AKMA	От 5,0 до 10,5	315(32,0)	Не испытываются	
	Отожжен- ные	I915M	От 1,0 до 4,5	Не более 245(25,0)		10
I915	Закален- ные и ес- тественно состарен- ные	I915T	От 1,0 до 10,5	315(32,0) 275(28,0)	I95(20,0) I65(17,0)	I0 I0
	Без тер- мической обработки	I915	От 0,5 до 10,5 От 0,5 до 10,5	315(32,0) 265(27,0)	I95(20,0) I65(17,0)	I0 I0
	Отожжен- ные	ВД1AM ВД1M ВД1BM	От 0,8 до 10,5	Не более 245(25,0)		10
ВД1A ВД1B ВД1	Закален- ные и ес- тественно состаренные	ВД1AT ВД1T ВД1BT	От 0,8 до 10,5	335(34,0)		12,0
	Нагарто- ванные	ВД1H ВД1AH ВД1BH	От 0,8 до 4,0	Не испытываются		
	Без тер- мической обработки	ВД1 ВД1A ВД1B	От 5,0 до 10,5	335(34,0)		12,0

КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЙ, СВАРИВАЕМЫЙ СПЛАВ АМЦ

Механические свойства при растяжении при комнатной температуре см. на с. 13.

Механические свойства при кручении и срезе

Полуфабрикат	Пруток	
Диаметр, мм		30
Состояние	д	Без термообработки
Направление вырезки образца		Д
$\sigma_{пл}$, кгс/мм ²		4,5
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²		7,5
σ_{σ} , кгс/мм ²		15,5
$\sigma_{ср}$, кгс/мм ²	8	10
$\tau_{ср}/\sigma_{\sigma}$	0,62	0,59

Упругие свойства

Полуфабрикат	Пруток, плита, профиль
Толщина, мм	Все размеры
Состояние	Без термообработки
Направление вырезки образца	Д
E , кгс/мм ²	7000
G , кгс/мм ²	2650
μ	0,32

Механические свойства при низких температурах при растяжении

Полуфабрикат	Плита			
Толщина, мм	25			
Состояние	Без термообработки			
Направление вырезки образца	Д			
Температура испытания, °С	20	-196	-253	-269
σ_B , кгс/мм ²	15	30	44,5	45
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	12	15,5	17	17,5
δ_5 , %	24	34	33	27,5

Механические свойства при высоких температурах при растяжении

Полуфабрикат	Лист неплакированный						
Толщина, мм	3						
Состояние	М						
Направление вырезки образца	П						
Температура испытания, °С	20	100	150	175	200	250	300
σ_B , кгс/мм ²	11	9,5	8,5	7,5	7	5,5	4,5
δ_{10} , %	30	35	39	41	41	43	45

Коррозионные свойства. Сплав и его соединения обладают высокой коррозионной стойкостью.

Физические свойства. Плотность $d = 2730$ кг/м³.

Электрические свойства

Полуфабрикат	Лист		
Состояние	Н	П	М
$\rho \cdot 10^8$ Ом·см	4,32	4,20	3,45

Теплофизические свойства

Полуфабрикат	Лист							
Состояние	Н	П	М					
Температура испытания, °С	20	20	20	200	400	-50+20	20-300	200-300
λ , Вт/м·град	155	163	180	180	189			
c , кДж/кг·град				1,17	1,30			
$\alpha \cdot 10^6$ 1/град						21,6	25,0	26,4

Технологические данные. Сплав термической обработкой не упрочняется. Высокотемпературный отжиг для снятия наклепа проводится при температуре 300–500°С. Охлаждение на воздухе.

Низкотемпературный отжиг для частичного снятия наклепа проводится при температуре 200–290°С.

Сплав деформируется в горячем и холодном состоянии. Температурный интервал деформации 470–320°С. Охлаждение после деформации на воздухе. Температураковки и штамповки 420–475°С.

Хорошо сплав сваривается аргоно-дуговой, газовой и контактной сваркой.

Обработываемость резанием неудовлетворительная.

П р и м е н е н и е. Для малонагруженных деталей (бензо- и маслопроводов, баков и т.д.), изготавливаемых глубокой вытяжкой; для заклепочной проволоки.

СПЛАВ АМг6

Механические свойства при растяжении и сжатии

Полуфабрикат	Лист лакированный			Профиль			Плита	Поковка
Толщина, мм	2			6			30	
Масса, кг								До 25000
Состояние	М	П(20%)	Н(30%)	Пр	М	ПрМ	Н(16%)	М
Направление вырезки образца	П					Д	П	Д
σ_B , кгс/мм ²	34	40	42	35,5	34,5	35,0	40	30
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	17	30	32	19	17	18	31	15
$\sigma_{0,01}$, кгс/мм ²	13	23			10	10	24	

Полуфабрикат	Лист лакированный			Профиль			Плита	Поковка
	$\delta_{10}, \%$							
$\sigma_{42 \text{ сж}}, \text{ кгс/мм}^2$	20	9	10	19,5	20,5	18	7	14
$\sigma_{14 \text{ сж}}, \text{ кгс/мм}^2$	18	32	33	19	17	18	32	
	13	25			10	10	25	

Чувствительность к концентрации напряжений при растяжении

Полуфабрикат	Плита				Лист лакированный (Б); нелакированный				Профиль			Поковка		
	30				10		2		Всех размеров					
Толщина, мм	Н (16%)				М	Н (20%)	М	Н (30%)	М					
Состояние														
Направление вырезки образца	Д		П						Д		П		П	
Форма образца	Круглый с кольцевой выточкой						Плоский с боковыми надрезами			Круглый с кольцевой выточкой				
	4	2,2	4,0	2,2	4				4					
K_{σ}	53,5	55	51	54	38	48	26,5	38	35	39	35	35	35	
$\sigma_{\sigma}^H / \sigma_{\sigma}$	1,35	1,4	1,27	1,35	1,15	1,17	0,75	0,88	1	1,3	1,16	1,16	1,16	

Чувствительность сварных соединений к концентрации напряжений при растяжении

Полуфабрикат	Лист лакированный (Б); нелакированный		Профиль прессован- ный
Толщина, мм	10		20
Состояние	М	Н	М
Место нанесения трещины	По зоне сплавления		
Форма образца	Круглый с кольцевой выточкой		
<i>K_т</i>	4		
<i>σ_{в,σв}</i> , кгс/мм ²	30	32	30
<i>σ_{в,σв}^н</i> , кгс/мм ²	32	31	32
<i>σ_{в,σв}^н / σ_в</i>	1	0,78	0,92

Ударная вязкость и работа разрушения образца с трещиной при ударном изгибе

Полуфабрикат	Плита	Лист лакированный (Б); нелакированный			Профиль		
Толщина, мм	30	2	10		До 125		
Состояние	Н(16%)	М	Н(30%)	М	Н(20%)		
Направление вырезки образца	Д	П					
<i>а_н</i> , $\frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{мм}^2}$	2	1,3	—	—	3,0	1,7	2
<i>а_{т,у}</i> , $\frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{мм}^2}$	0,97	0,62	2	1,5	1,6	0,7	1,7

Пределы выносливости ($N = 2 \cdot 10^7$ циклов)

Полуфабрикат	Лист		Поковка			
Толщина, мм	2		Массивная			
Состояние	М					
Направление вырезки образца	Д			В		
Вид испытания	Растяжение	Изгиб в одной плоскости	Консольный изгиб с вращением			
ν , Гц	25		50			
R	0,1	-1				
Форма образца	Плоский гладкий		Круглый гладкий и с кольцевой выточкой			
K_f	I	I	I	2,2	I	2,2
σ_R , кгс/мм ²	10	9	12	7	10	7*

* На базе $3 \cdot 10^6$ циклов

Упругие свойства

Полуфабрикат	Толщина, мм	Состояние	$E_{сж}$, кгс/мм ²	G , кгс/мм ²	μ	E , кгс/мм ² при температуре испытания, °C			
						20	100	200	250
Все виды	Все размеры	М.Н	7250	2700	0,32	7100	6500	5700	5500

Механические свойства при высоких температурах

Полуфабрикат	Лист плакированный (Б); неплакированный							Профиль прессованный			
	Толщина, мм	2							Всех разме- ров		
Состояние	М			Н				М, Пр			
Направление вырезки образца	П							Д			
Температура испытания, °С	20	100	200	300	20	100	200	20	100	200	250
σ_B , кгс/мм ²	35	32	19,5	13	38,5	33,5	25	35	31	20	17
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	16,5	16	13,5	6	29	28,5	18,5	18	16	14	12
$\sigma_{0,01}$, кгс/мм ²	14	11	8,5		18	12,5					
δ_{10} , %	22	34	45	55	11	15	25	18	20	30	35

Коррозионные свойства. Сплав обладает повышенной коррозионной стойкостью. От коррозии в зависимости от назначения деталей предохраняют анодно-окисные, химические и лакокрасочные покрытия.

Плотность плава $d = 2640 \text{ кг/м}^3$, $\rho \cdot 10^6 = 6,73 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

Технологические данные. Сплав термической обработкой не упрочняется. Отжиг проводится на воздухе при температуре $0,310 \dots 335^\circ\text{C}$. Сплав деформируется в холодном и горячем ($430 \dots 350^\circ\text{C}$) состояниях. Сплав хорошо сваривается аргоно-дуговой сваркой с присадкой сплава АМГ6 и удовлетворительно — точечной. Обрабатываемость резанием — хорошая в нагартованном состоянии и удовлетворительная в отожженном.

Применение. Сплав применяется для сварных и несварных конструкций, от которых требуется повышенная коррозионная стойкость. Изделия из сплава могут работать длительно в интервале температур от -196 до $+70^\circ\text{C}$ и кратковременно от -196 до $+300^\circ$.

КОНСТРУКЦИОННЫЙ СПЛАВ Д16

Сплав Д16 в естественно состаренном состоянии (Т) обладает хорошим сочетанием характеристик выносливости, вязкости разрушения, сопротивления росту усталостной трещины. В состоянии Т1 эти показатели значительно (в 1,5-2 раза) снижаются.

Сплав Д16ч по показателям прочности, пластичности и выносливости близок сплаву Д16, имеет более высокую (на 10...25%) вязкость разрушения.

Механические свойства при растяжении при комнатной температуре

Полуфабрикат	Лист плакированный							
Толщина, мм	От 0,3 по 0,4	Св. 1,9 по 4,0	Св. 0,4 по 1,9	Св. 6 по 10,5	От 0,5 по 0,7	Св. 1,9 по 6	От 1,5 по 1,9	Св. 1,9 по 6
Состояние	М		Т		Т1 ^х		Т1 ^{хх}	
Направление вырезки образца	П							
σ_{δ}^{xxx} , кгс/мм ²	≤ 25	15-24	41,5 (40)	43,5 (42)	40 (38)	45,5 (43,5)	46	49
$\sigma_{0,2}^{xxx}$, кгс/мм ²			27,5 (26)	28 (27)	35 (31)	39 (34,5)	43	46
δ_{10}^{xxx} , %	10	10	13 (15)	10 (12)	5(6)	5(6)	3	4

^х - искусственное старение из состояния Т.

^{хх} - искусственное старение из состояния Т1.

^{ххх} - в скобках указаны свойства для листов, подвергшихся закалке и старению из отожженного состояния или перезакалке и старению на заводе потребителя.

Механические свойства при растяжении при комнатной температуре

Полифабрикат	Листа длакированная (А и Б); неплакированная				Профиль прессованный с законцовкой				Друток прессованный				Труба прессованная			
	Ст. 11 Дл 25	Ст. 40 Дл 40	Ст. 50 Дл 50	Ст. 60 Дл 60	Ст. 11 Дл 23	Профиль- Вочная	Профиль- Вочная	Законцо- Вочная	Ст. 55 Дл 150	Ст. 150 Дл 150	Ст. 250 Дл 250	Ст. 300 Дл 300	Стенка Дл 120	Стенка от 5 до 40	Д	Т
Толщина, мм	Т				ТТ	Все размеры				ТШП				Т		
	44	43	43	42	46	Профиль- Вочная	Профиль- Вочная	Законцо- Вочная	Ст. 55 Дл 150	Ст. 150 Дл 150	Ст. 250 Дл 250	Ст. 300 Дл 300	Стенка Дл 120	Стенка от 5 до 40	Д	Т
Состояние	П				ТТ	Д				Д				Д		
	44	43	43	42	46	42	42	45	44	48	47	46	37	40	Д	Т
Направление вырезки образцов	П				ТТ	Д				Д				Д		
	44	43	43	42	46	42	42	45	44	48	47	46	37	40	Д	Т
σ _в , кгс/мм ²	30	29	29	29	41	32	29	33	30	35	34	33		26	28	
	8	7	6	4	5	8	8	8	8	10	10	10	12	12	10	10
δ ₅ , %																

Чувствительность к концентрации напряжений при растяжении

Полуфабрикат	Профиль прессованный							
Толщина, мм	3				5			
Состояние	ТПП		ТР		ТПП		ТР	
Направление вырезки образцов	Д							
Форма образца	Плоский (гладкий с отверстием)							
K_{\pm}	I	2,6	I	2,6	I	2,6	I	2,6
$\sigma_{\sigma}, \text{кгс/мм}^2$	52		44,5		54,5		44,5	
$\sigma_{\sigma}^H, \text{кгс/мм}^2$		45,6		41		43,5		42
$\sigma_{\sigma}^H / \sigma_{\sigma}$		0,87		0,92		0,8		0,89

Ударная вязкость и работа разрушения образцов с трещиной при ударном изгибе

Сплав	Д16ПП				Д16			
Полуфабрикат	Полоса прессованная							
Толщина, мм	I2							
Состояние	I		II		I		II	
Направление вырезки образца	Д	П	Д	П	Д	П	Д	П
$a_{\sigma}, \text{кгс}\cdot\text{м/см}^2$	2,0	1,8	0,8	0,6	1,6	1,4	0,7	0,6
$a_{\sigma, \sigma}, \text{кгс}\cdot\text{м/см}^2$	1,4	0,7	0,4		1,0	0,7	0,4	0,2

Вязкость разрушения при плоской деформации
(внецентренное растяжение компактного образца)

Сплав	Д16				Д16ч			
	Плита катаная				Профиль прессованный			
Полуфабрикат	40				50	66-86		
Толщина, мм	Т				Т1	Т		
Состояние	ДП	ПД	ДП	ПД	ДП	ВД	ПД	ВД
Ориентация образца и трещины	35	35	35	35	35	20	50	25
Толщина образца, мм	35	33	45	44	45,5-48,5	33,7	32,5-36,0	33,5
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	100-107	90-95	80-90	67-80	98-100	56-59	105-130	75-84
K_{Ic} , кгс/мм ^{3/2}	26-28	18-21	17-18		24,5-26,0	18,5-19,5	23-28,5	25-28
σ_{TP} <i>нетто</i> , кгс/мм ²								

Число циклов до появления усталостной трещины у отверстия
($\sigma_{нетто}$ = 13 кгс/мм², γ = 40 Гц, R = 0)

Сплав	Д16		Д16ч				
	Лист		Панель прес-сованная	Плита штампованно-катаная			
Полуфабрикат	неплаки- рованный	с тонкой плаки- ровкой					
Толщина, мм	9		7,5 (подот- но)	40			
Состояние	Т			Т1			
Направление вырезки образца	Д			П	Д	П	
σ_B , кгс/мм ²	45	46	52	45	45	48	48
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	32	35	40	32	32	45	45
N_0 , цикл	130-403	113-460	256-719	150-322	140-228	130-205	78-104

Пределы выносливости

Сплав	Д16, Д16ч				Д16ч			
	Лист плакированный (А)				Профиль прессованный	Плита штампованно-катаная		
Толщина, мм	1,5...6,0				До 80		40...85	
Состояние	Т		Т1		Т		Т, Т1	
Форма образца	Плоский (гладкий с отверстием)				Круглый (гладкий и с кольцевой выточкой)			
Направление вырезки образца	Д							
Вид испытания	Растяжение ($\nu = 25$ Гц)				Консольный изгиб с вращением ($\nu = 50$ Гц)			
K_{\pm}	I	2,6	I	2,6	I	2,2	I	2,2
R	0,1				-1			
σ_R , кгс/мм ²	10-11	8	9-10	7-8	14-15	8-9	12	9-10 ^x

x - для Т1 - 8 кгс/мм².

Упругие свойства

Сплав	Д16, Д16ч				
	Лист				Профиль прессованный
Полуфабрикат	плакированный (А)			неплакированный	
Толщина, мм	До 2	Св. 2 до 6	Св. 6 до 10,5	10,5	Все размеры
Состояние	Т, Т1				Т, Т1
Направление вырезки образца	П				Д
E, кгс/мм ²	6850	6950	7000	7200	7200
E _{св.св.} , кгс/мм ²	7000	7100	7200	7350	7350
σ_s , кгс/мм ²				2700	2700
μ				0,33	0,33

Механические свойства при низких температурах

Сплав	Д16, Д16Ч									
Полуфабрикат	Лист лакированный (А)									
Толщина, мм	До 2									
Состояние	Т			ТI			ТII			
Направление вырезки образца	П									
Температура испытания, °С	20	-70	-196	-253	20	-70	-196	20	-70	-196
σ_{δ} , кгс/мм ²	44	47	59	70	46	50	57	46	51	62
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	35	37	47	52	42	46	52	36	37	49
δ_5 , %	17	19	24	16	6	6	8	13	16	20

Механические свойства при высоких температурах
при растяжении, сжатии, смятии

Полуфабрикат	Лист лакированный (А)									
Толщина, мм	2...6									
Состояние	Т ^X					ТII				
Направление вырезки образца	П									
Температура испытания, °С	20	100	125	150	200	20	100	125	150	200
σ_{δ}^{XX} , кгс/мм ²	43,5	41	40	38	33	46,5	44	44	41	36
$\sigma_{0,2}^{XX}$, кгс/мм ²	26	27	26,5	26	25	35	32	30,5	30,5	27
δ_{10}^{XX} , %	19	18	18	18	12	13	13	13	13	9
$\sigma_{0,2 \text{ сою}}$, кгс/мм ²	32	31		30	28	37	35		33	30
$\sigma_{0,2 \text{ сою}}^{XXX}$, кгс/мм ²	35	34,5		33,5	33	41,5	41,5		40,5	39

X - Закаленный и естественно состаренный после прокатки или отжита, а также перезакаленный и состаренный.

XX - Минимальные значения прочности.

XXX - Определялись при испытании образцов с отверстием
($B/d = 4$; $l/x = 2,5$) минимальные значения.

Влияние длительных нагревов на механические свойства листов при растяжении

Полуфабрикат	Лист лакированный (А)									
	2...6									
	Т					ТН				
	П									
	125		150		200		125	150	200	
Толщина, мм	100	1000	100	1000	100	1000	100	100	100	500
Состояние										
Направление вырезки образцов										
Температура нагрева и испытания										
Продолжительность нагрева, час										
σ_p , кгс/мм ²	41	40	38	36	27	21	43	42	38	23
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	29	29	27	31	24	18	33	36	23,5	20
$\delta_{11,3VF_0}$, %	19	21	19	11	11		13	13	12	12

Пределы ползучести и длительной прочности

Полуфабрикат	Лист лакированный (А)						Профиль прессованный	
	1,5...3,0						5...10	
	Т						ТН	
Толщина, мм							Д	
Состояние	П							
Направление вырезки образца								
Температура испытания, °С	100	125	150	175	200	175	200	
кгс/мм ²						23	17	
кгс/мм ²	28	24	18	13,5	8	15	9,5	
кгс/мм ²			12	7	4,5	9	6	
кгс/мм ²	40		35	28	24	33	28,5	
кгс/мм ²	39	34	30	23	18	27,5	22,5	
кгс/мм ²	38	30	24	17,5	12	22	16	

Другие свойства

Полуфабрикат	Лист плакированный (А)									
Толщина, мм	2...6									
Состояние	Т					ТI, ТII				
Направление вырезки образца	II									
Температура испытания, °С	100	125	150	175	200	100	125	150	175	200
E , кгс/мм ²	6700	6600	6500	6250	5900	6800	6600	6500	6250	6000
$E_{с.ом}$, кгс/мм ²	6800		6600		6000	6800	6700	6600		6100

Коррозионные свойства. Неплакированные полуфабрикаты из сплавов Д16Т, Д164-Т обладают пониженной коррозионной стойкостью. Сопротивление коррозионному растрескиванию, межкристаллитной и расслаивающей коррозии зависит от скорости охлаждения при закалке, вида и толщины полуфабриката. В искусственно состаренном состоянии сплав имеет повышенное сопротивление коррозионному растрескиванию и расслаивающей коррозии. Защита от коррозии в зависимости от назначения детали осуществляется анодно-окисными, химическими и лакокрасочными покрытиями.

Физические свойства. Плотность $d = 2780 \text{ кг/м}^3$.

Электрические свойства

Полуфабрикат	Все полуфабрикаты		
	Т	ТI	М
$\rho \cdot 10^6$, Ом·см	5,7	4,76	3,4

Теплофизические свойства

Полуфабрикат	Все полуфабрикаты							
	Т							
Состояние								
Температура испытания, °С	25	100	200	300	400	-50+20	20-100	200-300
λ , Вт/м·град	177	130	147	163				
c , кДж/кг·град		0,922	1,05	1,13	1,17 ^X			
$\epsilon_{и}^{*}$		0,04	0,045	0,05	0,055			
$\alpha \cdot 10^6$, 1/град						21,4	22,9	26,5

Технологические данные. Режим полного отжига: температура 380...420°С, выдержка 10...60 мин (для полуфабрикатов всех толщин), скорость охлаждения не более 30 град/ч до температуры 260°С, далее на воздухе.

Режим сокращенного отжига: температура 350...370°С, охлаждение на воздухе или в воде.

Режимы закалки и старения

Полуфабрикат	Лист			Профиль прессованный, плита				Штамповка
	Всех толщин			До 30		Св. 30		
Состояние	Т	ТI	ТН	Т	ТI	Т	ТI	ТI
Температура закалки, °С	495...502			485...500		485...498		
Температура старения, °С	Комнатная	185-195		Комнатная	185-195	Комнатная	185-195	185-195
Продолжительность, час	Св.96	II-13	7-9	Св.96	II-13*	Св.96	II-13*	13-15

* - Выдержка для направленных прессованных профилей 15-17 ч.

Горячая обработка давлением. Сплав подвергается деформации в горячем состоянии. Температурный интервал деформации 300...470° С, охлаждение на воздухе.

Режимы горячей деформации поковок и штамповок

Температурный интервал деформации, °С	Допустимая степень деформации, %		Оборудование
	Литой заготовки	Прессованной заготовки	
470...350	60	60	Пресс гидравлический
430...350	-	50	Молот или пресс механический

Технологическая пластичность сплава в отожженном и свежезакаленном состояниях удовлетворительная. При применении искусственного старения основные технологические операции проводятся до него.

Удовлетворительная технологическая пластичность после закалки сохраняется в течение некоторого времени, продолжительность которого зависит от температуры:

при 20°С	1,5 ч
0°С	24 ч
-5°С	3 сут.
-10...-18	5 сут.

Параметры штампуемости листов в отожженном состоянии

Вытяжка, <i>K_{вн}</i>	Выдавка, <i>K_{вд}</i>	Отбортовка, <i>K_{отб}</i>	Гибка, <i>r_{гн}</i>
1,8...1,9	12...15	1,3...1,55	(0,8...1,0) <i>s</i> *

**s* - толщина листа, мм.

Сплав хорошо сваривается точечной и роликовой сваркой, не сваривается газовой и аргоно-дуговой.

Обработываемость резанием сплавов Д16-Т, Д16-ТН, Д16-Т1 и Д16-Т1Н удовлетворительная, Д16-М - пониженная.

П р и м е н е н и е. Сплав используется для основных силовых элементов планера (панели крыла, лонжероны, балки, стыковые гребенки, обшивка гермокабины, основные штангоуты, детали оперения), особенно в самолетах с длительным ресурсом и в местах, не доступных или труднодоступных осмотру. В состоянии Т сплав применяется при рабочих температурах до 80°С. При более высоких температурах применяется сплав Д16ч в состоянии Т1.

КОНСТРУКЦИОННЫЙ СПЛАВ ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ О1420

Сплав О1420 по прочности близок к сплаву Д16, обладает повышенным модулем упругости при низкой плотности по сравнению с другими алюминиевыми сплавами. Сплав О1420 более чувствителен к концентраторам напряжений, чем сплавы Д16 и В95.

Механические свойства при растяжении
при комнатной температуре

Полуфабрикат	Лист неплакированный		Профиль прессованный		Штамповка		Панель штампованная
Толщина, мм	1,2...6,0		До 10 Св.10		До 80		18
Масса, кг					До 80		
Состояние ^х	ТТ1			Т1		ТТ1	
Направление вырезки образца	П	Д		Д, П		Д	
σ_B , кгс/мм ²	42	42	42	42	42	40	42
$\sigma_{0.2}$, кгс/мм ²	26	26	28	28	26	25	27
δ_{10} , %	8	6хх	7	7хх	7	7	5

^х - ТТ1 - термическая обработка с закалкой на воздухе,
Т1 - с закалкой в воде.

72-08

Механические свойства сварных соединений при растяжении

Полуфабрикат	Лист неплакированный		Штамповка
Толщина, мм	2...3		До 80
Масса, кг			
Состояние	ТГП (до сварки)		
Направление вырезки образца	II		Д
Вид сварки	ААрЭС с вольфрамовым электродом		Электронно-лучевая
Форма шва	Без снятия усилия	Со снятием усилия	-
$\sigma_{ср}$, кгс/мм ²	32...36	26...30	(31-33)*

* Сварка пластин толщиной 15...40 мм.

Механические свойства при кручении и срезе

Полуфабрикат	Панель вафельная		Полоса прессованная
Толщина, мм	20		
Состояние	ТГП		
Направление вырезки образца	Д		
$\tau_{пч}$, кгс/мм ²	13		13
$\tau_{о,з}$, кгс/мм ²	18		18
$\tau_{ср}$, кгс/мм ²	37		37
$\tau_{ар}$, кгс/мм ²	27		-

Чувствительность к концентрации напряжений при растяжении

Полуфабрикат	Лист неплакированный				Пруток ^X
Толщина, мм	1...6				20
Состояние	ТГП				ТГП
Направление вырезки образца	Д	II	Д	П	Д
Форма образца	Плоский (гладкий, с отверстием)				Круглый с кольцевой выточкой
K_f	I		2,6		2,2

Полуфабрикат	Лист неплакированный				Пруток [*]
σ_B , кгс/мм ²	42-45	42,5-46,0	—	—	—
σ_B^* , кгс/мм ²	—	—	33-36	36-38	53
σ_B^*/σ_B	—	—	0,8	0,82-0,85	I, I

* Порошковый вариант сплава

Ударная вязкость и работа разрушения образца с трещиной

Полуфабрикат	Лист неплакированный		Профиль прессованный	Панель вафельная	
Толщина, мм	2		До 9	18	
Состояние	ТТТ				
Направление вырезки образца	Д	П	Д		П
a_{II} , кгс·м/см ²	—	—	—	I, 2-I, 4	0,8
$a_{I,II}$, кгс·м/см ²	0,4-0,6	0,35-0,45	0,1-0,25	—	—

Сопротивление образованию усталостной трещины ($R = 0$, $\nu = 40$ Гц)

Полуфабрикат	Лист неплакированный
Толщина, мм	2
Состояние	ТТТ
Направление вырезки образца	П
Форма образца	Плоский с отверстием
K_B	3
σ_{max} , кгс/мм ²	13
σ_B , кгс/мм ²	44
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	29
Ноцикл	152-240
Ноцикла	194

Скорость роста трещины усталости ($\sigma_{max} = 8 \text{ кгс/мм}^2$;
 $\nu = 3 \text{ Гц}$; $R < 0,1$)

Полуфабрикат	Лист неплакированный		
Толщина, мм	1...3		
Состояние	ТГТ		
Ориентация образца и трещины	ДП		
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	30		
ΔK , кгс/мм ^{3/2}	40	50	60
$d(2\ell)$, мм/цикл	0,7...1,0	0,9...1,2	1,3...1,8

Пределы выносливости ($N = 2 \cdot 10^7$ циклов)

Полуфабрикат	Штамповка		Поковка				Лист неплакированный	
Толщина, мм			75				1,2...2,0	
Масса, кг	До 50		—				—	
Состояние	ТГТ							
Направление вырезки образца	Г				П		Д	
Форма образца	Круглый (гладкий с кольцевой выточкой)						Плоский	
R	-1						0,1	
ν , Гц	50						25...40	
K_t	I	2,2	I	2,2	I	2,2	I	2,6
σ_R , кгс/мм ²	15	8	14	8	13	6	16	10

Упругие свойства

Полуфабрикат	Лист неплакированный	Профиль прессованный	Панель вафельная	Полоса прессованная
Толщина, мм	1...3	До 9	18	50
Состояние	ТГТ			
Направление вырезки образца	П		Д	
E , кгс/мм ²	7500	7700	7700	7700
E_{core} , кгс/мм ²	7600	7800	7800	7800
σ , кгс/мм ²	—	—	2850	2900
μ	—	—	0,31	0,32

Механические свойства при низких температурах при растяжении

Полуфабрикат	Лист неплакированный							
	I,5							
	ТТТ							
	Д				П			
Толщина, мм								
Состояние								
Направление вырезки образца								
Температура испытания, °C	20	-70	-196	-269	20	-70	-196	-269
σ_B , кгс/мм ²	46	47	60	67	47	47	55	58
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	28	28	31	34	39	29	31	33
δ_5 , %	7,5	10	13	6	10	13	13	6

Механические свойства при высоких температурах при растяжении

Полуфабрикат	Лист неплакированный					Панель вафельная	
	I...3					20	
	ТТТ						
	П					Д	
Толщина, мм							
Состояние							
Направление вырезки образца							
Температура испытания, °C	20	100	125	150	175	20	125
σ_B , кгс/мм ²	42	42	39	34	33	42	39
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	26	26	26	25	24	27	26
δ_{10} , %	10	19	20	25	21	13*	13*

* δ_5

Пределы длительной прочности и ползучести

Полуфабрикат	Лист неплакированный		
	I...3		
	ТТТ		
	П		
Толщина, мм			
Состояние			
Направление вырезки образца			
Температура испытания, °C	125	150	175
σ_{2140} , кгс/мм ²		11	
$\sigma_{0,2/100}$, кгс/мм ²	14	10	
σ_{40} , кгс/мм ²		20	8,5
σ_{100} , кгс/мм ²	27	19,5	

Упругие свойства при повышенных температурах

Полуфабрикат	Лист неплакированный					Панель вафельная	
Толщина, мм	I...3					20	
Состояние	ТТ						
Направление вырезки образца	П					Д	
Температура испытания, °C	20	100	125	150	175	20	125
E , кгс/мм ²	7500	6800	6600	6300	5900	7700	6600

Коррозионные свойства. Сплав ОI420 обладает повышенной коррозионной стойкостью, аналогичной коррозионной стойкости сплава АМГ6. Защита от коррозии в зависимости от назначения деталей осуществляется анодно-окисными, химическими и лакокрасочными покрытиями.

Физические свойства. Плотность $d = 2470$ кг/м³.

Электрические свойства

Полуфабрикат	Все полуфабрикаты
Состояние	ТТ
ρ , 10 ⁶ , Ом·см	10,5

Теплофизические свойства

Полуфабрикат	Все полуфабрикаты					
Состояние	ТТ					
Температура испытания, °C	20	100	200	300	20-100	20-200
λ , Вт/м·град	47,5	74,5	81,8	84		
c , кДж/кг·град		0,965	1,05	1,08		
α , 10 ⁶ , 1/град					24,5	25,3

Технологические данные. Сплав ОI420 упрочняется закалкой с 450...465°C на воздухе (состояние ТТ) с последующим искусственным старением при 120°C, 5-12 ч (состояние ТТ); естественным старением сплав не упрочняется. Закалка с 450...465°C в воде (состояние Т) применяется вместо отжига для получения максимальной пластичности полуфабриката.

Порошковый сплав ОI420 подвергается закалке с 450°С на воздухе с последующим старением при 100°С - 2 ч.

Температурный интервал горячей обработки давлением 300...400°С.

Сплав сваривается контактной, аргоно-дуговой и электронно-лучевой сваркой и удовлетворительно обрабатывается резанием.

П р и м е н е н и е. Сплав используется в изделиях с ограниченным ресурсом для силовых деталей. В пассажирских самолетах и машинах с длительным ресурсом - преимущественно для малонагруженных деталей. Рабочая температура - до 125°С.

ЖАРОПРОЧНЫЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ СПЛАВ АК4-I

Сплав обладает наиболее высоким сопротивлением ползучести и длительной прочности в интервале температур 125...150°С, по выносливости мало отличается от сплава Д16Т, но более чувствителен к концентрации напряжений при повторных нагрузках.

Механические свойства при комнатной температуре при растяжении

Полуфабрикат	Пруток прессованный		Лист лакированный (У)		Панель	
	От 5 до 10	Св. 100 до 300	От 0,5 до 1,9	Св. 1,9 до 4,0	Ширина полотна по 1000	
Толщина, мм						
Состояние	Т1					
Направление вырезки образца	П		П		Д	П
σ_B , кгс/мм ²	40	37	36	38	40	38
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	32	28	27	31	33	32
δ_5 , %	6	6	-	-	6	4
δ_{10} , %	-	-	6	6	-	-

Пределы текучести и прочности при кручении и срезе

Полуфабрикат	Плита штампованно-катаная
Толщина, мм	40...65
Состояние	T1, T2
Направление вырезки образца	Д
τ_{12} , кгс/мм ²	19
$\tau_{0,3}$, кгс/мм ²	27
τ_{β} , кгс/мм ²	35
$\tau_{\sigma p}$, кгс/мм ²	24

Чувствительность к концентрации напряжений при растяжении

Полуфабрикат	Лист лакированный (А)	Плита ковано-катаная			
Толщина, мм	1,5...2,5	35...60			
Состояние	T1				
Направление вырезки образца	П		Д		
Форма образца	Плоский (гладкий и с отверстием)		Цилиндрический (гладкий и с кольцевой выточкой)		
K_{σ}	I	2,6	I	2,5	4,0
σ_{β} , кгс/мм ²	40		43		
σ_{β}^H , кгс/мм ²		3,9		56	53
$\sigma_{\beta}^H / \sigma_{\beta}$		0,98		1,3	1,23

Ударная вязкость и работа разрушения образца с трещиной

Полуфабрикат	Плита ковано-катаная	Профиль прессованный	Штамповка диска		
Толщина, мм	40...60	4...35			
Состояние	T1				
Направление вырезки образца	Д	И	Д	Х	Р
α_H , кгс·м/мм ²				1,0-1,4	1,0-1,4
$\alpha_{T,y}$, кгс·м/мм ²	0,6-0,7	0,45-0,6	0,5-0,8		

Вязкость разрушения при плоской деформации

Полуфабрикат	Плита ковано-катаная, штампованно-катаная			Поковка
Толщина, мм	60...65			300x300x65
Состояние	T1, T2			T2
Ориентация образца и трещины	ДП	ПД	ВД	ПД
Толщина образца, мм	25...35	25...35	20...25	35
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	35...40	34...38	32...34	33
K_{IC} , кгс/мм ^{3/2}	78...91	63...85	56...65	75...90
$\sigma_{нтр}$, кгс/мм ²	19...26	17...20	16...19	19...24

Предел выносливости ($N = 2 \cdot 10^7$ циклов)

Полуфабрикат	Плита штампованно-катаная				Лист лакированный (А)	
Толщина, мм	60				1,5...2,0	
Состояние	T1		T2		T1	
Направление вырезки образца	Д					
Форма образца	Круглый (гладкий и с кольцевой выточкой)				Плоский (гладкий и с отверстием)	
Вид испытания	Консольный изгиб с вращением				Растяжение	
R	-I				0, I	
ψ , Гц	50				25	
K_b	I	2,2	I	2,2	I	2,6
σ_{R2} , кгс/мм ²	12-13	8-9	12,5	8-9	10,5	7,5

Упругие свойства

Полуфабрикат	Лист лакированный (А)	Профиль прессованный	Плита ковано-катаная
Толщина, мм	2...4	5...30	35...60
Состояние	T1, T2	T1	T1, T2
Направление вырезки образца	П		Л
E , кгс/мм ²	7100	7200	7200
$E_{сст}$, кгс/мм ²	7200	7350	7350
σ_s , кгс/мм ²		2750	2750
μ		0,33	0,33

Механические свойства при низких температурах при растяжении

Полуфабрикат	Лист лакированный (А)			Профиль прессованный		
	Толщина, мм	I, 5...2,5			35	
Состояние	T1, T2					
Направление вырезки образца	П			Д		
Температура испытания, °C	20	-70	-196	20	-70	-196
σ_B , кгс/мм ²	40	42,5	48,5	41	44	50
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	34	36	40,5	37	40	44
δ_5^x , %	6	8	10	9	9	12
ψ , %				28	30	30

* Для листов

Механические свойства при высоких температурах при растяжении и сжатии

Полуфабрикат	Лист лакированный (А)					
	Толщина, мм	I, 5...2,5				
Состояние	T1, T2					
Направление вырезки образца	П					
Температура испытания, °C	20	125	150	175	200	250
σ_B , кгс/мм ²	41	37	35	33	31	24
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	35	34	32,5	29	26	19
$\sigma_{0,2 \text{ сж}}$, кгс/мм ²	36,5		33,5			
$\delta_{11,3\sqrt{F_0}}^1$, %	8	8	9	11	14	19

Влияние длительных нагревов на механические свойства листов при растяжении

Полуфабрикат	Лист лакированный (А)							
	I, 5...2,5							
	II							
	I50				I75			
Толщина, мм								
Состояние								
Направление вырезки образца								
Температура нагрева, °C								
Продолжительность нагрева, ч	100	5000	20000	30000	100	5000	20000	30000
σ_B , кгс/мм ²	34	33	32	32	33	29	26	26
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	31,5	29	27	27	28	25	21	20
$\delta_{11,3\sqrt{F_0}}$, %	9	9	8	8	12	12	12	12

Пределы ползучести и длительной прочности

Полуфабрикат	Лист лакированный (А)			Профиль прессованный		
	I, 5...2,5			35...200		
	II					
	II			II		
Толщина, мм						
Состояние						
Направление вырезки образца						
Температура испытания, °C	125	150	175	125	150	175
$\sigma_{0,2/100}$, кгс/мм ²	25	22	14	27	24	20
$\sigma_{0,2/1000}$, кгс/мм ²	21	17		25	21	
$\sigma_{0,2/10000}$, кгс/мм ²	15,5			22		
$\sigma_{0,2/20000}$, кгс/мм ²	15			20		
σ_{100} , кгс/мм ²	28	25	20			
σ_{1000} , кгс/мм ²	25	22				
σ_{10000} , кгс/мм ²	20					
σ_{20000} , кгс/мм ²	19					

Коррозионные свойства. Неплакированные полуфабрикаты из сплава АК4-I имеют пониженную коррозионную стойкость. Плакированные полуфабрикаты имеют повышенную коррозионную стойкость. Для защиты от коррозии в зависимости от назначения детали применяют анодно-окисные, химические и лакокрасочные покрытия.

Плотность сплава $\rho = 2800 \text{ кг/м}^3$.

Электрические свойства

Полуфабрикат	Все полуфабрикаты
Состояние	Т1
$\rho \cdot 10^6, \text{ Ом} \cdot \text{см}$	5,5

Теплофизические свойства

Полуфабрикат	Все полуфабрикаты							
	Т1							
Состояние								
Температура испытания, °C	25	200	400	20-100	20-300	20-400	100-200	300-400
$\lambda, \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$	142	151	163					
$c, \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$		0,837	0,964					
$\alpha \cdot 10^6, \text{ 1/град}$				20,8	22,4	23	22,4	24,8

Технологические данные. Для плит, поковок, штамповок и массивных профилей режим полного отжига: температура 380...420°C, выдержка 10...60 мин для полуфабрикатов всех толщин, скорость охлаждения ≤ 30 град/ч.

Режим сокращенного отжига: температура 350...370°C, охлаждение на воздухе или в воде.

Режимы отжига

Полуфабрикат	Лист плакированный (А)			Профиль прессованный
Толщина, мм	До 1	1,2-4,0	4,2-10,0	До 10
Температура отжига, °C	290-310	290-310	310-330	300-320
Выдержка, мин	30-60	60-90	90-120	60-90
Охлаждающая среда	Воздух			

Режимы закалки и старения

Полуфабрикат	Лист плакированный, поковка	Плита, профиль прессованный	Лист плакированный*	Поковка, штамповка, плита
Толщина, мм	Всех размеров			
Состояние	T1			T2
Температура закалки, °C	525...535			
Температура старения, °C	185-195	190-200	185-195	190-200
Продолжительность старения, ч	9-12	12-14 (профиль) 8-12(плита)	24	20

* Без правки после закалки

Сплав обладает высокой пластичностью в горячем состоянии. Охлаждение после деформации на воздухе.

Режимы горячей деформации

Температурный интервалковки и штамповки, °C		Температура нагрева под прокатку, °C	Температура прессования, °C
Начало	Конец	400-460	300-400
470-420	350		

Сплав удовлетворительно сваривается точечной и роликовой сваркой. Сварка плавлением не рекомендуется. Обрабатываемость резанием удовлетворительная.

П р и м е н е н и е. Сплав используется для силовых деталей сверхзвуковых самолетов (обшивка и силовой набор фюзеляжа и крыла, оперение), длительно работающих при температуре до 150°C; для деталей и узлов дозвуковых самолетов в зонах, подвергающихся нагревам до 150°C; для деталей реактивных двигателей, подвергающихся нагреву до 250°C (крыльчатки, воздухозаборники, диски, лопатки компрессора спрямляющего аппарата и рабочие лопатки).

ЖАРОПРОЧНЫЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ СПЛАВ ВД17

По жаропрочности и выносливости сплав в небольших штамповках типа лопаток компрессора близок к сплаву АК4-I, в прессованных полуфабрикатах - превосходит его.

Механические свойства при растяжении при комнатной температуре

Полуфабрикат	Пруток прессованный	Полоса	Штамповка	Поковка
ГОСТ, ОСТ, ТУ	ОСТ 90003-76	ОСТ I 90009-76	ОСТ I 90073-72	
Толщина, мм	До \varnothing 300	По согласованию		
Масса, кг			До 30	До 200
Состояние	Т1			
Направление вырезки образца	П	Д		
σ_B , кгс/мм ²	44	44	38	40
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	28	28	26	26
δ_5 , %	10	10	10	10

Предел выносливости ($N = 2 \cdot 10^7$ циклов)

Полуфабрикат	Полоса прессованная		
Толщина, мм	60		
Состояние	Т1		
Направление вырезки образца	Д	П	Д
Вид испытания	Консольный изгиб с вращением ($\nu = 50$ Гц)		
	Круглый		
Форма образца	Гладкий		С кольцевой выточкой ($r_H = 0,75$ мм)
K_t	1,0		2,2
R		-I	
σ_R , кгс/мм ²	16,5	15,5	9,5

Упругие свойства

Полуфабрикат	Полоса прессованная		Штамповка
Толщина, мм	60		
Состояние	Т1		
Масса, кг			До 30
Направление вырезки образца	Д		
E , кгс/мм ²	7200		7200
$E_{ср}$, кгс/мм ²	7200		7200
G , кгс/мм ²	2700		2700
μ	0,33		0,33

Механические свойства при низких температурах

Полуфабрикат	Полоса прессованная			
Толщина, мм	60			
Состояние	Т1			
Направление вырезки образца	Д			
Температура испытания, °С	20	-40		-70
σ_B , кгс/мм ²	49	50		52
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²				
σ_5 , %	10	12		12
ψ , %	19	23		21

Механические свойства при высоких температурах при растяжении

Полуфабрикат	Полоса прессованная						
Толщина, мм	60						
Направление вырезки образца	Д						
Состояние	Т1						
Температура испытания, °С	20	100	150	200	250	300	350
σ_B , кгс/мм ²	50	45	43	36	24	17	17
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	33	29	29	27	17	11	6
$\sigma_{0,01}$, кгс/мм ²	27	27	26	23	13	9	
σ_{10} , %	13	15	16	16	16	21	27
$\sigma_{0,01}$, кгс/мм ²	33	29	29	27	17	11	6

Пределы ползучести и длительной прочности

Полуфабрикат	Полоса прессованная					
Толщина, мм	60					
Состояние	Т1					
Направление вырезки образца	Д					
Температура испытания, °С	200	230	250	270	300	320
$\sigma_{0,2/60}$, кгс/мм ²		11	9	6	3,5	2,5
$\sigma_{0,2/100}$, кгс/мм ²	16	9	7,5	5	3,2	2,0
$\sigma_{0,2/300}$, кгс/мм ²	12	8	5	3,5	2,0	1,5
σ_{25} , кгс/мм ²		16	14	11	7,0	5,0
σ_{50} , кгс/мм ²	22	14	11,5	10,8	6,5	4,5
σ_{100} , кгс/мм ²	19	13	10	8	5,5	3,5
σ_{200} , кгс/мм ²	17	12	9	6,5	4,5	3,0
σ_{300} , кгс/мм ²	16	11	9	5,5	4,2	2,0

Коррозионные свойства. Полуфабрикаты из сплава ВД17 обладают пониженной коррозионной стойкостью. Сплав склонен к межкристаллитной и расслаивающей коррозии, а также к коррозионному растрескиванию после искусственного старения при $170 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 16 ч (Т1) и не склонен к коррозионному растрескиванию после старения при $195 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 16–18 ч (Т2). Для защиты компрессорных лопаток от коррозии применяются анодное окисление и покрытие эмалью ЭП-586.

Физические свойства. Плотность $d = 2750 \text{ кг/м}^3$.

Электрические свойства

Полуфабрикат	Полоса прессованная
Состояние	Т1
$\rho \cdot 10^6$, Ом·см	5,5

Теплофизические свойства

Полуфабрикат	Все полуфабрикаты						
	Т1						
Состояние							
Температура испытания, °С	20	100	200	300	400	20-200	20-400
λ , Вт/м·град	134	142	151	159	172		
c , кДж/кг·град		0,838	0,88	0,922	0,964		
$\alpha \cdot 10^6$, 1/град						24,2	25,4

Технологические данные. Режим полного отжига: температура 380...420°C, выдержка 10...60 мин (для полуфабрикатов всех толщин), скорость охлаждения не более 30 град/ч до 260°C, затем на воздухе.

Режим сокращенного отжига: температура 350...370°C, охлаждение на воздухе или в воде.

Режимы закалки и старения

Полуфабрикат	Прессованные полуфабрикаты		Поковки, штамповки	
	T1	T2	T1	T2
Температура закалки, °С	495...505			
Температура старения, °С	165...175	190...195	165...175	195-200
Продолжительность старения, ч	15...17	16...18	15...17	8...12

Температурный интервал горячей деформации сплава 470...380°C. После горячей деформации сплав обладает высокой пластичностью.

Сплав удовлетворительно сваривается точечной и роликовой сваркой.

П р и м е н е н и е. Сплав применяется для лопаток компрессора турбореактивных двигателей, а также других деталей двигателей, работающих при температурах до 270°C.

Механические свойства

Сплавы обладают самыми высокими характеристиками прочности по сравнению с основными конструкционными алюминиевыми сплавами. Максимальная прочность достигается в состоянии Т1. В состоянии Т2 и Т3 характеристики прочности сплавов ниже на 7...10 и 12...15% соответственно, чем в состоянии Т1.

В состояниях Т1, Т2 и Т3 при статическом нагружении сплавы мало чувствительны к концентраторам напряжений в виде отверстий. В условиях изгиба или внецентренного растяжения при малых радиусах в местах перехода сечения статическая прочность сплава снижается (более значительно в состоянии Т1, чем в состоянии Т2 или Т3, а также с увеличением размеров сечения).

Сплав В95 п.ч. по сравнению со сплавом В95 имеет более высокие показатели вязкости разрушения K_{Ic} (на 10...15%), работы разрушения образца с трещиной $A_{T.Y}$ (в 1,5...2,5 раза), остаточной прочности $\sigma_{нелто}^{TP}$ (на 25...30%).

Скорость роста трещины усталости в интервале значений $\Delta K = 40...60$ кгс/мм^{3/2} у сплавов В95 п.ч. и В95 о.ч. на 20...40% меньше, чем у сплавов В95. При испытании сплавов в состоянии Т2, Т3 трещина усталости растет несколько медленнее, чем у сплавов в состоянии Т1.

Механические свойства при растяжении (не менее)

Полуфабрикат	Лист плакированный (А)					
	От 0,5 до 10,5	От 0,5 до 1,9	Св. 1,9 до 6	Св. 6 до 10,5	От 1,2 до 6	Св. 6 до 10,5
Толщина, мм						
Состояние	М	Т1		Т1С		
Направление вырезки образца	П					
σ_B , кгс/мм ²	≤ 25	49	50	50	53	53
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²		41	42	42	46	46
δ_{10} , %	10	7	7	6	6	5

Механические свойства при растяжении

Полуфабрикат	Л и с т				П л и т а							
	плакированный (А)				неплакированный		плакиро- ванная (А, Б) и непла- кированная		плакированная (А) и неплакированная			
Толщина, мм	От 0,5 до 1,9	Св. 0,5 до 1,9	От 0,5 до 1,9	Св. 4,5 до 10,5	От 1,9 до 10,5	Св. 6 до 10,5	От 0,5 до 1,9	Св. 6 до 10,5	От II до 50	Св. 60 до 85	От II до 50	От 60 до 85
Состояние	T2	T3	T2	T3	T2	T3	T1	T2	T3	T2	T3	T3
Направление вырезки образца	П											
σ_B , кгс/мм ²	46- 54	44- 51	46- 53	50- 58	46- 53	48- 55	54	50- 57	53	47- 54	48- 55	45- 52
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	38- 47	35- 43	38- 46	43- 51	38- 46	40- 48	47	43- 51	45	37- 45	41- 49	35- 43
δ_5 , %	8	8	8	8	7	7	7	7	5	6	7	6

Механические свойства при растяжении (не менее)

Полуфабрикат	Поковка			Штамповка			Проволока (В95П)
Диаметр, мм							От 2 до 10
Масса, кг	До 1000			До 200			
Состояние	ТИ						
Направление вырезки образца	Д	П	В	Д	П	В	Д
σ_B , кгс/мм ²	50	45	40	52	46	42	55
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	42			44			33 ^х
$\delta_{0,5}$, %	5;6 ^{хх}	3	2	6	4	2;3 ^{хх}	

х σ_{cp}

хх Массой до 30 кг.

Механические свойства при растяжении (не менее)

Полуфабрикат	Панель прессованная				Пруток прессованный				Труба	
Состояние	Т1		Т2	Т3	Т1					
Направление вырезки образца	Д	П			Д					
σ_B , кгс/мм ²	55	52	51-58	47-54	57	57	58	57	50	52
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	50		44-51	41-48	49	49	50	50	38	41
$\delta_{0,5}$, %	7	6	8	8	6	6	6	6	7	5
Толщина, мм	Ширина полотна до 1000 мм				До 22	Св. 22 до 150	Св. 50 до 150	Св. 150 до 250 от 20	Стенка	Св. 20
									5	Св. 20

Механические свойства при кручении и срезе (не менее)

Полуфабрикат	Профиль прессованный	
Толщина, мм	До 40	
Состояние	Т1	Т2
Направление вырезки образца	Д	
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	50	45
$\sigma_{0,3}$, кгс/мм ²	31	27
τ_B , кгс/мм ²	43	39
$\tau_{0,2}$, кгс/мм ²	32	29,5

Чувствительность к концентрации напряжений при растяжении

Полуфабрикат	Поковка, штамповка					
Толщина, мм	Все размеры					
Состояние	Т1					
Направление вырезки образца	Д		П		В	
Форма образца	Круглый (ϕ 20 мм; гладкий и с кольцевым надрезом)					
K_t	Г	2,2	Г	2,2	Г	2,2
σ_B , кгс/мм ²	58	—	52	—	49	—
σ_B^H , кгс/мм ²	—	72	—	59	—	54
σ_B^H / σ_B	1,24		1,13		1,14	

Ударная вязкость и работа разрушения образца с трещиной при ударном изгибе

Полуфабрикат	Лист плакированный (А)	Профиль прессованный			Панель прессованная		
Толщина, мм	До 6	70			50		
Состояние	Т1						
Направление вырезки образца	Д	П	Д	П	В	Д	П
A_{K1} , $\frac{кгс \cdot м}{см^2}$	1,2	Г	Г	—	—	—	—
A_{K2} , $\frac{кгс \cdot м}{см^2}$	0,25— 0,35	0,18— 0,28	0,4— 0,45	0,13— 0,14	0,Г	0,4— 0,6	0,2— 0,4

Работа разрушения образца с трещиной при ударном изгибе

Полуфабрикат	Поковка			Штамповка		
Толщина, мм	130			70		
Состояние	ТТ					
Направление вырезки образца	Д	П	В	Д	П	В
$\sigma_{T, \text{из}}$ кгс·м/см ²	0,2-0,6	0,15- 0,4	0,1	0,4- 0,6	0,2- 0,3	0,15- 0,20

Скорость роста трещины усталости (растяжение пластины^х
с центральной щелью, $\sigma_{max}^{\text{фрунт}} = 8 \text{ кгс/мм}^2$, $\nu = 3 \text{ Гц}$,
 $R = 0,1$)

Полуфабрикат	Лист						Полоса прессованная ^{xx}		
	неплакированный			плакированный (А)					
Толщина, мм	9			2			70		
Состояние	ТТ								
Ориентация образца и трещины	ДП								
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	53			49			59		
ΔK , кгс/мм ^{2/2}	40	50	60	40	50	60	40	50	60
$\frac{d(2l)}{dN}$, мм/цикл ^{xxx}	1	1,7	2,8	1 ^{xxx}	1,6 ^{xxx}	2,6 ^{xxx}	1,9 ^{xxx}	1,5 ^{xxx}	1,9 ^{xxx}
$\frac{S \cdot d(2l)}{dN}$, мм/цикл ^{xxxx}	0,16	0,18	0,74						

^х Толщина образца плакированного листа 2 мм, из остальных полуфабрикатов - 6 мм.

^{xx} 0,35% Fe, 0,1% Si.

^{xxx} Средние значения результатов испытаний 7 образцов.

^{xxxx} Медианы результатов испытаний 3...5 образцов.

Упругие свойства

Полуфабрикат	Лист		Профиль	Панель	Поковка и штамповка	Плита катаная, штампованно-катаная	
	плакированный (А)	неплакированный	прессованные				
Толщина, мм	До 2	Св.2 до 6	До 10,5	Все размеры	5-15	Все размеры	30-85
Состояние	Т1, Т2, Т3						
Направление вырезки образца	П		Л	Д			
E , кгс/мм ²	6800	6900	7200	7200	7200	7200	7200
$E_{с\text{огн}}$, кгс/мм ²	7000	7100	7350	7400	7400	7400	7400
G , кгс/мм ²				2700	2700	2700	2700
μ				0,33	0,33	0,33	0,33

Механические свойства при низких температурах

Механические свойства при растяжении

Полуфабрикат	Профиль, прутки прессованные				
Толщина, мм	Все размеры				
Состояние	Т1				
Направление вырезки образца	Д				
Температура испытания, °С	20	-40	-70	-196	-269
σ_B , кгс/мм ²	62	64	65	78	85
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	56	58	58	65	72
δ_5 , %	10	8	8	7	6
ψ , %	15	14	14	12	12

Чувствительность к концентрации напряжений при растяжении

Полуфабрикат	Профиль, пруток прессованный			
Толщина, мм	Все размеры			
Состояние	ТІ			
Направление вырезки образца	Д			
Температура испытания, °С	20	-70	-196	
Форма образца	Круглый с кольцевой выточкой			
	4,0			
σ_{σ} , кгс/мм ²	72	75	75	
$\sigma_{\sigma}/\sigma_{\sigma}$	-1,16	1,15	0,96	

Ударная вязкость

Полуфабрикат	Профиль, пруток прессованные				Плита катаная	
Толщина, мм	Все размеры				65...85	
Состояние	ТІ				ТЗ	
Направление вырезки образца	Д				П	В
Температура испытания, °С	20	-40	-70	-196	-70	
α_H , кгс·м/см ²	I	I	I	I	I	0,45

Механические свойства при высоких температурах

Механические свойства при растяжении и сжатии^х

Полуфабрикат	Лист плакированный					
Толщина, мм	Дб 2					
Состояние	ТІ					
Направление вырезки образца	П					
Температура испытания, °С	20	100	125	150	175	200
σ_{σ} , кгс/мм ²	49	45	42	38	33	25
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	41	38,5	36	33,5	30	22,5
δ_{10} , %	14	14	14	15	16	12
$\sigma_{0,2 сж}$, кгс/мм ²	44,5	40		35		24

^х Для листа - минимальные значения

Механические свойства при растяжении^х

Полуфабрикат	Плита катаная			Поковка					
	85			100					
Толщина, мм				ТЗ					
Состояние									
Направление вырезки образца	Д			П					
Температура испытания, °С	20	125	150	20	125	150	20	125	150
σ_B , кгс/мм ²	48,5	40	37,5	50	41	40	50	40	39
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	42	37,5	35	43	35	34	43	33	32
δ_{10} , %	12,5	17,5	18	7	8	9	7	7	8

^х Средние значения.

Механические свойства при кручении

Полуфабрикат	Профиль прессованный			
	20...40			
Толщина, мм	Т1			
Состояние				
Направление вырезки образца	Д			
Температура испытания, °С	20	100	150	200
τ_B , кгс/мм ²	43	40	35	27
$\tau_{0,2}$, кгс/мм ²	31	29	27	22

Чувствительность к концентрации напряжений при растяжении

Полуфабрикат	Лист плакированный (А)				
	2...6				
Толщина, мм	Т1				
Состояние					
Направление вырезки образца	П				
Форма образца	Плоский (гладкий и с отверстием: $K = 2,6$)				
Температура испытания, °С	20	100	150	200	250
σ_B , кгс/мм ²	53	48	41,5	28	14,5
σ_B^H , кгс/мм ²	50,5	49	44,5	35	19,5
σ_B^H / σ_B	0,96	1,02	1,07	1,25	1,34

Влияние длительных нагревов на механические свойства при растяжении

Полуфабрикат	Лист плакированный								
Толщина, мм	1,9...2,6								
Состояние	Т1								
Направление вырезки образца	П								
Температура нагрева и испытания, °С	20	100				125			
Продолжительность нагрева, ч	5I	0,5	100	1000	10000	0,5	100	1000	10000
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	44,5	43,5	43,5	43,5	40,5	40	39	32,5	28
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²		39	39	39	37	35,5	35,5	30	20,5
$\delta_{1,3VF}$, %	8	12	12	13	16	17	17	19	23

Пределы длительной прочности и ползучести

Полуфабрикат	Лист, плита					Поковка	
Толщина, мм	6...70					100	
Состояние	Т1			Т3			
Направление вырезки образца	Д, П					Д	П
Температура испытания, °С	100	150	200	100	150	150	150
$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²		31	17				
σ_{100} , кгс/мм ²	39	22	10	35		23	22
σ_{1000} , кгс/мм ²	34	13	6,5				
$\sigma_{0,2/100}$, кгс/мм ²	32/33 ^X	18/19 ^X	6/7 ^X	33/32	^{XX} 18/19 ^{XX}	18	17
$\sigma_{0,2/1000}$, кгс/мм ²	29	11	4	31 ^X			

X Для листов.

XX Для листов в состоянии Т2.

Упругие свойства

Полуфабрикат	Лист плакированный (А)				Профиль прессованный				
Толщина, мм	До 2				Все размеры				
Состояние	Т1				Т1, Т2, Т3				
Направление вырезки образца	П				Д				
Температура испытания, °С	20	100	150	200	20	100	125	150	200
E , кгс/мм ²	5800	6300	5800	5200	7200	6550	6400	6200	5700
E_{2200} , кгс/мм ²	700	6450	5950	5350	7400	6750	6600	6350	5800
σ , кгс/мм ²	—	—	—	—	2700	2450	—	2250	2050
μ	—	—	—	—	0,33	0,33	—	0,38	0,39

Физические свойства. Плотность $d = 2850 \text{ кг/м}^3$.

Электрические свойства

Полуфабрикат	Все виды прессованных полуфабрикатов	
Состояние	Т1	
$\rho \cdot 10^6$, Ом·см	4,2	

Теплофизические свойства

Полуфабрикат	Все полуфабрикаты								
Состояние	Т1								
Температура испытания, °С	20	100	200	300	400	-50 +20	20-100	20-200	100-200
λ , Вт/м·град	155	159	163	163	159	—	—	—	—
c , кДж/кг·град	—	0,922	1,0	1,05	1,09	—	—	—	—
$\alpha \cdot 10^6$, 1/град	—	—	—	—	—	22	23,1	24,1	25,1

Технологические данные. Сплавы В95, В95 п.ч., В95 о.ч. применяются в конструкциях только в искусственно состаренном состоянии после старения по режимам Т1, Т2, Т3.

"Смягчающее" старение (режимы Т2, Т3) по сравнению со старением на максимальную прочность (режим Т1) обеспечивает повышение

Режимы закалки и старения

Полуфабрикат	Лист плакиро- ванный	Профиль, панель, штампов- ка, лист неплавко- ванный	Лист, плита	Профиль, панель прессован- ные	Лист, плита	Профиль, панель прессован- ные	Т3	
							T1	T2
Состояние		T1		T2		T3		
Температура закалки, °С		465...475						
Темпера- тура старения, °С	I сту- пени	I15-I25 ^x	I35-I45 ^x	I10-I20	I10-I20	I10-I20	I10-I20	I10-I20
	II сту- пени			I60-I70 (плита)	I60-I70 (профиль)	I60-I70 (плита)	I70-I80 (профиль)	I75-I85 (панель)
Продолжи- тельность старения, ч	I сту- пени	23-25	I5-I7	5-10 (лист)	5-10	5-10 (лист)	5-10	5-10
	II сту- пени			5-10 (плита)	8-18 (профиль)	5-10 (плита)	25-30 (лист)	6-16 (профиль)
				I0-20 (плита)	I0-I3 (панель)	I5-25 (плита)	8-13 (панель)	8-18

^x Полуфабрикаты с достаточным запасом прочности и удлинения могут подвергаться старению по ступенчатому режиму T1: I15-I25 С, 3 часа (I ступень) +I57 -I63 С, 3 часа (II ступень).

сопротивления коррозионному растрескиванию и расслаивающей коррозии, а также характеристик конструкционной прочности (K_{IC} , K_{IS} , a_{IK} , $a_{T.Y.}$, $d(2e)/dN$ и др.) при незначительном (до 7% в состоянии Т2 и до 14% в состоянии Т3) снижении уровня прочности материала. Применение полуфабрикатов в состояниях Т2 и Т3 приводит к существенному повышению надежности и долговечности конструкций.

Продолжительность перерыва между закалкой и началом старения влияет на прочность сплавов после искусственного старения: наилучшие механические свойства обеспечиваются при перерыве не более 4 либо не менее 48 ч. При перерыве между закалкой и искусственным старением 4...48 ч пределы прочности и текучести после искусственного старения снижаются в среднем на 1,5...2,0 кгс/мм². Относительное удлинение практически не зависит от продолжительности перерыва между закалкой и искусственным старением; при двухступенчатом старении влияние перерыва между закалкой и старением не обнаруживается.

Правку и другие подобные операции рекомендуется проводить в первые 6 ч после закалки, так как в свежезакаленном состоянии сплавы обладают удовлетворительной пластичностью. В искусственно состаренном состоянии сплавы подвергаются ограниченной деформации.

Режим отжига: нагрев в воздушной печи при 380...430°C, охлаждение со скоростью 30 град/ч до температуры 150°C, затем на воздухе.

Сплавы удовлетворительно деформируются в горячем состоянии: могут подвергаться прокатке, прессованию, ковке, штамповке. Охлаждение после деформации - на воздухе.

Режимыковки в прессованном состоянии

Температурный интервалковки, °С		Допустимая степень деформации, %	Оборудование
начало	окончание		
430...400	350	70	Пресс гидравлический
400...370	320	50	Молот, пресс механический

Показатели штампуемости листов

Состояние материала	Вытяжка, $K_{\text{выт}}$	Отбортовка, $K_{\text{отб}}$	Выдавка, $K_{\text{выд}},\%$	Гибка, $r_{\text{min}}, \text{мм}$
Отожженный	1,75-1,85	1,35-1,55	15-20	(1,5-1,7) δ^*
Свежезакаленный	1,7-1,8	1,3-1,5	12-15	(1,8-2,0) δ^*

* δ - толщина листа, мм.

Сплавы ограниченно свариваются точечной и роликовой сваркой; сварка плавлением не рекомендуется.

Обработываемость резанием хорошая.

П р и м е н е н и е. Сплав В95 целесообразно применять для элементов, работающих преимущественно на сжатие или на сдвиг в местах, некритических по выносливости.

Сплавы В95 п.ч. и В95 о.ч. применяются для обшивки крыла и оперения, шпангоутов, лонжеронов, стрингеров и других деталей. Для наиболее ответственных деталей с длительным ресурсом сплавы рекомендуется применять в состоянии Т2, обеспечивающем хорошее сочетание выносливости, прочности, коррозионной стойкости и вязкости разрушения. Сплавы в состоянии Т3 применяются для деталей, от которых требуется высокая коррозионная стойкость, а также для ответственных деталей, в которых возможны значительные технологические остаточные напряжения (например, изготовленных из крупногабаритных полуфабрикатов: штамповок, требующих значительной правки и др.).

Детали из сплавов В95, В95 п.ч. и В95 о.ч. должны иметь плавные переходы без резкого изменения сечения, острые кромки необходимо скруглить.

Сплавы рекомендуются для деталей, работающих при температуре до 125°C. Для повышения выносливости и сопротивления коррозии под напряжением рекомендуется поверхностное упрочнение. Для повышения долговечности соединений из сплава В95 п.ч. и В95 о.ч. рекомендуется постановка втулок и болтов с натягом, при этом детали следует подвергать обработке по режимам Т2 и Т3.

Библиографический список

1. Авиационные материалы: Справочник. Под ред. А.Т.Туманова. М.: ВИАМ. 1987. Т. 4. Ч. I.
2. Мальцев М.В. Металлургия цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1970.
3. Захаров А.М. Промышленные сплавы цветных металлов. М.: Металлургия, 1980.
4. Калачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1981.
5. Алюминий /Пер. с англ.; Под ред. А.Т.Туманова и др. М.: Металлургия, 1972.
6. Промышленные алюминиевые сплавы: Справочник /С.Г.Алиева, М.Б.Альтман, С.М.Амбарцумян и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1984.
7. Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы типа дуралюмин. М.: Металлургия, 1984.

ДЕФОРМИРУЕМЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Составитель БУНОВА ГАЛИНА ЗАХАРОВНА

Редактор Т.К. КРЕТИНИНА
Техн. редактор Н.М. КАЛЕНЮК
Корректор Е.Г. ФИЛИППОВА

Подписано в печать 14.05.91 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага оберточная. Печать офсетная. Усл.п.л. 3,74.
Усл.кр.-отт. 3,84. Уч.-изд.л. 3,62. Тираж 400 экз.
Заказ № 2043. Бесплатно.

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

Типография им. В.П.Мяги Самарского полиграфического
объединения,
443099, г. Самара, ул. Венцека, 60.