

### Материалы, используемые в РТ

Материал	ρ, г/см³	T, °C	σв, МПа	σт, МПа	E, ГПа	δ, %	Применение
1	2	3	4	5	6	7	8
Магниевые сплавы							
ВМДЗ	1,83	20	216	140	41,2	5	Сварные конструкции, от которых требуется повышенный σт
		150	156		37,2	15	
		200	127		34,3	16	
		250	98			22	
ВМ65-1	1,8	20	358	220-290	42,1	10	Использовать при комнатной температуре
		150	358			21,5	
		200	352			17	
Алюминиевые сплавы							
Д16Т	2,78	20	426	320-350	67,6	19	Листы, детали каркаса, обшивка, шпангоуты
		100	392		64,2	16	
		200	330		54,4	11	
		300	157		42,2	13	
В95Т	2,85	20	583	550	70,6	6	Профили, лонжероны, шпангоуты. Не сваривается
		100	519		63,2	8	
		200	325		56,3	4	
		300	98		42,6	23	
Д19Т	2,76	20	430	320-350	66,6	20	Листы, обшивка при T=150...200°C
		100	412	280	60,8	16	
		200	353	250	55,9	10	
		300	186	250	46,1	13	
АМг6	2,64	20	314	160-170	66,6	24	Профили, листы, штамповка
		100	291	160	60,8	31	
		200	186	135	54,4	43	
		300	127	60	43,1	48	
АК6	2,75	20	412	378	70,6	17	Штамповка, поковка. Кронштейны, силовые детали
		100	382			14	
		200	284			19	
01420	2,47	20	412	270	73,5	10	Профили, листы. Детали силового набора (стрингеры, оболочки, шпангоуты)
		100	412		66,6	19	
		200	323		57,8	21	
1201	2,85	20	441	350	69,6	9	Листы, поковки. Силовые шпангоуты, оболочки. Сваривается
		100	392		67,6	10	
		200	345		58,8	12	
01545К	2,65	20	382	270	69,6		Свариваемые аналоги АМГ6

1460		2,60		20		490				78,4				и 1201 соответственно. T=−253...150°C	
1	2		3		4		5		6		7		8		
Материал		ρ, г/см³		T, °C		σ <sub>B</sub> , МПа		σ <sub>T</sub> , МПа		E, ГПа		δ, %		Применение	
Титановые сплавы															
BT6		4,43		20	980	950	117,6	10	Силовые шпангоуты, силовые свариваемые детали						
				250	735		102	10							
				350	637		93	11							
				450	539		90	9							
BT3-1		4,5		20	1031	800	113	12	Силовые шпангоуты						
				100	941		111	15							
				200	882		109	14							
				300	784		107	14							
				400	813		98	17							
				500	657		87,2	16							
BT14		4,52		20	1177	830	113	11	Силовые детали, крепеж						
				400	931		85,3	6							
BT-9* *) – Сколовский. РЭУ на ТТ				293K	1100			8 – 14%							
				693K	850										
BT-14*				293	1100		115	6%							
				393	1020		112								
				473	960		105								
				523	940		102								
				573	920		100								
BT-23				293	1200		111	5							
				393	1110		108								
				473	1070		101								
				523	1050		98								
				573	1020		95								
Сплав титановый BT – означает «ВИАМ титан» (ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» ГНЦ РФ) Сплав титановый OT - «Опытный титан» Сплав титановый ПТ - «Прометей титан» «У» - улучшенный; «М» - модифицированный; «И» - специального назначения; «Л» - литейный сплав; «В» - сплав, в котором марганец заменен эквивалентным количеством ванадия.															
Стали															
30ХГСА		7,85		20	1080	1000-1100	196	12,5	Крепеж, силовые детали						
				300	980		166,6	11							

		400	902		161,8	16	
		500	686		156,8	21	
13X15HЧAM3-III	7,82	20	1420	1400	198	10	Болты, шпильки
		300	1270		184,5	8,5	
		400	-		-	-	
		500	883		168	7	
ЧС5-ВИ (03Н18МЗТЮ)	8,00		1570	1470			Шпильки болты в соединении ГГ
14X17H2 (ЭИ268)	7,75	20°C	880	710	193	20%	Корпус регулятора ДУСН
		300	720	630		16	
		400	680	590		15	
		500	570	510		17	
ЭП388 (40X15H7ГФ2 МС)	7,80	20	1000	600	185	15	Корпуса малогабаритных ГГ, закладные элементы органоластиков корпусов
		300	810	550	187	13	
		400	780	540	157	12	
		500	700	---	147	12	
		600	640	500	147	9	
ЭП452 (10X12H20T2)							Сталь жаропрочная высоколегированная
42Ч2ГСНМ (ВКС-1)	7,79	20	190кг/мм <sup>2</sup>	165	205	7	Сталь высокопрочная Оболочки, кратковременно нагружаемые давлением
		100	190	165	205	7	
		200	190	165	201	8	
		300	180	155	192	9	
		350	175	150	180	9	
1760	7,95				192		
СП-28 (28X3СНМВФА) (ЭП326А)	8,00	20	1570	1270	200	≥7%	Корпусные детали ПАД, ДУСН
СП-33							Корпусные детали ПАД, ДУСН, оболочки
40ХН2МА	7,85		1150	1050	215	10-15%	Крепеж
Сталь 45	7,826		780	640	200	10-15%	Лист прокат, поковка
12X18H10T	7,92		530	236	198	20%	Лист прокат
<b>Вольфрамовый сплав</b>							
ВНДС-1	22,59						Сопловые втулки ДУСН

Ниобиевые сплавы							
5ВМЦ	8,60	293K	435			30,5%	«Горячие» газоводы
		1973K	45			40%	
10ВМЦ	8,60	293K	570			28%	«Горячие» газоводы
		1973K	50			100%	
10ВМЦ ВР	8,60	293K	620			20%	«Горячие» газоводы = Ниобиевые сплавы + КЛ-11 (наружное ТЗП)
		1973K	75			80%	
«Горячие» газопроводы = Ниобиевые сплавы + КЛ-11 «Холодные» газопроводы = Ниобиевые сплавы + Дисилицид молибдена (внутреннее ТЗП)							
Молибденовые сплавы							
МВ-2МП	9,70	293K	600			20%	
		2273K	40			35%	
ЦМ-2А	9,70	293K	600			20%	
		2073K	40			35%	
ЦМ-6	9,70	293K	700			20%	
		2073K	60			20%	
ЦМ-10 ВД	9,70	293K	700			15%	
		2073K	30			60%	
Сплав вольфрама и молибдена							
МВ10-МП (10% W)							Вкладыш критического сечения СБ
МВ20 W – 20%							Поковка
МВ30							
МВ50	13,20		1010				
Теплозащитные покрытия							
Внутреннее ТЗП из [Астрахов, Панин, Быцкевич и др.]							
	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/мК		Теплоемкость $c_m$ , Дж/кгК			
		$\lambda_{\theta=0^\circ}$	$\lambda_{\theta=90^\circ}$				
Асбопластик							
Стеклопластик	1900	0,40	0,35	125			
Углепластик	1400	0,49	0,53	323			
УУКМ							
Графит В1	2200	139	197	754			
Резина	600 ÷ 1000	0,15	0,15	1300 ÷ 1500			

Наружное ТЗП из [Соколовский. ЭУТТ]							
	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/мК	Температуропроводность $\cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с				
Покрытие ТГП-ФО	0,37	0,058	0,110				
КЛ-11 (кремнеземная лента)	1,00	0,070	0,098				
Покрытие ВГР-150 (базальтовая вата, высокоглинозистый волокнистый материал ТУ-14-8-107-74)	0,20	0,093	0,480				
Внутреннее ТЗП корпуса ГГ из [Соколовский. ЭУТТ]							
	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/мК	Температуропроводность $\cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\delta$ при разрыве, %			
НП-102	0,6-0,7	0,17 - 0,18	0,09 – 0,11	100			
Термолон-2С (керамика)	0,7-0,83	0,12 – 0,18	---	50			
КЗТП-1	0,8-0,9	0,24 – 0,27	0,17	400			
СКД-АФ (резина)	0,85-0,94	0,15 – 0,17	0,11 – 0,12	40			
ПРЭС-Б	0,8	0,1717	0,109	54			
Композиционные материалы							
Стеклопластик намоточный							
№							
1	Наименование характеристики						Значение
2	Разрушающее напряжение в направлении армирования, МПа						1470
3	Модуль упругости при растяжении в направлении армирования, ГПа						52,9
	Плотность, г/см <sup>3</sup>						2,0
Углепластик (на основе нити УКН/5000 и связующее – эпоксидная смола). Применение: оболочки, работающие на сжатие							
1	Прочность при растяжении, МПа						1275(арм.0,65)
2							1128(арм.0,58)
							883(арм.0,45)
							706(арм.0,35)
2	Модуль упругости при растяжении, ГПа						127,5
3							112,5
							88,3

		63,8
3	Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,54
		1,50
		1,43
		1,38
Углепластик П-5 (облицовка раструба СБ маршевого РДТТ)		
Углепластик П-5-12 (облицовка КС ДУСН)		
Стеклопластик П-5-2 (Корпусные детали ДУСН)		
Органопластик Применение: оболочки, работающие на растяжение (внутреннее давление)		
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1350
	Прочность при растяжении, МПа	2400
	Модуль упругости при растяжении, ГПа	93
АГ-4В Применение: прессованные наконечники, крышки люков и т.д.		
	Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,35
	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	
	АГ-4В	---
	АГ-4С	539
	АГ-4НС	539
	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	
	АГ-4В	168
	АГ-4С	465
	АГ-4НС	568
	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	
	АГ-4В	---
	АГ-4С	255/80
	АГ-4НС	196/49
	в напр. ориент. стеклонитей/ перпендикулярно ориентации	
	Модуль упругости при растяжении, МПа	
	АГ-4В	22000
	АГ-4С	34300
	АГ-4НС	---
Полиэтиленовые волокна (высокопрочные)		
	Прочность при растяжении, МПа	1960
	Модуль упругости при растяжении, ГПа	49,05...122,6
	Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,9
	Предельная деформация, %	3...6

#### Расчетные случаи нагружения

Наземная эксплуатация	f	Примечание
Транспортирование всеми видами транспорта изделия и его составных частей	1,75	Определяются поперечные перегрузки, выносливость.

		Накладываются ограничения
Погрузочно-разгрузочные работы	2,0	Определяются поперечные перегрузки.
Хранение	2,0	Большая непредсказуемость
Подъем в вертикальное положение	1,5	
Загрузка ракеты в ТПК	2,0	Трение
Старт	1,4	
<b>Полет на АУТ</b>	<b>f</b>	<b>Примечание</b>
Действие максимальной осевой аэродинамической силы	1,3	$X=C_x q F_M$
Действие максимальной поперечной аэродинамической силы	1,3	$Y=C_{y1} \alpha q F_M$
Действие максимального скоростного напора	1,3	
Действие максимального внешнего избыточного давления	1,3	
Действие максимальных осевых перегрузок при работе ДУ	1,3	В конце работы ДУ
Разделение ступеней многоступенчатой ракеты (резкое снятие нагрузки)	1,3	Динамическая нагрузка
Сброс обтекателя	1,3	
Нагружение внутренним давлением (для всех работающих двигателей, газогенераторов, сосуды питающие)	2,0	

#### Примечание

1. Для крепежных и фиксирующих элементов (болты, шпильки, заклепки, штифты, оси, тросики)  $f$  увеличивается в 1,25 раза;
2. Для материалов с отношением предела прочности к пределу текучести больше коэффициента безопасности коэффициент запаса прочности должен быть не менее 1,0.

#### Эквивалентные напряжения

1.  $\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sigma_1 \leq [\sigma]; \quad \sigma_{\text{ЭКВ}} = |\sigma_3| \leq [\sigma].$
2.  $\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma].$
3.  $\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3) \leq [\sigma].$
4.  $\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma].$
5.  $\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)} \leq [\sigma].$

#### Критерий прочности

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} \leq [\sigma] = \min \left( \frac{\sigma_B}{f}, \quad \sigma_{0,2} \right).$$