

# Тугоплавкие металлы и их сплавы

## Наибольшее значение в технике имеют следующие тугоплавкие металлы:

Металл		Температура плавления, °С
Ниобий	Nb	2468
Молибден	Mo	2625
Хром	Cr	1875
Тантал	Ta	2996
Вольфрам	W	3410

# Особенности тугоплавких металлов

– Тугоплавкие металлы и их сплавы используют как жаропрочные. При этом жаропрочность сплавов выше, чем чистых металлов.

Наиболее эффективным является формирование в сплавах карбидов [ZrC, TiC, (Ti, Zr)C и др.]

- все тугоплавкие металлы обладают низкой жаростойкостью, поэтому при температурах выше 400-600°C их нужно защищать от окисления.

Для защиты используют металлические, интерметаллидные и керамические покрытия.

Для W и Mo лучшими считаются термодиффузионные силицидные покрытия  $WSi_2$ ,  $MoSi_2$ .

Тугоплавкие металлы используют в качестве жаропрочных в неокислительных средах – в вакууме, водороде, инертных газах, в среде отходящих пороховых газов.

– сплавы ниобия Nb обладают хорошей технологичностью, свариваемостью и достаточно высокой жаропрочностью до 1300°С.

Температура хладноломкости ниже -196°С.

Для повышения жаропрочности легируют Mo, W, Zr.

Благодаря высокой коррозионной стойкости и малому сечению захвата тепловых нейтронов сплавы ниобия применяют в конструкциях атомных реакторов.

# Свойства сплавов тугоплавких металлов

Сплав	T, °C	$\sigma_B$ , МПа
Сплавы ниобия		
BH2(4,5 Mo; $\leq 0,05$ C)	20	850
	1200	180-200
BH2A (4,1 Mo; 0,7 Zr; $\leq 0,08$ C)	20	850
	1200	300
	1500	170
BH3 (4,6 Mo; 1,4 Zr; 0,12 C)	20	800
	1200	850
BH4 (9,5 Mo; 1,5 Zr; 0,03 La, Ce; 0,3 C)	20	850
	1200	250
	1500	170

Продолжение таблицы

Сплавы молибдена		
ЦМ2А (0,11 Zr; 0,2 Ti; $\leq 0,004$ C)	20	800
	1200	300
	1600	60
ЦМ3 (0,3 Zr; $\leq 0,02$ C)	1200	500
ЦМ6 (0,15 Zr; 0,002 В; $\leq 0,004$ C)	1200	350
ВМ2 (0,32 Zr; до 0,2 Ti; до 0,2 Nb; $\leq 0,02$ C)	20	75
	1200	450
ВМ3 (0,45 Zr; 1 Ti; 0,35 C; 1,25 Nb)	20	830
	1300	500
Сплавы вольфрама		
20 Мо; 0,1 Zr; 0,1 Ti	1200	380
	1800	90
ВВ2 (система W-Nb)	1200	130

# Применение

Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе применяют при строительстве ракет, в космических кораблях, атомных реакторах, энергетических установках, узлы и отдельные детали которых работают при температурах 1500-2000°C.

Молибден и вольфрам в чистом виде используют в радио- и электронной промышленности (нити накаливания, листовые аноды, сетки, пружины катодов, нагреватели, контакты и т.д.), а также в других отраслях промышленности.



# Никель и сплавы на его основе

# Сплавы никеля

# Нихромы

Это сплавы никеля и хрома или никеля, хрома и железа с минимальным содержанием углерода.

Структура – твёрдый раствор **Cr, Fe** в **Ni** с решёткой ГЦК.

Не используют для нагруженных деталей, то есть применяют не как жаропрочный материал, а как материал высокой жаростойкости.

Также используют для электрических нагревательных элементов сопротивления.

# Нимоники

Это сплавы системы Ni-Cr-Ti-Al (~20% Cr, 1% Al, 2% Ti, остальное Ni).

Закалка при 1050-1150°C формирует  $\gamma$ -твёрдый раствор с ГЦК решёткой.

Наиболее низкой жаропрочностью обладает «старый» сплав ХН77ТЮ.

Улучшение достигается введением в малых количествах бора В и церия Се (сплав ХН77ТЮР) – связывают вредные примеси в тугоплавкие соединения.

Введение кобальта Со, молибдена Мо, вольфрама W (сплавы нимоник 90 и 100) также повышает жаропрочность.

# Жаропрочные свойства жаропрочных никелевых сплавов

Марка сплава	Кратковременная прочность, МПа			Длительная прочность, МПа				
				$\sigma_{100}$			$\sigma_{1000}$	
	°С	600	700	800	600	700	800	700
ХН77ТЮ (ЭИ437)	880	680	550	580	360	140	280	100
ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	950	850	560	680	420	200	350	120
ХН70ВМТЮ (ЭИ617)	990	900	750	-	500	290	380	-
Нимоник 90	1000	800	630	-	430	210	340	140
Нимоник 100	1150	1050	750	-	500 <sup>13</sup>	290	420	200

# Применение

Лопатки, диски турбин турбореактивных двигателей