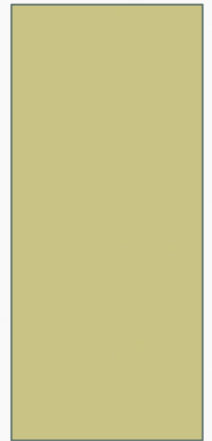


Тема 2.3. Цветные металлы и сплавы

СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ МЕДИ, ТИТАНА, НИКЕЛЯ

МАРКИРОВКА, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЯЕМОСТЬ



Медь и медные сплавы

Медь:

- температура плавления - **1083°С**;
- плотность при 20°С - **8,96 г/см³**;
- кристаллическая решетка -
гранецентрированная кубическая.

Механические свойства меди высокой чистоты:

$$\sigma_B = 220 \text{ МПа}, \delta = 50 \text{ \%};$$

Маркировка меди:

М00 (99,99 % Cu), **М0** (99,97 % Cu), **М1** (99,9% Cu),
М2 (99,7 % Cu), **М3** (99,5 % Cu).

Основные группы медных сплавов:

Латуни - сплавы на основе меди, в которых главным легирующим элементом является **цинк**.

Бронзы - сплавы на основе меди, в которых основной добавкой может быть любой элемент, кроме **цинка и никеля**.

Медноникелевые сплавы - это сплавы на основе меди, у которых основной легирующий элемент - **никель**.

Медные сплавы подразделяют на **деформируемые** и **литейные**.

Латуни

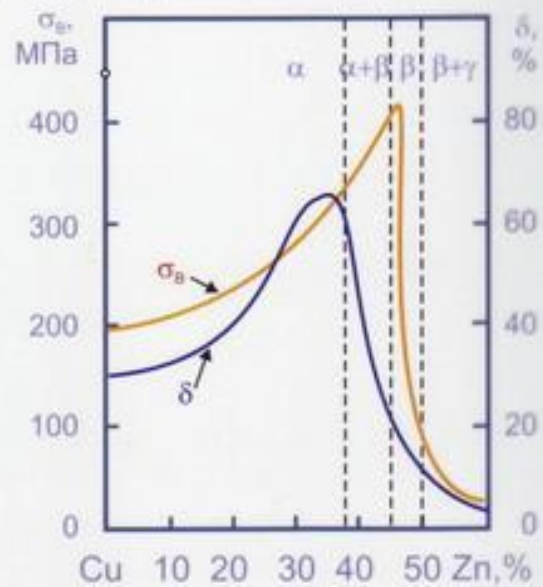
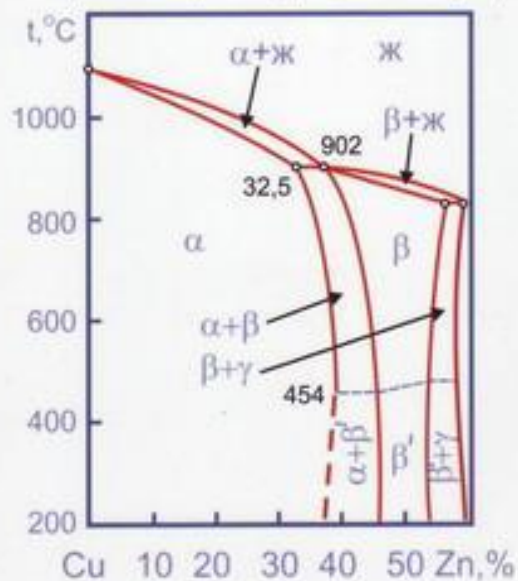
Латуни подразделяются по химическому составу на **двойные** и **многокомпонентные**, а по структуре на однофазные (α -латуни) и двухфазные (β -латуни).

Маркировка: Латуни обозначаются буквой **Л**. У двойных латуней за буквой **Л** идет **число**, указывающее содержание меди в процентах.

В марке **многокомпонентной** латуни после буквы **Л** ставят буквенное обозначение легирующих элементов, а затем **цифры**, указывающие содержание **меди** и **легирующих элементов**. (латунь марки **Л90** содержит **90% Cu** и **10% Zn**; латунь **ЛС59-1** содержит **59% Cu**, **1%Pb** и **40% Zn**).

В марках **литейных** латуней после буквы **Л** указываются буквы, обозначающие **легирующие элементы**, включая **цинк**.

За буквами следуют цифры, указывающие содержание легирующих элементов. Их обозначение: **алюминий - А**, **никель - Н**, **олово - О**, **свинец - С**; **железо - Ж**; **кремний - К**; **марганец - Мц**; **цинк - Ц**; **фосфор - Ф**, **бериллий - Б**.



Состав и механические свойства латуней

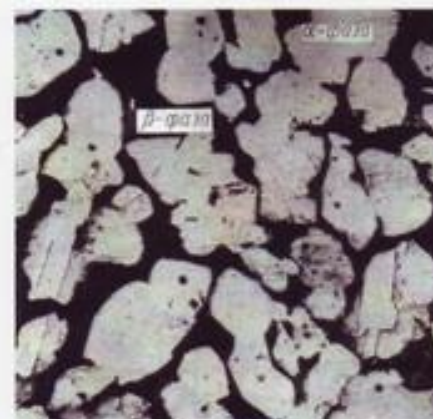
Марка сплава	Содержание, %		$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	Структура
	Cu	другие элементы			
	Деформируемые латуни				
Л90	88,0 - 91,0	-	260	44	α
Л68	67,0 - 70,0	-	330	56	α
Л63	62,0 - 65,0	-	360	49	α
ЛС59-1	57,0 - 60,0	Pb 0,8 - 1,9	420	40	$\alpha+\beta$
ЛЖМц59-1-1	57,0 - 60,0	Fe 0,6 - 1,2 Mn 0,5 - 0,8	450	50	$\alpha+\beta$
	Литейные латуни				
ЛЦ40С	57,0 - 61,0	Pb 0,8 - 2,0	300	30	
ЛЦ16К4	78,0 - 81,0	Si 3,0 - 4,0	380	15	
ЛЦ23А6ЖЗМц2	64,0 - 68,0	Al 4,0 - 7,0 Fe 2,0 - 4,0 Mn 1,5 - 3,0	650	7	

Структура однофазной латуни



x200

Структура двухфазной латуни



x200

Бронзы

Бронзы обозначаются буквами **Бр**, после чего следует буквенное обозначение легирующих элементов в порядке убывания их концентрации; в конце марки указываются средние концентрации соответствующих элементов.

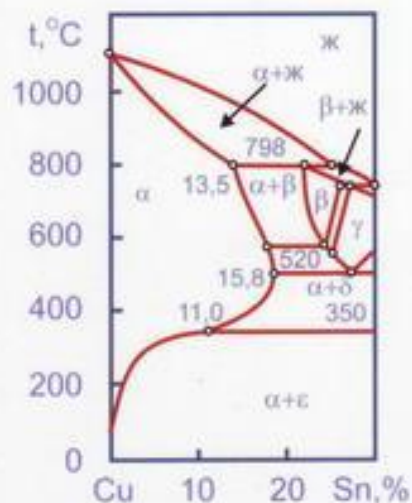
(Бронза **БрАЖ 9-4** содержит 9% **Al** и 4% **Fe**)

В марках литейных бронз содержание компонентов ставится сразу после буквы, обозначающей его название.

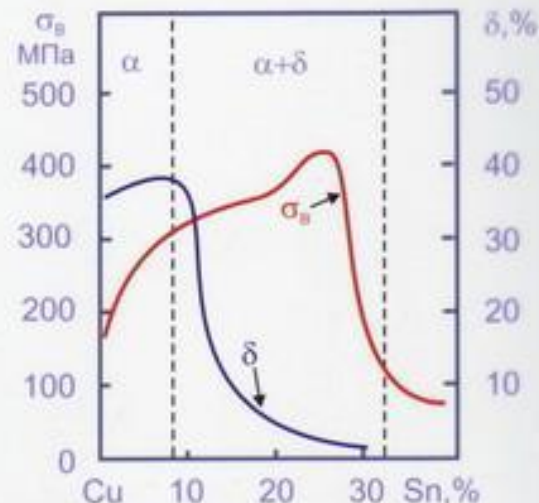
(Бронза **БрО5Ц5С5** содержит 5% **Sn**, 5%**Zn** и 5%**Pb**)

Оловянные бронзы

Диаграмма состояний
Cu-Sn



Влияние олова на свойства
сплавов



Оловянные бронзы

Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %				σ_B , МПа	δ , %	
	Sn	Pb	Zn	другие			
	Деформируемые бронзы						
БрОФ6,5-0,15	6,0-7,0	-	-	P 0,1-0,25	300	38	
БрОФ6,5-0,4	6,0-7,0	-	-	P 0,26-0,40	400	65	
БрОЦ4-3	3,5-4,0	-	2,7-3,3	-	350	40	
БрОЦС4-4-2,5	3,0-5,0	1,5-3,5	3,0-5,0	-	325	40	
	Литейные бронзы						
БрО10Ф1	9,0-11,0	-	-	P 0,4-1,1	220	3	
БрО5Ц5С5	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	-	180	4	
БрО3Ц7С5Н1	3,5-4,0	3,0-6,0	6,0-9,5	Ni 0,5-2,0	210	5	

Структура деформированной
бронзы с 5 % Sn после
рекристаллизации



x300

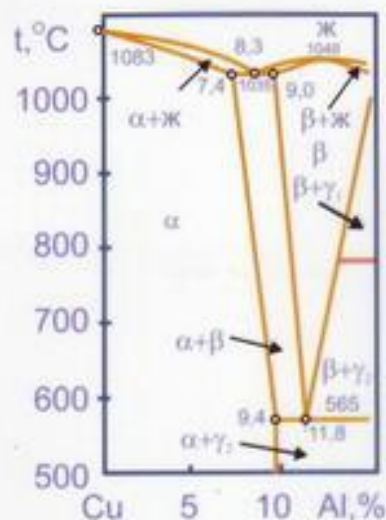
Структура литой бронзы
с 10 % Sn



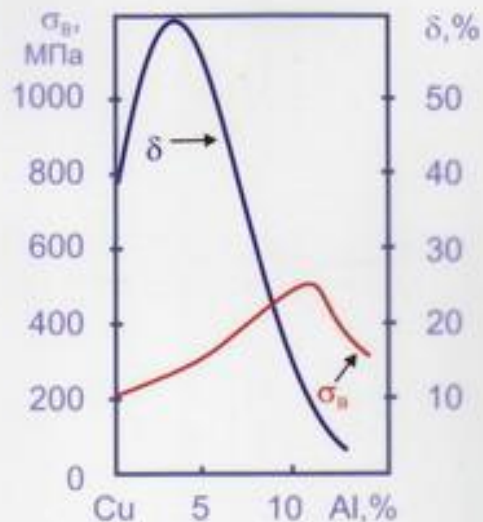
x250

Алюминиевые бронзы

Диаграмма состояний
Cu-Al



Влияние алюминия на свойства
сплавов

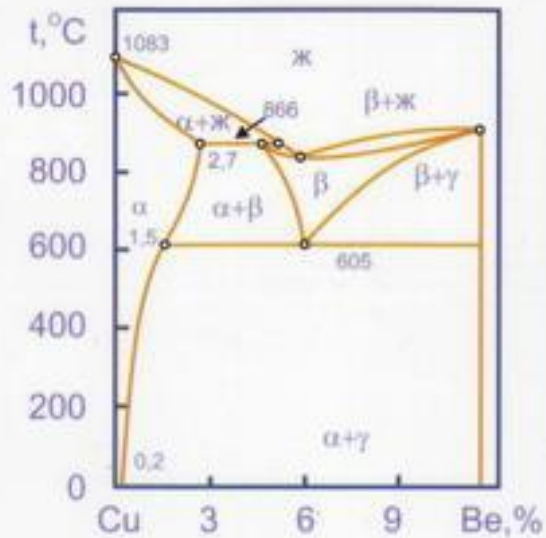


Состав и механические свойства бронз

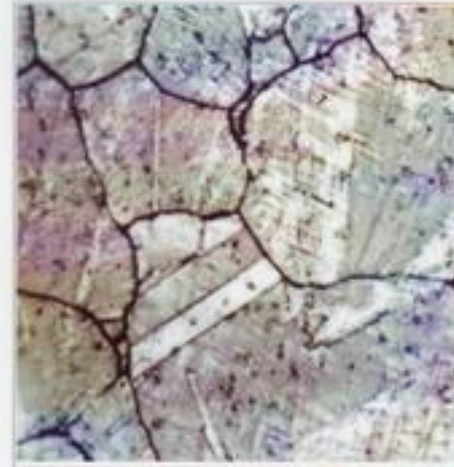
Марка сплава	Содержание, %			σ _в , МПа	δ, %
	Al	Mn	Fe		
Деформируемые бронзы					
БрАЖ9-4	8,0-10,0	-	2,0-4,0	550	40
БрАЖМц10-5-1,5	9,0-11,0	1,0-2,0	2,0-4,0	600	20
Литейные бронзы					
БрА9Ж3Л	8,0-10,5	-	2,0-4,0	400	10
БрА10Ж3Мц2	9,0-11,0	1,0-3,0	2,0-4,0	400	10

Бериллиевые бронзы

Диаграмма состояний
Cu-Be



Структура бронзы БрБ2



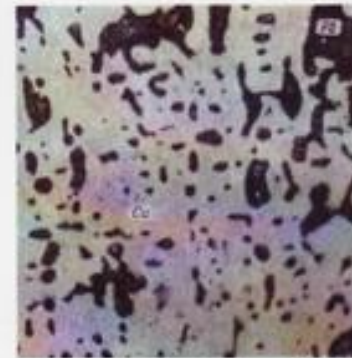
x800

Состав и свойства бериллиевых бронз

Марка сплава	Содержание, %			Термическая обработка	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %
	Be	Ni	Ti			
БрБ2	1,9-2,2	0,2-0,5	-	Закалка от 760-780°C старение 320-350°C 2-5 часов	1150	4
БрБНТ1,7	1,6-1,85	0,2-0,4	0,1-0,25	Закалка от 760-780°C старение 320-350°C 2-5 часов	1000	5

Свинцовые бронзы

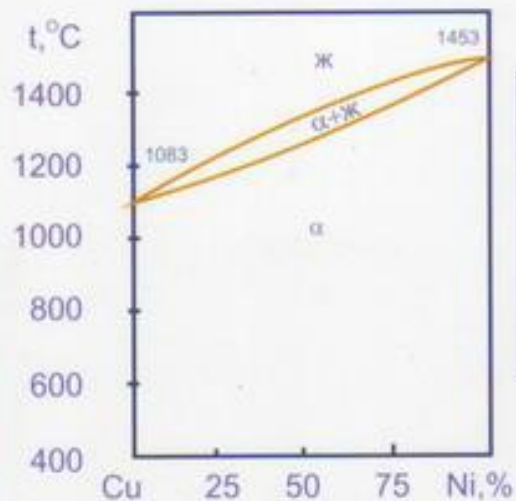
Марка сплава	Содержание, %		$\sigma_{в}$, МПа	δ , %
	Pb	Ni		
БрС30	27-33	-	60	4
БрСН60-2,5	57-63	2,25-2,75	30	5



x250

Медноникелевые сплавы

Диаграмма состояний
Cu - Ni



Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %		$\sigma_{в}$, МПа	δ , %
	Ni+Co	Zn		
МН19 мельхиор	18-20	-	400	35
МНЦ15-20 нейзильбер	13,5 - 16,5	18 - 22	415	40

Титан и титановые сплавы

Титан:

- температура плавления - **1668°C**;
- плотность при 20°C - **4,5 г/см³**;

Имеет полиморфное превращение: $Ti_{\alpha} \leftrightarrow Ti_{\beta}$

выше 882°C - Ti_{β} с объемноцентрированной кубической решеткой **ОЦК**;

ниже 882°C - Ti_{α} с гексагональной плотноупакованной решеткой **ГП**

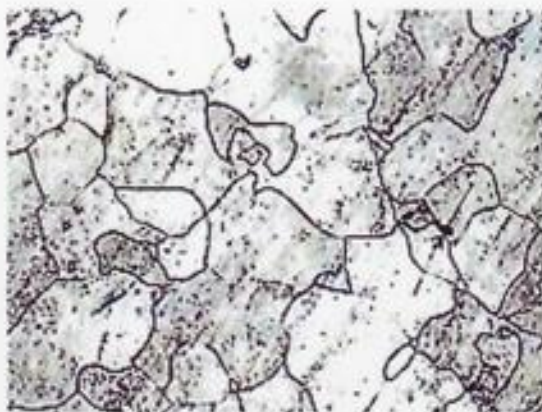
Механические свойства чистого титана:

$$\sigma_B = 250 \text{ МПа}, \delta = 50 \text{ \%};$$

Маркировка титана: **BT1-00** (99,53 % Ti),
BT1-0 (99,46 % Ti)

При быстром охлаждении с температур, превышающих 882°C, может происходить мартенситное превращение (с образованием игольчатой структуры).

Микроструктура технического титана



После отжига x100



После быстрого
охлаждения x300

Деформируемые титановые сплавы

Маркировка:

буквы **BT** или **OT**, за которыми следует **число**, обозначающее условный номер сплава.

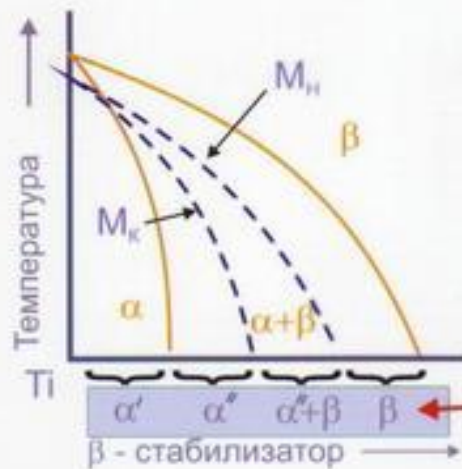
Классификация сплавов:

- α - сплавы;
- псевдо α - сплавы, содержащие до 5 % β - фазы;
- $(\alpha+\beta)$ - сплавы;
- β - сплавы.

Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %				Термическая обработка	σ_B , МПа	δ , %
	Al	V	Mo	другие			
BT5-1	α - сплавы				отжиг 800-850 °С	780	10
	4,0-6,0	-	-	Sn 2,0-3,0			
OT4-1	Псевдо α - сплавы				отжиг 740-760 °С	680	11
	3,5-5,0	-	-	Mn 0,8-2,0			
BT20	5,5-7,5	0,8-1,8	0,5-2,0	Zr 1,5-2,5	отжиг 700-800 °С	960	8
BT6	$(\alpha+\beta)$ - сплавы				закалка 900-950 °С старение 450-550 °С	1050	10
	5,5-7,0	4,2-6,0	-	-			
BT14	5,6-6,3	0,9-1,9	2,5-3,8	-	закалка 870-910 °С старение 480-560 °С	1180	6
BT20	4,5-5,9	4-5,5	4-5,5	Cr 0,5-2,0	закалка 700-760 °С старение 500-660 °С	960	10

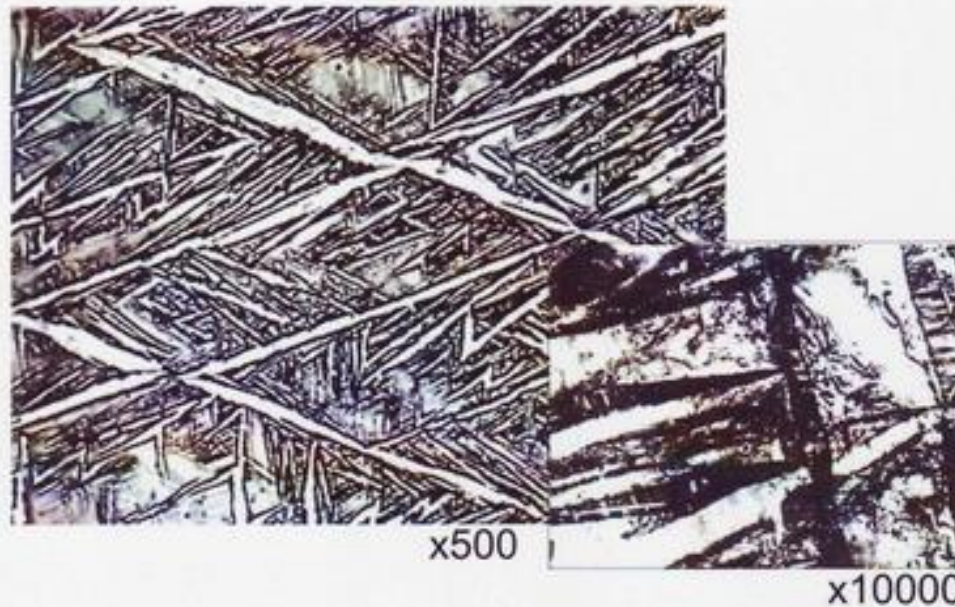
Деформируемые титановые сплавы



Мартенситные фазы:
 α' - с гексагональной
решеткой;
 α'' - с ромбической
решеткой.

Структура после
заковки из β -области

Структура сплава с α' - мартенситом



Литейные титановые сплавы

Маркировка литых сплавов такая же, как и деформируемых, но в конце маркировки ставят букву **Л**.

В литых сплавах допускается большее содержание примесей, чем в деформируемых.

Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %				Термическая обработка	σ_B , МПа	δ , %
	Al	V	Mo	другие			
BT5Л	4,1-6,2	-	-	-	отжиг 800-850°C, охл. на воздухе	700	6
BT20Л	5,5-7,5	0,8-1,8	0,5-2,0	Zr 1,5-2,5	отжиг 700-800°C, охл. на воздухе	930	8
BT6Л	5,0-6,5	3,5-4,5	-	-	закалка от 900-950°C старение 450-550°C	850	5
BT14Л	4,3-6,3	0,9-1,9	3,5-3,8	-	отжиг 740-760°C	880	5

Никель и никелевые сплавы

Никель:

- температура плавления - **1455°C**;
- плотность при 20°C - **8,9 г/см³**;
- кристаллическая решетка -
гранецентрированная кубическая.

Механические свойства никеля высокой чистоты:

$$\sigma_B = 280 \text{ МПа}, \delta = 50 \text{ \%};$$

Маркировка технически чистого никеля:

НП1 (99,9 % Ni+Co), **НП2** (99,5 % Ni+Co),
НП3 (99,3 % Ni+Co), **НП4** (99,0 % Ni+Co).

Жаростойкие никелевые сплавы

Марка сплава	Содержание, %					Применение
	C	Cr	Al	Si	Ti	
X20H80 (нихром)	<0,12	20-23	-	0,4-1,5	-	электронагреватели до 1100°C
XH70Ю	<0,12	26-29	2,8-3,5	<0,8	-	детали камер сгорания до 1200°C
XH78T	<0,12	19-22	-	<0,8	0,15-0,3	детали камер сгорания до 1000°C

Деформируемые никелевые сплавы

Маркировка сплавов:

1) Марка сплава состоит из букв, обозначающих элементы, входящие в его состав. Обозначения элементов, такие же, что и у сталей. Марка сплава начинается с буквы **X** (хром), затем идет **N** и цифра, указывающая среднее содержание никеля, а далее буквы, обозначающие остальные элементы (**XN77TЮP**).

2) используются условные обозначения, не имеющие отношения к химическому составу сплавов (**ЭИ437Б**).

Влияние количества γ' -фазы на длительную прочность

Состав сплавов

Марка сплава	Содержание, %			
	Cr	Al	Ti	другие
XN77TЮP (ЭИ437Б)	19-22	0,6-1,0	2,4-2,8	B <0,01 C <0,12
XN70BMTЮ (ЭИ617)	13-16	1,7-2,3	1,8-2,3	Mo 2,0-4,0 W 5,0-7,0 V 0,1-0,5 C <0,12
XN55BMTKЮ (ЭИ929)	9-12	3,6-4,5	1,4-2,0	Mo 4,0-6,0 W 4,5-6,5 V 0,2-0,8 Co 12-16 C <0,12



Термическая обработка:

ЭИ437Б - закалка от 1080-1120°C, старение при 700-750°C, 16ч;

ЭИ617 - закалка от 1180-1200°C, закалка от 1040-1060°C и старение при 800°C, 16ч;

ЭИ929 - закалка от 1190-1210°C, закалка от 1040-1080°C и старение при 850°C, 8ч;

Жаропрочные никелевые сплавы

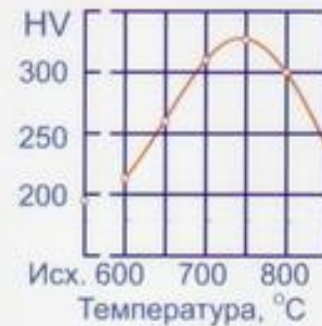
Термическая обработка сплавов Ni-Cr-Ti-Al:
закалка и старение.

Упрочнение при старении обеспечивает γ' -фаза - $Ni_3(Ti,Al)$ с решеткой ГЦК..

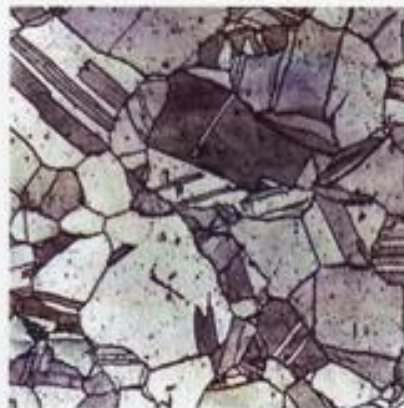
Схема термической обработки



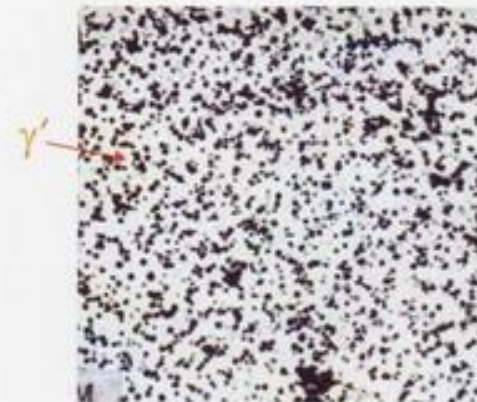
Изменение твердости сплава ХН77ТЮР при старении (16ч)



Структура сплава ХН77ТЮР после старения 750°C, 16ч



x100

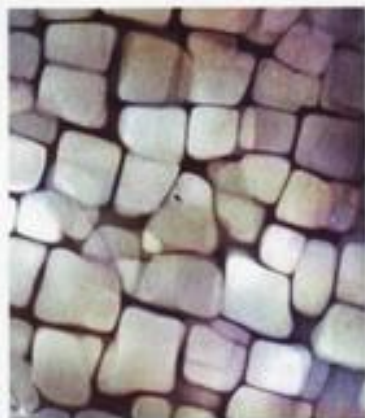


x20000

Литейные никелевые сплавы

Литейные сплавы содержат 45-60 % γ' -фазы

Структура литого сплава



x20000

Направленная кристаллизация



x75

Марка сплава	Содержание, %				Рабочие температуры, °C	Длительная прочность, σ_{100}^{800} , МПа
	Cr	Al	Ti	Другие		
ЖС6К	10,5 - 12,5	5,0 - 6,0	2,5 - 3,0	Mo 3,5-4,5 W 4,5-5,5 Co 4,0-5,0 B < 0,02 C=0,13-0,2	850-1050	520

Термическая обработка сплава ЖС6К:
закалка от 1210-1230°C и старение 950°C, 2ч