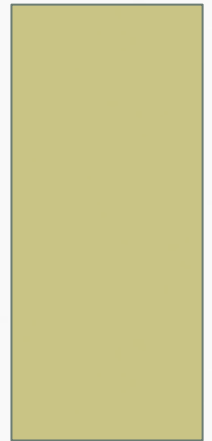


Тема 2.3. Цветные металлы и сплавы

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:

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

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

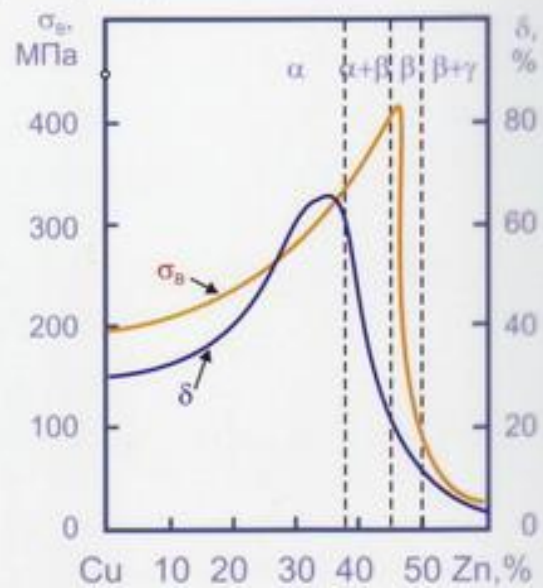
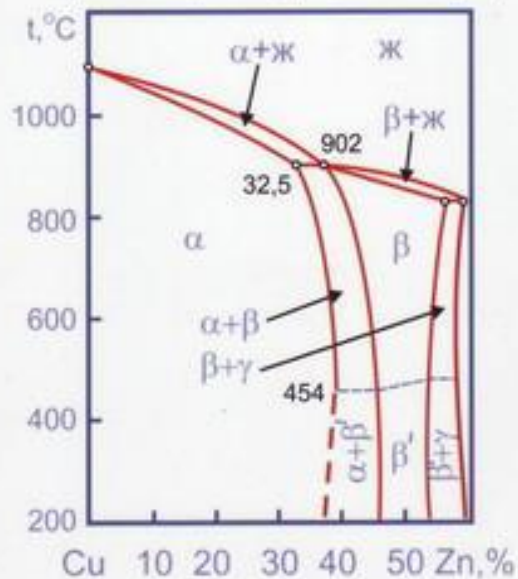
Латуни подразделяются по химическому составу на **двойные** и **многокомпонентные**, а по структуре на однофазные (α -латуни) и двухфазные (β -латуни).

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

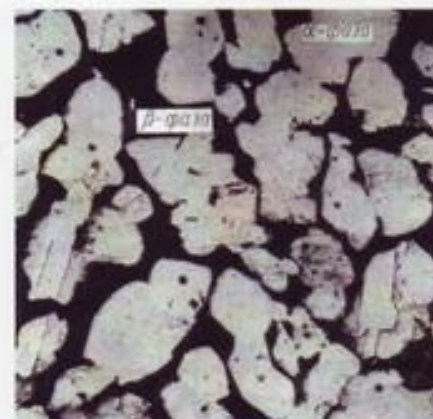
| Марка сплава | Содержание, % | | $\sigma_{в}$, МПа | δ , % | Структура |
|--------------|-----------------------------|--|--------------------|--------------|----------------|
| | Cu | другие элементы | | | |
| | Деформируемые латуни | | | | |
| Л90 | 88,0 - 91,0 | - | 260 | 44 | α |
| Л68 | 67,0 - 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.

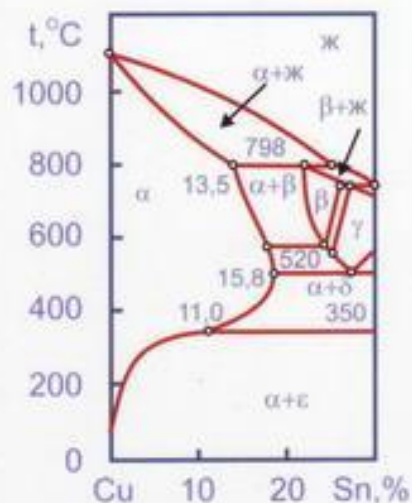
(Бронза **БрАЖ 9-4** содержит 9% **Al** и 4% **Fe**)

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

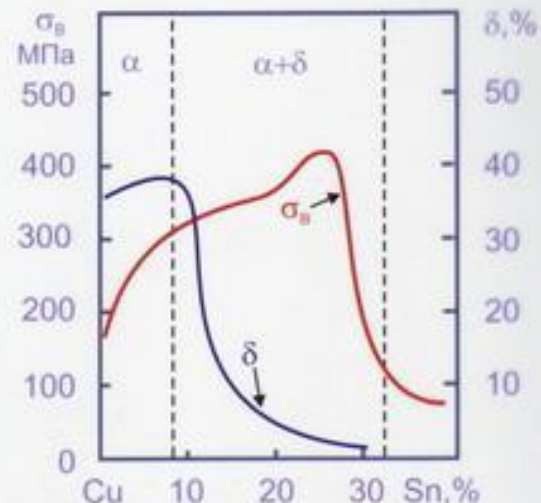
(Бронза **БрО5Ц5С5** содержит 5% **Sn**, 5%**Zn** и 5%**Pb**)

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

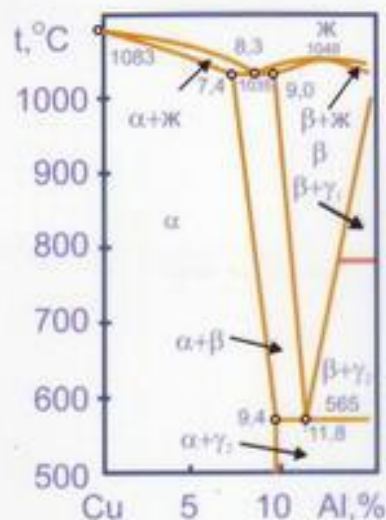
Структура литой бронзы
с 10 % Sn



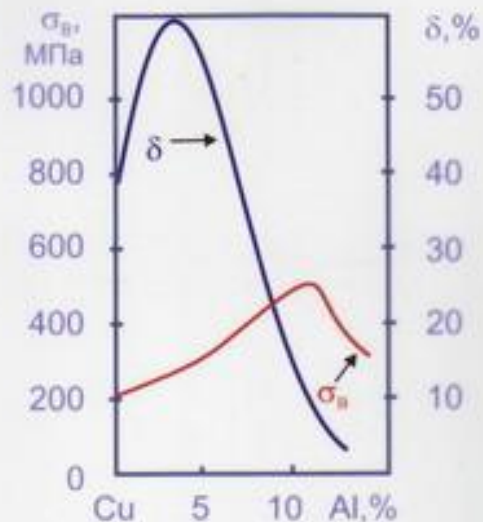
x250

Алюминиевые бронзы

Диаграмма состояний
Cu-Al



Влияние алюминия на свойства
сплавов

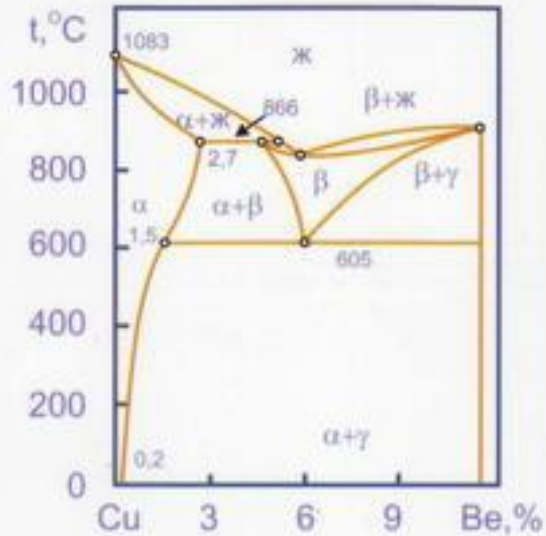


Состав и механические свойства бронз

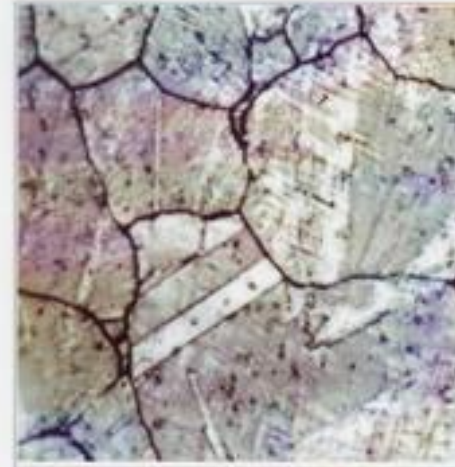
| Марка сплава | Содержание, % | | | σ_B , МПа | δ , % |
|-----------------------------|---------------|---------|---------|---------------------|-----------------|
| | Al | Mn | Fe | | |
| Деформируемые бронзы | | | | | |
| БрАЖ9-4 | 8,0-10,0 | - | 2,0-4,0 | 550 | 40 |
| БрАЖМц10-5-1,5 | 9,0-11,0 | 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



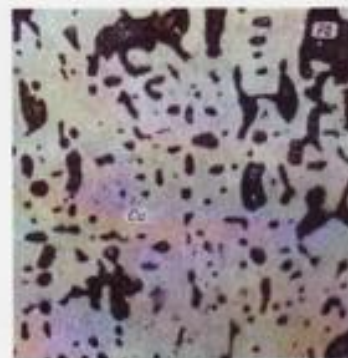
x800

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

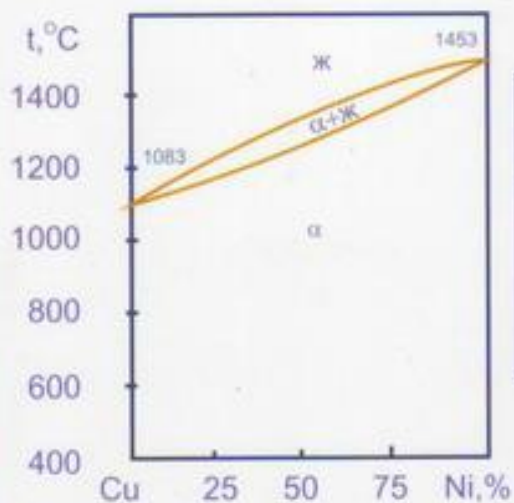
| Марка сплава | Содержание, % | | $\sigma_{в}$, МПа | δ , % |
|-------------------|---------------|-----------|--------------------|--------------|
| | Pb | Ni | | |
| БрС30 | 27-33 | - | 60 | 4 |
| БрСН60-2,5 | 57-63 | 2,25-2,75 | 30 | 5 |



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:

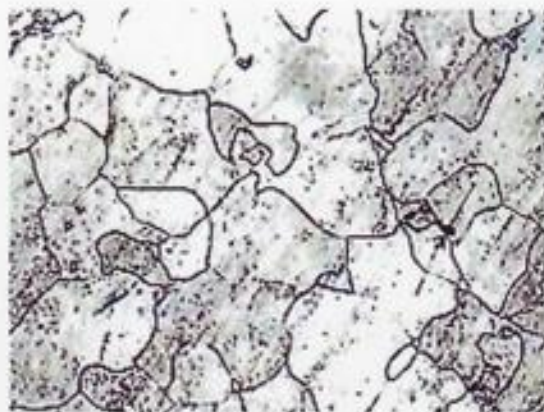
$$\sigma_b = 250 \text{ МПа}, \delta = 50 \%$$

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.

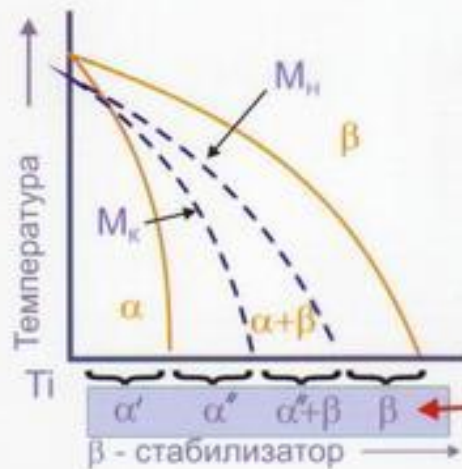
Классификация сплавов:

- 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 °C | 780 | 10 |
| | 4,0-6,0 | - | - | Sn 2,0-3,0 | | | |
| OT4-1 | Псевдо α - сплавы | | | | отжиг 740-760 °C | 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 °C | 960 | 8 |
| BT6 | $(\alpha+\beta)$ - сплавы | | | | закалка 900-950 °C старение 450-550 °C | 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 °C старение 480-560 °C | 1180 | 6 |
| BT20 | 4,5-5,9 | 4-5,5 | 4-5,5 | Cr 0,5-2,0 | закалка 700-760 °C старение 500-660 °C | 960 | 10 |

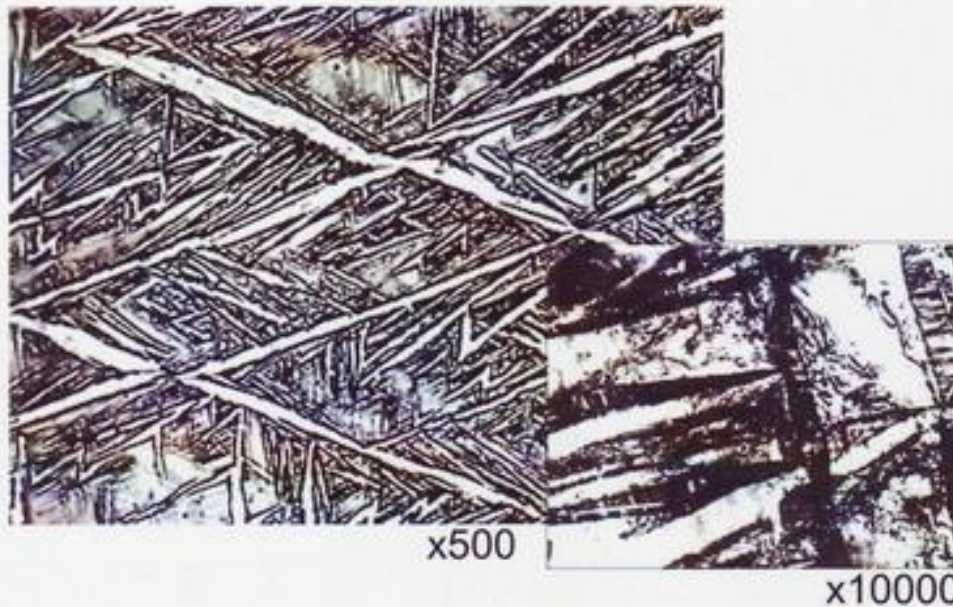
Деформируемые титановые сплавы



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

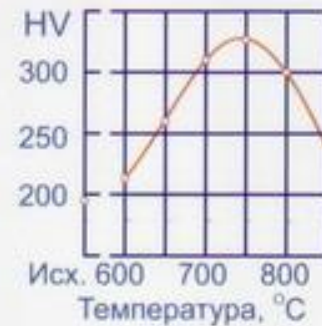
Термическая обработка сплавов Ni-Cr-Ti-Al:
закалка и старение.

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

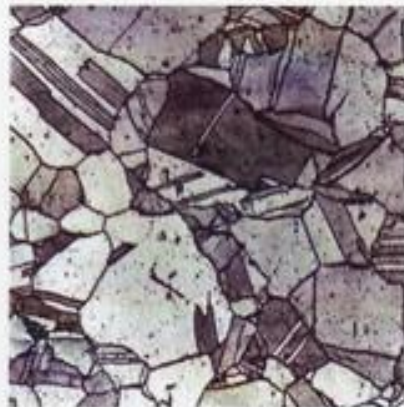
Схема термической обработки



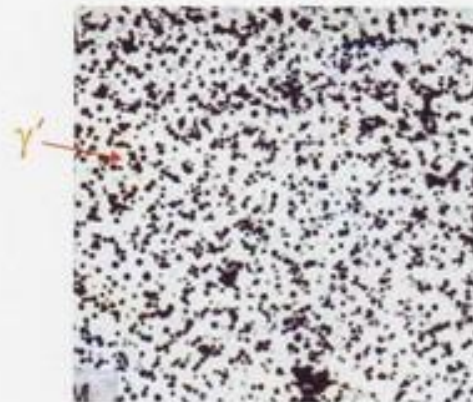
Изменение твердости сплава ХН77ТЮР при старении (16ч)



Структура сплава ХН77ТЮР после старения 750°C, 16ч



x100

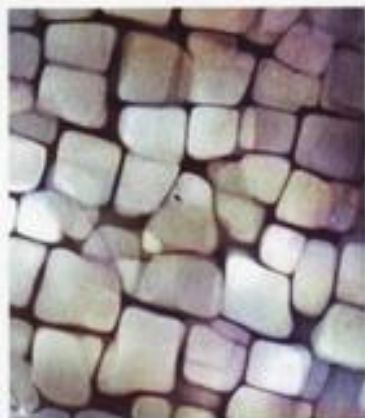


x20000

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