



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Курс лекций

«Материаловедение и материалы электронных средств»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Курс лекций

«Материаловедение и материалы электронных средств»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Курс лекций «Материаловедение и материалы электронных средств» /
Коллектив авторов –
М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 117 с.: ил.

В курсе лекций рассмотрены основные этапы курса «Материаловедение и материалы электронных средств».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

АННОТАЦИЯ

В курсе лекций рассмотрены основные темы курса «Материаловедение и материалы электронных средств» такие как: виды металлических сплавов, способы их получения, виды металлических сплавов, которые используются при изготовлении непосредственно электронной радио аппаратуры, сравнительные характеристики различных способов, оценка их с точки зрения экономичности и технологичности.

ANNOTATION

The course of lectures addressed the main themes of the course "Materials and supplies electronic means," such as: types of metal alloys, methods for their preparation, the types of metal alloys that are used directly in the manufacture of radio electronic equipment, the comparative performance of different methods, evaluation of them in terms of efficiency and manufacturability.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 6 |
| 1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ..... | 7 |
| 1.1 Лекция 1..... | 7 |
| 1.2 Лекция 2..... | 19 |
| 1.3 Лекция 3..... | 25 |
| 1.4 Лекция 4..... | 36 |
| 1.5 Лекция 5..... | 44 |
| 1.6 Лекция 6..... | 58 |
| 1.7 Лекция 7..... | 32 |
| 1.8 Лекция 8..... | 35 |
| 1.9 Лекция 9..... | 40 |
| 1.10 Лекция 10..... | 48 |
| 1.11 Лекция 11..... | 59 |
| 1.12 Лекция 12..... | 68 |
| 1.13 Лекция 13..... | 75 |
| 1.14 Лекция 14..... | 88 |
| 1.15 Лекция 15..... | 96 |
| 1.16 Лекция 16..... | 105 |
| ВЫВОДЫ..... | 116 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКО..... | 117 |

ВВЕДЕНИЕ

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Зябровым А. А. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к экзамену по предмету «Материаловедение и материалы электронных средств».

1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И
МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Материаловедение (лек)

05.09.07

Зябров Александр Александрович

Суббота 02.09.12⁰⁰

лаб. раб.

Строение и св-ва материалов.

- II -

твердые тел:

Аморфные и кристаллич.

Аморфное тело: нет порядка в расположении частицы (случайной и беспорядок), нет t° таяния (с увелич. t° становится вязкое), случайная макроформа. Пример: стекло, амальгама, воск. Может переходить в кристаллическое (напр. при повыш. t°). Аморф. в-во - пересыщенный раствор в-во.

Жидкие кристаллы: сост. из молекул разного вида (цепочек, спиральной, стерж.). В к.-мод. ж. поле приобретают ориентацию. Пример: мыльная вода.

Наноструктурные материалы: междоузельное строение, нет кристаллич. решетки. Обладают св-вами: прочность, жар-ст. Такие материалы неустойчивые. Увеличивают пор. диаметры ствей.

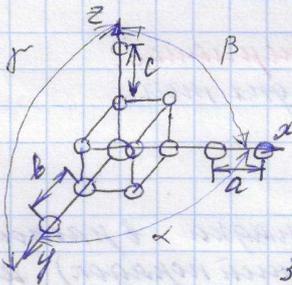
Строение и св-ва тв. кристаллич. тел.

- имеют строгий порядок расположения атомов, t° таяния, тип связи и/или тип частиц, опред. тип кристаллич. реш., опред. хим. состав, все св-ва физ. св-ва (все в совокупн.).
- структура: макроструктура, микро-структура [10^{-7} - 10^{-6} м], тонкая структура [10^{-10} - 10^{-12} м], разное стр. раст. и/или атомными, тип крист. реш. (рентгеновское излучение).

Кристаллография — наука, изуч. св-ва и строения кристаллич. тел.

Элементы кристаллографии.

Кристаллическая решетка
элементарная ячейка



- 1) a, b, c — период кристаллич. решетки.
- 2) α, β, γ — углы между гранями э. ячейки

- 3) n — коли-во атомов, образующее ячейку.

$$n = \frac{1}{8} \cdot 8 = 1$$

- 4) k — координационное число: коли-во атомов, находящихся на ближайшем и одинак. расст. от любого выбранного

$$k = 6$$

- 5) $\eta = \frac{V_{атм}}{V_{яч}}$ — коэффициент компактности

0,34; 0,52; 0,68; 0,72;
атомы

- 6) поры — промежутки, пустоты:

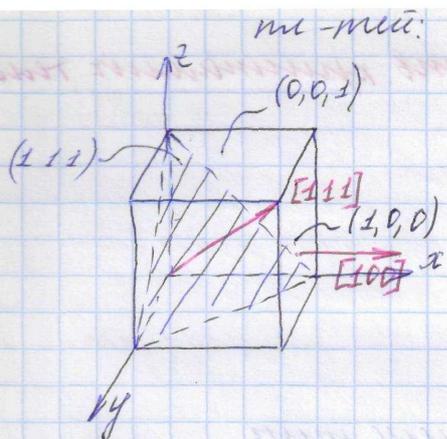
тетраэдрические: $r_+ = 0,22 R_{AT}$



октаэдрические: $r_0 = 0,41 R_{AT}$



- 7) индексы мл-тей и направлений (миллер)



$$(h, k, l)$$

$$h = \frac{1}{m}; k = \frac{1}{n}; l = \frac{1}{p}$$

m, n, p - отрезки, отсекаемые mi-тей от осей x, y, z в периодической кристаллической решетке.

$\{111\}$ - семейство mi-тей

направлений:

$$[u, v, w]$$

координаты конца вектора

$\{[111]\}$ - семейство направлений

8) Кол-во атомов в mi-теях разное. Плотность упаковки.

∃ огромное кол-во типов кристаллических реш. Образование того или иного типа кр. реш. зависит от 2х осн. факторов: 1) осн. ρ -ров элементар. частиц; 2) тип связи между ними. Частицами. У одного и того же элем. At та м.б. неск. типов кристаллических реш. (полиморфизм). Каждый отдельно взятый тип - полиморфная модификация. Переход от 1й реш. к др. - полиморфн. превращ. - элементарн. при определ. t° .

Пример: Fe, Ti, Zn, Sn. Кажд. полиморф. модификация ∃ в опред.-м интервале температур.

Fe: $90-911^\circ\text{C}$ - Fe α - ОУК
 $911-1392$ - Fe γ - ГЦК
 $1392-1538$ - Fe δ - ОУК

Типы связей в тв. кристаллич. телах.

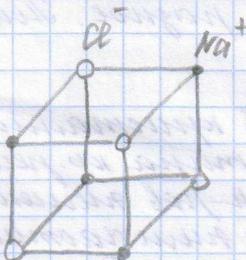
1. Ионный
2. Металлический
3. Ковалентный
4. Молекулярный

У большинства в-в - смесь тип.

12.09.07.

Ионный - связь обусл. за счет сил электростатич. притяжения между ионами.

NaCl "Шпинель"



$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

$\frac{1}{8}$ часть элементарной ячейки.

$$K = 6$$

Связь сильная, ненаправленная. Все в-ва с такой связью твердые, не хрупкие, обладают высокой электростатической.

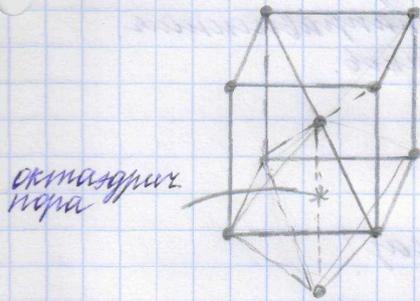
Металлич. тип связи. - между металлами, ненаправленная, сильная. имеет неск. типов, рн-ки:



все в-ва с ме типом св. - проводники - ме-связь

Объемно центрированный куб (ОЦК). (К8)

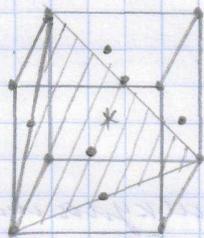
Fe, Cr, Mo, W, V, Nb



$$\begin{aligned} a &= b = c \\ \alpha &= \beta = \gamma = 90^\circ \\ n &= 8 \cdot \frac{1}{8} + 1 = 2 \\ K &= 8 \\ \eta &= \frac{V_{ат}}{V_{кв}} = 0,68 \\ ППЧ &= \{110\} \end{aligned}$$

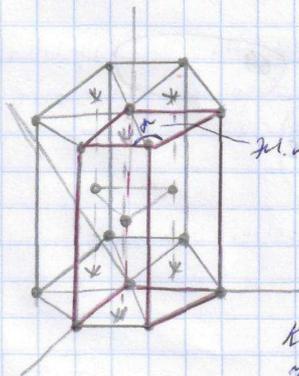
Гранецентрированный куб (ОЦК) (К12)

Fe, Pt, Au



$$\begin{aligned} a &= b = c \\ \alpha &= \beta = \gamma = 90^\circ \\ n &= 8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4 \\ K &= 12 \\ \eta &= 0,74 \\ ППЧ &= \{111\} \end{aligned}$$

Гексагональная (Г12)



Зон. ячейка

$$\begin{aligned} a &= b \neq c; \frac{c}{a} > 1. \\ \alpha &= \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ \\ K &= 12 \end{aligned}$$

$K = 12$, если $\frac{c}{a} = 1,633$ у Mg, Co "магнетическая связь".

$K = 6$, если $\frac{c}{a} > 1,633$

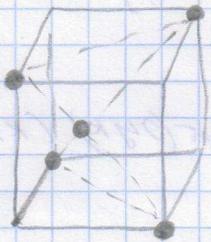
$K = 6$, если $\frac{c}{a} < 1,633$

1774 {002}

Ковалентная связь. (ков. кристаллы)

Совместное использование соседними атомами парей π -эв. Связь сильная, направленная. Характерна для полупроводников.

\overline{IV} \overline{IV} \overline{IV}
Ge, Si, C



тип „Алмаз“

Число π -эв. ячейки

$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

$$K = 4$$

$$\eta = 0,34$$

Молекулярная связь

- между нейтральными молекулами за счет сил Ван-дер-Ваальса (слаб. сн. индуцир. поляризации).

политризация



индуцир.
диполь

CO_2, I_2

связь слабая, ненапр.

Строение и св-ва сплавов.

Сплав — смесь металлов, осн. — в худ. и более хим. эл-тов.

Способы получ-я: расплавление, прессование, порошковые.

Эл-ты, входящие в состав сплава — компоненты сплава. При получении сплава образуются фазы сплава. Фаза сплава — однородная часть, имеющая опред. состав, крист. реш. и границу раздела, при переходе к-ой св-ва меняются.

2 типа твердых фаз:

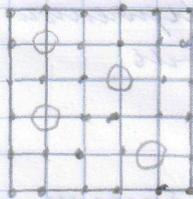
1. Тв. растворы

2. Промежуточные фазы.

1: Фаза определенного состава с крист. реш. — к-ой одного из компонентов, к-ой и к-ой — растворитель. (тот, к-й внедряется — растворимый)

В зав-ти от того, где нах-ся фаза растворимого компонента в крист. р-тв. — тв. р-р замещения и тв. р-р внедрения.

Тв. р-ры замещения



• А — растворитель

• В — растворимый

тв. р-р А(В)

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \sigma$

Нет порядка растворимых атомов, тогда упорядочив-ся. (сильн.) При упорядочении наблюдается экзотермическое изменение св-ва. (сверхструктура). С увеличением кон-ва растворимого эл-та период крист. реш. — к-й соответствует

и. увели, уменьш или ост неизменным если
 размер ат. растворяемого компонента
 соответственно $>$ $<$ или $=$ ради. атома р-тел.
 м.б. неограниченная растворимость комп-тов
 друг в друге при соблюдении всех 3х усл-ий
 сразу: 1) один и тот же тип кр. реш-ки
 2) одна и та же валентность
 3) близки по размеру атома (расход
 не более 48%).

Растворимость - которая больше.
 мех. св-ва мало меняются. Повышается
 электросопротивление.

Cu - Au
 Cu - Ni
 Ni - Cr
 Fe - Ni

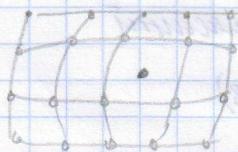
Тв. р-ра внедрения

- фаза переменного состава, в к-й атомы
 растворяемого комп-та нах-ся в порах кр. реш-ки
 растворителя.

Октаэдр. поры: $r_{окт} = 0,41 \text{ \AA}$
 тетраэдр. - " - : $r_{тет} = 0,22 \text{ \AA}$

мет + H, N, C, B

При увелич-ии кон-ва растворяемого тв-ра
 перед кр. реш. раст-ие увеличивается.



• - растворенный
 ○ - реш-ль

неогранич. растворимости быть не может
 мех. св-ва меняются значительно, чем
 у тв. р. замесу, ув. электросопротивления
 при увелич-ии конц-ии - большие дефекты
 и трещины

Прометаллическая фаза

14.09.07

переменного и постоянного состава, с высокой прочностью, не плавится на решетке ни одного из компонентов.

Пример: Fe_2C - цементит + C "Алмаз" → пром. фаза
 Fe_3C ромбоэдрич. реш-ка

$$HB_{Fe} = 80$$

$$HB_{Алмаз} = ?$$

$$HB_{Fe_3C} = 800$$

Ставь и состоит из разных типов тверд-р-ров и прометаллич. фаз. Пром. фаза улучшает мех. св-ва сталей.

Сталь - феррит ($Fe_2(Fe)$) + Fe_3C (цементит)

Дефекты твердых кристаллич. тел

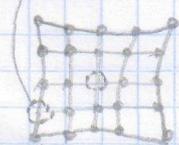
$$N_{деф} = 10^6 - 10^8 \text{ 1/см}^2$$

Виды дефектов:

- 1) точечные (нульмерные)
- 2) линейные
- 3) поверхностные
- 4) объемные

Точечные-деф, размер с размерами я. частицы (ат., ионов). В зав-ти от положения: вакансии и внедренные.

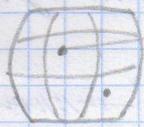
Вакансии - из-за повыш. t° увелич. объем → пористость, шумит. св мех. св-ва.



t° напрямую объясняется плотностью вакансий. (разрушил - е кр. реш. при опер. t°)

Вак. способств. диффузии и самодиффузии.

Внедренные атомы — это n - n чужеродные атомы, неэквивалентные, случайные.

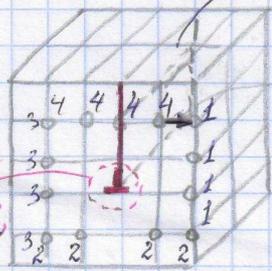


внедренные

внедр. и вакансии не компенсируют друг друга
линейные дефекты (одномерные):

дислокации — краевые и винтовые.

Краевая дислокация — ряд атомов, смещенных относительно равновесия в кристалле.
экстремальность

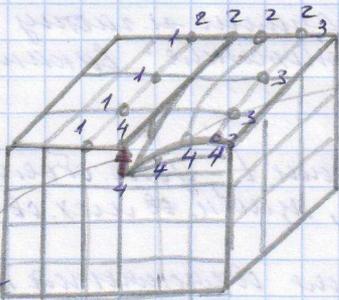


кр. дислок. и. перемещаемая.

b - n Бюргерса

линейная
дислокация
ось 1, 1

Винтовая

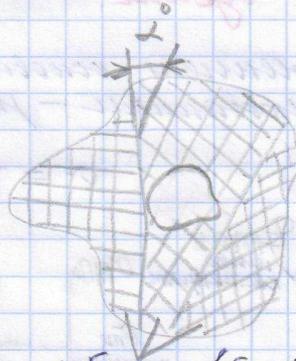
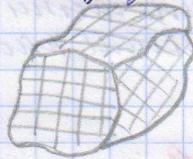


винтовая дислокация.

b - n Бюргерса

Вектор Тюрнера - замыкающий вектор при обходе дислокации по замкнутому контуру. Если в-р \vec{b} пер. в m -ти контура, то это краевая дислокация, если 1-н к m -ти - винтовая.

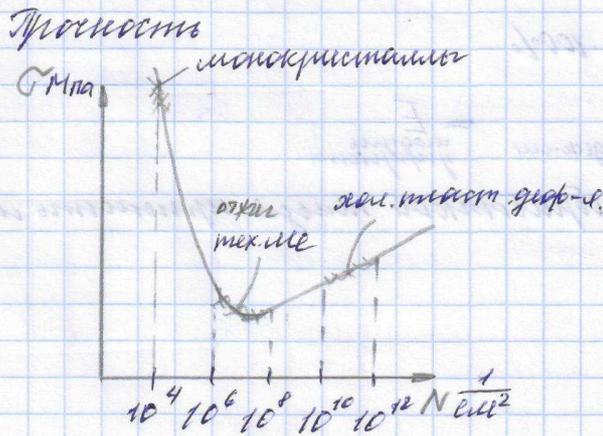
Поверхностные дефекты
 - пов-ть зерен, пов-ть субзерен (блоков).



объемный дефект

субзерна (блоки).

Влияние дефектов на св-ва мле



Пластическая деформация и рекристаллизация металлов
 - случ-е р-р-ов и фазовые под действием нагрузки (как внешне, так и внутр).

Формирование структуры и св-в при пластич. деф-ции.

Механизм пластич. деф-ции.
 - пути сдвига одной части зерна по отношению к другой. (под действием касательных напряжений).

Виды сдвига:

- 1) скользящим - основной
- 2) двойникованием - редкий.

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \text{ МПа}$$

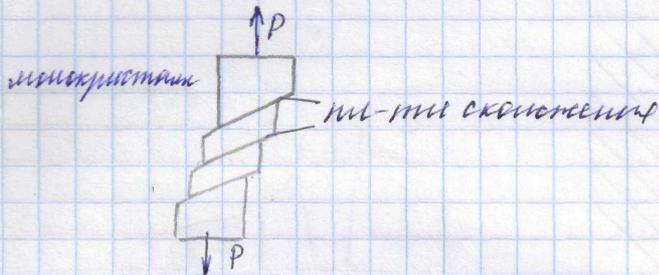


$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

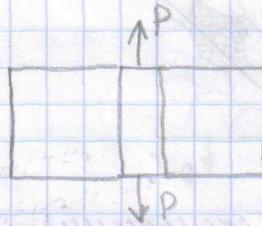
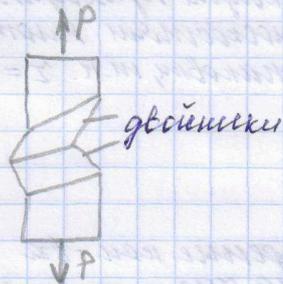
$$tg \alpha = \frac{\sigma_{упр}}{\delta_{упр \text{ деф-ции}}} = E_{\text{модуль упругости}}$$

Никакой обработкой нельзя изменить модуль упругости.

Сдвиг скольжениями



Сдвиг двойникованием



Механизм пластич. деформации
сдвига дислокационный
— сдвиг одной части кристалла или зерна
по отношению к другой врез-ные элементы —
дислокации в ни-ни сдвига.

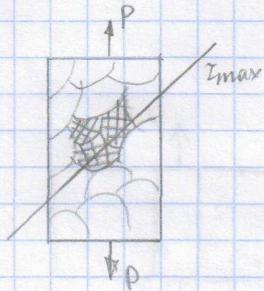
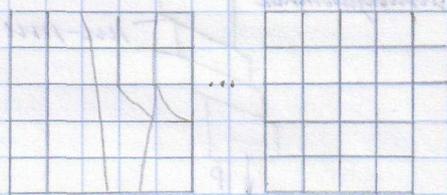
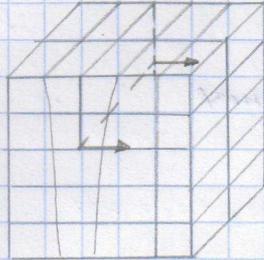
модуль упругости
напряж. кас. сдвига

$$E_{сдв} = \frac{E}{2\pi} = 0,16 E$$

модуль упругости

$$E_{сдв} = 10^{-4} E$$

19.09.07

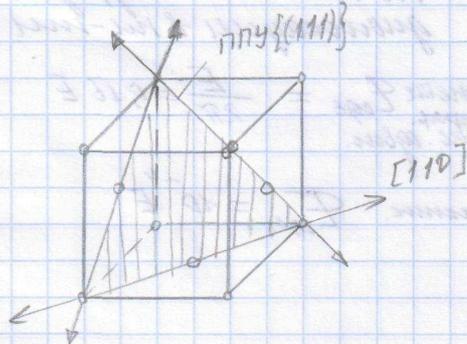


Един напряжением дислокации проходят по плоскостям плотнейшей упаковки, т.к. $\sigma = \min$

Системы скольжения — проведение кри-сталлических плоскостей плотной упаковки на чистом направлении для данной упаковки

Для КГК — ТцК системы скольжения = 12
 КС — ОКК = 48
 КС, ГКС — ТцК = 3

$$4(111) \times 3(110)$$



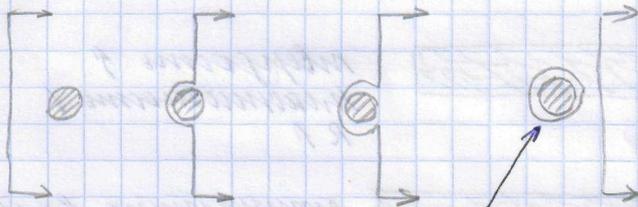
Пластич. деформации сплавов.

Наиб. пластичностью обладают монокристаллы.

Все сплавы - поликристал. (как правило)

Если сплав однофазный (каждое зерно однофазное), то их пластичность будет зависеть от уровня монокристаллов. Если сплавы многофазные, их пластичность будет зависеть от размера вкрапления второй фазы и количества (расстояния между).

Вторич. фазы - крупные с большим расстоянием между ними. Такие фазы снижают пластичность, т.к. дислокации могут их обойти.

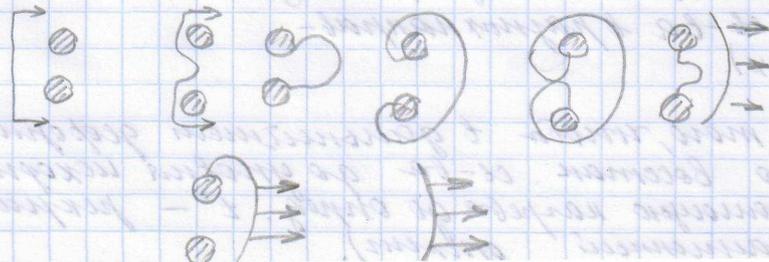


Если частицы мелкие и между ними маленькое расстояние, то они сами - сепарационные препятствиями.



Мин. пластичность, сплав твердеет.

При пластич. деформации плот-ть дислокаций возрастает, т.к. в процессе деформации одновременно с расходом генерируются нов. дислокации благодаря источнику Франка-Рида («генератор»)



Изменение микроструктур и свойств при пластич. деф-ции.

$\epsilon = 0\%$
деформация



Структура равномерная
твёрдость min,
пластичность max,
сопротивление на уровне
данного иле.

$\epsilon = 1\%$



$\epsilon = 40\%$



твёрдость ↑
пластичность ↓
R_п

$\epsilon = 80\%$

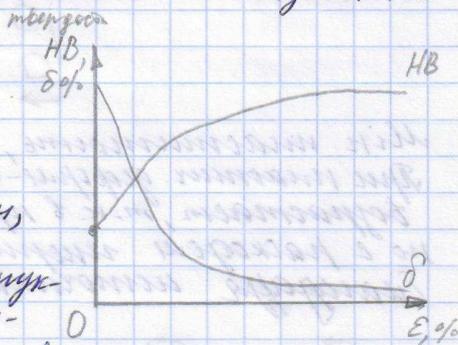


структура волокнистая
твёрдость max
пластичность min
R_п

Наибольшая деф-ция практически невозможна

Упрочнение, уменьшение
пластичности, изменение
св-ва — наклён.

Наклон — повыш-е твёрдости,
понижение пластичности,
образов-е волокнистой струк-
туры, наличие анизотро-
пии (св-ва в разных направ-
лениях).



Для того, чтобы в дальнейшем деформировать,
надо восстан. св-ва до уровня исходных
(с помощью нагрева до $\epsilon_{пр}$. t° — рекристал-
лизационный отжиг).

Рекристаллизация.

- процесс зарождения и роста нов. зерен.

$T_p = a T_m$, а коэф-т, завис. от чистоты и типа де или отава.

$a = 0,1 - 2$ - чистый

$a = 0,3 - 0,4$ - тех. чистый

$a = 0,5 - 0,6$ - для отав

$a = 0,7 - 0,8$ - для отав с термостабилизирующими элементами.

Для тех. чистого Fe $T_m = 1539^\circ\text{C}$

$a = 0,4$

$$T_p = 0,4 \cdot (1539 + 273) - 273 = 451,8^\circ\text{C}$$

Но T_p процесс, не связанный с зарождением зерен - возврат

отгр-ва
отгр.

понижения
необ.



При отгр-ве перераспред-е дислокаций.

незначительно на 8-10% твердость ↓
пластичность ↑

При достижении t_p процесс зарождения и роста нов. зерен.

Причина павл-е в нов. зерна: не стабилизируются, вост-е, т/д неустойч. деформируются (увелич. ρ дефектов, кристаллические зерна и т.д.).

Влияние структуры.

$t < t_p$

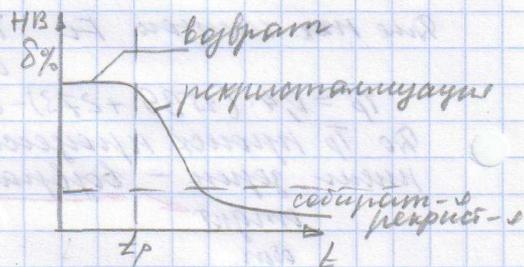
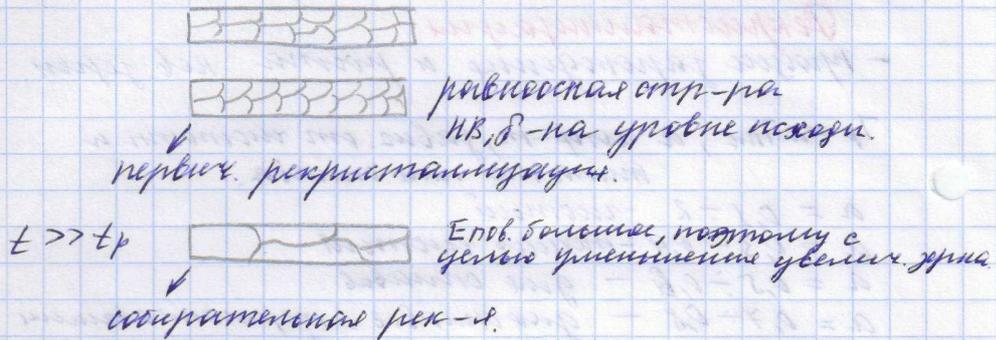


Возврат (возникновение отгр-ва, твердость и пластичность меняются на 8-10%).

$t \geq t_p$

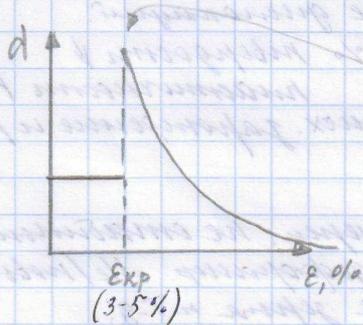


Появление зародков НВ ↓ δ ↑



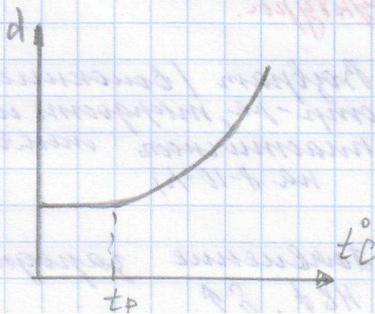
26.09.07.

Влияние деформации на рост зерна



Воспринимаемая сила рекристаллизационной энергии:

зарождение новых, более вероятности образования в области зерна.
До критического момента зарождения нет.



В $t_{кр}$ зарождение нет.

Термическая пластическая деформация —
деф-я при t° выше t° рекристаллизации.
Замедленная — — — — — менее.

При крат. тер. деф. наклеп не может.

$$\text{для Fe } t_{м} = 1539^\circ\text{C}$$

$$a = 0,4$$

$$t_p = [(1539 + 273) \cdot 0,4] - 273 = 452^\circ\text{C}$$

$$\text{для Sn } t_{м} = 232^\circ\text{C}$$

$$a = 0,5$$

$$t_p = [(232 + 273) \cdot 0,5] - 273 = -20^\circ\text{C}$$

Термическая обработка металлов и сплавов.

Термическая обработка — технологическая операция, состоящая из нагрева до опред. t° в зав-ти от вида и назначения термической обработки и выдержкой при данной t° и ~~ее~~ охлаждением.

Цель терм-ки: изменение структуры и св-в металлов и сплавов.

Виды терм-ки:

Отжиг

Закалка

Отпуск

Старение

Отличаются по назначению, t° нагрева, скорости охлаждения.

Отпуск — промежуточная термич. обработка. Заканчивается в масле, выдержке и очень медл. охлаждением. Вместе с печью

Заказку или отклик по стоимости не делают.

Выбор того или иного варианта при сроч. отпр - не целью и безден. ставка.

Типы ставок:

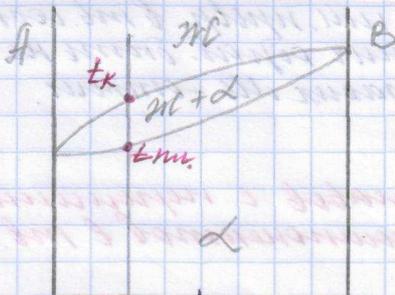
1. Не и ставка, не имеющие превращений в мв. составили

2. Ставка, имеющие превращение в мв. составили; x - л. в. выгоды:

а) превращение выгоды переменной процентной компонентой в мв. состав.

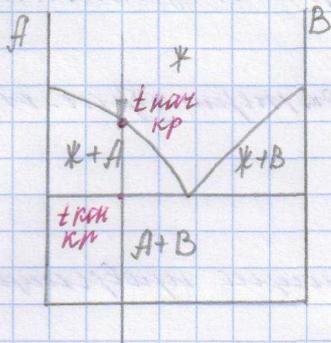
б) - и - процентной (ценной) компонентой в мв. составили.

Пример. обработка не и ставок, не им. превр. в мв. составили.

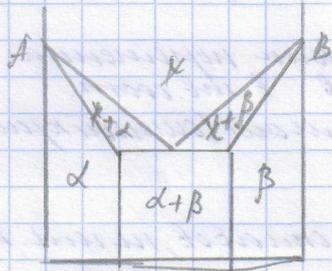


Фигур. где мв. имеет неограниченный потенциал.

100% A 50% A 0% A
0% B 50% B 100% B
45% A
25% B
пример



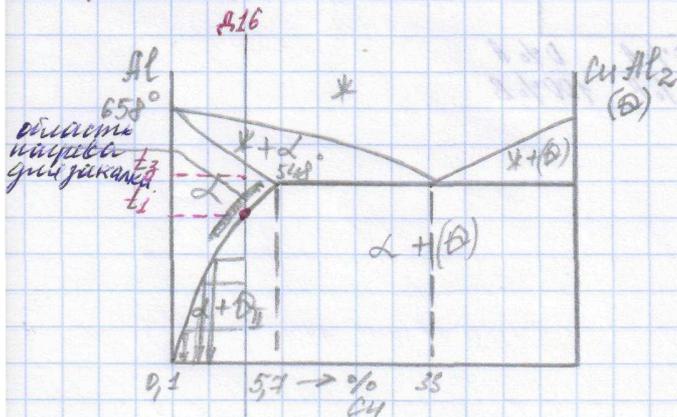
дн & дн не растворения



ограниченная
растворимость

Для не истинно, не или, превр. в тв. сост-ии,
упрощающей термич. диаграмм. быть не может.
Ед. способ обработки таких не-отрещ.

Термич. обраб. сплавов с переменной
растворимостью компонентов в тв. сост-ии



[C₆₁ & Al₂]

91-57 - переменная растворимость в жидкостях от t° плавления. Диагн. от 0,1 до 5,7 %

Миним. растворимости; медь раствор-ся за счет фазы δ II

Фаза δ II уходит в тв. р-р δ при пересеч. мин. расств. δ . Вся медь перем. в тв. р-р.

Всплывание \rightarrow медь выделяется в виде (Cu_2O)

~~Если до t_1 - ничего нет, а с t_1 и ниже]~~
до тех пор, пока при каком t° в тв. р-ре δ меди не будет 0,1.

При нагреве δ -фаза растворяется, при охлажд. с t_1 она будет выделяться.

Процесс растворения и выделения м.б. только с помощью диффузии.

Все дифф. процессы - непрерывные, требующие времени.

Если нагреть мгновенно и выдержать при t выше t_1 ; диффузия отсутствует \rightarrow диффузия не осуществляется (нет выделения).

М.е. это закалка, приводящая к получению пересыщенного тв. р-ра δ (в 42,3 раза). Структура неустойчивая. Она стремится \rightarrow в δ и δ' . В состоянии "выпустить" медь, к распаду пересыщенного тв. р-ра.

Распад пересыщ. тв. р-ра - старение.

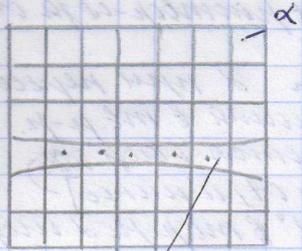
При старении твердость повышается за счет их выноса типов выделений.

28.09.07.

1. Зона Гинье - Трастона (Зона III)
2. Метастабильная фаза δ'
3. Стабильная фаза δ (C₄Al₂)

Зона ТП - вблизи стволки содержатся мери

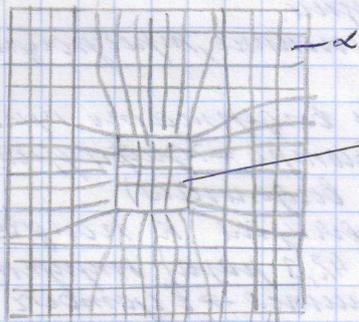
в тв. р-р d , представляющие из себя дискоидные включения с диаметром в несколько периодов кр. реш-ки, а толщина - порядка ат. сл. Образование происходит при комнатной t° , т.к. не происходит дост. затрата энергии; приводит к упрочнению, более медленному приращению приращению дискоидности.



Зона ТП (Cu)

Метастабильная фаза

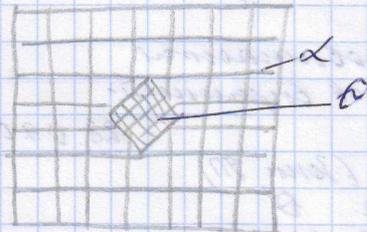
- включения со своей тонкой кр. реш-кой когерентной с кр. реш-кой d тв. р-ра (когерентно-связанной)



Граница раздела нет с тв. р-ром d . Метаст. фаза выделяется при более выс. t° , чем зона ТП. Приводит к упрочнению.

Стабильная фаза

имеет границу раздела с тв. р-ром d . Выделяется при более выс. t° , чем метастабильная. Образование стаб. фазы упрочняет тв. р-р, если для метастабильной с необходимыми расстояниями между частицами. При выдержке при выс. t° стаб. фаза может



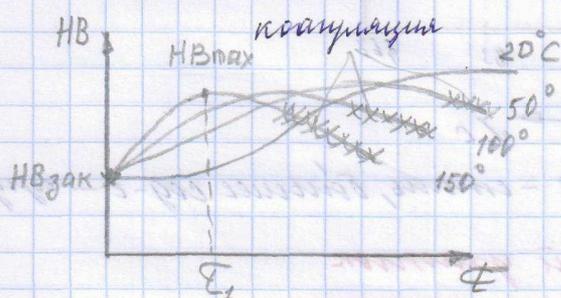
претерпевает процесс коагуляции (укрупнения частиц). Расстояние между ними становится большим \rightarrow дискоидность имеет возможность слиться их \rightarrow твердость понижается.

Перечисленные типы водородной и атомно-кислородной переработки при вдувании это конкурирующие процессы. Преобладает одно из видов водородной зависит от 2х факторов:

- 1) от t° старения
- 2) от степени перемешивания

При более высоких температурах водородной переработки всех 3х типов одновременно. При комнатной температуре естественное старение, при повышении — искусственное. Естественное длится от неск. сут. до неск. недель, искусственное — неск. минут.

Кинетика старения.



Чем выше t° старения, тем быстрее достигаются макс. твердости.

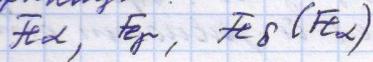
Максимальное упрочнение сталей данного типа можно достичь термической обработкой в последовательности: закалка, холодн. механич. деформация, старение.

Если t° последующего старения сталей повышенная, то старение нужно проводить при t° выше t° закалки.

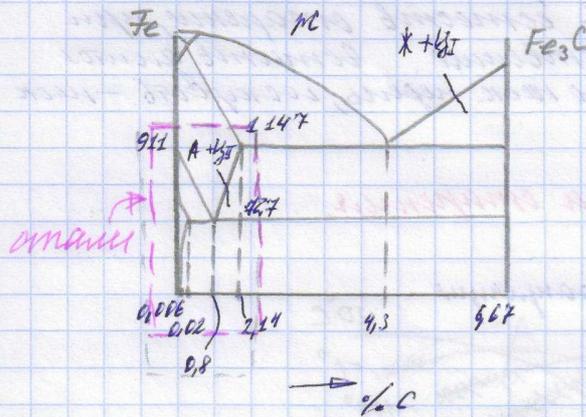
Стабилизация — получение сталей, структура которых не меняется во времени (во время эксплуатации).

Термическая обработка сталей

Сталь - сплав Fe с C. Fe имеет полиморфные модификации:

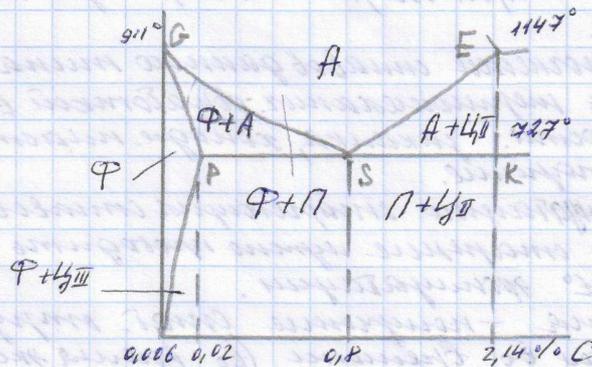


Полиморфное превращение приводит к формированию мартенсита.



до 2,14% углерода - сталь, большее углерода - чугуны.

Стальной участок



Фазы.

Φ - феррит - $Fe_2(C)$ - тв. р-р вуглерода
углерода $Fe_2 - DC, K(KP)$; max % C - 0,02%
при $727^\circ C$

A - аустенит - $Fe_3(C)$ - $72K(K12)$; max % C - 2,14%
при $1147^\circ C$

$C_3 - Fe_3C$ - цементит - самая твердая составляющая
стали

Линия PSK - линия эвтектоидная превращения
($t^\circ 727^\circ C$)

Эвтектоидное превращение аустенита.

$As \rightarrow$ Перлит ($\Phi + C_3$) - смесь 2х фаз

Структурные составляющие.

Феррит ($\Phi + C_3$)
между пластинками  Расстояние
 $\approx 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
 $7 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

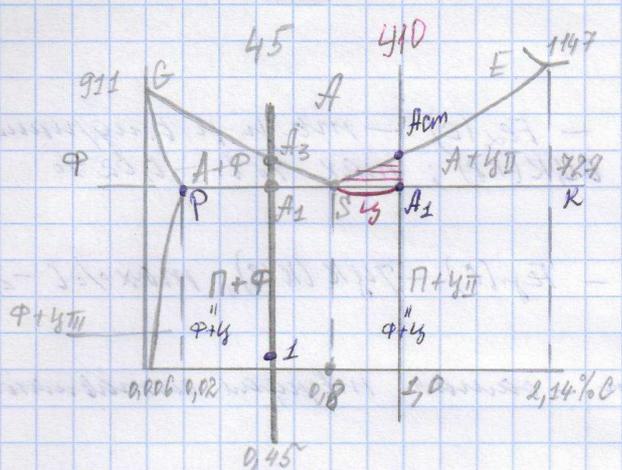
Сорбит ($\Phi + C_3$); раст. $4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
 $5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

Троостит ($\Phi + C_3$); раст. $4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

Преобразование в сталь
при нагревании

03.10.07.

Сталь, до 0,8% - доэвтектоидное
0,8% - наэвтектоидное
0,8% - 2,14% - заэвтектоидное.



Равновесные состояния.
 A_2, A_3 - критич. точки стали
 Если нагрев. \rightarrow обем A_2, A_3
 охлажд \rightarrow A_2, A_3

A_2 - Кюри точка (из парамагн. в ферромагн. соед.)

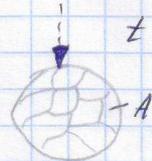
При нагреве от комн. t° до A_1 никаких превращений нет



$t_{нагр}$ до $727^\circ C$

в A_2 $t^\circ = A_2 (727^\circ C)$ превращ. Феррит \rightarrow Аустенит, в кот-м растворяется цементит, переходящий в перлит.

При A_3 весь F перешел в A , весь $Ц$, входящий в P растворился в A . \rightarrow получилась однородная структура.



$t > A_3 (727^\circ C)$

Здесь 0,45% углерода

Нагр. до $1000^\circ C \Rightarrow$ происходит обратительная рекристаллизация ($t > A_3$). А крупнозернистой (укрупнение).

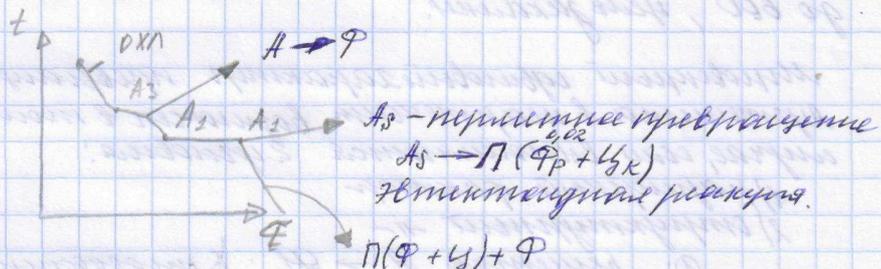
Завтектоидные стали.

При нагреве до A_1 (727°C) превращений нет. В интервале A_1 A_{cm} Π превращается в Аустенит, в котором растворяется цементит.
 На диаграмме \rightarrow числами. кол-во растворяемого цементита Δ \rightarrow количество растворяется.
 для рассматриваемой медленной нагрев.

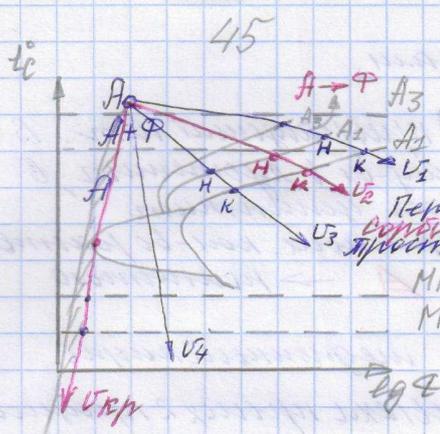
- В стали при нагреве/охлаждении происходят 2 процесса:
- 1) Полиморфное превращение $\text{F} \leftrightarrow \text{A}$ ($\text{OЦК} \leftrightarrow \text{ГЦК}$)
 - 2) Дисффузия углерода \rightarrow растворение в Аустените.

Преобразования в стали при непрерывном охлаждении с разными скоростями.

Вспомогательная сталь 45 из Аустенитной сост-и. При охлаждении до A_3 превращается в стали нет. В интервале A_3 A_1 (A_1 не берем во внимание): полиморфное превращение $\text{A} \leftrightarrow \text{F}$.

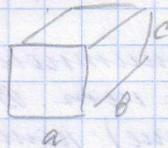


Эвтектоидная реакция (перлитное превращение) зависит от скорости охлаждения, т.к. полиморфное превращение $\text{OЦК} \leftrightarrow \text{ГЦК}$ превращение, которое происходит по термодинамическому критерию распада аустенита.



H - начало перлитного превр.
 K - конец
 H и K не совр.
 т.к. дифф. процесс запаздывает
 Перлит (Ф+Ц) } перлитное превращение
 Сорбит (Ф+Ц) } диффузионные
 Бейнит (Ф+Ц) }
 - начало мартенситного превр. -
 - конец -

$V \geq V_{кр}$ - диффузионного процесса нет, а посылка на сайт. $A \rightarrow$ пересыщенный Феррит (реш-ка искажена, уже не $\gamma_{\text{жк}}$, радиуса по одному параметру, отличие по периоду c). Бездифф. превращ. - ринновенно, сдвигового характера.



$$a = b \neq c$$

$$\frac{c}{a} > 1$$

тетрагональная реш-ка мартенсит (продукт закалки) - твердость до 600, цель закалки.

Мгновенный сдвиговый характер превращения Аустенита в мартенсит возможен в том случае, если выключаются "уровни".

- 1) размерный фактор
- 2) структурный -

⊙: решетка $A \rightarrow P$; δ толщины (1 ± 1) Аустенита близки плоскостям (110) $\gamma_{\text{жк}}$ Феррита; разст. мжу атомными и упр. близки по размерам. Небольшая сдвиги достаточно, тогда реш-ка $\gamma_{\text{жк}}$ превр. в реш. $\gamma_{\text{жк}}$, по боц. стени пересогн-е делает ее тетрагональной.

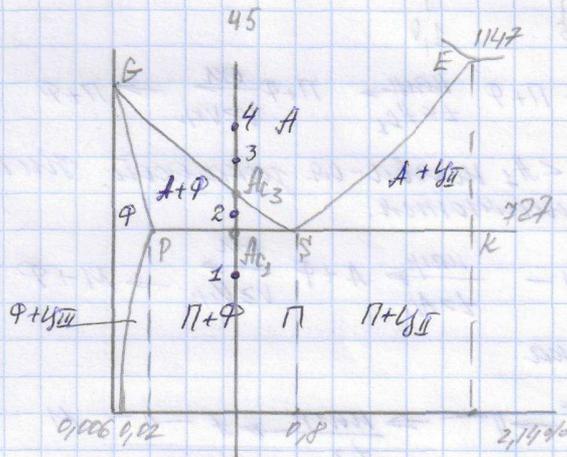
V_4 : прямоугольное превращение (называется как дифф., кончается как мартенситное.) При этом структура называется Бейнит.

②. Закалка: нагрев стали выше критич. t° (до аустенитного состояния) с последующим охлаждением с $v = \text{или} > v_{\text{критическая}}$

Мартенсит — пересыщенный твердый раствор углерода в Fe — пересыщ. феррит.

Практика термической обработки сталей.

Выбор t° нагрева под закалку стали.

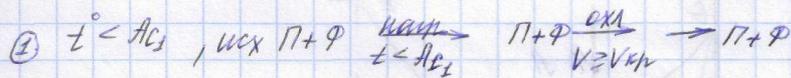
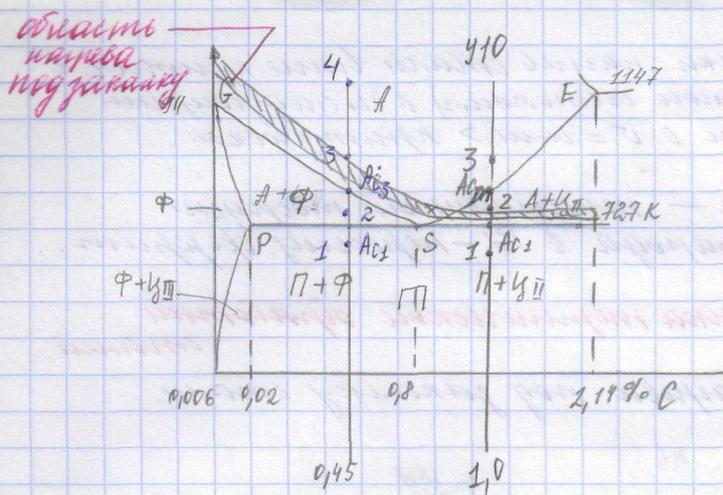


Довлекать до t° (до 0,8% C) на примере стали 45.

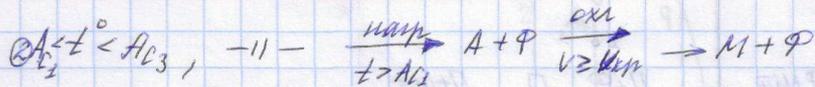
Выбор t° нагрева для закалки сталей. 10.10.07

1. Нагрев стали до той t° , пока не образ-ся аустенит
2. $v_{\text{н}} \geq v_{\text{кр}}$

Довлекать до t° (до 0,8% C) — конструкцион. стали, содержат графит до 0,8%.



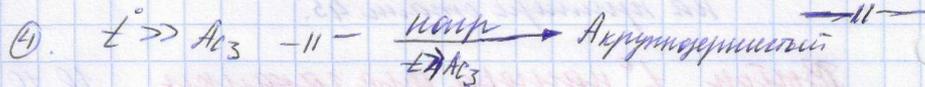
Любой нагрев до $t < A_{c1}$ не явл-ся закалкой. При струк-туре, не об-ва не меняется.



Неполная закалка



оптимальная t .

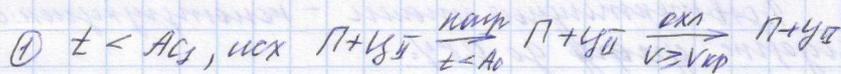


Микроструктура.

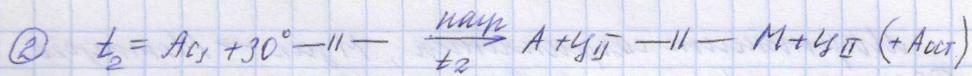
Пересев.

$t \text{ закалки} = A_{c3} + 30 \div 50 \text{ } ^\circ\text{C}$

Захватывающая температура (используем только)



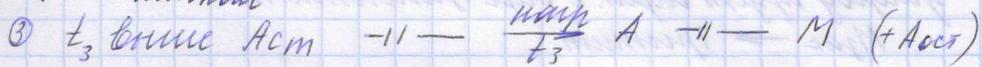
об-ва не меняется



Относительная t° нагр. для закалки.

ψ - самая тверд. составляющая стали

φ - мягкая



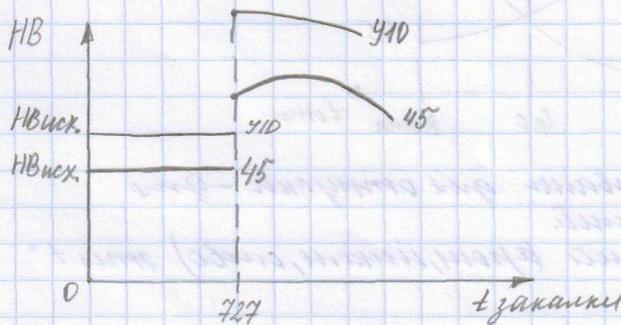
Твердость не та, как в ②; перегрев.

Все стали, где $> 0,6\%$ есть $A_{сст}$ при охлаждении.



вс. внутр. напряжения.

$t_{\text{заж}} A_{c1} + 30 = 50^\circ$ (760-780 $^\circ$)



Отпуск закаленных сталей.

Упрочняющ. обработка: закалка + отпуск.
Для конструкт. сталей примен. 3 вида отпуска:

а) низкий ($t^\circ \sim 120 - 250^\circ$)

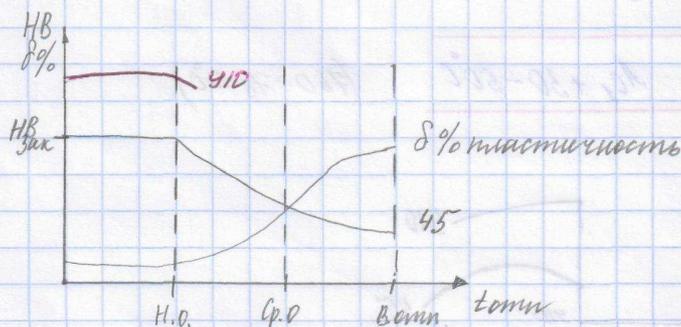
Мартенсит сохраняется, Мзак \rightarrow Моттюрин
Формируется сразу или во внутр. мартенситных.
ТВ. сепр-ся высокая.

б) средний ($t \sim 350 - 450^\circ\text{C}$) Мзак нач. распадается,
уменьш. будет внутр. в виде цементита.
Мзак \rightarrow Тросит

в) высокий ($t \sim 500 - 650^\circ\text{C}$) —||—
Мзак \rightarrow Сорбит (более закаленный)

По мере повн. t ступка твердость пониж. сд,
но пластичность возрастает.

Выбор ступки зависит от изделия (чтобы понизил
закалку св-ва).



Температурные интервалы для ступки — это
углеродистых сталей.

В эти интервалы (арен, микте, анво) при t°
переходит.

Получивается ст. в нормализованном. сост-ии.

Нормализация наче от до t° как под закалку,
а охлаждение на воздухе. (прокат рельсов,
труб).

Линько-термия. обработка.

- насыщение пов-ти или шти шмава при повышенном t° какими-либо хим. эл-тами. Процесс насыщения диффузионной. Цель: пов-ти-е корроз. стойкости, износостойкость, упрочн. усталосте, приращение декоративных или спец. свойств.

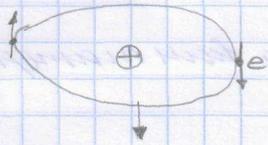
Процесс э.-т. обраб. наг-вом по тону или-н-ту, которыми насыщаются (хромирование, никелирование, хромирование (Cr+Ni), цементация (насыщ. Fe углеродом)).

Материалы с особыми физ. св-вами.

- магнитные материалы
- проводники
- полупроводники
- с особыми тепловыми св-вами
- диэлектрики

Магнитные материалы. Магнитное поле атома

$$M_{\text{ат}} = M_{\text{ядра}} + M_{\text{орбитальный}} + M_{\text{спиновый}}$$



$M_{\text{яд.}}$ о.ч. мал.

$M_{\text{орб}}$: небол. величина, направл. вдоль осей.

Внеш. магн. поле. Он наг-ся диамагнитной составляющей.

$M_{\text{спин}}$: определяет магн. мом. атома.

Все магнетики делят на:

- диамагнетики
- парамагнетики
- ферромагнетики
- антиферромагнетики
- (ферримагнетики)

$M = K_m \cdot H$
 намагниченность магнит. напряженность
 - какой характер имеет магнитное поле в матер. в поле соотв. магнит. поле
 воспринимает поле
 известна
 $H \left[\frac{A}{M} \right]$

Характеристика стр-ся по K_m .

Диаматетики

- нет никаких магн. составляющих, кроме M_{ext} .
- материалы с четн. коэф. χ -коэф. Вектор спонтанной соств. антипарал. на данной подуровне. Если четн. коэф. χ -коэф., то $\sum M_{спонтан} = 0$. Составляет M_{ext} - диамагн. составляющие. (Be, Zn, Pb, Ag ; полупроводники Ge, Si , стикла, полимеры, сверхпроводники, жидкий гелий).

$K_m < 0 \quad K_m = -10^{-4} \text{ до } -10^{-7}$



Плотность магн. осн. меньше.
 Являя составляющая приложена всем материалам.

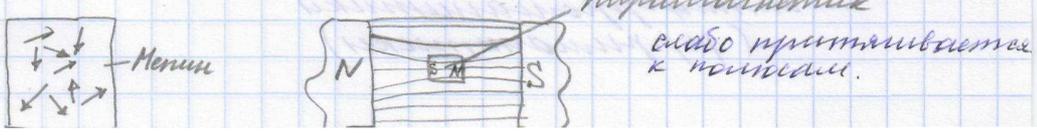
12.10.07 Парамагнетики

- материалы с нечетными коэф. χ -коэф. (число χ -коэф. нечетно, у одного из пар).

$K_m > 0 \quad K_m = 10^{-2} - 10^{-5}$

K или относятся K, Na, Al , переходные Mn, Mo, W, Ti, Pt .

Сильнее магн. моменты распоряд. частично.

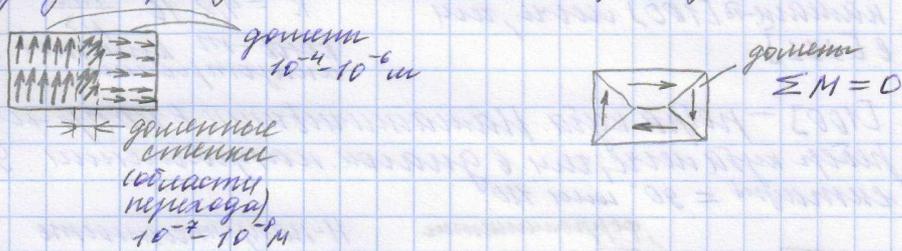


Ферромагнетики.

Fe, Co, Ni, Gd

$$\kappa_m = 10^6$$

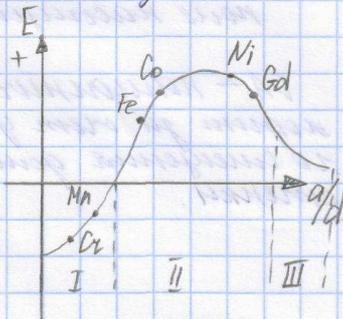
Восст. магн. восприимчивость обусловлена тем, что в ферромагнетиках самопроизвольно без действия извне образуются области самопроизвольного намагничивания, в которых стин. магн. моменты выстраиваются II-но друг другу в одну сторону. Также об-ти наз-ся доменами.



Причина образования доменов: из-за соседн. атомов I энергия обменного взаимодействия. При перекр. оболочек созд-ся условия, при которых e⁻ обседелно. Атомы ближе к ядру, чем своей собств. e⁻



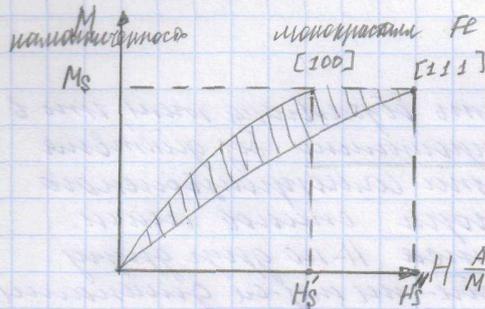
Сумма таких энергий - обменный интеграл. Если он большой и "+", то все магн. стин. мом. будут II-но и направ. в одну сторону в данной области. А это домен. Если обмен. интегр. "-", то стин. магн. мом-ы антипараллельны. Это антиферромагнетик. Возникает разниц-ая из-за собой доменной стенкой.



- I - антиферромагнет.
- II - феррнет.
- III - парамагн.

a - период крист. решетки
d - диаметр нескомпенсированной орбиты

θ - точка Кюри, \pm° в кот-й при нагреве феррит-к превращается в парамагн-к.



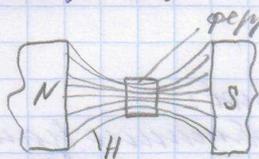
кристаллографическая ориентация.

Значение магнитной индукции при H_s легко.

магнит-в [100] легче, чем в [111]

$k = 4,2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Вб}}{\text{м}^3}$
коэф-т крист. магн. ориентации.

[100] - ребра куба. Магнитование в направлении ребер куба легче, чем в диагональ направления. Разориентация $= 90^\circ$ или 180°

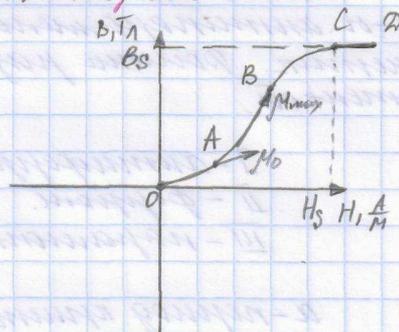


H-напряженность внешнего магн. поля $[A/m]$
плотность линий внутри ферромагнитной индукция.

$$B = \mu(M + H) \quad [Tл], \text{ где}$$

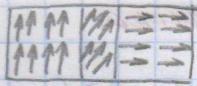
B - магн. индукция
M - намагниченность фер-ка
H - напряженность внеш. магн. поля.

Процесс намагничивания и перемагничивания ферромагнетиков. Магнитные характеристики.



B_s - макс магн индукция, индуцируемая насыщением H_s - внеш. магн. поле насыщения.

DA - намагничив-е происходит за счет упроч-го сцепления доменной структуры.



Смещение доменной стенки. Если обратить H , стенка восстановится.

AB - необратимое смену - е доменной стенки



$$M = \frac{V}{H} \begin{bmatrix} H \\ M \end{bmatrix}$$

магнитная проницаемость

H

BC - намагн. за счет поворота моментов ближе к направлению H . Фигурно, т.к. существуют ϵ - колеб-е атомов. Поворот векторов - самое быстрое намагничивание.

CA - доворот векторов до H -ного состоя-я в внешн. магн. поле. (при очень больших H_0). Намагничивание незначительно. Процесс на участке CA назыв-ся парапроцессом.

CB - механическое намагничивание; CA - истинное намагнич-е - парапроцесс.

В объеме технич. намагнич-я используются мин. размеры феррита-ка (удлин. в отгор. внеш. магн. поля). Объем не меняется.

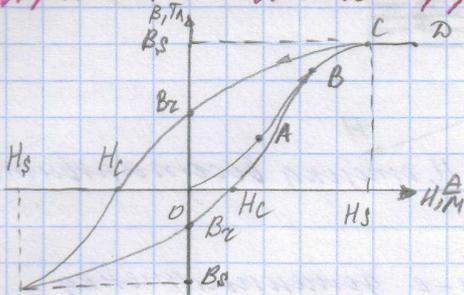
$$\lambda = \frac{v_{\text{конт}} - v_0}{v_0}, \text{ где}$$

λ - длина ферр-ка; $V = \text{const}$

Эти изменения λ - коэф-т линейной магнитострикции. На участке CA: увелич-ся объем феррита-ка.

$$\lambda_s = \frac{v_k - v_0}{v_0} - \text{объемная магнитострикция}$$

Перематывание ферромагнетика



При $H=0$ $B > 0$
— B_r — остаточная магнитная индукция [Тл]

Из-за наличия дефектов не м.б. размагничивание полностью \rightarrow $B_{ост}$.

$B=0$ при $H=H_c$ [$\frac{A}{M}$] — поле, размагничивающее доменов.
 H_c — коэрцитивная сила

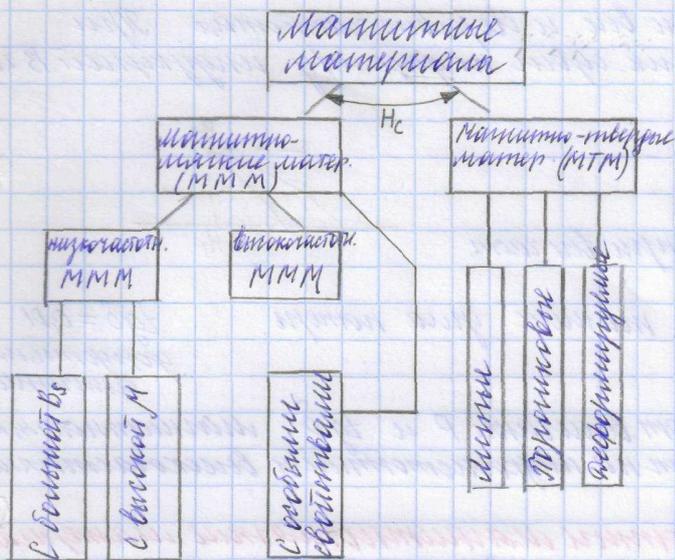
При перематывании индукция отсоединяется от материала.

DD — кривая первоначального намагничивания. Площадь петли гистерезиса пропорциональна энергии, затраченной на перематывание с малой площадью — магнетронные материалы. B_r с больш. площ. — магнитотвердые и т.д. Площ. зав. от коэрцитивной силы.

$M_s, B_s, \lambda_s, K, D$ — структурно нечувствительные характеристики. Не подлежат изменению обработкой. Они завис. только от химич. состава ферромагнетика.

H_c, B_r, H_s, M — структурно чувствительные харак-ки. Зав. от струк-и и хим. состава.

Классификация магн. материалов



Магнитно-мягкие материалы.

— небольшие значения коэрцитивной силы, намагничиваются в слабых полях.

17.10.07

$$H_c \leq 5 \cdot 10^4 \frac{A}{M}$$

$$\mu_{max} \text{ до } 40 \frac{Mk}{M}$$

$$\mu_{max} \text{ до } 300 \frac{Mk}{M}$$

$$B_s \text{ до } \underline{2,15 \text{ Тл}}$$

магн. матер. с $B_s > 2,15 \text{ Тл}$ нет.

Применяются для работы при низких частотах (до 200 Гц) — трансформаторы / сек, высоких (до 100 МГц) — СВЧ-устройства (> 800 МГц). В СВЧ-е 3 вида потерь при перемагничивании, кот-е зависят от диапазона частот:

- 1) потери на гистерезисе (протянувшись внутри петли Гистерезиса)
- 2) тепловые потери на токи Фуко (вихревые).

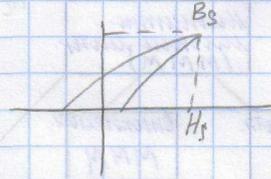
$$P = \frac{AB_m^2 f^2 d^2}{\rho} \quad \left[\frac{BT}{m} \right]$$

где P — потери, A — коэф-т, B — амплитуда магн. индукции [Тл], f — частота [Гц], d — толщина ферромагн. [см], ρ — удельн. электросопротив-е [Ом·см].

3) потери при выс. и сверхвыс. частотах. При выс. част-х возник. сдвиг по фазе м/у индукцией B и полем H .

$$\mu = \frac{B}{H}$$

$$\mu = \mu_1 + L/\mu_2 \text{ при выс. част.}$$

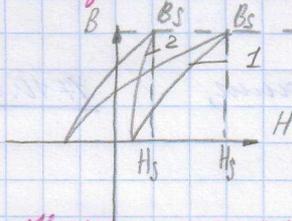


$$\operatorname{tg} \delta = \frac{M_2}{M_1} \text{ — тангенс угла потерь.}$$

$$\operatorname{tg} \delta = 0,01 \text{ — допустимая величина}$$

B зависит от величины P и $\operatorname{tg} \delta$ магнитотехнических материалов делят на низкочастотные и высокочастотные.

Низкочастотные магнитотехнические материалы



Виды низкочаст. μ и μ_{max}

1. материал с бол. B_s
2. низкоч. μ и μ_{max} с выс. μ .

Низкочастотные магнитно-мягкие материалы с большой B_s

Сам. бол. — Fe (разн. степени чистоты). Чем чище Fe, тем выше B_s ; легированные стали (Fe+C), легированные электролитич. стали (Si)

| Класс | % C | $\left[\frac{M}{M} \right]$ μ_{max} | $\left[\frac{M}{M} \right]$ μ_{max} | T_n B_s | $\left[\frac{A}{M} \right]$ H_c |
|--|------------|--|--|----------------|---------------------------------------|
| Карбоновые | 0,005-0,01 | 4,0 | 26 | 2,15 | 6,4 |
| Электролитич. с вакуумной переработкой | до 0,01 | — | 19 | | 7,2 |
| Электролитич. | 0,02-0,025 | 0,8 | 19 | | 2,8 |
| Механически чистые | 0,025-0,04 | 0,3 | 9 | | 6,4 |

Это Fe применяется в низковольтном электрооборудовании (реле). При выс. частотах применяется никель:

$$P = \frac{AB^2 f^2 d^2}{\Phi}$$

→ у чистого Fe ок. низкое м. сопротивление.

Нелегированные м.технич. стали применяются в реле, имеют свои марки.

Марки:

| | |
|-------|-------|
| 10P32 | 20P32 |
| 10P48 | 20P48 |
| 10P64 | 20P64 |
| 10P95 | 20P95 |

Первая цифра:
 1 - горячекатанная (нет ^{накала})
 2 - холоднокатанная
 Вторая цифра - количество элементов
 Третья - и - : цифра,

обозначающий Hc

Все последние - и - : величина Hc [A].

Для расширения работ. частот в технич. чистом Fe вводят Si, чтобы повысить ρ . => класс легированных м.технич. сталей, как правило, листовые (прокатанные) => чтобы уменьшить d.

| | |
|-------|-------|
| 13 11 | 34 11 |
| 14 11 | 34 16 |
| 15 11 | |
| 20 11 | |
| 21 11 | |
| ... | |
| 24 11 | |

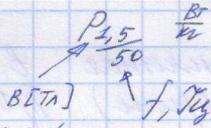
Их применяют в трансформаторах, индукторах.

Первая цифра: 1 - горячекатанная
 2 - холоднокат. шотландка
 3 - холоднокат. анжубранн.

Вторая цифра: 0 - $S_i < 0,4$
 1 - $0,4 < S_i < 0,8$
 2 - $0,8 < S_i < 1,8$
 3 - $1,8 < S_i < 2,8$
 4 - $2,8 < S_i < 3,8$
 5 - $3,8 < S_i < 4,8$

С увелич. сод-я Si увеличив-ся прочность.
 Третья цифра: - в этих марках гарантиро-

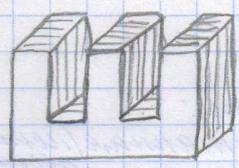
Ванная ванна номер



Четвертая цифра - цифра номера. Чем цифра \geq , тем \leq номеру.

$$f \leq 400 \text{ Тл}$$

Изделие погружается из стали вкруткой.



Низколегированная сталь с высокой μ .

Пермаллой
Альсифер

Пермаллой

Пермаллой - сплав Fe и Ni :

Низконикелевые (45-50% Ni)

Высоконикелевые (79-85% Ni)

Чем выше содержание Ni, тем выше μ . Недостаток пермаллой - чувствительность к внешним напряжениям.

Мех. Напряжения в 5 МПа снижает μ в 5 раз и больше. Не в 2 раза.

Низоникелевые пермаллой

| Марка | $\mu_{max}, \frac{мГн}{м}$ | $\mu_{min}, \frac{мГн}{м}$ | $H_c, \frac{А}{м}$ | $B_c, Тл$ | β инт. ст. м |
|-------|----------------------------|----------------------------|--------------------|-----------|--------------------|
| 45Н | 2,9 | 31 | 16 | 1,5 | 0,45 |
| 50Н | 3,2 | 38 | 14 | 1,5 | 0,45 |
| 50НХС | 3,1 | 31 | 13 | 1,0 | 0,90 |

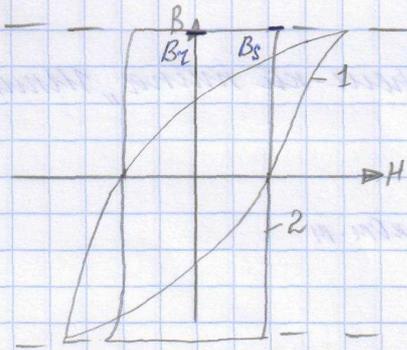
Для работы в p и полите-а известном к внеш. нагрузке в перилах добавляются α и β

Волоконисевые перила.

| Марка | μ_{min} | μ_{max} | H_c | B_s | ρ |
|------------------|-------------|-------------|-------|-------|--------|
| 79НМ 3 класса | 25 | 150 | 2,4 | 0,75 | 0,55 |
| | 22 | 160 | 1,2 | 0,73 | |
| | 38 | 250 | 1,2 | 0,73 | |
| 81НМА | 88 | 310 | 0,64 | 0,50 | |

Чем $> H_c$, тем выше μ и тем ниже B_s .

1-й отдельный класс - перила с прямоз. нитями Тюттеруса. Они наматываются в очень слабых полях, применяются в кач-ве ячеек памяти.



2 способа получ-я прямоз. нитий Тюттеруса:

① химич. способ деформация для создания волокнистого строения; наматывание в поле текстуры волокна. способ применен в Ni и сплавах.

② закалка с охлаждением в сильном магн. поле. Это термоманитная обработка.

1-го закалки в магн. поле, 2 - поле (рисунок). Этот способ - только для сплавов.

$$\alpha = \frac{B_2}{B_1} ; \text{до } 0,90$$

коэф-т притягательности

Марки:

50НП, 65НП, 79НМП

Алюминиферы (сталь Fe-Al-Si с содержанием соответственно 0,5 - 5,4 - 9,6%)
 Это единственный сплав, имеющий такую структуру
 $\rho_s \approx 0$; Недостаток: бол. содержание Si уменьш.
 хрупкость; очень низкая κ (один кристалл.
 анизотропии) ≈ 0 .

Высокочастотные AlSiMn.

$$\rho = \frac{AB_m^2 \cdot f^2 \cdot d^2}{\rho}$$

Для расшир-я диапазона тех. энергии тепловые
 потери \rightarrow для того чтобы гр. материал с
 бо́льшим ρ - с сильной тепловой связью (диэлек-
 трики) - оксиды, у которых $\rho = 10^{12}$ Ом.м

Оксид напр. металлокерамической; порошок,
 прессуют, спекают.

Fe_3O_4 кристаллич. реш-ка типа "Шпинель"
 магнетит

24.10.07. Перитовой $\rho = 0,8$ мкОм.м

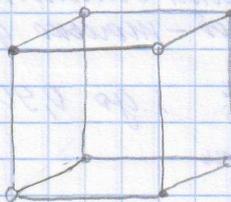
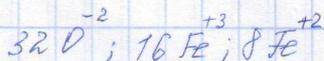
$$f_{кр} = 25 \text{ кГц}$$

$$\text{Тонкая пленка } (d^2) \Rightarrow f_{кр} \approx 1 \text{ МГц}$$

$$\rho_{Fe_3O_4} = 10^{12} \text{ Ом.м}$$

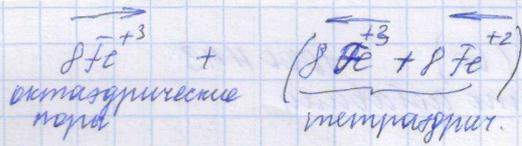
$8 Fe_3O_4$ - 72 а. ячейка

$8(Fe_2O_3 \cdot FeO)$



1/8 а. ячейки

"кр. реш. структура" 32 ионами кислорода,
 а ионы "железа" располагаются в порах кр. реш-ки.



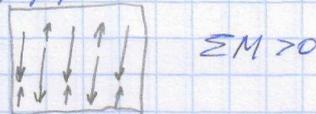
В рез-те отпущ. обменного взаимодействия спинов, магн. мом-ты в октаэдрич. порах будут направл-лены в противополож. сторону всем магн. мом. моментам (II-ой) в тетраэдрич. порах (антиферромагнетик).

Магн. мом-ты Fe^{+3} компенсируют друг друга Σ -ый магн. мом. будет опред-ся ионами 2х валентно-го Fe^{+2}

антиферромагнетик.



ферримагнетик



- часть сил антиферро-магнетизма.

Ферриты - все высококв. магн. материалы.

Чтобы повысить ρ , добавляют оксиды Zn, Ni, Mg, Mn

Ферриты для радиочастот.

f до 200 МГц

$MnZn$, $NiZn$ (всегда есть Fe_3O_4)

$MnZn$ ферриты. $f < 3$ МГц

Группы:

1а: без добавок 4000 НМ, 1000 НМ, где

цифра максимальная

H - микрогаусный

M - магниты цинковые.

2я: с добавками (Co) 1000 нм^3
3-цифра того, что добавили

NiZn ферритов $f \leq 200 \text{ МГц}$

3 группа

1я - без добавок до $f = 2 \text{ МГц}$ 1000 нм , 400 нм

цифра - марка

И - иридий

И - никель цинковый

2-я: - (50% Fe_2O_3 , 45% ZnO) $f \leq 55 \text{ МГц}$

300 нм , 600 нм

3я: с добавкой (Co) $f_{\text{кр}} \leq 200 \text{ МГц}$

100 ВЧ , 30 ВЧ

высокочастотные

Ферриты для высоких частот

$f \leq 800 \text{ МГц}$

$\text{NiZn} \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3$ - никель или

$(\text{BaCo}) \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ - ГПЧ

$\rho = 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{см}$

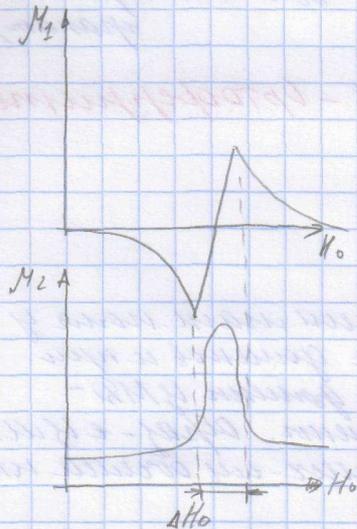
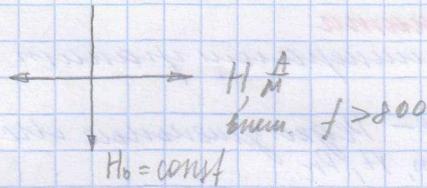
Ферриты для сверхвысоких частот.

$f > 800 \text{ МГц}$

При таких вы. частотах появляются потери на ферромагнитный резонанс - потери, связ-е с тем, что частота внеш. маг. поля f в к-либо интервале 1-ого постоянного маг. поля частота внутр. маг. поля совп с част. прецессии \vec{e} .

$$\text{tg } \delta = \frac{M_2}{M_1}$$

маг. мом., вращающийся вокруг \vec{e} .



$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta &\leq 0,1 \\ \operatorname{tg} \delta &= 0,02 \end{aligned}$$

Визм-м ΔH_0 иск-но феррита немагн.

$\frac{\Delta H_0}{H_0}$ - добротность, или меньше, тем лучше.

Уменьшить ΔH_0 м.

изменить структуру феррита, т.е. сделать его монокристаллич. и более плотной (с меньшей пористостью). Ферриты изгот. с пом. ме-керамики. Уменьшение в порошок, сшив-се, пресс, спекание. Визмоственный недостаток феррита - бол. чувствительность кт изм-ченности порошка, равномерности перешивления порошков, \pm спекания и пористости.

марка 1С41, 3С44

перв. цифр - группа воинов (см)

С4 - сверхвыс. част.

послед. цифр - разновидность по составу

$$\Delta H_0 \text{ при } f = 9200 \text{ МГц} \quad 40 \frac{\text{кА}}{\text{м}}$$

$$30\text{С}41, 80\text{С}4, \Delta H_0 = 12,7 \frac{\text{кА}}{\text{м}}$$

Ферриты - гранаты

Структура зерна с ионами граната.

3MgO , $5\text{Fe}_2\text{O}_3$; Me - редкоземельные и ионы
Sm, Y, Pr

$$\Delta H_0 = 8 \frac{\text{кА}}{\text{м}} \quad \text{- поперек}$$

$$\Delta H_0 = 0,6 \frac{\text{кА}}{\text{м}} \quad \text{- поперек ОЖТ (штриховый гранат)}$$

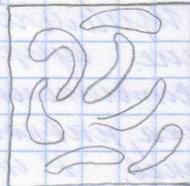
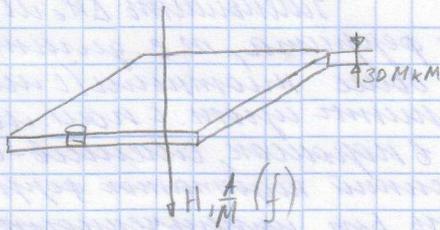
Спеч. ферриты для СВЧ - ортоферриты.

- орторомбическая кристалл.

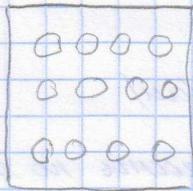
$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

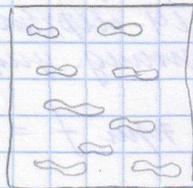
В зав-ти от частоты внеш. магн. поля у ортоферритов изменяется форма доменов и при опред-й частоте образ-ся домены ЦМД - цилиндрич. магнит. домены. Образ-ся ЦМД сопровождается резким увелич-ем объема информации.



f_1 ладерит



f_3 цилиндрические ЦМД



f_2 ладерит

$$f_1 < f_2 < f_3$$

Ферриты с притягательной сеткой Гастерудса

- применяются в спец. технике. Притяг. сетка Гастерудса напр. ориентацией доменов в направлении легчайшего намагнич. туннеля размещено в сильном магн. поле.



марки:

10BT, 30BT, 100BT, 140BT, 160BT

цифра - соответств. сила $\frac{\text{A}}{\text{M}}$

BT - в числ. техника

Материалы с особыми магнитными св-вами.

Мг и сплавы с большой магнитостратемией (магнитоструктурой) λ_s . Применяются в спец. преобразователем спец. частот от колеб. в звук (ультразвук) - приборы ориентации, головки звукозаписи, для сварки костей; вальцов

Ni $\lambda_s = -37 \cdot 10^{-6}$ - уменьшается объем в магн. поле.
 $\rho = 0,08 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$

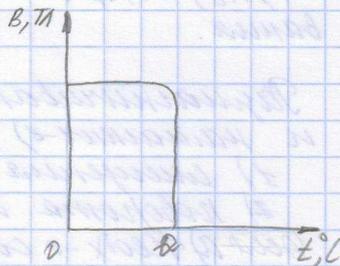
Fe + 13% Al $\lambda_s = 45 \cdot 10^{-6}$

Fe + 50% Co $\lambda_s = 70 \cdot 10^{-6}$

Fe + Pt $\lambda_s = 204 \cdot 10^{-6}$

Термостабильные сплавы - сплавы с резкой зависимостью индукции от t .
Термостабильные

Fe + (30-35%) Ni, $\theta = 100^\circ\text{C}$
железистый никель



Магнитостат, магнитостат
 магн. катушка; конденсированный материал.
 магнит линия

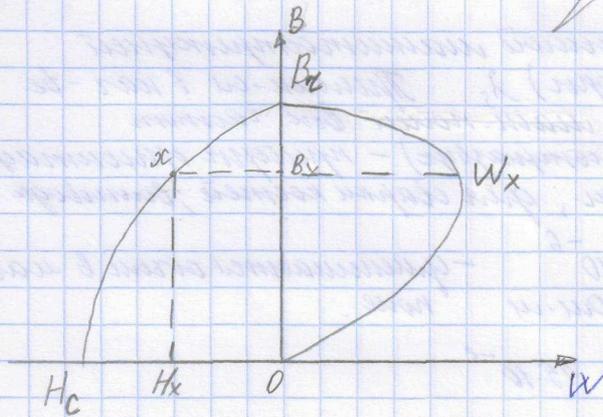
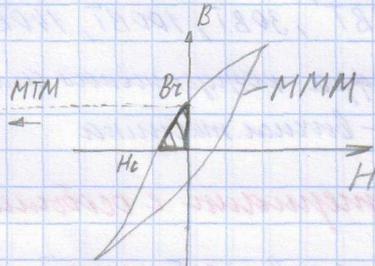
Магнитотвердые материалы

Применяются в качестве магнитов для созд-я постоянных магн. полей.

$$H_s = 1000 \frac{\text{кА}}{\text{м}}$$

$$B_s = 0,5 - 1,0 \text{ Тл}$$

$$H_c \leq 500 \frac{\text{кА}}{\text{м}}$$



Удельная магн. мощность (уд. магн. энергия) W

$$W = \frac{BH}{2} \left[\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right] \text{ зависит от 3 факторов:}$$

B_z, H_c , которая выпуклости кривой размагничи-
 вания.

Пеша
 0

Размагничивание ферритов (так же, как
 и магнитов) идет за счет

- 1) сдвигания доменной стенки
- 2) поворота магн. векторов

Важно! Неодк-о созд. однородную стр-ру
 (уменьшить дом. стенки). Величина зерна = 1 микрометр

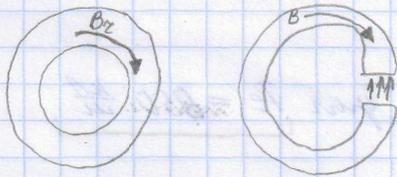
Расши. оттавы:

- 1) неферритная матрица (основа)
- 2) ферритные включения

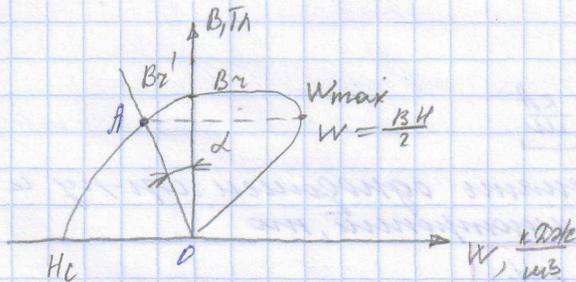
I) Д.б. больше ферр. включ-ий однодоменного размера неравностой формы

II) Ферритная матрица и неферр. включ-я. М-ца периметр, зерна однодоменного, неравностой формы; минимизи неферр. включ-я, выполняющих роль стенок.

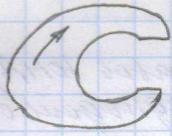
Максимальные св-ва ферр-ков
исп-ся на концевых образцах.



Внеш. маг. поле приводит к увеличению внутреннего. В замкн. — статичная маг. индукция, на разрыве — переиздается; d — радиус инерции — инерция фактор; A — рабочая точка магнита.



Полое-е A зависит от массы и инерционного расстояния



ИТМ классифицируются по технологическому назначению на литые, порошковые и деформируемые.

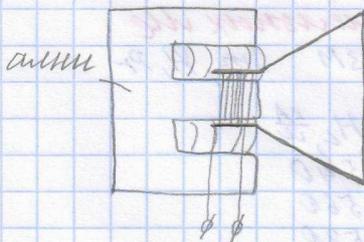
Литые ИТМ.

Fe - Al - Ni с добавками легирующих элементов Cu, Co, Ti, Nb. Эти элементы в шариках обозначаются буквами алфавита.

| Обозн: | Al | Ni | Cu | Co | Ti | Nb |
|------------|-----|--------------------|-----|----|----|-----------|
| | Ю | Н | Д | К | Т | Б |
| Марка | W | кДж/м ³ | Нс | кА | м | |
| ЮНД4 | 3,6 | | 40 | | | исотропн. |
| ЮНД8 | 5,1 | | 44 | | | |
| ЮНДК18 | 9,7 | | 55 | | | анизотр. |
| ЮНДК35Т5Б | 16 | | 96 | | | |
| ЮНДК35Т5БА | 35 | | 110 | | | |

Преимущества: температурная стабильность, при нагреве не тер-ся прочность; высокие показатели вязкости при ударе, литые, крупные — это недостатки.

Применение: в магниторезистивных системах



Дорожниковые МММ.

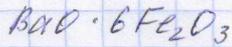
- получают путем измельчения стлавов FeNi, или alloys с целью получ. порошка с однород. строением.

| Марки: | W $\frac{кг}{м^3}$ | He $\frac{кг}{м^3}$ | |
|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|
| на основе Fe-Ni-Al | | | |
| ММК 1 | 3 | 24 | } изотропные |
| ММК 6 | 5 | 44 | |
| ... | | | |
| ММК 7 | 10,5 | 44 | } анизотропные |
| ММК 11 | 16 | 71,8 | |

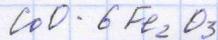
ММК - магнит метало-керамический
цифра - разовидность.

Магнитно-твердые ферриты.

Состав: оксиды Fe, Ba, Co



или



| | W $\frac{кг}{м^3}$ | |
|---------|--------------------|------|
| 6БН240 | 3 | } Ba |
| 2Б5А190 | 14 | |
| 10КА165 | 5 | } Co |
| 14КА135 | 7 | |

1-я цифра - удельная W; БН

2-я цифра - Ba или Co ферриты

и, А - анизотр. или изотр.

послед. цифра - He $\frac{кг}{м^3}$

Магниты из редкоземельных металлов

RCo5 R2Co17, 19 R - PrM Sm, Nd, Pr

| Стлав | W $\frac{кг}{м^3}$ | He $\frac{кг}{м^3}$ |
|--------|--------------------|---------------------|
| КС37 | 55 | 540 |
| КС37А | 65 | 560 |
| КСП37 | 65 | 520 |
| КСП37А | 72 | 500 |

K-Co, где C - содержание C - углерода, P_{SM} - в сумме 37%

Деформированные ИСТМ.

Мат. мат. материалы на основе марганца. Мат. Fe, Ni, Cr, Cu, Co.

| Марка | $W \frac{кг\text{м}^3}{м^3}$ | $H_2 \frac{KA}{м}$ |
|------------------------------------|------------------------------|----------------------|
| 30XK25 (хромкобальмит) эрикс | 7,7 16,3 | 56 62 - синхропр. |
| 52K13Ф викамси | 9,8 | 28 - изотр. |
| кутиса | 65 | 36 |
| кунифе | 67 | 47 |
| ПАК7А матинакс | 40 | 320 |

Высокоуглеродистые стали $C > 1\%$

Для работы в He их применяют после термич. обраб-ки закалки и му. отпуска. Мат. прочность: 2-3 $\frac{кг\text{см}^2}{мм^2}$

Материалы с особыми термическими и упругими свойствами:

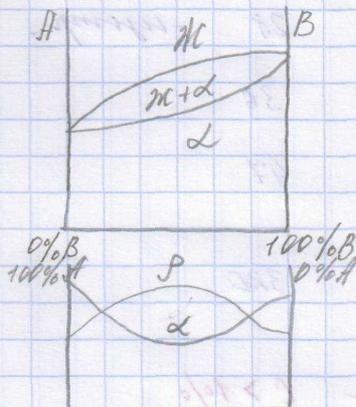
- 1) материалы с малыми или заданными температур. коэф-том или расширением (α близко к 0) - при нагреве μ -м практически не меняются. - **инвары**. Материал t° и хим. состава можно задавать t° коэф-т. Пример: электровакуум - лампы и накамыватели
- 2) сплавы с малыми или заданными температур. коэф-том модуля упругости. - **железвары**

При нагреве моды углерода не меняется.
 (у большинства металлов углерод уменьшается с ростом температуры):
 - для γ - точность размеров - турбина; датчик
 высоты - самолёт.

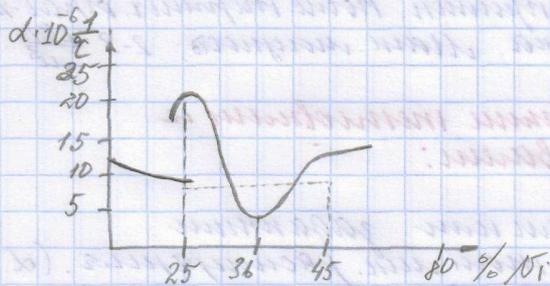
и инвар, и инварит имеют аномальное
 значение α коэф-тов.

Става с мал. или задан. коэф-том
 мен. расширения - инварит.

Fe-Ni : Ni = 29-45%



Правило Фурманова



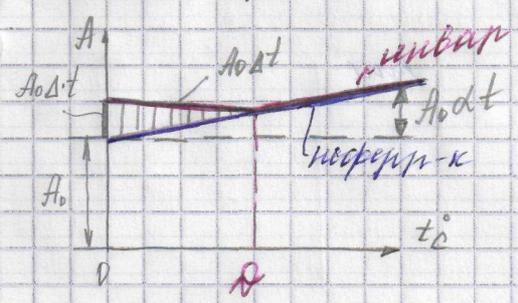
Природа инвариности имеет ферромагнитн.
 хар-р и объясняется большой объёмной магнито-
 структурой. Инвари относится к ферр-кам,
 имеют доменные структуры. Каждый домен
 намагничен до насыщения. \Rightarrow у каждого домена
 объём уменьшен на величину λ_0

$A_t = A_0(1 + \alpha t)$ - неферритный
 при $t = t$

$\lambda_s - \Delta m$
 максимум $A_t = A_0[1 + (\alpha - \Delta)t]$ - ферритный
 инвариант типа
 $\alpha > 0 \quad \Delta < 0$

$A_t = A_0 + A_0 \alpha t - A_0 \Delta t$

A_t - при $t = t$
 A_0 - при комнатной t°



Норминное μ -ра инвара определяются невожно.

Во время макс. мин. ферритный инвариант не...

L_{min} у сплава с 36% Ni (сечение α -мис $(\alpha - \Delta)$)
 $36H (36\% Ni + 64\% Fe) \quad \theta = 100^\circ C$
 $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$

$\alpha \neq const$, зависит от хим. состава - соотв. температура измерения. Главная с приростом к неупругости α .
 Число μ не вимо, сплав неупругим μ (H), (K)

32HKD
 $\alpha = 1,0 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$ - суперинвар

Для марки инвара с заданной t° ктор-мом.

29HK $\alpha = (3,5 - 6,5) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ C} \quad \theta = 420^\circ C$
 Ковар - применяем для иници со стержней

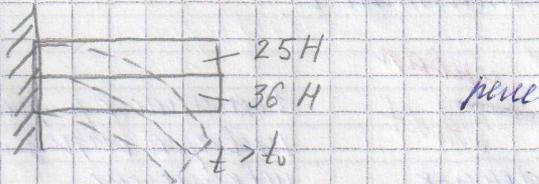
33HK $\alpha = (6-9) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ - для стали с керамикой $\theta = 440^\circ\text{C}$

47H, II магнетит $\alpha = (9-11) \cdot 10^{-6}$ - для стали с магнетитовыми включениями

Ферромагнетизм

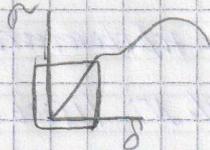
2.5% Ni $\alpha = 2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$

36% Ni $\alpha = 1.5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$



Линейность.

$$E = \frac{\sigma_y}{\epsilon_y}$$



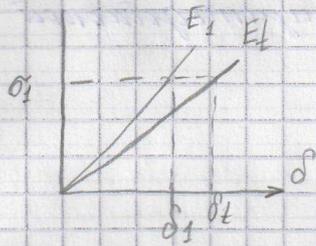
Модуль упругости ферромагнетиков увеличивается.
Линейность ферромагнет. хар-ры и объясняется
сильной обобщенной магнитострикцией.

$$E_{\pm} = E_0 (1 + \sigma_{\pm}) \quad \text{несферр-ки} \quad \gamma < 0$$

$$E = \frac{\sigma_y}{\epsilon_y + \sigma_{\pm} \gamma}$$

7.11.07

t - с напряжением



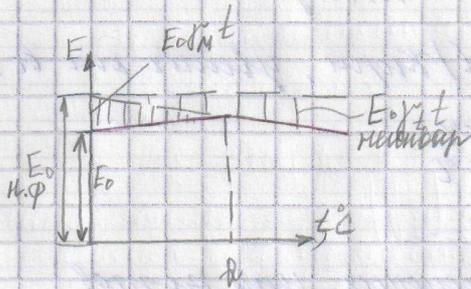
Феррит-κ $E = \frac{\sigma}{\delta_y + \delta_L}$

Феррит-κ $E = \frac{\sigma}{\delta_y + \delta_L + \delta_M}$
упр. деформация пластич. деформация

$\delta_M \approx \lambda_s$
 микроскопическая

$\gamma_L < 0$

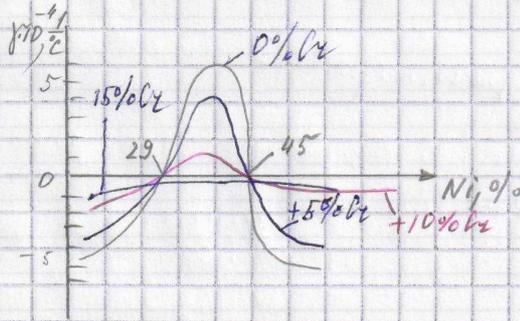
$\gamma_M > 0$



инвар $E = E_0 \cdot (1 - \gamma_L \epsilon + \gamma_M \epsilon^2)$

железо $E = E_0 (1 + \gamma_L \epsilon)$ ФФРР.

Кривая инвар — энтальпия ж-го в микр. коорд. от упр. от микр. осей (N_i сферическая)



Такую рел. стр-ю и структуру добавкой Cr.

без Cr
инвар — 36H

12% Cr

36HX

(Fe, 36% Ni, 12% Cr) — недостаток: низкая
и высокая прочность,
ну. предел упругости.
имеет однофаз. стр-ю тв. р-ра
(невозм. упрочнить старением).

Для упрочнения доб. Ti, Al (имеют перм.
(Ti) (Al)
растворимость в инваре) стлав Ti, Al и упрочняют
закалкой + старением.

После доавки перестан быть инваром
36HXTiAl; (Ti) (Al) → погирнась.

Чтобы повысить σ / $\sigma_{кр}$, увелич. кол-во Ni

42HXTiAl $\sigma = 200^\circ\text{C}$

44HXTiAl $\sigma = 400^\circ\text{C}$

$$\mu = \pm 3,5 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Применение: прецизионных упр. вл-ств
(аргонометр, растажки осциллограф, сифоны)

Материалы с особыми электрическими свойствами

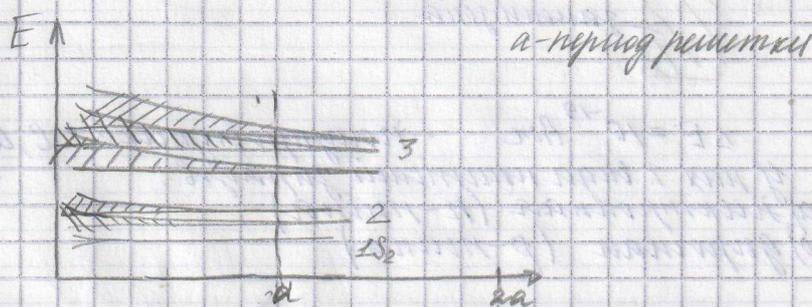
осн. хар-ка — уд. электрическое сопротивление ρ [Ом·м]

В зависимости от величины ρ все материалы делят на 3 вида

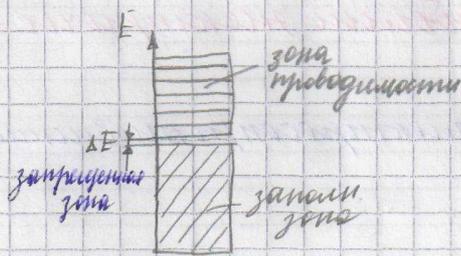
- 1) $\rho = 10^{-8} - 10^{-5}$ Ом·м — проводники, связаны с высокой электрической проводимостью
- 2) $\rho = 10^{-5} - 10^4$ Ом·м — полупроводники
- 3) $\rho = 10^8 - 10^{16}$ Ом·м — диэлектрики

Переходы по проводимости

$1S_2, 2S_2, 2P_6, 3S_2, 3P_6, 3d_{10}, 4S_2, 4P_6, \dots$



Перекрывание подуровней дает зоны — то перех. e^- с подур. на подур (зоны — сур. на сур) \Rightarrow возникает электрическая проводимость

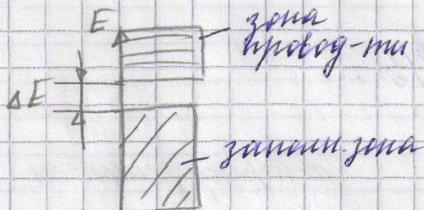


металлический тип связи

$\Delta E = 10^{-28} \text{ Дж}$ - материалы с выс. проводимостью. Их 2 группы:

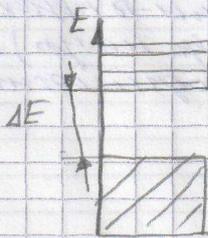
- 1) переходные Me: Cu, Ag, Au, Al
- 2) переходные Me: Fe, Ni, Cr - сопротивление у них больше, не затронуты 3d подуровень

ковалентный тип связи



$\Delta E = 10^{-19} \text{ Дж}$ - полупроводники: C, Ge, S, Si, Se
 у них 2 вида носителей зарядов:
 а) электронная (n-тип)
 б) дырочная (p-тип)

ионная, ионно-ковалентная связь



Запрещенная зона е не могут проводить. Проводимость мала. Это диэлектрики: оксиды, пластмассы, ионитные глыбы, минеральные масла.

С увеличением кол-ва примесей ρ возрастает, т.к. вводится примесей наруш. периодичности крист. реш-ка. \rightarrow удлиняется путь e .

Влияние хм. состава деформации.

С увелич. деф. увеличивается количество дефектов, искажений — повышается сопротивляемость
 $\chi T D = \rho d$

09.11.07

Классификация проводниковых материалов

- 1) Металлы и сплавы с выс. ρ и проводимостью
- 2) Сплавы с малым переходным ρ и сопротивлением — присоед.
- 3) Сверхпроводники
- 4) Контактные материалы — металлы и сплавы с малым переходным ρ и сопротивлением
- 5) Металлы и сплавы с низким ρ и сопротивлением при резисторах и нагреват. элементах.

① Металлы и сплавы с выс. ρ и проводимостью

Требования: малое ρ , выс. мех. прочност., технологичность (пластичность), коррозионная стойкость. Изделия из мед. и ее сплавов.

| Металлы | Ag | Cu | Au | Al | Fe |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ρ , мкОм·м | 0,006 | 0,017 | 0,022 | 0,028 | 0,098 |
| $L_p, \frac{1}{\text{с}}$ | — | 0,004 | — | — | 0,006 |

В основном применяемая медь и ее сплавы ρ и проводимость принята за 100%.

Cu

| | | |
|-------|------|---------------|
| марки | M000 | Σ прим. 0,01% |
| | M00 | Σ прим. 0,05% |
| | M1 | -11- 0,1% |

$$\sigma_B = 250 - 280 \text{ МПа}$$

$$\rho = 0,0175$$

$$\text{ХПД } \sigma_B = 340 - 390 \text{ МПа}$$

$$\rho = 0,018 \text{ кг/дм}^3$$

Al

Чугун заменить Cu на Al без потери проч., надо брать в 1,2 раза проводник, масса станет меньше.

^{Σ примеси}
АД, Д4 (0,02% #)

^{чистый}
АД, 000, АД00, АД (0,2%, 0,3%, 0,5%)

Fe

Повышенное сопротивление Fe объясняется тем, что у него не достигнута 3d-подуровень \Rightarrow при выводе из Fe в цену проводника подуровень и значит не проводимость. Fe практич. не доб. без C \Rightarrow примеси увелич. сопротивление.

Fe + (C, 1 - 0,15% C)

низкоуглеродистая сталь -

выс. мех. проч. сталь

$$\sigma_B = 400 - 700 \text{ МПа}$$

Fe прим. в элект. технике, в основном для проводов, трансформ.;

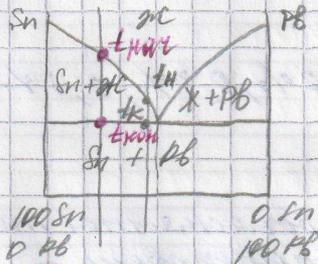
Биметаллы

Fe-Cu - стальной сердечник, покрытый
 медным слоем Cu, припаян для монтажа в ос.
 частоты. Передача имеет скважинно-
 пазовую структуру - ток течет по пазам.

② Сплавы с мал. перех. м. сопротивл. -
 - припой - сплав для соединения проводников.
 Требования: малое сопротивл. в месте пайки,
 t° припая $< t^{\circ}$ паяемых проводков, все остальные
 требования - принципальные, достаточные.
 прочностью, коррозионной стойкостью.

Sn, Pb, Zn, Ag

Обычно в составе. По хим. составу выбрать макс.
 чм. см. для норм. работы состава.



$t_k - t_e$ - интервал
 кристаллизации припоя

Припой: абсолютная температура - по t°
 относительная температура

Относительные температуры:

Sn-Pb марки ПЛ 18, 30, 40, 50, 61, 90 (Sn%)

$t_m = 183^{\circ}C$

Припоями где пайки Cu и Cu-сплавы
 Sn-Zn ПЛ 40, 60, 70, 90 (Sn%)

$199^{\circ}C$

- где пайки Al и его сплавов

Cu-P - ПМФ-7 - припой, гарантирующий
 безотказную работу без каннифолы.

Cu-Ag — ПСр 10, 45, 63, 72 (Ag %) $t_{\text{пл}} > 700^\circ\text{C}$
применяются для пайки медных проводков.

Высокотемпературные припои:
 $t_{\text{пл}} > 700 - 900^\circ\text{C}$

Для пайки коррозионноактивных изделий —
трубы, шланги; диффузионизирует впаиваемые проводники
ков → высокая прочность.

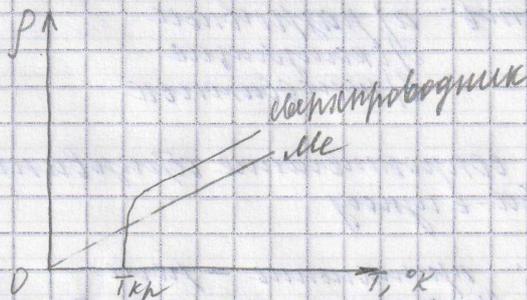
Cu-Zn латуни

ПМЦ 36, 40, 54 (% Cu)

$\rho = 0,03 - 0,04 \text{ мкОм/см}$ $t_{\text{пл}} = 780 - 920^\circ\text{C}$

③ Сверхпроводники.

$\rho \approx 0$
В замкнутой цепи ток циркулирует
бесконечно без потерь. Сверх-к — состояние Me
или сплава.



Все 0° — это ноль кельвина. Э сверхпроводники
при $t = -273^\circ\text{C}$.

При достижении $T_{\text{кр}}$ в сверх-ках происходит
фазовое превращение, в результате которого e^-
антиматериальными спинами образуют пары. Такая
пара e^- спин-спин нейтральна, не взаимодействует
с полем кристаллической решетки → перемещаются беспре-

наметенно.

СВ-К — графитовый. Сверхпровод — 70 мкм —
 $T_{кр}, ^\circ K; I_{кр}, \frac{A}{mm^2}; J_{кр}, \frac{A}{mm^2}$
напряж-е
тока

$$Nb \quad T_{кр} = 9,17^\circ K (-263,83^\circ C)$$

Сталь (Nb+Ti+Zr) 35BT, 65BT $T_{кр} = 9,7^\circ K$

$$J_{кр} = 2,8 \cdot 10^6 \frac{A}{mm^2}$$

$$I_{кр} = (6-7) \cdot 10^6 \frac{A}{mm^2}$$

параметр
Икр для созд. сверхпроводящих магн. полей —
— исчерпа на магн. подложке

Формирование Ларсонга — раскруп-е мпн на в магн. поле,

④ Контактные материалы

Виды контактов: а) разрывные
б) коммутационные
в) неточные

Требования: сопротивление образованию
искр, сопротивл-е износу

а) Разрывные: применение — реле
В зав-ти от I и U действуют на слабонапряж.
и силовую аппаратуру контактов

Слабонапряженные: слабое место — микрораз-
рыв — м/у контактами возникают искры →
нагрев пов-ти контакта → окисление →
повыш-е сопротивления в месте контакта →
еще большее образование искр. При этом
происх. перенос металла с одного контакта на др так,
что на одном к. пов-ти-ся, края — заплата,
на др. шина — вытуп → повыш. сопротив-е.

Ag, Au, Cu, лучше - Ag - не плав.
P, m.k. оксид Ag электропроводен

Высокотемпературный контакт:
при замыкании - размыкании м/у
контактами возник дуга (электрическая),
приводящая к разрушению контактов

Me и сплавы W

Окисление и испарение оксида
при нагреве W, Mo. Их приме. лучше в 14.11.07
вакууме, для защиты атмосферы или припылен.
сплавы: W-Cu, CoM-10 (Ag + 10% Cu)

серебро - мягкая окисл-ся $O_2, O_3 \rightarrow Ag \rightarrow Ag_2O$
Число слоев Cu предотвращают образование искр.

W + 40% ≈ 50% Mo - самый распространенный материал
для окисления контакта - в транспорте
Преобладают: износостойкость, малое переходное
электрическое сопротивление в месте контакта, способность
к искрогашению (приме-ся медь Ag, медь Cu с
добавкой графита).

MT3, MT5 (Cu + 3 + 5% Графита)

CT3, CT5 (Ag - II -)

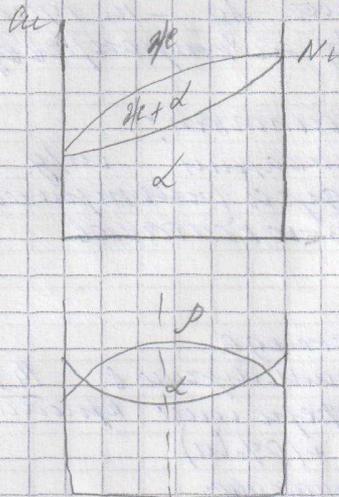
Графит неэлектропроводен, лви-ся
слабой при трении.

в) неподвижные контакты

Треб: мех. прочн, корроз. стойкость, это
запасные. Pb, Zn, латуны, Cu - применяются.

Сплавы с медью и серебром для регуляторов
и контак. Zn-медь.

Прим: все р, м.к. Δp , неваж. термост. в
паре с Cu [MT, CT]



Уменьшение толщины ТРАС
год. млн. выше. Cu-Ni-24

Всегда все радиусами \Rightarrow
и. систем. толщина стенки,
привалку (то, что надо
для привалки)

ни на чем
МНМ_н 40-1,5-...
медь-цинк-никель.

$$\rho = 0,48 \text{ ммекв. см}$$

$$\alpha = 3 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{с}}$$

МНМ_н 3-12 $\rho = 0,43$ ии, $\alpha = 2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{с}}$
манганин

Ag + 10% Cu + 5% Sn $\rho = 0,50$ ии, $\alpha_p \approx 0$

Ученые для изом-а приращенных радиусов

Смать для привалки Cu-Ni-24

Проб: все ρ , чтобы определить.

X20H80 (20% Cr + 80% Ni) диаметр $t_p = 1000$
 $\rho = 3,11$ ммекв. см

X23H5 (23% Cr + 5% Ni + ост Fe) диаметр
 $t_p = 1200$

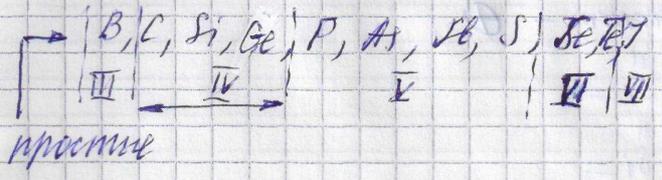
Во труб. оксид задерживают, при труб
разруши-е.

Смать на сан. мота (в вакууме)
 $t_p = 1500$

Si (сильно) и Ge, $t > 1500^{\circ}\text{C}$ кристаллизуются.

Полупроводниковые материалы

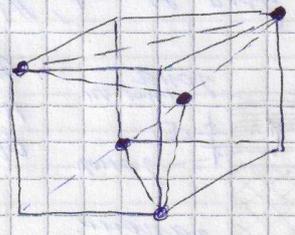
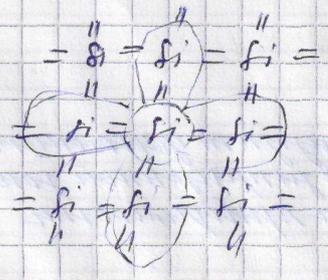
$\rho = 10^{-5} - 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$
 12 элементов и сплавов



Соединения

- IV-IV AB - SiC - ковалент.
- III-V AB - ZnS, GaAs - ионно-ков. тип связи.
- II-IV AB - ZnS, CdS - сульфид; ZnO, FeO - оксид \rightarrow ион тип.

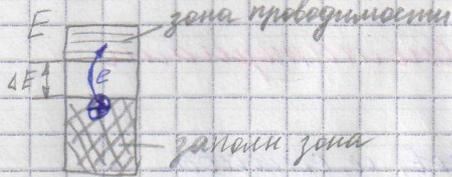
Эл. проводимость: Si-C-Ge - IV гр. ковал. тип связи, кристалл-ка диалат - на элемент - 4 вал. э-на. Эл-ты образуют группу-связь из 4х атомов; $k=4$



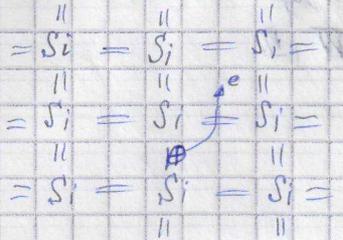
21.11.07

Электропроводность

полупроводников.



Вакантное место - ⊕ ;



Проводимость вызвана нарушением связи и/д атомами, она наз-ся собственной проводимостью полупроводн., имеет температурное значение.

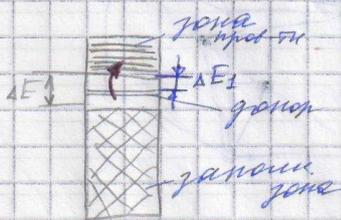
Свойств - примесная провод-ть, создаваемая специально добавкой (легированием). Примеси созд. 2 типа проводимости n-, p-

Примеси, создающие пр-ть n-типа д. быть на валентность больше проводника.

Также примесь = донор.

где $E_D - E_V, E_D^+$

где $E_A - E_C, E_A^-$



Доноры образуют донорный подуровень в запрещенной зоне выше зоны проводимости

$$\begin{aligned}
 & \overset{11}{=} \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} = \\
 & \overset{11}{=} \overset{11}{S_i} = \overset{11}{P} = \overset{11}{S_i} = \\
 & \overset{11}{=} \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} = \\
 & \overset{11}{=} \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} =
 \end{aligned}$$

Примем, что ρ - это p -типа d -битов
на важность имеет n -проб-на - акцентор

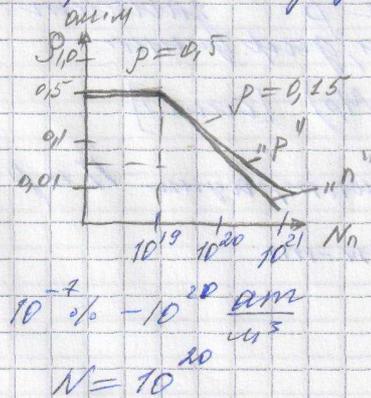
где $S_i - \overset{11}{B}, \overset{11}{A}$

Акц. сб. дан. подур. в запрещ. зоне вблизи
запрещ. зоны.



$$\begin{aligned}
 & \overset{11}{=} \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} = \\
 & \overset{11}{=} \overset{11}{S_i} = \overset{11}{P} = \overset{11}{S_i} = \\
 & \overset{11}{=} \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} = \\
 & \overset{11}{=} \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} = \overset{11}{S_i} =
 \end{aligned}$$

Примем, проб-на n -типа k чисел. запрещ.
зона, n -типа k -типа n .



Чем $>$ примем -
мень $<$ примем -

$$N_n < 10^{-7} / 10$$

Характеристики полупроводников.

1) Подвижность носителей заряда

$$\text{для } \mu_e \text{ "n" — } 0,38 \frac{\text{м}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$$

$$\text{"p" — } 0,18 \frac{\text{м}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$$

— кол-во зар., прох. $n/8$ попер. 1 м^2 при разности потенциалов 1 В за 1 с при 20°C .
Подв-ть уменьшается при увелич. температур и увелич. примесей.
Для бол. подв-ти лучше — монокристал. строение, сверхчистый п/пров-к.

2) Время жизни носителя заряда

$$\tau_{\text{nc}} \approx 10^{-5} \text{ с}$$

уменьшается по тем же причинам, что и подв-ть — см. выше.

3) Диффузионная длина — длина свобод. пробега носит. заряда за время жизни.

$$L \text{ до } 3 \text{ мм}$$

4) Электропроводность ρ зависит от подв-ти, концентрации, диф. длины.

$$\rho = \frac{1}{e} (n_n \mu_n + n_p \mu_p) \quad [\text{Ом}\cdot\text{м}]$$

уд. эл. сопр. n_n, n_p — концентрации n и p примесей

μ_n, μ_p — подв-ти

Методы очистки полупроводниковых материалов.

Традиционные: физические — до 99,999%

($\Sigma \text{прим} = 0,001\%$)

2) метод дисцимляции

3) метод ректификации — зап. при разных t°

4) метод субимляции — испарение тв. поверх-ти

Все эти методы — предварительные.

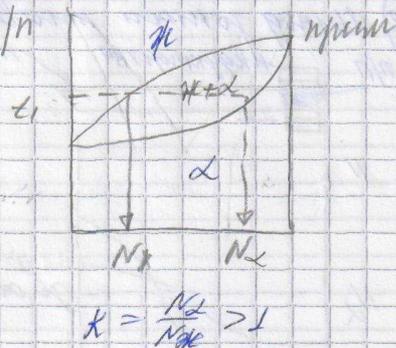
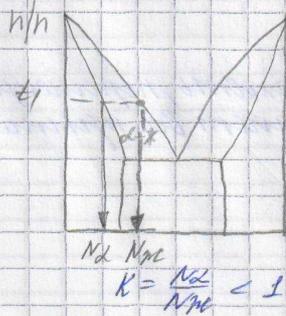
Финишная очистка п/п-ков — кристалло-физические методы — зап. на разной растворимости примесей в тв. или жидк. фазе проводника.
← конц-я в тв. фазе

$$K = \frac{N_d}{N_{dc}} \leftarrow \text{« - в жидк. фазе.} \right.$$

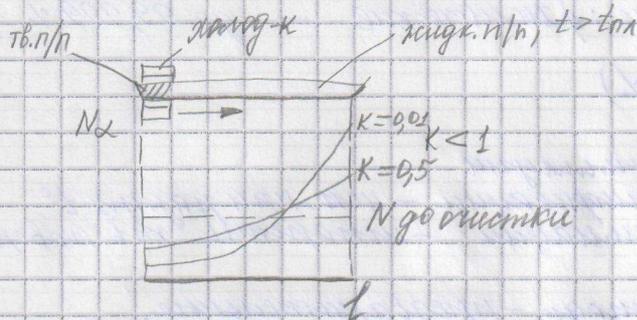
каждо-ит
распредел
примесей

$$K \text{ и.д. } > 1, = 1, < 1$$

Самая трудноудаляемая примесь — при $K = 1$.



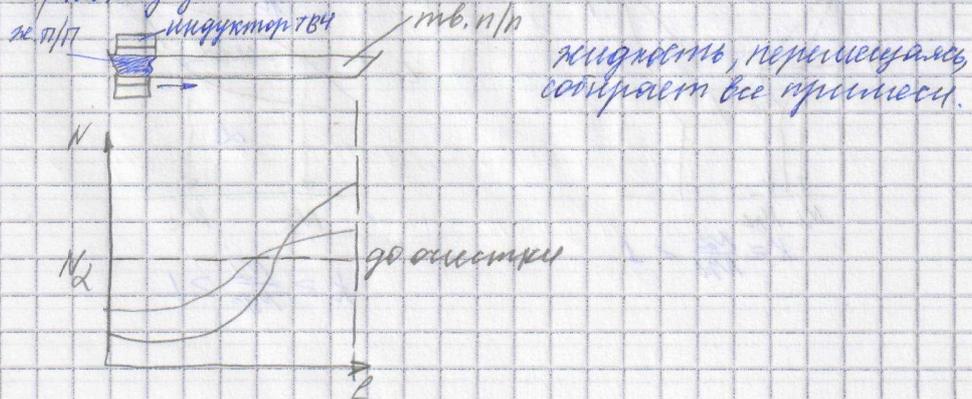
1) метод направленной кристаллизации: $k < 1$



Правая часть удаляется. Недостаток: kevés - не получается монокристалла.

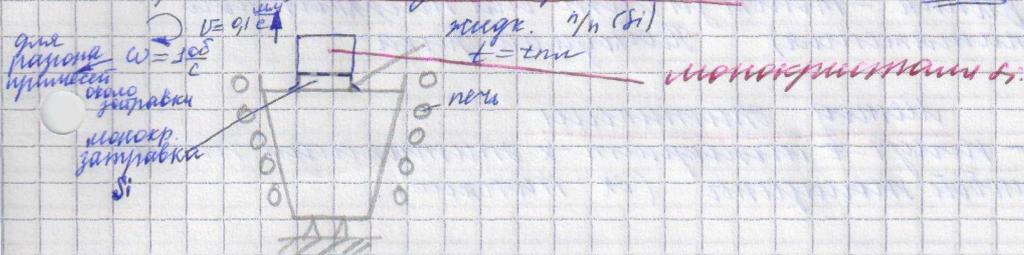


2) метод зонной тавки: $k > 1$



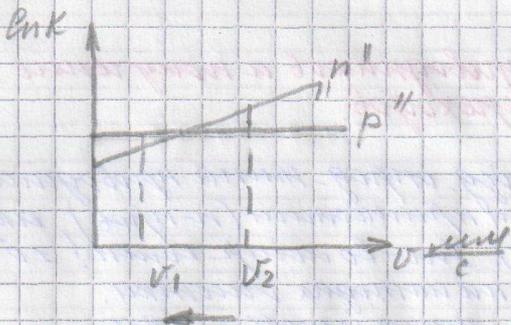
3) $K=1$; метод Чарпанского

23.10.21



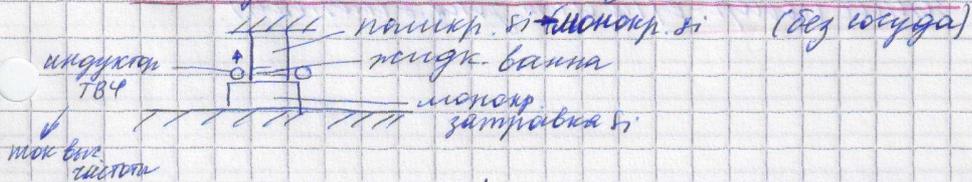
На затравке - кристаллизируются Si, кристалл "доставляет" крист. реш. монокристалла.

Требования к затравке - высокое. Кристаллы во многом аналог кремния. Недостат: при вытягивании в нагр. кону - кристалл ↑



Обе пластины; Si - круглый материал, удаётся мех. путем резать на 200-100 мкм, наружи - с кр. реш. - ка

метод бесконтактной зонной очистки.



как только инд. ↑ нем. ч. кристаллизу - с на затравке → монокристалл.

здесь: для ограничения по диаметру монокристалла
(важно - только за счет его поверхностного
натяжения). Несложная задача.

Метод эпитаксии

- получ-е монокристал-х эпитаксиаль. пленок
любой толщины (ex: тонкие).



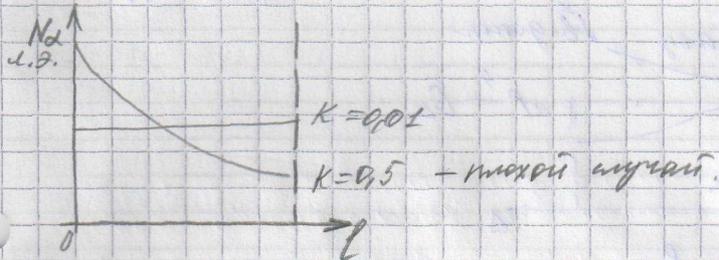
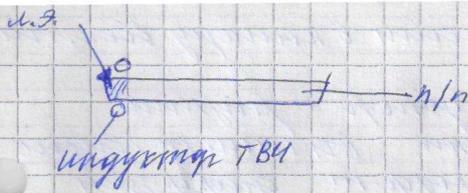
Допирование полупроводников и получение p-n и p-n-p переходов.

Цель: легирование - созд. опред. типа проводимости.
в n-р-ке донорными примесями (n-проб) акцеп-
торными (p-проб-то). Кон-во легир. элем! $10^{-5} - 10^{-7}\%$.
Методы легир.- в осн. на методах осадки.

Если легир-е по мет. чехраловского - при
нагрев. выт-л-я в распл. добавл. легирующей
элемент. При этом, если $k = \frac{N_d}{N} = 1$ то
добавить нужно в распл. $k \times 10^{-5} - 10^{-7}\%$.

легир-х метал, если $k = 0,01$ (в распл. раствор-е
в 100 раз больше), то нужно доб. $10^{-3} - 10^{-5}\%$.
Кон-во лег-х Si -тов см. ниже, метод скораго
выт-л-я осадки.

Золотое легир-е (по мет. зона осадки).



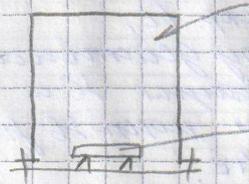
Требов-е к лежер: равномерное распредел-е примесей по сеч-ю и по длине.
 Кол-во леж. эл-тов контролир-ся по величине удельного электросопротив-я.

Получение p-n и p-n-p переходов

Требов: 1) равномер. распр. примесей по толщине n/p-й пластины; 2) четкая граница шты разности типами проводимости.

Мет. получ-я p-n перех - диффузионный.

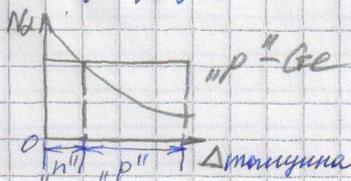
вакуум камера



примеси для Ge - доноры
 Si, Sb, Sn
 Ge - акцепторы B, Al, In
 Si - B, Al

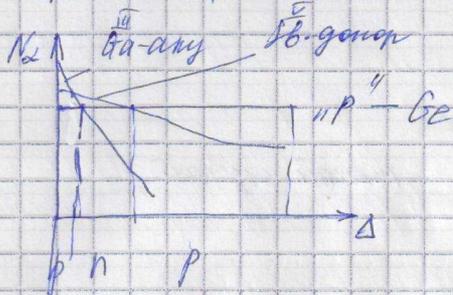
n/p-пластинка после центрирования
 (ex: "p"-Ge)

Вводят газобр H_2 , она оседает на пласт. и диффузирует в шты



Получен p-n переход
 Недостаток: неравномер. распредел-е примесей в пластинке.

М. попер. и p-n-p перех., если в камеру ввести 2 легирующих элемента
 для Ge: Ga-акцептор, Sb-донор - разные диффузии и растворимости Ge имеет более растворимое, Sb-бол. коэф-т диффузии



Недост. та же (неравнол, нет резкой границы)

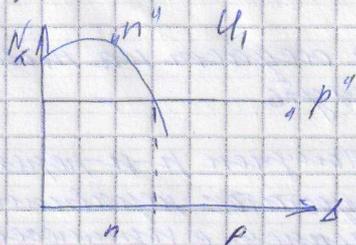
Стальной-диффузионный метод



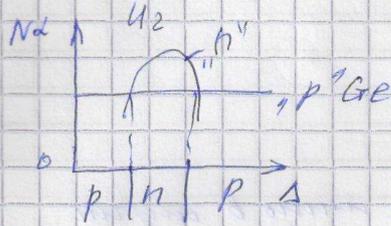
Нагрев $\approx 720^\circ\text{C}$: сталь растворяется и при этом диффундирует вглубь p-Ge

Ионно-плазменный метод

В вакуумн. камере - монокр. Ge, ввод донор - Sb (карбид), под действием разности потенциалов - ионизация Sb и ускоряющими электронами ион Sb разгон., ударяются в поверх-ть Ge,



Для бон. ускорен. ионн. проскакивания
транзитную.



После осмотра и расчета в их маркируются.

И-ИИ

| Тип проб-ти | ЛТ | Марка | ρ, Ом·м | Литр |
|-------------|----|----------------------------|-------------|------|
| Ge | n | — | ГЭ 40/30 | 40 |
| | p | Ge | ГЭТ 5/10 | 5 |
| | n | ЭВ | ГЭ 10/10 | 10 |
| Si | n | используется проборными | КЭ 150/0,5 | 150 |
| | p | — | КЭ 40/0,2 | 40 |
| | n | p | КЭФ 7,5/0,5 | 7,5 |
| | p | B | КЭБ 7,5/0,5 | 7,5 |

Видеоконтроль.

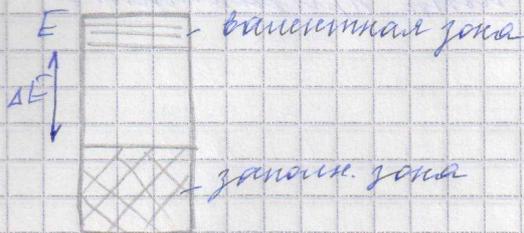
28.11.07.

- 1) твердые
- 2) жидкие (трансформаторные масла)
- 3) газобор-е. (инертные газы)

Твердые — осн. для приборостроения

$$\rho = 10^8 - 10^{16} \text{ (до } 10^{20}) \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Материалы с ионит или ковалентной
типом связи. У них нет свободных e⁻, бон. велич.
запрещенной зоны.



Заполн. зона представляется лишь в смысле пробоя, с разрывом диэлектрика. Осн. особенность диэлектрика (точно! диэл.-коэф. их способность к поляризации — смещение зарядов внутри диэл.-ка под действием направл-ти E внешнего эл. поля. $E \uparrow \Rightarrow$ вследствие чего внутри поляризованные дипольки, направленные против внешнего. Поляриз-я оценива-ся как раз-ти диэлектрик. прониц-ти (относительная поляриз-я).

$$E = \frac{C_0}{C_0} \text{ , где } C_0 \text{ — емкость конденсатора с диэлектриком}$$

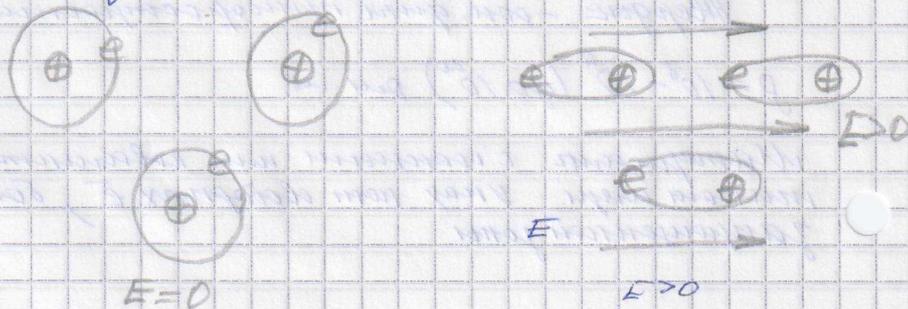
C_0 — " — в вакууме.

$$E = 10^{-12}$$

$$E \text{ до } 100000$$

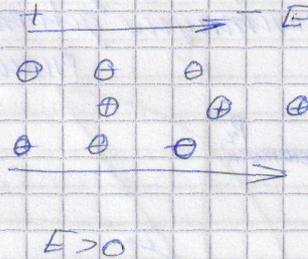
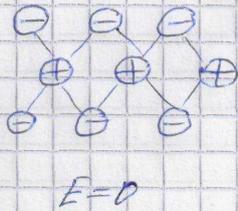
Виды поляризации

1) Осн. вид — электронная (на атомы-е м-ных оболочек под действием внеш. поля E).



$\tau_{поляризу} = 10^{-15}$ с.
 Эл. поляризу. не зав. от частоты внеш. эл. поля.

2) Ионная поляризу. — сильней-е ионов под действом
 внеш. электр. поля.

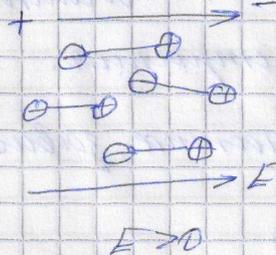
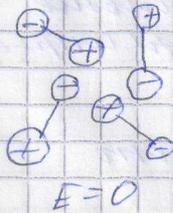


$\tau_{поляризу} = 10^{-13}$ с.

Сильней-е ионов — на расстояниях меньше периода
 от частоты внеш. электр. поля не зависит.

Если (при нагреве) — сильней-е на более, чем
 период, то такая поляризу-я — ионно-релак-
 сационная.

3) Дипольно-релаксационная. (присуща
 молекулам), зависящая в ориентации диполя.

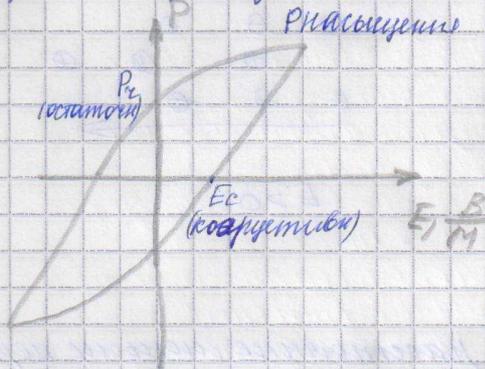


$\tau = 10^{-3} - 10^{-5}$ сек

Зависит от частоты внеш. эл. поля.

4) Самостоятельная (его след. только сеттеоэлектрики)

В отсутствие внеш. э. поля обр-ся единица симметрич. полярности — диполь, ориентированные др. от-но др. произвольно. При отсутствии внеш. поля внутр. = 0. Во внеш. поле диполь ориентации диполь. ϵ от 1 до 10000.



В зав-ти от E_c , делится на электрич. мягкие и жесткие \rightarrow низкочастотн. и высокочаст.

Электрич. проводимость диэлектриков — уд. сопрот-е ρ .
2 вида сопрот-е:

1) $\rho_v = 10^8 - 10^{20}$ Ом.м — объемное удельное э. сопр-е, зав. от типа диэ., строения.

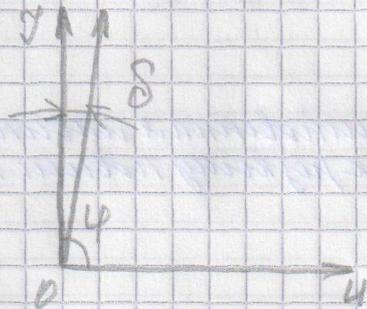
2) ρ_s , Ом — поверхностное, зависит от чистоты пов-ти

$$\rho_s < \rho_v \text{ (часто)}$$

При нагревании ρ диэ. уменьшается.

ρ_s медленно меняется

Диэлектрик потери. — возник. при работе
 диэл. ~~мат.~~ в высокочаст. полях (более 25 кГц).
 Они опред-т потерю при перемещ. заряжен. частиц
 молекулов-д, принимающ. диэлектрик за
 конденсатор в цепи переменного эл. тока.



$$P_{\text{конденс.}} = UI \cos \varphi = 0$$

$\varphi = 90^\circ$

$$P_{\text{реал.}} > 0$$

$\varphi < 90^\circ$

$$P = k \cdot E \cdot f \cdot \epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \quad \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3} \right]$$

где k — коэф-т

E — напряж-ть эл. поля, В/м

f — частота, Гц

ϵ — диэл. проницаем-ть

δ — угол диэл. потерь

$\epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$ — коэф-т диэл. потерь.

Чем больше ϵ , тем больше потери.

По $\epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$ диэл. делют на высокочаст. и низкочаст.

~~##~~ Если диэл. в одной гр. ϵ , то в них различают по $\operatorname{tg} \delta$.

Электрич. прочность диэлектриков. — характ-са
напряжением пробой $E_{пр} = \frac{U_{пр}}{\Delta} \left[\frac{В}{М} \right]$

Δ — толщина

Пробой вои. при включении и выключении прибора.
(ветиск напряжения)

Виды пробоя:

1) электрический — мгновенная лавинообразная
ионизация, приводящая к резкому повышению t° .

$$\tilde{t} = 10^{-7} \text{ с}$$

$$E = > 100 \frac{МВ}{М}$$

2) тепловой — чаще всего.

(В процессе работы диэ. нагрев-ся), повыш-ая
ионизация (иониз-е зарядов обильнее), сниж-ся
сопротив-е \rightarrow пробой, но величина $<$ электрич.

3) электрической пробой. — вои. при старении
(иониз-е стр-ры) диэлектрика в процессе эксплуатации,
длительн. и постепенный процесс. Это редкое
явл-е, т.к. срок эксплуатации прибора $<$
срока старения.

Классификация диэлектриков.

по: 1) химич. составу: органические,
неорганические

↓
стекло, керамика

↓
тепла

↓
резина, шелк, вата

2) электрическим св-вам:
низкочастотн. — электротехнич.
высокочастотн. — радиотехнич.

3) по проводимости:

У А Е В F H C
 \uparrow \uparrow
 $t_{exp} = 90^\circ C$ $t_{exp} = 180^\circ C$

У диал. низкая теплопроводность. \rightarrow
 низк. температуростойкость \rightarrow увелич. риск
 внутр. трещин.

4) по прозрачности — виагомопластикю:
 неаэрированные — выс. виагомопластикю-го.
 (органич. диал-ки, неаэрированные диал-ки —
 прозрачные — каталитической, полимер-сы
 р);
 неаэрированные — (неорганич.)

5) по механич. прочности.
 неорганич. — отсюда, или выс. мех. прочность
 (на растяжение), но на изгиб — низк. прочн.
 органич. — низк. мех. прочн., но они пластич.,
 и раб. на растяж-е и на изгиве.

6) по коэф-ту теплового расширения.
 неорганич.: (стекло) $\Delta t = 8 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$
 органич.: (нейлон) $\Delta t = (60-100) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$

Выс коэф-т — отсюда. выделение.
 Комбинир. диалки — из-за ден. растрески
 Δt — рассветки

7) по стабильности структуры —
 скорость старения. Наиб. стабильное неорганич.

Микрогабаритные диал-ки:

1) установочные (изолаторы) - катушки, каркасы, платы, $\epsilon = 10^{-12}$ $\text{tg } \delta \leq 0,1$
 Приб-ся выс. мех. прочность.

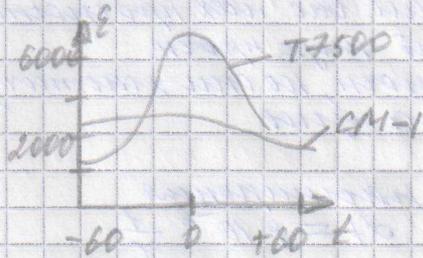
ex: Установочн. керамика - электрофарфор
 $\epsilon = 6,5$ $\text{tg } \delta = 0,02$ $\rho = 10^{15}$ Ом·м

Пластмассы - поливинилпирролидон, фторопласты, эпоксидные смолы

$\epsilon = 4^{-11}$ $\text{tg } \delta = 0,01-0,1$ $\rho = 10^{13}-10^{16}$ Ом·м
 $E = 2,5 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$

2) микрогабаритные конденсаторные диалектики
 Приб-ся диал. прочность. $\epsilon = 1000-100000$

Лучший конденс диал. - сегнетозлектрик с двойными структурами 2 вида: с бол. нелинейностью, с малой нелинейностью.



$$K = \frac{\epsilon_{\text{max}}}{\epsilon_{\text{min}}}$$

T7500 ($\epsilon = 7500$) $\text{tg } \delta = 0,03$ $\rho = 10^{14}$ Ом·см.

Приб-ся для варьированных конденс-в с переменной емкостью. $E = 2,5 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$

3) Пьезоэлектрики - пьезокварц
 - под напряж-ем вытиск. разность потенциалов



Характеризуется пьезоэффект —
 а) прямой — возникн-е заряда под действ. силы,
 — пьезокоэффициент d_{33} ; $\frac{Кл}{Н}$
 б) обратный — при прилож-ии Эл. поля мен-ся размеры.

Пьезокварц применяется

05.12.07

| №з | Конспект |
|----------------------------|------------------------|
| 4-31 12/II 9 ⁰⁰ | 11/II 12 ⁰⁰ |
| ауд. 623А | ауд. 319 МТ |

журнал лабораторных работ.

Высокочастотные диэлектрики.

1) установочные (радиотехнические). — служат как высокочастот. изоляторы.

$\text{tg } \delta \cdot \epsilon$ Керамика
 Стеатит (из талька)
 $\epsilon = 6,5$ $\text{tg } \delta = 0,0009$ $\rho = 10^{13}$ Ом.см
 Этот материал труднообработываемый (нельзя резать)

Пластмассы: полистирол, полистирол, фторопласт.

$\epsilon = 2-2,5$ $\text{tg } \delta = 2-5 \cdot 10^{-4}$
 $\rho = 10^{14} - 10^{15}$ Ом.см
 Стекло $\rho = 10^{10}$ Ом.см

2) Конденсаторные: ϵ д. быть выше, чем у установочных, но ниже, чем у конденсат-х низкочастотных

Керамика: Ультрафарфор

$\epsilon = 6-8$ $\text{tg } \delta = 5 \cdot 10^{-4}$

лучше конденс. керамика: керамика на основе TiO_2

1.9. Титановые Т60, Т80, Т150. (Е)

2.4. Термитовые Т20, Т40. (с повышен. содержанием Ti)

Конструкционные материалы в приборостроении.

Эти материалы предназначены для изготовления корпусов отн. деталей, узлов, приборов. М.б. Мет. и немет.
Треб. Бол. знач. е - прочность, корроз. стойкость.

Треб.: эксплуатационные, технологич., экономич.

1) эксплуатационн. - опред. работоспособность материала. Опред. группами критериев (конструкцион. прочность) - прочность усталости и предел выносливости в циклах в данных усл-ях эксплуатации (вид, величина напряж., нагрузки, темп. t°). Она опред. долговечность и надежность работы (при задан. усл-ях).

2) технолог. - мин. трудоемкость изготовления деталей. Опред. степенью обрабатываемости (резание, давлением, сварка, t° обработка). Опред. технологичность и как-во детали, упр. констр.-усл.

3) экономические - учет стоимости материала, его дефицитности (целесообразность выбора материала).

Конструкционная прочность материалов и критерии ее оценки.

Определяется 3ми группами критериев.

1. Критерий прочности (наст. состояние)

2. -) - надежности.

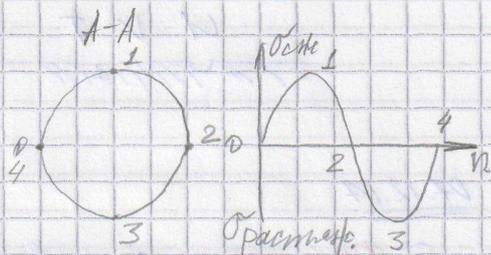
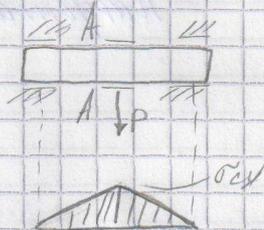
3 - 1 - долговечности.

I. **Характеристики прочности** - зависят от условий работы:

а) при статической нагрузке

σ_B , МПа, σ_T МПа, HB
расчет ведется по σ_T

б) при циклическом - валье, осн, кот в имеют знакопеременные циклич. нагрузки.



Диagram-е приток, из за усталости материала σ_{max} - с σ_{min} при выносливости, где R - коэффициент пометь цикла $R = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}}$

В нашем случае $R = -1$

σ_1

в) при ударных нагрузках (динамических). Прочность σ_{dyn} - с вязкостью материала.

для авиации и ракетостроения: эффективность массы.

$\frac{\sigma_B}{\rho \cdot g}$ км - удельная прочность.

$\frac{E}{\rho \cdot g}$ км - удельная жесткость.

II Критерии надежности.

- сопротивление материала взаимному
зрительному разрушению.

Критерий надежности (вынослив.)

$\delta\%$
относим
уменьшение

$\psi\%$
относим
уменьшение

применение
подружье

При данном м. пар.

— KCI, KCV, KCT $\frac{M_{Dne}}{V}$
пар-ки вынослив.

коэфт
сопротив.
удару ; U, V, T-вид

концентрация
напряжения.

U V T
I I I I I I I I I I

07.12.07

III Критерии долговечности

- сопротивление материала постепенному
разрушению. Виде

циклическая

устойчивость

а) коррозионная стойкость

б) старение

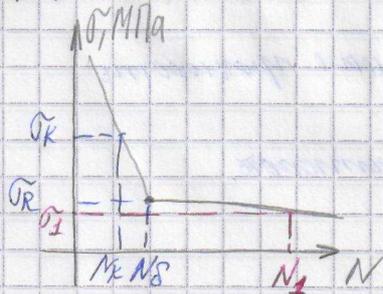
Малое число циклов долговеч. привод. к разрушению

из-за распространения усталостн. трещины

циклическая долговечность.

- опре-се кон-вои циклов N до разрушения.

Чем > напряж-е
тем меньше циклов



σ_R - предел выносливости, R - симметричность цикла.

σ_{kT} - временный предел выносливости (усталости)
Усталость - длительный процесс, кот.-й
хар-ся зарождением трещины на пов-ти
и ее ростом внутрь детали.

Если выбрать высокопрочную твердую сталь,
то трещина будет зарождаться медленно,
но зародившись, распространяется быстро внутрь.
Если материал вязкий \rightarrow трещ. зародит-
ся быстро, распространяется медленно.
Оптимальный вариант - пластичн. материал
с тверд. пов-тью (зародит. и распр. медленно).

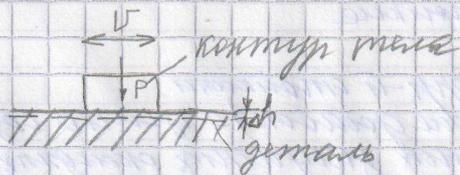
Способы повышения твердости пов-ти:

- 1) Холодная пластич. деф-я - закалка
- 2) Закалка (поверхностная) твердыми выс. тв. соед.
- 3) Химико-термич. обработка. (цементация, азотирование).

Шлифованная шероховатая пов-ть не провоцирует зародит.-е трещин.

Упрочностойкости

Упроч. - разруш.-е материала при трении.

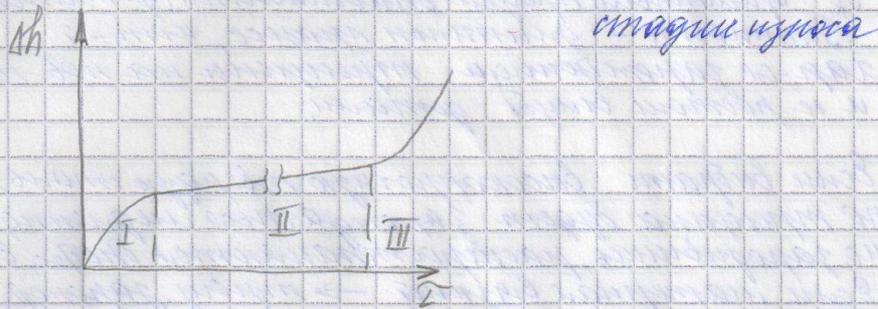


Наука о упрочностойкости - триботехника

Факторы, влияющ. на износ:

Удельное давление, скорость трения, t°

наличие или отсутствие смазки, абразивное/неабразивное трение, подбор пар трения (каждое - трение).



- 1) приработка пары трения — микроровности
- 2) рабочая стадия
- 3) катастрофический износ

I и III — пары трения не эксплуатируются

Способы повышения износостойкости:

— это способы повышения поверхности твердости.

Коррозионная стойкость

— сопротивление материала постепенному разрушению под действием окружающей среды.

2 вида корр-и:

- 1) электрохимическая (во влажн. средах при контакте с металлами, устойчива к щелочной среде — нержавеющая сталь)
- 2) химическая (при контакте с агрессивными средами в сухих жаровых условиях)

Способы повышения корр-и стойкости:

- 1) легирование (введение добавок) с целью созд-я плотных поверхностных защитных оксидных пленок
- 2) покрытие корр-стойкими материалами

упр. отклонения $\leq 0,3\%$ - низкая
 $0,3\% - 0,7\%$ - средняя
 $> 0,7\%$ - высокая

центр. низкая ≥ 90 - 5% дел. и т. п.
 средняя \geq - 5-10% и
 высокая $\geq > 10\%$ и

2) по качеству (по содержанию вредных примесей)

S, P
 качество S делает красноватой (крупнее при нагреве)
 P - и - амарантовой (и при 2173)
 скрытые вредные примеси (трудно определить) - O, N, H

| качество | $S\%$ | $P\%$ | |
|------------------|--------------|--------------|------------------------|
| обыкновен. | $\leq 0,055$ | $\leq 0,045$ | - ухудшается и центр-е |
| качество. | $\leq 0,04$ | $\leq 0,035$ | |
| высококач-ые | $\leq 0,025$ | $\leq 0,025$ | - только центр-е |
| особо высококач. | $\leq 0,015$ | $\leq 0,015$ | |

3) по степени раскисления
 удаляется O_2 из отливки при выплавке
 путем разных добавок в расплавлен. легирующую
 сталь

СП - Спокойные - раскис. дод. Mn, Si, Al

КП - кипящие - и - Mn

ПС - полужелезные - и Mn, Si

4) по структуре. - в зав-ти от кол-ва и вида легиру. эл-тов.

а) по нормализации (4 класса):
нормальный, мартемситный, аустенитный,
ферритный (так кол-во легиру. эл-тов).

б) по структуре
- доэвтектоидные
- эвтектоидные
- аустенитные
- ферритные

в) по прочности:

Нормальные прочн. $\sigma_B \leq 1000 \text{ МПа}$
повыш. прочн. $\sigma_B = 1000 - 1500 \text{ МПа}$
высокопрочн. $\sigma_B > 1500 \text{ МПа}$

г) по назначению:

а) конструктивные (доэвтект., эвтект.)
б) инструментальные (заэвтектоидные).

12.12.07.

Стали классифицируют сразу по всем признакам.

Пример: конструкцион, качеств-е, легиру-е, хромоникеле-
вые, мартемситного класса, повышенной прочности
стали.

Примеси в сталях (не легирующ. эл-ты)

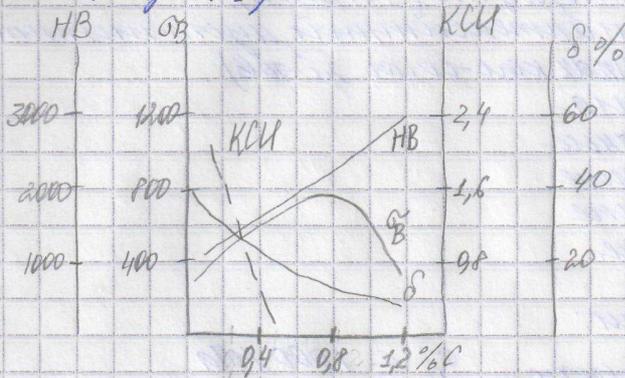
- 1) полезные
- 2) вредные

Полезные: C, Mn, Si

Вредные: S, P, вредные-скрытые: O₂, N₂, H₂

Есть еще случайные примеси (забывают от
многократной руды или попадающие
в сталь из оборудования).

Умеренно С — определяет св-ва стали, его влияние незначительно. Повыш. С → повышение твердости, меньше пластичность; $\sigma_{\text{вр}}$ (до 0,8% повыш., а после уже падает)



Марганец Mn до 1% не явл. легирующ. эл-том, повыш. прокаливаемость стали, на марки не влияют Mn.

Сталь Г13 (13% Mn) — делается ступенки на колё
Кремний Si повышает предел упругости.
Пример: 60С2 пружинно-рессорн. сталь.

Умереннолегированные конструкционные стали.

м.б. обычных кач-ва и качественные

I Обычн. кач-ва — самые дешёвые, нормальной прочности. Нужн на зубчатой — в крупномодульной зубении: шестни, фермы, болты.

Их делят на 3 группы: А, Б, В; в зависимости от того, что гарантируется в этих сталях.

Группа А: стали с гарантир. механ. св-вами и известными хим. составом.

Ст 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6кп, 6пс, 2кп, 3пс

(всего 7 марок от 0 до 6)

китайские поперечной-
1042

Эти стали не имеют термич. обработки —
мы не знаем хим. состава.

Группа Б: стали с гарантир.-ми хим.
составом и неизв. хими. св-вами.

БСт 0, ... БСт 1, ... БСт 6, БСт 3пс.

Имеют термобработ., после кот-й опред-ют мех.
св-ва

Группа В: ст. с гарантир. хими. св-ва и
мех. св-вами

ВСт 1, ВСт 2, ВСт 3, ВСт 3пс, ..., ВСт 5

ВСт 3пс $\xrightarrow{\text{мех. св.}}$ Ст 3пс (группа А)

$\xrightarrow{\text{хим. св.}}$ БСт 3пс (группа Б)

II Качественные (нормированные)

$$S \leq 0,04\%, \quad P \leq 0,035\%$$

В зависи-ти от содерж-я С их делят на низкоуг-
леродистые (до 0,3%), среднеуг-е (0,3-0,5%),
высокоуг-е (0,5-0,8%).

Низкоуглеродистые: здесь химич. "сталь"
полностью.

Сталь 2Ц, 2Цкп, 3Ц, 3Цпс

Видыг. все пластичнее, лучше свариваемы.
Применяются после цементации, поэтому
наз-ся цементованными.

Высокоуглеродистые стали: (их еще наз-ют
контросталью)

Сталь 0,5 (0,05% С)
0,8 (0,08% С)

Среднеуглеродистые стали:

Сталь 30, 40, 45, 45Г, 50

Они применяются в кач-ве валов, шестерен, шпиралей, зажимов + выс. отпуски. (объем)
Это сталь с углеродом, поэтому такие стали - углеродистые.

Сталь 05 - 08 % С - рессорно-пружинные, применяются для Кривогобар. и т.п.

Сталь 50, 60, 60Г, 70, 80

В кач-вах ст и стали - 1е место - кач-ве углерода в сетях сталей;

второе - выработка

или в новых-е углеродистые - закалка + средн. отпуск (тростит)

Сталь 5 } нельзя писать
с 50 }

Высококачественные стали - ш.б. только не маркируются, как же, как качественные

Сталь 30ХГСА, 30ХГЛ

просто кач-ная

1е место - содержание С в сетях сталей
далее - знак легирования - та, если его больше 1%, то еще и цифра (в %).

20Х2Н3А

Cr - X
Ni - H
W - B
V - P

Co - K
Mn - Г
Mo - M
Al - D

Si - C

Лач-ные пещир-е стали, как и пещир-е
 делят на мнужушер-е (90, 0,3%),
 среднелуж-е, цемментуемые.

Сталь 20, 20ХН, 20ХН3А цементуемые
 ↓
 кач. уш.

~~Цементуемые~~ - пружинно-рессор-е —
 0,5-0,5% С.

Сталь 60, 60С2, 60С2А
 кач. уш. кач. пещир, высокая водурванность

Особо высокая-ные стали с титк содержат-е
 серы и фосфора. Также сод-е достат-во
 дробн. электрошлаковыми перешавом.
 Также стали цементуемые, высокопрочные
 Пример 30ХГ - М

↓
 н. шлаков, перешав.

30ХГСА - пропананить - броня для танков

**Материалы с высокими упругими
 св-вами.**

- для упруг-е упругих эл-тов.

Материалы в пружинострессе должны реашир
 на малейш. возд-е (больш. чувствительность).



2-й закон Гука: закон упругости.

$$E = \frac{\sigma_y}{\epsilon}$$

$$\epsilon = \frac{\sigma_y}{E}$$

Чувствительность π -гозав. от модуля упругости, чем $\leq E$, тем чувствительность выше.
E имеет размерность давления.

для Fe, стали $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ — для алюминия

Al, ее сплавы $E = 1,25 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

↑
лучше для приборостр-я.

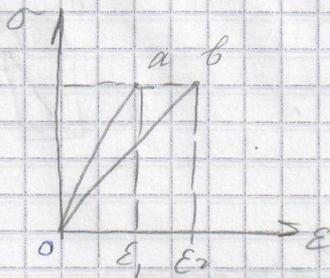
На изгот-е точных измер π -гозав. (пределов)

Неупругие эффекты отн. кат-во упруг. π -гозав.

Неупругие эффекты в упругих элементах.

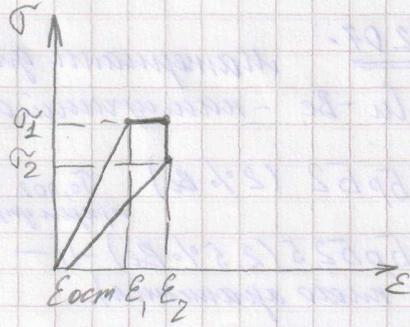
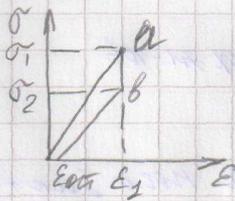
- 1) Упругие последствия
- 2) Релаксация
- 3) Метеризация
- 4) Внутр. трение

Упругие последствия — при нагруж-ии σ - ϵ , σ - σ — разгрузка



Увелич. и упр. деформ. после гнущ. нагрузки.
 — это упр. пластичедействие.

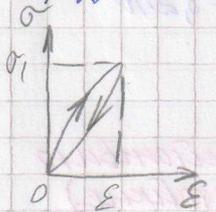
Линейная — значит — напряжение при гнущ. деформации — не возвращается в 0



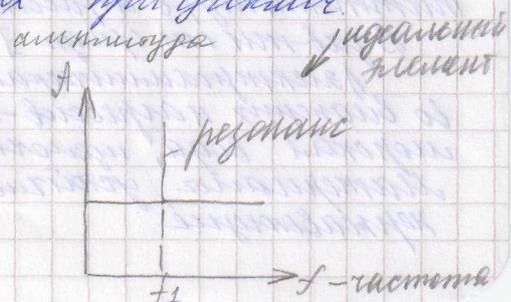
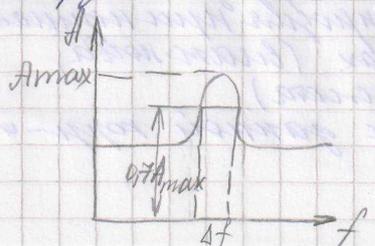
Остаточн. деформация $\epsilon_{ост}$ — это остат. деформация упругого элемента.

- σ_{02} — 0,2%
 - σ_{001} — 0,01%
 - σ_{005} — 0,05%
 - σ_{0002} — 0,002%
- } допустимая $\epsilon_{ост}$.

Гистерезис — несоблюдение кривой нагрузки и разгрузки.



Внутр. трение — проявл. в раб. упруг. Эл-та при воз. частотах при узких нагрузках.



Размытие резонансного пика — из-за внутр. трения.

Качество внутр. дефектов объясняется наличием микротрещин деформации (при первонач. или дислокаций из-за накрутки).

19.12.07.

Материалы для упругих п-тов

1) Cu-Be — наилучший став

БрБ2 (2% Be) $\sigma_{0,002} = 600 \text{ МПа}$ после зака + старение
предел упругости

БрБ2,5 (2,5% Be) — — = 800 МПа, — — —
(не: того аранится).

БрБМТ1,9 (1,9% Be) зака + АТД + старение
(добавили Ni и Ti)

$\sigma_{0,002} = 1000 \text{ МПа}$

2) Алюминий — на втором месте.

ЗВНХТНО $\sigma_{0,002} = 1000 \text{ МПа}$

ЗВНХТНМВ зака + АТД + стар. $\sigma_{0,002} = 1100 \text{ МПа}$

ЗВНХТНМВ $E = \frac{\sigma_{0,002}}{\epsilon} = \frac{1100}{2,1 \cdot 10^{-5}} = 5,2 \cdot 10^8$
модуль упругости

БрБИТ1,9МВ $E = \frac{1000}{1,25 \cdot 10^{-5}} = 8 \cdot 10^8$

Материалы, устойчивые к воздействию окружающей среды (коррозионно-стойкие).

Корр-я стойкость — сопротив-е разруш-ю (потенциально) в агрессивных средах.

В зав-ти от среды — 2 вида коррозии:

1) электрохимическая — коррозия при нормальн. t° во влажн. агрессив-х средах. (влажн. воздух, морская вода, щелочи, кислоты).

Материалы, устойчив-е к данной корр-и — нержавеющие

2) химическая — корр. при наличии и t° в среде сухих газов. Материалы, подверг. к хим. корр. и жаростойкие.

Электрохимич. коррозия

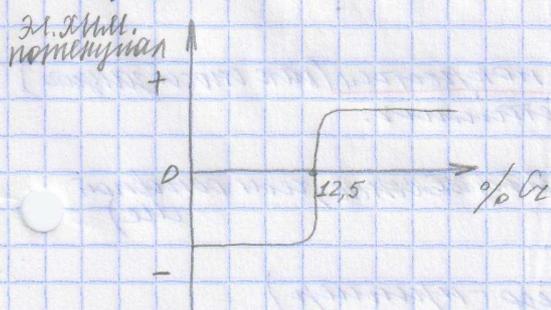
Возникает между двумя участками с разными металлами или потенциалами. Т.е., что один из участков становится анодом, а другой — катодом. И ЭД не обязательно "+" и "-", просто м.б. разное по величине, но одинаков. по знаку. Взяв среду замыкает участки (электролит), происх. перенос ие, разрушается анодный участок.

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Al | Zn | Fe | Sn | H | Cu | Ag | Pt | Au | град |
| -1,63 | -0,76 | -0,44 | -0,14 | 0 | +0,52 | +0,80 | +1,19 | +1,60 | напряженности. |

Если взять "+" и "-" — то рр. сильная коррозия.

образование микрогальванических элементов с разными потенциалами
это м.б. дано в 1м зерне, м.б. участки с разными напряж-ми составлением.

Способы борьбы: повышение хим. потенциала
или смена путем легирования;
создание однофазной структуры;
повышение вязкости ие к самонаассивации.
(образование плотных защитных оксидных слоёв)



Хромистые переслаиваемые стали: 12X13 (Cr-13%)
(структурный инструмент-пример)
20X13
30X13
40X13

У-за Cr повышаем э.л.м. потенциал и способность к самопассивации (Cr₂O₃)

Создание однофазной стр-ры путем легир-я Cr и Ni:
18% Cr, 10% Ni (18-10)

У них однофаз. аустенитная стр-ра

Титаникелевые стали: 64 X 18H10

68 X 18H10

12 X 18H10

} здесь мало C,
малая прочность

Здесь реализуется все 3 способа зачистки.



Но тут: коррозии по границам зерен аустенита

При медленном нагреве Cr, обладая большей подвижностью, диффундирует к границам зерен и образует карбид Cr₂₃C₆ → Cr становится менее 13%, при этом в области

становится " - ". Корр. у зерен (" + ") и границей (" - ")

Для устранения межкристаллической коррозии вводят более сильный карбидообразователь (чтобы он сразу образовал карбиды и оставил Cr) Ti

12X18H10T стабилизированный

Коррозионно-стойкие покрытия (как способ защиты)
м.б. металлов и неметаллов.

А металлов:

алюминиевые (более эффективные, чем оксидной пленкой)

сплавы Zn, Cd

(это оцинкованное железо - пример)

При нарушении целостности пов-ти процесс

разрушения покрытия, но сохран-ся основа. Мб

картошки (более помпез-е, чем св. мле)

спид Fe - Pb, Sn

Тут при разруше-ии покрытия — разруше-е
основного мле.

б) неметаллич:

как правило, диэлектрики, препятствуют
образованию гальванического на пов-ти. Но:
они недолговечные, их надо обновлять.

ВЫВОДЫ

В курсе лекций были рассмотрены основные темы курса «Материаловедение и материалы электронных средств» такие как: виды металлических сплавов, способы их получения, виды металлических сплавов, которые используются при изготовлении непосредственно электронной радио аппаратуры, сравнительные характеристики различных способов, оценка их с точки зрения экономичности и технологичности.

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Зябрев А. А. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к зачету по предмету «Материаловедение и материалы электронных средств».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барташевич А.А. Материаловедение. – Ростов н/Д.: Феникс, 2008.
2. Вишневецкий Ю.Т. Материаловедение для технических колледжей: Учебник. – М.: Дашков и Ко, 2008.
3. Заплатин В.Н. Справочное пособие по материаловедению (металлообработка): Учеб. пособие для НПО. – М.: Академия, 2007.
4. Материаловедение: Учебник для ВУЗов. / Под ред. Арзамасова Б.Н. – М.: МГТУ им. Баумана, 2008.
5. Материаловедение: Учебник для СПО. / Адаскин А.М. и др. Под ред. Соломенцева Ю.М. – М.: Высш