

Раздел 2 Основы материаловедения

Тема 2.1 Металлы и сплавы

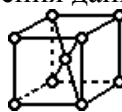
1. Типы межатомных связей. Влияние на свойства материалов.


Ван-дер-Ваальса связь возникает в результате индукционного взаимодействия атомов, в инертных газах. Ионная связь возникает в результате взаимодействия разноимённых зарядов (положительного и отрицательного), ненаправленная, ненасыщенная, локализованная. Ковалентная связь возникает обобщением нескольких электронов (по правилу 8- n , где n – число электронов), имеет высокую энергию, является направленной, насыщенной и локализованной. Металлическая связь возникает в результате обобщения всех электронов. Эта связь ненасыщенная, ненаправленная, не локализованная.

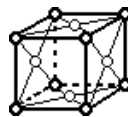
2. Кристаллические и аморфные материалы. Кристаллическое строение. Основные типы кристаллических решёток.


Кристаллическое тело характеризуется правильным расположением атомов в пространстве. У аморфных веществ расположение атомов случайно. Кристаллические вещества образуют кристаллическую решётку. 14 типов кристаллических решёток. Крист. решётка характеризуется элементарной ячейкой. Эл. ячейка – кристаллич. решётка наименьшего объёма, воспроизведение которой в пространстве множество раз создаёт пространственную крист. решётку. Атомы в пространстве располагаются упорядоченно, образуя кристаллическую решётку. Основные типы:

1. Простая кубическая решётка: в узлах кубика атомы касаются друг друга. Параметры: Период решётки (расстояние между атомами $a = d$), d – диаметр атома. $1/8 \cdot 8 = 1$ атом на элемент, ячейку. Для химического соединения данный тип решётки.



2. Кубическая объёмно-центрированная решётка  характерна для тугоплавких металлов. $a = 1,21 \cdot d$. $1/8 \cdot 8 + 1 = 2$. Fe α , Ti, W, Nb.



3. Кубическая гранецентрированная решётка  $1/8 \cdot 8 + 1/2 \cdot 6 = 4$. Характерна для пластичных металлов. Cu, Fe γ , Au.

3. Анизотропия кристалла и изотропия кристаллических тел.

Анизотропия – это различие свойств в разных направлениях в кристалле. В монокристалле – анизотропия. Поликристаллические вещества – где много кристаллов. В поликристаллическом теле – изотропия (одинаковые свойства по разным направлениям).

4. Идеальное строение металла. Отклонение в строении реальных (технических) металлах и влияние на их свойства.

Обычно кусок металла состоит из скопления большого числа маленьких кристаллов неправильной формы, называемых зёрнами. Кристаллические решётки в отдельных зёрнах ориентированы относительно друг друга случайным образом. Поверхности раздела зёрен называются границами зёрен. Такой кусок металла является поликристаллом. При определённых условиях, обычно при очень медленном контролируемом отводе тепла при кристаллизации (затвердевании металла), может быть получен кусок металла, представляющий собой один кристалл, его называют монокристаллом. Встречаются в природе кристаллы, как монокристаллы, так и зёрна в поликристаллах, никогда не обладают строгой периодичностью в расположении атомов, т.е. не являются идеальными кристаллами. В действительности реальные кристаллы содержат несовершенства (дефекты) кристаллического строения.

5. Дефекты кристаллического строения: вакансии и дислокации. Влияние на превращения и свойства.

Эффект вакансии – точечный дефект, вызывает искажение. Диффузия ускоряется. Дислокация – линейный дефект (много вакансий в ряд): эффект имеет длину, определяет высокую пластичность материала.

6. Дефекты кристаллического строения. Кристалл зерно.

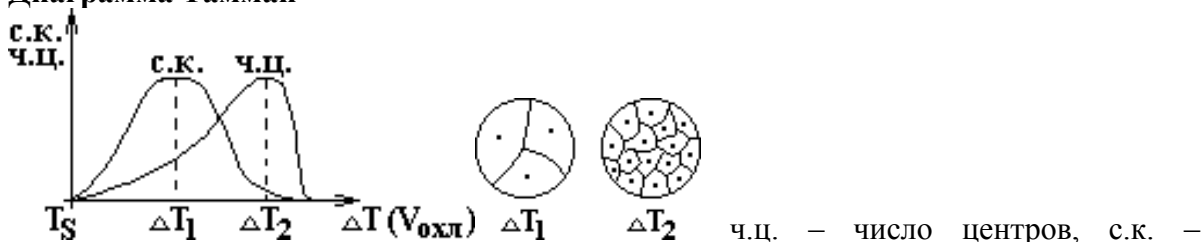
Дефекты: точечные, линейные, поверхностные, объёмные. Точечные: внедрение, вакансии, вызывают искажения. Линейные: дислокации, определяют высокую пластичность материала, эффект имеет длину. Поверхностные: границы зёрен, резко повышают пластичность и снижают прочность материала. Объёмные – порог в металле, дефекты имеют объём. Зерно – кристалл неправильной формы.

7. Первичная кристаллизация металлов, законы кристаллизации.

Первичная кристаллизация – переход из жидкого состояния в твёрдое. Энергетические условия первичной кристаллизации: из двух состояний: жидкого и твёрдого при данной температуре более устойчивым будет то, в котором металл имеет свободную энергию. Свободной энергией наз. часть внутренней энергии вещества, уменьшение которой приводит металл в более равновесное состояние. Процесс кристаллизации происходит в два этапа: зарождение центра кристаллизации и рост кристаллов.

8. Первичная кристаллизация. Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства металлов.

Диаграмма Тамман



Чем больше переохлаждение, тем меньше зерно. В крупных изделиях очень трудно получить мелкое зерно. Чем выше скорость кристаллизации, тем металл менее прочен.

9. Зерно в сплавах. Влияние величины зерна на свойства.

Зерно – это кристалл неправильной формы. Кристаллы могут иметь форму дендрита. Дендрит – кристалл древовидной формы. Мелкое зерно прочное, крупное зерно хрупкое.

10. Сплавы. Основные понятия и термины: сплав, компонент, фаза, структура, равновесное и неравновесное состояния.

Сплавы – это вещества, состоящие из двух или более элементов периодической системы. Получают их с помощью спекания или сплавлением. Компонент – вещество, образующее сплав. Фаза – пространственно ограниченная и отличная от других часть системы, имеющая свою кристаллическую решётку и свои свойства. Гомогенные вещества имеют одну фазу, а гетерогенные – несколько фаз. Структура – строение металла, в котором можно различать отдельные фазы, их форму, размеры и взаимное расположение. Структура влияет на свойства. Равновесное состояние – когда в сплаве все фазы, присущие этой системе оформлены. Это состояние обеспечивается при медленном охлаждении, можно различать размеры и формы фаз. Неравновесное состояние – процесс образования и обособления фаз не закончился, образуется при быстром охлаждении.

11. Сплавы. Классификация сплавов. Зависимость структуры сплава от положения компонентов в периодической системе Д.И. Менделеева.

Химические соединения, твёрдые растворы, смеси (механические). Если оба компонента теряют свою кристаллическую решётку, и у сплава образуется новая решётка, то это хим. соединение. Если один из компонентов сохраняет кристаллическую решётку, а другие её теряют, такие сплавы наз. твёрдыми растворами. Если оба компонента сохраняют кристаллическую решётку и свойства, то сплавы называются смесями. Хим. соединения: металлы обладают восстановительными свойствами, а неметаллы – окислительными. Сплавы: стали, чугуны, медные, алюминиевые, магниевые, титановые, оловянистые и свинцовые сплавы.

12. Диаграммы состояния двойных сплавов (основные типы). Закономерности Н.С. Курнакова.

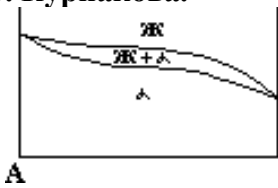
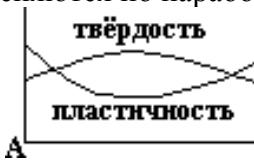
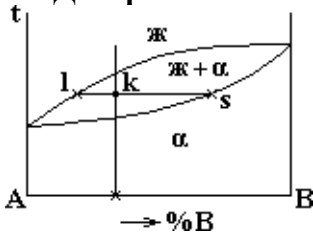


Диаграмма состояния сплавов показывает фазовое или структурное состояние в зависимости от сплавов. Процесс кристаллизации начинается на линии ликвидус и заканчивается на солидус. Свойства сплавов твёрдых растворов изменяются по параболической зависимости при добавлении второго компонента.



Оба компонента имеют разную химическую природу.

13. Диаграммы состояния сплавов. Правило отрезков.



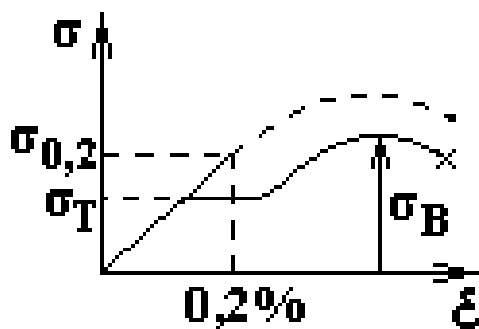
Для определения состава твёрдой и жидкой фазы какой-то точки необходимо провести коноду. Для определения количественного состава фаз в сплаве нужно брать отрезки на коноде обратно расположению фаз на диаграмме. $Q_\alpha/Q_{спл} = lk/ls$, а $Q_ж/Q_{спл} = ks/ls$.

14. Сплавы. Деформируемые и литейные сплавы. Особенности строения и свойства.

Литейный сплав в твёрдом состоянии хрупок, происходит разрушению в условиях растяжения или изгиба (ударного). Деформируемый сплав пластичен.



Напряжение $\sigma = P/F_0$, P – действующая нагрузка, F_0 – площадь образца, которую он имеет в начале испытания на растяжение. Важнейшая характеристика: σ_B – предел прочности при растяжении, что соответствует наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца. σ_B – сопротивление большой пластической деформации. Чем больше энергия атомов, тем выше σ_B . Структура с мелким зерном прочнее, чем структура с крупным.



σ_T – предел текучести, для пластичных материалов $\sigma_T \approx 0,5\sigma_B$. Условный предел текучести $\sigma_{0,2} = 0,5-0,7 \sigma_B$. НВ – твёрдость по Бринелю, характеризует сопротивление металла большой пластической деформации в условиях сжатия. $P = 3000$ кг, диаметр шарика = 10 мм. $HV = P/F_{отп}$ [кгс/мм²]. Чем выше НВ, тем труднее изготавливать детали. Линейная зависимость: $\sigma_B \approx HV/3$. Пластичность определяется в испытаниях на растяжение. l_n – начальная длина образца, l_k – конечная. Относительное удлинение $\sigma\% = (l_k - l_n)/l_n \cdot 100\%$. Это характеристика надёжности материала. Относительное сужение $\psi\% = (d_n - d_k)/d_n \cdot 100\%$, d – диаметр образца. Ударная вязкость – хар-ка, показывающая сопротивление материала к динамическим нагрузкам. Ударная вязкость $a_n = (P \cdot H - P \cdot h)/S$ [кгс/мм²]. Модуль Юнга E (нормальной упругости) показывает связь между нагрузкой и деформацией. Чем жёстче материал, тем выше E . $E_{Fe} = 20000$ кгс/мм².

15. Способы упрочнения сплавов.

Наклёп – упрочнение металлов и сплавов в результате измельчения зерна при холодной пластической деформации. **Перекристаллизация** – упрочнение в результате измельчения зерна при полиморфном превращении. **Дисперсионное твердение** – упрочнение сплавов в результате выделения мелких частиц второй фазы из пересыщенного твёрдого раствора.

16. Деформация упругая и пластическая. Упрочнения металлов при пластической деформации.

Деформация может быть упругой, исчезающей после снятия нагрузки, и пластической, остающейся после снятия нагрузки. При упругом деформировании под действием внешней силы изменяется расстояние между атомами в крист. решётке. Снятие нагрузки устраняет причину, вызвавшую изменение межатомного расстояния, атомы становятся на прежние места и деформация исчезает. При пластическом деформировании одна часть кристалла перемещается по отношению к другой. Если нагрузку снять, то перемещённая часть кристалла не возвратится на старое место, деформация сохранится. Наклёп. Перекристаллизация. Дисперсионное твердение.

17. Холодная и горячая пластические деформации. Условия деформирования. Влияние на структуру и свойства металлов и сплавов.

Если пластическая деформация осуществляется при температуре выше T_p , то наклёпа нет. Эта деформация называется горячей пластической деформацией. Холодная пластическая деформация (давление) происходит при температуре ниже T_p , возникает упрочнение.

18. Рекристаллизация сплавов, влияние на структуру и свойства. Температура рекристаллизации по А.А. Бочвару.

Рекристаллизация – возвращение свойств в первоначальное состояние в процессе нагрева наклёпанного металла. Процессы: уменьшение количества дефектов, рост зерна (до исходного). А.А. Бочвар показал: $T_p = a \cdot T_{пл} K$ (в Кельвинах). Чем выше $T_{пл}$, тем выше

T_p . Вольфрам, молибден – самые тугоплавкие Me. Если чистый Me - $a \approx 0,2$, механические смеси - $a \approx 0,4$, твёрдые растворы - $a \approx 0,6$, химические соединения - $a \approx 0,8$.

19. Диффузионные и бездиффузионные процессы в металлических сплавах, влияние на свойства.

Бездиффузионные характеризуются перемещением атомов в пределах элементарной ячейки крист. решётки, высокой скоростью. Диффузионные превращения характеризуются перемещением атомов на большие расстояния. Они ускоряются с повышением температуры. К таким процессам относят частичный расплав твёрдого раствора $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2 + \beta$.

20. Полиморфные превращения в сплавах. Влияние превращений на структуру и свойства.

Полиморфизм – свойство металла изменять свою кристаллическую решётку под влиянием внешних факторов (температура, давление). $Fe\alpha \Leftrightarrow Fe\gamma$. 42 металла имеют полиморфные превращения. Железо, титан, марганец, графит, алмаз, олово. Свойство используется при термической обработке.

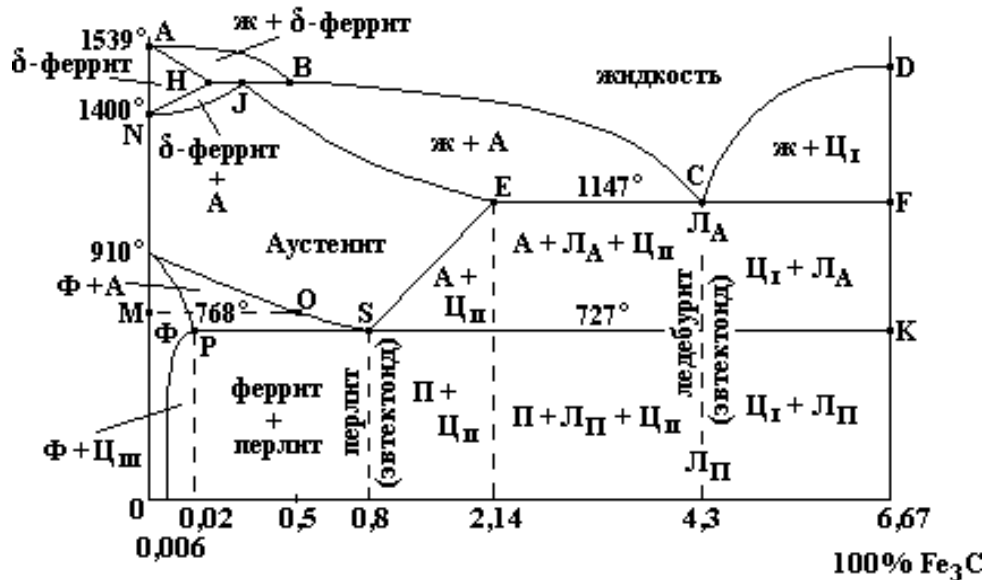
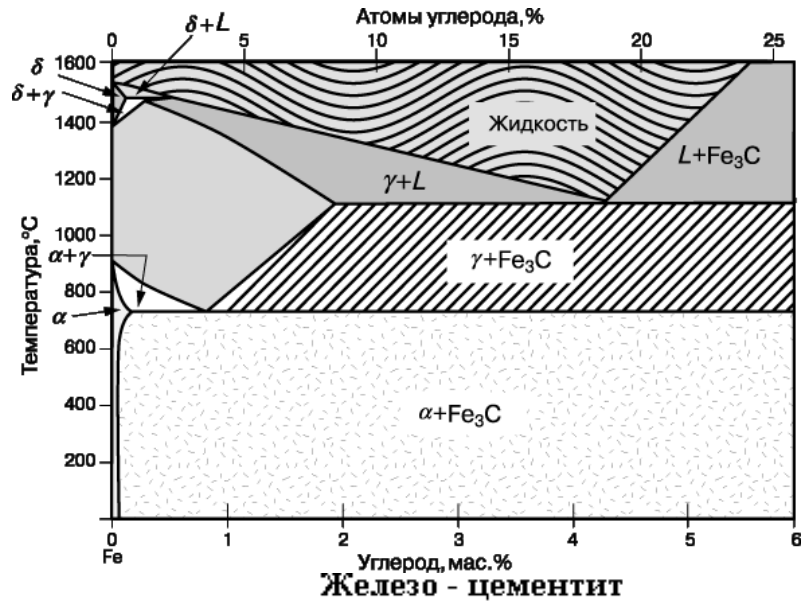
21. Дисперсионное твердение. Сплавы, упрочняемые дисперсионным твердением.

Дисперсионное твердение – упрочнение сплавов в результате выделения мелких частиц второй фазы из пересыщенного твёрдого раствора. Дуралюминий (0,5-5,6% Cu) может быть упрочнён в результате дисперсионного твердения. Нагреваем дуралюминий в области α -тв. р-ра и быстро охлаждаем – закалка (задерживаем все диффузионные процессы), получаем пересыщенный α -тв. р-р. Весь Cu сосредотачивается в тв. р-ре. Прочность низкая после закалки $\sigma_b \approx 20 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{мм}^2$. Если нагревать закалённый сплав, то начинается процесс дисперсионного твердения. Материал будет упрочняться. Процесс упрочнения тв. р-ра в результате выделения из него мелких частиц второй фазы. Старение – процесс выделения и коагуляции частиц второй фазы.

22. Понятие о термической обработке сплавов. Отжиг, закалка, старение (отпуск).

Термическая обработка – изменение структуры и свойств материала в результате нагрева и охлаждения в твёрдом состоянии. Отжиг - термическая операция, состоящая в нагреве металла, имеющего неустойчивое состояние, и приводящая металл в более устойчивое состояние. Закалка - термическая операция, состоящая в нагреве выше температуры превращения с последующим быстрым охлаждением для получения неустойчивого состояния сплава. Отпуск - термическая операция, состоящая в нагреве закалённого сплава ниже температуры превращения для получения более устойчивого состояния сплава.

23. Диаграмма состояния «Железо – цементит». Превращения в сплавах на основе железа при нагреве и охлаждении.



Fe α от низких температур до 768°C, эта фаза имеет решётку о.ц.к., низкую прочность и твёрдость 80 НВ, низкий предел текучести, удельный вес 7,8 г/см³, имеет магнитные свойства (ферромагнетик), растворяет углерод 0,006% при 20°C и 0,02% при 727°C. Твёрдый раствор углерода в Fe α наз. феррит. Свойства феррита близки к свойствам чистого Fe. Fe β – о.ц.к., существует от 768°C до 910°C, растворяет углерод в небольших количествах, немагнитен, при 768°C теряет магнетизм, 768°C – точка Кюри, парамагнетик. В 910-1400°C существует Fe γ , решётка г.ц.к., это железо немагнитно, растворяет 2,14% С при 1147°C. Раствор углерода в Fe γ наз. аустенит, немагнитен, твёрже феррита, достаточно пластичен. Fe δ существует в 1400-1539°C. 1539°C – плавление Fe. Переход Fe α →Fe γ происходит с изменением объёма (1%) (у α больше V). Fe $_3$ C - 6,7% С, твёрдость 800 НВ, Fe $_3$ C – цементит, при низких температурах магнитен. Fe $_3$ C→Fe+Графит. При 1147°C идёт реакция, в результате которой образуется эвтектика: смесь аустенита и цементита – ледебурит. [A+Ц] - 4,3% С. Феррит+цементит – Перлит. [Ф+Ц] – 0,8% С, твёрдость НВ 800. Л α – [A+Ц], Л β – [П+Ц], A→П. Из жидкости выделяется Ц $_I$, из A - Ц $_{II}$, из Ф - Ц $_{III}$. До 2,14% С – стали, после – чугуны. Сначала жидкость переходит в аустенит, потом происходит переход жидкости в ледебурит аустенитовый (эвтектическая реакция), аустенит переходит в перлит (эвтектоидная реакция), аустенит переходит в феррит.

24. Равновесные структуры в сталях. Их свойства и условия получения.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния сплава. Если изменяется состав сплава, его температура, давление и состояние сплава также изменяется, то это находит графическое отображение в диаграмме состояния. Она показывает устойчивые состояния, т.е. состояния, которые при данных условиях обладают минимумом свободной энергии. Поэтому диаграмма состояния может также называться диаграммой равновесия, так как она показывает, какие при данных условиях существуют равновесные фазы.

25. Стали. Классификация по качеству, структуре, назначению.

По структуре: технически чистое железо (0,006;0,02), доэвтектоидная (0,02;0,8), эвтектоидная (0,8) и заэвтектоидная сталь (0,8;2,14). Доэвтектоидная сталь: Ф+П, П – тёмный, твёрдый, НВ 180, Ф – светлый, более мягкий, пластичный, НВ 80. Эвтектоидная сталь: 100% П. Заэвтектоидная сталь: П+Ц. Ц – НВ 800, П - НВ 180. В процессе медленного охлаждения выделяется Ц_ц по границам зёрен в виде сетки.

По назначению: 1) строительные до 0,03% С, металл легко деформируется, эти стали, не закалывают, они не упрочняются; 2) машиностроительные, или конструкционные 0,3-0,6% С (валы, оси, детали машин), их можно закалить (изменить свойства), упрочняются за счёт термической обработки; 3) инструментальные 0,7-1,3% С, высокая прочность, твёрдость.

По качеству: 1) стали обыкновенного качества, самые дешёвые, плавка идёт всего 30 мин, примеси все не удаётся удалить (S 0,05% и P 0,05%), слитки крупные ≈ 10 т, ликвация сильная, пустоты отрезают, прибыль небольшая; 2) стали качественные, получают мартеновским способом, S и P до 0,04% в сталях, разливаются в меньшие слитки, меньше ликвация, более дорогие, выше качество, делятся на конструкционные и инструментальные, качественные стали, подвергаются упрочняющей термической обработке, поэтому в них важно знать содержание С; 3) кипящие стали, классифицируются по содержанию Si, в некоторых случаях можно понизить содержание Si для штампуемых сталей, Si – сильный раскислитель, С выводит О из стали (жидкого Me), создаётся вид, что сталь кипит, чем больше Si, тем спокойнее сталь, СО ослабляют Me, нужно, чтобы предел текучести был низким, используется для холодной штамповки; 4) высококачественные, получают в электропечах, выше температура, легче удалять вредные примеси; 5) автоматные стали, для обработки на станках-автоматах, стружка должна ломаться (мелкая), в стали оставляют повышенное содержание S до 0,1%, а P до 0,06%, это грязные стали, но хорошо обрабатываемые резанием (болты, шайбы); 6) легированные стали, X - Cr, Г - Mn, Н - Ni, К - Co, В - W, Ф - V, Т - Ti, С - Si, Ю - Al.

26. Влияние примесей в стали. Классификация сталей по качеству в ГОСТ. Марки сталей.

Бывают вредные: S, P, O, N и полезные: Mn, Si. Сера попадает из кокса вместе с углём. Наиболее чистый древесный уголь, шведские стали самые чистые, т.к. делают на древ. угле. Сера вызывает краснеломкость (в процессе прокатки сталь расслаивается, разъезжается). Обычно S в стали 0,02-0,05%. Сера увеличивает хрупкость стали. Влияние фосфора. Попадает из железной руды, создаёт хладнеломкость – резкое снижение ударной вязкости при отрицательных температурах. P повышает температуру перехода в хрупкое состояние. Фосфор (много) должен снижать хладнеломкость. Кислород, азот вызывают синеломкость. Немцы первые объяснили это явление. Если работают при 300-350° С, и сталь вдруг ломается, поверхность разлома синего цвета (паровые установки). Оказалось, что в структуре образуются нитриды Fe₄N на границах зёрен. В сталь добавляется Al ≈ 4г на тонну стали. Al связывает нитриды, синеломкость устраняется. Марганец имеется в стали 0,5-1,5%, иногда вводится дополнительно. Mn вводит S в шлак, освобождая сталь от

S, снижает красноломкость. Mn – хороший раскислитель, отбирает кислород у стали. Mn ~ 0,5% в стали. Кремний действует подобно марганцу, является раскислителем. Влияет сильнее, чем Mn. Si ~ 0,3-0,5% требуется. Si повышает предел текучести стали. Поэтому кремния много не вводится в сталь, штампуемая низкоуглеродистая сталь.

По качеству: 1) стали обыкновенного качества Сталь0 ... Сталь3 ... Сталь6, Ст.0 ... Ст.3 (0,15-0,22% С)... Ст.6, углерод увеличивается; 2) стали качественные: конструкционные, С меньше 0,7% Сталь 08, 10, ...45 ...60, содержание С в стали в сотых долях % и инструментальные, С больше 0,7% У7...У13, содержание С в десятых долях; 3) кипящие стали 08КП (меньше Si, кипящая), С (больше Si, спокойная), ПС (полуспокойная); 4) высококачественные У7А ... У13А; 5) автоматные стали А45Г (0,45% С, Г - Mn); 6) легированные стали 12ХН3А (0,12% С, Х - Cr 1,5%, Н - Ni 3%, А - высококачественная), ЭН-17...1000 (завод «Электросталь»), ЭП-1...1000, ЭК.

27. Стали, марки сталей. Область применения.

1) стали обыкновенного качества Сталь0 ... Сталь3 ... Сталь6, Ст.0 ... Ст.3 (0,15-0,22% С)... Ст.6, самые дешёвые, плавка идёт всего 30 мин, слитки крупные ≈ 10 т, поставляют эти стали по механическим свойствам, не подвергаются термической обработке. 2) стали качественные: конструкционные, С меньше 0,7% Сталь 08, 10, ...45 ...60, содержание С в стали в сотых долях % и инструментальные, С больше 0,7% У7...У13, содержание С в десятых долях, разливаются в меньшие слитки, более дорогие, выше качество, подвергаются упрочняющей термической обработке, поэтому в них важно знать содержание С. 3) кипящие стали 08КП (меньше Si, кипящая), С (больше Si, спокойная), ПС (полуспокойная), классифицируются по содержанию Si, в некоторых случаях можно понизить содержание Si для штампуемых сталей, Si – сильный раскислитель, С выводит О из стали (жидкого Ме), создаётся вид, что сталь кипит, СО ослабляют Ме, нужно, чтобы предел текучести был низким, используется для холодной штамповки. 4) высококачественные У7А ... У13А, получают в электропечах, выше температура, легче удалять вредные примеси, более дорогие; 5) автоматные стали А45Г (0,45% С, Г - Mn) , для обработки на станках-автоматах, стружка должна ломаться (мелкая), в стали, оставляют повышенное содержание S до 0,1%, а Р до 0,06%, это грязные стали, но хорошо обрабатываемые резанием (болты, шайбы); 6) легированные стали 12ХН3А (0,12% С, Х - Cr 1,5%, Н - Ni 3%, А - высококачественная), ЭН-17...1000 (завод «Электросталь»), ЭП-1...1000, ЭК.

28. Стали марок Ст.4, 40. Состав, свойства и назначение в промышленности.

Ст.4: сталь общего назначения, обыкновенного качества, σ_B (410-530) МПа или (42-54) кгс/мм², σ_T не менее 245 МПа или 25 кгс/мм², больше прочность, чем у Ст.1, меньше пластичность, С 0,18-0,27%, Mn 0,4-0,7, не подвергаются термической обработке, дешёвая. Для производства машин, станков, строительных металлоконструкций, предметов широкого потребления. 40: сталь качественная, конструкционная, содержание С в стали 0,4%, более дорогая, качество выше, подвергается упрочняющей термической обработке. Машиностроительное производство.

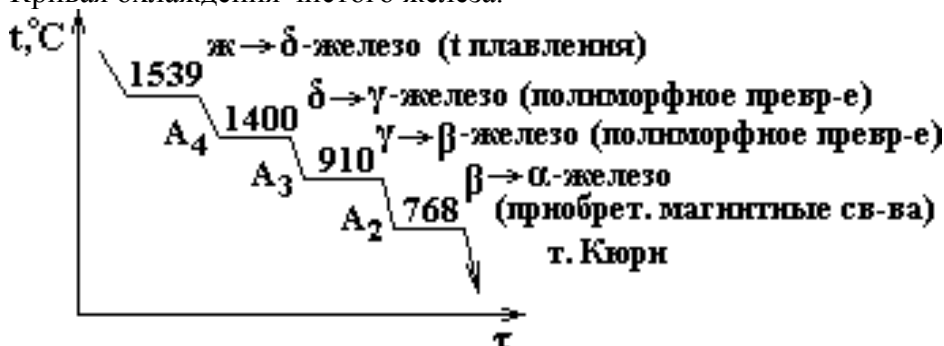
29. Ликвация в металлических сплавах, причины её вызывающие. Ликвация серы в стали, красноломкость.

Ликвация – это неоднородность свойств и строения в сечении материалов. Причиной ликвации является образование разного состава кристалла. Разное количество примесей – серы, фосфора, углерода. Сера вызывает красноломкость, в процессе прокатки сталь расслаивается, разъезжается. Обычно S в стали 0,02-0,05%. Сера склонна к ликвации. В процессе прокатки жидкость растекается. Борьба с красноломкостью: поднимается температура за счёт добавления в сталь марганца (FeMn). $FeS + FeMn \rightarrow 2Fe + MnS$. Красноломкость уменьшается.

30. Стали. Превращения в стали при нагреве и охлаждении. Критические точки стали по Д.К. Чернову.

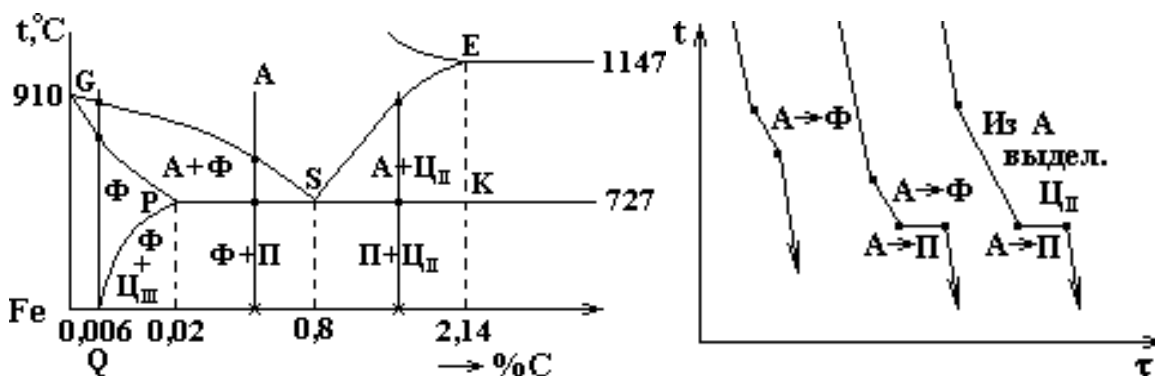
У стали, кристаллизация заканчивается образованием аустенита, в структуре нет эвтектики (ледебурит отсутствует). Для сталей характерно: легко деформируются в горячем состоянии, со структурой аустенит. Температура плавления 1500-1550°C.

Кривая охлаждения чистого железа.



Остановки – критические точки, обозначаемые А. Их различают при нагреве и охлаждении. Ar₂ при охлаждении, Ac₂ при нагреве.

Превращения в стали.



31. Графитизация чугунов. Влияние на структуру и свойства. Факторы её вызывающие.

Процесс графитизации: $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{C}_{\text{гр}}$. Этот процесс можно ускорить (Si – графитизатор) или задержать (Mn – отбеливатель). Скорость охлаждения отливки влияет на графитизацию. Большая масса и медленное охлаждение, успевают пройти графитизацию. Если небольшая масса, то белый чугун. Зависит от массы отливки. В серых чугунах, которые получают медленным охлаждением жидкого чугуна, графит пластинчатой формы, в ковких – хлопьевидный графит, в высокопрочных – шаровидный. Графитизация проходит полностью, весь С в виде графита, цементит полностью распадается, получается чугун со структурой Ф+Гр, хрупкий, большая масса отливки. Графитизация проходит частично, образуется феррито-перлитовый чугун, прочность больше, возникает в более мелких отливках. Графитизация проходит слабо, перлитный чугун, графита мало, небольшие отливки, большая скорость охлаждения.

32. Влияние кремния, марганца и фосфора на свойства чугуна.

Влияние кремния (Si). Si – важнейший компонент чугунов. Обычные чугуны: Fe-C-Si, 2-3% Si. Si усиливает графитизацию: $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{Графит}$. Эта реакция ускоряется при увеличении содержания Si – графитизатора. Влияние марганца (Mn). Mn – раскислитель. $\text{FeO} + \text{FeMn} \rightarrow \text{MnO}_{(\text{в шлаке})} + 2\text{Fe}$, чугун очищается от кислорода. Задерживает процессы

графитизации. Отбеливание – задерживает распад цементита (отбеливает чугун). Mn до 1%. Влияние фосфора (P). Улучшает жидкотекучесть (легче получить отливку). P до 0,2%, если художественное литьё, P до 0,1% – обычное литьё. Влияние серы (S). S ухудшает свойства чугуна. S до 0,1%. Если выплавляется в электропечах, то S до 0,05%.

33. Чугуны. Классификация чугунов по структуре. Марки чугунов по ГОСТ.

2,14-3,7% C. свойства чугуна зависят от структуры и от формы C, находящейся в структуре. Чугуны: Fe₃C – белые чугуны (на изломе светлые), C – чугуны с графитом. Графитизация Fe₃C → Fe + C_{графит}. В зависимости от формы графита: серые – пластинчатый графит СЧ25 (предел прочности 25 кгс/мм²), СЧ30, СЧ35, СЧ35, СЧ40, СЧ45; ковкие – хлопьевидный графит, ферритные: КЧ30-6, КЧ35-10 (предел прочности 35 кгс/мм², относительное удлинение 10%, твёрдость 149 НВ, на ферритовой основе), КЧ37-12, феррито-перлитные: КЧ45-6, КЧ50-4, КЧ60-3, КЧ63-2; высокопрочные – шаровидный графит ВЧ45-5, ВЧ50-2, ВЧ60-2 (предел прочности 60 кгс/мм², предел текучести 40 кгс/мм², относительное удлинение 2%, твёрдость 200-280 НВ, ВЧ70-2).

34. Белые чугуны: состав, свойства, область применения.

Углерод находится в виде цементита Fe₃C. Излом будет белый, если сломать. В структуре доэвтектического чугуна НВ 550 наряду с перлитом и вторичным цементитом присутствует хрупкая эвтектика (ледебурит), количество которой достигает 100% в эвтектическом чугуне. Структура заэвтектического чугуна состоит из эвтектики (Лп) и первичного цементита, выделяющегося при кристаллизации из жидкости в виде крупных пластин. Высокая твёрдость, трудно обрабатывается резанием. Гл. свойство: высокая износостойкость. Чугун хрупкий. Редко применяется в машиностроении. Используется при изготовлении жерновов на мельнице, прокатные валки на прокатных станках, изгороди делают из этого чугуна. Если отливка небольшая (до 10 кг), то образуется белый чугун при быстром охлаждении.

35. Отбелённые чугуны.

Отбелённый чугун имеет в сердцевине структуру серого или высокопрочного чугуна, а в поверхностном слое повышенной твёрдости (НВ450-550) – ледебурит и перлит. Это создаёт высокую износостойкость, но резко ухудшает обрабатываемость резанием. Отбелённый чугун используют в ограниченных пределах для деталей простой формы, получающих чистую поверхность при литье, выполняемом отливкой в металлические кокили, т.е. в условиях ускоренного охлаждения поверхностных слоёв.

36. Чугуны с графитом. Классификация. Области применения.

В зависимости от формы графитовых включений: серый на ферритной, феррито-перлитной и ферритной основах – пластинчатый графит, ковкий на ферритной, феррито-перлитной и ферритной основах – хлопьевидный графит, высокопрочный – шаровидный графит. Лучшие литейные свойства по сравнению со сталью. Более низкая температура плавления и окончание кристаллизации при постоянной температуре (образование эвтектики) обеспечивают не только удобство в работе, но и лучшие жидкотекучесть и заполняемость формы. Описанные преимущества чугуна делают его ценным конструкционным материалом, широко применяемым в деталях машин, когда детали не испытывают значительных растягивающих и ударных нагрузок.

37. Серые чугуны: применение в промышленности.

Название чугун получил по виду излома, который имеет серый цвет. Структуры: П (0,8% C) +Гр, П + Ф (меньше 0,8% C)+Гр, Ф +Гр (весь углерод, имеющийся в сплаве, присутствует в форме графита). Графит пластинчатой формы. Графитовые включения можно считать в первом приближении просто пустотами, трещинами. Чем больше в

чугуне графита, тем ниже его механические свойства, чем грубее включения графита, тем больше они разобщают металлическую основу, тем хуже свойства чугуна. При растягивающих нагрузках облегчается образование очагов разрушения по концам графитных включений. Ценный конструкционный материал, широко применяемый в деталях машин, главным образом тогда, когда они не испытывают значительных растягивающих и ударных нагрузок.

38. Высокопрочный чугун.

Включения в виде шаровидного графита. У него более высокая прочность. Маркировка: ВЧ 45-12 (макс. Ф), ВЧ 60-5 (макс. П), 45 и 60 – предел прочности, 12 и 5 – относительное удлинение (до 15). Эти чугуны пластичные. Это литейный сплав. Чугун прочнее стали. Магний (Mg) добавляется в эти чугуны в расплавленном виде, часто Mg возгорается и получение сопровождается взрывами. Mg вводится для образования шариков. Шарики более компактны, концентраторов напряжения мало.

39. Ковкий чугун. Способы получения. Структура и свойства.

Включения графита в виде хлопьев. Получается такой чугун в две стадии: получение белого чугуна (отливка до 10 кг), графитизирующий отжиг (томление). Углерода в ковком чугуне 2,4-2,8%. Графитизированный ковкий чугун плавят в электропечах. Получили ферритовый ковкий чугун, более пластичный. На П+Ф-основе. Если закончился процесс графитизации при 725°, по получаем перлитный ковкий чугун (более прочный).

40. Сплавы на основе меди. Латунни. Структура и свойства.

Медь: $t_{\text{плавления}} = 1084^{\circ}\text{C}$, низкий коэффициент трения, высокая электропроводность, высокая теплопроводность, высокая устойчивость против коррозии, низкая прочность $\sigma_B \approx 25 \text{ кгс/мм}^2$, пластичность высокая $\delta = 40\%$. Сплавы меди. Создание сплавов приводит к повышению прочности, улучшению коррозионной прочности и снижению температуры плавления. Zn явл. легирующим компонентом. Сплавы Cu с Zn – латуни. Бронзы – сплавы с др. компонентами. Al + Cu – алюминиевые бронзы, Be + Cu – бериллиевые, Sn + Cu, ... Особенности влияния компонентов на структуру.

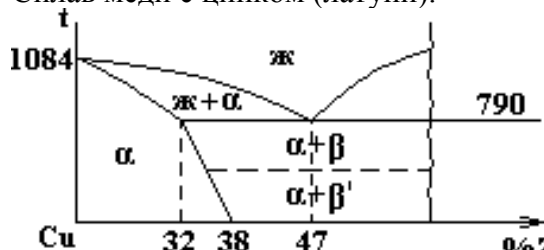


л.к. – легирующий компонент, х.с. – хим. соединение.

Если полиморфные превращения, значит перекристаллизация. I Сплавы – твёрдые растворы (однофазные сплавы, высокая прочность + высокая пластичность), II Механические смеси ($\alpha + \text{х.с.}$ – двухфазные: более высокая прочность), III Хим. соединения (хрупкие) – редко исп. В промышленности.

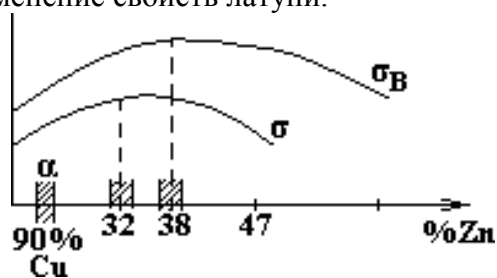
41. Сплавы на медной основе, латуни Л-80 и ЛС-59-1.

Сплав меди с цинком (латуни).



α – тв. р-р Zn в меди, β и β' – хим. соединения, β' – более хрупкое. Сплавы, в которых много β и β' , плохо деформируются, поэтому используются как литейные. Для кованных и литых сплавов весной и осенью

(влажность высокая) образуются трещины на поверхности. Сезонное растрескивание – коррозия под действием влаги и напряжения (наклёп + влага). Стараются снять наклёп, сделать нагрев выше $t_{кр}$, порядка 300°C , тогда сезонного растрескивания не возникнет. Изменение свойств латуни.



Латуни: 1) красные латуни, самые дорогие, цинк – жёлтый, медь красная, красные латуни не подвержены сезонному растрескиванию, Л80 (80% Cu), самовары делают из красной латуни; 2) сплавы, характеризующиеся пластичностью; 3) латуни с высокой прочностью, автоматные (изг. на станках-автоматах), обладают хорошей обрабатываемостью резанием, ЛС-59-1 (латунь свинцовая с 59% Cu и 1% Pb), самые дешёвые; 4) сложные латуни.

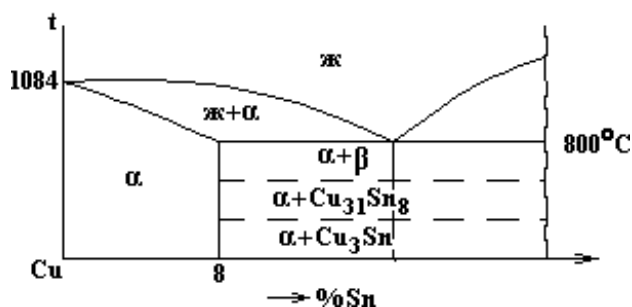
42. Бронзы. Строение и свойства. Области применения.

Бронзы – сплавы с др. компонентами. Al + Cu – алюминиевые бронзы, используются в судостроении, авиации, в виде лент, листов, проволоки их применяют для упругих элементов, в частности для токоведущих пружин. Be + Cu – бериллиевые, используются в изделиях небольшого сечения в виде лент, проволоки для пружин, мембран, сильфонов и контактов в электрических машинах, аппаратах и приборах. Sn + Cu – оловянные, применяют для литых деталей сложной формы. Si + Cu – кремнистые, применяют для арматуры и труб.

43. Сплавы на медной основе. Оловянные бронзы.

Оловянные бронзы – сплавы на основе меди + олово.

Диаграмма состояния Cu-Sn



Влияние олова на сплавы меди. Олово улучшает литейные св-ва, т.к. снижает температуру плавления, образуется эвтектика, которая уменьшает ликвацию. Олово уменьшает коэффициент усадки, можно сделать художественное литьё. Много пор у оловянной бронзы, поэтому плохо работает под давлением пара. Эти сплавы коррозионно-стойкие, используются в судостроении. Оловянная бронза с течением времени темнеет, поэтому из них часто изготавливают украшения. Низкий коэффициент трения. Есть однофазные (5-6% Sn) и двухфазные (>8% Sn). Из однофазной бронзы изготавливают медные монеты, т.к. у них высокая пластичность и хорошая коррозионная стойкость. Чаще используются двухфазные бронзы, их используют для подшипников скольжения. БрОФ-10-1 (бронза оловянно-фосфорная, 10% олова, 1% фосфора), БрОЦС-5-5-5 (с цинком свинцовая).

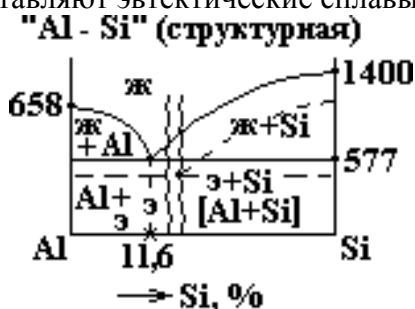
44. Деформируемые сплавы на основе алюминия.

Алюминий: лёгкий металл, имеет малый удельный вес $2,7 \text{ г/см}^3$, обладает высокой электропроводностью, высокой коррозионной стойкостью, температура плавления -

658°C, теплостойкость невысока, дешёвый, добывается из бокситов Al_2O_3 , мех. св-ва низкие, $\sigma_B = 6 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta = 40\%$ (малопрочный металл, но пластичный). Сплавы алюминия делятся на две группы: легко обрабатываемые давлением (дуралюминий) – деформируемые сплавы и силумины – литейные сплавы. Дуралюминий – сплав Al с Cu (Cu $\approx 4\%$). Al-основа, также вводятся Mg, Si, Fe $\approx 1\%$ каждого. Дуралюминий может быть упрочнён в результате дисперсионного твердения.

45. Сплавы на основе алюминия. Литейные алюминиевые сплавы. Структура, свойства и назначение в промышленности.

К литейным сплавам относятся силумины – это сплавы Al и кремния. Их основу составляют эвтектические сплавы.



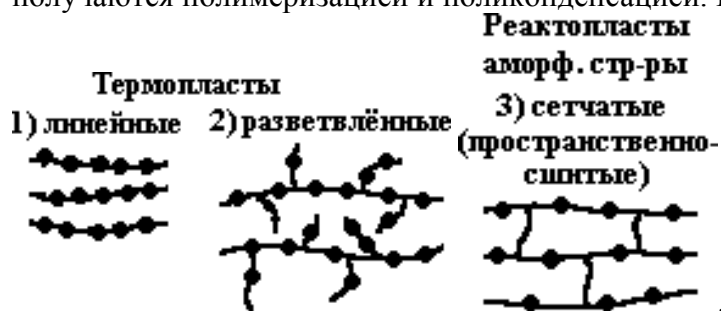
Обычно в литейных сплавах силуминах содержится 12-13% Si. Структура этих сталей при охлаждении состоит из грубой эвтектики [Al+Si] и хрупких зёрен Si. Для устранения данного явления эти сплавы модифицируют натрием или смесью $[\frac{2}{3}NaF + \frac{1}{3}NaCl]$. Модификаторы замедляют кристаллизацию хрупкого кремния и понижают температуру образования эвтектики, делая её мелкозернистой. В результате этого сплавы с 12-13% Si становятся доэвтектическими. Структура таких сплавов состоит из Al+э, эвтектика будет мелкозернистой. В результате такого модифицирования повышаются механические свойства. До модифицирования $\sigma_B = 130 \text{ МПа}$, $\delta = 3\%$, после – $\sigma_B = 180 \text{ МПа}$, $\delta = 8\%$. Низкая жидкотекучесть. Из этих сплавов возможно получение отливок сложной формы. Обозначение: АЛ2 (самый распространённый, алюминиевый литейный, 2 – номер по ГОСТу), АЛ3, АЛ4(+Mg+Mn), АЛ6, АЛ9 (+Mg+Mn).

Тема 2.2 Электроизоляционные материалы

1. Полимеры. Типы межатомных связей. Структура термопластичных и терморезистивных полимеров. Реакции образования полимеров.

Полимеры – это сложные высокомолекулярные соединения. У полимеров нет определённой температуры плавления. Отличие в степени насыщения. Предела насыщения не существует. Полимеры обладают очень высокой вязкостью, высокой молекулярной массой. Полимеры – это макромолекулы, которые состоят из большого числа небольших молекул, которые называются мономерами. Бутадиен – мономер. Бутадиен + ... + бутадиен (4000 раз) → полибутадиен (искусственный каучук) $[-CH_2-CH=CH-(n)CH_2-]$, n – степень полимеризации. Полимеры получают либо полимеризацией, либо поликонденсацией. Процесс, при котором полимер получается вследствие соединения мономеров друг с другом, наз. полимеризацией. Поликонденсация – это процесс образования полимера в результате хим. реакции исходных веществ с получением нового в-ва, структура которого отличается от исходной. Термопласты, при повышении температуры размягчаются, им придаётся опред. форма, которую они сохраняют при охлаждении, получают полимеризацией. Реактопласты, при повышении температуры претерпевают хим. изменения и превращение в неплавкую массу,

получаются полимеризацией и поликонденсацией. Полимеры по структуре макромолекул:



2. Механические свойства полимеров. Состояние аморфной фазы и её влияние на свойства. Ориентационное упрочнение.

Свойства полимеров определяются: природой мономера, молекулярной массой полимера, структурой полимера (кристаллический полимер или аморфный полимер), температурой нагрева. Есть пластическое и хрупкое разрушение.

Фазовые переходы аморфных полимеров: стеклообразное состояние \rightarrow (t стеклования) высокоэластическое состояние (каучук) \rightarrow (t текучести) расплав полимера. В стеклообразном состоянии полимеры не обладают ни сегментальной, ни молекулярной подвижностью. Это состояние хар-ся только колебательным движением атомов. Стеклообразное состояние – это твёрдое и хрупкое состояние. В высокоэластическом состоянии полимер обладает сегментальной подвижностью, при этом сегменты цепи обладают значительной свободой в движении, но в то же время перемещение макромолекул запрещено. В высокоэластическом состоянии полимеры похожи на жидкости с включёнными в них твёрдоподобными областями. Это состояние хар-ся высокой вязкостью и претерпевает вязко-упругую деформацию. t перехода из стеклообр. сост. в высокоэласт. наз. t стеклования. При дальнейшем нагревании полимер начинает течь. t , при которой происходит переход из высокоэласт. сост. в вязко-текучее, наз. t текучести. Из-за отсутствия в полимерах истинной кристал. решётки процесса плавления как такового в аморфных полимерах не существует.

Ориентационное упрочнение справедливо как для аморфных, так и для кристаллических полимеров. Оно состоит в том, что все макромолекулы ориентированы в одном направлении и имеют в этом направлении большую прочность и больший модуль упругости (E , МПа, хар-ет жёсткость системы). Оно достигается вытяжкой либо в одном направлении, либо в двух направлениях.

3. Старение полимеров.

Старение полимеров – это самопроизвольное, необратимое изменение св-в полимера вследствие разрушения межмолекулярных связей в цепочках макромолекул. При старении происходят реакции, вызывающие: деструкцию (разложение) полимера, структурные изменения (увелич. хрупкость, уменьшение прочности, понижение эластичности). При ионизирующем излучении или под действием света процессы деструкции ускоряются. Для замедления старения вводят стабилизаторы.

4. Пластмассы. Классификация и состав пластических масс.

Пластмассы – это органические вещества, связующими которых являются полимеры. Они состоят из: 1) связующее (матрица) - полимеры; 2) наполнители (низкомолекулярные в-ва), их вводят для придания специальных св-в: понижения усадки, повышения мех. св-в (твёрдость H_B , σ_B , σ_T). Наполнители: порошковые (сажа, графит, древесная мука), волокниты (волокна, стекловолокна, асбоволокна), слоистые (геминакс, текстолит), стеклоткань (стеклотекстолиты), газовые (газонаполненные: поропласты, пенопласты, сотопласты); 3) пластификаторы – жидкие вещества, для повышения эластичности

материала; 4) отвердители; 5) краски (оксиды металлов), их вводят для изменения цвета пластмасс. Пластмассы: термопластичные, терморезистивные и газонаполненные.

5. Термопластичные пластмассы. Свойства, область применения (на примере полиэтилена и фторопласта).

1. Полиэтилен (ПЭ). Состав мономера: $[-CH_2-CH_2-]_n$. Этилен $[-CH_2-CH_2-]$ при комнатной t находится в газовом состоянии, t кипения составляет $-140^\circ C$. ПЭ бывает двух видов: 1) Низкой плотности высокого давления ПЭНП (ПЭВД), разветвлённая структура, плотность $\rho = 0,91-0,92 \text{ г/см}^3$, $t_{\text{экспл}} = -70 \div 120-140^\circ C$, $t_{\text{плавл}} = 110-125^\circ C$; 2) ПЭВП (ПЭВД), линейная структура, $\rho = 0,96 \text{ г/см}^3$, $t_{\text{экспл}} = -70 \div 140-150^\circ C$, $t_{\text{плавл}} = 150^\circ C$. Недостаток – старение ПЭ. При воздействии ионизованного излучения увеличивается прочность материала и теплостойкость. Применение: упаковочная плёнка, литые бутылки, трубы, электроизоляционный кабель.

2. Фторопласт (ФП). Состав мономера: $[-CF_2-CF_2-]_n$. ФП обладает аморфной кристаллической структурой. Плотность $\rho = 0,25$, $t_{\text{экспл.}} = -269 \div +250^\circ C$. Химически стоек к действию растворителей. ФП обладает очень низким коэффициентом трения $\mu = 0,04$. Недостаток ФП: трудность его переработки. Применение: насосы, винты, антифрикционные покрытия.

6. Терморезистивные пластмассы. Свойства, область применения (на примере текстолитов).

Текстолит относят к слоистым пластикам. Связующее в этом полимере – это терморезистивные смолы. Наполнители: хлопчатобумажные ткани. Среди всех слоистых пластиков этот материал обладает наибольшей способностью поглощать вибрационные нагрузки. Кроме этого хорошо сопротивляется раскаливанию. Применяют для зубчатых колёс и как вкладыши для подшипников. Температура эксплуатации: $-60 \div 80^\circ C$.

7. Газонаполненные пластмассы. Строение. Область применения.

Это гетерогенные (сост. из нескольких фаз) химически сложные системы, состоящие из твёрдой и газообразной фаз. В качестве связывающего используются термопласты (или реактопласты), которые образуют стенки ячеек или пор. В качестве наполнителей используют газообразные в-ва. В зависимости от физической структуры газонаполненные пластмассы делят на пенопласты, поропласты и сотопласты. Пенопласт – система, в которой присутствуют замкнутая ячеистая структура, а газовый наполнитель изолирован от окр. среды тонкими слоями полимерного связующего. Замкнутая ячеистая структура обеспечивает высокие теплоизоляционные св-ва и хорошую плавучесть. Прочность таких материалов низкая и зависит от плотности материала. $\rho = 20-300 \text{ кг/м}^3$.

Применяется для изоляции кабин, холодильников, рефрижераторов, труб (поропласт), в авиа-, кораблестроении, на ж/д транспорте. Поропласт – материал с открыто-пористой структурой. Применяется для впитывания жидкости. $\rho = 130-500 \text{ кг/м}^3$. Сотопласты – тонкие листовые материалы, выполненные в форме гофра, которые затем сшиваются в виде пчелиных сот. Материалом для гофров служат ткани, которые пропитываются различными связующими. Применение: тепло- и звукоизоляционные материалы (авиация), обладают радиопрозрачностью, используются для заполнения многослойных панелей в авиа- и судостроении.

8. Эластомеры и резины. Процесс вулканизации.

Эластомеры – это материалы, которые при приложении нагрузки удлиняются, а при снятии нагрузки восстанавливают свою первоначальную форму. Цепные макромолекулы под действием нагрузки распрямляются, а при снятии нагрузки сворачиваются. Для данного состояния характерна сегментальная подвижность, кроме этого, данные полимеры должны обладать определённым межцепным свободным пространством для

осуществления движения сегментов. Наиболее распространённым эластомером явл. каучук C_5H_8 . На основе каучука получают резины. Молекулы чистого каучука слабо связаны друг с другом, поэтому легко отделяются одна от другой. В результате этого каучук прилипает к предметам, с которыми он взаимодействует. Для устранения этого дефекта применяют вулканизацию. Вулканизация – нагрев каучука вместе с серой. При нагреве сера разрывает двойные связи в молекуле каучука, и образуются мостики между линейными цепочками каучука. Свойства каучука зависят от содержания серы, до 30% S – твёрдый каучук (шайбы).

9. Пластмассы как конструкционный материал.

Полиэтилен, фторопласт, текстолит. Малая плотность материала $\rho = 1-2 \text{ т/м}^3$. Низкие значения модуля упругости и других мех. св-в. Низкая теплопроводность. Хорошие изоляционные свойства (электро, звуко, тепло). Для них характерно старение материалов и ползучесть.

10. Стекло. Строение. Классификация по составу. Влияние состава на свойства. Область применения.

Неорганическое стекло – химически сложные аморфные изотропные материалы, которые обладают свойствами хрупкого твёрдого тела. Стёкла состоят: 1. Стеклообразователи – основа: а) SiO_2 – силикатное стекло, если $SiO_2 > 99\%$, то это кварцевое стекло; б) $Al_2O_3 + SiO_2$ – алюмосиликатное стекло; в) $B_2O_3 + SiO_2$ – боросиликатное стекло; г) $Al_2O_3 + B_2O_3 + SiO_2$ – алюмоборосиликатное стекло; 2. Модификаторы, вводятся для придания стеклу определённых св-в. Ввод оксидов щелочноземельных металлов (I, II группа: Na, K) уменьшает температуру размягчения. Оксиды хрома, железа, ванадия придают стеклу определённые цвета. Оксиды свинца увеличивают коэффициент преломления. По количеству модификаторов стёкла бывают трёх типов: щёлочные – стёкла, в которых содержится модификаторов до 20-30%, бесщёлочные – до 5% модификаторов, кварцевое стекло – модификаторов нет; 3. Компенсаторы, подавляют негативное воздействие модификаторов. Стёкла в автомобилях, в стеклопластиках, оптика, теплопроводимость низкая, не растворимы в кислотах (кроме плавиковой HF) и щёлочах.

11. Механические свойства стекла. Методы повышения прочности.

Свойства стёкол: Стёкла отличаются высокой твёрдостью и пределом прочности. Теоретически предел прочности достигает 10-12 ГПа. Модуль упругости $E = 70 \text{ ГПа}$. Твёрдость по Виккерсу $HV \sim 750 \text{ кгс/мм}^2$. Практически предел прочности составляет 50-100 МПа. Низкий σ_B объясняется след. факторами: высокий коэффициент линейного расширения. Поэтому, когда стекло остывает, на его поверхности образуются растягивающие напряжения. Это приводит к появлению трещин на поверхности. Кроме этого, стекло является хорошим теплоизолятором, что также приводит к образованию трещин.

Стекло не сопротивляется динамическим нагрузкам.

Способы упрочнения стёкол: 1) травление с целью удаления дефектного поверхностного слоя. Предел прочности увеличивается до 3000 МПа. Но этот способ малоэффективен, т.к. в дальнейшем стекло взаимодействует с абразивными частицами или др. твёрдыми материалами; 2) создание на поверхности сжимающих напряжений. Это достигается путём закалки. Идёт нагрев до определённой температуры, а затем производят охлаждение в заданном режиме (температура нагревания, охлаждение и время выдержки). Предел прочности в этом случае увеличивается до 1000-1500 МПа; 3) нанесение на поверхность стёкол полимерных материалов. Полимерное связующее склеивает микротрещины на поверхности стекла.

12. Ситаллы.

Ситаллы – частично закристаллизовавшиеся стёкла. По структуре от обычных стёкол отличаются тем, что в них вводят затравки (это соли серебра, золота, меди, свинца и т.д.). Эти стёкла непрозрачны. По способу получения ситаллы различаются на фотоситаллы и термоситаллы.