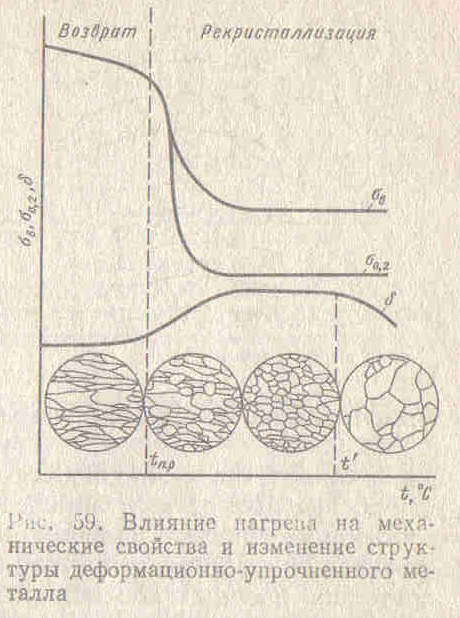
**Вариант № 21**

**К/р № 1**

**1. Как устанавливается температура порога рекристаллизации металла и сплава? Приведите несколько конкретных примеров**



Наименьшую температуру начала рекристаллизации (см. рис. 59), при которой протекает рекристаллизация и происходит разупрочнение металла, называют температурным порогом рекристаллизации.



Эта температура не является постоянной физической величиной, как, например, температура плавления. Для данного металла (сплава) она зависит от длительности нагрева, степени предварительной деформации, величины зерна до деформации и т. д. Температурный порог ре-кристаллизации тем ниже, чем выше степень деформации, больше длительность нагрева или меньше величина зерна до деформации.

Температура начала рекристаллизации металлов, подвергнутых значительной деформации для технических чистых металлов составляет примерно 0,4 Тпл. (правило А.А.Бочарова), для более чистых металлов она снижается до 0,1 – 0,2 Тпл., а для сплавов твердых растворов 0,5 - 0,6 Тпл., а в некоторых случаях достигает 0,8 Тпл. Для алюминия технической чистоты температурный порог рекристаллизации равен 100 °С. Практический отжиг проводят при 250-400 °С.

**2. Вычертите диаграмму состояния железо - карбид железа, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 0,3% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?**

Диаграмма железоуглеродистых сплавов может быть представлена в двух вариантах: метастабильном, отражающем превращения в системе “железо-карбид железа”, и стабильном, отражающем превращения в системе “железо-графит”. Наибольшее практическое значение имеет диаграмма состояния “железо-карбид железа”, т.к. для большинства технических сплавов превращения реализуются по этой диаграмме. Карбид железа (Fe3C) называют цементитом, поэтому метастабильную диаграмму железоуглеродистых сплавов называют диаграммой состояния “железо-цементит” (Fe-Fe3C).

Компоненты и фазы в железоуглеродистых сплавах

Основными компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо и углерод, которые относятся к полиморфным элементам. В железоуглеродистых сплавах эти элементы взаимодействуют, образуя различные фазы. Под фазой в общем смысле понимается однородная часть системы, имеющая одинаковый химический состав, физические свойства и отделенная от других частей системы поверхностью раздела. Взаимодействие железа и углерода состоит в том, что углерод может растворяться как в жидком (расплавленном) железе, так и в различных его модификациях в твердом состоянии. Помимо этого он может образовывать с железом химическое соединение. Таким образом в железоуглеродистых сплавах могут образовываться следующие фазы: жидкий раствор, аустенит, феррит, цементит.

Диаграмма состояния железо-цементит представлена на рис.1.

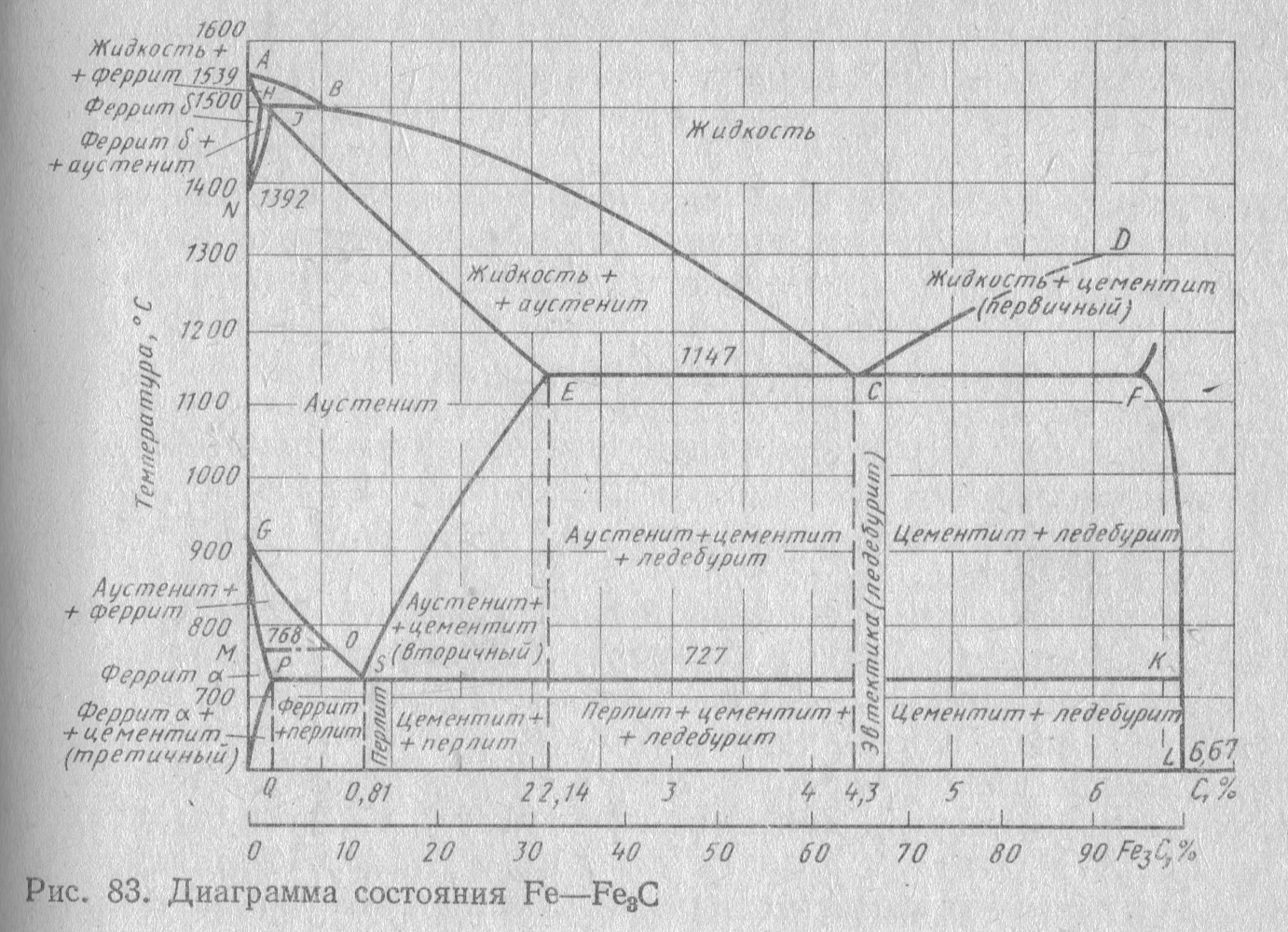


Рис.1. Диаграмма состояния железо-цементит

Компонентами в данной системе являются- железо и цементит.

Железо: металл серебристо-белого цвета. Атомный номер 26, атомный радиус 0,127 нм. Чистое железо, которое может быть получено в настоящее время, содержи»: 99,999 % Fе, а технические сорта 99,8-99,9% Fe. Температура плавления железа 1539°С. Железо имеет две кристаллографические модификации: кубическую объемно-гентрированную (ОЦК) и кубическую гранецентрированную (ГЦК) кристалллические решетки. Железо с ОЦК решеткой существует в двух температурных иннах: до 911°С и от 1392°С до 1539°С. До температуры 768°С железо ферромагнитно и его называют -железо (), а выше этой температуры - парамагнитно. Критическую точку (768°С), соответствующую магнитному превращению, т.е. переходу из ферро-магнитного состояния в парамагнитное называют точкой Кюри и обозначают А.Парамагнитное железо с ОЦК решеткой обозначают -железо (Fе). А железо в интервале температур 1392-1539°С обозначают железо (Fe). В настоящее время нередко не различают Fe, Fe и Fe и называют железо с ОЦК решеткой - Fe различая только низкотемпературное Fe и высокотемпературное Fe. Период ОЦК решетки зависит от температуры: у низкотемпературного Fe-0,28606 нм, а у высокотемпературного Fe- 0,3649 нм.



В интервале температур 911°-1392°С железо имеет ГЦК-решетку и называется -железо (Fe). Критическую точку ( рис. 1) превращения при 911°С обозначают АЗ, а критическую точку ( рис. 1) при 1392°С обозначают А4. Период ГЦК решетки равен 0,364 нм. ГЦК решетка более, компактна, чем ОЦК решетка. В связи с этим при переходе Fe в Fe объем железа уменьшается приблизительно на %. Fe парамагнитно.



Железо может растворять различные элементы, образуя с неметаллами твердые растворы внедрения, а с металлами твердые растворы замещения. Механические свойства технического железа характеризуются следующими величинами: предел прочности при растяжении 120МПа. Относительное удлинение 50%, относительное сужение твердость НВ80. Эти показатели могут изменяться в некоторых пределах, т.к. на свойства железа влияет размер зерна, температура, наличие примесей.



Цементит (обозначают Ц) - карбид железа (практически постоянного состава) химическое соединение углерода с железом - Fe3С, содержащее углерода 6,67%. Цементит имеет сложную ромбическую peшетку с плотной упаковкой атомов.

Цементит слабо ферромагнитен и теряет ферромагнетизм при температуре 210°С (критическая точка Ао). Температуру плавления цементита трудно, определить в связи с его распадом при нагреве. Она установлена равной 1260°С при нагреве лазерным лучем.

Механические свойства характеризуются высокой твердостью (>НВ800), но чрезвычайно низкой, практически нулевой, пластичностью. Цементит способен образовывать твердые растворы замещения. Атомы углерода могут замещаться атомами неметаллов, а атомы железа - металлами. Такой твердый раствор на базе цементита называется легированным цементитом.

На диаграмме Fe- Fe3С присутствуют следующие фазы: жидкий раствор ( L ), феррит ( ф, Fe),аустенит (А, Fe(с)) и цементит (Ц).



Феррит - твердый раствор углерода в -железе. Предельная растворимость углерода в низкотемпературном Fe= 0,02 % (т. P рис. 1), а в высокотемпературном Fe= 0,1 % (т. Н рис. 1). Столь низкая растворимость углерода в Fe обусловлена малым размером межатомных пор в ОЦК решетке. Значительная доля атомов углерода вынуждена размещаться в дефектах (вакансиях, дислокациях).



Феррит - мягкая, пластичная фаза со следующими механическими свойствами: = 300 МПа; = 40%; =70%; KCU = 2,5 МДж/м2; НВ 80-100.



Аустенит - твердый раствор углерода в -железе. Предельная растворимость углерода в Fe= 2,14% (т. Е рис.1).



Механические свойства аустенита характеризуются меньшей пластичностью и большей прочность и твердостью (НВ 160-200), чем у феррита.

Линии диаграммы (рис.1):

1. АВСD - линия ликвидус

АНJECFD - линия солидус.

HJB - линия перитектического превращения (t - 1499°С).



В результате перитектической реакции образуется аустенит:



Реакция наблюдается только у сплавов, содержащих углерода от 0,1 до 0,51%. Причем, в сплавах, содержащих углерода от 0,1% до 0,16% после завершения реакции в избытке остается феррит, а в сплавах, содержащих углерода от 0,16% до 0,51% в избытке остается жидкость. Это связано с тем, что перитектическая реакция протекает при строгом количественном соотношении фаз, если какой-то из фаз вступает в реакцию больше оптимального количества - то она остается в избытке. Необходимое количество реагирующих фаз в данной системе определяется т. J (рис.1)

4.ECF - линия эвтектического превращения ( t°C - 1147°C).

В результате эвтектической реакции из жидкой фазы образуется смесь аустенита и цементита. Эта эвтектическая смесь называется ледебуритом (Л)



Реакция протекает у всех сплавов системы, содержащих углерода более 2,14%. Состав смеси при температуре 727°С изменяется, т.к. аустенит превращается в перлит и ниже этой температуры ледебурит-смесь перлита и цементита. В ледебурите цементит, образует сплошную матрицу, в которой размещены колонии перлита. Такое строение ледебурита служит причиной его большой твердости (> НВ 700) и хрупкости. Присутствие ледебурита в структуре сплавов обусловливает их неспособность к обработке давлением, затрудняет обработку резанием.

5. PSK - линия эвтектоидного превращения (t°С=727°С). В результате эвтектоидного превращения из аустенита образуется смесь феррита и цементита. Эта эвтектоидная смесь называется перлитом (П); имеет вид перламутра, почему эта структура и получила такое название.



Эвтектоидное превращение протекает во всех сплавах системы, содержащих углерода более 0,02%.

Критические точки згой линии обозначают A. Перлит может иметь зернистое, но чаще имеет пластинчатое строение и является прочной структурной составляющей со следующими механическими свойства-ми: =800900 МПа; =450 МПа; б16%; НВ 180-220.



6. МО. - линяя магнитного превращения (t°С=727°С). При нагреве ферромагнитный феррит превращается в парамагнитный а при охлаждении наоборот.

7. ES - линия сольвус. Эта линия характеризует изменения концентрации углерода в аустените при изменении температуры. С понижением температуры от 1147°С до 727°С предельная растворимость углерода в аустените понижается от 2,14% до 0,8%, следовательно при охлаждении из аустенита выделяется цементит, называемый вторичным (Ц). (Цементит кристаляизующийся из жидкого раствора называется первичным). Линию ES еще называют линией вторичного цементита. Цементит вторичный образуется во всех сплавах содержащих углерода более 0,8%.



8. PQ - линия сольвус. Эта линия характеризует изменение концентрации углерода в феррите при изменении температуры. С понижением температуры от 727°С до комнатной предельная растворимость углерода в феррите понижается от 0,02% до 0,006%, следовательно, при охлаждении из феррита выделяется цементит, называемый третичным (Цш). Линию РQ еще называют линией третичного цементита. Во всех сплавах, содержащих углерода более 0,02% происходит образование Цш, но его пластинки нарастают на уже имеющиеся пластинки цементита и поэтому структурно неразличимы.

Проанализируем превращения, протекающие в сплаве, построив кривую охлаждения заданного сплава с применением правила фаз;

Правило фаз устанавливает количественную зависимость между числом степеней свободы (с), числом компонентов (к), образующих систему и числом фаз (Ф), находящихся в равновесии: С=К - Ф +1. Под числом степеней свободы (вариантностью системы) понимают возможность изменения температуры, давления и концентрации без изменения числа фаз, находящихся в равновесии. Следовательно, если в точке диаграммы С=0, то на кривой охлаждения - площадка, а если С=1, то на кривой охлаждения - изменение скорости (перегиб). Все сплавы изучаемой системы можно разделить на две группы: стали, чугуны. Стали содержат углерода 0,02% до 2,14, а чугуны от 2,14% до 6,67%.

По структуре стали различаются на доэвтектоидные (от 0,02%-0,8% С), эвтектоидные (0,8%С) и заэвтектоидные (0,8% - 2,14%С).

Чугуны по структуре различаются на доэвтектические (от 2,14%-4,3%С), эвтектические (4,3%С) и зазвтектические (4,3% - 6,67%С).

Рассмотрим кристаллизацию некоторого сплава с содержащего 0,3% С (доэвтэктоидная сталь):

Кристаллизация сплава начинается при температуре т.1 (C=1):



из жидкой фазы кристаллизуется феррит; состав которого по мере кристаллизации до температуры т.2 (C=0) изменяется по линии (1-Н), а состав жидкой фазы по линии (1-B). При температуре т.2 в сплаве протекает перитектическое превращение с избытком жидкой фазы (Ж), т.к. требуемое количество



а в т.2 количестве



При охлаждении сплава в интервале температур от т.2 до т.З (С=1) происходит превращение оставшегося после перитектической реакции жидкости в аустенит. Ниже температуры т. З состоит из однородного аустенита. При охлаждении сплава в интервале температур от т.З до т.4 (С=1) превращений в нем не происходит. При температуре т.4 в сплаве начинается превращение аустенита в феррит, при этом состав оставшегося аустенита изменяется по линии (4-5) т.е. аустенит обогащается углеродом. Это превращение продолжается до t°С —727°С, т.е. до т.5’. При этой температуре весь аустенит, содержащий 0,8%°C переходит в перлит который вместе с выделившимся ранее ферритом образует конечную структуру стали (Ф+П).



По мере охлаждения сплава от температуры т.5 до комнатной из феррита, входящего в состав перлита будет выделяться Цш но он, как указывалось выше, будет структурно неразличим.

Кривая превращения при охлаждении

3. После закалки углеродистой стали была получена структура мартенсит + цементит. Нанесите на диаграмму состояния железо-цементит ординату (примерно) обрабатываемой стали, укажите температуру ее нагрева под закалку. Опишите превращения, которые произошли при нагреве и охлаждении стали.

Наносим на диаграмму состояния железо-цементит ординату (примерно) обрабатываемой стали, выбираем температуру равную 740 и содержание углерода 1,0. Подвергаем сталь неполной закалке. После закалки заэвтектоидная сталь Аустенит + цементит после охлаждения с критической скоростью в холодной воде (или воду с добавками соли или едкого натра) приобретает структуру, состоящую из мартенсита и цементита.



**К/р № 2**

Для некоторых деталей в самолето- и ракетостроении применяются титановые сплавы ВТЗ-1; ВТ14. Укажите их состав, назначьте режим термической обработки и обоснуйте его выбор. Опишите микроструктуру сплавов и причины их использования в данной области.

Титановые сплавы, сплавы на основе титана. Лёгкость, высокая прочность в интервале температур от криогенных (-250 °С) до умеренно высоких (300—600 °С) и отличная коррозионная стойкость обеспечивают Титановые сплавы хорошие перспективы применения в качестве конструкционных материалов во многих областях, в частности в авиации и других отраслях транспортного машиностроения.

Титановые сплавы получают путём легирования титана следующими элементами (числа в скобках — максимальная для промышленных сплавов концентрация легирующей добавки в % по массе): Al (8), V (16), Mo (30), Mn (8), Sn (13), Zr (10), Cr (10), Cu (3), Fe (5), W (5), Ni (32), Si (0,5); реже применяется легирование Nb (2) и Та (5). Как микродобавки применяются Pd (0,2) для повышения коррозионной стойкости и В (0,01) для измельчения зерна. Легирующие добавки имеют различную растворимость в a и b-Ti и изменяют температуру a/b-превращения. Алюминий, а также кислород и азот, предпочтительнее растворяющиеся в a-Ti, повышают эту температуру по мере увеличения их концентрации, что ведёт к расширению области существования a-модификации; такие элементы называются a-стабилизаторами. Sn и Zr хорошо растворяются в обеих аллотропических модификациях титана и очень мало влияют на температуру «a/b-превращения; они относятся к так называемым нейтральным упрочнителям. Все остальные добавки к промышленным Титановые сплавы предпочтительнее растворяются в b-Ti, являются b-стабилизаторами и снижают температуру полиморфного превращения титана. Их растворимость в a и b-модификациях титана меняется с температурой, что позволяет упрочнять сплавы, содержащие эти элементы, путём закалки и старения.

В связи с наличием полиморфизма титана и его способностью образовывать твёрдые растворы и химические соединения со многими элементами диаграммы состояния Титановые сплавы отличаются большим разнообразием. Однако в промышленных Титановые сплавы концентрация легирующих элементов, как правило, не выходит за пределы твёрдых растворов на основе a-Ti и b-Ti и металлидные фазы обычно не наблюдаются.

Табл. 1. — Химический состав промышленных титановых сплавов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип сплава | Марка сплава | Химический состав, % (остальное Ti) | | | | | | |
| Аl | V | Mo | Mn | Cr | Si | другие элементы |
|  | ВТ5 ВТ5-1 | 4,3—6,2 4,5—6,0 | — — | — — | — — | — — | — — | — 2—3 Sn |
| Псевдо- | ОТ4-0 ОТ4-1 ОТ4 ВТ20 ВТ18 | 0,2—1,4 1,0—2,5 3,5—5,0 6,0—7,5 7,2—8,2 | — — — 0,8—1,8 — | — — — 0,5—2,0 0,2—1,0 | 0,2—1,3 0,7—2,0 0,8—2,0 — — | — — — — — | — — — — 0,18—0,5 | — — — 1,5—2,5 Zr 0,5—1,5 Nb 10—12 Zr |
| + | ВТ6С ВТ6 ВТ8 ВТ9 ВТ3-1 ВТ14 ВТ16 ВТ22 | 5,0—6,5 5,5—7,0 6,0—7,3 5,8—7,0 5,5—7,0 4,5—6,3 1,6—3,0 4,0—5,7 | 3,5—4,5 4,2—6,0 — — — 0,9—1,9 4,0—5,0 4,0—5,5 | — — 2,8—3,8 2,8—3,8 2,0—3,0 2,5—3,8 4,5—5,5 4,5—5,0 | — — — — — — — — | — — — — 1,0—2,5 — — 0,5—2,0 | — — 0,20—0,40 0,20—0,36 0,15—0,40 — — — | — — — 0,8—2,5 Zr 0,2—0,7 Fe — — 0,5—1,5 Fe |
|  | ВТ15 | 2,3—3,6 | — | 6,8—8,0 | — | 9,5—11,0 | — | 1,0 Zr |

Двухфазные a + b-сплавы — наиболее многочисленная группа промышленных Титановые сплавы. Эти сплавы отличаются более высокой технологической пластичностью, чем a-сплавы, и вместе с тем могут быть термически обработаны до очень высокой прочности (sb = 1500—1800 Мн/м2, или 150—180 кг/мм2); они могут обладать высокой жаропрочностью. К недостаткам двухфазных сплавов следует отнести несколько худшую свариваемость по сравнению со сплавами предыдущей группы, так как в зоне термического влияния возможно появление хрупких участков и образование трещин, для предотвращения чего требуется специальная термическая обработка после сварки.

Химический состав промышленных Титановые сплавы, выпускаемых приведён в табл. 1 (с разбивкой по типу структуры). По областям применения и виду полуфабрикатов можно приблизительно подразделить сплавы на следующие группы: свариваемые сплавы преимущественно для листов (ВТ5-1, ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4, ВТ20, ВТ6С, ВТ14, ВТ15); сплавы повышенной прочности для штамповок (ВТ5, ВТ6, ВТ14, ВТ16, ВТ22); жаропрочные сплавы для штамповок (ВТЗ-1, ВТ8, ВТ9, ВТ18). Механические свойства Титановые сплавы в отожжённом и термически упрочнённом состоянии приведены в табл. 2. Кроме обычной термической обработки, состоящей из закалки и старения, применяются различные режимы отжига, термомеханическая обработка (например, закалка из-под штампа с последующим старением), а также изотермическая деформация (медленная штамповка в штампах, нагретых до температуры деформации). В последнем случае достигаются очень однородные и высокие механические свойства. Титан и его сплавы могут подвергаться ковке, объёмной и листовой штамповке, прокатке, прессованию, волочению; из них можно получать те же полуфабрикаты, что и из др. конструкционных металлов, с учётом повышенной склонности титана к окислению при нагреве. Рекомендуется применять защитные эмалевые покрытия, которые при обработке давлением одновременно являются технологическими смазками. Термическую обработку следует проводить в печах с нейтральной атмосферой или в вакууме. Большинство промышленных Титановые сплавы имеют довольно узкий интервал кристаллизации и поэтому обладают удовлетворительными литейными свойствами. Для получения фасонных отливок предпочтительнее a-сплавы, которые, кроме хороших литейных свойств, позволяют заваривать дефекты. Наиболее употребительный литейный Титановые сплавы — сплав ВТ5Л. Для деталей повышенной прочности применяются сплавы ВТ6Л, ВТ9Л, ВТ20Л и др. В качестве материала для форм используются специальные керамические и графитовые смеси а также стальные кокили.

Табл.2. — Механические свойства титановых сплавов (типичные)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка сплава | Вид полуфа-бриката | Размеры (диаметр прутка или толщина листа, мм) | Режим термообра-ботки | Предел прочности, Мн/м2(0,1 кгс/ мм2) | Относи-тельное удлинение, % |
| ВТ5 ВТ5-1 | Пруток Лист | 10—60 0,8—10 | Отжиг » | 750—950 750—950 | 10 15—8\* |
| ОТ4-0 ОТ4-1 ОТ4 ВТ20 ВТ18 | Лист » » » Пруток | 0,3—10 0,3—10 0,5—10 1,0—10 25—35 | Отжиг » » » » | 500—650 600—750 700—900 950—1150 950—1150 | 25—20 20—13 20—12 12—8 10 |
| ВТ6С ВТ6 ВТ8 ВТ9 ВТ3-1 ВТ14 ВТ16 ВТ22 | Лист Пруток » » » Лист Пруток » | 1—10 10—60 10—60 10—60 10—60 0,6—10 4—16 25—60 | Отжиг Закалка и старение Отжиг Закалка и старение Отжиг  Закалка и старение Отжиг Закалка и старение Отжиг Закалка и старение Отжиг Закалка и старение Отжиг » | 850—1000 1050 920—1120 1100 1000—1200 750 (при 450 °C) 600 (при 500 °C) 1200 1050—1250 1200 1000—1200 750 (при 400 °C) 650 (при 450 °C) 1200 850—1070 1100—1200 830—950 1100—1250 | 12—8 8 10 6 9 6 9 6 8 6 8 6—4 16 10 |
| ВТ15 | Лист | 1—4 | Закалка Закалка и старение | 850—1000 1300 | 12 4 |

Первое значение для минимальной толщины, второе — для максимальной.

В стадии промышленной разработки находятся высоколегированные сплавы Ti — Ni, представляющие собой по составу практически чистое химическое соединение никелид титана. Сплавы такого типа, получившие название «нитинол», обладают способностью при определённых условиях восстанавливать свою первоначальную форму после некоторой пластической деформации («эффект памяти»), что используется, например, в автоматическом реле противопожарных устройств и т. п.

К недостаткам Титановые сплавы следует отнести низкие антифрикционные свойства; это требует применения покрытий и смазок трущихся поверхностей.

Термореактивные пластмассы, их особенности и область применения.

Термореактивные пластмассы в вязкотекучем состоянии при нагреве не обращаются, а хрупко разрушаются. К таким пластмассам относятся текстолит, стеклотекстолит и др. Максимальная температура эксплуатации стеклотекстолита доходит до 400 °С. Термореактивные пластмассы обработке сваркой не поддаются.

Таблица 3. Свойства термопластичных пластмасс

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | в, МПа | , % | кДж/м2 | Максимальная температура эксплуатации (без нагрузки),°С |
| Полиэтилен: | | | | |
| низкой плотности (<0,94 т/ м3) | 10-18 | 300-1000 | Не ломается | 60-75 |
| высокой плотности (> 0,94 т/м3) | 18-32 | 100-600 | 5-20 | 70-80 |
| Полипропилен | 26-38 | 700-800 | 3-45 | 100 |
| Полистирол | 40-60 | 3-4 | 2 | 50-70 |
| АБС (ацетобутиратстирол) | 30-55 | 15-30 | 8-40 | 75-85 |
| Поливинилхлорид: | | | | |
| жесткий | 50-65 | 20-50 | 2-4 | 65-85 |
| пластикат | 10-40 | 50-350 | Не ломается | 50-55 |
| Фторопласт-4 | 20-40 | 250-500 | 16 | 250 |
| Фторопласт-3 | 37 | 160-190 | 8-10 | 150 |
| Органическое стекло | 80 | 5-6 | 2 | 65-90 |
| Поликарбонат: | | | | |
| без наполнителя | 60-65 | 80- 120 | 20-30 | 135 |
| с 30% волокна | 90 | 3,5 | 8 | 145 |
| Капрон: | | | | |
| сухой | 75-85 | 50-130 | 3- 10 | 80-100 |
| насыщенный водой | 35-50 | 160-250 | 45 | — |
| сухой + 30 % волокна | 180 | 3 | 12 | 100-130 |
| насыщенный водой + 30% волокна | 100- 125 | 4 | 18 | — |
| Эпоксидный пластик | 60 | 4 | 1,8 | — |
| + 65 % стеклянной ткани (для сравнения) | 500 | ~2,5 | — | 130 |
| \* По ГОСТ 4647-80. | | | | |

Пластмассы с порошковым наполнителями (волокниты, асбоволокниты, стеловолокниты). Волокниты представляют собой композиции из волокнистого наполнителя в виде очесов хлопка, пропитанного фенолоформальдегидными связующими. Применяют для изготовления деталей работающих на изгиб и кручение. Асбоволокниты содержат наполнителем асбест, связующее фенолоформальдегидная смола. Из него получают кислотоупорные аппараты, ванны и трубы.

Слоистые пластмассы (гетинакс, текстолит, древеснослоистые пластики, асботесолит) являются силовыми конструкционными и поделочными материалами. Листовые наполнители придают пластику анизотропность. Материалы выпускают в виде листов, плит, труб, заготовок, из которых механической обработкой получают различные детали.

Термореактивные пластмассы (реактопласты) получают на основе эпоксидных, полиэфирных, полиуретановых, фенолофор-мальдегидных и кремнийорганических полимеров. Пластмассы применяют в отвержденном виде; они имеют сетчатую структуру и поэтому при нагреве не плавятся, устойчивы против старения и не взаимодействуют с топливом и смазочными материалами. Термореактивные пластмассы нерастворимы, способны лишь набухать в отдельных растворителях, водостойки и поглощают не более 0,1 0,5% Н20.

Все полимеры при отверждении дают усадку; она минимальна у эпоксидных полимеров (0,5-2%) и особенно велика у полиэфиров (~ 10%). Для уменьшения усадки и повышения прочности используют наполнители и регулируют условия отверждения. Отверждение эпоксидных и полиэфирных пластмасс не связано с выделением побочных веществ, поэтому при изготовлении изделий нет надобности в больших давлениях. Эти пластмассы пригодны для изделий больших размеров. Если при отверждении выделяются низкомолекулярные вещества (например, у фенопластов), то изделия получают под давлением во избежание образования вредной пористости и других дефектов. При переработке фенолоформальдегидных и некоторых других пластмасс необходимые давления велики – в пределах 10— 100 МПа, поэтому размеры изделий ограничены техническими возможностями прессового оборудования. Все термореактивные полимеры после отверждения имеют низкую ударную вязкость и поэтому используются с наполнителями.

Преимуществом наполненных термореактивных пластмасс является большая стабильность механических свойств и относительно малая зависимость от температуры, скорости деформировании и длительности действия нагрузки. Они более надежны, чем термопласты. При испытаниях на растяжение материалы разрушаются без пластического течении и образования шейки. Верхняя граница рабочих температур реактопластов определяется термической устойчивостью полимера или наполнителя (меньшей из двух). Несмотря на понижение прочности и жесткости при нагреве, термореактивные пластмассы имеют лучшую несущую способность в рабочем интервале температур, и допустимые напряжения (15 — 40 МПа) для них выше, чем для термопластов. Важными преимуществами термореактивных пластмасс являются высокие с удельная жесткость E/(g) и удельная прочность в /(g). По этим показателям механических свойств реактопласты со стеклянным волокном или тканями превосходят многие стали, сплавы титана и сплавы алюминия. Термореактивные порошковые пластмассы наиболее однородны по свойствам. Такие пластмассы хорошо прессуются и применяются для наиболее сложных по форме изделий. Недостаток порошковых пластмасс - пониженная ударная вязкость (табл. 4).



Волокниты — это пластмассы, в которых наполнителем являются волокна. Они отличаются повышенной прочностью, а главное - ударной вязкостью. Благодаря волокнам ударная вязкость превышает 10 кДж/м2, а при использовании стеклянного волокна достигает 20-30 кДж/м2. Волокниты, наполненные асбестовым волокном, сочетают теплостойкость (до 200 °С) с высоким коэффициентом трения в паре со сталью и поэтому применяются в тормозных устройствах для обкладок и колодок. Изделия из волокнитов прессуют при повышенных давлениях. Из-за низкой текучести материала применение волокнитов ограничено изделиями простой формы.

Особую группу волокнитов образуют материалы с параллельно расположенными волокнами наполнителя. Такую структуру имеют изделия, полученные намоткой стеклянного волокна. Ориентация волокон служит причиной анизотропии. Вдоль волокон прочность максимальна, а в поперечном направлении — минимальна.

Слоистые пластики представляют собой группу самых прочных и универсальных по применению конструкционных пластмасс. Листовые наполнители, уложенные слоями, придают материалам анизотропность.

Свойства слоистых пластиков зависят от вида полимера, наполнителя, способа укладки листов и объемного соотношения между полимером и наполнителем. По виду наполнителя слоистые пластики разделяются на следующие виды: текстолиты-материалы с хлопчатобумажными тканями; гетинаксы - с бумагой; древеснослоистые пластики - с древесным шпоном; стеклотекстолиты - с тканями из стеклянного волокна. Наименее прочными являются гетинаксы, максимальную прочность имеют стеклотекстолиты. Из всех слоистых плавиков текстолиты отличаются самым прочным сцеплением между полимером и наполнителем и лучше поглощают вибрацию.

Таблица 4. Свойства термореактивных пластмасс

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | в, МПа | , % | кДж/м2 | Максимальная температура эксплуатации (без нагрузки),°С |
| Термормореактивные полимеры без наполнителей: | | | | |
| фенолоформальдегидные | 15-35 |  | Менее 1 | 200 |
| полиэфирные | 42-70 | 95-120 |
| эпоксидные | 28-70 | 150-175 |
| кремнийорганические | 22-42 | 350 |
| Порошковые пластмассы | 30-60 | 1-3 | 0,5-5 | 100-200 |
| Волокниты | 30-90 | 1-3 | 10-20 | 120-200 |
| Гетинаксы | 60-70 | — | 4-5 | 125 |
| Текстолиты | 65-100 | 1-3 | 20-35 | 90-105 |
| Стеклотекстолиты | 200-600 | 1-3 | 50-200 | 200-400 |
| Пористые пластмассы | 0,5-2,5 | - | Около 1 | - |
| \* По ГОСТ 4647-80. | | | | |

Обычно слоистый пластик содержит около 50% полимера; при меньшем его созержании материал более экономичен, но зато менее прочен и неводостоек.

Способ укладки листов в слоистой пластмассе особенно важен, когда сами листы наполнителя неоднородны по структуре и свойствам. Для древесного шпона различие в прочности вдоль и поперек волокон общеизвестно. В тканях наибольшую однородность свойств

обеспечивает полотняное переплетение. Здесь нити основы и нити утка равномерно переплетены друг с другом. В кордной ткани, напротив, прочность максимальна вдоль нитей основы, а нити утка расположены редко и предназначены только для сплетения основы.

Стеклянное волокно не так эластично, и полимерное или хлопчатобумажное. Стеклоткань полотняного переплетения в стеклотекстолитах обеспечивает минимальную прочность, так как при частых перегибах волокна получается больше обрывов. Наивысшая прочность (правда в одном направлении) получается при укладке слоев стеклянного волокна в соотношении 10:1, т. е. в 10 слоях волокна имеют одинаковое направление, а в одиннадцатом - направление волокон изменяется на 90°. Предел прочности такого материала 850-950 МПа. При укладке такого же наполнителя соотношении 1:1, т. е. направления волокон и соседних слоях перекрещиваются под углом лом 90°, прочность уменьшается вдвое. При любом способе укладки волокна или ткани материалы анизотропны и степень анизотропии составляет 2-10.

Гетинаксы в зависимости от свойств составляющих применяются как электроизоляционные или строительно-декоративные материалы для облицовки производственных помещений, салонов самолетов и т. п.

Текстолит используется для разнообразных средненагруженных трущихся деталей, включая зубчатые колеса я кулачки. Среди достоинств текстолита — сопротивление износу, отсутствие схватывания со стальными деталями.

Стеклотекстолиты сочетают малую плотность (1,6-1,9 т/м3) с высокой прочностью и жесткостью. Наивысшую прочность обеспечивает эпоксидная связка, а минимальную-кремнийорганические полимеры. Стеклотекстолиты по способности поглощать вибрации превосходят стали, сплавы титана и сплавы алюминия и поэтому имеют хорошую выносливость при переменных нагрузках. По тепловому расширению эти материалы близки к сталям. Нужно отметить, что минимальные значения прочности и жесткости проявляются в направлениях под углом 45° к волокнам.

При нагреве полимерная связка разупрочняется быстрее волокна, поэтому прочность на сжатие и на сдвиг снижается быстрее прочности на растяжение.

Слоистые пластики со стеклянным или полимерным волокном в течение десятков секунд выдерживают температуру свыше 3000 °С. В поверхностных слоях разрушается полимер, оплавляется наполнитель и образуется тугоплавкий кокс, который защищает более глубокие слои материала. Эта особенное п. лежит в основе применения пластмасс в качестве теплозащитных материалов.

Термореактивные полимеры используют в виде клеев, а также при изготовлении оболочковых форм для отливок, различной технологической оснастки, абразивного инструмента. Клеи представляют собой сложные смеси с порошковыми наполнителями, необходимыми для уменьшения теплового расширения. После отверждения тонкие клеевые пленки (0,05-0,25 мм) прочны на срез (тсреза = 1020 МПа), обеспечивают герметичность соединения, не снижают прочность склеенных деталей и хорошо сопротивляются усталости. Максимальную прочность обеспечивают феноло-формальдегидные клеи, а тепло-стойкость - клеи на основе кремнийорганических полимеров. Склеивание применяют там, где клеевая пленка работает на срез; при приклеивании тормозных обкладок, фиксации болтов и шпилек, закреплении вкладышей подшипников и т. п.

