

## Готовая контрольная ТулГУ

### КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ (МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ)

#### Задание 1

Деталь – напильник, сталь – У13. Значение твердости – 40-45 НРС. Назначьте режим термической обработки (температуру закали, охлаждающую среду, температуру отпуска) для детали из указанной стали, для получения заданного значения твердости. Опишите микроструктуру и свойства материала до и после термической обработки.

Ответ:

Напильник представляет собой стальной брусок определенного профиля и длины, на поверхности которого имеются насечки (нарезки), образующие впадины и остро-заточенные зубцы (зубья), имеющие в сечении форму клина. Напильники изготавливают из инструментальной углеродистой стали марок У10, У10А, У12А, У13, У13А или хромистой стали марок ШХ6, ШХ9 и ШХ15, после насекания подвергают термической обработке.

Сталь У13 – качественная инструментальная углеродистая заэвтектоидная (1,3%С),  $A_{c1} = 730^{\circ}\text{C}$ ,  $A_{c3}(A_{cm}) = 830^{\circ}\text{C}$ . Для снижения твердости и создания благоприятной структуры, все инструментальные стали до изготовления инструмента подвергают отжигу.

Для заэвтектоидных сталей проводят сфероидизирующий отжиг (на зернистый перлит), который заключается в нагреве стали выше критической температуры  $A_{c1}$  на 20–30° С, выдержке при этой температуре и медленном

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

охлаждении ( $25\text{--}30^\circ\text{C}$  в час) до температуры  $600^\circ\text{C}$ . Цель такого отжига – перевод пластинчатого перлита в зернистый (глобулярный).

Окончательная термическая обработка – закалка с последующим отпуском.

Закалку для заэвтектоидных сталей проводят неполную ( $A_{c1} + 30\div 50^\circ\text{C} = 770^\circ\text{C}$ ). Структура закаленных сталей мартенсит + цементит + аустенит остаточный. Температура отпуска выбирается в зависимости от твердости, необходимой для инструмента. Для нашего напильника на твердость 40-45 HRC следует проводить отпуск при температуре  $400^\circ\text{C}$  (средний отпуск).

При таких температурах происходит дальнейшее обезуглероживание мартенсита, приводящее к его превращению в обычный  $\alpha$ -раствор, т.е. в феррит. Одновременно происходит карбидное превращение по схеме  $\text{Fe}_2\text{C} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$ . В результате образуется феррито-цементитная смесь, называемая трооститом отпуска. Ожидаем снижение твердости до величины 40...45 HRC, а также снижение внутренних напряжений. Такой отпуск обеспечивает высокий предел упругости и предел выносливости, что позволяет применять его для различных упругих элементов.

Следует также сказать, что основными недостатками углеродистых инструментальных сталей является их невысокая прокаливаемость (5...10 мм), низкая теплостойкость (до  $200^\circ\text{C}$ ), то есть инструменты могут работать только при невысоких скоростях резания.

Ожидаемые свойства инструмента из стали У13 после термообработки: HRC 40-45,  $\sigma_{0,2} = 880\text{ МПа}$ ,  $\sigma_b = 1040\text{ МПа}$ ,  $\delta = 11\%$ ,  $\psi = 30\%$ , KCU 29 Дж/см<sup>2</sup>.

## Задание 2

Деталь – штамп для горячего деформирования. Сталь – 5ХНМ.

Для изготовления данной детали выбрана определенная марка стали:

а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению;

б) назначьте режим термической обработки, приведите подробное его обоснование, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали;

в) опишите микроструктуру и главные свойства стали после термической обработки.

Ответ:

5ХНМ – инструментальная легированная сталь высокой прокаливаемости и закаливаемости, содержащая 0,5% углерода, хрома, никеля и молибдена по 1%. Первые цифры в наименовании инструментальной легированной стали обозначают массовую долю углерода в десятых долях процента (если содержание углерода около 1 % или более – цифру не ставят), цифры после букв – примерное содержание соответствующего легирующего элемента в процентах. Отсутствие цифр означает, что массовая доля этого элемента меньше 1 %.

Сталь марки 5ХНМ обладает большой прочностью и вязкостью при повышенной температуре, хорошей износостойкостью, окалиностойкостью и разгаростойкостью, высокой теплопроводностью, но плохой свариваемостью и не применяется для сварных конструкций.

Химический состав в % стали 5ХНМ (ГОСТ 5950-2000):

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
---	----	----	----	---	---	----	----	----

0,5-0,6	0,1-0,4	0,5-0,8	1,4-1,8	до 0,03	до 0,03	0,5-0,8	0,15-0,3	до 0,3
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	--------

Основными легирующими элементами стали 5ХНМ являются – хром, никель и марганец. Хром является одним из самых важных легирующих элементов в черной металлургии. Он повышает твердость, прочность и упругость стали, но понижает вязкость и теплопроводность. Добавка хрома к обычным сталям (до 5%Cr) улучшает их физические свойства, повышает прокаливаемость, способствует получению высокой и равномерной твердости стали.

Никель увеличивает пластичность, вязкость и прочность стали. Введение в хромистые стали никеля, значительно повышает прочность и прокаливаемость, понижает порог хладоломкости, но при этом повышает склонность к отпускной хрупкости (этот недостаток в 5ХНМ компенсируется введением молибдена).

Марганец повышает истирание, сопротивляемость удару, прочность, не снижая пластичности, и резко снижает красноломкость стали (повышение хрупкости при высоких температурах), вызванную вредным влиянием серы.

Практически наиболее важной является способность легирующих элементов замедлять скорость распада аустенита в районе перлитного превращения, что выражается в смещении вправо линии на диаграмме изотермического распада аустенита. Это способствует более глубокой прокаливаемости и переохлаждению аустенита до интервала мартенситного превращения при более медленном охлаждении, например, при охлаждении в масле или на воздухе. В нашей стали хром, никель и молибден увеличивают прокаливаемость, уменьшают склонность к обратимой отпускной хрупкости.

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

Сталь 5ХНМ, обладая высокой устойчивостью переохлажденного аустенита, прокаливается полностью в блоках размером до 500×400×400 мм. Закалку штампов (840-860 °С) производят в масле. Для получения необходимой вязкости штампы из стали 5ХНМ отпускают при более высокой температуре – 550-580°С (HRC 35-38). Структура штампа после отпуска: троосто-сорбит. Имеет следующие механические свойства:  $\sigma_b = 1200\text{--}1300$  МПа,  $\delta = 10\text{--}12\%$ ,  $KCU = 0,4$  МДж/м<sup>2</sup>.

Для повышения работоспособности пресс-формы и штампы подвергают азотированию, нитроцементации или хромированию.

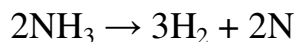
### **Задание 3**

Что такое процесс азотирования и зачем его проводят?

Ответ:

Азотирование – это вид химико-термической обработки, заключающийся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стальных или титановых деталей азотом. Глубина насыщения составляет 0,2... 0,8 мм. Азотирование стали проводят в среде аммиака или в расплаве солей на основе карбамида и цианата при температуре 500...600°С. В результате азотирования повышается твердость, износостойкость, коррозионная стойкость на воздухе и в воде, усталостная прочность (выносливость). Наибольшее распространение азотирование получило при производстве деталей, работающих в условиях трения и при температурах до 500...600 °С (коленчатые валы, шпиндельные валы, детали аппаратуры двигателей и др.).

Азотируемые детали выдерживаются в атмосфере диссоциированного аммиака при повышенных температурах. В этих условиях протекает реакция:



Образующийся атомарный азот диффундирует в металл.

Целью азотирования является:

- повышение твердости и износостойкости поверхностного слоя;
- повышение предела выносливости;
- повышение коррозионной стойкости поверхностного слоя.

Структура азотированного слоя характеризуется диаграммой состояния Fe - N, показанной на рис. 1:

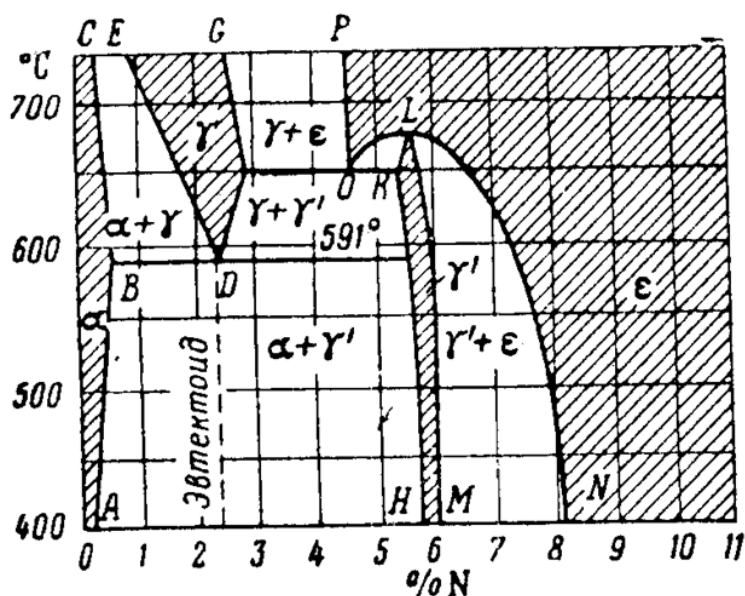


Рис. 1. Диаграмма состояния Fe-N

Проникновение азота в поверхностный слой стальной детали в процессе азотирования вначале приводит к образованию азотистого феррита (фаза α), который при температуре 591°C содержит 0,1% N, а при комнатной температуре – 0,01 %. При дальнейшем растворении азот в феррите не растворяется и образуется нитрид железа состава Fe<sub>4</sub>N (γ'-фаза), представляющий собой твердый раствор внедрения с гранцентрированной

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

кубической решеткой. При достижении азотом предельного насыщения образуется еще один вид нитридов состава  $Fe_2N$ . Такая фаза получила название  $\epsilon$ -фазы. Это тоже твердый раствор внедрения, но имеющий гексагональную кристаллическую решетку.

Таким образом, при температурах ниже  $591^\circ C$  в азотированном слое будут располагаться следующие фазы (от поверхности к сердцевине):  $\epsilon - \gamma' - \alpha$

При температурах выше  $591^\circ C$  в начале азотирования также будет образовываться  $\alpha$ -фаза, но при дальнейшем повышении концентрации азота появится азотистый аустенит ( $\gamma$ -фаза). При наступлении предельного насыщения аустенита азотом будут появляться нитриды, представляющие собой  $\gamma'$  и  $\epsilon$  фазы. Таким образом, при температурах выше  $591^\circ C$  в азотированном слое будут располагаться следующие фазы (от поверхности к сердцевине):  $\epsilon - \gamma' - \gamma - \alpha$ .

Для азотирования используются как углеродистые, так и легированные с концентрацией углерода  $0,3...0,5\%$ . Наибольшее распространение получили стали, легированные такими элементами, как хром, алюминий, молибден. Эти стали называются нитраллоями. При азотировании таких сталей в их поверхностном слое образуются нитриды хрома, молибдена и алюминия, которые, выделяясь в дисперсном виде, препятствуют движению дислокаций, что, в свою очередь, способствует повышению твердости и износостойкости. Кроме того, молибден способствует устранению явления отпускной хрупкости, возникающей в результате медленного охлаждения после азотирования.

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

Например, если твердость азотированного слоя у углеродистых сталей составляет HV 200-250, у легированных сталей – HV 600-800, то у нитраллоев твердость может достигать до HV 1200 и выше.

Следует иметь в виду, что легирующие элементы, повышая твердость, одновременно уменьшают толщину слоя. Особенно сильно уменьшают толщину азотированного слоя вольфрам, никель, хром, молибден.

Для изделий с высокой поверхностной твердостью рекомендуют использовать сталь 38Х2МЮА. Однако в процессе азотирования этой стали, за счет присутствия в ней алюминия, проявляется ее сильная склонность к деформированию. Использование же сталей, не содержащих алюминия, приводит к заметному снижению твердости и износостойкости азотированного слоя, зато позволяет изготавливать изделия более сложной конфигурации. В станкостроении, например, для азотирования используют улучшаемые, легированные стали типа 40Х, 40ХФА. Для тяжело нагруженных деталей, работающих в условиях циклических изгибающих нагрузок, рекомендуются стали 30Х3М, 38ХГМ, 38ХНМФА, 38ХНЗМА.

Для изготовления деталей топливной аппаратуры, где требуется повышенная точность размеров, используют сталь 30Х3МФ1. Дополнительное легирование этой стали кремнием (30Х3МФ1С) способствует повышению твердости азотированного слоя.

Для азотирования иногда назначаются и цементуемые стали, содержащие в своем составе хром, молибден, вольфрам, ванадий.

Процесс азотирования включает следующие операции:



©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

1). Предварительная термообработка, состоящая из закалки высокого отпуска. Цель этой операции - получение повышенной прочности и ударной вязкости в сердцевине детали.

2). Механическая обработка, в виде шлифования, для получения окончательных размеров детали.

3). Защита отдельных участков детали, не подлежащих азотированию, путем нанесения тонкого слоя олова или обмазкой жидким стеклом.

4). Азотирование.

5). Окончательное шлифование или доводка размеров детали.

В случае, когда главной целью азотирования является повышение твердости и износостойкости, а изделия преимущественно или тонкостенные, или сложной конфигурации, процесс проводят при температуре 500...520 °С. При этом длительность процесса будет зависеть от требуемой толщины слоя.

В условиях массового производства, когда большое значение приобретает производительность процесса, прибегают к двухступенчатому азотированию. Сначала процесс ведут при температурах 500...520 °С в течение 15...25 ч, а затем при 540...600 °С в течение 25...30 ч. К назначению второй ступени следует относиться с большой осторожностью, т.к. повышение температуры может приводить к короблению и деформации детали. Охлаждение после азотирования проводят вместе с печью, не прекращая подачи аммиака.

В случае, когда главной целью азотирования является повышение предела выносливости, рекомендуется вести процесс при температуре не более 500°С. При более высоких температурах увеличение предела

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

выносливости становится мало заметным, а начиная с температуры 550 °С и выше, этот показатель заметно снижается.

Для повышения коррозионной стойкости азотирование проводят при температурах 600...700°С. Продолжительность процесса насыщения устанавливают в зависимости от габаритов деталей, подвергающихся насыщению. Так, для мелких деталей достаточно выдержки в течение 15...30 мин, а для крупногабаритных деталей потребуется выдержка, достигающая до 10 ч.

#### **Задание 4**

Сплав – Д16. Расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав по назначению и где используется; зарисуйте и опишите микроструктуру сплава; укажите основные требования, предъявляемые к данному сплаву при его использовании в машиностроении.

Ответ:

Д16 – наиболее распространенный высокопрочный алюминиевый деформируемый сплав, дюраль повышенной прочности.

Сплав Д16 применяется: для изготовления проволоки для холодной высадки (Д16п); силовых элементов конструкций самолетов, кузовов автомобилей, труб, работающих при температурах до 230°С; для производства профилей с площадью сечения до 200 см<sup>2</sup> и диаметром описанной окружности до 350 мм., предназначенных для применения в авиационной промышленности и специальных отраслях машиностроения.

Химический состав:

Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti	Ni
основа	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	0,5	0,5	0,3	0,1	0,1

Микроструктура сплава состоит из  $\alpha$ -твердого раствора и s-фазы ( $Al_2CuMg$ ).

Дюралами называют сплавы Al с Cu, к которым дополнительно добавляют Mg и Mn. Упрочняются эти сплавы за счет закалки без полиморфного превращения и последующего старения.

Цель закалки – получить в сплаве предельно неравновесное фазовое состояние (пересыщенный твердый раствор с максимальным содержанием легирующих элементов). Такое состояние обеспечивает, с одной стороны, непосредственное повышение (по сравнению с равновесным состоянием) твердости и прочности, а с другой стороны, возможность дальнейшего упрочнения при последующем старении. Закалку применяют для сплавов, претерпевающих фазовые превращения в твердом состоянии. В алюминиевых сплавах, используемых в промышленности, наблюдается лишь один вид фазовых превращений: при нагреве интерметаллидные фазы растворяются в алюминии, а при охлаждении вновь выделяются из твердого раствора. Таким образом, закалка возможна только для алюминиевых сплавов, содержащих компоненты, растворимость которых в твердом алюминии возрастает с температурой (Cu, Mg, Mn, Si, Zn, Li), причем в количествах, превышающих растворимость при комнатной температуре.

Закалка алюминиевых сплавов заключается в нагреве их до температуры, при которой легирующие компоненты, находящиеся в интерметаллидных фазах, полностью или частично растворяются в

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

алюминии, выдержке при этой температуре и быстром охлаждении до низкой температуры (10...20°C). В результате такой обработки структура, свойственная температуре нагрева, может быть получена при комнатной температуре, так как при быстром охлаждении распад твердого раствора (выделение интерметаллидных фаз) не успевает происходить. Содержание легирующих компонентов в алюминиевом твердом растворе после закалки значительно превышает их предельную равновесную концентрацию при комнатной температуре, т.е. при комнатной температуре твердый раствор пересыщен (и, как правило, в очень сильной степени).

Охлаждение при закалке следует проводить с такой скоростью, которая обеспечит отсутствие распада твердого раствора в процессе охлаждения. Эта скорость должна быть больше некоторой определенной для каждого сплава критической скорости охлаждения  $v_{кр} = 60..90$  °C/с, которая определяется как наименьшая скорость охлаждения сплава, при которой распад твердого раствора в процессе охлаждения еще не происходит.

Однако охлаждение в воде не может рассматриваться как оптимальный вариант закалки во всех случаях. Очень высокая скорость охлаждения при закалке в воде приводит к образованию больших внутренних напряжений, которые обуславливают коробление изделий. Это особенно проявляется в крупногабаритных изделиях сложной конфигурации (штамповки, панели), правка которых после закалки – весьма трудоемкая и дорогостоящая операция. Выбор для каждого сплава охлаждающих сред, обеспечивающих охлаждение со скоростью больше критической, но меньше, чем в воде, - актуальная задача.

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

Пересыщенный твердый раствор легирующих компонентов в алюминии, который получают в сплавах в результате закалки, определяет повышение прочности после закалки и возможность дальнейшего упрочнения при старении.

Старение представляет собой выдержку закаленного сплава при некоторых (относительно низких) температурах, при которых начинается распад пересыщенного твердого раствора или в твердом растворе происходят структурные изменения, являющиеся подготовкой к распаду. Цель старения – дополнительное повышение прочности закаленных сплавов.

Сильная пересыщенность твердого раствора в закаленном сплаве обуславливает его термодинамическую нестабильность. Распад твердого раствора, приближающий фазовое состояние к равновесному, а следовательно, к уменьшению свободной энергии сплава, является самопроизвольно идущим процессом.

Выдержку закаленных алюминиевых сплавов в естественных условиях (при температуре окружающей среды), которая приводит к определенным изменениям структуры и свойств (прочность, как правило, повышается), называют естественным старением.

Нагрев закаленных алюминиевых сплавов до относительно невысоких температур (обычно в интервале 100...200°C) и выдержку при этих температурах (в пределах от нескольких часов до нескольких десятков часов) называют искусственным старением.

В нашем случае назначаем закалку с 485–505°C маслом. Нагрев до более высоких температур (превышающих неравновесный солидус), вызывает пережог, т. е. окисление и частичное оплавление металла по

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

границе зерен, что резко снижает прочность и пластичность. При закалке дуралюмина важно обеспечить высокую скорость охлаждения, поэтому охлаждение проводят в холодной воде. Даже незначительный распад твердого раствора в процессе охлаждения с выделением интерметаллидных фаз по границам зерен снижает сопротивление межкристаллитной коррозии. После закалки значительная часть фаз-упрочнителей растворяется, повышая легированность твердого раствора. После закалки проводим искусственное старение 185–195°C, 2-5 часов.

Механические свойства после термообработки:  $\sigma_b = 540$  МПа,  $\sigma_{0.2} = 400$  МПа,  $\delta = 11$  %

Детали из сплава Д16 обычно эксплуатируются при температурах не выше 120°C, так как при высоких температурах он проявляет склонность к межкристаллитной коррозии. Для защиты сплава от коррозии применяют анодное оксидирование.

### **Задание 5**

Материал – термопласты. Опишите способы получения, свойства и применение указанного материала.

Ответ:

Термопласты – пластмассы на основе линейных или разветвленных полимеров, сополимеров и их смесей, обратимо переходящих при нагревании в пластическое или вязкотекучее состояние в результате плавления кристаллической и(или) размягчения аморфной (стеклообразной) фаз.

Термопластичные полимерные материалы перерабатывают в изделия в расплавленном состоянии. Преимущества термопластов: химическая стойкость; неподверженность коррозии; низкий удельный вес;

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

технологичность; высокие прочностные свойства; относительно низкая стоимость материала; долгий срок службы.

Наиболее распространены термопласты на основе гибкоцепных (главным образом карбоцепных) полимеров, сополимеров и их смесей – полиолефинов (полиэтилена, полипропилена), поливинилхлорида, полистирола, полиметилметакрилата, поливинилацеталей, производимых в больших объемах и имеющих сравнительно низкую стоимость; они обладают низкими температурами плавления и размягчения, тепло- и термостойкостью. Особое место среди пластмасс на основе карбоцепных полимеров занимают фторопласты, для которых характерны высокие температуры плавления и уникальные химическую стойкость и термостойкость, антифрикционные свойства.

В меньших масштабах используют термопласты на основе гетероцепных полимеров, сополимеров и их смесей, например, гибкоцепных алифатических и жесткоцепных ароматических простых и сложных полиэфиров, полиамидов, полиацеталей, полиимидов и полиуретанов.

По фазовому состоянию не содержащие наполнителей (ненаполненные) термопласты могут быть одно- и двухфазными аморфными, аморфно-кристаллическими и жидкокристаллическими.

К однофазным аморфным термопластам относятся полистирол, полиметакрилаты, полифениленоксиды, которые эксплуатируются в стеклообразном состоянии и обладают высокой хрупкостью.

По свойствам им близки стеклообразные аморфно-кристаллические термопласты, имеющие низкую степень кристалличности (менее 25%), например, поливинилхлорид, поликарбонаты, полиэтилентерефталат, и

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

двухфазные аморфные термопласты на основе смесей полимеров и привитых сополимеров, например, ударопрочный полистирол, АБС-пластики, состоящие из непрерывной стеклообразной и тонко диспергированной эластичной фаз. Деформационная теплостойкость таких термопластов определяет температура стеклования, лежащая в интервале 90-220 0С.

Кристаллические термопласты, имеющие высокую степень кристалличности (более 40-50%) и низкую температуру стеклования, например, полиолефины, фторопласты, полиформальдегид, алифатические полиамиды, обычно эксплуатируют при температурах выше температур стеклования, когда аморфные области находятся в эластичном состоянии. Их деформационная теплостойкость определяет температура плавления, лежащая в интервале 110-360°С.

Термопласты на основе термотропных жидкокристаллических полимеров, например, некоторых ароматических сложных полиэфиров и их сополимеров, состоят из изотропной и анизотропной (чаще всего нематической) фаз. Анизотропная фаза характеризуется самопроизвольной ориентацией выпрямленных макромолекул или их участков и оказывает так называемый эффект самоармирования. Их теплостойкость определяет температура плавления жидкокристаллической фазы, лежащая в пределах 200-250°С.

Производят термопласты в виде гранул или порошков. Для наполнения с целью снижения стоимости, повышения стабильности формы изделий и улучшения эксплуатационных свойств чаще всего используют коротковолокнистые наполнители органической или неорганической природы и минеральные порошки. Эти наполнители, а также



©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

модифицирующие добавки вводят чаще всего при переработке-гранулировании термопластов, реже на стадии синтеза полимера. При использовании непрерывных волокнистых наполнителей их пропитывают раствором или расплавом полимера. Применяют также методы пленочной, волоконной или порошковой технологии, в которых наполнитель сочетают с термопластом, находящимся в форме пленки, волокна или порошка соответственно; на стадии формования изделий из таких пластмасс термопласты расплавляются и наполнитель пропитывается ими.

В качестве газонаполненных термопластов наиболее распространены пенополистирол и пенополивинилхлорид, а также синтактические пластические массы (наполнитель - полые частицы).

Ненаполненные и дисперсно-наполненные термопласты формуют в изделия и полуфабрикаты (например, прутки, профили, листы) литьем под давлением и экструзией, реже прессованием или спеканием. Изделия из листовых заготовок термопластов, в том числе армированных непрерывными наполнителями, изготавливают штамповкой, вакуумным и пневмоформованием. Изделия и полуфабрикаты из термопластов можно подвергать механической обработке (например, вырубке, резке), сварке, склеиванию и вторичной переработке. Для регулирования структуры термопластов и остаточных напряжений в изделиях из них, используют дополнительную термообработку (отжиг или закалку). Для снижения ползучести (особенно при повышенных температурах) термопласты подвергают также химическому или радиационному сшиванию, приводящему к образованию пространственной сетки. Важный способ

повышения деформационно-прочностных свойств термопластов, особенно листовых и пленочных, ориентационная вытяжка.

### Задание 6

Диаграмма состояния системы – серебро-золото. Вычертите диаграмму состояния системы. Опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния и объясните характер изменения свойств сплавов.

Ответ:

Диаграмма состояния системы Ag-Au представляет собой диаграмму с неограниченной растворимостью в твердом и жидком состояниях (рис. 2).

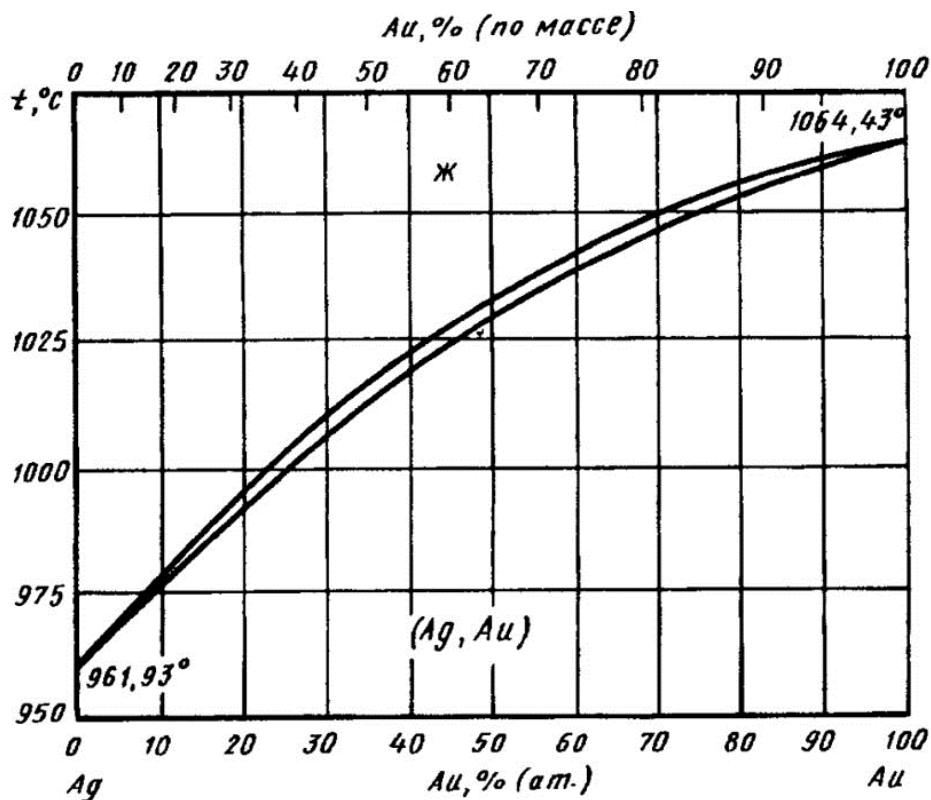


Рис. 2. Диаграмма Ag-Au

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

Компоненты Ag и Au изоморфными, т.е. имеют одинаковый тип кристаллических решеток, например объемноцентрированную кубическую (ОЦК) и имеют одинаковую валентность, чтобы не нарушать структуру электронного газа.

Диаграмма состояния (рис. 2) имеет простой вид – есть всего две линии: ликвидус, солидус. Линии пересекаются в точках кристаллизации чистых компонентов:  $961,93^{\circ}\text{C}$  – температура плавления Ag,  $1064,43^{\circ}\text{C}$  – температура плавления Au. Так как Ag и Au неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях, то возможно существование двух фаз Ж,  $\alpha$ . Следовательно, трех фаз быть не может, кристаллизация сплавов при постоянной температуре не наблюдается, горизонтальной линии нет (правило фаз Гиббса). Все сплавы затвердевают между линиями ликвидус–солидус ( $\alpha + \text{Ж}$ ), где  $c = 1$ . Вся диаграмма состояния имеет три области: Ж, Ж +  $\alpha$ ,  $\alpha$ . Кривые ликвидуса и солидуса в этой системе близки, и интервал кристаллизации сплавов в средней части диаграммы не превышает  $2^{\circ}\text{C}$ . Цвет сплавов меняется с повышением содержания серебра от желтого, соответствующего чистому золоту, до белого цвета – чистого серебра. Сплавы с содержанием золота в пределах от 60 до 70 % имеют красивый зеленый оттенок.

Сплавы Au-Ag обладают хорошими литейными свойствами, пластичны и имеют высокую коррозионную стойкость. Под действием азотной кислоты разрушаются только сплавы с содержанием золота менее 52,3 %. Сплавы, содержащие свыше 75 % Au, растворяются в царской водке, а при большем содержании Ag поверхность сплавов покрывается нерастворимым защитным

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

слоем хлорида серебра  $\text{AgCl}$ , который препятствует дальнейшему разрушению. Нижняя граница коррозионной стойкости сплавов соответствует сплаву, содержащему 37,7%Au. Сплавы с меньшим содержанием золота темнеют под действием находящихся в атмосфере частиц серы и аммония, поэтому их окрашивают в черный цвет с помощью сульфида калия.

Из-за небогатой цветовой гаммы и малой стойкости к истиранию сплавы этой системы не находят применения в ювелирном деле, из-за низкой твердости их в основном используют в электротехнике для изготовления контактов, проводников и других деталей.

### **Задание 7**

Вычертите диаграмму состояния железо-карбид железа, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую нагревания в указанном интервале температур 0–1600 °С для сплава, содержащего 0,9% углерода. На кривой нагревания укажите количество степеней свободы на каждом участке кривой, подсчитав их в соответствии с правилом фаз. Для заданного сплава определите количественное соотношение фаз в соответствии с правилом отрезка при температуре 730°С.

Ответ:

Диаграмма состояния «железо-цементит» рис. 3, как и другие диаграммы состояния для двухкомпонентных систем, построена в координатах «температура-концентрация углерода в %».

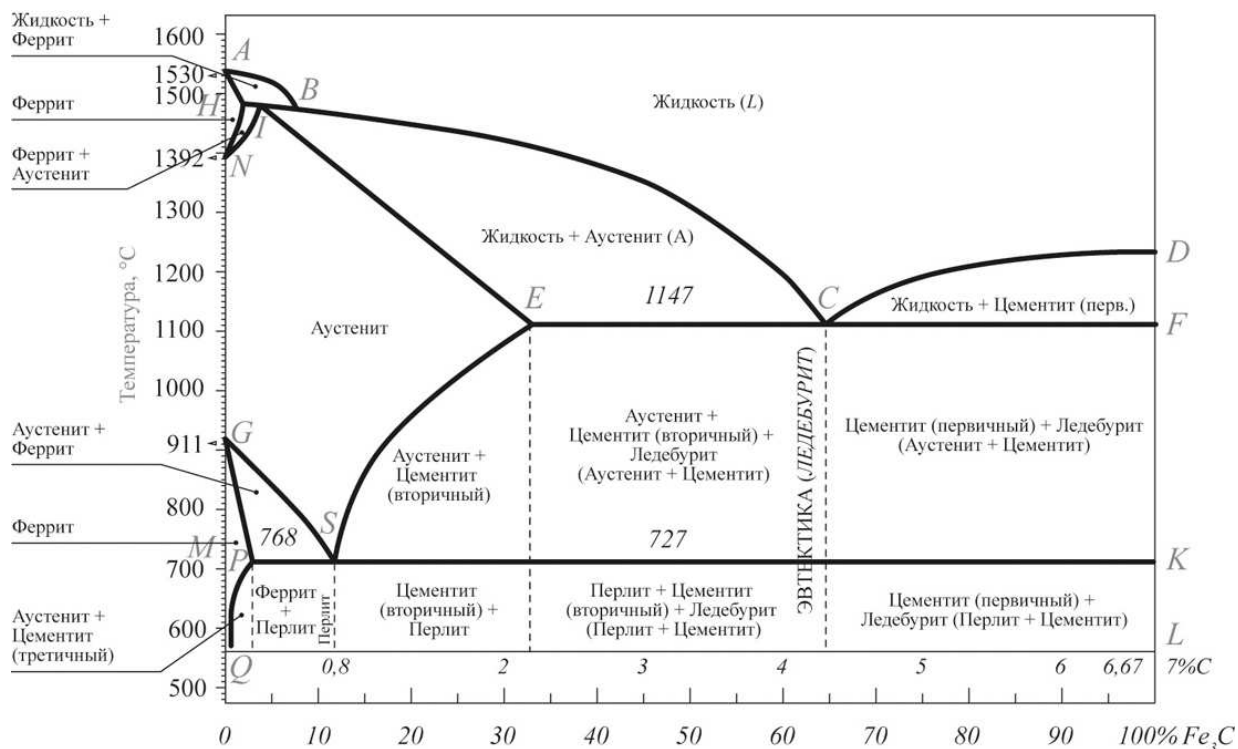


Рис. 3. Диаграмма состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C

Максимальная концентрация углерода на диаграмме состояния составляет 6,67 %, что соответствует 100% цементита.

Первичная кристаллизация – это переход металла из жидкого состояния в твердое, т.е. процесс образования твердых кристаллов непосредственно из жидкого расплава.

Для углеродистых сталей этот процесс начинается при охлаждении, когда температура достигает значений, соответствующих линии ABC, и заканчивается на линии HJE . После окончания первичной кристаллизации и достижения температуры, соответствующей линии HJE, сталь, независимо от содержания в ней углерода, имеет полиэдрическую структуру аустенита, который при дальнейшем медленном охлаждении сохраняется до линии GS – в доэвтектидных сталях и до линии SE – в заэвтектидных.

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

В отличие от первичной кристаллизации процесс выделения вторичных кристаллов из твердой фазы носит название вторичной кристаллизации.

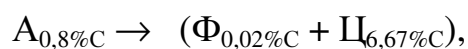
Сущность вторичной кристаллизации для углеродистых сталей состоит в распаде аустенита при охлаждении стали и образовании новых фаз: феррита и цементита.

Вторичная кристаллизация в доэвтектоидных сталях начинается выделением феррита при достижении уровня температур при охлаждении, соответствующих линии GS. Из диаграммы состояния видно, что температура начала вторичной кристаллизации не постоянна. В доэвтектоидных сталях она понижается с увеличением содержания углерода.

В области GSP структура состоит из двух фаз: аустенита и феррита. По мере охлаждения от линии GS к линии PS количество феррита постепенно увеличивается, а количество аустенита уменьшается; при этом в оставшемся аустените концентрация углерода увеличивается по линии GS в направлении к точке S и достигнет 0,8 % при 727°C (линия PS).

При охлаждении заэвтектоидных сталей из аустенита по линии ES начинает выделяться вторичный цементит. При дальнейшем охлаждении между линиями ES и SK структура стали состоит из аустенита и вторичного цементита, количество которого непрерывно возрастает. Охлаждаясь, аустенит обедняется углеродом и достигает эвтектоидного состава (0,8%С) при температуре 727°C (линия SK).

Таким образом в доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталях при температуре 727°C аустенит содержит 0,8 %С и распадается при постоянной температуре на две фазы: феррит и цементит:



а структура образующейся механической смеси называется перлитом.

Исходная структура заэвтектоидной стали (0,9%С) до нагрева перлитно-цементитная (фазы –  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) ( $C = K - \Phi + 1 = 2 - 2 + 1 = 1$ , возможно изменение температуры) (см. рис. 4). При повышении температуры до  $727^\circ\text{C}$  (т. 1), происходит эвтектоидное превращение, перлит превращается в аустенит (на кривой нагрева площадка 1–1',  $C = K - \Phi + 1 = 2 - 3 + 1 = 0$ , изменение температуры не возможно, пока не закончится превращение).

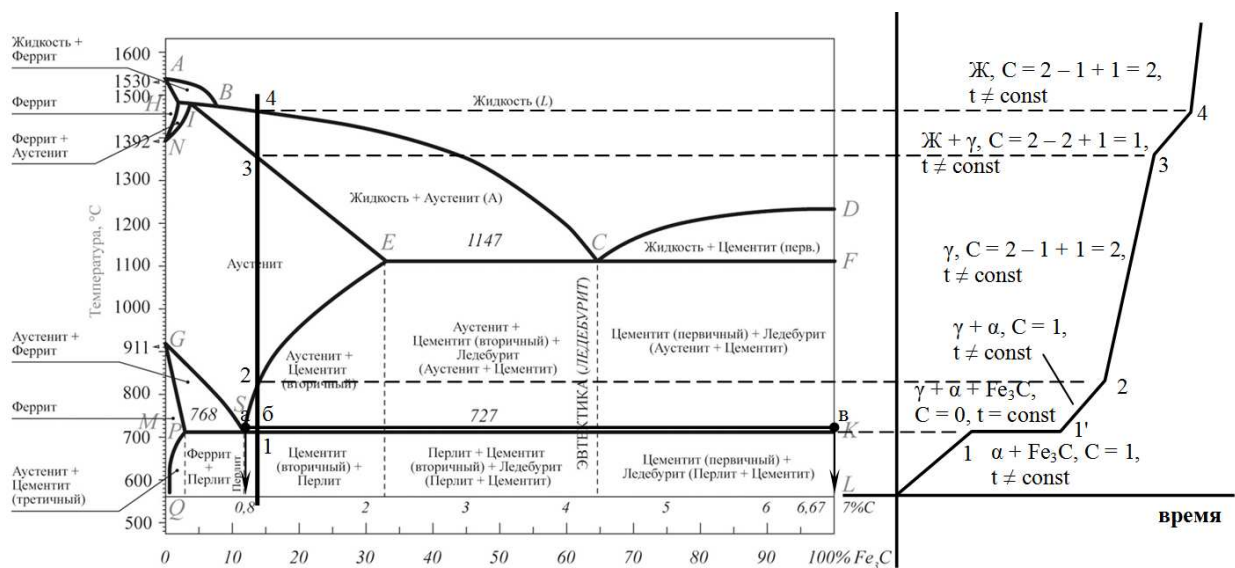


Рис. 4. Диаграмма состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C, кривая нагрева 0,9%С

При температуре выше точки 1' сплав имеет структуру аустенит + вторичный цементит. Дальнейший нагрев сплава вызывает растворение избыточного цементита (вторичного) в аустените. По мере приближения к точке 2 концентрация углерода в аустените увеличивается согласно линии SE. В точке 2 лежащей на линии SE, процесс растворения заканчивается. Эту точку обозначают  $A_{cm}$ .

Дальнейший нагрев стали приводит к росту аустенитного зерна. При достижении температурой точки 3 (линия JE) аустенит частично переходит в

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

жидкий расплав. Структура становится жидкость + аустенит ( $C = 2 - 2 + 1 = 1$ ). До точки 4 оставшейся аустенит постепенно переходит в жидкий расплав. В точке 4 под влиянием высокой температуры переход аустенита в жидкость заканчивается.

Таким образом, после окончательного нагревания до температур выше линии ликвидус сплав 0,9%С состоит из жидкости ( $C = 2 - 1 + 1 = 2$ ).

При температуре 730°C и содержании углерода в сплаве 0,9% (см. рис.4, конода абв) химический состав фаз: аустенит 0,81%С, цементит 6,67%С.

Тогда по правилу отрезков массовые содержания:

$$Q_{\gamma} = бв/ав \cdot 100\% = (6,67 - 0,9) / (6,67 - 0,81) \cdot 100\% = 98$$

$$Q_{Fe_3C} = аб/ав \cdot 100\% = (0,9 - 0,81) / (6,67 - 0,81) \cdot 100\% = 2\%$$

Таким образом, в заэвтектоидных сталях, при температуре 730°C, аустенит, как структурная составляющая, присутствует наряду со вторичным цементитом.

### **Задание 8**

В чем состоит отличие обычной закалки от ступенчатой и изотермической? Каковы преимущества и недостатки каждого из этих видов закалки?

Ответ: Закалкой называют термообработку, включающую в себя нагрев сталей до температур выше критических и быстрое, резкое охлаждение, с целью получения высокой прочности и твердости.

Для того, чтобы обеспечить закалку сталей на мартенсит необходимо быстро охлаждать её в области перлитного превращения. Но если с такой же



скоростью охлаждать её и дальше в области мартенситного превращения, то в детали возникают резкие закалочные напряжения.

Поэтому желательно проводить охлаждение в области мартенситного превращения по возможности медленнее, но среды с переменной скоростью охлаждения не существует и поэтому для разных деталей применяют различные способы охлаждения, чтобы получить закаленное состояние с минимум уровнем внутренних напряжений.

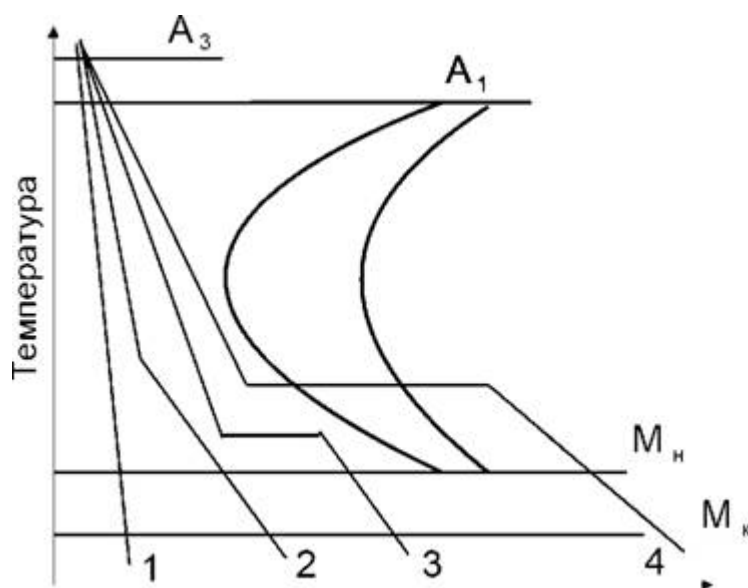


Рис. 5. Способы закалки, снижающие остаточные напряжения:

1 - обычная закалка; 2 - закалка в двух средах; 3 - ступенчатая закалка; 4 - изотермическая закалка

Закалку в одном охладителе (обычной закалки) применяют для деталей простой формы (рис. 5, 1). Нагретую до температуры закалки деталь быстро переносят в охладитель, которым может быть вода, масло и др. Основным преимуществом данного способа закалки является простота и дешевизна. Недостаток этого способа закалки заключается в том, что вследствие

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

неравномерного охлаждения по сечению в детали возникают большие термические напряжения.

Ступенчатая закалка по сравнению с обычной закалкой или закалкой в двух средах является более совершенной (рис. 5, 3). Нагретую до температуры закалки деталь быстро переносят в охладитель, имеющий температуру на 30-50 °С выше мартенситной точки, и выдерживают в течение времени, необходимого для выравнивания температуры по всему сечению изделия. Время изотермической выдержки должно быть меньше времени устойчивости аустенита при этой температуре. После изотермической выдержки (в расплаве солей или металлов) деталь охлаждают с небольшой скоростью, что способствует уменьшению закалочных напряжений. При ступенчатой закалке уменьшаются объемные изменения, коробление и опасность возникновения трещин. Правку изделий, склонных к короблению, осуществляют в период охлаждения на воздухе. Основным недостатком ступенчатой закалки – малая скорость охлаждения в горячей среде. Поэтому применение ступенчатой закалки к углеродистым сталям ограничено изделиями небольшого сечения (до 8-10 мм толщиной). Изделие большого сечения охлаждается в горячей среде медленно, и аустенит успевает претерпеть эвтектоидный распад. Для легированных сталей, имеющих небольшую критическую скорость закалки, ступенчатая закалка применима к деталям большого сечения (до 30 мм).

При изотермической закалке (рис. 5, 4) нагретую до закалочных температур деталь быстро переносят в закалочную среду, имеющую температуру несколько выше температуры начала мартенситного превращения (например, 250-300°С для углеродистых сталей), и

©МатБюро – Консультации по математике, экономике, праву, естественным наукам

Поможем вам с заданиями и тестами ТулГУ: [www.matburo.ru/sub\\_vuz.php?p=tulgu](http://www.matburo.ru/sub_vuz.php?p=tulgu)

выдерживают в течение времени, необходимого для полного превращения переохлажденного аустенита. Изотермическая закалка широко применяется для деталей из высоколегированных сталей. После изотермической закалки сталь приобретает высокие прочностные свойства, т. е. сочетание высокой вязкости с прочностью, структура нижнего бейнита.

Изотермическая закалка имеет следующие преимущества перед обычной:

- минимальное коробление стали и отсутствие трещин;
- большая вязкость стали.

Некоторым недостатком изотермической закалки является трудоемкости и энергоемкости процесса вследствие усложненности оборудования, связанной с необходимостью использования соляных или металлических ванн.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

- 1.Геллер Ю. А. Материаловедение / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – Москва: Металлургия, 1989. – 456 с.
- 2.Кнозоров, Б.В. Технология металлов и материаловедение Текст / Б.В.Кнозоров и др. /М.: Металлургия, 1987. – 800с.
- 3.Лившиц, Л.С. Металловедение для сварщиков (сварка сталей) Текст / Л.С.Лившиц/М.: Машиностроение, 1979. – 253 с.
- 4.Лахтин Ю.М. Материаловедение Учебник для высших технических учебных заведений, 1990, – 528 с.
- 5.Металловедение и технология металлов / Солнцев Ю.П., Веселов В.А., Демянцевич В. П. и др.; Под общ. ред. Солнцева Ю.П. М.: Металлургия, 2008. – 511с.
- 6.Материаловедение на автомобильном транспорте. П.А.Колесник, В.С. Кланица, М., "Академия", 2007 – 320 с.