

Московский государственный технический университет
имени Н.Э.Баумана

А.А. Зябрев, Г.Г. Мухин, Р.С. Фахуртдинов

**ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИИ
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана

Москва, 2011

Рецензент: Зубков Н.Н.

Выбор материала и технологии термической обработки: Методические указания по выполнению домашнего задания по дисциплине «Материаловедение» / А.А. Зябрев, Г.Г. Мухин, Р.С. Фахуртдинов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 17 с.

Приведены необходимые данные по выполнению домашнего задания по курсу «Материаловедение». Указаны цели домашнего задания, его содержание, характер, порядок выполнения и защиты задания, форма отчета. Приведен пример выполнения домашнего задания.

Для студентов 2-го и 3-го курсов машиностроительных и приборостроительных специальностей, а также преподавателей.

Ил. 6. Табл. 1. Библиогр. 12 назв.

ВВЕДЕНИЕ

Цель домашнего задания – обосновать выбор материала и технологии его термической обработки деталей машин или инструмента в соответствии с условием работы, требованиями по механическим и технологическим свойствам.

При выполнении задания студентам помимо конспекта лекций, учебников по материаловедению и других учебных пособий необходимо использовать действующие ГОСТы РФ, а также справочники и монографии. В методических указаниях разъясняется ход выполнения задания, а рассмотренный пример иллюстрирует необходимые этапы, на которые следует обратить внимание.

Для выполнения домашнего задания отводится 8 часов. Сроки выдачи и сдачи задания определяются учебными планами на семестр. Ориентировочный срок выдачи задания – 10 неделя, срок сдачи – 14 неделя.

Домашнее задание способствует:

- выработке у студентов умения решать практические задачи по выбору материалов и применению термической обработки;
- закреплению имеющихся знаний в области материаловедения и термической обработки сталей и сплавов;
- расширению кругозора студентов и стимулированию интереса к теоретическим вопросам материаловедения;
- развитию у студентов навыков к самостоятельной работе с технической литературой.

СОДЕРЖАНИЕ И ХАРАКТЕР ЗАДАНИЯ

В домашнем задании основное внимание обращено на выбор сталей и сплавов для деталей или инструментов, их термическую обработку и объяснение структурных изменений, происходящих на каждой операции термического упрочнения (при нагреве, выдержке при заданной температуре и охлаждении). Сталь или сплав выбирают с учетом исходных данных: условий эксплуатации (температура, характер испытываемых нагрузок – статических или динамических, действия среды и т.п.), размеров деталей, серийности производства.

В заданиях рассматриваются типовые детали машин: валы и оси, шестерни, рычаги, пружины, рессоры, торсионные валы, подшипники качения, крепежные детали, шатуны и др.

В ряде заданий предусмотрен выбор сталей для инструмента: режущего, мерительного, штампового.

В группе режущих инструментов представлены сверла, фрезы, резцы, метчики, развертки, протяжки, пилы горячей резки металла, пилы для обработки дерева.

В группу мерительного инструмента включены калибры (гладкие и резьбовые), скобы, шаблоны, линейки и др. При выполнении заданий по этим видам инструмента требуется с помощью термической обработки обеспечить эксплуатационные свойства инструмента и стабильность его размеров.

Штамповый инструмент разделяется на две группы – горячей обработки давлением и холодной обработки давлением. Принципиальное различие условий эксплуатации инструмента предопределяет основные требования к материалу, которые должны быть отражены при выполнении задания. В группу инструментов горячей обработки давлением включены штампы различных видов, валки, прошивные иглы, пресс-формы для переработки пластмасс, получение деталей литьем под давлением и др. В группу инструментов холодной обработки давлением включены штампы различных видов (обрезные, чеканочные, гибочные, формовочные), пуансоны, пресс-формы для прессования порошков, фильтров, ножи холодной резки, слесарный инструмент (молотки, клейма, керны).

В заданиях рассматриваются конструкционные углеродистые, легированные стали, алюминиевые и титановые сплавы.

Например, исследуются углеродистые стали обыкновенного качества: Ст3, Ст4, качественные стали, начиная от стали 08 до стали 60.

Легированные конструкционные стали включают в себя группу цементуемых сталей - 15Х, 15ХФ, 12Х2Н4А, 20ХН3А, 18ХГТ, 25ХГМ, 18Х2Н4МА; группу улучшаемых сталей 40Х, 40ХН, 40ХНМА, 38ХН3МА; группу рессорно-пружинных сталей - 50ХФА, 65Г, 50С2, 60С2ХФА, 70С3А, группу высокопрочных сталей - 30ХГСА, 30ХГСНА, 40ХН2СМА, 03Н18К9М5Т, 03Х11Н10М2Т; группу подшипниковых сталей - ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ. Инструментальные стали включают в себя углеродистые стали - У7, У8 до У12, легированные стали для режущего инструмента - Х, ХВГ, 9ХС; быстрорежущие стали - Р6М5, Р18; для штампов горячего деформирования - 5ХНМ, 5ХГМ, 40Х5В2ФС; для штампов холодного деформирования - Х12, Х12М и др.

Разработаны два варианта задания.

1-й вариант предусматривает разработку технологии термического упрочнения конкретной марки стали или сплава для изготовления указанной детали (инструмента). После выполнения основной части задания требуется указать одну – две марки стали или сплава, отметив сходство и различия этих материалов с указанным в задании.

2-й вариант предусматривает выбор марки стали для детали (инструмента) с учетом условий эксплуатации и поставленных требований на основе анализа двух-трех возможных вариантов такого выбора. Например, сопоставляют легированные цементуемые стали и улучшаемые стали при нескольких вариантах поверхностного упрочнения (поверхностной закалки, поверхностного пластического деформирования, азотирования).

В каждом задании предусмотрено краткое введение, описывающее наиболее важные требования к изделию, для которого нужно выбрать материал, приведены данные об условиях эксплуатации изделия, указана твердость, либо предел текучести и относительное удлинение, которые должны быть достигнуты в результате термической обработки. Приводятся размеры изделия, чтобы при выборе стали или сплава учесть прокаливаемость. Если указана определенная марка стали или сплава, то для

них и близких по свойствам материалов отмечают типичные особенности. На основе краткого введения студент располагает достаточной информацией для выполнения задания.

В заданиях отражены основные виды термической обработки сталей и сплавов (нормализация, отжиг, закалка, отпуск, старение, обработка холодом, цементация, азотирование, нитроцементация).

Независимо от предложенного варианта задания обязательными для выполнения требованиями являются:

1) приведение графической схемы процесса термической обработки в координатах «температура – время», подробный анализ выбранного варианта термического упрочнения с указанием фазовых превращений при нагреве, выдержке и охлаждении;

2) основные данные, характеризующие материал: химический состав в соответствии с ГОСТ РФ, свойства, применение, преимущества и недостатки;

3) описание дефектов, которые возникают при нарушениях выбранного варианта термического упрочнения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИ ЗАДАНИЯ

После получения задания и ознакомления с исходными данными деталей (инструмента) и условиями эксплуатации необходимо проработать соответствующий раздел учебника для предполагаемого варианта термического упрочнения или предполагаемой марки материала.

После ознакомления со свойствами и рекомендуемым применением материалов данной группы по учебнику следует использовать дополнительную литературу, включая справочники по сталям и сплавам. Дополнительные литературные источники необходимы для сбора информации о рекомендуемых режимах термической обработки материала, его свойствах, преимуществах и недостатках, области применения.

После сбора необходимой информации нужно составить план отчета, обработать информацию и написать отчет.

ФОРМА И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать не менее 6...8 страниц формата А4, включая титульный лист. На титульном листе указывают фамилию и инициалы студента(ки), группу, фамилию и инициалы преподавателя-консультанта и номер задания. На первой странице отчета целиком приводят текст задания. Далее указывают варианты выбора сталей или сплавов и способов достижения требуемых механических свойств поверхностного слоя и сердцевины детали.

Наиболее существенным является аргументированное обоснование выбора материала и схемы термического упрочнения детали (по сравнению с другими материалами). Для выбранного материала в отчете приводят его

классификация по различным признакам (химическому составу, структуре назначению и др.).

Например, для стали кроме химического состава и технических требований в исходном состоянии (состоянии поставки) в соответствии с ГОСТ приводят данные о механических свойствах стали для различных состояний (после нормализации, после горячей прокатки, после закалки и отпуска) и различных поперечных сечений.

В отчете должна быть указана область применения данной стали для деталей, которые отличаются от предложенных в задании. Например, в задании рекомендована сталь 20Х для изготовления кулачка с использованием цементации с целью упрочнения поверхностного слоя. Однако эту же сталь применяют для изготовления пальцев, крепежных изделий, валов и т.п. Если выбранная сталь является легированной, то необходимо указать, какие виды термической обработки оптимальны для этой стали. По указанию преподавателя-консультанта для данной стали необходимо привести также характерные особенности термической обработки (температура нагрева при закалке, нормализации, отжиге, критический диаметр при закалке, склонность к обезуглероживанию, склонность к росту аустенитного зерна, превращения при отпуске закаленной стали, склонность к отпускной хрупкости и др.). В описании особенностей выбранной стали обязательно нужно дать характеристику ее технологическим свойствам (в зависимости от технологии получения детали): прокаливаемости, обрабатываемости резанием, литейных свойств, штампуемости, свариваемости.

Основное внимание в отчете должно быть обращено на обоснование режима термического упрочнения предложенной детали (инструмента), учитывающего условия эксплуатации детали. Например, для колец подшипника качения непригодна сталь ШХ15, если подшипник подвергается коррозионному воздействию промышленных сред. В данном случае оптимальной сталью является коррозионно-стойкая сталь 95Х18. Необходимо указать конечные результаты термического упрочнения (механические свойства стали, твердость поверхностного слоя); по справочной литературе найти температуру нагрева под закалку, отпуск, температуру химико-термической обработки, указать охлаждающие среды. Руководствуясь размерами детали (инструмента) и справочной литературой, указать выдержки при основных операциях термической обработки (например, при цементации для достижения определенной глубины упрочненного слоя, при нагреве под закалку, при отпуске).

В отчете должны быть подробно объяснены теоретические аспекты термического упрочнения: необходимо описать фазовые превращения, происходящие на всех этапах термической обработки стали или сплава. Следует объяснить, какие структуры получаются после обработки и показать взаимосвязь механических свойств стали или сплава с их структурным состоянием. Особенно следует обратить внимание на структуры, получаемые

закалкой средним или высоким отпуском и связь структуры с сопротивлением ударным и знакопеременным нагрузкам.

В отчете обязательно должен быть график-схема термического упрочнения, построенный в координатах «температура-время». На этой схеме для сталей необходимо показать расположение критических точек A_1 , A_3 (A_{cm}), M_n , M_k по отношению к температуре нагрева, температуре помещения 20...25 °С, температуре охлаждения, если используется обработка холодом.

Желательно использование дополнительного графического материала, заимствованного из конспекта лекций, учебников, справочников и монографий и показывающего зависимость механических свойств стали от температуры отпуска, следует особо отметить влияние поверхностного упрочнения на сопротивление усталости, износостойкость и др. Полезно использовать термокинетические или изотермические диаграммы превращений стали или сплава.

Текст отчета должен представлять собой собственное изложение решения предложенного задания; не допускается дословное повторение текста учебников или монографий (за исключением определений). В отчете следует указывать использованные источники информации (конспект лекций, учебники, справочники, монографии).

ЗАЩИТА ЗАДАНИЯ

Выполненное задание принимает преподаватель-консультант в сроки, предусмотренные графиком учебных занятий. Защита заданий проводится устно, при этом студент должен продемонстрировать понимание сущности фазовых превращений, происходящих на каждом этапе термической обработки. При защите задания требуется обосновать выбор материала (для детали или инструмента), если это требуется по заданию, и выбор термической обработки детали. В обосновании выбора нужно представить зависимость механических свойств от режима упрочнения и получаемых структур. Знать механические свойства после назначенного режима термической обработки, технологические свойства стали или сплава в соответствии со стандартом, влияние легирующих элементов, преимущества и недостатки материала, область его применения и др.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

Задание №...

Для изготовления различных упругих элементов, конструкций (рессоры, пружины, амортизаторы), от которых требуются высокие пределы упругости (текучести) и выносливости при достаточной вязкости и пластичности, применяют различные по составу рессорно-пружинные стали.

1. Подберите марку кремнистой стали для изготовления торсионного вала с максимальным диаметром 18 мм; объясните выбор. Укажите режим

термической обработки вала. Постройте график термической обработки в координатах «температура-время».

2. Опишите структурные превращения, происходящие на всех этапах термической обработки стали.

3. Приведите основные данные, характеризующие эту сталь (ГОСТ, химический состав, свойства, область применения, влияние легирующих элементов).

Отчет

Для изготовления упругих элементов общего назначения, в том числе и для торсионного вала, применяют легированные рессорно-пружинные стали.

Особенности работы деталей типа упругих элементов состоят в том, что в них используют в основном упругие свойства стали и не допускают возникновения пластической деформации при нагрузке (статической, динамической, ударной). В связи с этим стали должны иметь большое сопротивление малым пластическим деформациям, т.е. высокие пределы упругости (текучести) и выносливости при достаточных уровнях пластичности и сопротивления хрупкому разрушению. Кроме того, важной характеристикой сталей данного типа является релаксационная стойкость.

Для обеспечения этих требований сталь должна иметь однородную структуру, которая обеспечивается хорошей закаливается и сквозной прокаливаемостью (структура мартенсита по всему сечению детали после закалки). Наличие в структуре стали феррита, продуктов эвтектоидного распада, остаточного аустенита снижает упругие свойства детали. Известно, что сопротивление малым пластическим деформациям возрастает с уменьшением размера зерна в стали.

К группе рессорно-пружинных сталей общего назначения относятся стали перлитного класса с содержанием углерода 0,5...0,7 %, которые для улучшения свойств (прокаливаемость, предел выносливости, релаксационная стойкость, мелкозернистая структура) дополнительно легируют кремнием (1,5...2,8 %), марганцем (0,6...1,2 %), хромом (0,2...1,2 %), ванадием (0,1...0,2 %), вольфрамом (0,8...1,2 %), никелем (1,4...1,7 %).

Эксплуатационные свойства упругие элементы приобретают после термической обработки, состоящей в закалке и среднем отпуске (350...520 °С) на троостит отпуска (рис. 1 а). Применение находит также изотермическая закалка на нижний бейнит (рис.1 б).

В соответствии с заданием необходимо подобрать марку кремнистой стали. В настоящее время применение находят следующие стали: 50С2, 55С2, 60С2А, 70С3А. Выбираем сталь 60С2А, которая относится к широко используемым дешевым сталям для изготовления упругих элементов сечением до 18 мм. Эта сталь обладает стойкостью к росту зерна, имеет высокие механические показатели. Для устранения склонности к обезуглероживанию нагрев под закалку следует проводить в контролируемой атмосфере.

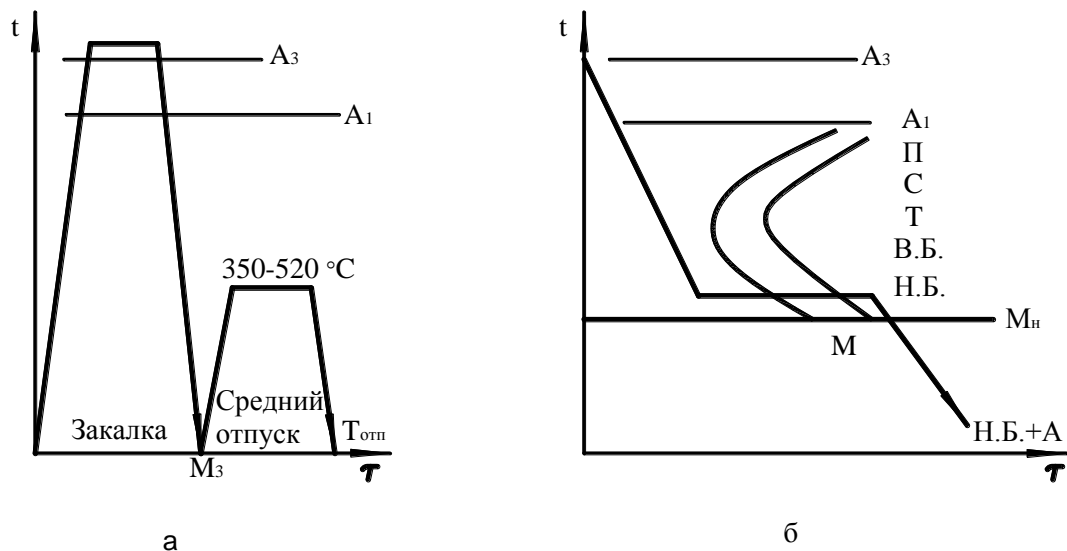


Рис. 1. Режимы термической обработки рессорно-пружинных сталей:
 а - термическая обработка на троостит отпуска ($T_{отп}$);
 б - изотермическая закалка на нижний бейнит в смеси с непревращенным аустенитом (Н.Б. + А)

Примем первый вариант термической обработки (см. рис. 1 а): закалку и средний отпуск. По данным ГОСТ 14959-79 температура закалки для стали 60С2А составляет $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($A_{c3} = 820\text{ }^{\circ}\text{C}$). В качестве охлаждающей среды выбираем масло. Такая среда охлаждения обеспечивает необходимую прокаливаемость торсионного вала диаметром 18 мм и в отличие от воды формирует более низкий уровень термических напряжений. Последующий отпуск назначаем при температуре $470\text{ }^{\circ}\text{C}$ (выше интервала температур необратимой отпускной хрупкости). Получаемая структура троостита отпуска (мелкодисперсная ферритоцементитная смесь) обеспечивает высокое сопротивление малой пластической деформации при $\text{HRC} = 35\dots 45$ (рис. 2), при этом $\sigma_{0,2}/\sigma_b > 0,85$.

Указанный режим термической обработки (рис. 3) обеспечивает получение следующих свойств (минимальные значения):

$$\sigma_{0,2} > 1200\text{ МПа}; \delta > 6\text{ } \%;$$

$$\sigma_b > 1300\text{ МПа}; \psi > 25\text{ } \%;$$

$$\text{НВ} \approx 390\dots 480 (\text{HRC} \approx 40\dots 50) \text{ после отпуска при } 460\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Снижение температуры отпуска до $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ повышает предел прочности (σ_b) до 1850 МПа, условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) - до 1600 МПа; условный предел упругости ($\sigma_{0,01}$) - до 1450 МПа при относительном удлинении (δ) - 4 %, относительном сужении (ψ) - 45 %, ударной вязкости (КСУ) - 0,2 МДж/м².

После изотермической закалки (см. рис. 1б) с выдержкой при 290 °С $\sigma_B = 2100$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1745$ МПа, $\sigma_{0,01} = 1535$ МПа, $\delta = 11\%$, $\psi = 40\%$, KCU = 0,5 МДж/м².

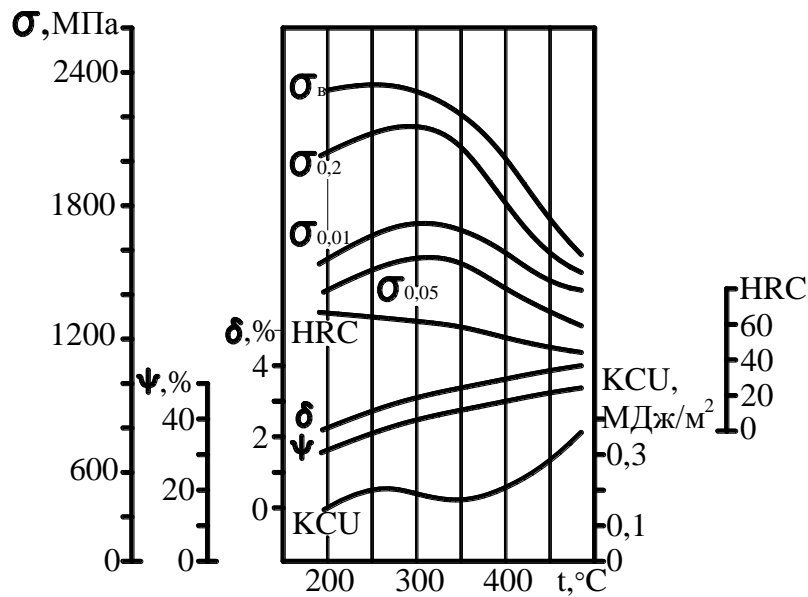


Рис. 2. Зависимость механических свойств стали 60С2А от температуры отпуска

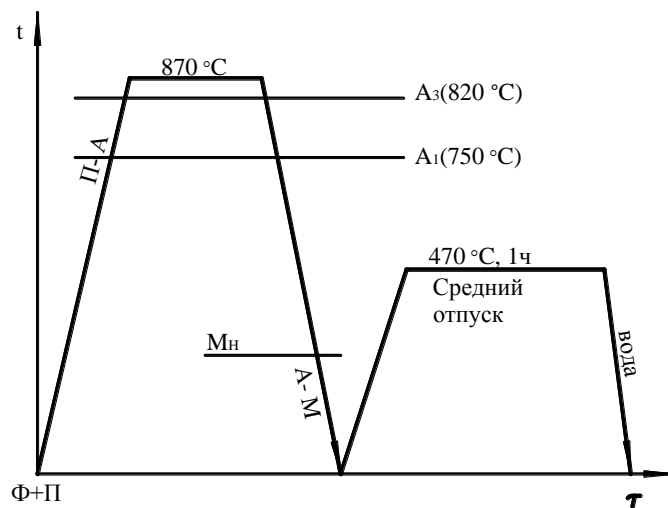


Рис. 3. Режим термической обработки стали 60С2А

Структурные превращения при термической обработке. Сталь 60С2А относится к сталям перлитного класса. Критические точки стали: $A_{c1} = 750 \pm 10$ °С, $A_{c3} = 820 \pm 10$ °С. Сталь подвергают полной закалке (см. рис. 3), при этом ее нагревают до образования однородной мелкозернистой аустенитной структуры (рис. 4).

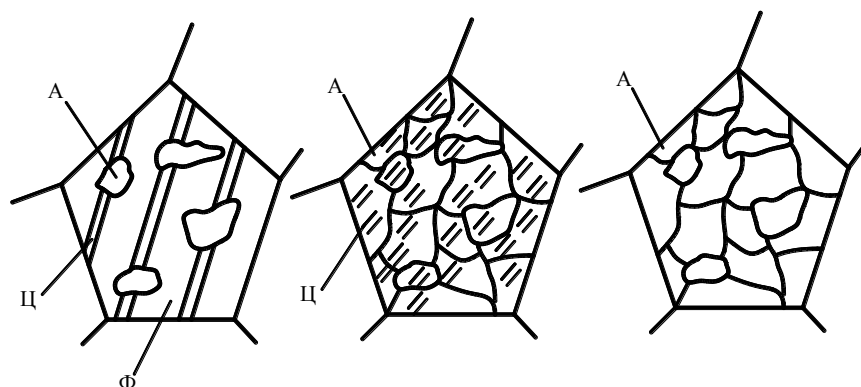


Рис. 4. Схема структурных превращений в стали при нагреве

Последующее охлаждение в масле со скоростью большей, чем $V_{кр}$ (наименьшая скорость охлаждения, при которой аустенит превращается в мартенсит), обеспечивает получение мелкозернистого мартенсита.

Рассмотрим превращения, происходящие в стали 60С2А при нагреве. Исходная равновесная структура стали после отжига или нормализации: $\Phi + \Pi$. На практике при обычных скоростях нагрева (электродуговая печь) под закалку перлит сохраняет свое пластинчатое или зернистое строение до температуры A_{c1} (750 °С для стали 60С2А). При температуре A_{c1} в стали происходит превращение перлита в аустенит. Кристаллы (зерна) аустенита зарождаются в основном на границах фаз феррита и цементита. При этом параллельно развиваются два процесса: полиморфный переход $Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\gamma}$ и растворение цементита в аустените.

Образование зерен аустенита происходит с большей скоростью, чем растворение цементита перлита, поэтому необходима выдержка стали при температуре заковки для полного растворения цементита и получения гомогенного аустенита.

Дальнейший нагрев от A_{c1} до 870 °С приводит к фазовой перекристаллизации структурно свободного феррита в аустенит.

Фазовая перекристаллизация приводит к измельчению зерна стали. При этом, чем выше дисперсность структуры перлита ($\Phi + \Pi$) и скорость нагрева стали, тем больше возникает центров зарождения аустенита, а следовательно, возрастает дисперсность продуктов его распада. Увеличение же дисперсности продуктов распада аустенита приводит к увеличению пластичности, вязкости, уменьшению чувствительности к концентраторам напряжений.

Изменение структуры стали при закалке в масле. При непрерывном охлаждении в стали с $V_{охл} > V_{кр}$ аустенит превращается в мартенсит. Мартенситное превращение развивается в сталях с высокой скоростью (~1000...7000 м/с) в интервале температур $M_n...M_k$. При этом необходимо учитывать, что с увеличением содержания углерода в стали температуры M_n и M_k понижаются (точки M_n и M_k изменяют свое положение на графике (см. рис. 5)). Введение легирующих элементов также изменяют положение точек

M_n и M_k . Например, введение кремния их повышает. В результате закалки стали 60С2А ее структура может иметь кроме мартенсита некоторое количество остаточного аустенита, так как при закалке не достигается температура конца мартенситного превращения, которая находится значительно ниже комнатной температуры.

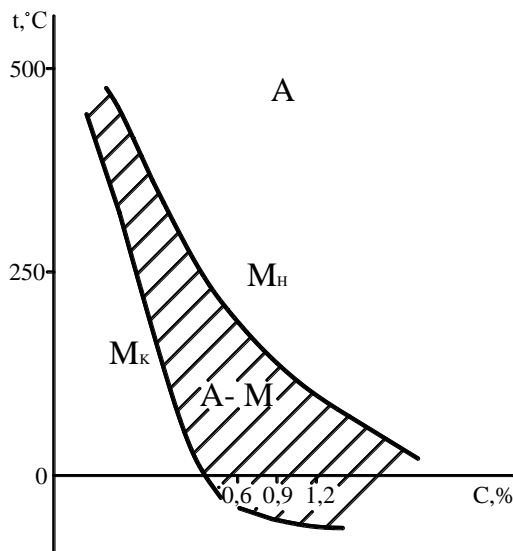


Рис. 5. Влияние концентрации углерода на температуру начала M_n и конца M_k мартенситного превращения

Полученный мартенсит представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе и имеет тетрагональную кристаллическую решетку. Атомы углерода занимают в основном октаэдрические поры.

Образование в результате закалки мартенсита приводит к большим остаточным напряжениям, повышению твердости, прочности, однако при этом возрастает склонность к хрупкому разрушению, что требует проведения последующего отпуска.

Превращения в закаленной стали при среднем отпуске (470 °С).

Нагрев закаленной стали до температуры не превышающей A_{c1} принято называть отпуском. Отпуск должен обеспечить получение необходимых эксплуатационных свойств стали. Структура стали 60С2А после закалки состоит из мартенсита и остаточного аустенита.

Рассмотрим последовательность процессов при отпуске с повышением температуры. До 80 °С диффузионная подвижность мала и распад мартенсита идет медленно. Первое превращение при отпуске развивается в диапазоне 80...200 °С и приводит к формированию структуры отпущенного мартенсита – смеси пересыщенного углеродом α -раствора и когерентных с ним частиц ϵ -карбида. В результате этого существенно уменьшаются степень тетрагональности мартенсита (часть углерода выделяется в виде метастабильного ϵ -карбида), уменьшается его удельный объем, снижаются остаточные напряжения.

Второе превращение при отпуске развивается в интервале температур 200...300 °С и состоит из следующих этапов:

- 1) превращение остаточного аустенита в отпущенный мартенсит;
- 2) распад отпущенного мартенсита: степень его пересыщения уменьшается до 0,15...0,2 %, начинается превращение ϵ -карбида в Fe_3C – цементит и его обособление, разрыв когерентности;
- 3) снижение остаточных напряжений;
- 4) некоторое увеличение объема, связанное с переходом $A_{ост} \rightarrow M_{ост}$.

Третье превращение при отпуске развивается в интервале 300...400 °С. При этом заканчивается распад отпущенного мартенсита и процесс карбидообразования. Формируется феррито-цементитная смесь, существенно снижаются остаточные напряжения; повышение температуры отпуска выше 400 °С активизирует процесс укрупнения карбидов, что приводит к уменьшению дисперсности феррито-цементной смеси.

Структуру стали после низкого отпуска (до 250 °С) называют отпущенным мартенситом, структуру стали после среднего отпуска 350...500 °С трооститом отпуска; после высокого отпуска 500...600 °С – сорбитом отпуска.

В стали 60С2А после полной закалки в масле и среднего отпуска при 470 °С образуется структура троостита отпуска.

Основные данные о стали 60С2А.

1. ГОСТ 14959-79. Рессорно-пружинные стали.
2. Химический состав, % по массе.

C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	P	S
0,58- 0,63	1,6 – 2,0	0,6 – 0,9	0,3	0,2	0,25	0,025	0,025

3. Применение: рессоры, пружины, торсионные валы, пневматические зубила.

4. Прокаливаемость достигает 18 мм.

5. Влияние легирующих элементов.

Кремний положительно влияет на структуру, механические и технологические свойства стали: снижает критическую скорость охлаждения и увеличивает прокаливаемость, уменьшает скорость распада мартенсита, сильно упрочняет феррит, повышает прочность, твердость и прежде всего упругие свойства стали ($\sigma_{0,2}$, σ_b , σ_{-1}), увеличивает сопротивление коррозии, снижает вязкость.

6. Усталостные свойства упругих элементов могут быть повышены в 1,5...2 раза путем поверхностного пластического деформирования (обдужка дробью).

7. Недостатки стали 60С2А: 1) склонность к обезуглероживанию; 2) склонность к графитообразованию; 3) склонность к образованию

поверхностных дефектов при горячей обработке стали, вызывающих снижение предела выносливости.

8. Свойства пружинной стали могут быть улучшены путем дополнительного легирования. Кроме стали 60С2А применяют стали 60С2ХА, 60С2ХФА, 60С2Н2А.

Легирующие элементы – кремний и марганец – сильно упрочняют феррит и способствуют повышению характеристик прочности стали после термической обработки. Влияние дополнительного легирования хромом, ванадием, никелем проявляется прежде всего в уменьшении критической скорости охлаждения и повышении прокаливаемости. Карбидообразующие элементы – хром и ванадий – предупреждают обезуглероживание пружин при нагреве под закалку. Кроме того, введение ванадия способствует дальнейшему повышению прочности, так как приводит к образованию дисперсных частиц карбида MeC (на основе VC) при распаде мартенсита в процессе отпуска.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ*

Основная

1. Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н.Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г.Мухин, Н.М. Рыжов, В.И. Силаева; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. - 8-е изд., стереотип. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.
2. Справочник по конструкционным материалам: Справочник / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов и др.; Под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 640 с.

Дополнительная

1. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд. / В.Г. Сорокин, и др.; Науч. ред. В.Г. Сорокина, М.А. Гервасьева. – М.: Интернет Инжиниринг, 2003. – 608 с.
2. Марочник сталей и сплавов / М.М. Колосков, Е.Т. Долбенко, Ю.В. Каширский и др.; Под общ. ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2001. – 672 с.
3. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали. Справочник. 4-е изд. Перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 480 с.
4. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. 5-е изд. перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1983. - 527 с.
5. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. 3-е изд. перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1982. - 400 с.

6. Попов Л.Е., Попова А.А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и β -раствора в сплавах титана. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1991. - 502 с.
7. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник / Г.В. Борисенок, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошнин и др.; Под ред. Л.С. Ляховича. - М.: Металлургия, 1981. - 424 с.
8. Материалы в приборостроении и автоматике. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.М.Пятин, А.М.Чернявская, Р.А.Владимирский и др.; Под ред. Ю.М.Пятина. – М.: Машиностроение, 1982. - 527 с.
9. Электрорадиоматериалы: Учебное пособие для вузов / Б.М. Тареев, Н.В. Короткова, В.М. Петров и др.; Под ред. Б.М. Тареева. - М.: Высш. шк., 1978. - 336 с.
10. Материалы для авиационного приборостроения и конструкций: Учебное пособие / А.Я.Потемкин, Ю.И. Шейдеман, Ю.П.Фролов и др.; Под ред. А.Ф.Белова. - М.: Металлургия, 1982. - 400 с.
11. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. - М.: Высш. шк., 1986. - 367 с.
12. Гуляев А. П. Металловедение: Учебник для вузов / А. П. Гуляев. - М.: Металлургия, 1986. - 544 с.

* Кроме описанной здесь литературы студентам рекомендуется пользоваться конспектом лекций по курсу «Металловедение». На кафедре предоставляются дополнительные материалы: выдержки из ГОСТ, справочные данные по различным материалам. Студент может также воспользоваться банком данных, имеющимся в компьютерном классе кафедры.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Содержание и характер заданий	3
Порядок выполнения заданий	5
Форма и содержание отчета	5
Защита задания.....	7
Пример выполнения домашнего задания.....	7
Список рекомендуемой литературы.....	14