



Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Методические указания

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

ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана

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

**ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИИ
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ**

*Методические указания по выполнению домашнего задания
по дисциплине «Материаловедение»*

Москва
Издательство МГТУ имени Н. Э. Баумана
2011

УДК 621.785
ББК 34.651
3-99

Рецензент *Н. Н. Зубков*

- Зябрев А. А.**
3-99 Выбор материала и технологии термической обработки деталей и инструментов : метод. указания к выполнению домашнего задания по дисциплине «Материаловедение» / А. А. Зябрев, Г. Г. Мухин, Р. С. Фахуртдинов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 18, [2] с. : ил.

Приведены необходимые данные для выполнения домашнего задания по курсу «Материаловедение». Указаны цели, содержание, порядок выполнения и защиты задания, а также требования к оформлению отчета. Представлен пример выполнения домашнего задания.

Для студентов 2-го и 3-го курсов машиностроительных и приборостроительных специальностей.

Рекомендовано Учебно-методической комиссией НУК МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 621.785
ББК 34.651

ВВЕДЕНИЕ

Цель домашнего задания — обосновать выбор материала и технологии термической обработки деталей машин и инструментов в соответствии с условиями их работы, требованиями к механическим и технологическим свойствам материала.

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, рассматривается пример его выполнения.

Для выполнения задания отводится 8 ч, сроки выдачи и сдачи определяются учебными планами на семестр. Ориентировочный срок выдачи — 10-я неделя, срок сдачи — 14-я неделя.

Домашнее задание способствует:

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

СОДЕРЖАНИЕ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ЕГО ВЫПОЛНЕНИЯ

При выполнении задания основное внимание следует обратить на выбор сталей и сплавов для деталей машин и инструментов, термическую обработку деталей машин и инструментов и на объяснение структурных изменений, происходящих в материалах 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 зависимости от варианта домашнее задание содержит либо типовые детали машин (валы и оси, шестерни, рычаги, пружины, рессоры, торсионные валы, подшипники качения, крепежные детали, шатуны и др.), либо вид инструмента (режущий, мерительный, штамповый).

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 домашних заданий по этим видам инструмента требуется с помощью термической обработки инструмента обеспечить его эксплуатационные свойства и стабильность размеров.

Штамповый инструмент подразделяется на две группы: 1) инструменты горячей обработки давлением; 2) инструменты холодной обработки давлением.

Принципиальное различие условий эксплуатации любого 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; штампы для получения деталей литьем под давлением и др. В группу инструментов холодной обработки давлением входят: штампы различных видов (обрезные, чеканочные, гибочные, формовочные); пуансоны, пресс-формы для прессования

порошков, фильтров; ножи холодной резки; слесарный инструмент (молотки, клейма, керны).

В домашние задания могут быть включены конструкционные углеродистые, легированные стали, алюминиевые и титановые сплавы. Например, могут быть заданы 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.

К инструментальным сталям относятся: углеродистые стали от У7, У8 до У12; легированные стали для режущего инструмента Х, ХВГ, 9ХС; быстрорежущие стали Р6М5, Р18; для штампов горячего деформирования стали — 5ХНМ, 5ХГМ, 40Х5В2ФС; для штампов холодного деформирования — Х12, Х12М и др.

Разработаны два типа задания.

Первый тип — разработка технологии термического упрочнения конкретной марки стали или сплава для изготовления указанной детали машины (инструмента). После выполнения основной части задания требуется указать одну-две марки стали или сплава, отметив сходство и различия этих материалов с указанным в задании.

Второй тип — выбор марки стали для детали машины (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 каждое домашнее задание включены следующие исходные данные: краткое введение, описывающее наиболее важные требования к деталям машин или инструментам, для которых нужно выбрать материал; данные об условиях их эксплуатации, основные механические свойства материала — либо твердость, либо предел текучести и относительное удлинение, которые должны быть дос-

тигнуты в результате термической обработки; 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 отмечены типичные особенности.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1. Получить домашнее задание у преподавателя и ознакомиться с исходными данными деталей машин (инструмента) и условиями эксплуатации.

2. Проработать соответствующий раздел учебника [1] для предполагаемого варианта термического упрочнения или предполагаемой марки материала.

3. Ознакомиться со свойствами и рекомендуемым применением материалов для заданной или выбранной группы, используя учебник [1], а также дополнительную литературу, включая справочники по сталям и сплавам, например [2]. Дополнительные литературные источники необходимы для сбора информации о рекомендуемых режимах термической обработки материала, его свойствах, преимуществах и недостатках, области применения.

4. Назначить технологию термической или химико-термической обработки в соответствии с условием домашнего задания. Оформить 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 варианта домашнего задания. На первой странице отчета приводят текст домашнего 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 классификацию по различным признакам (химическому составу, структуре, назначению и др.).

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

В отчете указывают область применения данной стали для деталей. 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 являются оптимальными для этой марки стали. По требованию преподавателя-консультанта для данной стали необходимо перечислить характерные особенности ее 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 технологических свойств (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 заданной 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 значение температуры нагрева под закалку, отпуск, значение температуры химико-термической обработки, указать охлаждающие среды. Руководствуясь размерами детали (инструмента) и данными из справочной литературы, указать время выдержки при основных опера-

циях термической обработки (например, при цементации для достижения определенной глубины упрочненного слоя, при нагреве под закалку, при отпуске).

В отчете должны быть подробно изложены теоретические аспекты термического упрочнения — необходимо привести описание фазовых превращений, происходящие на всех этапах термической обработки стали или сплава. Следует объяснить, какие структуры получают после каждого этапа термической и химико-термической обработки и показать взаимосвязь механических свойств стали или сплава с их структурным состоянием. Необходимо обратить внимание на структуры, получаемые закалкой, средним или высоким отпуском, а также на связь структуры с сопротивлением ударным и знакопеременным нагрузкам.

В отчете приводят график (схему) термического упрочнения, построенный в координатах температура — время. На этой схеме для сталей необходимо показать расположение критических точек A_1 , $A_3(A_{ст})$, M_n , M_k по отношению к температуре нагрева, температуре помещения (20...25 °С), температуре охлаждения, если применяется обработка холодом.

Кроме того, в отчете должны быть представлены основные данные, характеризующие материал: химический состав в соответствии с ГОСТ РФ, свойства, применение, преимущества и недостатки, а также дано описание дефектов, которые возникают при нарушениях выбранного варианта термического упрочнения.

ЗАЩИТА ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

Выполненное домашнее задание принимает преподаватель-консультант в сроки, соответствующие графику учебных занятий. Защита домашнего задания проводится в устной форме, при этом студент должен продемонстрировать понимание сущности фазовых превращений, происходящих на каждом этапе термической обработки. При защите домашнего задания необходимо обосновать выбор материала для детали (или инструмента), если это требуется по заданию, и выбор термической обработки детали, дать описание зависимости механических свойств от режима упрочнения и получаемых структур.

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 выбранную сталь (укажите номер ГОСТа, 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 выполнения этих требований сталь должна иметь однородную структуру, которая обеспечивается хорошей закаливаемостью 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 двух вариантов термической обработки: закалка и средний отпуск (350...520 °С) на троостит отпуска (рис. 1, а). Применение находит также изотермическая закалка на нижний бейнит (рис. 1, б).

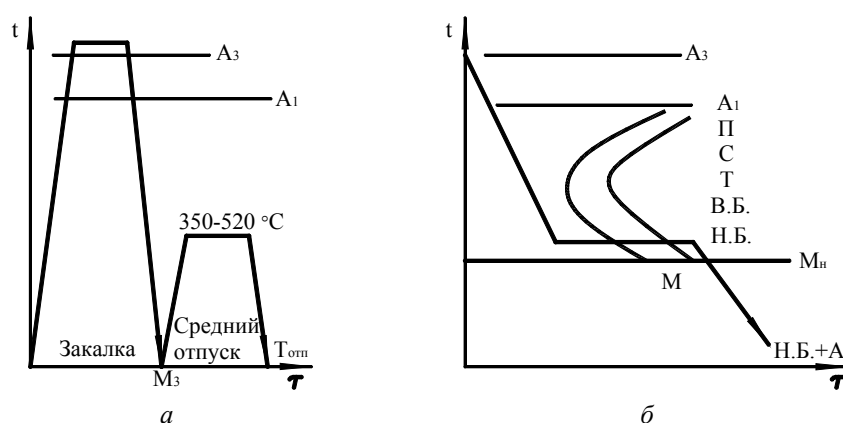


Рис. 1. Режимы термической обработки рессорно-пружинных сталей:

a — двойная термическая обработка на троостит отпуска ($T_{отп}$); *б* — изотермическая закалка на нижний бейнит в смеси с непревращенным аустенитом (Н.Б. + А)

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 свойства. Для уст-

ранения склонности к обезуглероживанию нагрев под закалку следует проводить в контролируемой атмосфере.

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 °С ($A_{C_3} = 820$ °С). 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 °С (выше интервала температур необратимой отпускной хрупкости). Получаемая структура троостита отпуска (мелкодисперсная ферритоцементитная смесь) обеспечивает высокое сопротивление малой пластической деформации при HRC = = 35...45 (рис. 2), при этом $\sigma_{0,2} / \sigma_B > 0,85$.

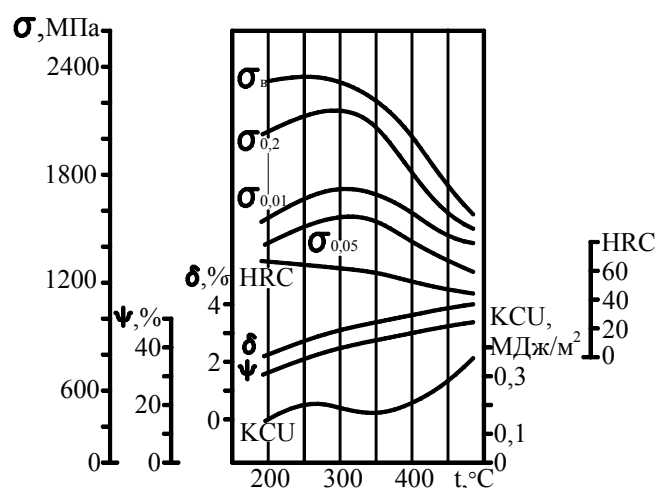


Рис. 2. Зависимость механических свойств стали 60С2А от температуры отпуска

Выбранный режим термической обработки (рис. 3) обеспечивает получение следующих механических свойств стали 60С2А (минимальные значения):

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

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

$$\text{HB} \approx 390 \dots 480 \text{ (HRC} \approx 40 \dots 50\text{)}.$$

Снижение температуры отпуска до значения 420 °С повышает предел прочности (σ_B) до 1850 МПа, условный предел текучести — до 1600 МПа, условный предел упругости ($\sigma_{0,01}$) — до 1450 МПа при относительном удлинении 4 %, относительном сужении 45 %, ударной вязкости 0,2 МДж/м².

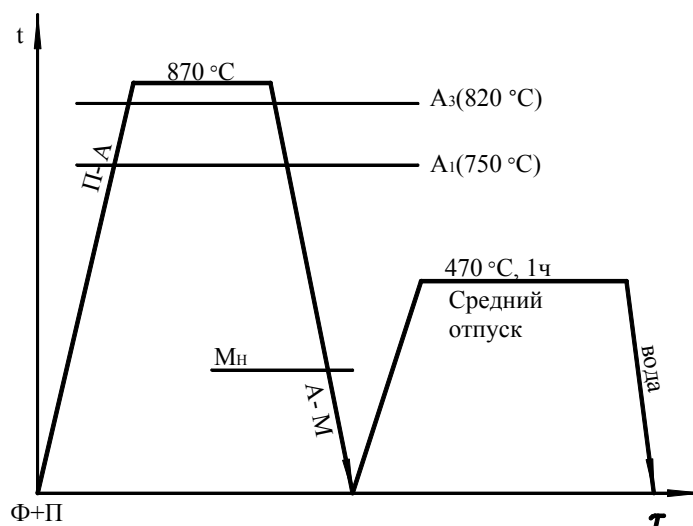


Рис. 3. Режим термической обработки стали 60С2А

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

Структурные превращения при термической обработке. Сталь 60С2А относится к сталям перлитного класса. Критические температуры стали: $A_{C1} = 750 \pm 10$ °С, $A_{C3} = 820 \pm 10$ °С. Сталь подвергают полной заковке (см. рис. 3), при этом ее нагревают до образования однородной мелкозернистой аустенитной структуры (рис. 4).

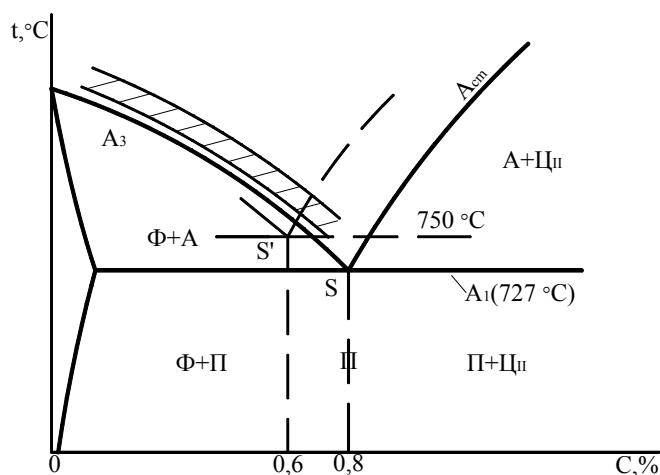


Рис. 4. Схема проведения полной закалки стали 60С2А

Последующее охлаждение в масле со скоростью $V_{\text{охл}}$ большей, чем критическая скорость $V_{\text{кр}}$ (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 (электропечи) под закалку перлит сохраняет свое пластинчатое или зернистое строение до температуры $A_{C_1} = 750\text{ }^\circ\text{C}$ для стали 60С2А.

При температуре A_{C_1} 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 $\text{Fe}_\alpha \rightarrow \text{Fe}_\gamma$ и растворение цементита в аустените.

Образование зерен аустенита происходит с большей скоростью, чем растворение цементита перлита, поэтому необходима выдержка стали при температуре закалки для полного растворения цементита и получения гомогенного аустенита (рис. 5).

Дальнейший нагрев от температуры A_{C_1} до температуры $870\text{ }^\circ\text{C}$ приводит к фазовой перекристаллизации структурно-свободного феррита в аустенит.

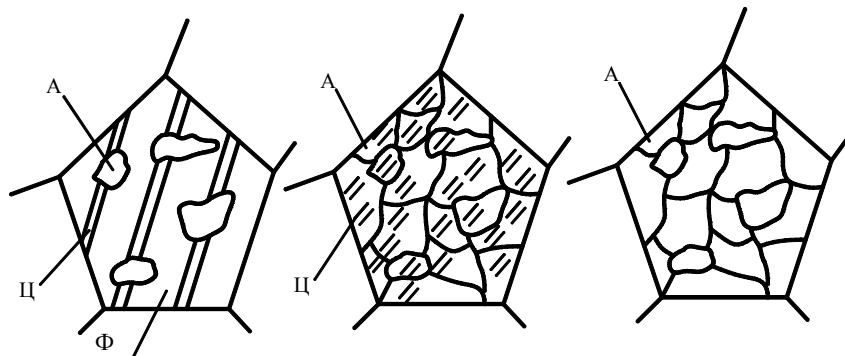


Рис. 5. Схема структурных превращений в стали 60С2А при нагреве

Фазовая перекристаллизация приводит к измельчению зерна стали. При этом чем выше дисперсность структуры перлита (Ф + Ц) 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 повышению пластичности, вязкости, уменьшению чувствительности к концентраторам напряжений.

Изменение структуры стали 60С2А при закалке в масле. При непрерывном охлаждении в стали 60С2А со скоростью охлаждения большей, чем критическая скорость ($V_{\text{охл}} > V_{\text{кр}}$), аустенит превращается в мартенсит. Мартенситное превращение развивается в сталях с высокой скоростью ($\sim 1000 \dots 7000$ м/с) в интервале температур $M_n \dots M_k$. При этом необходимо учитывать, что с увеличением содержания углерода в стали температуры M_n и M_k понижаются, координаты температур M_n и M_k изменяют свое положение на графике (рис. 6). Введение легирующих элементов также изменяет положение координат температур M_n и M_k . Например, введение кремния повышает температуры мартенситного превращения. 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, находящаяся значительно ниже комнатной температуры.

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

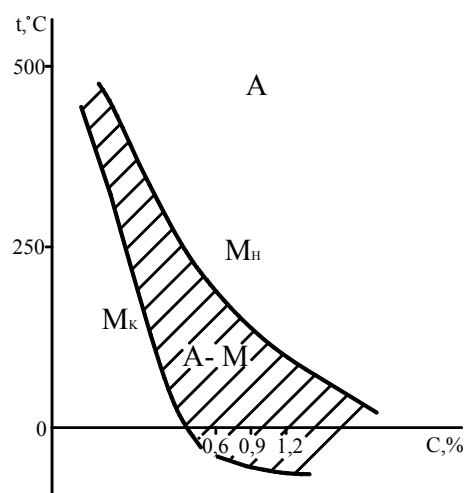


Рис. 6. Влияние концентрации углерода С на температуру начала M_n и конца M_k мартенситного превращения

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 60С2А 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 фазовых процессов, происходящих при отпуске с повышением температуры. До температуры 80 °С диффузионная подвижность мала и распад мартенсита идет медленно. Первое превращение при отпуске развивается в диапазоне значений 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) и его удельный объем, снижаются остаточные напряжения.

Второе превращение при отпуске развивается в диапазоне значений температуры 200...260 °С (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 $A_{\text{ост}} \rightarrow M_{\text{отп}}$.

Третье превращение при отпуске развивается в диапазоне температур 300...400 °С. При этом заканчиваются распад отпущенного мартенсита и процесс карбидообразования. Формируется ферритоцементитная смесь, существенно снижаются остаточные напряжения; повышение температуры отпуска выше значения 400 °С активизирует процесс коалесценции карбидов, что приводит к уменьшению дисперсности ферритоцементитной смеси.

Структуру стали 60С2А после низкого отпуска (до значения температуры 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 температуре 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
			не более				
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 60С2А: 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 (обдувка дробью).

7. Недостатки стали 60С2А: а) склонность к обезуглероживанию; б) склонность к графитообразованию; в) 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 в сталь способствует дальнейшему повышению ее прочности, так как приводит к образованию высокодисперсных частиц карбида МС (на основе VC) при распаде мартенсита в процессе отпуска.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Материаловедение: Учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 648 с.

2. Справочник по конструкционным материалам: Справ. / 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

Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. 527 с.

Гуляев А.П. Металловедение: Учеб. для вузов. М.: Металлургия, 1986. 544 с.

Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справ. М.: Машиностроение, 1992. 480 с.

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.

Материалы в приборостроении и автоматике: Справ. / Ю.М. Пятин, А.М. Чернявская, Р.А. Владимирский и др.; под ред. Ю.М. Пятина. М.: Машиностроение, 1982. 527 с.

Материалы для авиационного приборостроения и конструкций: Учеб. пособие / А.Я. Потемкин, Ю.И. Шейдеман, Ю.П. Фролов и др.; под ред. А.Ф. Белова. М.: Металлургия, 1982. 400 с.

Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. М.: Высш. шк., 1986. 367 с.

Попов Л.Е., Попова А.А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и β -раствора в сплавах титана. М.: Металлургия, 1991. 502 с.

Рахитадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. М.: Металлургия, 1982. 400 с.

Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд. / В.Г. Сорокин и др.; под науч. ред. В.Г. Сорокина, М.А. Гервасьева. М.: Интермет Инжиниринг, 2003. 608 с.

Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справ. / Г.В. Борисенок, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошнин и др.; под ред. Л.С. Ляховича. М.: Металлургия, 1981. 424 с.

Электрорадиоматериалы: Учеб. пособие для втузов / Б.М. Тареев, Н.В. Короткова, В.М. Петров и др.; под ред. Б.М. Тареева. М.: Высш. шк., 1978. 336 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Содержание домашнего задания и исходные данные для его выполнения	4
Порядок выполнения домашнего задания	6
Форма и содержание отчета	6
Защита домашнего задания	8
Пример выполнения домашнего задания	9
Литература	18

Учебное издание

Зябрев Александр Александрович
Мухин Герасим Герасимович
Фахуртдинов Равел Садртдинович

**Выбор материала и технологии
термической обработки
деталей и инструментов**

Редактор *О. М. Королева*
Корректор *К.А. Осипова*
Компьютерная верстка *И.А. Марковой*

Подписано в печать 05.07.2011. Формат 60×84/16.
Изд. № 105. Усл. печ. л. 1,16. Тираж 1000 экз. Заказ

Издательство МГТУ им.Н.Э. Баумана.
Типография МГТУ им.Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5.