

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. Э. БАУМАНА

Г. Г. МУХИН, А. А. ЗЯБРЕВ, М. С. ПАВЛОВ, Р. С. ФАХУРТДИНОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**по выполнению домашнего задания по курсу
«Материаловедение»**

Под редакцией Мухина Г. Г.

Москва 1998 г

Данное учебное пособие издается в соответствии с учебным планом.

Рассмотрено и одобрено кафедрой МТ8 09.09.1998 г., методической комиссией факультета МТ и Учебно-методическим управлением.

Рецензенты: доктор технических наук, профессор ИМЕТ РАН
В. Ф. Терентьев и кандидат технических наук, доцент кафедры МТЗ
В. Д. Максимович.

Герасим Герасимович Мухин, Александр Александрович Зябрев,
Михаил Сергеевич Павлов, Равел Садртдинович Фахуртдинов

© Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 1998 г.

® Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 1998 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЦЕЛИ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ	4
СОДЕРЖАНИЕ И ХАРАКТЕР ЗАДАНИЙ	4
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ	6
ФОРМА И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	7
ЗАЩИТА ЗАДАНИЯ	8
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	9
ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ	10

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов машиностроительных и приборостроительных специальностей, а также преподавателей кафедры.

Цель пособия – помочь студентам выполнить домашнее задание в срок, используя при этом рекомендации, содержащиеся в пособии, учебную и справочную литературу и ГОСТы.

Для выполнения домашнего задания требуется около 8 часов. Сроки выдачи и сдачи задания определяются учебными планами на семестр, ориентировочный срок выдачи – 10-я неделя, срок сдачи – 14-я неделя.

ЦЕЛИ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

1. Закрепить имеющиеся знания в области материаловедения и термической обработки.
2. Способствовать расширению кругозора студентов и стимулировать интерес к теоретическим вопросам материаловедения.
3. Развить у студентов навыки самостоятельной работы с технической литературой.
4. Выработать у студентов умение решать практические задачи по выбору материалов и применению термической обработки.

СОДЕРЖАНИЕ И ХАРАКТЕР ЗАДАНИЙ

Домашнее задание для студентов машиностроительных специальностей качественно отличаются от заданий для студентов приборостроительных специальностей в силу различия учебных программ по курсу материаловедения.

В заданиях для студентов машиностроительных специальностей основное внимание обращено на выбор сталей для деталей или инструментов, термическую обработку изделий и объяснение изменений структуры стали на каждой операции термического упрочнения (при нагреве, выдержке при заданной температуре и охлаждении). Сталь выбирается с учетом исходных данных: условий эксплуатации (температура, характер испытываемых нагрузок – статических или динамических, действия среды и т.п.), размеров изделия, серийности производства.

В заданиях для студентов приборостроительных специальностей основным является закрепление знаний в области материаловедения как конструкционных материалов, так и сплавов с особыми физическими свойствами. Задания имеют реферативную направленность. Выполнение заданий рассчитано на закрепление знаний основ термического упрочнения сталей и сплавов, а также зависимостей физических свойств материала как от его химического состава, так и от структуры.

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

Кроме того, в части заданий предусмотрен выбор стали для инструмента – режущего, мерительного, штампового.

Среди режущего инструмента 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 при помощи термической обработки обеспечить как эксплуатационные свойства инструмента, так и стабильность его размеров.

Штамповый инструмент разделяется на две группы: инструмент горячей обработки давлением и инструмент 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, прессформы для переработки пластмасс и для получения деталей литьем под давлением и др. В группу инструментов холодной обработки давлением включены штампы различных видов (обрезные, чеканочные, гибочные, формовочные), пуансоны, прессформы для прессования порошков, фильтры, ножи холодной резки, слесарный инструмент (молотки, клейма, керны).

В задания включены конструкционные углеродистые и легированные стали. Например, рассматриваются углеродистые стали обыкновенного качества Ст3, Ст4, качественные стали, начиная от стали 08 до стали 60.

Легированные конструкционные стали включают группу цементуемых сталей – 15Х, 15ХФ, 12Х2Н4А, 20ХН3А, 18ХГТ, 25ХГМ, 18Х2Н4МА; группу улучшаемых сталей – 40Х, 40ХН, 40ХНМА, 38ХН3МА; группу рессорно-пружинных сталей – 40ХФА, 65Г, 50С2, 60С2ХФА, 70С3А; группу высокопрочных сталей – 30ХГСА, 30ХГСНА, 03Н18К9М5Т, 03Х11Н10М2Т; группу подшипниковых сталей – ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ. Инструментальные стали включают углеродистые стали – У7, У8 до У13; легированные стали для режущего инструмента – Х, ХГ, 9ХС; быстрорежущие стали – Р6М5, Р9; для штампов горячего деформирования – 5ХНМ, 5ХГМ, 40Х5В2ФС; для штампов холодного деформирования – Х12, Х12М и др.

Для студентов машиностроительных специальностей предусмотрены два основных варианта задания:

1-й вариант предусматривает разработку технологии термического упрочнения конкретной марки стали для изготовления указанной детали (инструмента). После выполнения основной части задания требуется указать одну – две марки стали, и отметить сходство и различия этих сталей с предложенной.

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, сопоставляются 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 сталь, приводятся данные об условиях эксплуатации изделия, указывается твердость, которая должна быть достигнута в результате термической обработки. В ряде случаев указываются размеры изделия, чтобы при выборе стали учесть ее прокаливаемость. Если в задании указана определенная марка стали, то для нее и близких по свойствам сталей отмечаются типичные особенности.

На основе краткого введения студент располагает достаточной информацией для выполнения задания.

Независимо от предложенного варианта задания обязательными для выполнения требованиями являются:

1. Подробный анализ выбранного варианта термического упрочнения с указанием фазовых превращений при нагреве, выдержке и охлаждении и графической схемы процесса в координатах «температура – время».
2. Основные данные, характеризующие сталь: химический состав в соответствии с ГОСТ, свойства, применение, преимущества и недостатки.
3. Дефекты, которые возникают при нарушениях выбранного варианта термического упрочнения.

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

Задания для студентов приборостроительных специальностей включают пять вопросов, охватывающих основные процессы термического упрочнения сталей и сплавов, свойства и применение конструкционных материалов на основе железа, алюминия, а также меди и материалов с особыми физическими свойствами – магнитными, электропроводными.

При выполнении задания обязательно выполнение следующих требований:

1. Описание процесса термического упрочнения дополняется графической схемой операций термической обработки с объяснением фазовых превращений.
2. При использовании конкретной марки материала указываются ГОСТ, химический состав материала и его свойства после оптимальной обработки.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1. После получения задания и знакомства с исходными данными относительно детали (инструмента) и условиями эксплуатации необходимо для предполагаемого варианта термического упрочнения или предлагаемой стали проработать соответствующий раздел учебника.

2. После знакомства со свойствами и применением сталей данной группы по учебнику следует использовать дополнительную литературу, включая справочники по данной марке стали, которую предложено использовать или на которой сделан

выбор. Дополнительные литературные источники необходимы для сбора информации о рекомендуемых режимах термической обработки данной марки стали, ее свойствах, преимуществах и недостатках, области применения.

3. После сбора необходимой информации составляется план отчета, обрабатывается информация и пишется отчет.

ФОРМА И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Объем отчета должен быть не менее 6...8 страниц формата А4 включая титульный лист. На титульном листе указываются фамилия и инициалы студента, индекс группы, фамилия и инициалы преподавателя-консультанта и номер задания. На первом листе отчета приводится целиком текст задания.

Далее указываются варианты выбора сталей и достижения требуемой твердости поверхностного слоя и сердцевины детали.

Наиболее существенным является аргументированное обоснование выбранной стали и схемы термического упрочнения детали (по сравнению с другими сталями). Для выбранной стали дается ее классификация (по качеству, применению, содержанию углерода и легирующих элементов, классу по структуре после нормализации и др.).

Указываются химический состав стали, технические требования в исходном состоянии (состоянии поставки) в соответствии с ГОСТ. Приводятся данные о механических свойствах стали для разных состояний (после нормализации, после горячей прокатки, после закалки и отпуска) и разных поперечных сечений.

В отчете должно быть указано применение данной стали для деталей, которые отличаются от предложенной в задании. Например, в задании представлена сталь 20Х для изготовления кулачка с использованием цементации для 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 стали. Для данной стали необходимо указать также характерные особенности термической обработки (температуры нагрева при закалке, нормализации, отжиге, критическую скорость охлаждения, склонность к обезуглероживанию, склонность к росту аустенитного зерна, превращения при отпуске закаленной стали, склонность к отпускной хрупкости и др.) по указанию преподавателя-консультанта. В описании особенностей выбранной стали обязательно нужно дать характеристику ее прокаливаемости.

Основное место в отчете должно быть обращено на режим термического упрочнения предложенной детали (инструмента) с учетом условий эксплуатации детали. Например, для колец подшипника качения непригодна сталь ШХ15, если подшипник подвергается коррозионному воздействию промышленных сред. В данном случае оптимальной сталью является коррозионностойкая сталь 95Х18. Необходимо указать конечные результаты термического упрочнения (механические свойства стали, твердость поверхностного слоя); по справочной

литературе найти температуры нагрева под закалку, отпуск, температуры 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 при нагреве, выдержке и охлаждении, для процессов химико-термической обработки, закалки и отпуска. Необходимо объяснить полученные структуры, дать определение этим структурам и показать взаимосвязь механических свойств стали с ее структурным состоянием.

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

Желательно использование другого графического материала, заимствованного из учебников, справочников и монографий и показывающего зависимость механических свойств от температуры отпуска; влияние поверхностного упрочнения на сопротивление усталости, износостойкость и др.; иллюстрирующие превращение аустенита при непрерывном охлаждении (термокинетические диаграммы) и при изотермических условиях.

Текст отчета должен представлять собой собственное изложение решения предложенного задания; не допускается дословное повторение текста учебников или монографий за исключением определений.

В отчете указываются использованные источники информации (конспект лекций, учебники, справочники, монографии).

ЗАЩИТА ЗАДАНИЯ

Выполненное задание принимается преподавателем-консультантом в сроки, предусмотренные графиком учебных занятий.

Защита заданий проводится устно, при этом студент должен продемонстрировать понимание сущности фазовых превращений, происходящих при термической обработке. При защите заданий требуется обосновать выбор материала (для детали или инструмента) или выбор термического упрочнения детали из предложенного в задании материала. В обоснование выбора нужно представлять зависимость механических свойств от режима упрочнения и получаемых структур, знать технические требования к материалу согласно ГОСТ, сравнительную стоимость данной стали по отношению к аналогам и другие особенности стали.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Материаловедение. Учебник для ВУЗов. Под общей ред. Б. Н. Арзамасова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
2. Конструкционные материалы: Справочник. Под общей ред. Б. Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 686 с.
3. Конспект лекций по материаловедению.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Марочных сталей и сплавов. Под общей ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
2. Журавлев В. Н., Николаева О. И. Машиностроительные стали: Справочник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 480 с.
3. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1983. – 527 с.
4. Рахштадт А. Г. Пружинные стали и сплавы. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.
5. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник. В 3-х т. Под ред. М. Л. Бернштейна и А. Г. Рахштадта. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, т. 1 – 1991. – 304 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.
7. Материалы в приборостроении и автоматике: Справочник. Под ред. Д. М. Пятина. – М.: Машиностроение, 1982. – 527 с.
8. Электрорадиоматериалы. Под ред. Б. М. Тареева. – М.: Высшая школа, 1978. – 336 с.
9. Материалы для авиационного приборостроения и конструкций. Под ред. А. Ф. Белова. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.
10. Пасынков В. В., Сорокин В. С. Материалы электронной техники. – М.: Высшая школа, 1986. – 367 с.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

Задание №

Для изготовления различных упругих деталей, конструкций (рессоры, пружины, амортизаторы), от которых требуются высокие пределы текучести (упругости) 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 его термической обработки. Постройте график термической обработки в координатах «температура – время».

2. Опишите структурные превращения, происходящие при термической обработке стали.

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

Отчет

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

Особенности работы деталей типа упругих элементов состоят в том, что в них используются в основном упругие свойства стали и не допускается при нагрузке (статической, динамической, ударной) возникновение пластической деформации. В связи с этим стали должны иметь высокое сопротивление малым пластическим деформациям, т.е. высокие пределы упругости (текучести) и выносливости при достаточной пластичности и сопротивлении хрупкому разрушению. Важные характеристики сталей данного типа – релаксационная стойкость.

Для обеспечения этих требований сталь должна иметь однородную структуру, т.е. хорошую закаливаемость и сквозную прокаливаемость (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 стали приобретают после термической обработки, состоящей в закалке и среднем отпуске ($350...520^{\circ}\text{C}$) на троостит отпуска (рис. 1а). Применение находит также изотермическая закалка на нижний бейнит (рис. 1б).

В соответствии с заданием (торсионный вал) 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. Сталь обладает стойкостью к росту зерна. Имеет высокие механические свойства. Для устранения склонности к обезуглероживанию нагрев под закалку проводить в контролируемой атмосфере.

Примем 1-й вариант термической обработки (рис. 1а): закалку и средний отпуск. По данным ГОСТа 14959-79 температура закалки для 60С2А составляет 870°C ($A_{C3}=820^{\circ}\text{C}$). В качестве охлаждающей среды применяем масло. Последующий отпуск проводим при температуре 470°C (выше температуры необратимой отпускной хрупкости). Получаемая структура троостита отпуска (мелкодисперсная ферритоцементитная смесь) обеспечит высокое сопротивление малой пластической деформации при $\text{HRC}=35...45$ (рис. 2), $\sigma_{0,2}/\sigma_B > 0,85$.

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

$$\sigma_{0,2} > 1200 \text{ МПа};$$

$$\sigma_B > 1300 \text{ МПа};$$

$$\delta_5 > 6\%;$$

$$\psi > 25\%;$$

$$\text{HB} \approx 390\text{--}480 \text{ (отпуск } 460^{\circ}\text{C)}$$

Снижение температуры отпуска до 430°C повышает σ_B до 1800 МПа; $\sigma_{0,2}$ до 1690 МПа; σ_p до 1565 МПа при $\delta=11\%$, $\psi=48\%$.

После изотермической закалки (рис. 1б) с выдержкой при 290°C $\sigma_B=2100$ МПа; $\sigma_{0,2}=1745$ МПа; $\sigma_p=1535$ МПа; $\delta=11\%$; $\psi=40\%$.

Описание структурных превращений при термической обработке.

Сталь 60С2А – сталь перлитного класса.

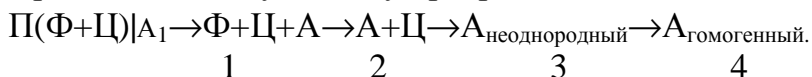
Критические точки стали: $A_{C1}=750\pm 10^{\circ}\text{C}$, $A_{C3}=820\pm 10^{\circ}\text{C}$. Сталь подвергают полной закалке (рис. 3). При полной закалке сталь нагревают до однородной мелкозернистой аустенитной структуры (рис. 4).

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 исходной равновесной структуры Ф+Ц. На практике при обычных скоростях нагрева (электропечи) под закалку перлит сохраняет свое пластинчатое или

зернистое строение до температуры A_{C1} (до 750°C для стали 60C2A). 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: 1) полиморфный переход $\text{Fe}_{\alpha} \rightarrow \text{Fe}_{\gamma}$; 2) растворение цементита в аустените.

Представим общую схему превращения



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.

Из рис. 5 видно, что фазовая перекристаллизация приводит к измельчению зерна в стали. При этом, чем дисперснее структура перлита (Ф+Ц) и чем выше скорость нагрева стали, тем больше 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.

Рассмотрим изменения структуры в стали при закалке в масло.

При непрерывном охлаждении в стали с $V_{\text{охл}} > V_{\text{кр}}$ 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 % С точки M_n и M_k понижаются (рис. 6), в то время как введение Si их повышает.

В результате закалки стали 60C2A структура может иметь кроме мартенсита и некоторое количество остаточного аустенита.

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 дополнительно последующего отпуска.

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

Нагрев закаленной стали до температуры A_{C1} принято называть отпуском. Отпуск должен обеспечить получение в стали необходимых эксплуатационных свойств. Структура стали 60C2A после закалки состоит из мартенсита и остаточного аустенита.

Рассмотрим последовательность процессов при отпуске с повышением температуры.

До 80°C диффузионная подвижность мала и распад мартенсита идет медленно.

Первое превращение при отпуске развивается в диапазоне 80...200°C 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), удельный объем, снижаются внутренние напряжения.

Второе превращение при отпуске развивается в интервале температур 200...260°C (300°C) и состоит: 1) в превращении остаточного аустенита в отпущенный мартенсит; 2) в дальнейшем распаде отпущенного мартенсита: уменьшается степень его пересыщенности до 0,15...0,2%, начинается преобразование ϵ -карбида в Fe_3C – цементит и его обособление, разрыв когерентности; 3) в снижении внутренних напряжений; 4) в связи с переходом $A_{\text{ост}} \rightarrow M_{\text{отп}}$ имеет место некоторое увеличение объема. Третье превращение при отпуске развивается в интервале 300...400°C. При этом заканчивается распад отпущенного мартенсита и процесс карбидообразования. Формируется феррито-карбидная смесь, существенно снижаются внутренние напряжения; повышение температуры отпуска выше 400°C активизирует процесс коагуляции карбидов, что приводит к уменьшению дисперсности феррито-цементитной смеси.

Структуру стали после низкого отпуска (до 250°C) называют отпущенным мартенситом. Структуру стали после среднего отпуска 350...500°C называют трооститом отпуска. Структуру стали после высокого отпуска 500...600°C называют сорбитом отпуска.

В стали 60C2A после полной закалки в масло и среднего отпуска при 470°C образуется структура троостита.

Сталь 60C2A. Основные данные.

1. Гост 14959-79. Рессорно-пружинные стали.
2. Химический состав, %.

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
0,57...0,65	1,2...2,0	0,6...0,9	0,3	0,3...0,4	0,03...0,04	0,03...0,04

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. Такое влияние кремния на свойства связано с его воздействием на матричную фазу (α -раствор) и карбиды, а именно, кремний способен создавать в твердом растворе направленные ионные связи, которые должны увеличивать напряжения трения в кристаллической решетке и тем самым повышать сопротивление движению дислокаций, особенно при малых пластических деформациях (упрочняющий эффект).

6. Свойства упругих элементов могут быть повышены путем поверхностного наклепа в 1,5...2 раза (обдувка дробью).

7. Недостатки стали 60С2А: 1) склонность к обезуглероживанию; 2) склонность к графитообразованию; 3) склонность к образованию поверхностных дефектов при горячей обработке стали, что вызывает снижение предела выносливости.

8. Свойства пружинной стали могут быть улучшены путем дополнительного легирования. Применяются кроме стали 60С2А стали марок: 60С2ХА, 60С2ХФА, 60С2Н2А.

Легировующие 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. Введение ванадия кроме того служит дальнейшему повышению прочности благодаря образованию высокодисперсных частиц карбида МС (на основе VC) при распаде мартенсита в процессе отпуска.

Литература

1. Рахштадт А. Г. Пружинные стали и сплавы. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.
2. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1977.
3. Материаловедение. Учебник для ВУЗов. Под общей ред. Б. Н. Арзамасова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
4. Конспект лекций.

Приложение.

К данному пособию студентам на кафедре предоставляются дополнительные материалы: выдержки из ГОСТ, справочные данные по различным материалам. Студент может также воспользоваться банком данных, имеющимся в компьютерном классе кафедры.