

Калужский филиал  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
Учреждения высшего профессионального образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана»  
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Л.А. Московских, Ю.Г. Головачёва

Выбор материала и режима термической обработки детали.

Методические указания к домашнему заданию  
по курсу «Материаловедение»

Калуга  
2015 г.

УДК 669.01

ББК 30.3

М82

Данные методические указания издаются в соответствии с учебным планом для всех направлений.

Методические указания рассмотрены и одобрены:

Кафедрой «Технологии обработки материалов» (М5-КФ)

протоколом № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ д.т.н., профессор В.К. Шаталов

Методической комиссией факультета МТК

протоколом № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Председатель методической комиссии факультета МТК

\_\_\_\_\_ к.т.н., доцент В.М. Попков

Методической комиссией КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

протоколом № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Председатель методической комиссии филиала

\_\_\_\_\_ д.э.н., профессор О.Л. Перерва

Рецензент:

зам. главного инженера

ОАО «КТЗ»

А.З. Павловский

Авторы: \_\_\_\_\_

к.х.н. Московских Л.А.

\_\_\_\_\_ ст. преподаватель Головачёва Ю.Г.

Аннотация

Методические указания включают: цели, задачи, порядок выполнения домашнего задания; рекомендации по оформлению отчёта, список необходимой литературы.

©КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015

©Московских Л.А., Головачева Ю.Г., 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЗАДАНИЯ .....	4
2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ .....	4
2.1. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ДЕТАЛИ .....	5
2.2. ВЫБОР МАТЕРИАЛА.....	7
2.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫБРАННОГО МАТЕРИАЛА.....	8
2.4. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ. ....	8
3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЁТА .....	11
4. ЗАЩИТА ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ.....	12
5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	13

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЗАДАНИЯ

Цель домашнего задания освоение методики выбора материала для детали. Домашнее задание предусматривает чётко обоснованный, аргументированный выбор сплава и режима его термической обработки, при котором в наибольшей степени обеспечиваются надёжность и стойкость детали в условиях эксплуатации.

Важным в процессе выполнения задания является не только конечный результат, т.е. удачно предложенная марка сплава и режим его обработки, но и пути решения задачи. Выполнение задания требует навыков самостоятельной работы со справочной литературой и определенного уровня теоретической подготовки в области материаловедения и некоторых смежных наук.

В связи с этим домашнее задание выдаётся к моменту начала чтения в курсе лекций раздела о легированных сталях. В большинстве случаев домашнее задание предусматривает выбор в качестве материала для детали именно легированной стали. Понимание поставленной задачи, возможность получения дополнительной информации по материалам задания обязывает студента более внимательно слушать курс лекций и заранее подбирать необходимую литературу. Добросовестная работа над выполнением домашнего задания существенно углубляет знания по соответствующему разделу курса, повышает общий уровень знаний студента, его инженерную подготовку, учит правильно пользоваться специальной литературой, способствует приобретению некоторых навыков в правильном оформлении научно-технических отчётов.

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Получив один из вариантов задания, не следует сразу же открывать справочную литературу, пытаясь решить задачу «методом проб и ошибок». Целесообразно придерживаться в решении поставленной задачи определенной последовательности.

## 2.1. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ДЕТАЛИ

Выполнение следует начинать с тщательного анализа задания, условий работы данной детали. При этом надо обратить внимание на следующие вопросы:

### 1. Какие нагрузки будет воспринимать деталь?

Это очень важный вопрос, так как величина, характер и условия приложения нагрузки определяют необходимый уровень механических свойств и их распределение по сечению детали. Детали, работают при статическом нагружении; изгибе, кручении; при динамических нагрузках; при циклическом нагружении; многократном знакопеременном нагружении, износе, а также при комбинации нагружений.

- В условиях статического нагружения важнейшие характеристики нагружения: предел текучести  $\sigma_{0,2}$  модуль упругости  $E$ . При сложном нагружении (срез, растяжение) конструкционная прочность обеспечивается при равнопрочности по сечению детали. Выбор материала в этом случае производится не только по показателям прочности, но и по прокаливаемости стали: требуется  $D_{50\%} \approx d_{детали}$ .
- При изгибе и кручении не требуется одинаковой прочности по сечению детали. В зависимости от величины действующих напряжений в этом случае высокая прочность требуется на  $\frac{1}{2}$ сечения детали, иногда на  $\frac{1}{4}$ .
- При действии динамических нагрузок наряду с показателями прочности необходима высокая вязкость материала, которая оценивается ударной вязкостью  $KCU$ .
- В условиях циклического нагружения работоспособность детали, обеспечивается не только показателями прочности  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_s$ , ударной вязкости ( $KCU$ ), но и пределом выносливости  $\sigma_R$ . Предел выносливости (при симметричном цикле  $\sigma_{-1}$ ) возрастает при увеличении прочности  $\sigma_s$ , пластичности  $\delta$  и вязкости ( $KCU$ ) материала.

- При наличии износа требуется высокая твёрдость поверхности (при абразивном, окислительном, усталостном виде изнашивания).
- Для обеспечения упругих свойств от материала требуется высокий предел упругости (или текучести), ограничивающий упругую деформацию.

## 2. Каков температурный режим детали?

Если при работе наблюдается разогрев детали машин, рабочей части инструмента – необходим выбор теплостойкого материала.

- При работе в среде отрицательных температур необходима высокая вязкость материала при рабочей температуре, требуется соблюдение неравенства:  $t_{работы} - t_{н.хл.} = 40 \div 50^\circ C$ , так как велика опасность хрупкого разрушения (используются стали, легированные Ni, Mo).
- В условиях длительной работы при высоких температурах при нагрузках необходимы достаточно высокая длительная прочность и предел ползучести (используются жаропрочные материалы).
- При работе в агрессивных средах необходимо обеспечить коррозионную стойкость (используются коррозионностойкие материалы).
- В условиях работы при высоких температурах без больших нагрузок требуется обеспечить окалиностойкость (используются окалиностойкие материалы). Температура окалиностойкости должна быть выше температуры работы детали. В ряде случаев от материала требуются специальные физические свойства – магнитные, электрические и т.д.

Такой анализ полезен тем, что позволяет выявить весь комплекс вопросов, требующих решения. Он даёт чёткую направленность выбора материала, помогая определить марки, непригодные для изготовления заданной детали.

Например, если деталь должна работать при температуре  $600^\circ C$  с большими нагрузками, то применять для неё углеродистую сталь нецелесообразно, поскольку такая сталь не обладает ни теплостойкостью, ни окалиностойкостью. Значит, необходимо обратиться к жаропрочным материалам. В некоторых вариантах

заданий предварительный выбор облегчается тем, что предлагается сделать его из ограниченного числа марок.

Например: «Какую из имеющихся сталей марок 45, 40ХР, 40ХНМА, 18ХГТ следует рекомендовать для изготовления шатунов сечением 15х60мм?». Далее перечисляются требуемые механические свойства.

В таком случае достаточно провести сравнительный анализ предложенных материалов и установить, насколько каждый из них удовлетворяет требованиям задания, учитывая и экономический фактор. Возможны и другие варианты постановки задачи: «Предложить марку стали для изготовления ролика диаметром 20мм». Далее указываются другие вопросы задания. Здесь работоспособность детали определяется её износостойкостью (если все остальные свойства обеспечены), поэтому необходимо проанализировать все способы повышения поверхностной твёрдости и выбрать оптимальную технологию поверхностного упрочнения, следовательно, группу материалов. Далее по требуемому уровню механических свойств выбираются 2-3 марки стали или сплава пригодных для изготовления детали.

## 2.2.ВЫБОР МАТЕРИАЛА

Представить общую характеристику предлагаемых марок: ГОСТ; химический состав; группу материала (сталь, чугун, цветной сплав, твёрдый сплав); структурный класс; специальные свойства; возможное применение.

Для выбора материала данной детали необходимо, пользуясь справочной литературой, провести сравнительный анализ свойств предложенных материалов и определить насколько каждый из них удовлетворяет установленным (из условий работы и уровня механических свойств) требованиям. Сопоставление механических свойств заданных марок следует проводить в форме таблиц.

В таблице указать:

- марку;
- твёрдость в состоянии поставки, или после отжига;
- сечение, либо прокаливаемость;
- упрочняющую термическую обработку, обеспечивающую приведённые свойства;

– механические свойства.

Табличные данные о материалах должны сопровождаться обязательно ссылками на литературный источник.

При выборе марки необходимо учитывать не только механические свойства, но и технологические характеристики (прокаливаемость, свариваемость, обрабатываемость резанием, литейные свойства), порог хладноломкости; специальные физические, химические свойства (коррозионная стойкость, окислительная стойкость и пр.).

Если выбор одной марки из предложенных по разным причинам затруднён, нужно остановиться на наиболее дешёвом и технологичном материале.

Необходимо принять к сведению, что дорогие высоколегированные стали и сплавы следует рекомендовать только в тех случаях, когда более дешёвые не могут обеспечить требований, прямо указанных в задании или косвенно вытекающих из анализа условий работы.

Если необходимость использования легированной стали доказана, то надо выбрать минимально легированную сталь, которая обеспечит требуемые свойства в заданном сечении.

Таким образом, решение первой задачи (выбор материала из предложенных трёх марок) должно заканчиваться выводом о целесообразности применения одного материала для изготовления данной детали, и указанием его преимуществ по сравнению с другими.

### 2.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫБРАННОГО МАТЕРИАЛА

ГОСТ, по которому поставляется сталь, сплав, полный химический состав; класс по структуре, механические и специальные свойства – приведены ранее в п.2.2. Далее необходимо рассмотреть роль углерода; влияние примесей (для углеродистых сталей), легирующих элементов именно в этой марке.

### 2.4. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.

Эта часть работы должна начинаться с указания состояния поставки стали и способа получения заготовки детали или инструмента. Необходимо указать особенности структуры и свойств материала, как в состоянии поставки, так и после получения заготовки.



Установление структуры и свойств материала заготовки позволяет рекомендовать предварительную термическую обработку: её отжиг I или II рода, иногда нормализацию.

Рекомендуя режим предварительной термической обработки, надо кратко пояснить в тексте её цель, технологию проведения, характер превращений при нагреве и охлаждении и конечную структуру (для ряда деталей машин, не испытывающих в процессе работы больших напряжений, предварительная термическая обработка может быть единственной термической обработкой).

Если выбранная сталь после предварительной термической обработки не обеспечивает требуемых свойств, её надо подвергнуть упрочняющей термической обработке. Здесь следует учесть, что такая обработка изменяет весь комплекс механический и эксплуатационных свойств материала. Например, упрочнение обычно приводит к понижению пластичности и вязкости.

Чаще всего упрочняющая термическая обработка включает в себя закалку и отпуск. При выборе температуры закалки легированных сталей лучше руководствоваться справочными данными, а для углеродистых это можно сделать с помощью диаграммы «железо-цементит». Выбранную температуру надо обосновать, описать происходящие превращения и конечную структуру.

При закалке очень важную роль играет режим охлаждения. Резкое охлаждение вызывает значительные внутренние напряжения и деформацию заготовок или деталей. Поэтому для изделий сложной формы рекомендуется применять ступенчатую, изотермическую или прерывистую закалку, которые обеспечивают малый уровень закалочных напряжений. Полный цикл термической обработки завершает отпуск. В его задачу входит не только снижение внутренних закалочных напряжений, но и доведение свойств материала до требуемого уровня. Главную роль при этом играет температура нагрева, при выборе которой можно руководствоваться следующими соображениями.

Если деталь работает в условиях повышенного износа, не испытывая значительных динамических нагрузок и нагрева, то следует ограничиться низким отпуском. Он лишь снижает внутренние напряжения, практически не изменяя свойств, полученных при закалке.

Если от детали требуются повышенные упругие свойства, то рекомендуется делать средний отпуск на структуру троостита. Для деталей, работающих в условиях динамических нагрузок, требуется обеспечить повышенную ударную вязкость при достаточно высокой прочности. Это достигается применением высокого отпуска на сорбит. Высокий отпуск следует применять также в тех случаях, когда деталь работает при повышенных температурах. Необходимо помнить важнейшее правило: температура отпуска должна быть на  $50 \div 100^\circ \text{C}$  выше, чем рабочая температура изделия. Несоблюдение этого правила может привести к изменению свойств и размеров детали в процессе работы в результате протекания фазовых превращений.

Некоторые варианты заданий, предназначенные для студентов-сварщиков, предусматривают применение для сварных конструкций современных низколегированных сталей вместо углеродистых, что позволяет снизить металлоёмкость конструкции за счёт повышенной прочности материала. Особенностью этой группы материалов является то, что их термическая обработка преимущественно проводится на металлургических заводах с использованием прокатного нагрева. Поэтому сварные конструкции из таких сталей, подвергают после сварки только отпуску (низкотемпературному отжигу) для снижения внутренних напряжений. Иногда применяют местную упрочняющую термическую обработку.

Для деталей, работающих в условиях повышенного износа и динамических нагрузок (валы, шестерни, зубчатые колёса и т.п.), можно рекомендовать химико-термическую обработку или другие способы поверхностного упрочнения, например цементацию, азотирование, борирование, индукционную закалку ТВЧ и т.д. Эти процессы существенно отличаются друг от друга технологически, поэтому важно правильно определить их место в общем технологическом процессе обработки детали.

Например, азотирование проводят после общей термической обработки заготовок, обеспечивающей требуемые свойства сердцевины детали, и их механической обработки. Этот процесс является окончательной операцией, поэтому его температура должна быть ниже температуры предшествующего отпуска. Цементация же проводится перед закалкой и отпуском.

Некоторые варианты заданий обязывают студента выбирать наиболее производительные и экономичные способы обработки, такие

как индукционная закалка ТВЧ, газовая цементация и т.д. Вот пример такого задания.

«На автомобильном заводе изготавливают шестерни из малоуглеродистой стали. Для обеспечения износостойкости их подвергают цементации и последующей термической обработке на твёрдость поверхности 58-60 HRC. Рекомендуем для этой цели среднеуглеродистую сталь и высокопроизводительный способ её обработки взамен цементации». Далее указаны другие вопросы задания. В этом случае возможным решением будет применение стали пониженной прокаливаемости марки 55ПП с последующей закалкой ТВЧ, которая обеспечит высокую производительность. Весь рекомендуемый цикл предварительной и упрочняющей термической и химико-термической обработки (если она требуется) надо изобразить графически в координатах «температура-время». После этого черновой вариант решения с указанием марки выбранного материала и режимов его термической обработки следует показать консультанту, а затем приступить к окончательному оформлению отчёта.

### 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЁТА

Оформление отчёта по домашнему заданию надо вести на стандартных листах формата А4. Титульный лист оформляется в соответствии с общепринятыми правилами. Отчёт должен быть составлен по следующему примерному плану:

1. Титульный лист;
2. Текст задания с указанием номера варианта.
3. Анализ условий работы детали.
4. Обоснование выбора группы и конкретной марки материала.
5. Характеристика материала.
6. Выбор вида и режима предварительной и упрочняющей обработки. Описать технологии проведения обработки; изменение структуры в ходе неё; окончательные свойства материала.
7. Схема технологии изготовления детали.
8. Выводы.
9. Список использованной литературы

Каждый пункт отчёта должен быть выделен соответствующим заголовком. Текст писать аккуратно, разборчивым почерком (можно в

электронном виде), применяя только общепринятые сокращения. Приводимые в отчёте таблицы, графики, рисунки должны иметь сквозную порядковую нумерацию и наименование. Графики выполнять с соблюдением масштаба. В тексте должны быть ссылки на соответствующие номера рисунков.

В конце отчёта необходимо привести список использованной литературы. Каждый литературный источник должен иметь порядковый номер, после которого указываются:

- фамилия и инициалы автора (авторов);
- наименование книги;
- город, в котором она издана;
- издательство;
- год издания.

Для справочников указываются: наименование, количество томов в издании, город, издательство, год издания. При использовании в тексте отчёта каких-либо данных, взятых из литературы, надо обязательно сделать ссылку на этот источник. Для этого в соответствующем месте текста в квадратных скобках ставится порядковый номер источника по приводимому в конце отчёта списку.

Например: «По данным работы 4 сталь марки 20ХГСА подвергают закалке с температуры  $880^{\circ}\text{C}$  в масле».

#### 4. ЗАЩИТА ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

Окончательно оформленный и сброшюрованный отчёт должен быть сдан на проверку преподавателю. Если задание выполнено без существенных ошибок и замечаний, то преподаватель подписывает отчёт и возвращает его студенту для подготовки к защите.

Если в отчёте имеются грубые ошибки или недоработки, он возвращается на исправление. Исправленный отчёт надо вновь представить на проверку.

Проверенное и подписанное преподавателем задание защищается студентом. Защита предусматривает ответы студента на вопросы, связанные с заданием. Вопросы могут касаться характеристик выбранного материала, особенностей его термической обработки, применения, возможных заменителей и т.п. Если студент хорошо изучил соответствующие материалы, даёт исчерпывающие ответы на

вопросы, задание считается защищенным. Об этом делается пометка в журнале. В случае плохой подготовки не ранее чем через день производится повторная защита. Студент получает допуск к зачёту или экзамену по «Материаловедению» только после защиты им домашнего задания.

## 5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; под общ.ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.– 648с.
2. Гуляев А.П. Металловедение: учебник для вузов / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1977. – 646с.
3. Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебник для вузов / Ю.М. Лахтин, В.В. Леонтьева. – М.: Металлургия, 1977. – 646с.
4. Конструкционные материалы: Справочник / Под ред. Б. Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 668с.
5. Журавлев В.Н. Машиностроительные стали. Справочник / В.Н. Журавлёв, О.И. Николаева. – М.: Машиностроение, 1992. – 480с.
6. Богодухов С.И. Курс материаловедения в вопросах и ответах: учеб.пособие. / С.И. Богодухов, А.В. Синюхин, Е.С. Козик. – М.: Машиностроение, 2010.– 352с.  
<http://e.lanbook.com/view/book/718/>