



**Негосударственное частное образовательное учреждение
высшего образования
«Технический университет УГМК»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ТЕРМООБРАБОТКА**

Направление подготовки	22.03.02 Metallurgy
Профиль подготовки	Metallurgy of non-ferrous metals
Уровень высшего образования	Applied Bachelor

Рассмотрено на заседании кафедры Metallurgy
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма
2021

Методические рекомендации к организации и выполнению контрольной работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Термообработка»

Код направления и уровня подготовки	Название направления	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВО	
		Дата	Номер приказа
22.03.02	Металлургия	04.12.2015	1427

Автор – разработчик /Дата создания/	Худорожкова Юлия Викторовна, к.т.н., доцент	
Эксперт	Скопов Геннадий Вениаминович, главный специалист Управления стратегического планирования ООО «УГМК-Холдинг», д-р техн. наук	
Заведующий кафедрой «Металлургия» /Дата утверждения/	Мастюгин Сергей Аркадьевич, д-р техн. наук, доцент	
Продолжительность дисциплины:	108 часов (3 ЗЕ)	
Место проведения	Учебные аудитории Технического университета УГМК	
Цель дисциплины:	По окончании обучения бакалавры будут: - осуществлять и корректировать технологические процессы в металлургии и материалообработке	

Контрольные задания составлены в 15 вариантах. Каждый студент должен выполнить вариант, номер которого соответствует: двум последним цифрам индивидуального шифра (если

шифр оканчивается на цифры меньше или равной 15); последней цифре индивидуального шифра (если шифр оканчивается на цифру больше 15).

После основательной проработки каждой темы программы по учебнику необходимо дать исчерпывающие ответы на приведенные контрольные вопросы для самопроверки. Нахождение правильных и обоснованных ответов на эти вопросы окажет студенту немалую помощь в познании предмета, обратит его внимание на наиболее существенные стороны каждой темы программы.

Контрольное задание охватывает материал тем: кристаллическое строение, кристаллизация, диаграмма железо-углерод, цветные металлы и сплавы, фазы в металлических сплавах, диаграммы состояния двойных систем, трехкомпонентные системы

Приступая к работе, проставьте фазы во всех областях диаграммы. Описывая превращения в сплаве, нужно последовательно отмечать точки, соответствующие температурам начала и конца кристаллизации жидкой фазы, указывать изменение составов как жидкой, так и твердой фаз при дальнейшем охлаждении, наличие фаз в каждом интервале температур с указанием изменения их состава и количества и т.д. При встрече с горизонтальными линиями диаграммы следует указать превращение, которое совершается при данной температуре в сплаве, в чем оно состоит, написать уравнение реакции, сколько и какие фазы в нем участвуют и чем это превращение завершается.

Следует отметить, что распространенной ошибкой является представление о том, что с окончанием кристаллизации заканчиваются фазовые превращения. Если при дальнейшем охлаждении в твердом состоянии наблюдается изменение состава фаз и их количеств, то это связано с протеканием процессов выделения или растворения фаз. При определении химических составов фаз при заданных температурах следует провести коноды, показать на диаграмме точки, позволяющие найти на оси концентраций количество компонентов, содержащихся в фазах. Весовое количество фаз определяется с помощью правила отрезков или рычага.

Следует иметь в виду, что в разных книгах могут быть некоторые несовпадения цифровых значений предельной растворимости углерода в аустените и феррите, и температур эвтектического и эвтектоидного превращений. При выполнении контрольного задания нужно пользоваться диаграммой, приведенной в задании. Кроме того, на диаграмме нужно указывать фазы, а не структурные составляющие.

При описании фазовых превращений по диаграмме состояния следует иметь в виду, что эти превращения носят обратимый характер.

Текст ответов на все вопросы нужно иллюстрировать конкретными примерами, схемами, графиками. Диаграммы состояния и графики должны быть выполнены тщательно, с разметкой осей координат и обозначением характерных точек и областей. Недопустимо составление ответов путем выписывания из книг готовых фраз или целевых абзацев.

В конце контрольной работы необходимо указать использованную литературу.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Решение задач по выбору материалов и режимов термической обработки конкретных деталей или инструмента должно научить студента пользоваться различной справочной литературой.

При решении необходимо учитывать технические, технологические и экономические соображения.

Прежде всего, выбранный материал и его режим обработки должны обеспечить надежность работы изделия в условиях эксплуатации, что гарантируется соответствующим уровнем механических, физических и свойств.

Во-вторых, материал должен быть наиболее дешевым, т.е. не нужно выбирать легированные стали в тех случаях, когда требуемые свойства обеспечивают углеродистые стали или чугуны.

В-третьих, технология обработки должна быть прогрессивной и простой, легко осуществимой и контролируемой в цеховых условиях.

Рекомендуется следующая последовательность решения задач:

1. Определить группу сталей или сплавов, к которой относится рассматриваемая деталь (инструментальные, конструкционные стали, или стали с особыми свойствами, чугуны и т.д.).

2. Если для данного типа деталей можно использовать несколько различных марок сталей, то выбирается наименее легированная, но обеспечивающая прокаливаемость заданного конкретного сечения.

ВАРИАНТ:

1. Рекомендуйте марки сталей для изготовления коленчатых валов диаметром 35, 70 и 150 мм дайте обоснование выбора. Предел прочности во всех случаях должен быть не ниже 750 МПа. Укажите вид и режимы термической обработки и микроструктуру сталей в готовых валах.

2. Выберите марку стали для изготовления, крупных штампов холодной штамповки, имеющие сложную форму. Деформация при закалке должна быть минимальной. Укажите химический состав стали, режим ее термической обработки, микроструктуру и твердость после окончательной термической обработки. Приведите режимы термической обработки (закалка и отпуск), которые применяются для высокохромистых сталей.

3. Щеки и шары для дробления руды и других твердых пород работают в условиях высокого давления и износа, сопровождающихся ударами. Выберите марку стали, укажите ее состав, режим термической обработки, структуру и свойства. Объясните, почему данную сталь не подвергают отпуску?

4. Коленчатый вал мощного двигателя диаметром 90 мм должен иметь по всему сечению предел текучести не менее 750 МПа и ударную вязкость не ниже 78 КДж см². Подберите марку стали, укажите ее состав, структуру, режим термической обработки и свойства.

5. Укажите марки и состав легированных сталей; применяемых для измерительного инструмента. Опишите вид и режим термической обработки, а также микроструктуру и механические свойства стали в исходном состоянии и после окончательной термической обработки. Какая обработка применяется для стабилизации размеров измерительного инструмента?

6. Охарактеризуйте особенности инструментальных быстрорежущих сталей. Приведите их состав и марки по ГОСТу. дайте теоретическое обоснование отжигу и окончательной термической обработке (закалке и отпуску). Опишите микроструктуру и свойства сталей после отжига, после закалки и отпуска.

7. Валы диаметром 400 мм для гидротурбин, испытывающие в работе значительные напряжения (циклические и др.), часто изготавливают из хромоникелевой стали, обладающей после термической обработки высокими характеристиками прочности ($\sigma_b = 750 - 800$ МПа) при повышенной вязкости. Выберите марку хромоникелевой стали, укажите ее состав, режим термической обработки, структуру и свойства. Сравните микроструктуру и свойства стали до и после термической обработки.

8. Многие измерительные инструменты плоской формы (шаблоны) изготавливают из листовой стали марки 20Х. Они должны обладать высокой износостойкостью и твердостью 58–62 HRC. Приведите режим обработки, обеспечивающий получение этих свойств. С какой целью производится старение измерительного инструмента?

9. Рессоры грузового автомобиля изготавливают из, качественной легированной стали. Толщина рессоры 10 мм. Сталь должна обладать высокими пределами прочности, упругости и выносливости. Рекомендуйте марку стали для рессор и укажите химический состав, режим термической обработки, структуру и свойства этой стали. Объясните, как влияет состояние поверхности на качество рессор и укажите способ обработки поверхностного слоя, позволяющий повысить предел выносливости (циклическую прочность).

10. Выберите марку легированной стали для изготовления круглых плашек, обрабатывающих низкоуглеродистую сталь. Укажите химический состав, режим окончательной термической обработки, структуру и твердость. Приведите диаграмму изотермического превращения

этой стали. Опишите влияние легирующих элементов, входящих в состав стали, на ее свойства и поведение при термической обработке.

11. Стаканы цилиндров мощных моторов должны обладать износоустойчивостью на рабочей поверхности и поэтому высокой твердостью. Одновременно требуются высокие механические свойства в сердцевине (предел текучести не ниже 750 МПа). Рекомендуйте марку стали, укажите ее состав, режимы термической и химико-термической обработки, структуру и свойства поверхностного слоя и сердцевины.

12. Выберите марку быстрорежущей стали для изготовления червячных фрез. Укажите химический состав режим термической обработки, микроструктуру и твердость стали после закалки и отпуска. Рекомендуйте среду, в которой следует нагревать фрезы перед закалкой для защиты от окисления и обезуглероживания. Приведите диаграмму изотермического превращения для выбранной марки стали и объясните, почему быстрорежущую сталь при закалке не охлаждают в воде?

13. Шестерни диаметром 300 мм и толщиной 10 мм, изготовленные из легированной стали с содержанием 0,10 % С, должны иметь твердость на поверхности зубьев в пределах 48 – 50 HRC. Укажите марку стали, режим химико-термической и термической обработок. Опишите структуру поверхности и сердцевины шестерен после окончательной термической обработки.

14. Укажите марки и состав штамповых сталей для холодного и горячего деформирования. Охарактеризуйте вид и режим термической обработки, микроструктуру и свойства сталей.

15. Цепи и детали нагревательных печей непрерывного действия обеспечивают передвижение нагреваемых изделий и должны сохранять достаточную прочность и окалиностойкость при высоких температурах. Укажите химический состав, технологию изготовления, микроструктуру и свойства стали, применяемой для изготовления деталей печи, если они подвергаются длительному нагреву в работе до 600 – 800 °С. Охарактеризуйте роль легирующих элементов присутствующих в сталях выбранного состава, и объясните, почему углеродистая сталь, не пригодна для этих целей.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

ДИАГРАММЫ РАСПАДА ПЕРЕОХАЖДЕННОГО АУСТЕНИТА

Вычертите диаграмму изотермического распада переохлажденного аустенита, заданной стали. Подпишите области диаграммы. Опишите применение стали, приведите их свойства. Нанесите на диаграмму линии охлаждения для различных сред (вода, воздух, смешанное водовоздушное охлаждение, масло, охлаждение через воду в масле, соль,).

В зависимости от формы изделия, марки стали и нужного комплекса свойств применяют различные способы охлаждения (рис. 1)

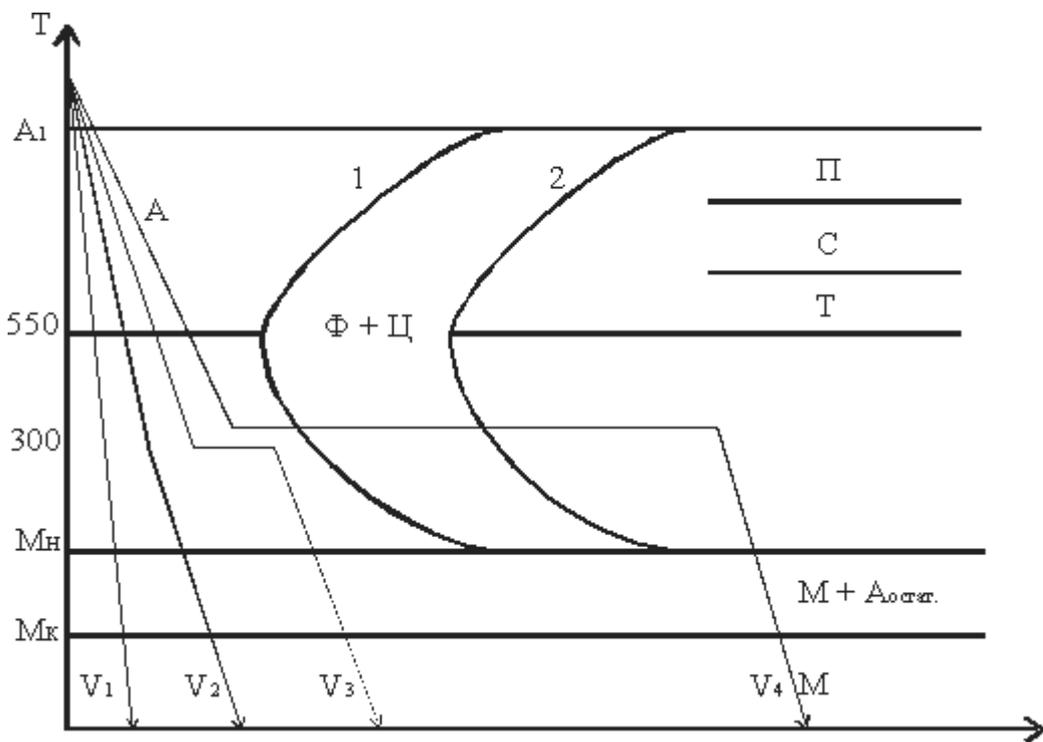


Рис. 1. Режимы закалки

1. Закалка в одном охладителе (V_1).

Нагретую до нужной температуры деталь переносят в охладитель и полностью охлаждают. В качестве охлаждающей среды используют:

- воду – для крупных изделий из углеродистых сталей;
- масло – для небольших деталей простой формы из углеродистых сталей и изделий из легированных сталей.

Основной недостаток – значительные закалочные напряжения.

2. Закалка в двух сферах или прерывистая (V_2).

Нагретое изделие предварительно охлаждают в более резком охладителе (вода) до температуры $\sim 300^\circ\text{C}$ и затем переносят в более мягкий охладитель (масло).

Прерывистая закалка обеспечивает максимальное приближение к оптимальному режиму охлаждения.

Применяется в основном для закалки инструментов.

Недостаток: сложность определения момента переноса изделия из одной среды в другую.

3. Ступенчатая закалка (V_3).

Нагретое до требуемой температуры изделие помещают в охлаждающую среду, температура которой на $30 - 50^\circ\text{C}$ выше точки M_H и выдерживают в течение времени, необходимого для выравнивания температуры по всему сечению. Время изотермической выдержки не превышает периода устойчивости аустенита при заданной температуре.

В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли или металлы. После изотермической выдержки деталь охлаждают с невысокой скоростью.

Способ используется для мелких и средних изделий.

4. Изотермическая закалка (V_4).

Отличается от ступенчатой закалки продолжительностью выдержки при температуре выше M_H , в области промежуточного превращения. Изотермическая выдержка обеспечивает полное превращение переохлажденного аустенита в бейнит. При промежуточном превращении легированных сталей кроме бейнита в структуре сохраняется аустенит остаточный. Образовавшаяся структура характеризуется сочетанием высокой прочности, пластичности и вязкости. Вместе с этим снижается деформация из-за закалочных напряжений, уменьшаются и фазовые напряжения.

В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли и щелочи.

Применяются для легированных сталей.

5. Закалка с самоотпуском.

Нагретые изделия помещают в охлаждающую среду и выдерживают до неполного охлаждения. После извлечения изделия, его поверхностные слои повторно нагреваются за счет внутренней теплоты до требуемой температуры, то есть осуществляется самоотпуск. Применяется для изделий, которые должны сочетать высокую твердость на поверхности и высокую вязкость в сердцевине (инструменты ударного действия: молотки, зубила).

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Разработать технологическую карту термической обработки заданной стали. Описать применение данной стали. Привести диаграмму изотермического распада переохлажденного аустенита. Указать свойства стали.

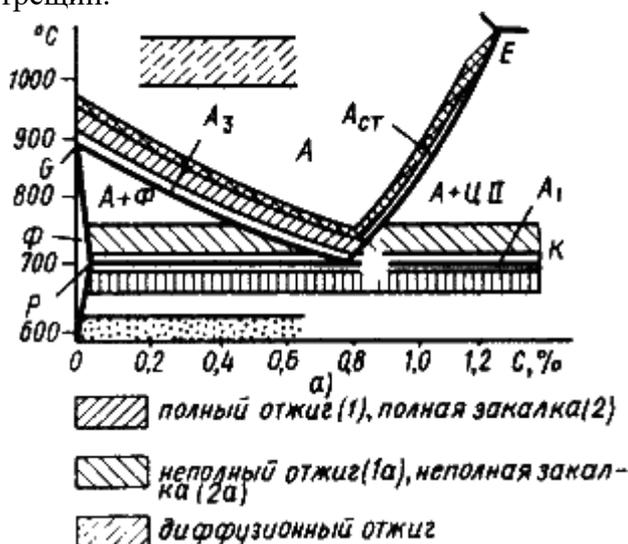
При разработке технологии необходимо установить:

- режим нагрева деталей (температуру и время нагрева);
- характер среды, где осуществляется нагрев и ее влияние на материал стали;
- условия охлаждения.

Режимы термической обработки назначают в соответствии с диаграммами состояния и диаграммой изотермического распада аустенита.

Нагрев может осуществляться в нагревательных печах, топливных или электрических, в соляных ваннах или в ваннах с расплавленным металлом, пропусканием через изделие электрического тока или в результате индукционного нагрева.

С точки зрения производительности, нагрев с максимальной скоростью уменьшает окалинообразование, обезуглероживание и рост аустенитного зерна. Однако необходимо учитывать перепад температур по сечению, что ведет к возникновению термических напряжений. Если растягивающие напряжения превысят предел прочности или предел текучести, то возможно коробление или образование трещин.



Левый угол диаграммы состояние железо – цементит и температурные области нагрева при термической обработке сталей

Скорость нагрева тем выше, чем менее легирована сталь, однороднее ее структура, проще конфигурация.

Скорость нагрева принимается 0,8...1 мин на 1 мм сечения. Время выдержки принимается около 20 % от времени нагрева.

Среда нагрева при нагреве в печи с газовой средой.

Составляющие могут оказывать на сталь различное действие:

- окисляющее (O_2 , CO_2 , H_2O);
- восстанавливающее (CO , CH_4);
- обезуглероживающее (O_2 , H_2);
- науглероживающее (CO , CH_4);
- нейтральное (N_2 , инертные газы).

Окисление с образованием окалины Fe_2O_3 , препятствует получению высокой и равномерной твердости при закалке, приводит к изменению размеров, требует увеличения припусков на механическую обработку.

Обезуглероживание (выгорание углерода в поверхностном слое металла) способствует появлению мягких пятен при закалке и возникновению растягивающих напряжений в поверхностном слое, снижающих усталостную прочность.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4

ВИДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

1. Опишите влияние легирующих элементов на изотермическое превращение переохлажденного аустенита. Укажите, как влияют легирующие элементы на устойчивость переохлажденного аустенита, критическую скорость закалки и прокаливаемость.
2. Опишите назначение и технологию газовой цементации стали. Укажите микроструктуру и свойства стали после цементации и термической обработки?
3. Опишите процесс цементации углеродистой стали в твердом карбюризаторе. Какой термической обработке подвергают детали после цементации? Укажите получаемые микроструктуру и твердость стали после цементации (охлаждение на воздухе), после закалки и после отпуска.
4. Изложите основные положения теории диффузии металлов и на этой основе объясните, какие параметры определяют скорость протекания технологических процессов химико-термической обработки?
5. Какой способ применяется для одновременного насыщения поверхности стали углеродом и азотом? Укажите цели этого процесса и его основные технологические характеристики.
6. Опишите недостатки структуры литой углеродистой доэвтектоидной стали и укажите режимы термической обработки с целью устранения этих недостатков. Какие превращения происходят в стали в процессе указанных видов термической обработки, и как изменяются при этом структура и свойства литой стали?
7. Укажите цементируемые легированные марки сталей по ГОСТам, их состав и свойства. Опишите особенности термической обработки после цементации различных групп легированных сталей и укажите, как влияет химический состав стали на микроструктуру и свойства поверхностного слоя и сердцевины детали после окончательной термической обработки.
8. Опишите особенности мартенситного превращения. Какую структуру и свойства имеет мартенсит?
9. Какой термической обработке чаще всего подвергаются среднеуглеродистые конструкционные стали? Опишите влияние этой обработки на структуру и свойства стали и сравните характеристики их механических свойств до и после обработки.
10. Опишите назначение и последовательность каждой из операций термической обработки цементированных деталей. Приведите различные варианты термической обработки и укажите их преимущества и недостатки.
11. Опишите состав, режимы термической обработки, микроструктуру и свойства хромистых и хромоникелевых нержавеющей сталей. Объясните причину устойчивости этих сталей против коррозии. В чем состоит явление интеркристаллитной коррозии и меры борьбы с ней?
12. Опишите различные виды отпуска закаленной стали и область их применения. Укажите влияние этих отпусков на структуру и свойства стали.
13. Объясните, от каких факторов зависит дисперсность феррито-цементной смеси при распаде переохлажденного аустенита. Дайте теоретическое объяснение ответу. Как влияет дисперсность феррито-цементной смеси на механические свойства стали?
14. Объясните причины появления трещин при закалке. Укажите, какие напряжения (структурные или термические) наиболее опасны в отношении возможности образования трещин? Перечислите мероприятия для борьбы с трещинами.

15. Опишите назначения и технологию процесса азотирования. Укажите марки и состав азотируемых сталей, режим предварительной термической обработки, а также структуру и свойства азотированного слоя.
16. Объясните, почему углеродистую заэвтектоидную сталь марки У12 нельзя нагревать перед закалкой до температуры выше критической точки $A_{сг}$ (линии ES)? Укажите оптимальную температуру закалки этой стали. Какие превращения происходят при закалке, как изменяется структура и свойства стали?
17. Опишите превращения, происходящие при отпуске закаленной стали. Как влияет температура отпуска на структуру и свойства стали?
18. Сравните микроструктуру поверхностного слоя сталей после цементации и азотирования. На этой основе дайте сравнительную, характеристику механических свойств (твердости) поверхностного слоя, получаемого в готовом изделии после указанных видов химико-термической обработки.