

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ**

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ДГТУ)**

Факультет «Машиностроительные технологии и оборудование»

Кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»

**Методические указания**

**к выполнению курсовой работы по дисциплине**

**«ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ»**

Ростов-на-Дону

2019

Составитель д.т.н., проф. О.В. Кудряков, д.т.н.

УДК 621.785:669.14 (075.8)

Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Теория строения материалов». - Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. - 48 c.

Методические указания разработаны для студентов направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» для углубленного понимания диаграмм фазового состояния сплавов и освоения методики их анализа. Могут быть полезны для студентов и магистрантов других технических специальностей, интересующихся проблемами физического материаловедения.

Подготовлено по решению научно-методического семинара кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета.

Научный редактор: д.т.н., проф. В.Н. Пустовойт

© О.В. Кудряков, 2019

С О Д Е Р Ж А Н И Е

|  |  |
| --- | --- |
| ВВЕДЕНИЕ ……………………………………………………………………....  1. Методические указания к выполнению Задания №1 «Анализ фазовых равновесий в двухкомпонентных системах» ………………………………….  1.1. Основные теоретические представления ……………………………...  1.1.1 Понятие о сплавах и их строении ………………………………..  1.1.2 Фазы в металлических сплавах …………………………………..  1.2. Анализ диаграмм состояния двухкомпонентных систем ……………..  1.2.1 Диаграмма состояния для сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии …………..  1.2.2 Диаграмма состояния сплавов с ограниченной взаимной растворимостью компонентов в твердом состоянии …………..  1.2.3 Диаграмма состояния сплавов с устойчивым химическим соединением ………………………………………………………  1.2.4 Диаграмма состояния для сплавов с неустойчивым химическим соединением ………………………………………..  1.2.5 Диаграммы состояния сплавов, компоненты которых имеют полиморфные превращения ……………………………………..  1.3. Методика выполнения задания …………………………………………  1.4. Контрольные вопросы (для защиты курсовой работы) ……………….  1.5. Рекомендуемый библиографический список ………………………….  2. Методические указания к выполнению Задания №2 «Анализ фaзовыx равновесий в системе железо-углерод» ……………………………………….  2.1. Основные теоретические представления ……………………………...  2.2. Анализ диаграммы состояния железо-цементит ………………………  2.3. Методика выполнения задания …………………………………………  2.4. Контрольные вопросы (для защиты курсовой работы) ……………….  2.5. Рекомендуемый библиографический список ………………………….  3. Правила оформления курсовой работы ……………………………………...  3.1 Титульный лист …………………………………………………………..  3.2 Бланк задания ……………………………………………………………..  3.3 Текст пояснительной записки …………………………………………...  Приложение 1. Титульный лист курсовой работы (образец) …………………  Приложение 2. Задание к курсовой работе, заполняется с двух сторон (образец) …  Приложение 3. Варианты заданий курсовой работы …………………………. | 3  6  6  6  6  10  11  14  19  20  21  23  24  24  25  25  29  38  38  39  39  39  40  41  43  44  46 |

**ВВЕДЕНИЕ**

Курс «Теория строения материалов» открывает цикл специальных дисциплин подготовки инженеров-материаловедов машиностроительного профиля. Этот курс закладывает основы материаловедческого мировоззрения будущих специалистов, формирует фундамент системного аналитического подхода к изучению материалов.

Курсовая работа по «Теории строения материалов» предназначена для развития практических навыков и закрепления теоретических знаний по построению, изучению и анализу диаграмм состояния сплавов двухкомпонентных систем. Тема диаграмм состояния является центральной областью этой учебной дисциплины и может считаться ключевым этапом для понимания взаимосвязи строения и свойств реальных природных и промышленных материалов.

Курсовая работа включает две части (2 задания), в первой из которых необходимо проанализировать один из сплавов заданной системы условных компонентов, изучив основные типы диаграмм состояния и освоив методику их анализа. А во второй – продемонстрировать полученные навыки по работе с диаграммами на примере реальной системы промышленных сплавов.

В первой части курсовой работы для заданной (в соответствии с вариантом курсовой работы) диаграммы состояния двухкомпонентной системы необходимо выполнить следующее:

• описать процессы кристаллизации и превращений в твердом состоянии, последовательно проходящие в сплаве с концентрацией компонентов ***х*** (Приложение 3) при охлаждении от жидкого состояния до комнатной температуры;

• написать для каждого из этих процессов полные схемы фазовых реакций с указанием составов реагирующих фаз и температурных интервалов превращений;

• изобразить схему кривой охлаждения заданного сплава и представить ее обоснование с помощью правила фаз Гиббса;

• для каждого участка кривой охлаждения изобразить характерную схему структуры сплава, включая структуру при нормальной температуре;

• для температуры, отмеченной звездочкой (\*) на фигуративной линии заданного сплава определить составы и относительные весовые количества равновесных фаз с использованием правила отрезков.

Во второй части курсовой работы все задания, указанные для первой части работы, необходимо выполнить для заданного состава железо-углеродистого сплава на диаграмме Fe-Fe3C.

Номер варианта выбирается по номеру студента в списке группы (см. Приложение 3).

Выполнение заданий следует иллюстрировать на диаграмме состояний системы в виде построений, необходимых для описания процессов превращений в заданном сплаве: отмечаются критические точки, строятся коноды и т.д.

Курсовая работа представляется к защите в сроки, определяемые руководителем работы. Допускается последовательное представление и защита отдельных заданий курсовой работы в течение семестра (например, в сроки рубежного рейтинг-контроля). Студент не может быть допущен к итоговому экзамену по курсу "Теория строения материалов" без представления и защиты курсовой работы по этой дисциплине.

**1. Методические указания к выполнению Задания №1 «Анализ фазовых равновесий в двухкомпонентных системах»**

1.1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

1.1.1 Понятие о сплавах и их строении. Сплавом называется вещество, полученное сплавлением двух или нескольких металлов или металла с неметаллом и обладающее металлическими свойствами. В настоящее время определение "сплав" имеет более широкое понятие, так как в современных условиях он может быть получен не только сплавлением, но и другими способами: прессованием-спеканием (порошковая металлургия), электролизом, возгонкой, в процессе кристаллизации из паров в вакууме и т.д. Такие сплавы ранее называли псевдосплавами (псевдо - ложный).

Сплавы образуют компоненты, взаимодействие которых определяется концентрацией (внутренний термодинамический фактор), температурой, давлением и др. (внешние термодинамические факторы). Компонентом называют химические индивиды (элементы и соединения), взятые в количествах, необходимых для образования всех фаз системы. Компонентами обычно являются чистые вещества (металлы и неметаллы), а также устойчивые, т.е. не разлагающиеся до температуры плавления на составляющие, химические соединения.

Фаза - однородная (жидкая, твердая, газообразная) часть системы, имеющая одинаковое строение, состав, свойства и отделенная от других фаз поверхностью раздела.

Системой называется совокупность фаз в твердом, жидком и газообразном состояниях, взятая для исследования при известных условиях и занимающая определенный объем.

В металловедении системами являются чистые металлы или металлические сплавы.

1.1.2 Фазы в металлических сплавах

Строение металлических сплавов зависит от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, составляющие сплав (систему).

Компоненты, взаимодействуя друг с другом, могут образовывать твердые растворы, химические соединения и гетерогенные (неоднородные) структуры, состоящие из нескольких фаз.

Твердые растворы образуются в том случае, когда компоненты сплава растворимы друг в друге в твердом состоянии. Рентгеновский анализ обнаруживает в твердом растворе, как и у чистого металла, только один тип кристаллической решетки, металлографический - выявляет структуру из однородных зерен. Если кристаллизуется твердый раствор на базе одного из компонентов, последний является растворителем, а атомы другого (растворенного) компонента располагаются в кристаллической решетке растворителя.

Твердые растворы обозначаются буквами греческого алфавита: α, β, δ, γ и т.д.; или А(В), где А - растворитель, В - растворенный компонент. Твердые растворы существуют не при строго определенном соотношении атомов компонентов, а в интервале концентраций.

Различают твердые растворы замещения, внедрения и вычитания.

В твердых растворах замещения атомы растворенного компонента занимают положения атомов растворителя в кристаллической решетке (рис. 1.1, а). Твердые растворы замещения характерны для сплавов большинства металлов (Fe, Cr, Мn, Ni, Mo, Cu, Zn, Sn, Al и др.) и могут быть с ограниченной (неполной) или с неограниченной (полной) растворимостью компонентов друг в друге.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| а) |  | б) |

Рис.1.1. Кристаллическая решетка твердого раствора замещения (а) и твердого раствора внедрения (б)

Неограниченная растворимость возможна, если оба компонента имеют идентичные, изоморфные кристаллические решетки, малое различие атомных размеров компонентов в пределах 7-17%, близкое расположение компонентов в периодической системе элементов Д.И. Менделеева.

Твердые растворы внедрения получаются в тех случаях, когда диаметр растворенного элемента невелик, и наблюдаются при растворении в железе, молибдене, хроме таких неметаллов, как углерод, азот, водород, т.е. элементов с малым атомным радиусом. Твердые растворы внедрения бывают только с ограниченной (неполной) растворимостью компонентов (рис. 1.1, б).

В сплавах могут также образоваться твердые растворы на базе химического соединения, где химическое соединение является растворителем, сохраняется его кристаллическая решетка, а атомы растворенного элемента располагаются в этой кристаллической решетке.

Твердыми растворами вычитания называются твердые растворы на базе химических соединений, образование которых сопровождается появлением вакансий. Например, таким является твердый раствор на базе химического соединения СoАl.

При образовании твердых растворов замещения и внедрения атомы растворенного элемента располагаются в кристаллической решетке растворителя неупорядоченно, в связи с этим их называют неупорядоченными твердыми растворами.

В некоторых случаях, когда атомы элементов, составляющие сплав, притягиваются друг к другу сильнее, чем подобные атомы, они стремятся расположиться в кристаллической решетке растворителя в определенном порядке. Такие твердые растворы называют упорядоченными или сверхструктурами (рис. 1.2). Полностью упорядоченные растворы образуются, когда соотношение компонентов равно целому числу 1:1, 1:2, 1:3 и т.д. Упорядоченные твердые растворы можно рассматривать, как промежуточные фазы между твердыми растворами и химическими соединениями.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Cu3Au | CuAu |

Рис. 1.2. Кристаллические решетки упорядоченных твердых растворов в системе Cu-Al (Cu - ⚫; Al -⭘)

Химические соединения образуются в том случае, когда атомы различных элементов притягиваются и имеют электрохимическое различие. Характерным для химических соединений является стехиометрическое соотношение атомов элементов, что выражается простой формулой в общем виде АnВm, где А и В - элементы, n и m - простые целые числа. В химических соединениях кристаллическая решетка, как правило, отличная от кристаллических решеток элементов, атомы в решетке располагаются упорядочение, закономерно в определенных узлах.

Химические соединения имеют постоянную температуру плавления (диссоциации), свойства соединения резко отличаются от свойств образующих его компонентов.

Химическое соединение между металлами имеет в узлах решетки положительно заряженные ионы, удерживаемые электронным газом - металлическая связь. Такие соединения называются интерметаллидами (CuAl2, Mg2Sn и т.д.). Химические соединения металла c неметаллом имеют ионную связь, атомы удерживаются в кристаллической решетке электростатическим притяжением. В соединениях такого типа связь жесткая.

Электронные соединения, т.е. соединения между двумя металлами в сплавах, отличается постоянным соотношением валентных электронов к числу атомов 3/2; 21/13; 7/4. Каждому соотношению соответствует определенная кристаллическая решетка: 3/2 - β-фаза (решетка объемноцентрированного куба), 21/13 - γ-фаза (решетка сложная кубическая), 7/4 - δ-фаза (гексагональная решетка).

Электронные соединения (фазы Юм-Розери) имеют определенное соотношение атомов и новую кристаллическую решетку - это признаки химического соединения, однако полного упорядочения расположения атомов не наблюдается, поэтому их относят к промежуточным фазам между химическим соединением и твердым раствором.

Фазы Лавеса имеет формулу АВ2 (А и В компоненты) и наблюдаются между элементами, атомные диаметры которых DA/DB=1,2. Эти фазы при кристаллизации образуют кристаллические решетки: гексагональную (MgZn2 и МgNi2) или гранецентрированную кубическую (MgCu2). Фазы Лавеса встречаются в сплавах, как упрочняющие фазы.

Гетерогенные (неоднородные) структуры образуются в том случае, когда ко-мпоненты не обладают полной взаимной растворимостью друг в друге в твердом стоянии, например: Zn-Sn; Pb-Sn; Fe-C; Al-Cu и др. Число кристаллических решеток соответствует числу фаз, образующихся в гетерогенной структуре.

Если компоненты незначительно растворяются друг в друге в твердом состоянии (Ge-Zn), то фактически получается микросмесь, состоящая из двух чистых компонентов.

При количестве компонентов, превышающих их предельную растворимость, наблюдается структура из двух насыщенных твердых растворов или твердого раствора и химического соединения и т.д. Такая структура может быть эвтектического или перитектического типа.

1.2. АНАЛИЗ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ

Диаграммой состояния называется графическое изображение фазового состояния сплава в зависимости от внешних (температуры, давления и др.) и внутренних (концентраций компонентов) факторов.

Диаграммы состояния двойных и более сложных систем строят экспериментальными методами для условий равновесия, при которых состояние сплавов соответствует минимальному значению свободной энергии. Такое состояние сплавов может быть достигнуто только при бесконечно медленных скоростях охлаждения или нагрева, поэтому диаграммы состояния позволяют определить фазовые превращения при очень медленном охлаждении или нагреве. Закономерность существования устойчивых фаз, отвечающих термодинамическими условиями равновесия, может быть выражена в математической форме правилом фаз или законом Гиббса (1876 г.). Оно устанавливает связь между числом компонентов - К, числом равновесных фаз - Ф, внешними факторами (температурой, давлением и др.) - В, вариантностью (или числом степеней свободы) равновесной системы - С. В общем виде математически выражается уравнением:

|  |  |
| --- | --- |
|  | С = К + В − Ф |
| при В = 2 (t, P): | С = К + 2 − Ф |
| при В = 1 (t): | С = К + 1 − Ф |

Под числом степеней свободы подразумевается число внешних (температура, давление и др.) и внутренних (концентрация) факторов равновесной системы, которое можно изменять в определенных пределах без изменения числа фаз, находящихся в равновесии. Более строгим является использование термина "число независимых переменных".

Вариантность (или число степеней свободы) любой системы всегда положительна или равна нулю, т.е. С≥0. При С=0 система называется нонвариантной. Это значит, что все независимые переменные, определяющие состояние системы, имеют строго определенные (единственные) значения и их нельзя изменить, чтобы не нарушить фазового равновесия, при этом в равновесии находятся три фазы. При С=1 систему называют моновариантной, т.е., если изменить внешний фактор - температуру, изменится концентрация фаз, но равновесие не нарушится. В равновесии находятся две фазы - жидкая и твердая или две твердые. При С=2 система называется бивариантной, т.е. существует область на диаграмме, в которой можно изменить температуру и концентрацию сплава, не нарушая равновесия. В равновесии находится одна фаза.

Правило фаз позволяет определить максимально возможное число равновесных фаз в сплавах, установить отклонение (по числу фаз) в структуре сплавов от равновесных условий, дает возможность контролировать правильность построения диаграмм состояний и кривых охлаждения (нагрева).

1.2.1 Диаграмма состояния для сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.

Компоненты этих сплавов неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях, не образуют химических соединений. В данном случае при затвердевании образуются однородные по структуре сплавы, состоящие из зерен - твердого раствора компонента В в А (или А в В). По этому типу диаграммы кристаллизуются сплавы Sb-Bi, Cu-Ni, Au-Ag, Fe-Ni и некоторые другие. Общий вид типовой диаграммы показан на рис. 1.3.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис.1.3. Диаграмма состояния системы А-В, с неограниченной растворимостью в твердом состоянии | Компоненты: А и В (К=2); фазы: Ж, α (твердый раствор) (Ф=2); линия А'nB' - линия солидус - геометрическое место точек критических температур конца процесса кристаллизации всех сплавов данной системы при охлаждении и начала плавления при нагреве; линия А'mB' - линия ликвидус, геометрическое место точек критических температур начала процесса кристаллизации |

всех сплавов данной системы при охлаждении и конца плавления при нагреве

По диаграмме этого типа кристаллизация всех сплавов протекает аналогично сплаву 1.

При кристаллизации сплава 1 (рис.1.4) от температуры 01 в нем происходят следующие превращения. До температуры точки 11, жидкий сплав охлаждается. При температуре точки 11, начинается процесс кристаллизации (зарождение центров кристаллизации). В интервале температур 11-21 кристаллизуется из жидкого сплава α-твердый раствор, состав которого изменяется по линии солидус на участке 1′1-21, состав жидкой фазы изменяется по линии 11-2′1 (см.рис.4). В соответствии с диаграммой состояния во всем интервале температур 11-21 образуются кристаллы α-твердого раствора, более богатые тугоплавким элементом В, чем исходный сплав 1. Это приводит к неоднородности химического состава в пределах одного зерна (дендрита), так называемой дендритной ликвации, которая при реальных условиях охлаждения сохраняется в твердых растворах.

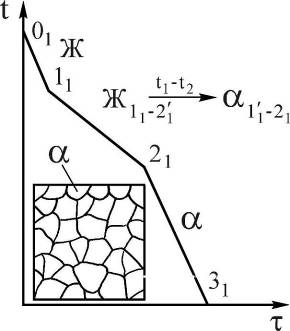


Рис. 1.4. Кривая охлаждения и схема структуры сплава 1 при нормальной температуре.

Однако при очень медленном (равновесном) охлаждении состав сплава успевает выравниться за счет диффузии и структура твердого раствора получается однородной (см. рис.1.4).

В двухфазных областях и на линиях нонвариантных равновесий диаграмм двойных систем с помощью правила отрезков можно определить состав (концентрацию компонентов в фазах) и количественное соотношение фаз.

Для того, чтобы определить концентрацию компонентов в фазах (их состав), через заданную точку, характеризующую состояние сплава, проводят горизонталь (коноду) до пересечения с линиями, ограничивающими данную область; проекции точек пересечения на ось концентраций показывают составы фаз.

Определим составы фаз для сплава 1 при температуре t\* (см. рис.1.3). Для этого, проводя при температуре t\* горизонталь до пересечения с линиями, ограничивающими область А′В′А′, получим точки пересечения "*a*" и "*b*". Проекция точки "*а*" на ось концентрации определяет состав жидкой фазы - 40%В и 60%А. Проекция точки "*b*" показывает состав твердой фазы - 80%В и 20%А.

Для того чтобы определить количественное соотношение фаз по правилу отрезков, необходимо через заданную точку провести горизонталь до пересечения с ближайшими линиями диаграммы состояния. Отрезки этой линии между заданной точкой и точками пересечения, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

Например, относительное весовое количество твердой фазы для сплава 1 (см. рис.3) при температуре t\*:

ОВКα = = = 0,5 или 50 %.



Относительное весовое количество жидкой фазы при температуре t\*

ОВКЖ = = = 0,5 или 50 %.



1.2.2 Диаграмма состояния сплавов с ограниченной взаимной растворимостью компонентов в твердом состоянии

В таких сплавах компоненты неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограниченно в твердом и не образуют химических соединений.

Существуют два вида таких диаграмм: с эвтектическим и перитектическим превращением. Для сплавов Al-Si, Al-Cu и других характерна диаграмма с эвтектическим превращением, в результате которого по реакции образуется микросмесь двух фаз (эвтектика). Эвтектика в переводе с греческого - легкоплавкий. Общий вид типовой диаграммы показан на рис. 1.5.



|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 1.5. Диаграмма состояния системы А-B с эвтектическим превращением | Компоненты: А и В (К=2); фазы: Ж, α-твердый раствор, β-твердый раствор (Ф=3). Название α- и β-твердых растворов принимается условно, т.е. α-твердым раствором называем раствор компонента В в А , а β-твердый раствор - раствор компонента А в В. Линия А'СВ' - линия ликвидус, линия А'DЕВ' - линия солидус, линия DQ- линия предельной растворимости компонента B в А, линия |

ЕМ − предельной растворимости А в В, линия DСЕ - линия эвтектического превращения.

Рассмотрим кристаллизацию двух сплавов 1 и 2. При охлаждении от точки 01 до температуры точки 11 происходит охлаждение жидкого сплава 1. При температуре точки 11 - образование центров кристаллизации в жидкой фазе. В интервале температур 11-21 - рост кристаллов α-твердого раствора из этих центров, при этом состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус, а твердой - по линии солидус. При температуре точки 21 заканчивается процесс кристаллизации α-твердого раствора, состав зерен соответствует исходному сплаву 1, т.к. в условиях равновесия, т.е. при очень медленном охлаждении, происходит выравнивание состава зерен за счет диффузии.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 1.6. Кривая охлаждения и схема структуры сплава 1 при нормальной температуре | В интервале температур 21-31 - охлаждение α-твердого раствора. Температура точки 31 соответствует предельной насыщаемости α-твердого раствора компонентом В, с понижением температуры растворимость компонента В в А снижается. Предельная растворимость в интервале температур 31-41 соответствует по диаграмме (см. рис.1.5) линии 31-Q, поэтому от температуры точки 31 начинается процесс вторичной кристаллизации. Из α-твердого раствора выделяется избыточный компонент В в виде β-твердого раствора, который обозначаем βII, в отличие β, выделившегося при первичной кристаллизации. Выделение фазы βII может происходить как по границам, так и внутри зерен α-твердого раствора. В точке 41 состав α-твердого раствора соответствует точке Q, а βII-точке М (см. рис.1.5). Кривая охлаждения приведена на рис.1.6.  Кристаллизация доэвтекти-ческого сплава 2 начинается при температуре точки 12. В процессе |
| Рис.1.7. Кривая охлаждения и схема структуры сплава 2 при нормальной температуре |

кристаллизации в интервале температур 12-22 состав α-твердого раствора изменяется по линии 1′2-D, а жидкой фазы - 12-С (см. рис.1.5). При температуре точки 22 жидкая фаза имеет состав точки С и затвердевает в эвтектику (участок 22-2′2 кривой охлаждения), состоящую из α-твердого раствора состава точки D и β-твердого раствора, состава точки Е (по правилу отрезков). Охлаждение от точки 22 до точки 32 сопровождается выделением из α-твердого раствора, как структурно свободного, так и входящего в состав эвтектики β-твердого раствора (βII). Объясняется это тем, что состав α-твердого раствора уменьшается по компоненту В соответственно линии (см. рис.5) DQ. Кривая охлаждения сплава 2 приведена на рис.1.7.

В предыдущей диаграмме (см. рис.5) мы рассмотрели превращение, при котором жидкая фаза определенного состава кристаллизовалась в две фазы, т.е. эвтектическое превращение. Возможен и другой тип трехфазного равновесия - перитектическое превращение (рис.1.8).

|  |  |
| --- | --- |
| Рис.1.8. Диаграмма состояния системы А-В с перитектическим превращением | Перитектическим превращением называется превращение, при котором жидкая фаза, реагируя с ранее выделившейся твердой фазой, образует новую твердую фазу.  Перитектическая реакция протекает при строго определенных составах фаз, их количествах и постоянной температуре. Это превращение имеет место при кристаллизации сплавов: Cu-Zn; Cu-Sn; Cu-Al и др. Общий вид диаграммы состояния показан на рис.1.8. |

В данной системе компоненты: А и В (К=2), фазы: Ж, α, β (Ф=3); α-ограниченный твердый раствор компонента В в A, β-ограниченный твердый раствор компонента А в В. Линии А'СВ' - ликвидус, А'PDВ' - линии солидус, линия СРD - линия перитектического превращения, линия PF линия предельной растворимости компонента B в А, линия DЕ - предельной растворимости А в B.

Рассмотрим кристаллизацию трех сплавов 1, 2 и 3.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис.1.9. Кривая охлаждения и схема структуры сплава 1 при нормальной температуре | До температуры точки 11 − охлаждение жидкого сплава 1. Начало кристаллизации сплава соответствует температуре точки 11, из жидкого сплава начинают кристаллизоваться кристаллы β-твердого раствора. При кристаллизации в интервале температур 11-21 состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус на участке 11-С, а кристаллов β-твердого раствора по линии солидус на участке 1′1-D. При температуре точки 21, в равновесии находятся жидкая фаза состава точки С и β-кристаллы состава точки D, происходит перитектическое превращение по реакции . |

Соотношение количества жидкой фазы и кристаллов β-твердого раствора, необходимое для образования α-твердого раствора состава точки Р, с помощью правила отрезков равно , т.е. для образования α-твердого раствора указанного состава полностью расходуется жидкая фаза и кристаллы β-твердого раствора. После перитектического превращения происходит охлаждение α-твердого раствора (участок 2′1-31 кривой охлаждения, рис.1.9).



Кристаллизация сплава 2 до температуры точки 22 протекает аналогично сплаву 1 (см. рис.1.8 и 1.9).

Особо подчеркнем, что в сплавах левее точки Р перитектическое превращение происходит с избытком жидкой фазы. При температуре точки 2 произойдет перитектическое превращение по реакции



Соотношение количества жидкой фазы и кристаллов β-твердого раствора равно 22D / 22C.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис.1.10. Кривая охлаждения и схема структуры сплава 2 при нормальной температуре | Отрезок 22D больше отрезка РD, поэтому часть жидкой фазы после перитектического превращения остается неизрасходованной. При дальнейшем охлаждении в интервале температур 22-32 происходит кристаллизация избыточной жидкой фазы, из которой выделяются кристаллы α-твердого раствора. В интервале температур 32-42 - охлаждение сплава, имеющего однородные зерна α-твердого раствора. Кривая охлаждения сплава 2 приведена на рис.1.10.  В отличие от сплава 2 в сплаве 3 перитектическое превращение протекает с избытком твердой фазы по реакции .  Соотношение количест-ва жидкой фазы и β-твердого раствора в перитектическом превращении равно 23D / 23C. |
| Рис.1.11. Кривая охлаждения и схема структуры сплава 3 при нормальной температуре |

Отрезок 23С больше отрезка PC, поэтому по окончании реакции в избытке остаются кристаллы β-твердого раствора.

Структура этого сплава состоит из зерен α-твердого и β-твердого растворов. Характерным для данной структуры является расположение зерен избыточной фазы β внутри зерен α-твердого раствора, т.е. зерна β как бы окружены зернами α-фазы. Отсюда и название перитектического превращения (перитектика в переводе с греческого - окружение). Кривая охлаждения сплава 3 приведена на рис.1.11.

1.2.3 Диаграмма состояния сплавов с устойчивым химическим соединением

Устойчивым химическим соединением называется соединение, которое не диссоциирует на составные части до температуры плавления, т.е. при их плавлении составы жидкой и твердой фаз совпадают. Такие соединения называются конгруэнтно (соответственно) плавящимися и образуются в системах Mg-Si, Mg-Pb, W-Zr и др. Если химическое соединение АnВm образуется металлами, такое соединение стехиометрического состава принято называть интерметаллидной фазой.

На рис.1.12 представлены 2 варианта диаграмм с устойчивым химическим соединением, каждая из которых состоит из двух частей, разделенных фигуративной линией химического соединения. Компоненты: А и В (К=2); фазы: Ж, α, β, γ (Ф=4). АnВm - химическое соединение, которое образуется при концентрации, соответствующей проекции точки С на ось концентраций, точка С соответствует температуре плавления, γ - твердый раствор на базе химического соединения АnВm. Линия А′ECРВ′ - линия ликвидус, A′DQCGРFB′ - линия солидус.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Рис.1.12. Диаграммы состояния системы А-В с устойчивым химическим соединением

Физически, выполняя функцию компонента, химическое соединение на базе своей решетки, как правило, образует по схеме замещения ограниченный твердый раствор γ. Плавление (кристаллизация) γ-фазы состава АnВm в соответствии с правилом фаз (С=0) происходит при постоянной температуре. Прочтение диаграмм и анализ фазового состояния системы А-В производится по частям, имея ввиду независимость систем А-АnВm и АnВm-В. Особенность диаграмм с устойчивым химическим соединением является область γ-фазы. В этой области левее фигуративной линии химического соединения (заштрихована) представлены твердые растворы замещения компонента А, а правее фигуративной линии – растворы компонента В в химическом соединении. При образовании твердых растворов атомы компонента А замещают атомы компонента В в узлах кристаллической решетки соединения АnВm или наоборот. Таким образом формируется область γ-раствора переменной концентрации с решеткой, свойственной химическому соединению. В силу этих особенностей γ-фаза называется промежуточной.

Кристаллизацию характерных сплавов для таких диаграмм рассматривали ранее.

1.2.4 Диаграмма состояния для сплавов с неустойчивым химическим соединением

Неустойчивыми называются химические соединения, при плавлении которых образуется жидкая и кристаллическая фазы, отличающиеся по составу от химического соединения. При этом во взаимодействии в форме перитектического равновесия находятся три фазы определенного состава (рис.1.13). Такие фазы – химические соединения называются инконгруэнтно (несоответственно) плавящимися.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис.1.13. Диаграмма состояния системы с неустойчивым химическим соединением | При охлаждении жидкости, соответствующей по составу соединению АnВm, в интервале температур 11-G реализуется первая стадия кристаллизации в форме реакции (С=1), а на уровне температуры точки G завершается кристаллизация в форме нонвариантного перитектического превращения (С=0). |

Очевидно, что химическое соединение сохраняет свою кристаллическую структуру и состав и при более низких температурах.

Другие сплавы в интервале концентраций P-Q также претерпевают перитектическое превращение, однако после своего завершения в сплавах интервала P-G в соответствии с правилом отрезков в избытке остается жидкость ЖИЗБ, а в сплавах интервала G-Q в остатке оказывается твердый раствор βИЗБ.

Промежуточная γ-фаза переменного состава, формирующаяся на базе кристаллической решетки химического соединения представлена на диаграмме заштрихованной областью.

1.2.5 Диаграммы состояния сплавов, компоненты которых имеют полиморфные превращения

Полиморфизмом отличаются многие металлы – железо, марганец, титан, олово и др. Благодаря полиморизму компонентов сплавы в кристаллическом состоянии претерпевают превращения, которые приводят к существенному изменению структуры и свойств.

На рис.1.14,а показан вариант диаграммы состояния сплавов, в которых компонент А существует в двух полиморфных модификациях - α и β. При

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |

Рис.1.14. Диаграмма состояния (а), кривая охлаждения и фазовые реакции (б) сплава 1 системы с полиморфизмом компонента А

взаимодействии этих модификаций с компонентом В образуются соответствующие фазы – твердые растворы, сохраняющие при определенных концентрациях и температурах тип кристаллической решетки одного из компонентов.

В сплавах в интервале концентрации C-D фазовая перекристаллизация протекает частично и поэтому в конечной структуре сосуществуют α- и β-фазы в количествах, зависящих от состава сплава.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис.1.15. Диаграмма состояния системы А-В с полиморфными превращениями обоих компонентов | На рис.1.15 представлен один из возможных вариантов диаграммы состояния сплава, оба компонента которого отличаются полиморфизмом. В рассмотренном случае продукт первичной кристаллизации δ-раствор претерпевает фазовую перекристаллизацию с образованием α-, β- и γ-растворов.  Сплавы в интервале концентраций D-E проходят фазовую перекристаллизацию подобно эвтектическому превращению по реакции |

. Такое нонвариантное превращение называется эвтектоидным. Полученная смесь фаз называется эвтектоидом. В сплавах в интервале концентраций F-Е происходит перекристаллизация в виде нонвариантного перитектоидного превращения .



1.3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1.3.1 Уясните цель работы.

1.3.2 Изучите типовые диаграммы состояния двухкомпонентных систем и проанализируйте диаграмму состояния системы из Вашего задания: каковы особенности строения и взаимодействия компонентов, из каких типовых областей она состоит, имеются ли на ней нонвариантные превращения и т.д.

1.3.3 Выполните анализ процесса кристаллизации в равновесных условиях двухкомпонентного сплава, кристаллизующегося в соответствии с вариантом Вашего задания.

Для этого:

- на заданной диаграмме состояния соответствующей двухкомпонентной системы проведите концентрационную линию сплава заданного состава и укажите на неё характеристические точки;

- постройте кривую охлаждения;

- проверьте, используя правило фаз Гиббса, правильность построения кривой охлаждения;

- опишите превращения, происходящие на каждом этапе охлаждения сплава, приведите уравнения фазовых реакций: на кривой охлаждения приводятся только фазовые реакции, подробное словесное описание происходящих превращений (вместе с фазовыми реакциями) дается отдельно – в виде текста;

- изобразите вероятную структуру сплава для каждого этапа охлаждения;

- определите состав и количественное соотношение фаз в двухфазной области при заданной температуре (\*) в соответствии с вариантом задания.

1.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ (для защиты курсовой работы)

* Что называется металлическим сплавов?
* Что такое компонент, фаза, система?
* Что называется твердым раствором?
* Какие различают твердые растворы?
* Какие твердые растворы называется упорядоченными?
* В каких случаях образуются химические соединения?
* Какие линии называются линиями ликвидус и солидус?
* Какое превращение называется эвтектическим, перитектическим, эвтектоидным, перитектоидным?
* Поясните правило фаз, правило отрезков?

1.5. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудряков О.В., Пустовойт В.Н. Анализ фазовых равновесий в двухкомпонентных системах: Учеб. пособие. / Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2002. – 66 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение.- М.: Металлургия, 1986. 544 С., C.88-141.
3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов.- М.: Металлургия, 1984. 360 С., С.77-114.
4. Захаров A.M. Диаграммы состояния двойных и тройных систем.- М.: Металлургия, 1990. 240 С., С. 9-102.

**2. Методические указания к выполнению Задания №2 «Анализ фaзовыx равновесий в системе железо-углерод»**

2.1. OCHOBHЫE ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

В настоящее время наиболее широкое применение в промышленности имеют железоуглеродистые сплавы - стали и чугуны. Диаграмма состояния системы железо-углерод дает представление о формировании этих сплавов, начиная от кристаллизации из жидкости и кончая процессами фазовой перекристаллизации в твердом состоянии. Кроме того, диаграмма состояния железо-углерод позволяет оценить структуру сталей и чугунов в равновесных условиях, определяющую многие их свойства; установить температуру нагрева при термической обработке и решить целый ряд других задач.

Компонентами диаграммы состояния являются железо и углерод. Поскольку углерод находится в двух аллотропических модификациях - в виде графита и алмаза, то различают две диаграммы состояния: железо-графит и железо-алмаз. Если первая является стабильной при нормальном давлении, то вторая проявляется полностью при высоких давлениях, когда стабильными становятся неустойчивые карбиды Fe3С, Fe7C3, алмаз. Поскольку известно, что самостоятельными компонентами могут быть устойчивые химические соединения, то диаграмму состояния железо-алмаз, метастабильную при нормальном давлении (т.е. имеющую промежуточное равновесие), можно только условно считать состоящей из диаграммы Fe-Fe3C, Fe3C-Fe7C3, Fe7C3-алмаз. Однако практическое значение имеют сплавы с содержанием углерода до 5%, охватываемые фрагментом полной диаграммы состояния железо-алмаз - диаграммой состояния металлической системы Fe-Fe3C (железо-цементит), в соответствие с которой кристаллизуются стали и белые чугуны, и которая и является предметом данной работы. Железо - металл переходной группы (атомный номер 26, атомная масса 55,85), температура плавления 1539ОС, отличается полиморфизмом - ниже температуры 911ОС и в интервале 1392-1539ОС устойчиво в форме α-модификации (Feα), а в интервале 911-1392OС в форме γ-модификации (Feγ). Железо-α имеет объемноцентрированную кубическую решетку (К8), параметр которой при комнатной температуре равен 0,286 нм, ниже температуры 768ОС ферромагнитно, а в интервале 768-911ОС – парамагнитно. Железо-γ имеет гранецентрированную кубическую решетку (К12) с параметром 0,386 нм. Высокотемпературная модификация α-железа и γ-железо парамагнитны.

Второй компонент - цементит имеет сложную ромбическую решетку, полиморфизмом не отличается, при температурах ниже 210ОС имеет слабо выраженные ферромагнитные свойства. По расчетным данным температура плавления цементита оценивается величиной, равной 1252ОС.

При взаимодействии железа и углерода в железоуглеродистых сплавах формируются в зависимости от концентрации компонентов и температуры следующие четыре фазы:

феррит - ограниченный твердый раствор внедрения углерода в α-железе;

аустенит - ограниченный твердый раствор внедрения углерода в γ-железе;

жидкость - неограниченный жидкий раствор углерода в железе (более строгим является использование термина "расплав");

цементит - карбид железа Fe3С с содержанием углерода 6,67%.

Структурными же составляющими диаграммы состояния железо-цементит являются 4 однофазных - жидкость, феррит, цементит, аустенит и 2 двухфазных структурных составляющих - перлит и ледебурит.

Диаграмма состояния железо-цементит в интервале концентраций от железа до цементита изображена на рис.2.1.

Линия ABCD – линия ликвидус соответствует насыщенному состоянию жидкости (Ж): на участках АВ и ВС - железом, а на участке СD - углеродом. Линия AHJECFD - солидус определяет насыщенное состояние продуктов кристаллизации - феррита (Ф), аустенита (А) и цементита (Ц). В фазовых областях между линиями НNJ и GSP происходит фазовая перекристаллизация Ф↔А, причем линии HN и GР определяют насыщение феррита углеродом, а линии NJ и GS -аустенита железом. Линии ES и PQ определяют насыщенное состояние аустенита и феррита углеродом. В соответствии с указанными значениями при охлаждении из исходной фазы выделяется фаза, богатая компонентом, которым насыщена исходная фаза. Например, при температурах линии ЕS из аустенита выделяется цементит.

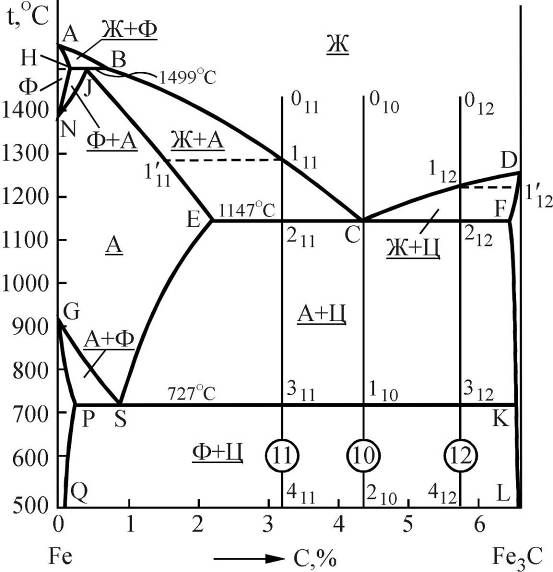


Рис.2.1. Диаграмма состояния система железо-цементит

Горизонтальные линии HJB, ECF и РSК указывают на протекание нонвариантных реакций, для которых число степеней свободы С=К+1−Ф=0.

Значение координат точек на диаграмме представлены на отдельных ее фрагментах (рис.2.2 и 2.3).

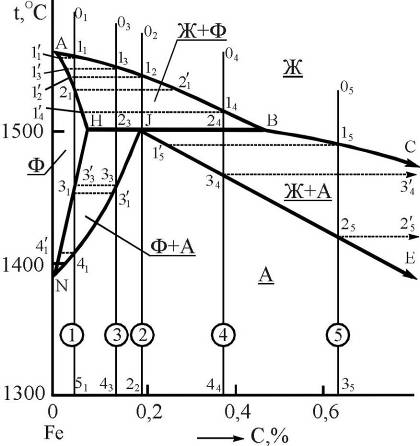


Рис.2.2. Фрагмент диаграммы железо-цементит (сплавы 1…5)

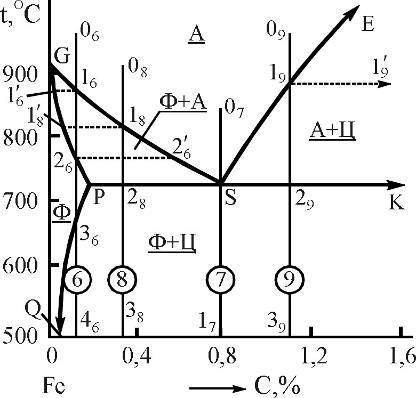


Рис.2.3. Фрагмент диаграммы железо-цементит (сплавы 6…9)

При кристаллизации всех сплавов с содержанием углерода до 2,14% (последние данные - 2,06%), в определенном интервале температур, происходит образование аустенита.

Железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода 0,025-2,14% называют углеродистыми сталями, более 2,14% - белыми чугунами.

2.2. АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ

Рассмотрим превращения в железоуглеродистых сплавах, содержащих до 2,14% С, - техническом железе и углеродистой стали, охватываемых "стальной" частью диаграммы состояния железо-цементит.

B сплавах, содержащих углерода менее 0,1% (1, см. рис.2.2), при охлаждении из жидкого состояния последовательно протекают следующие превращения (рис.4): в интервале температур 11-21 – первичная кристаллизация

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Рис.2.4. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 1 | 01-11 | 11-21 |
|  |  |
| 21-31 | 31-41 |
|  |  |
| 41-51 | |
|  | |

с образованием феррита, в интервале 31-41 фазовая перекристаллизация с образованием аустенита. В интервалах 21-31 и ниже точки 41 происходит охлаждение продуктов превращений, соответственно феррита и аустенита. Уравнения фазовых реакций и схематическое изображение структур в указанных интервалах температур показано на рис.4.

При содержании углерода 0,16% (сплав 2, см. рис.2.2) первичная кристаллизация происходит в интервале 12-J. При этом жидкость, оставаясь насыщенной, изменяет состав в диапазоне от 12 до В, а феррит - от 1′2 до Н. В двухфазной смеси Ж+Ф количество жидкости состава точки В (ЖВ) представлено отрезком НJ, а количество феррита состава точки Н (ФН) отрезком JВ.

При взаимодействии жидкости ЖВ и феррита ФН образуется аустенит состава точки J(AJ) (см. уравнение на рис.5). Эта нонвариантная перитектическая реакция распространяется на интервал концентрация углерода от точки Н (0,1% С) до точки В (0,5% С).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 02-12 | 12-J |
|  |  |
| J-J′ | J′-A |
|  |  |
| Рис.2.5. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 2 | | |

В сплавах типа 3 (<0,16% С) и 4 (>0,16% С) (см. рис.2) перитектическое превращение протекает соответственно при избытке феррита или жидкости. Поэтому ниже 1499ОС превращение в сплавах типа 3 протекает в форме фазовой перекристаллизации с образованием аустенита (рис.2.6), а в сплавах типа 4 - первичной кристаллизации с образованием аустенита (рис.2.7).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Рис.2.6. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 3 | 03-13 | 13-23 |
|  |  |
| 23-2′3 | 2′3-33 |
|  |  |
| 33-43 | |
|  | |

В сплавах типа 5 (0,5-2,14% С, см. рис.2.2) имеет место первичная кристаллизация с образованием аустенита. При этом состав жидкости в условиях равновесной кристаллизации изменяется от точки 15 до точки 2′5, а аустенита - от точки 1′5 до точки 25.

Как указывалось, формирование структуры стали при охлаждении до нормальной (комнатной) температуры проходит независимо от содержания углерода через состояние аустенита. При содержании углерода менее 0,025% (сплав типа 6, см. рис.2.3) аустенит в интервале температур 16-26 претерпевает фазовую перекристаллизацию с образованием феррита (рис.8). Образовавшийся феррит оказывается насыщенным и ниже температуры точки 36, при дальнейшем охлаждении из него выделяется цементит. При этом состав феррита изменяется в соответствии с линией его насыщения до точки Q (0,0067% С).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Рис.2.7. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 4 | 04-14 | 14-24 |
|  |  |
| 24-2′4 | 2′4-34 |
|  |  |
| 34-44 | |
|  | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 06-16 | 16-26 |
|  |  |
| 26-36 | 36-46 |
|  |  |
| Рис.2.8. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур сплава 6 | | |

При содержании углерода в стали 0,8% (сплав 7, см. рис.2.3) аустенит при температуре 727ОС (точка S) оказывается насыщенным и железом, и углеродом. Поэтому при этой температуре происходит распад аустенита с образованием эвтектоидной смеси феррита и цементита, которая называется перлитом (П, см. рис2.9). В интервале температур ниже 727ОС из ферритной составляющей перлита в соответствии с линией PQ выделяется третичный цементит ЦIII (см. рис.2.9), соединяющийся с цементитом перлита. Сталь состава точки S (0,8% С) называется эвтектоидной.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Рис.2.9. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур сплава 7 | 07-S | S-S′ |
|  |  |
| S′-17 | |
|  | |

При охлаждении аустенита доэвтектоидной стали (сплав 8, см. рис.2.3) в интервале температур 18-28 происходит фазовая перекристаллизация. При этом на уровне температуры 727ОС аустенит в двухфазной смеси А+Ф приобретает эвтектоидный состав и при постоянной температуре превращается в перлит (см. реакции на рис.2.10). Таким образом, ниже 727ОС доэвтектоидная сталь представлена перлитом и избыточной фазой - ферритом. В соответствии с линией PQ в этой стали ниже 727ОС также выделяется третичный цементит ЦIII.

В заэвтектоидной стали (сплав 9, рис.2.3) ниже температуры линии ЕS (точка 19) из аустенита выделяется цементит (ЦII). При температуре 727ОС, аустенит, достигая эвтектоидного состава, превращается в перлит (см. рис.2.11). Следовательно, в структуре заэвтектоидной стали также содержится перлит.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 08-18 | 18-28 |
|  |  |
| 28-2′8 | 2′8-38 |
|  |  |
| Рис.2.10. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 8 | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 09-19 | 19-29 |
|  |  |
| 29-2′9 | 2′9-39 |
|  |  |
| Рис.2.11. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 9 | | |

Таким образом, в равновесным условиях при нормальной температуре эвтектоидная сталь представлена перлитом, доэвтектоидная - перлитом и избыточным ферритом, заэвтектоидная - перлитом и избыточным цементитом в виде сетки по границам зерен перлита.

Чугуны различают эвтектический (4,3% С), доэвтектический (2,14-4,3% С) и зазвтектический (более 4,3% С). Эвтектический чугун (сплав 10, см. рис.2.1) в процессе кристаллизации распадается с образованием смеси аустенита состава точки Е и цементита. Такое превращение называется эвтектическим, а продукт превращения - смесь цементита и аустенита - ледебуритом (эвтектикой). Эвтектическое превращение, будучи трехфазным, согласно правилу фаз протекает при постоянной температуре (рис.2.12). В соответствии с

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Рис.2.12. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 10 | 010-С | С-С′ |
|  |  |
| С′-110 | 110-1′10 |
|  |  |
| 1′10-210 | |
|  | |

линией ES из аустенита ледебурита при охлаждении в интервале 1147-727ОС выделяется вторичный цементит и при температуре 727ОС превращается в перлит.

В довэтектическом чугуне (см. рис.2.3., сплав 11) описанным превращениям предшествует первичная кристаллизация с образованием аустенита (рис.2.13). В заэвтектическом чугуне (см. рис.2.3, сплав 12) продуктом первичной кристаллизации является цементит (рис.2.14). При этом на уровне температур 1147ОС жидкость в смесях Ж+А и Ж+Ц приобретает эвтектический состав и превращается в ледебурит.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Рис.2.13. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 11 | 011-111 | | 111-211 |
|  | |  |
| 211-2′11 | | 2′11-311 |
|  | |  |
| 311-3′11 | 3′11-411 | |
|  |  | |

Таким образом, кристаллизация всех сплавов в интервале содержания углерода от 2,14 до 6,67% завершается эвтектическим превращением при одинаковой температуре на линии ECF – 1147ОС (см. рис.2.8), всем чугунам свойственно также выделение из аустенита вторичного цементита в интервале 1147-727ОС, протекание эвтектоидного превращения при температуре 727ОС и выделение ферритом третичного цементита ниже 727ОС. Формирование структуры чугуна при охлаждении из жидкого состояния сопряжено с протеканием двух нонвариантных превращений эвтектического и эвтектоидного. Поэтому на кривых охлаждения образуются две изотермические площадки при температурах 1147ОС и 727ОС (см. рис.2.12−2.14).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Рис.2.14. Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 12 | 011-111 | | 111-211 |
|  | |  |
| 211-2′11 | | 2′11-311 |
|  | |  |
| 311-3′11 | 3′11-411 | |
|  |  | |

Структура эвтектического чугуна при нормальной температуре представлена ледебуритом, доэвтектического - ледебуритом и перлитом, заэвтектического - ледебуритом и первичным цементитом.

Диаграмма состояния железо-цементит содержит информацию о фазовом состоянии различных сталей и чугунов. Наряду с этим она позволяет решать задачи, связанные с определением состава фаз и количественного соотношения фаз.

Например, сплав 11 (см. рис.2.1) при температуре точки 311 содержит феррит состава точки Р и цементит состава точки К. При этом количество феррита равно 311К/РК, а цементита - Р311/РК.

2.3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

2.3.1 Уясните цель работы.

2.3.2 Изучите диаграмму состояния системы железо-углерод.

2.3.3 Выполните анализ процесса кристаллизации в равновесных условиях одного из железоуглеродистых сплавов в соответствии с вариантом Вашего задания.

Для этого:

* на диаграмме состояния системы железо-цементит проведите линию состава заданного сплава и отметьте на ней характеристические точки;

- постройте кривую охлаждения;

- проверьте, используя правило фаз Гиббса, правильность построения кривой охлаждения;

- опишите превращения, происходящие на каждом этапе охлаждения сплава, приведите уравнения фазовых реакций: на кривой охлаждения приводятся только фазовые реакции, подробное словесное описание происходящих превращений (вместе с фазовыми реакциями) дается отдельно – в виде текста;

- изобразите вероятную структуру сплава для каждого этапа охлаждения;

- определите состав и количественное соотношение фаз в двухфазной области при заданной температуре в соответствии с вариантом задания.

2.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ (для защиты курсовой работы)

* Почему диаграмма состояния железо-цементит является метастабильной системой?
* Что называется ферритом, аустенитом, цементитом, перлитом, ледебуритом?
* Укажите на диаграмме линию ликвидус, линию солидус, линии нонвариантных реакций.
* Какую кристаллическую решетку имеет α-железо, γ-железо?
* Изобразите геометрические образы нонвариантных перитектической, эвтектической, эвтектоидной реакций.
* Опишите нонвариантные перитектическое, эвтектическое, эвтектоидное превращения с помощью уравнений фазовых реакций.
* Укажите фазовое состояние в различных областях диаграммы
* Укажите структурное состояние при нормальной температуре доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной стали и доэвтектического, эвтектического, заэвтектического чугуна.
* В чем заключается отличие цементита первичного от вторичного и третичного?
* Определите количественное соотношение феррита и цементита в перлите и ледебурите.

2.5. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев А.П. Металловедение М.: Металлургия, 1986. 544С., С.142-160.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1984. 360 С., С.116-128.
3. Металловедение и термическая обработка стали. В 3-х т. Т.2. Основы термической обработки/ Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М.: Металлургия, 1983. 368 С., С.67-83.
4. Кудряков О.В., Пустовойт В.Н. Анализ фазовых равновесий в двухкомпонентных системах: Учеб. пособие. / Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2002. – 66 с.

**3. Правила оформления курсовой работы**

Курсовая работа оформляется в виде Пояснительной записки, включающей Титульный лист, лист Задания, заполненный с двух сторон, и Текста выполненных заданий, записанного от руки или распечатанного на принтере на стандартных листах формата А4 (210×297 мм) по ГОСТ 2.301, имеющих основную надпись и чертежную рамку по ГОСТ 2.104.

3.1 ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ

Титульный лист является первым листом пояснительной записки. Оформлять его следует без рамки на белой бумаге формата А4. В ДГТУ Титульный лист курсовых проектов (работ) стандартизирован. Форма титульного листа на КП(Р) приведена в Приложении 1. Допускается использовать готовые бланки, а также изготавливать титульный лист при помощи текстовых редакторов в соответствии с шаблоном бланка титульного листа посредством печати на принтере.

Для написания на титульном листе:

– наименования вышестоящей организации,

– наименования вуза,

– слов «ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА»,

– наименования темы КП(Р),

– обозначение КП(Р),

применяется шрифт Times New Roman, размер – 14 рt, все буквы прописные.

Наименование вуза, слова «ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА» оформляются полужирным шрифтом.

Для всех остальных надписей используется шрифт Times New Roman, размер – 12 рt, буквы строчные.

Перенос слов в наименовании темы КП(Р) не разрешается, точка в конце названия не ставится.

При заполнении титульного листа при помощи текстового редактора подстрочный текст и линии убираются за исключением подстрочной надписи «подпись и дата».

В соответствии с ГОСТ 2.201 для курсового проекта (работы) обозначение документа на титульном листе имеет следующий шифр:

YYYY.XXZZFF.RRR КП(КР),

где первые четыре знака YYYYдля курсовых проектов (работ) должны включать заглавные буквы, соответствующие наименованию дисциплины (не более четырех); в коде классификационной характеристики XXZZFF, состоящий из шести знаков, первые две цифры XXсоответствуют последним цифрам номера зачетной книжки студента, остальные знаки ZZFF для пояснительной записки курсового проекта (работы) обозначаются нулями, цифры кода *XXZZFF* интервалами и точками не разделяются; порядковый регистрационный номер *RRR,* состоящий из трех знаков, для пояснительной записки *RRR* – 000. Таким образом, для курсовой работы по дисциплине «Теория строения материалов» шифр на титульном листе должен иметь вид:

ТСМ.ХХ0000.000 КР,

где две цифры XXсоответствуют последним цифрам номера зачетной книжки студента.

3.2 БЛАНК ЗАДАНИЯ

Бланк задания является вторым листом ПЗ (заполняется с двух сторон одного листа). Выполнять его следует без рамки на белой бумаге формата А4 (210×297 мм) по ГОСТ 2.301 черными чернилами (пастой) чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304. Номер страницы на задании не проставляется.

Допускается использовать готовые бланки, а также изготавливать бланк задания при помощи текстовых редакторов в соответствии с шаблоном бланка задания, распечатав его на принтере.

Для написания:

– наименования вышестоящей организации;

– наименования вуза,

– слова «ЗАДАНИЕ»,

– наименования темы КП(Р),

– обозначение КП(Р),

применяется шрифт Times New Roman, размер – 14 рt, буквы прописные.

Наименование вуза, слово «ЗАДАНИЕ» пишется полужирным шрифтом.

Для всех остальных надписей используется шрифт Times New Roman, размер – 12 рt, буквы строчные.

Перенос слов в наименовании темы КП(КР) не разрешается, точка в конце названия не ставится.

При заполнении бланка задания при помощи текстового редактора подстрочный текст и линии убираются за исключением подстрочной надписи «подпись и дата».

Форма бланка задания для курсового проекта (работы) приведена в Приложении 2.

3.3 ТЕКСТ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Пояснительная записка должна быть выполнена на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм) в соответствии с общими требованиями к текстовым документам по ГОСТ 2.105, 2.106, за исключение бланка задания.

Текст ПЗ выполняют одним из следующих способов:

– рукописным способом, четким почерком, чернилами (пастой) одного цвета (черного, синего). Применение в одной работе чернил (пасты) разного цвета не допускается. Высота строчных букв в тексте не менее 2,5 мм.

– с помощью текстовых редакторов через полуторный интервал шрифтом Times New Roman, размером 14 рt.

Листы пояснительной записки оформляются рамкой стандартных размеров и основной надписью по ГОСТ 2.104. Для заполнения граф в основной надписи применяют шрифт Arial, курсив. Таблицу изменений в основной надписи допускается не заполнять, так как она предназначена для сведений о последующих изменениях в текстовом документе, что в учебных проектах не предусматривается.

Выполнение текста пояснительной записки без рамки не допускается.

Графические материалы необходимо располагать в тексте курсовой работы. Допускается размещать их на отдельном листе формата А4 (210×297 мм), входящем в общий перечень страниц пояснительной записки.

Более подробные рекомендации по оформлению текста пояснительной записки курсового проекта (работы) приведены в Положении ДГТУ №227 от 30.12.2015 г. «Правила оформления и требования к содержанию курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных работ».

*Более подробная информация о заполнении Титульного листа и листа Задания приведена в Примере выполнения курсовой работы (входит в комплект электронных методических материалов в виде отдельного файла).*

Приложение 1.

Титульный лист курсовой работы (образец)



Приложение 2.

Задание к курсовой работе, заполняется с двух сторон (образец)



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ**

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ДГТУ)**

Факультет \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(наименование факультета)

Кафедра \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(наименование кафедры)

Зав. кафедрой «\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(подпись) И.О.Ф.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 201\_ г.

**ЗАДАНИЕ**

к курсовому проекту (работе) по дисциплине (модулю)\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(наименование учебной дисциплины (модуля)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_\_\_\_

Обозначение курсового проекта (работы) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Тема \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Срок представления проекта (работы) к защите «\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_ 201\_ г.

Исходные данные для курсового проекта (работы)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Содержание пояснительной записки

ВВЕДЕНИЕ:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Наименование и содержание разделов:

1. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Перечень графического материала

1. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

4. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

5. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

6. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

7. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

8. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Руководитель проекта (работы) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

подпись, дата И.О.Ф.

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

подпись, дата И.О.Ф.

Приложение 3.

Варианты заданий курсовой работы

(номер варианта выбирается по номеру студента в списке группы)

