

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н.Ельцина»

Нижнетагильский технологический институт (филиал)

Кафедра металлургической технологии

О. И. Шевченко

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВОВ С ОГРАНИЧЕННОЙ РАСТВОРИМОСТЬЮ КОМПОНЕНТОВ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Методические указания к выполнению лабораторных и практических
работ по курсу «Материаловедение»

*Утверждено методическим советом Нижнетагильского технологического
института (филиал) УрФУ в качестве учебно-методического пособия для
направления **22.03.02- Металлургия***

РАЗМЕЩЕНО В ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКЕ НТИ (филиал) УрФУ

Нижний Тагил
2017

УДК 66.017 (075.8)

ББК 30.3 я 73

Ш 37

Рецензент: доцент кафедры общего машиностроения НТИ (ф) УрФУ,
канд. техн. наук Г. Е. Трекин.

Шевченко О.И.

Ш 37 Исследование сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Методические указания к выполнению лабораторных и практических работ по курсу «Материаловедение» [Электронный ресурс]: / составитель Шевченко О.И. М-во образования и науки РФ ; ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетаг. технолог. ин-т (фил). – Нижний Тагил : НТИ (ф) УрФУ, 2017. – 18 с.

В пособии содержится теоретический материал, методические указания к выполнению практических занятий по курсу «Материаловедение».

Данные методические указания предназначены для направления
22.03.02- Металлургия.

УДК 66.017 (075.8)

ББК 30.3 я 73

© Шевченко О.И. 2017

© ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Нижнетагильский технологический институт (филиал), 2017

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| 1. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ С ОГРАНИЧЕННОЙ РАСТВОРИМОСТЬЮ КОМПОНЕНТОВ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ | 5 |
| 2. ФОРМИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ $Pb-Sn$ В УСЛОВИЯХ РАВНОВЕСНОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ..... | 8 |
| 3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВОВ С ОГРАНИЧЕННОЙ РАСТВОРИМОСТЬЮ КОМПОНЕНТОВ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ | 12 |
| 4. ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ..... | 14 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 16 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 17 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ. Образец титульного листа..... | 18 |

ВВЕДЕНИЕ

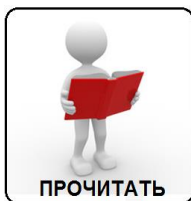


Диаграммы состояния для каждой пары компонентов (системы) показывают характер взаимоотношения компонентов, описывают фазовый состав любого сплава при любой температуре и дают возможность изучить процессы превращений в сплавах при их нагреве и охлаждении.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния сплава. Она строится в системе прямоугольных координат, где по вертикальной оси откладывается температура, а по горизонтальной – концентрация компонентов в весовых (иногда в атомных) процентах.

Любая точка, взятая на диаграмме, называется фигуративной. Фигуративная точка определяет химический состав (концентрацию компонентов) и температуру сплава путем её проекции на соответствующие оси диаграммы. Вертикальные линии, проведенные на диаграмме состояния и отвечающие сплаву определенного состава, называются линиями фигуративных точек сплава.

1. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ С ОГРАНИЧЕННОЙ РАСТВОРИМОСТЬЮ КОМПОНЕНТОВ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ



На рис. 1 показана диаграмма состояния, когда образуются два разных твердых раствора с ограниченной растворимостью. Твердый раствор компонента B в A обозначим как α , а твердый раствор компонента A в B как β . На линии ликвидуса ac начинается кристаллизация сплавов с выделения кристаллов α -твердого раствора, концентрация компонентов в котором изменяется по ходу линии солидуса ak . На линии ликвидуса bc начинается кристаллизация сплавов с выделения кристаллов β -твердого раствора, концентрация компонентов в котором изменяется по ходу линии солидуса bn . Линия kcn является линией эвтектического превращения, состоящего в том, что жидкая фаза состава точки c при постоянной температуре кристаллизуется с одновременным выделением смеси из двух твердых растворов: α -раствора состава точки $k(k')$ и β -раствора состава точки $n(n')$.

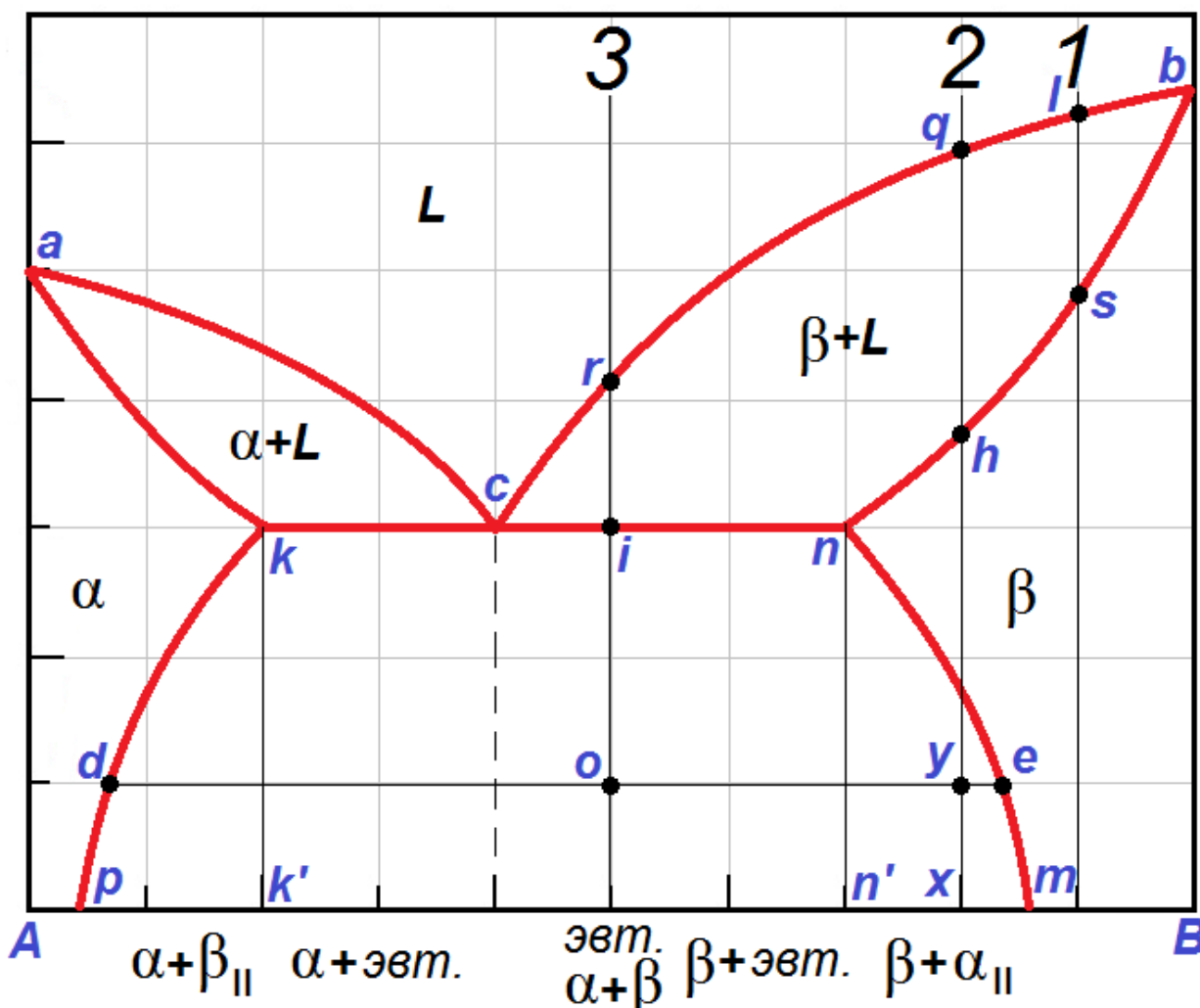
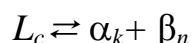


Рис. 1. Диаграмма состояния системы $A - B$ с образованием твердых растворов α и β с ограниченной растворимостью компонентов при наличии эвтектического превращения

Схематически эвтектическое превращение можно записать так:

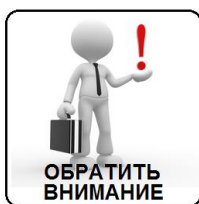


Линия kp указывает на пределы растворимости компонента B в A , т. е. в α -растворе, а линия nt – на пределы растворимости компонента A в B , т. е. в β -растворе, при разных температурах (*линии сольвуса*).

По диаграмме состояния (см. рис. 1) можно судить о том, что в любом сплаве этой системы при кристаллизации жидкой фазы и при последующем охлаждении могут образовываться только твердые растворы.

Рассмотрим процессы фазовых превращений в разных сплавах при их охлаждении. Кристаллизация сплава 1 начинается в точке l на линии ликвидуса bc с выделения β -твердого раствора и будет продолжаться при понижении температуры до точки s на линии солидуса bn . В точке s кристаллизация заканчивается, и далее сплав охлаждается без всяких изменений в виде одной фазы β -раствора с исходной концентрацией. Важно обратить внимание на то, что в сплаве 1 при охлаждении ниже точки s в β -растворе будет неизменное количество растворенного компонента A , меньшее по сравнению с предельно возможным, описываемым линией предела насыщения nt .

Кристаллизация сплава 2 начинается также на линии ликвидуса bc в точке q с выделения кристаллов β -твердого раствора и будет продолжаться до точки h на линии солидуса bn . Изменение концентрации компонентов в твердом растворе и в жидкой фазе сплава 2, а также и сплава 1, в процессе кристаллизации происходит так, как это было описано при разборе предыдущей диаграммы состояния с неограниченной растворимостью компонентов.



При дальнейшем охлаждении от точки h до точки f в сплаве 2 не происходит никаких изменений. Сплав остается однофазным (β -раствор). В точке f , лежащей на линии nt , β -раствор становится предельно насыщенным компонентом A и потому, начиная с этой температуры, при дальнейшем охлаждении из β -раствора должен выделиться избыток компонента A . Ввиду того, что компонент A при этой температуре может растворить некоторое количество компонента B , фактически при охлаждении сплава 2 ниже точки f из β -раствора выделяется α -раствор с концентрацией компонентов, определяемой линией kp . Таким образом, ниже точки f сплав становится двухфазным, состоящим из смеси α - и β -растворов. С понижением температуры химический состав (концентрация компонентов) в обоих твердых растворах должен изменяться согласно ходу линий kp для α -фазы и nt для β -фазы, т. е. α -раствор будет обедняться компонентом B , а β -раствор – компонентом A . Это обеднение твердых растворов соответствующими компонентами происходит путем взаимного

перераспределения атомов A и B между кристаллами α - и β -растворов. Так, в точке y сплав 2 будет состоять из смеси β -раствора состава точки e и α -раствора состава точки d . Количество каждого твердого раствора может быть определено на основании применения правила рычага, когда должна учитываться длина плеч dy и ey при общей величине рычага (коноды) de .

При достижении низшей температуры диаграммы в точке x сплав состоит из смеси зерен α -твердого раствора состава точки p и β -твердого раствора состава точки m . В структуре сплава 2 отсутствует эвтектика из α - и β -растворов, так как эвтектика как структурный элемент может присутствовать только в сплавах, имеющих составы от точки $k(k')$ до точки $n(n')$.

Кристаллизация сплава 3 начинается, как и для первых двух сплавов, на линии ликвидуса, bc в точке r с выделения β -раствора. При достижении эвтектической температуры сплав должен состоять из β -твердого раствора с максимальной концентрацией растворенного компонента A (точка $n(n')$) и жидкой фазы с эвтектической концентрацией (точка c). В точке i (точнее – немного ниже этой точки) на линии солидуса kcn в сплаве происходит эвтектическое превращение:



в результате которого вся жидкая фаза закристаллизовывается с образованием эвтектической смеси α - и β -растворов предельного насыщения. Ниже точки i застывший сплав состоит из смеси двух твердых фаз: α - и β -твердых растворов, которые при понижении температуры изменяют свою концентрацию согласно ходу линий kp (для α -раствора) и nm (для β -раствора). В понятие «фаза» при этом включаются кристаллы β -раствора, выделившиеся первыми из жидкой фазы, и кристаллы β -раствора, находящиеся в эвтектической смеси, закристаллизовавшиеся позднее.

В точке o сплав состоит из смеси α -раствора состава точки d и β -раствора состава точки e в соотношении

$$Q_\alpha / Q_\beta = oe / od.$$

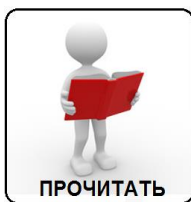
Поскольку левая часть диаграммы состояния (от точки c) аналогична правой ее части, нет необходимости разбирать процессы фазовых превращений в сплавах с первоначальным выделением кристаллов α -раствора. Последовательность фазовых изменений в этом случае должна оставаться такой же, как и в сплавах 1, 2 и 3.

Сплавы, в которых есть переменная растворимость компонентов в твердых растворах при изменении температуры, представляют особый интерес для технических целей. На диаграмме (см. рис. 1) к ним можно отнести две группы сплавов: от точки p до точки k' и от точки n' до точки m .

В подобных сплавах методом специальной термической обработки

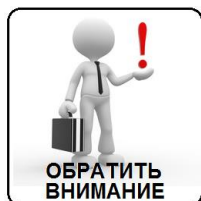
можно получить различные неравновесные состояния и структуры, в результате чего эти сплавы могут приобрести ценные свойства (повышенную прочность и твердость). Если, например, нагреть сплав 2 до температуры выше точки f (но ниже точки h), то фазовое состояние сплава будет представлено одним β -твердым раствором с исходной концентрацией компонентов. Последующее быстрое охлаждение в воде (закалка) предотвратит выделение избыточной α -фазы, и сплав при комнатной температуре будет состоять, как и в нагретом состоянии, из одного β -раствора состава точки x . Но это уже будет неравновесное состояние сплава, β -твердый раствор окажется пересыщенным компонентом A . Последующий распад такого пересыщенного твердого раствора, происходящий при комнатной температуре (естественное старение) или при невысоком нагреве (искусственное старение), может привести к получению новых структурных состояний и свойств. Так, например, получают повышенную прочность и твердость сплавов алюминия с медью (дуралюмины) и меди с бериллием (бериллиевые бронзы).

2. ФОРМИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ $Pb-Sn$ В УСЛОВИЯХ РАВНОВЕСНОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ



Кристаллизация сплава $Pb+1\%Sn$ (рис.2.а) начинается на линии ликвидуса с выделения α -твердого раствора и будет продолжаться при понижении температуры до на линии солидуса. В точке b сплав состоит из двух фаз: жидкости и кристаллов α -твердого раствора. На линии солидус кристаллизация заканчивается, и далее сплав охлаждается без всяких изменений в виде одной фазы α -раствора с исходной концентрацией ($Pb+1\%Sn$). Важным является, что в этом сплаве при охлаждении ниже линии солидус в α -растворе будет неизменное количество олова, меньшее по сравнению с предельно возможным, описываемым линией сольвуса.

Кристаллизация сплава $Pb+15\%Sn$ (рис.2.б) начинается также на линии ликвидуса с выделения кристаллов α -твердого раствора и будет продолжаться до на линии солидуса. Закономерности выделения фаз на данном участке, их количества и состава подробно разобраны для диаграммы с неограниченной взаимной растворимости компонентов.



При дальнейшем охлаждении в однофазной α -области (точка f) в сплаве 2 не происходит никаких изменений. Сплав остается однофазным (α -раствор). При пересечении линии сольвуса, α -раствор становится предельно насыщенным оловом и потому, начиная с этой температуры, при дальнейшем охлаждении из α -раствора должен выделиться избыток олова. Однако олово при этой температуре может растворить некоторое количество свинца. Поэтому фактически при охлаждении сплава ниже линии сольвуса из

α -раствора выделяется β -раствор. Таким образом, в точке g сплав становится двухфазным, из смеси α - выделяются кристаллы β -вторичные. С понижением температуры химический состав (концентрация компонентов) в обоих твердых растворах должен изменяться согласно ходу сольвуса, т. е. α -раствор будет обедняться по олову, а β -раствор – по свинцу. Это обеднение твердых растворов соответствующими компонентами происходит путем взаимного перераспределения атомов Pb и Sn между кристаллами α - и β -растворов.

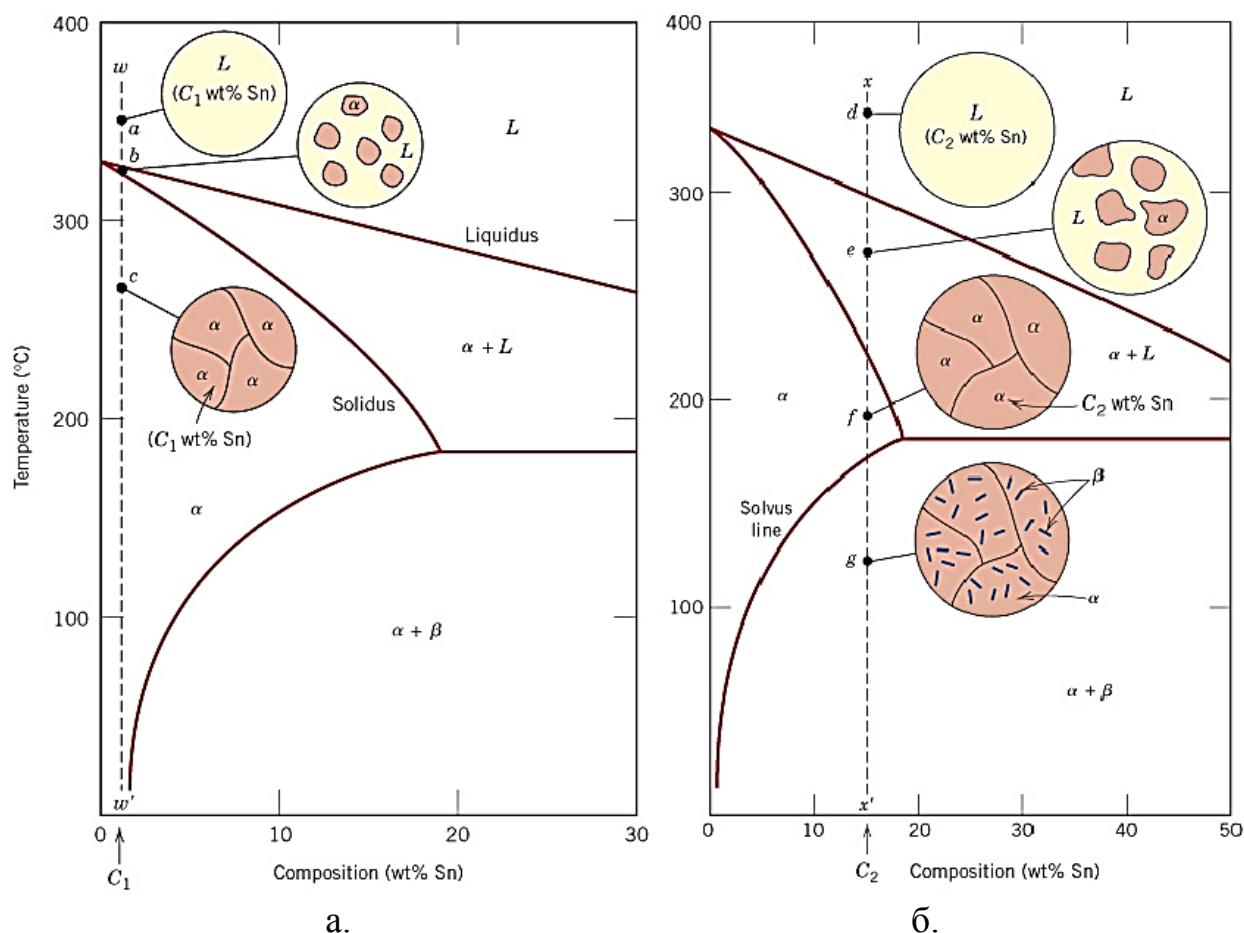
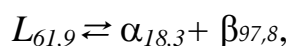
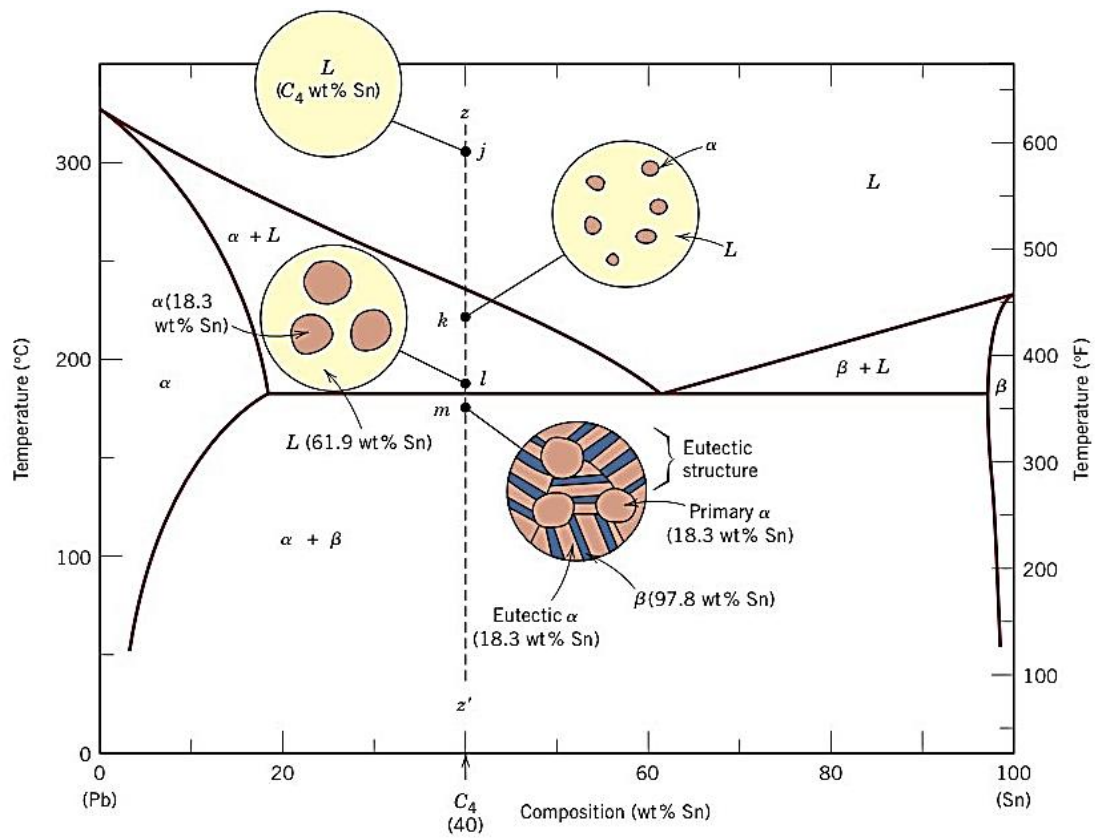


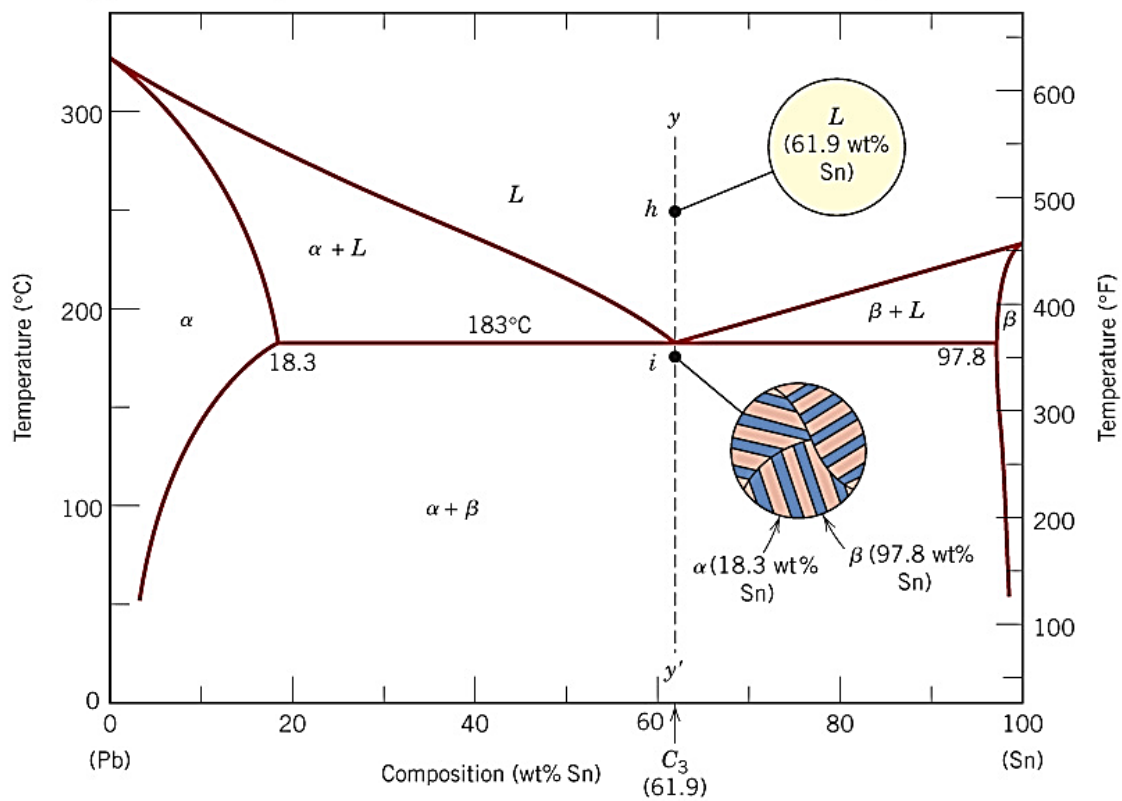
Рис.2. Формирование фазового состава и структуры сплавов системы $Pb-Sn$ без образования эвтектики.

Кристаллизация сплава $Pb+40\%Sn$ (рис.3.а) начинается, как и для первых двух сплавов, на линии ликвидуса, выделения α -раствора. При достижении эвтектической температуры (чуть выше, в точке l) сплав должен состоять из α -твердого раствора с максимальной концентрацией олова 18.3% и жидкой фазы с эвтектической концентрацией 61.9%. В точке m на линии солидуса (точнее немного ниже 183°C) в сплаве происходит эвтектическое превращение:





а.



б.

Рис.3. Формирование фазового состава и структуры сплавов системы $Pb-Sn$ с образованием эвтектики.

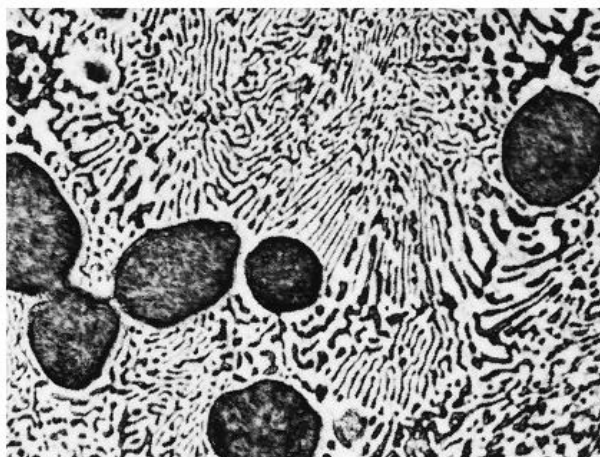
в результате которого вся жидкая фаза закристалливается с образованием эвтектической смеси α - и β -растворов предельного насыщения (точка m).

Структура сплава $Pb+40\%Sn$ представлена на рис.4.а.



Ниже точки m застывший сплав состоит из смеси двух твердых фаз: α - и β -твердых растворов, которые при понижении температуры изменяют свою концентрацию согласно ходу линий сольвуса. Зерна α - твердого раствора становятся пересыщенными по олову и из них начинают выделяться кристаллы β -вторичные. Эвтектика, как правило, имеет дисперсное строение, поэтому избыточное содержание олова и свинца в её ламелях выравнивается за счет диффузии, изменяясь при охлаждении по линиям сольвуса. В противном случае в ламелях β -твердого раствора будут выделяться кристаллы α -вторичные, а в ламелях α -твердого раствора будут выделяться кристаллы β -вторичные.

Сплав эвтектического состава $Pb+61,9 \%Sn$ затвердевает при постоянной температуре $183^{\circ}C$ (см. рис.3. б), его структура представлена на рис.4.б.



а.



б.

Рис.4. Структура сплавов системы $Pb-Sn$. а.- доэвтектический состав, б.- заэвтектический состав.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВОВ С ОГРАНИЧЕННОЙ РАСТВОРИМОСТЬЮ КОМПОНЕНТОВ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Оборудование и материалы. Коллекция образцов сплавов $Pb - Sn$ с различным содержанием компонентов. Полировальное оборудование. Набор реактивов для травления. Металлографический микроскоп. Диаграмма состояния сплавов системы $Pb - Sn$

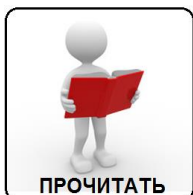
Порядок выполнения работы.



Пройти инструктаж по технике безопасности перед выполнением лабораторной работы.



Получить коллекцию образцов сплавов $Pb - Sn$ с различным содержанием компонентов и индивидуальное задание.



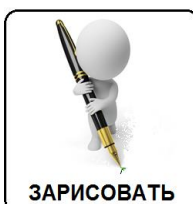
Прочитать материал разделов 1 «Диаграмма состояния с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии» 2 «Формирование фазового состава и структуры сплавов системы $Pb - Sn$ в условиях равновесного затвердевания».



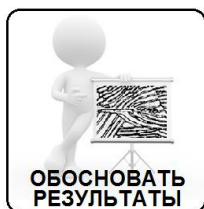
Подготовить образцы к металлографическому исследованию. Ознакомиться с инструкцией по работе на микроскопе. Подготовить микроскоп к работе.



Провести металлографический анализ сплавов системы $Pb - Sn$ различных составов: доэвтектического, эвтектического и заэвтектического.



Схематично зарисовать структуру сплавов $Pb - Sn$ с различным содержанием компонентов. Подписать структурные составляющие сплава. Описать структуру. Рисунки и описание внести в отчет.



Сравнить эволюцию структуры при увеличении содержания второго компонента в сплаве. Чем отличается структура доэвтектического сплава от заэвтектического? Чем отличается структура заэвтектических составов с разным содержанием второго компонента? Обсуждение результатов внести в отчет.

Выполнить индивидуальное задание.

На диаграмме состояния обозначить линии ликвидус и солидус.

Для каждой области диаграммы записать фазовый состав.

Построить кривые охлаждения для чистых компонентов сплава.

Построить кривую охлаждения для сплава заданного состава.

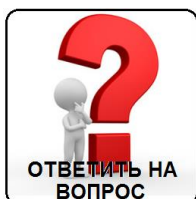
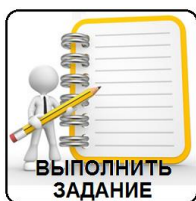
Описать кристаллизацию сплава заданного состава

Записать температуры начала и окончания затвердевания.

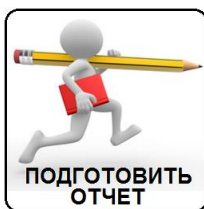
Состав первых кристаллов и последних порций жидкости.

В твердо-жидком состоянии при произвольной температуре указать составы и рассчитать количество каждой фазы.

Зарисовать структуру сплава после охлаждения (подписать структурные составляющие, указать их состав)



Испытывает ли сплав фазовые и структурные превращения в твердом состоянии (если испытывает, то описать какие)?



Сделать общие выводы по лабораторной работе. Оформить отчет, состоящий из общей части и индивидуальных заданий участников.

4.ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

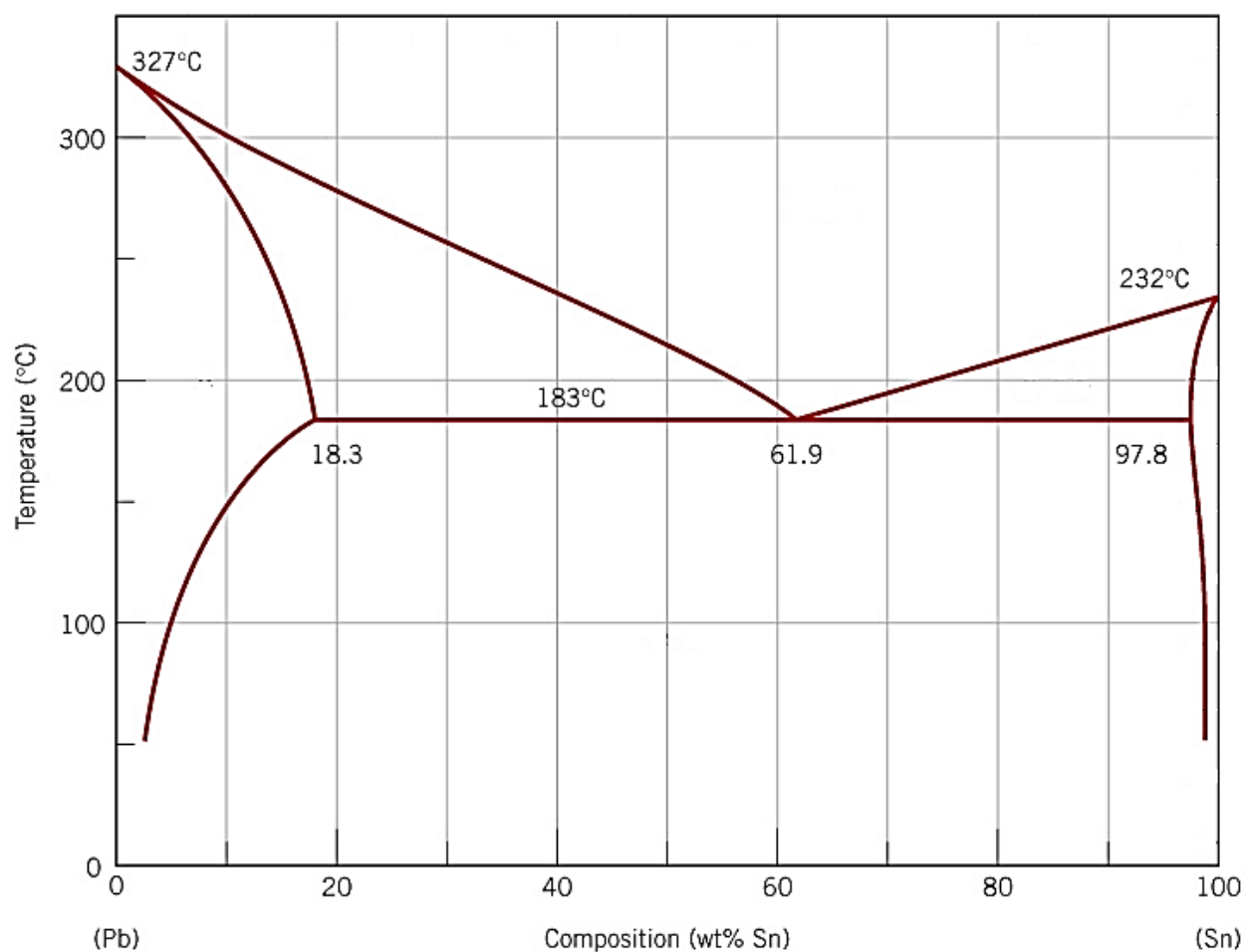


Рис.5

Таблица 1

| № варианта | Состав сплава | № варианта | Состав сплава |
|------------|---------------|------------|---------------|
| 1. | $Pb+10\%Sn$ | 6. | $Pb+50\%Sn$ |
| 2. | $Pb+15\%Sn$ | 7. | $Pb+61,9\%Sn$ |
| 3. | $Pb+20\%Sn$ | 8. | $Pb+80\%Sn$ |
| 4. | $Pb+30\%Sn$ | 9. | $Pb+90\%Sn$ |
| 5. | $Pb+40\%Sn$ | | |

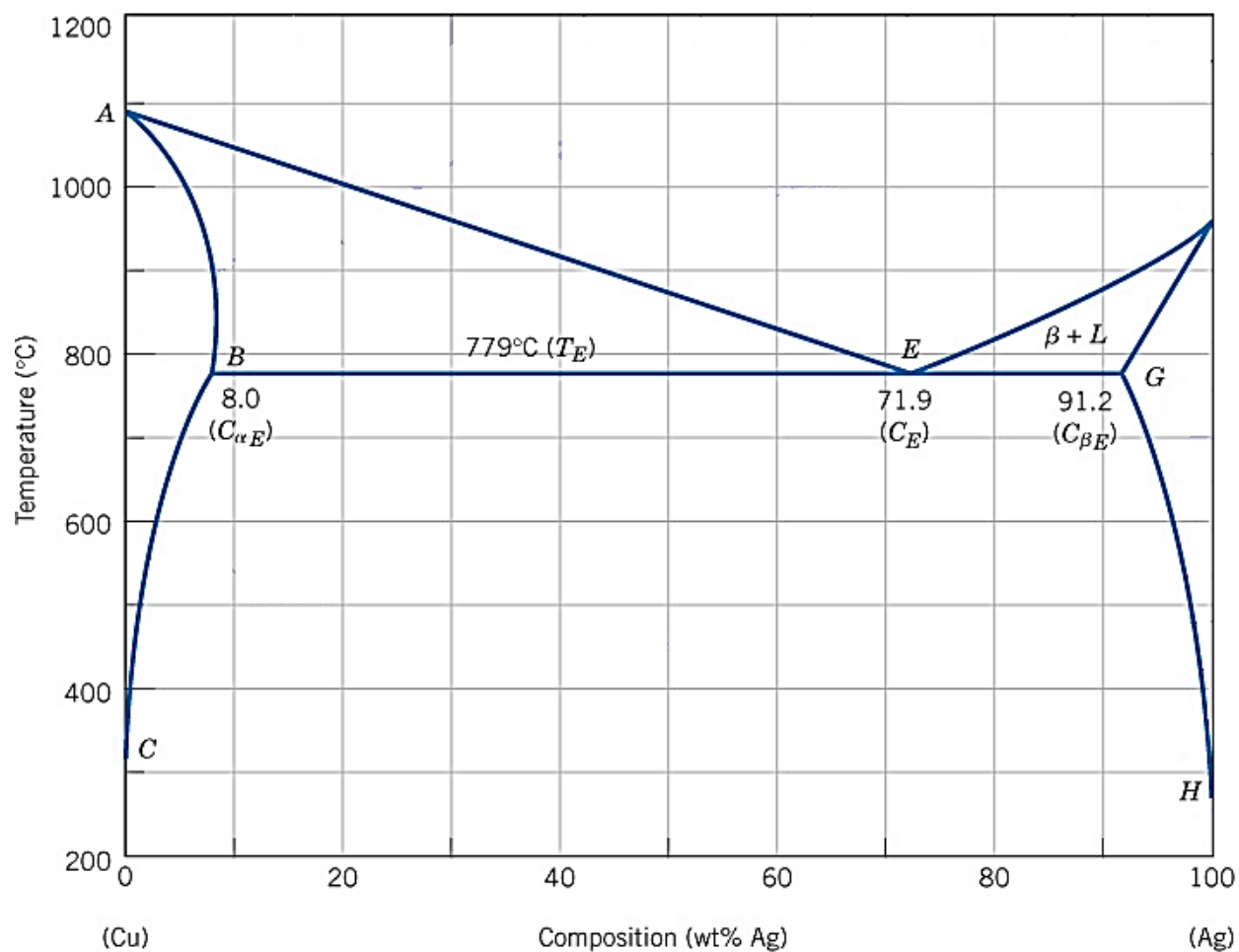
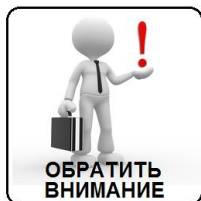


Рис.6

Таблица 2

| № варианта | Состав сплава | № варианта | Состав сплава |
|------------|-----------------|------------|-------------------|
| 1. | <i>Cu+5%Ag</i> | 7. | <i>Cu+60%Ag</i> |
| 2. | <i>Cu+10%Ag</i> | 8. | <i>Cu+71,9%Ag</i> |
| 3. | <i>Cu+20%Ag</i> | 9. | <i>Cu+80%Ag</i> |
| 4. | <i>Cu+30%Ag</i> | 10. | <i>Cu+90%Ag</i> |
| 5. | <i>Cu+40%Ag</i> | 11. | <i>Cu+95%Ag</i> |
| 6. | <i>Cu+50%Ag</i> | | |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ



Всякая диаграмма двойной системы справедлива только для равновесного состояния, наибольшему приближению к которому будет способствовать длительная выдержка сплава во времени при любой температуре или очень малая скорость нагрева и охлаждения. Диаграмма точно описывает фазовое состояние сплава (фазы, их состав и количество) и чем точнее, тем ближе сплав находится к состоянию равновесия. Сама диаграмма состояния, будучи по своей природе фазовой, по существу не характеризует структуру сплавов. Однако представление о структурном составе сплавов является очень важным, так как свойства сплавов при данном химическом составе определяются структурой (в атомном, микроскопическом и макроскопическом представлениях). Часто, когда рассматривают какой-либо сплав по равновесной диаграмме состояния и изучают происходящие в нем фазовые превращения, одновременно высказывают и предположения о возможной структуре сплава при комнатной температуре (при этом обычно имеют в виду микроструктуру).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. П. Гуляев. Металловедение : учебник для вузов / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. - 7-е изд., перераб. и доп. - Москва : Альянс, 2011. - 644 с

2. Металловедение : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению "Металлургия" : [в 2-х т.]. - Москва : МИСиС Т. 1 : Основы металловедения / И. И. Новиков, В. С. Золоторевский, В. К. Портной [и др.] ; под общ. ред. В. С. Золоторевского. - 2009. - 496 с.

3. Л.А. Мальцева, М.А. Гервасьев, А.Б. Кутьин. Материаловедение: учебное пособие / Л.А. Мальцева, М.А. Гервасьев, А.Б. Кутьин – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. - 339 с.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
"Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина"
Нижнетагильский технологический институт (филиал)
Кафедра металлургической технологии

Оценка работы _____
« ____ » _____ 20 ____

ОТЧЕТ

По лабораторной/практической работе
Дисциплина «Материаловедение»

Тема _____

Преподаватель _____ И.О.Фамилия
проф., докт. техн.
наук

Студенты _____ И.О.Фамилия
_____ И.О.Фамилия
_____ И.О.Фамилия

Направление «Металлургия»
Группа ТВ-000000-НТ

Нижний Тагил, 20 ____