

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра автомобилей и автомобильного хозяйства

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Лектинова

«ЮЗГУ» 2018 г.

«В»



## СПЕЦГЛАВЫ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ

Методические указания к практическим занятиям

Курск 2018

УДК 656.13.071.8

Составители: Е.В. Агеев, А.С. Переверзев

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент С.В. Пикалов

**Спецглавы металловедения** : методические указания к практическим занятиям / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Е.В. Агеев, А.С. Переверзев. – Курск, 2018. – 74 с.: ил. 13, табл. 10. – Библиогр.: с. 11.

Представлены общие сведения по решению практических задач по дисциплине «Спецглавы металловедения». Приведены основные методы решения задач, что помогает усвоить и глубже понять теоретические положения курса.

Пособие предназначено для аспирантов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 22.06.01 «Технологии материалов».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 13.11.18. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 4,3 . Уч.-изд. л. 3,9 . Тираж 100 экз. Заказ 2195 Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	5
Общие указания к практическим занятиям	6
Тема 1. Строение и свойства металлов и сплавов	7
1.1. Теоретическое введение	7
1.2. Строение и свойства металлов	13
1.3. Порядок выполнения работы	18
Тема 2. Связь между свойствами сплава и типом диаграммы состояния	20
2.1. Строение металлических сплавов	20
2.2. Понятие о диаграммах состояния	22
2.3. Задачи для самостоятельного решения	33
Тема 3. Изучение технологии литейного производства	37
3.1. Краткие теоретические сведения	37
3.2. Модели	39
3.3. Литниковая система	40
3.4. Задачи для самостоятельного решения	48
Тема 4. Определение основных свойств углеродистых сталей по их маркам	50
4.1. Краткие теоретические сведения	50
4.2. Задачи для самостоятельного решения	51
Тема 5. Определение основных свойств легированных сталей по их маркам	53
5.1. Краткие теоретические сведения	53
5.2. Задачи для самостоятельного решения	54
Тема 6. Определение основных свойств сплавов цветных металлов по их маркам	56
6.1. Краткие теоретические сведения	56
6.2. Задачи для самостоятельного решения	59
Тема 7. Выбор материала для деталей машин	62
7.1. Краткие теоретические сведения	62
7.2. Порядок выполнения работы	62
7.3. Задачи для самостоятельного решения	63
Тема 8. Технология получения деталей из порошков	64

8.1	Основные теоретические сведения	64
8.2	Получение порошка исходного материала	65
8.3	Формование заготовок из порошковых материалов	67
8.4	Спекание и окончательная обработка порошковых изделий	67
8.5	Эффективность технологии порошковой металлургии	69
8.6	Задание на практическую работу	70
Тема 9.	Подбор методов защиты детали от коррозии	71
9.1	Краткие теоретические сведения	71
9.2	Задание на практическую работу	72
	Библиографический список	73

## **ВВЕДЕНИЕ**

Металловедение – прикладная наука, изучающая взаимосвязи между составом, строением и свойствами металлов и сплавов в различных условиях.

Изучение этой дисциплины позволяет осуществить правильный и рациональный выбор материалов для конкретных условий работы той или иной детали, изделия или конструкции в целом.

Металлы и их сплавы повсеместно используются для конструкций машин, оборудования, инструмента и т.д. В последнее время в промышленности стали использоваться искусственно созданные материалы такие как керамика, пластмассы, синтетические волокна, каучуки, композиционные материалы. Однако, металлы и металлические материалы служат основным конструкционным материалом и в обозримом будущем по-прежнему будут доминировать.

Практическое значение различных металлов не одинаково. Наибольшее применение в технике приобрели черные металлы. На основе железа изготавливают более 90% всей металлопродукции. Однако цветные металлы обладают целым рядом ценных физико-химических свойств, которые делают их незаменимыми. Из цветных металлов наибольшее промышленное значение имеют алюминий, медь, магний, титан и др.

Таким образом, задача металловедения – правильный выбор металлического материала для изготовления деталей, изделий, работающих в конкретных, заданных условиях (возможное воздействие внешних нагрузок, влияние температуры, агрессивных сред, радиации и т.д.) и обеспечение надежности и длительной работоспособности этих изделий.

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

В процессе изучения дисциплины «Спецглавы металловедения» каждый студент должен выполнить практические занятия.

Практическое занятие состоит из кратких теоретических сведений, задания для выполнения.

Каждый студент выполняет практические занятия самостоятельно в соответствии с индивидуальным заданием, используя данные методические указания, учебники, учебные пособия, справочники, ГОСТы и др.

Отчет по практическим занятиям должен быть представлен в сброшюрованном виде на листах формата А4 (210x297). Все листы, кроме титульного, нумеруются. Титульный лист оформляется по форме, образец которой представлен на кафедре или выдается преподавателем. Отчет должен содержать следующие основные элементы: вариант исходных данных; методику решения задания и выводы; список использованных источников.

Отчет по практическим заданиям может быть выполнен с использованием персонального компьютера.

Изложение практического занятия должно быть кратким, логичным, четким, призванным дать обоснование принятым решениям. Сокращение слов в тексте не допускается. Значение символов и числовых коэффициентов, входящих в формулы, должны быть приведены непосредственно под формулой. Графические изображения могут быть выполнены на миллиметровой бумаге.

Практические занятия, выполненные не по вариантам и не по установленной форме, к защите не принимаются.

# Тема 1. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

## 1.1 Теоретическое введение

Металлы обладают высокими теплопроводностью и электрической проводимостью, ковкостью, блеском и другими свойствами, обусловленными наличием в них кристаллической решетке большого числа свободных электронов.

Обычно металлы применяют в виде сплавов. Металлический сплав представляет собой вещество, обладающее свойствами металлов и получаемое в результате взаимодействия двух или нескольких элементов.

Все металлы и сплавы можно разделить на черные (железо и сплавы на его основе) и цветные (все остальные металлы и сплавы).

### **Черные металлы**

**Железо** (Fe) блестящий серебристо-белый металл с сероватым оттенком, легко обрабатывается резанием и давлением. Его плотность  $7,8 \text{ г/см}^3$ , температура плавления 1812 К. В чистом виде из-за низкой прочности практически не используется.

**Сталь** - сплав железа с углеродом (до 2,14%) и другими элементами. Содержание углерода оказывает определенное влияние на свойства стали: с увеличением углерода возрастают, например, твердость, предел прочности сплава, но уменьшаются пластичность и ударная вязкость. Плотность стали  $7,7-7,9 \text{ г/см}^3$ .

По химическому составу стали подразделяются на *углеродистые* и *легированные*. Углеродистая сталь наряду с железом и углеродом содержит марганец (до 1%) и кремний (до 0,4%), а также вредные примеси (серу, фосфор). В состав легированных сталей помимо указанных компонентов, входят легирующие элементы (хром, никель, титан и др.), повышающие качество сплавов.

По назначению различают стали конструкционные, инструментальные и стали с особыми физическими и химическими свойствами. Конструкционные стали (содержание углерода примерно 0,4...0,7%) применяют для изготовления деталей машин, конструкций и сооружений. Эти стали должны обладать высокой

прочностью, пластичностью и вязкостью в сочетании с хорошими технологическими свойствами.

Инструментальные стали отличаются довольно высоким содержанием углерода (0,7...2,14%) и обладают высокой твердостью, прочностью, износостойкостью; применяются для изготовления различного инструмента.

По качеству стали классифицируют на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особовысококачественные.

По способу придания формы и размеров различают сталь литую (стальное фасонное литье), ковкую (поковки, свободнойковки и штамповки), катаную (прокат различного профиля: прутки, лента, лист и др.).

**Чугун** - сплав железа с углеродом (более 2,14%), некоторым количеством марганца, кремния, серы, а иногда другими элементами. Чугун более хрупок, чем сталь, он хуже сваривается, но обладает лучшими литейными свойствами. Поэтому изделия из чугуна получают исключительно литьем. Плотность чугуна 7-8 г/см<sup>3</sup>.

По назначению и химическому составу чугуны разделяются на литейные, передельные, ковкие и специальные.

В отливках из серого чугуна (литейного) углерод находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита, сообщающего излому серый цвет. Серый чугун сравнительно мягок, хорошо обрабатывается резанием и обладает отличными литейными свойствами, поэтому из него изготавливается чугунное литье для нужд машиностроения и других отраслей промышленности (корпусные детали, станины, блоки цилиндров и т.п.).

Отливки из белого чугуна (передельного) в изломе блестяще-белого цвета (отсюда и название), чугун хрупок, тверд и трудно обрабатывается резанием, т.к. углерод находится в связанном состоянии в виде карбида железа. Белые чугуны перерабатываются в сталь, поэтому их и называют передельными.

Ковкий чугун получают путем длительного отжига белого чугуна. Он имеет в структуре графит хлопьевидной формы и в связи с этим обладает довольно высокими механическими свойствами, прежде всего пластичностью. Ковкие чугуны



используют для изготовления ответственных и тонкостенных отливок (корпусы подшипников, картеры редукторов, звездочки приводных цепей и т.п.).

Для повышения качества чугунных отливок применяют модифицирование чугуна путем добавки незначительных количеств модификаторов. Большое распространение получил так называемый высокопрочный чугун с включениями шаровидного графита (модифицирование серого чугуна магнием или цезием). Предел прочности этого вида чугуна очень высок, основные физические и технологические качества его также выше, чем у серого. Из высокопрочного чугуна изготавливают как мелкие тонкостенные отливки (поршневые кольца), так и отливки массой более 10 т (шаботы ковочных молотов, рамы прессов и прокатных станов).

Специальные чугуны, называемые также ферросплавами (ферросилиций, ферромарганец, феррохром и др.), отличаются от обычного чугуна повышенным содержанием кремния и марганца, а также хрома, титана, вольфрама и других элементов: Применяются ферросплавы для раскисления и легирования стали.

### **Цветные металлы и сплавы**

**Алюминий** - легкий металл серебристо-белого цвета, его плотность  $2,7 \text{ г/см}^3$ , температура плавления 933 К. Механические свойства литого алюминия высокой чистоты и технического (отожженного)- алюминия соответственно следующие: предел прочности  $\sigma_B=50$  и 80 МПа, твердость НВ 150 и 250 МПа, относительное удлинение  $\delta=45$  и 30%.

Чистый алюминий - хороший проводник тепла и электрического тока, легко поддается холодной и горячей обработке давлением. Применяется для изготовления электропроводов, химической аппаратуры, для производства легких сплавов и т. п.

Основное промышленное применение получили алюминиевые сплавы, которые можно разделить на две группы: деформируемые и литейные.

Деформируемые сплавы обладают достаточно высокой прочностью и пластичностью ( $\sigma_B=120...350$  МПа, НВ 400...500,  $\delta =$

10... 25%) и поэтому сравнительно легко поддаются обработке как в горячем, так и в холодном состоянии (прокатке, прессованию, волочению, ковке, штамповку и др.); из деформируемых сплавов изготавливают прутки, листы, проволоку, прессованные профили, поковки и т.д.

К этой же группе сплавов относятся и дуралюмины сплавы со сложным химическим составом, основу которого составляют алюминий, медь и магний; для повышения коррозионной стойкости добавляют марганец. Дуралюмины характеризуются небольшой плотностью, высокой прочностью, достаточной твердостью и вязкостью ( $\sigma_B = 200...250$  МПа, НВ 400...500,  $\delta = 18...25\%$ ).

Из литейных алюминиевых сплавов изделия получают методом литья. Такие сплавы обладают высокой жидкотекучестью, что позволяет изготавливать тонкостенные, плотные отливки со сравнительно малой усадкой, без трещин, с высокой прочностью, коррозионной стойкостью, тепло- и электропроводностью ( $\sigma_B = 130...300$  МПа, НВ500... 800,  $\delta = 2...6\%$ ).

**Никель** - пластичный, блестящий белый металл с серебристым оттенком. Его плотность  $8,9$  г/см<sup>3</sup>, температура плавления 1726 К. Применяется главным образом в качестве легирующего элемента в производстве специальных сталей и сплавов (жаропрочных, нержавеющих и др.) и для защитных покрытий (никелирования).

Никелевые сплавы отличаются жаростойкостью, жаропрочностью, ценными магнитными или электрическими свойствами, высокой коррозионной стойкостью, прочностью и пластичностью (для мягких и твердых сплавов соответственно  $\sigma_B = 420...600$  и  $730...820$  МПа, НВ900...1400 и 1900,  $\delta = 40$  и  $3\%$ ). Благодаря этим ценным свойствам, никелевые сплавы используются для изготовления специальной аппаратуры, деталей точных измерительных приборов и т.п.

**Медь** - мягкий, пластичный металл розово-красного цвета, его плотность  $8,44$  г/см<sup>3</sup>, температура плавления 1356 К. Во влажной атмосфере покрывается зеленой пленкой окиси. Обладает высокой электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью, пластичностью (соответственно для литой и горячедеформируемой технической меди  $\sigma_B = 160$  и  $240$  МПа, НВ 160 и 40,  $\delta = 25$  и  $45\%$ ), что и определяет область ее применения: около 50% добываемой меди

идет на нужды электротехнической промышленности. На основе меди изготавливают также сплавы - латуни, бронзы и др.

Медно-цинковые сплавы с содержанием меди от 55 до 91% называются *латунями*. Добавка в сплав, таких элементов, как алюминий, марганец и др., повышает его твердость, прочность ( $\sigma_B=260...450$  МПа, НВ530...1000,  $\delta=25...65\%$ ). Латуни нашли широкое распространение в машиностроении для изготовления листов, лент, полос, труб, арматур, втулок и т.д.

**Бронзы** - это сплавы меди с любым другим металлом (кроме цинка), а также с металлоидами. В качестве компонентов сплава применяются олово, алюминий, бериллий, марганец, свинец, кремний и др. Разнообразные бронзы, обладающие высокой прочностью, пластичностью, антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью, применяются в различных отраслях техники.

**Магний** - очень легкий, пластичный, блестящий металл серебристо-белого цвета, плотностью  $1,74$  г/см<sup>3</sup> и температурой плавления 924 К. Механические свойства деформированного и отожженного магния:  $\sigma_B=190$  МПа, НВ400,  $\delta=11\%$ . Применяется для производства легких сплавов, раскисления получения ванадия, титана, урана, а также высокопрочного чугуна и др.

**Цинк** - блестящий металл голубовато-белого цвета, его плотность  $7,1$  г/см<sup>3</sup>, температуру плавления 692 К. На воздухе покрывается пленкой окиси. Применяется в качестве листового проката, в сплавах с другими металлами, для цинкования изделий, в химическом производстве и др.

**Свинец** - блестящий, мягкий металл синевато-серого цвета, очень пластичен, плотностью  $11,3$  г/см<sup>3</sup> температурой плавления 600 К, легко обрабатывается давлением в холодном-состоянии. Применяется для изготовления оболочек кабелей, аккумуляторных пластин, химической аппаратуры и в виде сплавов с другими металлами.

**Олово** - мягкий, пластичный (плотность  $7,3$  г/см<sup>3</sup>, температура плавления 505 К), серебристо-белый блестящий металл, медленно тускнеющий на воздухе. Применяется для изготовления белой жести (консервная промышленность), в виде сплавов с другими материалами (бронза, антифрикционные сплавы) и для пайки.

**Хром** - серебристо-белый блестящий металл плотностью  $7,2 \text{ г/см}^3$  и температурой плавления  $1823 \text{ К}$ . Применяется главным образом в качестве легирующего элемента при выплавке жаропрочной, легированной стали и других сплавов, а также для защитных покрытий (хромирование).

**Титан** - легкий, тугоплавкий, прочный и пластичный металл серебристо-белого цвета, его плотность  $4,5 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1938 \text{ К}$ . Чистый титан имеет следующие механические свойства:  $\sigma_B=250 \text{ МПа}$ ,  $\text{НВ}<1000$  и  $\delta=60\%$ , а у технического титана, содержащего значительно больше примесей,  $\sigma_B =300\text{...}550 \text{ МПа}$ ,  $\text{НВ } 2070$ ,  $\delta =27\text{...}30\%$ . Чем больше примесей, тем выше прочность и ниже пластичность. Используется в химической промышленности, для производства сплавов, характеризующихся высокой прочностью, небольшой плотностью, высокой коррозионной стойкостью. Титановые сплавы также широко применяются в самолето- и ракетостроении. С углеродом титан образует очень твердые карбиды. Механические свойства титановых сплавов в отожженном состоянии:  $\sigma_B=800\text{...}1000 \text{ МПа}$ ,  $\text{НВ } 2600\text{...}3000$ ,  $\delta = 8\text{...}20\%$ .

**Молибден** - серебристо-серый блестящий тугоплавкий металл, его температура плавления  $2893 \text{ К}$ , плотность- $10,2 \text{ г/см}^3$  ( $\sigma_B =800\text{...}2500 \text{ МПа}$ ,  $\text{НВ } 2000\text{...}2550$ ). Используется в производстве легированных сталей жаропрочных и кислотоупорных сплавов, для электроосветительных ламп и электровакуумных приборов.

**Вольфрам** - тяжелый тугоплавкий металл (плотность  $19,3 \text{ г/см}^3$  температура плавления  $3683 \text{ К}$ ) светло-серого цвета. Широко применяется при изготовлении электрических ламп (нити накаливания) деталей в радиоэлектронике, а также для легирования стали, в производстве твердых, износостойких и жаропрочных сплавов.

**Цирконий** - химически активный твердый тугоплавкий металл серебристо-белого цвета. Чистый йодный цирконий отличается пластичностью, хорошо обрабатывается, представляет собой прекрасный антикоррозионный материал, его плотность  $6,4 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $2125 \text{ К}$ . Благодаря своим свойствам цирконий применяется для изготовления деталей химической аппаратуры, медицинского инструмента, служит конструкционным

материалом в ядерной энергетике и т.д. Добавка его в стали и цветные сплавы позволяет значительно повысить их механические свойства.

Механические свойства технически чистого циркония оценивают значениями  $\sigma_B = 400 \dots 600 \text{ МПа}$  и  $\delta = 20 \dots 30\%$ .

**Бериллий** - легкий светло-серый металл с плотностью  $1,85 \text{ г/см}^3$  и температурой плавления  $1557 \text{ К}$ . Имея небольшую плотность, бериллий превосходит по прочности (при температуре  $773 \text{ К}$ ) даже титановые сплавы. Бериллий является также хорошим замедлителем нейтронов. Кроме того, он обладает большой коррозионной стойкостью, благодаря чему получил применение в авиации, ракетостроении и ядерной технике.

## 1.2 Строение и свойства металлов

Металлы – один из классов конструкционных материалов, характеризующийся определенным набором свойств:

К физическим свойствам металлов относят плотность, температуру плавления, цвет, блеск, непрозрачность, теплопроводность, электропроводность, тепловое расширение. По плотности металлы разделяют на легкие (до  $3000 \text{ кг/м}^3$ ) и тяжелые (от  $6000 \text{ кг/м}^3$  и выше); по температуре плавления — на легкоплавкие (до  $973 \text{ К}$ ) и тугоплавкие (свыше  $1173 \text{ К}$ ). Каждый металл или сплав обладает определенным, присущим ему цветом.

**Прочность** — способность металла в определенных условиях и пределах не разрушаясь воспринимать те или иные воздействия, нагрузки. Это свойство учитывается при изготовлении и проектировании изделий, выборе того или иного металла, сплава. Наибольшее напряжение, которое может выдержать металл, не разрушаясь, называют **пределом прочности**, или временным сопротивлением разрыву. Образцы для измерения прочности подвергают испытанию на специальной разрывной машине, которая постепенно, с возрастающей силой растягивает образец до полного разрыва.

**Упругость** — свойство металла восстанавливать свою форму после прекращения действия внешних сил, вызвавших деформацию. Наибольшее напряжение, после которого металл

возвращается к своей первоначальной форме, называют пределом упругости. Если при дальнейшем повышении нагрузки напряжение превышает предел упругости и удлинение сохраняется после разгрузки образца, такое состояние **называют остаточным удлинением**. Далее наступает предел текучести, т.е. образец продолжает удлиняться без увеличения нагрузки.

**Пластичность** — свойство металла под действием внешних сил изменять, не разрушаясь, свою форму и размеры и сохранять остаточные (пластические) деформации после устранения этих сил. Данное свойство также определяется и измеряется на разрывной машине. Высокой пластичностью обладают золото, серебро, платина и их сплавы. Менее пластичны медь, алюминий, свинец. Это свойство металлов имеет большое значение в давальном и штамповочном производстве, волочении, прокатке.

**Твердость** — свойство металлов сопротивляться проникновению в них другого тела под действием внешней нагрузки, что необходимо учитывать при выборе инструментов для обработки металлов резанием. Например, важно знать твердость обрабатываемого металла, чтобы подобрать соответствующую фрезу или сверло. Испытания металлов на твердость проводят на специальных приборах — твердометрах.

**Выносливость** — свойство металлов сопротивляться действию повторных нагрузок. Температурные условия значительно влияют на механические свойства металлов: при нагревании их прочность понижается, а пластичность увеличивается; при охлаждении некоторые металлы становятся хрупкими, например, сталь некоторых марок, цинк и его сплавы. Нехладноломкими являются алюминий и медь.

**Хрупкость** — некоторые металлы обладают хрупкостью и при нормальных условиях, примером является серый чугун. В производстве изделий учитывается способность металлов поддаваться обработке, т.е. такие их технологические свойства, как ковкость, жидкотекучесть, литейная усадка, свариваемость, спекаемость, обрабатываемость резанием и некоторые другие.

**Ковкость** — способность металлов подвергаться ковке и другим видам обработки давлением (прокатке, прессованию,

волочению, штамповке). Металлы могут коваться в холодном состоянии (золото, серебро, медь), а также в горячем (сталь).

**Износостойкость** – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

**Коррозионная стойкость** – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.

**Жаростойкость** – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.

**Жаропрочность** – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.

**Хладостойкость** – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.

**Антифрикционность** – способность материала прирабатываться к другому материалу.

**Жидкотекучесть** — свойство расплавленного металла заполнять литейную форму. Высокой жидкотекучестью обладают цинк и его сплавы, чугун, бронза, олово, силумин (сплав алюминия с кремнием), латунь, некоторые магниевые сплавы. Низкой жидкотекучестью обладают сталь, красная медь, чистое серебро.

**Литейная усадка**—уменьшение объема металла при переходе из жидкого состояния в твердое. Это необходимо учитывать при изготовлении формы для отливки. Отливка получается всегда меньше модели, по которой сделана форма. Металлы с большой усадкой для литья почти не используют.

**Свариваемость** — способность металла прочно соединяться путем местного нагрева и расплавления свариваемых кромок изделия. Сплавы свариваются труднее, чистые металлы — легче. Легко свариваются изделия из малоуглеродистой стали. Плохо поддаются сварке чугун и высокоуглеродистые легированные стали.

**Из химических свойств металлов** и их сплавов наиболее важными в производстве художественных изделий являются растворение (взаимодействие с кислотами и щелочами) и окисление (антикоррозийная стойкость, т.е.стойкость к воздействию окружающей среды — газов, воды и т.д.).

**Растворение (разъедание)** — способность металлов растворяться в сильных кислотах и едких щелочах. Это свойство широко используется в различных областях производства художественных изделий. Растворение бывает частичное и полное. Частичное применяется для создания чистой поверхности изделия.

**Окисление** — способность металлов соединяться с кислородом и образовывать окислы металлов.

Данные свойства обусловлены особенностями строения металлов.

Все металлы, затвердевающие в нормальных условиях, представляют собой кристаллические вещества, то есть укладка атомов в них характеризуется определённым порядком — периодичностью, как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием кристаллическая решётка.

Другими словами, **кристаллическая решетка** это воображаемая пространственная решетка, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело.

**Элементарная ячейка** — элемент объёма из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл.

Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла. Основными параметрами кристалла являются:

- размеры ребер элементарной ячейки.  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — периоды решетки — расстояния между центрами ближайших атомов. В одном направлении выдерживаются строго определенными.

- углы между осями ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ).

- координационное число ( $K$ ) указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке.

- базис решетки количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки.



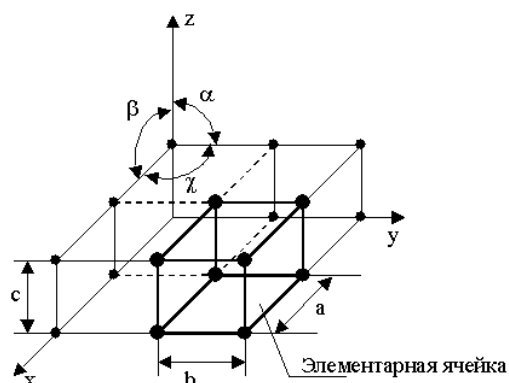


Рисунок 1 - Схема кристаллической решетки

Классификация возможных видов кристаллических решеток была проведена французским ученым О. Браве, соответственно они получили название «решетки Браве». Всего для кристаллических тел существует четырнадцать видов решеток, разбитых на четыре типа;

- примитивный – узлы решетки совпадают с вершинами элементарных ячеек;
- базоцентрированный – атомы занимают вершины ячеек и два места в противоположных гранях;
- объемно-центрированный – атомы занимают вершины ячеек и ее центр;
- гранецентрированный – атомы занимают вершины ячейки и центры всех шести граней.

В металлических материалах, как правило, формируются три типа кристаллических решеток: объемноцентрированная кубическая (ОЦК), гранецентрированная кубическая (ГЦК) и гексагональная плотноупакованная (ГПУ). Элементарные ячейки ОЦК, ГЦК и ГПУ решеток показаны на рисунке 2.

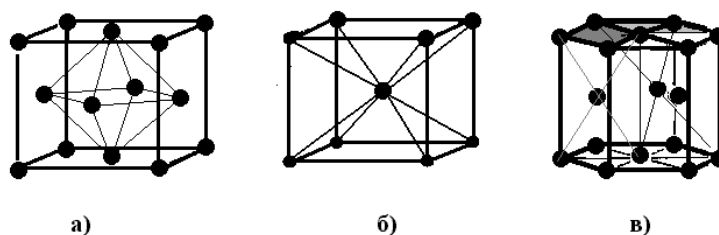


Рисунок 2 – Типы кристаллических решеток металлов.  
а) Г.Ц.К, б) О.Ц.К., в) Г.П.У.

Основными типами кристаллических решеток являются:

1. Объемно - центрированная кубическая (ОЦК), атомы располагаются в вершинах куба и в его центре
2. Гранецентрированная кубическая (ГЦК), атомы располагаются в вершинах куба и по центру каждой из 6 граней
3. Гексагональная, в основании которой лежит шестиугольник:
  - простая – атомы располагаются в вершинах ячейки и по центру 2 оснований (углерод в виде графита);
  - плотноупакованная (ГПУ) – имеется 3 дополнительных атома в средней плоскости (цинк).

ОЦК решетку имеют такие металлы, как вольфрам, молибден, ниобий, низкотемпературные модификации железа, титана, щелочные металлы и ряд других металлов. Серебро, медь, алюминий, никель, высокотемпературная модификация железа и ряд других металлов имеют ГЦК решетку. ГП решетка у магния, цинка, кадмия, высокотемпературной модификации титана.

### **1.3 Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с плакатом «Металлы и сплавы» и со стандартами на металлы и сплавы.
2. Рассмотреть образцы металлов и сплавов, изучить их свойства и определить область применения.
3. Рассмотреть изломы и определить материал образца.
4. Определить плотность металла одного образца по указанию преподавателя.
5. Ознакомиться с образцами профиля проката, поковками свободнойковки и штамповки, стальным и чугунным фасонным литьем.
6. Результаты изучения и наблюдения свойств и внешних признаков образцов записать в таблице 1.
7. В таком же порядке изучаются неметаллические конструкционные материалы.

Таблица 1 – Классификация свойств металлов и сплавов

Номер образца	Название материала образца	Номер ГОСТа	Цвет и другие внешние признаки	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура плавления, К	Механические и другие свойства известные исполнителю	Область применения
1	2	3	4	5	6	7	8

## Тема 2. СВЯЗЬ МЕЖДУ СВОЙСТВАМИ СПЛАВА И ТИПОМ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ

### 2.1 Строение металлических сплавов

Основными конструкционными материалами являются металлические сплавы - вещества, полученные сплавлением двух или более элементов (компонентов).

К основным понятиям в теории сплавов относятся; система, компонент, фаза.

**Система** - группа тел, выделяемый для наблюдения и изучения. В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой (однокомпонентной) системой.

**Компонентами** называют вещества, образующие систему (сплав). В металлических сплавах компонентами могут быть элементы (металлы и неметаллы) и химические соединения (не диссоциирующие при нагревании).

**Фазой** называется однородная часть системы, отделенная от другой части системы (фазы) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура вещества изменяется скачком,

Следовательно, однородная жидкость является однофазной системой, а механическая смесь двух видов кристаллов - двухфазной, так как каждый кристалл отличается от другого по составу или по строению и они отделены один от другого поверхностью раздела. В твердых сплавах фазами могут быть зерна чистого металла, зерна твердого раствора и зерна химического соединения. Механическая смесь двух компонентов А и В образуется тогда, когда они не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения. При этих условиях сплав будет состоять из кристаллов А и В, отчетливо выявляемых на микроструктуре. Рентгенограмма сплава покажет наличие двух решеток компонентов А и В.

Твердыми растворами называют такие твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться.

Рентгеновский анализ обнаруживает в твердом растворе, как и у чистого металла, только один тип решетки. Следовательно, в отличие от механической смеси твердый раствор является однофазным, состоит из одного вида кристаллов, имеет одну кристаллическую решетку; в отличие от химического соединения твердый раствор существует не при определенном соотношении компонентов, а в интервале концентраций. В твердом растворе одно из входящих в состав сплава веществ сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а второе вещество, утратив свое кристаллическое строение, в виде отдельных, атомов распределяется в кристаллической решетке первого. Первое вещество является растворителем, второе - растворимым.

В зависимости от характера распределения атомов растворимого элемента различают твердые растворы внедрения, замещения и вычитания. Независимо от типа твердого раствора общим для них является то, что они однофазны и существуют в интервале концентраций. Для твердых растворов характерен металлический тип связи. В твердых растворах внедрения атомы растворимого элемента распределяются в кристаллической решетке металла-растворителя, занимая места между его атомами.

В твердых растворах замещения атомы растворимого элемента занимают места атомов основного металла. Посторонние атомы могут замещать атомы растворителя в любых местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами.

Твердые растворы замещения могут быть ограниченными и неограниченными. Одно из условий неограниченной растворимости - размерный фактор: чем больше различие в атомных радиусах, тем меньше растворимость.

Неограниченная растворимость компонентов присуща системам, в которых атомные радиусы элементов различаются не более чем на 8...15%.

С понижением температуры в твердых растворах замещения может произойти перераспределение атомов, в результате которого атомы растворенного элемента займут строго определенные места в решетке растворителя. Такие твердые растворы называют упорядоченными твердыми растворами, а их структуру -

сверхструктурой. Температуру перехода неупорядоченного состояния в упорядоченное называют точкой Курнакова.

Твердые растворы вычитания образуются на основе некоторых химических соединений, когда к химическому соединению добавляется один из входящих в его формулу элементов. Атомы этого элемента занимают нормальное положение в решетке соединения, а места, где должны были бы находиться атомы второго компонента, оказываются незаполненными, пустыми (поэтому эти растворы иногда называют растворами с дефектной решеткой).

Образование любого типа твердых растворов сопровождается изменением параметров решетки металла-растворителя. Это важный момент, определяющий изменение свойств твердого раствора.

Химическое соединение чаще всего образуется между элементами, расположенными далеко друг от друга в таблице Д.И. Менделеева, т. е. существенно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между атомами однородными.

Химические соединения имеют ряд особенностей, отличающих их от твердых растворов:

а) соотношение чисел атомов элементов, образующих соединение, строго определенное, соответствующее стехиометрической пропорции, выраженной формулой вида  $A_nB_m$ ;

б) они имеют свою кристаллическую решетку, отличную от решеток элементов, образовавших это соединение, с правильным упорядоченным расположением атомов компонентов в кристаллической решетке;

в) свойства соединения заметно отличаются от свойств исходных элементов;

г) как и чистые металлы, они имеют постоянную температуру плавления (диссоциаций). Как правило, химические соединения обладают большой твердостью и очень хрупки.

## 2.2 Понятие о диаграммах состояния

**Диаграмма состояния** - графическое изображение состояния

любого сплава изучаемой системы в зависимости от его концентрации и температуры.

Диаграмма состояния показывает равновесные, устойчивые состояния, т.е. такие, которые при данных условиях обладают минимальной свободной энергией. Они имеют большое теоретическое и практическое значение, так как изучение любого сплава начинается с построения и анализа диаграммы состояния с целью изучения фаз и структурных составляющих сплава.

С помощью диаграммы состояния можно установить возможность проведения термической обработки и ее режимы, температуры литья, горячей пластической деформации и т.д.

В любой системе число фаз, находящихся в равновесии, зависит от внутренних и внешних условий. Закономерности всех изменений, происходящих в системе, подчинены общему закону равновесия, который называется правилом фаз или законом Гиббса, который выражает зависимость между числом степеней свободы  $S$  (вариантностью) системы, числом компонентов  $K$  и числом фаз системы  $\Phi$ , находящихся в равновесии. Правило фаз записывают в виде:  $S = K - \Phi + 1$  (при постоянном атмосферном давлении).

Под числом степеней свободы (вариантностью) системы понимают число внешних и внутренних факторов (температура, давление и концентрация), которое можно изменять без изменения числа фаз в системе.

Построение диаграмм состояния осуществляют различными экспериментальными методами. Чаще всего используют метод термического анализа, сущность которого заключается в отборе нескольких сплавов данной системы с различным соотношением масс входящих в них компонентов. Сплавы помещают в огнеупорные тигли и нагревают в печи. После расплавления сплавов тигли со сплавами медленно охлаждают и фиксируют скорость охлаждения. По полученным данным строят кривые охлаждения в координатах время - температура.

В результате измерений получают серию кривых охлаждения, на которых при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба и температурные остановки.

Температуры, соответствующие фазовым превращениям, называются критическими точками. Точки, отвечающие началу

кристаллизации, называют точками ликвидус (жидкий), а конца кристаллизации - точками солидус (твердый).

По полученным кривым охлаждения (критическим точкам) для различных сплавов изучаемой системы строят диаграмму состояния в координатах; по оси абсцисс - концентрация компонентов, по оси ординат - температура.

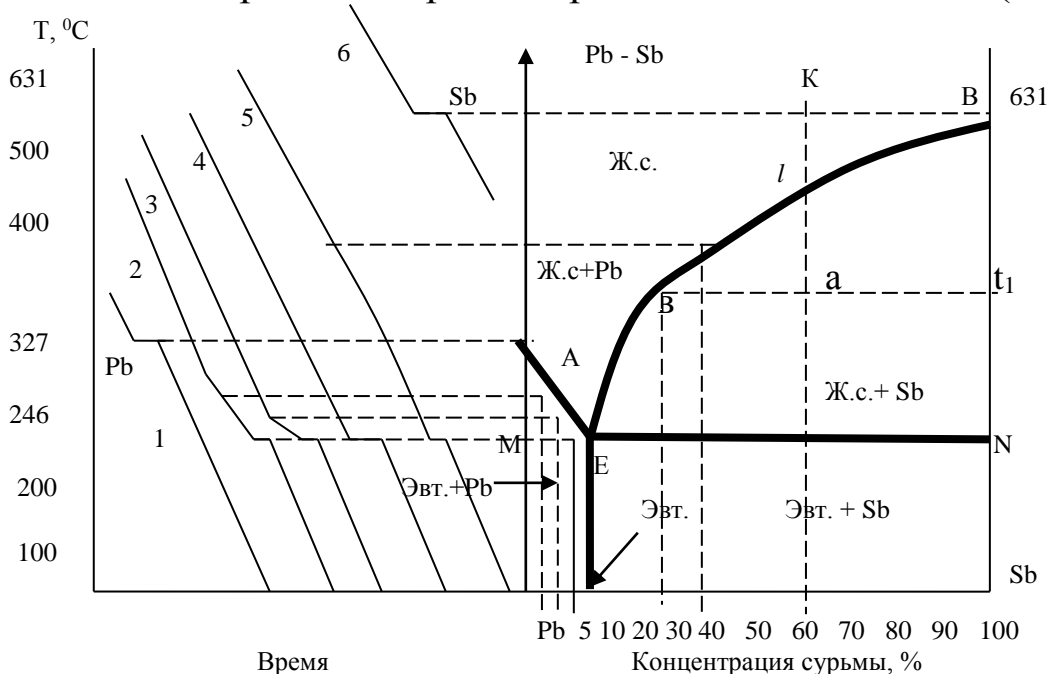
Рассмотрим диаграмму состояния для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов (1 рода).

В этом случае оба компонента в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твердом состоянии нерастворимы и не образуют химических соединений. С некоторым приближением можно принять, что такими компонентами могут быть свинец - сурьма, образующие данную систему (рисунок 1).

Для построения этой диаграммы выбирают три-четыре сплава различной концентрации, перенасыщенных либо свинцом, либо сурьмой, и на вспомогательной диаграмме температура – время (рисунок 1 слева) наносят, пользуясь данными наблюдений температуры кристаллизации чистого свинца и чистой сурьмы, а также нижеперечисленных сплавов:

1. 95 % Pb; 5 % Sb;
2. 90 % Pb; 10 % Sb;
3. 87 % Pb; 13 % Sb;
4. 60 % Pb; 40 % Sb.

Вначале вычерчивают кривые кристаллизации Pb и Sb (1 и 6).





## Рисунок 1 – Диаграмма состояния сплавов свинец-сурьма

Свинец кристаллизуется при  $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ , сурьма – при  $631\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Их кристаллизация отмечена горизонтальным участком кривой. Первый сплав (кривая 2) начинает кристаллизоваться при  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  с выделением избыточных кристаллов свинца. Оставшаяся часть сплава бедна свинцом, значит, концентрация сурьмы в ней возрастает, и, когда она достигает  $13\%$ , при  $246\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит окончательная кристаллизация (см. горизонтальный участок кривой). Вторым сплавом (кривая 3) кристаллизуется аналогично первому, но точка начала кристаллизации у него ниже, а кончается кристаллизация также при  $246\text{ }^{\circ}\text{C}$ , когда концентрация сурьмы достигает  $13\%$ . Третий сплав (кривая 4) кристаллизуется полностью при одной температуре ( $246\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) с одновременным выпадением кристаллов свинца и сурьмы. Четвертый сплав (кривая 5) начинает кристаллизоваться при  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  с выделением избыточных кристаллов сурьмы. В жидком сплаве сурьмы становится все меньше, и, когда ее содержание снизится до  $13\%$ , при  $246\text{ }^{\circ}\text{C}$  произойдет окончательная кристаллизация.

Все точки начала и конца кристаллизации свинца, сурьмы и указанных четырех сплавов перенесем на основную диаграмму. Соединив все точки начала кристаллизации, получают линию АЕВ. Эта линия называется ликвидусом. Все сплавы, лежащие выше ликвидуса, находятся в жидком состоянии. Линия МЕН называется солидусом. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии. В интервале между ликвидусом и солидусом имеется две фазы: жидкий сплав (ж.с.) и кристаллы одного из компонентов. В области МАЕ – жидкий сплав и кристаллы свинца, а в области ЕВН – жидкий сплав и кристаллы сурьмы.

Сплав, содержащий  $13\%$  сурьмы, кристаллизующийся при одной температуре, называется эвтектическим. Он имеет самую низкую температуру кристаллизации и отличается равномерной структурой. Сплавы, содержащие менее  $13\%$  сурьмы, лежащие влево от эвтектики, называются доэвтектическими, а более  $13\%$  сурьмы – заэвтектическими. Структуры эвтектического, доэвтектического и заэвтектического сплавов сильно различаются между собой. Эвтектика – структура с равномерно

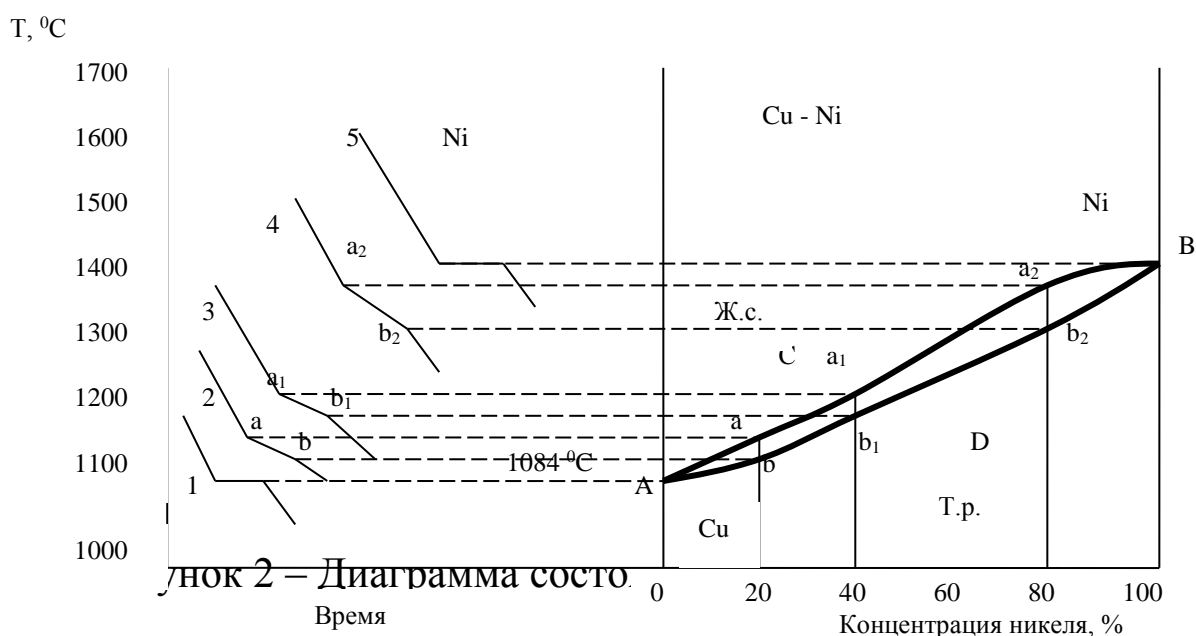
распределенными компонентами. В доэвтектических сплавах наряду с эвтектикой имеются кристаллы свинца, в заэвтектических – наряду с эвтектикой кристаллы сурьмы.

Различие структур определяет различие свойств сплавов. Для определения состояния сплава при любой температуре и нахождения точек кристаллизации с помощью диаграммы нужно из точки концентрации данного сплава восстановить перпендикуляр до пересечения с линиями ликвидуса и солидуса. Точки пересечения перпендикуляра укажут начало и конец кристаллизации.

Практическое применение диаграммы свинец – сурьма находят, например, при выборе подшипникового сплава. Пользуясь этой диаграммой, установили, что наиболее пригодными для подшипниковых сплавов являются заэвтектические сплавы, состоящие из мягкой эвтектики и твердых вкраплений сурьмы. Мягкая основа несколько изнашивается, а твердые кристаллы сурьмы сохраняются, и поэтому в микроуглублениях мягкой основы хорошо удерживается смазка. Наиболее подходящими сплавами для подшипников из всех заэвтектическими оказались сплавы с содержанием 15- 20 % Sb, так как температуры кристаллизации (плавления) этих сплавов (340-360 °С) соответствуют температурам, при которых происходит заливка подшипников.

Итак, по диаграмме состояния первого типа затвердевают те сплавы, компоненты которых в жидком состоянии неограниченно растворяются друг в друге, а в твердом состоянии образуют простую механическую смесь кристаллов обоих компонентов. По диаграмме состояния второго типа затвердевают сплавы, компоненты которых обладают неограниченной растворимостью как в жидком, так и в твердом состоянии.

Диаграмма 2-го рода соответствует сплавам, у которых компоненты и в жидком и в твердом состоянии образуют раствор. К ним относятся сплавы медь – никель, железо – никель и др. Диаграмма состояния медь – никель приведена на рис. 2.



Кривая 1 относится к чистой меди, точка кристаллизации которой  $1083\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а кривая 5 – к никелю, точка кристаллизации которого  $1452\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Кривая 2 характеризует кристаллизацию 20 %-го сплава никеля (или 80 %-го сплава меди). Началу кристаллизации этого сплава соответствует точка а, когда кристаллизуется решетка меди, в которой имеется 20 % никеля. В точке б кристаллизация заканчивается.

Аналогично кристаллизуется 40 %-ный (кривая 3) и 80 %-ный (кривая 4) сплавы никеля, однако точки начала ( $a_1$  и  $a_2$ ) и конца ( $b_1$  и  $b_2$ ) кристаллизации у первого сплава ниже, чем у второго.

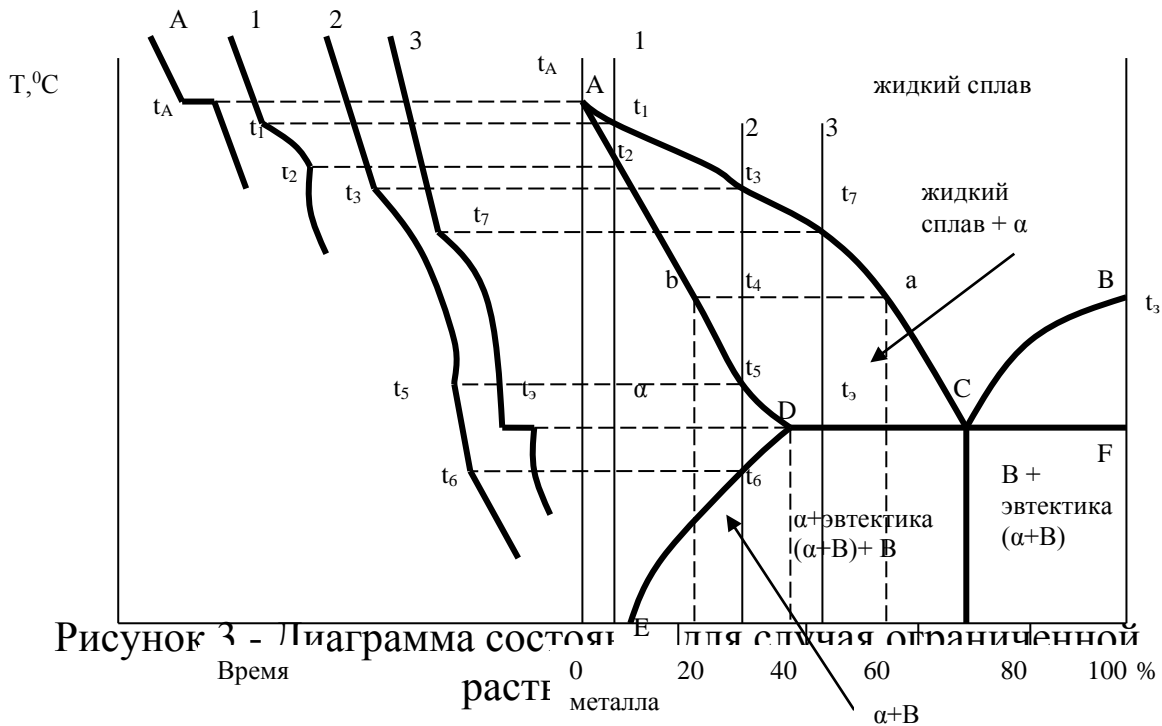
Перенеся все точки начала и конца кристаллизации меди и никеля и указанных выше сплавов на основную диаграмму (рис. 9 справа) и соединив эти точки, получим линии ликвидуса АаВ и линию солидуса AbВ. Выше линии АаВ сплавы меди с никелем находятся в жидком состоянии, а ниже линии AbВ – в твердом. В зоне между АаВ и AbВ имеются две фазы: жидкий сплав и кристаллы твердого раствора никеля в меди. Диаграмма 2-го рода отличается от диаграммы 1 –го рода тем, что здесь образуется одна кристаллическая решетка, а значит, нет и эвтектического сплава, как это наблюдается у сплавов, образующих механическую смесь. Подавляющее число металлов в жидком состоянии образует однородные жидкие растворы.

При переходе в твердое кристаллическое состояние во многих сплавах сохраняется однородность, следовательно, сохраняется

взаимная растворимость. Такая однородная фаза называется твердым раствором.

Диаграмма состояния третьего типа рассматривает случай, когда два металла обладают полной взаимной растворимостью в жидком состоянии и ограниченной растворимостью в твердом состоянии; при этом растворимость в твердом состоянии уменьшается с понижением температуры (например, свинец - олово).

На рисунке 3 приведена диаграмма состояния для этого случая в общем виде. Линии AC и CB соответствуют линии ликвидуса. По линии AC из жидкого сплава кристаллизуется твердый раствор компонента В в компоненте А ( $\alpha$ ), по линии СВ – чистый компонент В.



Линия ADCF отвечает линии солидуса. Точка D характеризует предельную растворимость В и А при эвтектической температуре  $t_3$ , а точка Е – предельную растворимость компонента В в компоненте А при нормальной комнатной температуре. Следовательно, линия DE показывает изменение растворимости В и А с понижением температуры; каждая точка линии DE указывает на предел растворимости В и А (предел насыщения) при соответствующей температуре.

В точке С одновременно из жидкой фазы кристаллизуется

твердый раствор В в А ( $\alpha$ ) предельной растворимости (точка D) и компонент В с образованием эвтектики, т.е. механической смеси обеих фаз.

Рассмотрим процесс кристаллизации сплавов 1, 2, 3. Кристаллизация сплава 1 начинается при температуре  $t_1$  и заканчивается при температуре  $t_2$ . После затвердевания сплав состоит только из твердого раствора  $\alpha$  (В и А) и при дальнейшем понижении температуры никаких превращений не испытывает. Процесс кристаллизации сплава 2 начинается при температуре  $t_3$  и заканчивается при температуре  $t_5$ .

Состав жидкой фазы в процессе кристаллизации меняется по линии ликвидуса, а твердой фазы по линии солидуса. Так, например, при температуре  $t_4$  состав жидкой части сплава определяется точкой а, а кристаллов твердого раствора точкой б. После окончания кристаллизации сплав 2 будет состоять только из твердого раствора  $\alpha$ . После достижения температуры  $t_6$  твердый раствор этого состава оказывается насыщенным, а при более низких температурах – пересыщенным, что влечет за собой его распад с выделением избыточного количества металла В. Следовательно, при температуре ниже  $t_6$  сплав состоит из двух фаз:  $\alpha + В$ . Состав  $\alpha$  – раствора с понижением температуры изменяется по точкам линии DE и при нормальной комнатной температуре сплав будет состоять из кристаллов твердого раствора  $\alpha$  состава, отвечающего точке E, и кристаллов металла В.

Сплав 3 начинает затвердевать при достижении температуры  $t_7$  и окончательно затвердевает при температуре  $t_9$ .

В процессе кристаллизации состав жидкой части сплава непрерывно меняется по линии ликвидуса, стремясь к эвтектическому составу (точка С), а состав твердой фазы изменяется по линии солидуса в сторону предельной растворимости (точка D). Соотношение между жидкой и твердой фазой в процессе кристаллизации сплава определяется по правилу отрезков. По достижении температуры  $t_8$  состав жидкой фазы достигает эвтектической концентрации С, и сплав окончательно затвердевает с одновременным выделением из жидкой фазы кристаллов твердого раствора  $\alpha$  (концентрации точки D) и кристаллов компонента В, образующих эвтектику. Следовательно,

после затвердевания сплав будет состоять из первичных предельно насыщенных (точка D) кристаллов твердого раствора  $\alpha$ , выделившихся в интервале температур  $t_7 - t_3$  и эвтектики ( $\alpha_D + B$ ), образовавшейся при температуре  $t_3$ .

Вследствие изменения растворимости B в A при дальнейшем понижении температуры твердый раствор  $\alpha$  (как свободный, так и входящий в состав эвтектики) претерпевает распад с выделением избыточного металла B. После окончательного охлаждения состав  $\alpha$  – фазы определится точкой E.

Сплав, имеющий концентрацию, соответствующую точке C, после затвердевания будет состоять из одной эвтектики ( $\alpha + B$ ).

Кристаллизация заэвтектических сплавов будет протекать совершенно аналогично сплаву 3, только вместо первичных кристаллов  $\alpha$  будет выделяться кристаллы чистого компонента B.

Свойства сплавов, как это показал Н.С. Курнаков, изменяются в области однородных твердых растворов по кривой, а в области смеси фаз - по прямой; крайние точки на прямой соответствуют свойствам предельно насыщенных твердых растворов. Как показал академик А.А. Бочвар, чем больше интервал температур, в котором происходит процесс кристаллизации, тем меньше жидкотекучесть сплава, т.е. тем хуже сплав заполняет форму, тем большее развитие получает рассеянная по всему мелкая пористость и тем выше склонность сплава к образованию горячих трещин. Наилучшими литейными свойствами обладают сплавы, затвердевающие в небольшом интервале температур, в частности эвтектический состав. Сплавы, имеющие структуру однородного твердого раствора, обладают высокой пластичностью и легко деформируются как в холодном, так и в горячем состоянии. Пластическая деформация сплавов, имеющих двухфазное строение, связана со значительно большими трудностями. Особенно снижается пластичность при появлении в структуре эвтектики.

Поэтому в сплавах, предназначенных для обработки давлением, максимум растворимости при эвтектической температуре является верхним пределом содержания компонентов. Наоборот, для обеспечения высоких литейных свойств концентрация компонентов в литейных сплавах обычно превышает максимальную растворимость в твердом состоянии при

эвтектической температуре. Сплавы, обладающие ограниченной растворимостью в твердом состоянии, могут быть упрочнены путем термической обработки.

По диаграмме состояния четвертого типа (рис. 4) затвердевают сплавы, компоненты которых в жидком состоянии неограниченно растворяются друг в друге, а при затвердевании образуют химическое соединение.

Химическое соединение представляет собой фазы постоянного состава, обычно имеющие свою особую кристаллическую решетку, отличную от решеток образующих его компонентов. Поэтому свойства химического соединения самостоятельны и не зависят от свойств компонентов.

На базе химических соединений могут образовываться твердые растворы. При образовании твердого раствора кристаллическая решетка химического соединения сохраняется, а избыточное количество атомов, например компонента В, замещает в решетке часть атомов компонента А.

Нормальные валентные соединения типа  $Mg_2Si$ ,  $Mg_2Sn$  (станнум),  $Mg_2Pb$  в металлических сплавах образуются редко. В большинстве случаев образующиеся в металлических системах химические соединения не подчиняются нормальным правилам валентности.

В металлических системах большое значение имеют электронные соединения.

Соединения этого типа имеют совершенно определенное отношение числа валентных электронов к числу атомов, входящих в соединение. Так, существует ряд соединений, у которых это отношение равно 3:2, у других 21:13, у третьих 7:4. Каждому из этих соотношений соответствует и определенный тип кристаллической решетки. Все соединения, имеющие отношение числа валентных электронов к числу атомов, равное 3:2, имеют кристаллическую решетку центрированного куба. К этому типу относятся такие соединения, как  $CuZn$  (цинкумат),  $Cu_3Al$ ,  $Cu_5Sn$  и другие, известные под названием  $\beta$ -фаз.

Соединениям  $Cu_5Zn_8$ ,  $Cu_9Al_4$  и другим, имеющим отношение 21:13, свойственна сложная кубическая решетка; эти соединения носят название  $\gamma$ -фазы.

Наконец, таким соединениям, как  $\text{CuZn}_3$ ,  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Cu}_3\text{Si}$  и другим, имеющим отношение 7:4, свойственна гексагональная решетка. Эти соединения носят название  $\epsilon$ -фазы. Большая группа металлов (Fe, Cr, Mo, W, Ti и др.) образуют с углеродом, азотом, водородом, и бором, имеющими малый атомный радиус, химические соединения, которые носят название фазы внедрения. Эта группа соединений образуется при условии, если отношение атомного радиуса металлоида к атомному радиусу металла меньше или равно 0,59. В этом случае образуется соединение, имеющее формулу  $\text{M}_4\text{X}$  ( $\text{Mn}_4\text{N}$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$  и т.д.),  $\text{M}_2\text{X}$  ( $\text{W}_2\text{N}$ ,  $\text{Fe}_2\text{N}$ ),  $\text{MX}$  ( $\text{TiN}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{WC}$ ,  $\text{VC}$ ) или ( $\text{ZrH}_2$ ).

Металлические атомы в фазах внедрения образуют одну из наиболее простых кристаллических решеток (кубическую, гексагональную), в которую внедряются атомы металлоидов, занимая в ней свободные поры.

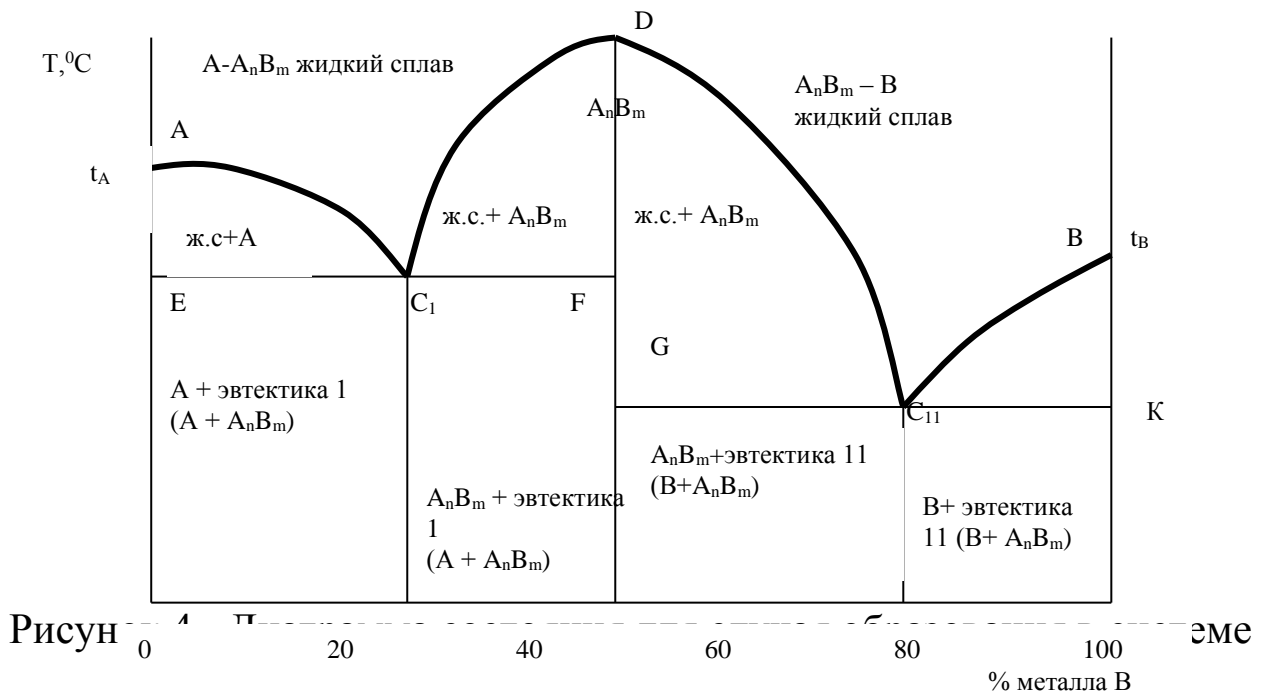


Диаграмма состояния для случая, когда два компонента обладают полной взаимной растворимостью в жидком состоянии, не растворимы в твердом состоянии и образуют устойчивое химическое соединение, представлена на рис. 4.

Процесс кристаллизации сплавов  $\text{A-A}_n\text{B}_m$  начинается при температурах, отвечающих линии  $\text{AC}_1\text{D}$ ; при этом по линии  $\text{AC}_1$



кристаллизуется металл  $A$ , а по линии  $C_1D$  – химическое соединение  $A_nB_m$ . Окончание процесса кристаллизации соответствует эвтектической температуре (линия  $EC_1F$ ).

Кристаллизация сплавов  $A_nB_m - B$  начинается при температурах, соответствующих линии  $DC_{11}B$ ; при этом по линии  $DC_{11}$  кристаллизуется соединение  $A_nB_m$ , а по линии  $C_{11}B$  – чистый металл  $B$ . Конец кристаллизации соответствует эвтектической линии  $GC_{11}K$ . Как видно из рис. 11, в данной системе образуются две эвтектики; одна  $C_1$ , состоящая из смеси кристаллов  $A$  и соединения  $A_nB_m$ , и другая  $C_{11}$ , состоящая из смеси соединения  $A_nB_m$  и кристаллов  $B$ .

В первой системе  $A - A_nB_m$  доэвтектические сплавы состоят из первичных кристаллов компонента  $A$  и эвтектики  $C_1$ , а заэвтектические сплавы – из кристаллов соединения  $A_nB_m$  и эвтектики  $C_1$ . Во второй системе  $A_nB_m - B$  доэвтектические сплавы содержат, кроме эвтектики  $C_{11}$ , первичные кристаллы соединения  $A_nB_m$  и заэвтектические сплавы – кристаллы чистого металла  $B$ .

Однако следует иметь в виду, что в подавляющем большинстве случаев чистые компоненты и химическое соединение образуют области твердых растворов в ограниченных пределах. В этом случае диаграмму следует рассматривать как сложную, состоящую из двух диаграмм эвтектического типа с ограниченной растворимостью в твердом состоянии.

### 2.3 Задачи для самостоятельного решения

1. Вычертить схемы четырех типов диаграмм состояния и построить графики изменения свойств сплавов в зависимости от их состава.

2. Охарактеризовать линии, точки и области диаграмм состояния указанных типов.

3. Для всех диаграмм состояния (по заданию преподавателя) построить кривую охлаждения сплава и определить при конкретной температуре концентрацию и количество фаз сплава, пользуясь правилом фаз и правилом отрезков.

4. Используя полученные данные описать изменение механических, физико-химических и технологических свойств

СПЛАВОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ.

Таблица 1 – Варианты заданий

№ варианта	Температура, °С/ Концентрация							
	I тип	Sn-Zn	II тип	Cu-Ni	III тип	Pb-Sn	IV тип	Mg-Ca
1	210	95-5	1490	95-5	190	95-5	635	95-5
2	220	90-10	1480	90-10	195	90-10	630	90-10
3	230	85-15	1470	85-15	200	85-15	625	85-15
4	240	80-20	1460	80-20	205	80-20	620	80-20
5	250	75-25	1450	75-25	210	75-25	615	75-25
6	260	70-30	1440	70-30	215	70-30	610	70-30
7	270	65-35	1430	65-35	220	65-35	605	65-35
8	280	60-40	1420	60-40	225	60-40	600	60-40
9	290	55-45	1410	55-45	230	55-45	595	55-45
10	300	50-50	1400	50-50	235	50-50	590	50-50
11	310	45-55	1300	45-55	240	45-55	585	45-55
12	320	40-60	1290	40-60	245	40-60	580	40-60
13	330	35-65	1280	35-65	250	35-65	575	35-65
14	340	30-70	1270	30-70	255	30-70	570	30-70
15	350	25-75	1260	25-75	260	25-75	560	25-75
16	360	20-80	1250	20-80	265	20-80	555	20-80
17	370	15-85	1240	15-85	270	15-85	550	15-85
18	380	10-90	1230	10-90	275	10-90	545	10-90
19	390	5-95	1220	5-95	280	5-95	530	5-95
20	400	5-95	1200	5-95	285	5-95	525	5-95

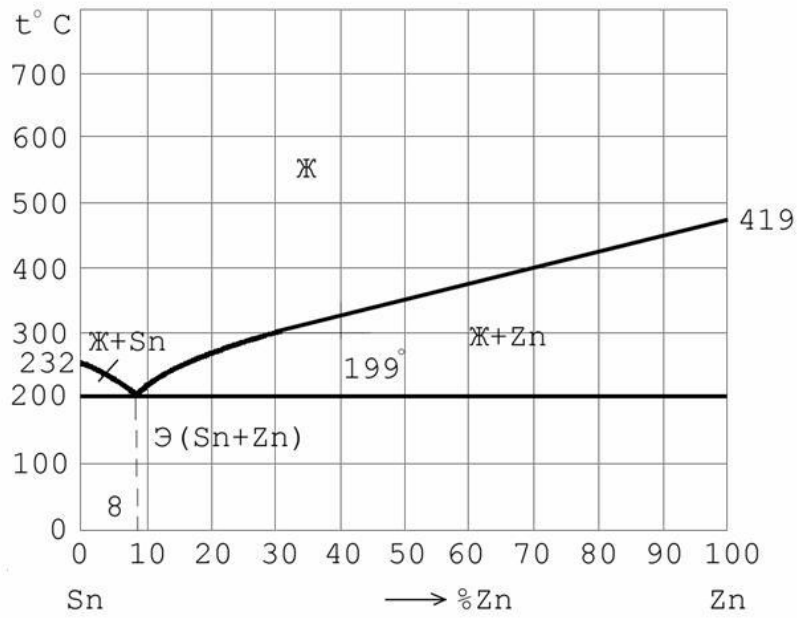


Рисунок 5 - Диаграмма состояния Sn-Zn

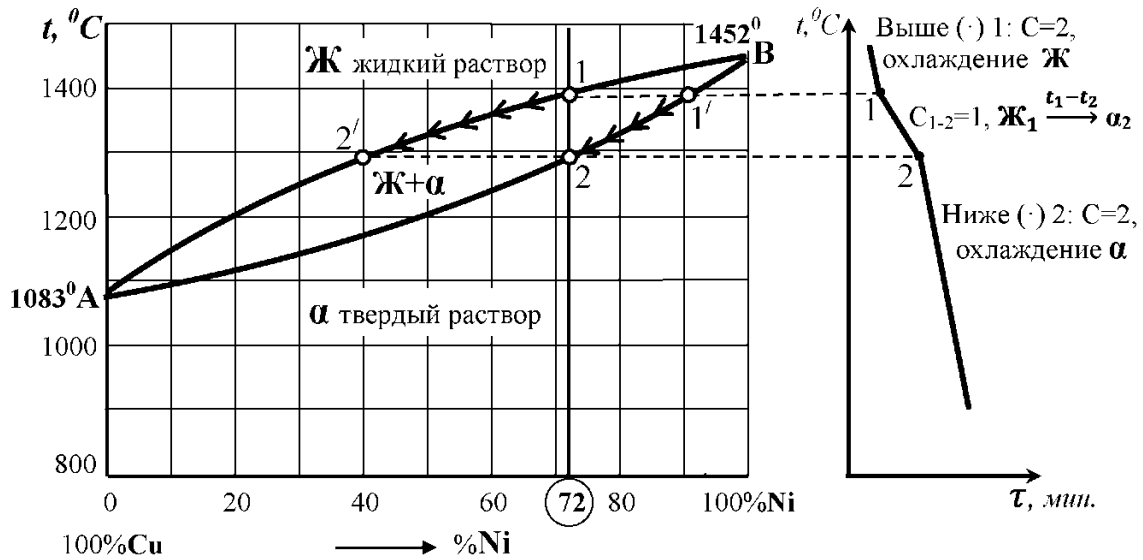


Рисунок 6 – Диаграмма состояния Cu-Ni

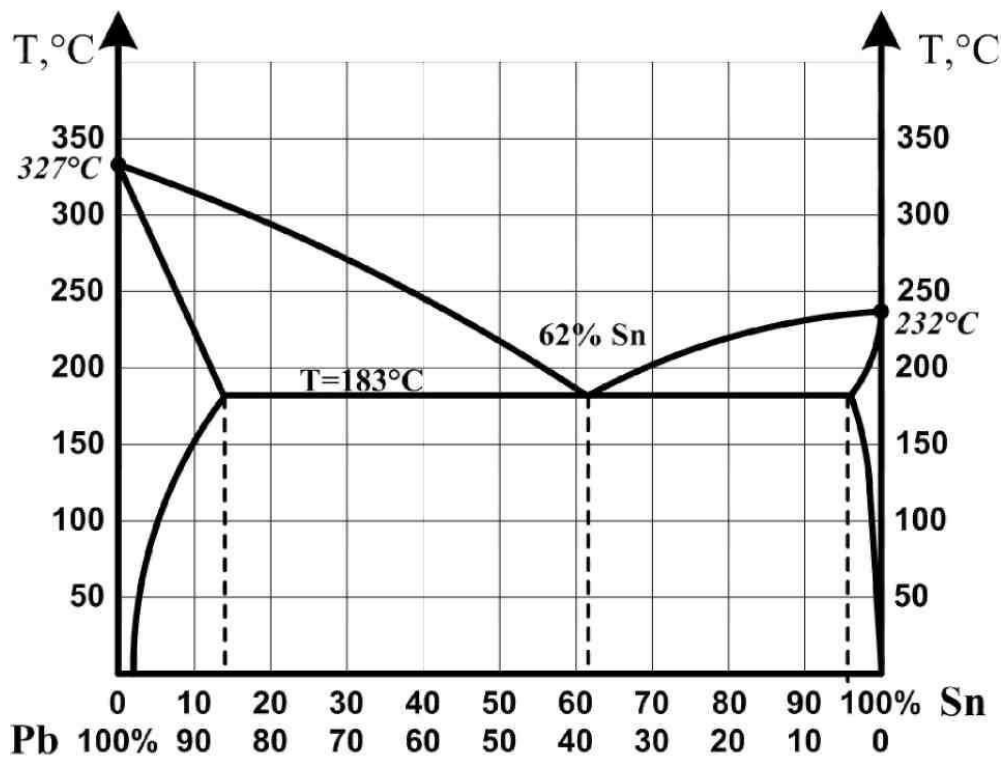


Рисунок 7 – Диаграмма состояния Pb-Sn

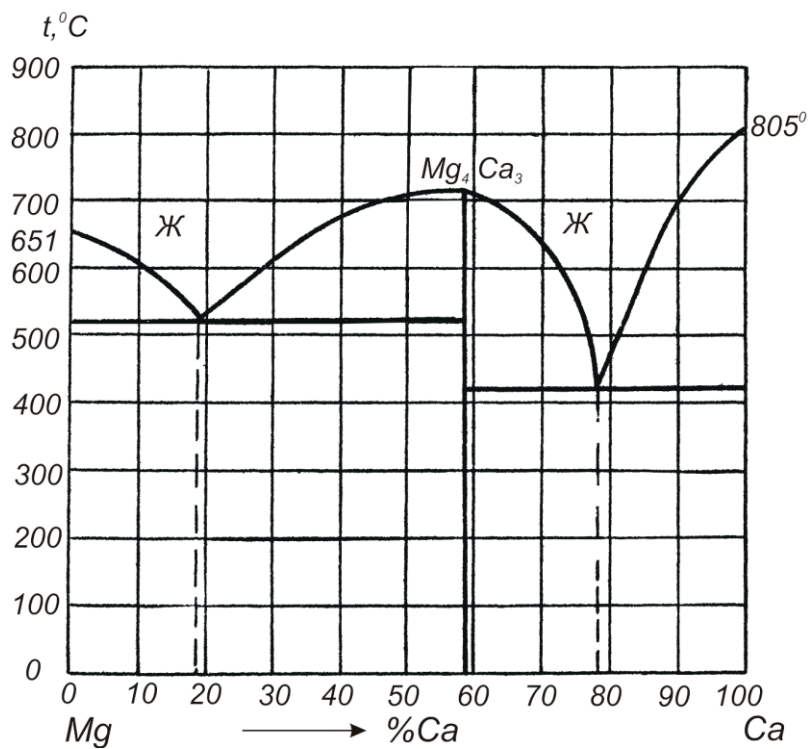


Рисунок 8 – Диаграмма состояния Mg-Ca

## Тема 3. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### 3.1 Краткие теоретические сведения

**Чугун** имеет высокие литейные, антикоррозионные и антифрикционные свойства, достаточно высокую прочность и невысокую стоимость. В машиностроении широко распространены чугуны всех четырех модификаций (серый, высокопрочный, ковкий и легированный).

**Стальные отливки** обладают более высокими прочностью и вязкостью, чем отливки из чугуна. Но по литейным свойствам сталь уступает чугуну (она имеет большую усадку, низкую жидкотекучесть и т.д.). Особое место по износостойкости занимает **аустенитная высокомарганцовистая износостойкая сталь** марки Г13Л. Она обладает настолько высокой износостойкостью, что почти не поддается обработке резанием, ее обычно применяют только в отливках.

Для изготовления фасонных отливок используют обе главные разновидности **медных сплавов** — латуни и бронзы. Для коррозионно-стойких деталей наиболее широко применяют латуни марок ЛА67-2Д ЛАЖ60-1-1- и ЛК80-3.

**Литейными сплавами на основе алюминия** являются сплавы его с кремнием и другими элементами, именуемые силуминами.

Широко применяют отливки из **магниевого сплава**. Механические свойства магниевых сплавов значительно повышаются после термообработки.

Основными видами **брака литья** являются:

1) газовые, осадочные, шлаковые и песчаные раковины; 2) рыхлота и пористость; 3) недостаточное заполнение литейной формы металлом; 4) горячие и холодные трещины; 5) коробление; 6) несоответствие микроструктуры, химического состава, механических свойств металла отливок требованиям ГОСТов и технических условий.

Эти дефекты отливок выявляются различными **методами контроля**. Контроль размеров отливок позволяет своевременно

предупредить массовый брак из-за износа или коробления модели и стержневых ящиков. Механические свойства и микроструктура контролируются испытаниями и исследованием отдельно изготовленных или отлитых совместно с заготовкой образцов.

Внутренние дефекты отливок выявляются методами радиографической или ультразвуковой **дефектоскопии**.

Отливки, которые по условию работы должны выдерживать повышенное давление жидкости или газа, подвергаются гидравлическим или реوماتическим испытаниям при давлениях, несколько превышающих рабочее давление.

Основными способами исправления дефектов отливок являются правка, заварка, пропитка.

Литейным производством называется технологический процесс изготовления фасонных деталей или заготовок путём заливки расплавленного металла в форму. После затвердевания металл (расплав) принимает очертания формы и называется отливкой. Отливки могут быть деталями или заготовками, которые в дальнейшем подвергаются обработке.

Технология производства отливок складывается из следующих основных процессов:

- 1) изготовление моделей и стержневых ящиков;
- 2) приготовление формовочной и стержневой смеси;
- 3) изготовление форм и стержней;
- 4) сушка форм и стержней;
- 5) приготовление расплава и заливка формы;
- 6) выбивки отливок из форм и стержней из отливок.

Изготовление литейной формы – трудоёмкая и наиболее сложная операция, от которой в значительной мере зависит качество отливок. В единичном и мелкосерийном производстве формы изготавливаются вручную. Для каждого наименования отливки изготавливается своя литейная форма.

Различают следующие виды форм.

Разовые – служат для получения только одной отливки, после чего они разрушаются. Для их изготовления используют песчано-глинистые смеси, в состав которых входит кварцевый песок (85 – 90 %), огнеупорная глина (8 – 14 %), вода и связующие (жидкое стекло, искусственные смолы и др.).

Разовые формы могут быть сырыми, сухими, поверхностно – высушиваемыми и химически твердеющими.

Полупостоянные – изготавливаются из смеси с высоким содержанием глины и высокоогнеупорных материалов. Их применяют чаще всего при производстве крупных и тяжёлых отливок простой конфигурации.

При производстве отливок полость формы сохраняет свои очертания, получая лишь незначительные повреждения. Эти формы допускают многократную (до нескольких десятков раз) заливку металла с мелким ремонтом рабочей поверхности после получения каждой отливки.

Постоянные изготавливаются преимущественно из металла. Такие формы обеспечивают получение в одной форме нескольких тысяч, а иногда десятков тысяч отливок. Металлические формы – кокили – применяют в серийном производстве, а также при специальных способах литья.

### 3.2 Модели

У литейной формы имеется рабочая часть – полость, в которой застывающий расплавленный металл приобретает очертания и размеры литой заготовки. Для получения в форме такой полости необходимо иметь модель. Конструкция модели должна обеспечить лёгкость выемки её из формы, поверхность модели должна быть прочной, не изменяться в размерах, противостоять влиянию влаги формовочной смеси.

Для чугунных отливок модели окрашивают в красный цвет, для стальных – в серый или синий, для цветных сплавов – в жёлтый. Стержневые знаки на модели окрашивают в чёрный цвет.

Модели изготавливают из дерева, цемента, гипса, пластмасс, полистирола, сплавов.

Модели бывают неразъёмные, разъёмные и с отъёмными частями. Их размеры превышают размеры деталей на величину усадки, которая составляет: для стали – 2 %; для чугунов – 1 %; для цветных сплавов – 1,2 - 1,5 %.

**Неразъёмные модели** – служат для производства несложных отливок, формовка которых может осуществляться в одной из

половин формы.

**Разъёмные модели** – применяются при производстве отливок более сложной конфигурации, состоящих из двух и более частей. Для точного соединения половин модели на одной из них выполнены шипы, а на другой – углубления. Отверстия в литых заготовках образуются с помощью стержней, которые вставляются в форму при её сборке. Конфигурация стержня соответствует конфигурации отверстия, полости.

Стержни изготавливаются в стержневых ящиках из стержневой смеси, которая от формовочной смеси отличается повышенной прочностью, газопроницаемостью, противопригарностью. Для удержания стержня в нужном положении, во время заливки формы металлом, его вставляют в специальные углубления в форме, которые образуются выступами на модели, так называемыми знаками.

### 3.3 Литниковая система

Литниковой системой называют каналы в форме, предназначенные для подачи в форму расплавленного металла. Шлакоуловитель литниковой системы исключает возможность попадать неметаллическим включениям в тело отливки и служит для задержания шлака.

Литниковая система состоит из литниковой чаши 1, стояка 2, шлакоуловителя 3 и питателей 4, 5 выпор; 6 прибыль. (рисунок 9). Литниковая чаша является сосудом, в который расплавленный металл поступает из разливочного ковша. Она служит для предотвращения разбрызгивания и смягчения удара струи металла. Стояк – вертикальный канал в верхней полуформе, соединяющий литниковую чашу со шлакоуловителем. Шлакоуловитель – горизонтальный, трапецевидного сечения канал, обычно выполняемый в верхней полуформе. Питатель – канал, служащий для непосредственного подвода металла к полости формы. Наличие большого количества питателей облегчает заполнение сложной формы металлом.



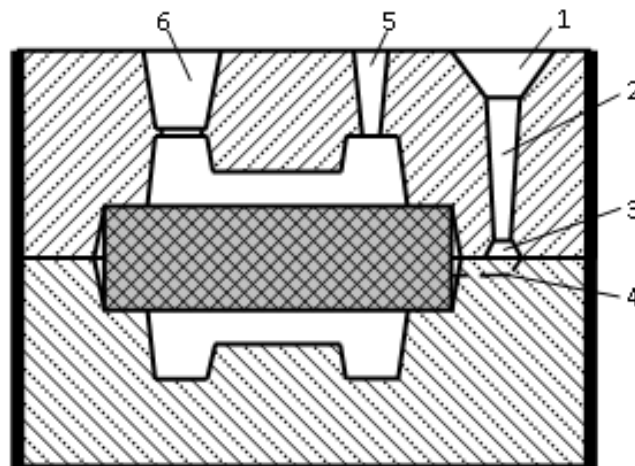


Рисунок 9 – Литниковая система. 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатель, 5 – выпор; 6 – прибыль.

**Литье в кокиль и литье под давлением** относятся к специальным видам литья. Отливки, получаемые этими методами, характеризуются повышенной точностью размеров, пониженной шероховатостью поверхности, уменьшением припусков на механическую обработку, возможностью получения деталей, не нуждающихся в механической обработке. При этом специальные виды литья дают возможность обойтись без многих побочных операций (таких, как приготовление земляной и стержневой смесей), без пыльной выбивки и пескоструйной очистки.

**Литье в кокиль.** Кокиль - это металлическая форма многократного использования, заливаемая жидким металлом. Отливки, получаемые в кокиле, отличаются большой точностью размеров и высокой чистотой поверхности. Кокиль изготавливается из чугуна, стали или алюминиевых сплавов.

**Достоинство** литья в кокиль заключается в первую очередь в возможности обеспечить высокую производительность литейного процесса. Кокильное литье легко механизировать и автоматизировать.

Распространение этого способа литья несколько ограничивается высокой стоимостью изготовления кокилей и сложностью получения тонкостенных отливок вследствие значительной теплопроводности кокилей и быстрой кристаллизации металла.

Для получения отливок с очень тонкими стенками (до 0,8 мм), повышенной чистотой поверхности, точностью размеров и высокого качества применяется **литье под давлением**. При этом способе литья металлическая пресс-форма соединяется литниковой системой с камерой прессования, в которой ходит поршень (рисунок 10,а). Поршень энергично, с большой скоростью и силой давит на металл, который устремляется в пресс-форму и заполняет все его самые тонкие щели (рисунок 10,б). Давление может достигать сотен или нескольких тысяч атмосфер.

Литье под давлением **применяют** в массовом производстве для получения отливок из цветных металлов и сплавов, реже чугуна и стали (рисунок 10,в).

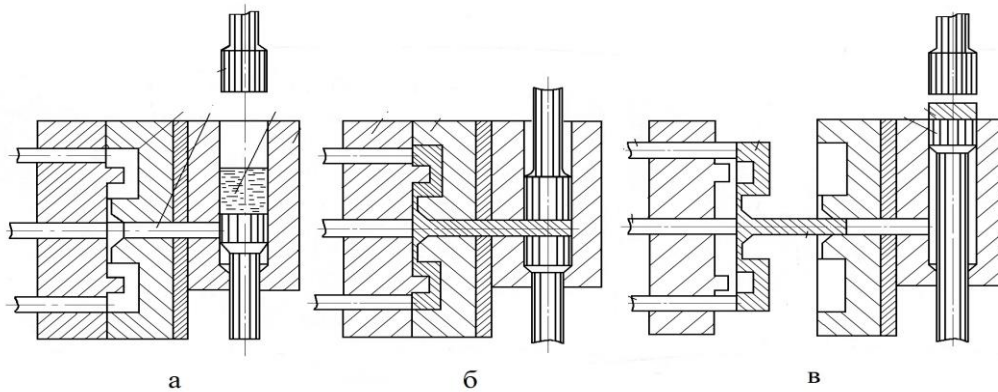


Рисунок 10 - Литье под давлением

**Центробежное литье** представляет собой заливку металла в литейную форму, которая вращается с определенной скоростью. При этом скорость вращения изменяется в течение всего времени кристаллизации. Под действием центробежной силы металл прижимается к стенкам формы, в результате получается деталь повышенной прочности, так как газы и шлак вытесняются во внутренние полости отливок и удаляются.

Оси вращения формы могут быть горизонтальными (рисунок 11,а) или вертикальными (рисунок 11,б). Центрифугированным называется такое центробежное литье, при котором ось вращения формы не совпадает с осью отливки.

Центробежное литье **применяют** при изготовлении труб, цилиндрических втулок, гильз и поршневых колец двигателей, колес,

шкивов, орудийных стволов и др.

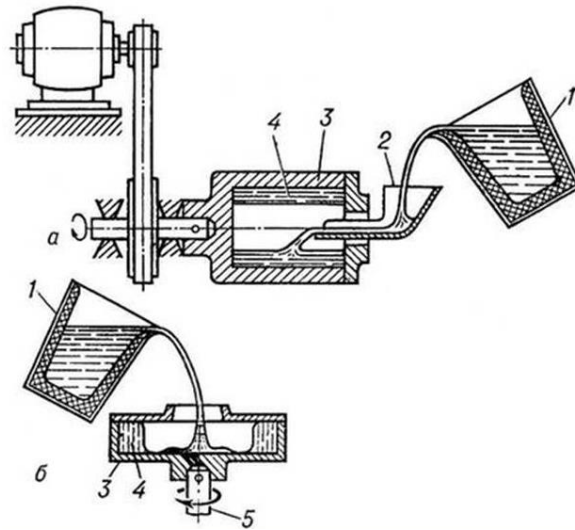


Рисунок 11 - Центробежное литье

При **непрерывном** и **полунепрерывном** литье в металлическую форму - кристаллизатор без дна - жидкий металл заливается с одной стороны, отдавая тепло холодным стенкам формы, а с другой стороны этой формы затвердевший металл извлекается и остывает на воздухе. Форма кристаллизатора может быть различной: круглой, прямоугольной, в форме кольца. Отливка представляет собой круглый пруток, прямоугольную штангу, трубу или длинный брус произвольного профиля.

Если изделие извлекается тянущими валками при условии непрерывной подачи жидкого металла, **оно может оказаться бесконечно длинным**. В этом случае процесс называется **непрерывным**.

Если после изготовления изделия заданной длины механизмы извлечения отливки возвращаются в исходное состояние и закрывают форму для дальнейшего заполнения жидким металлом, процесс называется **полунепрерывным**.

Стенки кристаллизатора при таких видах литья представляют собой тонкие металлические пластины или трубы, охлаждаемые при помощи воды.

При **электрошлаковом литье** приготовление расплава совмещается с заполнением литейной формы во времени и

пространстве путем переплава электродов необходимого химического состава. При этом виде литья источником тепла является шлаковая ванна, которая нагревается при прохождении через нее электрического тока.

**Процесс плавки** можно разделить на следующие этапы:

- 1) в водоохлаждаемый медный кристаллизатор заливают расплавленный шлак особого состава;
- 2) электрический ток подводят к нижней части кристаллизатора и к переплавляемым электродам;
- 3) шлаковая ванна нагревается по действием тока до 1700 °С, и концы электродов плавятся;
- 4) капли расплавленного металла проходят через шлак, в котором очищаются от вредных примесей;
- 5) металл собирается в зоне кристаллизации, образуя под шлаком металлическую ванну;
- 6) ванна металла затвердевает в нижней части вследствие отвода тепла через стенки кристаллизатора;
- 7) отливку извлекают из кристаллизатора.

**Электрошлаковое литье применяют** для изготовления прокатных валков, кокилей, для производства коленчатых валов мощных дизелей, задвижек паропроводов, корпусов атомных реакторов и др.

При литье **вакуумным всасыванием** расплав под действием разряжения, создаваемого в полости, заполняет ее и затвердевает, образовав отливку. Скорость заполнения формы расплавом можно регулировать изменением разности атмосферного давления и давления внутри формы. Толщина стенок отливки при таком способе литья составляет 1—1,5 мм, также исключается попадание воздуха, повышаются точность, герметичность и механические свойства отливки.

**Сущность литья выжиманием** состоит в том, что для улучшения заполнения формы и качества отливки процесс происходит так, чтобы геометрические размеры полости формы изделия изменялись при заполнении расплавом и затвердевании. При этом:

- 1) уменьшаются потери расплавом тепла;
- 2) заполняются формы тонкостенных крупногабаритных

отливок;

3) осуществляется компенсация усадки отливки путем уменьшения ее объема при кристаллизации.

Полученный металл имеет хорошую структуру, механические свойства.

Таблица 2 - Классы точности размеров и масс и ряды припусков на механическую обработку отливок для различных способов литья (по ГОСТ 26645-85)

Способ литья	Наибольш ий габаритны й размер	Металлы и сплавы		
		цветные с температуро й	цветные с темperatur ой плавления	ковкий, высокопрочны й и
1	2	3	4	5
Под давлением в металлические формы	До 100	<u>3т-5</u> I	<u>3-6</u> I	<u>4-7</u> I
	Св. 100	<u>3-6</u> I	<u>4-7т</u> I	<u>5т-7</u> I
В керамические формы и по выполняемым и выжигаемым моделям	До 100	<u>3-6</u> I	<u>4-7т</u> I-2	<u>5т-7</u> I-2
	Св. 100	<u>4-7</u> I-2	<u>5т-7</u> I-2	<u>5-8</u> I-2
В кокиль и под низким давлением в металлические формы с песчаными стержнями и без них, литье в песчаные формы, отверждаемые в	До 100	<u>4-9</u> I-2	<u>5т-10</u> I-3	<u>5-11т</u> I-3
	Св. 100 до 630	<u>5т-10</u> I-3	<u>5-11т</u> I-3	<u>6-11</u> 2-4
	Св. 630	<u>5-11т</u> I-3	<u>6-11</u> 2-4	<u>7т-12</u> 2-5
В песчаные формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой, центробежное, сварные и сухие песчано-глинистые формы	До 630	<u>6-11</u> 2-4	<u>7т-12</u> 2-4	<u>7-13т</u> 2-5
	Св. 630 до 4000	<u>7-12</u> 2 - 4	<u>8-13т</u> 3 - 5	<u>9т-13</u> 3 - 6
	Св. 4000	<u>8-13т</u> 3 - 5	<u>9т-13</u> 3 - 6	<u>9-14</u> 4 - 6
<b>Примечание</b> - В числителе указаны классы точности размеров и масс, в знаменателе – ряды припусков. Меньшие их значения относятся к простым отливкам и условиям; большие значения – к сложным, мелкосерийного производства; Средние значения – к отливкам средней сложности и условиям серийного производства.				

Литейные уклоны на отливке облегчают извлечение моделей из формы без разрушения ее, и для свободного удаления стержня из стержневого ящика. Уклоны выполняют в направлении извлечения модели из формы. На чертеже формовочные уклоны указывают, как и припуски на механическую обработку, - красным карандашом или тонкими линиями. Величина формовочных уклонов регламентируется ГОСТ 3212-92 в зависимости от высоты боковых поверхностей (таблица 3).

Таблица 3 - Формовочные уклоны

Измеряемая высота вертикальной	Углы наклона моделей (не более)	
	металлических	деревянных
До 20	1°30′	3°
21-50	1°	1°30′
51-100	0°45′	1°
101-201	0°30′	0°45′
201-300	0°30′	0°30′
301-500	0°20′	0°30′
501-800	0°20′	0°20′

Напуск - служит для упрощения изготовления отливки. Так отверстия в отливке диаметром 20-30 мм в условиях массового и серийного производства и диаметром до 50 мм в условиях единичного производства можно не делать, так как их целесообразнее просверлить в процессе механической обработки. В этом случае на чертеже отливки отверстия зачеркивают тонкими линиями.

Галтели - закругления внутреннего угла отливки в модели для получения плавного перехода в сопрягаемых стенках. С помощью галтелей исключается осыпание формовочной смеси в углах модели при ее извлечении из формы. Нормативные материалы рекомендуют пользоваться нормальным рядом радиусов: 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 мм. Радиусы галтелей составляют 1/5-1/3 средней арифметической толщины сопряженных стенок отливки.

Плоскость разъема формы и модели обозначают на чертежах буквами РМ и двумя стрелками с буквами В (верх) и Н (низ).

Литейный стержень - элемент литейной формы для

образования отверстий, полости или иного сложного контура в отливке. Стержни бывают вертикальные и горизонтальные в зависимости от их положения при установке в форму. Конфигурацию и размеры стержней регламентирует ГОСТ 3606-80. Для правильной установки и крепления стержней в форме служат знаковые части стержня, которые у горизонтальных стержней делают прямыми, а у вертикальных с уклоном для удобства сборки формы. Длину знаков определяют в зависимости от длины стержня (таблицы 4 и 5).

Высоту верхнего знака принимают равной 60 % от высоты нижнего.

На чертеже стержни в разрезе штрихуют по контуру. Если стержней несколько, для каждого стержня применяют свою, отличающуюся от других штриховку.

Таблица 4 - Высота нижних вертикальных знаков стержня (мм)

Диаметр	Длина стержня, мм			
	до 150	151-500	501-1000	1001 и выше
До 100	20-30	50-70	100-120	
101-400	20-40	40-60	70-100	140-190
401-1000	40-50	40-50	60-100	110-180
1001 и выше	60-100	60-110	60-110	80-150

Таблица 5 - Длина горизонтальных стержневых знаков (мм)

Длина стержня, мм	Длина стержня, мм					
	до 50	51-150	151-300	301-500	501-750	750-1000
До 25	15	25	40	-	-	-
25-50	20	30	45	60	-	-
51-100	25	35	50	70	90	110
101-200	30	40	55	80	100	120
201-300	-	50	80	90	110	130

Литейная модель – приспособление для получения в форме отпечатка, соответствующая конфигурации внешней поверхности отливки.

Чертеж модели составляют по наружным очертаниям детали с технологическими указаниями, причем все размеры увеличивают

на коэффициент линейной усадки. В среднем коэффициент линейной усадки принимается: для серого чугуна – 1 %; для стали – 2 %; для цветных сплавов – 1 - 1,5 %.

Конструкция отливки должна иметь плавные переходы от больших сечений к меньшим (рёбра жесткости, окна) с целью равномерного охлаждения и предотвращения внутренних напряжений и трещин.

С целью повышения точности отливок и упрощения моделей и процесса формовки необходимо стремиться к неразъемным моделям.

Сборкой называется процесс соединения отдельных частей формы в одно целое и подготовка формы к заливке. Сборка формы состоит из следующих операций: установка и крепление стержней, установка верхней опоки, крепление опок, установка литниковой чаши, контроль правильности сборки. Форма в сборе должна быть показана на чертеже так, чтобы было видно положение стержней и литниковых каналов, выпоров, прибылей и способов крепления опок.

На рисунке 12 показана форма в сборе, а на рисунке 13 – готовая отливка.

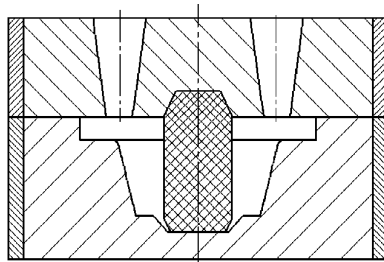


Рисунок 12 – Литейная форма в сборе

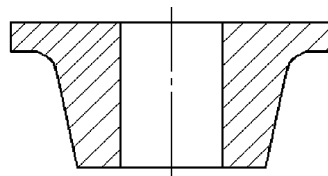


Рисунок 13 – Эскиз отливки

### 3.4. Задачи для самостоятельного решения

1. По таблице заданий найти свой вариант.



2. Ознакомиться с модельной оснасткой и способами изготовления литейной формы по разъёмной и неразъёмной моделям.
3. Ознакомиться с технологиями литейного производства.
4. Подобрать и описать технологический процесс изготовления фасонных деталей.

Таблица заданий.

№ варианта	Вид материала	Наибольший габаритный размер отливки, мм
1	МЛЗ	До 100
2	АЛ2	Св. 100
3	БрОЦСНЗ-7-5-1	До 100
4	ЛА67-2Д	Св. 100
5	КЧ 330-8	До 100
6	ЛАЖ60-1-1Л	Св. 100 до 630
7	ВЧ 1200-4	Св. 630
8	КЧ 370-12	До 630
9	БрАМц10-2	Св. 630 до 4000
10	ВЧ 450-5	Св. 4000
11	КЧ 630-2	До 100
12	БрАЖ9-4Л	Св. 100
13	БрОЦСЗ-12-5	До 100
14	БрАЖН10-4-4Л	Св. 100
15	КЧ 370-12	До 100
16	МЛ2	Св. 100 до 630
17	ЛАЖ60-1-1	Св. 630
18	ВЧ 450-5	До 630
19	БрОЦСЗ-12-5	Св. 630 до 4000
20	ВЧ 600-2	Св. 4000
21	АЛ4	До 100
22	ВЧ 600-2	Св. 100
23	ВЧ 1200-4	До 100
24	Г13Л	Св. 100
25	БрОФ6,5-0,15	До 100

## Тема 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПО ИХ МАРКАМ

### 4.1 Краткие теоретические сведения

#### *Маркировка углеродистых сталей*

Маркировка углеродистых сталей зависит от их качества и назначения.

*Стали обыкновенного качества* имеют 3 группы поставки: А, Б, В. Стали группы А поставляются с гарантированными механическими свойствами, химический состав не регламентируют. Стали группы Б поставляются с гарантированным механическим составом, механические свойства не гарантируются. Стали группы В поставляются с гарантированными химическим составом и механическими свойствами. О механических свойствах и химическом составе информацию получают в сопроводительных документах.

Все эти стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-71) маркируются буквами Ст, после которых ставится цифра от 0 до 6. Впереди марки – буква, указывающая группу поставки (для стали группы А – не ставится). В конце марки указывается степень раскисления: пс, кп (для спокойных – не указывают).

Ст3кп – углеродистая конструкционная сталь обыкновенного качества, группы поставки А, с номером 3, кипящая.

ВСт4пс – углеродистая конструкционная сталь обыкновенного качества, группы поставки В, с номером 4, полуспокойная.

*Качественные конструкционные углеродистые стали* (ГОСТ 1050-74) маркируют цифрами 08, 10, 15, 20, 25... до 85. Цифры означают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Если сталь содержит повышенное количество марганца (0,8-1,2%), то после цифр ставится буква Г. В конце марки указывают степень раскисления (кп или пс).

Сталь 40 – качественная конструкционная углеродистая сталь с содержанием углерода 0,4 % , спокойная.

Сталь 65Гпс – качественная конструкционная углеродистая сталь с содержанием углерода 0,65%, более 0,8% марганца, полуспокойная.

*Инструментальные углеродистые стали* (гост 1435-74) маркируются большой буквой У и цифрами, которые означают содержание углерода в десятых долях процента. Эти стали чаще всего качественные. Однако, если сталь имеет повышенное качество, то в конце марки ставится буква А.

У8 – инструментальная углеродистая со средним содержанием углерода 0,8% (имеет точно такой же химический состав, что и Сталь 80, но отличается структурой и свойствами). У12А – углеродистая инструментальная сталь, 1,2% углерода, высококачественная.

## 4.2 Задачи для самостоятельного решения

*Задание 1.* Расшифровать марки углеродистых сталей

Таблица 4 – Варианты задач

1	Ст0	БСт2пс	ВСт5кп	05кп	25	60Г	У7	У10А
2	Ст1кп	БСт3сп	ВСт4пс	08	30	70Г	У8	У11А
3	Ст2пс	БСт4	ВСт3сп	08кп	35	75Г	У9	У12А
4	Ст3сп	БСт5кп	ВСт2	08пс	40	80Г	У10	У13А
5	Ст4	БСт6пс	ВСт1кп	10	45	65Г	У11	У7А
6	Ст5кп	БСт0	ВСт4сп	10кп	50	60Г	У12	У8А
7	Ст6пс	БСт1сп	ВСт3	10пс	55	70Г	У13	У9А
8	Ст0	БСт2Г	ВСт5пс	15	60	75Г	У7А	У10
9	Ст1сп	БСт3кп	ВСт2пс	15кп	65	80Г	У8А	У11
10	Ст2	БСт4пс	ВСт1сп	15пс	70	65Г	У9А	У12
11	Ст3кп	БСт5сп	ВСт4	18кп	75	60Г	У10А	У13
12	Ст4пс	БСт6	ВСт3кп	20	80	70Г	У11А	У7
13	Ст5сп	БСт0	ВСт1пс	20кп	25	75Г	У12А	У8
14	Ст6	БСт1пс	ВСт2сп	20пс	30	80Г	У13А	У9
15	Ст0	БСт2сп	ВСт5	05кп	35	65Г	У7	У11А
16	Ст1пс	БСт3	ВСт2кп	08	40	60Г	У8	У12А
17	Ст2сп	БСт4кп	ВСт3пс	08кп	45	70Г	У9	У13А
18	Ст3	БСт5пс	ВСт4кп	08пс	50	75Г	У10	У7А

Продолжение таблицы 4

19	Ст4кп	БСт6сп	ВСт1	10	55	80Г	У11	У8А
20	Ст5пс	БСт0	ВСт1кп	10кп	60	65Г	У12	У9А
21	Ст6сп	БСт1	ВСт2пс	10пс	65	60Г	У13	У10А
22	Ст0	БСт2кп	ВСт3сп	15	70	70Г	У7А	У11
23	Ст1	БСт3пс	ВСт4кп	15кп	75	75Г	У8А	У12
24	Ст2кп	БСт4сп	ВСт5	15пс	80	80Г	У9А	У13
25	Ст3пс	БСт5	ВСт1сп	18кп	25	65Г	У10А	У7

*Задание 2.* Для каждой марки выписать свойства и применение.  
 Результат оформить в виде таблицы.

Таблица 5 - Результаты

Марка	Свойства	Применение

## Тема 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПО ИХ МАРКАМ

### 5.1 Краткие теоретические сведения

Сочетания букв и цифр дают характеристику легированной стали. Если впереди марки стоят две цифры, они указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Одна цифра впереди марки указывает среднее содержание углерода в десятых долях процента. Если впереди марки нет цифры, это значит, что углерода в ней либо 1%, либо выше 1%. Цифры, стоящие за буквами, указывают среднее содержание данного элемента в процентах, если за буквой отсутствует цифра – значит содержание данного элемента около 1% (не более 1,5%). Буква А в конце марки обозначает высококачественную сталь, т.е. сталь, содержащую меньше серы и фосфора. Указанная система маркировки охватывает большинство существующих легированных сталей.

Исключение составляют отдельные группы сталей, которые дополнительно обозначаются определенной буквой: Р – быстрорежущие, Е – магнитные, Ш – шарикоподшипниковые, Э – электротехнические.

Пример расшифровки марки стали

40ХНЗМФА – конструкционная легированная высококачественная сталь со средним содержанием углерода 0,4%, ~1% хрома, ~3% никеля, ~1% молибдена, ~1% ванадия.

18ХГТ – конструкционная легированная качественная сталь с содержанием углерода 0,18% и по 1% (приблизительно) хрома, марганца и титана.

ХВГ – инструментальная легированная сталь, углерода более 1%, приблизительно около 1% хрома, вольфрама, марганца.

7ХГ2 - инструментальная легированная сталь, углерода 0,7%, приблизительно около 1% хрома, марганца 2%.

Р18 – инструментальная высоколегированная быстрорежущая сталь, 18% вольфрама Р6М5К4 – инструментальная

высоколегированная быстрорежущая сталь, содержание вольфрама 6%, молибдена 5%, 4% кобальта.

## 5.2 Задачи для самостоятельного решения

*Задание 1.* Расшифровать марки легированных сталей

Таблица 6 – Варианты заданий

1	09Г2	38ХА	65С2ВА	8Х3	Р6К10
2	55С2	50ХФА	14ХГС	Х12	Р12Ф3
3	20Х	12ГС	60С2ХФА	В2Ф	Р6М5Ф3
4	30Х	09Г2С	20ХГР	5ХГМ	Р6М5К5
5	10Г2	38ХМА	14Х2ГМР	9Х2	Р18
6	40Х	50ХФА	20ХГ2Ц	ХГС	Р10К5Ф5
7	50Г2	70С3А	20ХНР	Х12	Р9М4К8
8	17ГС	15Х25Т	75ХСМФ	В2Ф	Р6К10
9	45Г2	60С2А	20ХГСФ	7Х3	Р12Ф3
10	38ХА	35ГС	10Г2БД	Х12М	Р6М5Ф3
11	45Х	18ХГТ	15Г2СФД	ХГС	Р6М5К5
12	38ХЮ	40ХФА	34ХН3М	8Х3	Р18К5Ф2
13	15ХА	60С2	36Г2С	9ХС	Р10К5Ф5
14	30ХМ	40Х9С2	15Х11МФ	4ХС	Р9
15	09Г2	20ХГРА	55С2	6ХВГ	Р6К10
16	55С2	38ХА	20Х3МВФ	4ХС	Р12Ф3
17	12ГС	20Х	38Х2МЮА	6ХВГ	Р6М5Ф3
18	09Г2С	30Х	20ХГНР	9ХС	Р6М5К5
19	10Г2	38ХМА	14Х2ГМР	7Х3	Р18К5Ф2
20	40Х	50ХФА	20ХГ2Ц	9Х1	Р10К5Ф5

Продолжение таблицы 6

21	50Г2	70С3А	20ХНР	8Х3	Р9М4К8
22	17ГС	20ХГСА	75ХСМФ	9Х1	Р6К10
23	38ХА	35ГС	10Г2БД	8Х3	Р12
24	45Х	25ХГСА	15Г2СФД	9ХВГ	Р6М5Ф3
25	38ХЮ	18ХГТ	40ХФА	Х12М	Р6М5К5

*Задание 2.* Для каждой марки выписать свойства и применение. Результат оформить в виде таблицы.

Таблица 7 - Результаты

Марка	Свойства	Применение

## Тема 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ИХ МАРКАМ

### 6.1 Краткие теоретические сведения

Различают три группы медных сплавов:

- латуни;
- бронзы;

сплавы меди с никелем.

*Латуни.* Латунями называют двойные (томпак, где 90% и более - меди и 10% цинка и полутомпак, где меди 79-86% и остальное цинк) или многокомпонентные сплавы на основе меди, в которых основным легирующим элементом является цинк. При введении других элементов (кроме цинка) латуни называют специальными по наименованию элементов, например, железофосфорномарганцевая латунь и т.п.

По сравнению с медью латуни обладают большей прочностью, коррозионной стойкостью. Механическая прочность латуней выше, чем меди, и они лучше обрабатываются (резанием, литьем, давлением). Большим их преимуществом является более низкая стоимость, так как входящий в состав латуней цинк значительно дешевле меди. Латуни нашли широкое применение в приборостроении, в общем и химическом машиностроении.

Латуни обозначают начальной буквой Л, затем ставят цифру, указывающую средний процент меди в этом сплаве.

Л96 – латунь, меди 96%, цинка 4% (томпак).

Латуни более сложного состава в обозначении имеют после буквы Л другую букву, а цифры, размещенные после цифры, указывающей процент меди, указывают процент добавок в марке латуни. Все добавляемые к латуни элементы обозначают русскими буквами: Ц – цинк; А – алюминий; О – олово; Н – никель; К – кремний; С – свинец; Мц – марганец; Ж – железо; Ф – фосфор; Б – бериллий. Цифры, помещенные за буквами, указывают среднее процентное содержание элементов.

ЛАЖМц66-6-3-2 – алюминиевожелезомарганцовистая латунь, содержащая 66% меди, 6% алюминия, 3% железа и 2% марганца, остальное составляет цинк.



ЛЦ40Мц3Ж – латунь, содержащая 40% цинка, 3% марганца, около 1% железа, остальное медь

### *Бронзы*

Бронзы (медь, олово) – сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, марганцем, свинцом, бериллием. В зависимости от введенного элемента бронзы бывают: оловянные, алюминиевые, кремнистые, марганцовистые, свинцовистые, бериллиевые.

Бронзы обладают высокой стойкостью против коррозии, хорошими литейными и высокими антифрикционными свойствами и обрабатываемостью резанием. Благодаря хорошим литейным качествам из бронз отливают пушки, колокола и статуи. Также бронзы используются при изготовлении арматуры газовых и водопроводных линий и в химическом машиностроении, где важна также высокая коррозионная стойкость бронз. Малый коэффициент трения и устойчивость к износу делает бронзы незаменимыми при изготовлении вкладышей подшипников, червяков и червячных колес, шестерен и других деталей ответственных и точных приборов.

Бронзы легируют для повышения механических характеристик и придания особых свойств. Введение марганца способствует повышению коррозионной стойкости, никеля – пластичности, железа – прочности, цинка – улучшению литейных свойств, свинца – улучшению обрабатываемостью.

Бронзы маркируют русскими буквами Бр. Справа ставят обозначение элементов, входящих в состав бронзы:

О – олово; Ц – цинк; С – свинец; А – алюминий; Ж – железо; Мц – марганец.

Далее идут цифры, обозначающие среднее содержание дополнительных элементов в бронзе в процентах (цифры, обозначающие процентное содержание меди в бронзе, не ставят).

БрОЦС5-5-5 – бронза содержит по 5% олова, свинца, цинка, остальное – медь (85%). БрА9Мц2Л – бронза литейная, содержит 9% алюминия, 2% марганца, остальное – медь.

*Алюминиевые сплавы* делят на деформируемые и литейные.

Деформируемые алюминиевые сплавы применяют для получения листов, ленты, проволоки и различных деталей

методами обработки давлением: штамповкой, прессованием, ковкой.

*Деформируемые алюминиевые сплавы* можно подразделить на две подгруппы:

- не упрочняемые термообработкой;
- упрочняемые термообработкой.

Первые характеризуются невысокой прочностью, но хорошей пластичностью. К ним относятся сплавы алюминия с марганцем и магнием, содержащие его до 6%. Эти сплавы почти всегда однофазные. Они хорошо свариваются, устойчивы против коррозии и применяются для малонагруженных деталей, изготовляемых холодной штамповкой с глубокой вытяжкой, и для свариваемых конструкций. Упрочнение этих сплавов возможно только путем холодной деформации, так как упрочнение термической обработкой не удается.

АМц – сплав алюминия деформируемый не упрочняемый термообработкой, содержит 1% марганца.

Из группы деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термообработкой, наиболее распространены дуралюмины (или дюралюмины) – сплавы алюминия с медью, магнием, марганцем (для повышения коррозионной стойкости сплава). Также распространены сплавы алюминия с медью, магнием, марганцем и цинком (сплавы высокой прочности).

Дуралюмины маркируют буквой Д, после которой стоит цифра, обозначающая условный номер сплава. Дуралюмины выпускают в виде листов, прессованных и катаных профилей, прутков, труб. Особенно широко применяют дуралюмины в авиационной промышленности и строительстве.

Д1 – деформируемый алюминиевый сплав, упрочняемый термообработкой (дуралюмин), содержит 4% меди, примерно по 0,5% магния, марганца, кремния.

*Литейные алюминиевые сплавы* содержат почти те же легирующие компоненты, что и деформируемые сплавы, но в значительно большем количестве (до 9-13% по отдельным компонентам). Литейные сплавы предназначены для изготовления фасонных отливок. Эти сплавы маркируются буквами АЛ с последующим порядковым номером: АЛ2, АЛ9 и т.п.

По химическому составу их можно разделить на несколько групп, например, алюминий с кремнием или алюминий с магнием. Иногда их маркируют по химическому составу, например АК7М2. Буква М означает медь.

Сплавы на основе алюминия и кремния называют силуминами. Силумин обладает высокими механическими и литейными свойствами: высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, достаточно высокой прочностью, удовлетворительной пластичностью. Сплавы на основе алюминия и магния имеют высокую удельную прочность, хорошо обрабатываются резанием и имеют высокую коррозионную стойкость.

*Титановые сплавы* применяются в авиационной (самолетостроении, ракетостроении, при производстве реактивных двигателей) и химической промышленности. Также титан широко применяют в судостроении благодаря его устойчивости против воздействия морской воды. Из сплавов на основе титана изготавливаются лопатки паровых и газовых турбин, выпускных клапанов дизельных двигателей, лопаток и дисков компрессоров, поршневых пальцев, шатунов и других деталей.

Титан и его сплавы маркируют буквами ВТ и порядковым номером, например ВТ8.

*Магниевые сплавы* широко применяют в транспортном машиностроении, особенно в авиации и ракетостроении. В зависимости от способа получения магниевые сплавы подразделяют на:

- литейные – эти сплавы используют в виде отливок, маркируются буквами МЛ и порядковым номером.

- деформируемые – сплавы используют в виде проката (листов, ленты, труб) и поковок, маркируются буквами МА и порядковым номером.

## **6.2 Задачи для самостоятельного решения**

*Задание 1.* Расшифровать марки сплавов цветных металлов

Таблица 8 – Варианты заданий

1	АМц	Л63	МА8	ВТ1	Б83С	ЛК80-3	БрО10Ф1	БрНЗЦЗС 20Ф
2	Л90	АМг	Б16	МЛ1	ВТ5Л	БрКН1-3	БрОФ8-0,3	ЛА- ЖМц66- 6-3-2
3	Д1	Л96	МА7	Б83	ВТ3	ЛА67-2,5	БрБНТ1,7	БрОЦС4- 4-4
4	АМг3	МЛ2	Л60	ВТ4	БрБ2,5	Б92	ЛКС80-3-3	БрОФ7- 0,2
5	МА6	АК2	БТ	Л85	ВТ14Л	БрА5	ЛС59-1	БрОЦС4- 4-2,5
6	Л80	АЛ4	МЛ3	БН	БрС30	ВТ5	БрОЦ4-3	ЛАЖ60- 1-1
7	ВТ6	Л70	Д16	МА5	БК2	ЛМц58-2	БрКМц3-1	БрОЗЦ8С 4Н1
8	МЛ4	АК4	Л68	БС2	ВТ5Л	БрА5	БрКН1-3	ЛМцНЖ6 0-2-1-1
9	АЛ3	МА4	Б92	Л60	БрБНТ1,7	ВТ14	БрОЗЦ13С4	ЛА85-0,6
10	Л63	АМг5	МЛ5	ВТ15	Б83	БрО10Ц2	ЛМцЖ55-3-1	БрАМц9- 2
11	МА3	Б6	Д18	Л65	ВТ14Л	ЛА77-2	БрО4Ц7С5	БрАЖН1 0-4-4
12	Б16	МЛ6	Л68	АК6	БрБ2	ВТ1	БрО10Ц2	ЛАНК75- 2-2-1
13	ВТ3	Л70	МА2	АЛ4	БТ	БрКМц3-1	БрБНТ1,7	ЛК80-3
14	Л72	БС6	АЛ9	МЛ1	ВТ5Л	БрА7	ЛКС65-1,5-3	БрОЗЦ7С 5Н
15	Л96	АМг6	МА1	Б83С	БрО10Ф1	ВТ4	БрБНТ1,9	ЛН65-5
16	Д20	Л93	ВТ5	МЛ2	Б16	БрС60Н2,5	ЛМцА57-3-1	БрКМц3- 1
17	МА2	АК8	Л90	Б83	ВТ14Л	ЛО90-1	БрО5Ц6С5	БрКМц3- 1
18	Б92	МЛ3	АЛ7	Л85	БрС30	ВТ6	БрОФ4-0,5	ЛМцОС5 8-2-2-2
19	АЛ13	ВТ14	МА3	Л83	БТ	БрБ2,5	ЛС63-3	БрОЦСН 3-7-5-1
20	БН	АМц	Л80	МЛ4	ВТ5Л	БрС30	ЛМцЖ55-3-1	БрОЗЦ12 С5

*Задание 2.* Для каждой марки выписать свойства и применение. Результат оформить в виде таблицы.

Таблица 9 - Результаты

Марка	Свойства	Применение

## **Тема 7. ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

### **7.1 Краткие теоретические сведения**

При выборе материала для деталей машин конструктор пользуется справочниками, где наряду с данными о механических свойствах, полученных при испытании стандартных образцов, учитывается также название типичных деталей, для которых данный материал используют. Однако трудность при выборе материала по справочнику заключается в том, что для изготовления детали одного и того же наименования справочник рекомендует различные марки материала. Поэтому при выборе материалов по справочнику в первую очередь следует исходить из условий работы детали и требуемых от нее свойств.

Рассмотрим, из решения каких задач складывается работа по выбору материала:

1. Материал должен обеспечить прочность, надежность и долговечность работы детали. Для выполнения этих требований необходимо учитывать жесткость нагружения в процессе работы и условия, в каких работает конструкция. В случае работы в агрессивных средах необходим учет влияния среды.

2. Выбранный материал должен быть технологичным, т.е. необходимо учитывать технологические свойства, оборудование и способы изготовления из него детали.

3. Выбранный материал должен быть как можно более дешевым и недефицитным.

### **7.2 Порядок выполнения работы**

1. Точно переписать задание.

2. Провести анализ условий работы детали и определить требования к материалу детали.

3. Из изученных основных классов конструкционных материалов выбрать те, которые, вероятно, могут обеспечить выполнение требований, предъявляемых к детали.

4. По справочнику определить марки материалов и упрочняющую обработку, которые обеспечивают у детали

получение заданных свойств. Поскольку требуемые свойства могут обеспечить разные материалы, то данные о них из справочника следует представить в виде таблицы, что сделает последующий выбор материала более наглядным. Следует выбрать 2 – 3 материала.

Таблица 10 – Информация о материалах

Марка материала	Термообработка	Предел прочности, МПа	Твердость	Другие свойства

1. На основе сравнения всех данных следует сделать заключение о том, какой материал следует считать оптимальным и по каким причинам.

2. Для выбранного материала дать расшифровку марки.

### 7.3 Задачи для самостоятельного решения

1. Поршневой палец из цементуемой легированной стали
2. Ответственный коленчатый вал из легированной стали
3. Корпус карбюратора
4. Поршневой палец автомобиля, подвергаемый закалке ТВЧ
5. Стальная заклепка для клепания рамы автомобиля
6. Блок цилиндров из недефицитного литейного сплава
7. Плоская пружина
8. Стальное ребро тормозной колодки, изготовленное холодной штамповкой
9. Бензокраник, изготовленный методом литья под давлением
10. Выхлопной клапан автомобиля
11. Шатун, изготовленный методом горячей штамповки
12. Крыло грузового автомобиля, изготовленное холодной штамповкой
13. Неразъемный вкладыш подшипника скольжения
14. Корпус редуктора
15. Приводная звездочка цепной передачи
16. Картер мотора из алюминиевого сплава.

## **Тема 8. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВ**

### **8.1 Основные теоретические сведения**

Одним из основных направлений развития технологии машиностроения в настоящее время является совершенствование существующих и разработка новых безотходных, материалосберегающих производственных процессов, т. е. таких процессов, которые обеспечивают получение заготовок с минимальными припусками под последующую механическую обработку либо вообще без них при одновременном снижении расхода дефицитных материалов. В решении этой проблемы определенная роль принадлежит порошковой металлургии.

Порошковая металлургия — это отрасль техники, включающая изготовление порошков из металлов и их сплавов и получение из них заготовок и изделий без расплавления основного компонента. Методами порошковой металлургии можно создавать материалы из различных компонентов с резко отличающимися свойствами и температурами плавления, новые материалы с разнообразным комплексом физико-механических свойств. Порошковая металлургия используется как для создания принципиально новых материалов и изделий из них, так и для изготовления самой широкой номенклатуры конструкционных деталей общего назначения.

В настоящее время расширяется сфера применения порошковой металлургии в различных областях промышленности, совершенствуется ее технология.

Относительно небольшие производственные расходы на получение изделий из порошковых материалов в сочетании с возможностью придания им заданных свойств, окончательной формы и размеров практически без проведения механической обработки выдвинули порошковую металлургию в ряд наиболее эффективных и перспективных технологий. Эта технология успешно конкурирует с литьем, обработкой давлением, резанием и другими методами обработки металлов, дополняя или заменяя их.



Процесс изготовления деталей из порошковых материалов заключается в получении порошка исходного материала, составлении шихты, прессовании и спекании изделий. Каждая из указанных операций вносит свой существенный вклад в формирование конечных свойств порошковых изделий.

Методами порошковой металлургии получают: твердые сплавы для изготовления режущего, бурового, волочильного инструмента, а также деталей, подвергающихся интенсивному изнашиванию; высокопористые материалы для изготовления фильтров, используемых для очистки жидкостей от твердых включений, воздуха и газа, от пыли и т. д.; антифрикционные материалы для производства подшипников скольжения, втулок, вкладышей и других деталей, работающих в тяжелых условиях эксплуатации; фрикционные материалы для получения деталей узлов трения, сцепления и тормозных систем машин; жаропрочные и жаростойкие материалы для производства изделий, работающих в условиях высоких температур и в сильно агрессивных газовых средах; материалы сложных составов (псевдосплавы) для изготовления электрических контактов, которые получить другими способами невозможно; магнитные материалы для изготовления постоянных магнитов, магнитоэлектриков, ферритов и т. д.

## **8.2 Получение порошка исходного материала**

Получение металлических порошков является важнейшей операцией технологического процесса изготовления деталей из порошковых материалов, от которой зависят их основные свойства.

Металлические порошки различаются как по размерам (от долей микрометра до долей миллиметра), так и по форме и состоянию поверхности частиц.

Все известные способы производства порошков условно разделяют на механические и физико-химические. Механические методы получения порошков - дробление и размол, распыление, грануляция - характеризуются переработкой материалов в порошок практически без изменения их химического состава. Физико-химические методы - восстановление, термическая диссоциация карбонильных соединений - отличаются тем, что получаемый

порошок по химическому составу существенно отличается от исходного материала.

Наибольшее промышленное распространение получили методы изготовления порошков путем восстановления оксидов и других соединений металлов, распыления и др.

*Механические методы получения порошков* основаны на измельчении частиц материала путем разрушения их под действием внешних нагрузок, преодолевающих внутренние силы сцепления в материале.

Недостатками механических методов получения порошков является загрязнение последних продуктами истирания шаров и барабана, их высокая стоимость и относительно низкая производительность процессов.

Одним из *физико-химических методов* получения порошков является восстановление оксидов и других соединений металлов. Под восстановлением в порошковой металлургии понимают процесс получения металлов из их химических соединений путем отнятия неметаллической составляющей (кислорода и других элементов) при помощи восстановителя.

Методом восстановления получают порошки кобальта, вольфрама, молибдена, титана, меди, железа и других металлов. В качестве восстановителей применяют газы (водород, конвертерный, доменный, коксовый и др.) или твердые вещества (углерод, магний). Получение металлических порошков восстановлением является наиболее распространенным, высокопроизводительным и экономичным из рассматриваемых методов.

Электролиз водных растворов и расплавленных сред заключается в разложении водных растворов соединений выделяемого металла или расплавленных солей при пропускании через них постоянного электрического тока. Этим способом получают порошки олова, серебра, меди, железа, а также порошки редких металлов (тантала, тория, ниобия, циркония и др.) с дендритной формой частиц. Порошки отличаются высокой чистотой и хорошей прессуемостью вне зависимости от степени чистоты исходного сырья. Стоимость порошков высока из-за больших затрат электроэнергии и низкой производительности процесса.

### 8.3 Формование заготовок из порошковых материалов

Под *формованием* следует понимать процесс получения заготовок требуемых форм и размеров, а также достаточной прочности для последующего изготовления из них изделий. Формование предполагает уплотнение порошка.

Прочность заготовки с повышением давления прессования увеличивается и обеспечивается за счет механического сцепления частиц и сил межатомных и межмолекулярных связей.

Обычно перед формованием производят подготовку порошков, заключающуюся в их отжиге, классификации и приготовлении смесей (шихты).

Отжиг применяют с целью повышения пластичности и прессуемости порошков за счет восстановления остаточных оксидов и снятия наклепа.

Классификация — разделение порошков на фракции по размерам частиц. Разделение осуществляют с помощью сит либо воздушных сепараторов.

Приготовление шихты производят в мельницах, смесителях и др. Для этого дозированные порции компонентов определенного гранулометрического и химического состава смешивают в указанных устройствах.

### 8.4 Спекание и окончательная обработка порошковых изделий

Только прессованием порошка получить изделие достаточной прочности невозможно. На поверхности частиц порошка образуются оксиды и всегда есть загрязнения, препятствующие возникновению металлических контактов. В силу упругих свойств частиц порошка велико их сопротивление деформированию. Поэтому для повышения прочности и твердости изделий заготовки подвергают спеканию.

Операция спекания состоит в нагреве и выдержке заготовок при температуре, составляющей 0,7...0,8 от абсолютной температуры плавления основного компонента спекаемой

композиции. Средняя продолжительность выдержки составляет 1...2 ч.

Между частицами порошка возникают металлические контакты. Спекание сопровождается обычно некоторым уплотнением заготовок - усадкой, которая зависит от дисперсности исходного порошка, температуры и продолжительности спекания. При спекании снимаются остаточные напряжения в заготовках, изменяются их физические свойства и улучшаются механические характеристики. Для предотвращения окисления частиц порошка спекание проводят в вакууме или в защитной атмосфере (водорода, оксида азота, генераторного газа и др.).

Нагрев заготовок при спекании осуществляют в печах различного типа, работающих периодически или непрерывно. Печи периодического действия применяют при небольшом выпуске порошковых изделий. Они бывают колокольного типа, муфельные и шахтные. При массовом производстве изделий используют методические печи непрерывного действия: конвейерные, рольганговые, с шагающим подом, толкательные.

При необходимости порошковые изделия подвергают отделочным операциям: калиброванию, обработке резанием, термической и химико-термической обработке, повторному спеканию, повторному прессованию.

Калиброванием можно получать изделия с погрешностью размеров 0,0005...0,01 мм. Порошковое изделие продавливают через отверстие в стальных пресс-формах специальной конструкции. При этом происходит не только уточнение размеров, но и уплотнение и полировка поверхностного слоя изделий, повышается их износостойкость.

Обработку резанием (точение, сверление, фрезерование и т. д.) применяют в тех случаях, когда прессованием нельзя получить детали заданных форм и размеров, для нарезания внутренних и наружных резьб, получения узких, но глубоких отверстий и т. д. При обработке резанием используют хорошо заточенный и доведенный инструмент, оснащенный пластинками из твердого сплава или алмаза.

Термическую и химико-термическую обработку порошковых изделий (азотирование, хромирование и т. д.) проводят так же, как

и для компактных металлов. Некоторой особенностью термической обработки порошковых изделий является необходимость нагрева их и переноса в закалочную ванну в защитной атмосфере, так как они отличаются склонностью к окислению.

Повторное прессование применяют при получении изделий сложной формы, когда при первом прессовании обеспечиваются лишь приближенные их форма и размеры.

## **8.5 Эффективность технологии порошковой металлургии**

Применение методов порошковой металлургии для изготовления изделий позволяет достигать высокой производительности труда и значительной экономии средств в народном хозяйстве страны. Экономия достигается за счет получения изделий высокой прочности, рационального использования металла, снижения его потерь, повышения качества изделий, создания новых прогрессивных деталей и др.

Если обычное изготовление деталей на металлорежущих станках сопровождается потерями до 20...80% металла, связано с необходимостью выполнения большого числа технологических операций и значительными трудозатратами, то получение изделий методами порошковой металлургии отличается тем, что при числе операций 3...5 отходы металла составляют всего 5...10%. Кроме того, производство порошковых изделий сосредоточено в основном на одном предприятии, не требует большого станочного парка и высокой квалификации рабочих.

Многие изделия, изготовленные методами порошковой металлургии, обладают более высокими качествами, чем изделия, полученные традиционными методами. Так, стойкость инструмента из порошка быстрорежущей стали в 3...4 раза больше стойкости инструмента из литой стали. Новые инструментальные материалы на основе системы  $\text{Si}_3\text{N}_4$  —  $\text{Al}_2\text{O}_3$  по стойкости во многих случаях превосходят вольфрам-титановые твердые сплавы.

Рост скоростей движения механизмов и нагрузок на детали и узлы современных машин обуславливает повышение требований, предъявляемых к материалам. Так, для торможения современного самолета в течение 30 с необходимо свыше 400 МВт энергии, а для

остановки за 10 с автомобиля массой 2,5 т, движущегося со скоростью 180 км/ч,- более 220 кВт энергии. При этом теплота, выделяющаяся в тормозных узлах, должна рассеиваться до очередного торможения, в противном случае нарушается нормальный режим работы тормозов. Традиционные фрикционные материалы в подобных случаях не могут обеспечить требуемый режим работы узлов трения. Использование же порошковых фрикционных накладок в тормозных системах самолетов позволяет значительно уменьшить длину посадочных полос аэродромов, что обеспечивает получение большого экономического эффекта.

Порошковые антифрикционные материалы предназначены в основном для замены традиционных подшипниковых материалов и создания новых, не имеющих аналогов. Применение таких материалов позволяет увеличить в 1,5...3 раза срок службы узлов трения, достичь экономии материалов за счет полной или частичной ликвидации механической обработки при изготовлении деталей, снижения массы изделия и трудоемкости его изготовления.

Таким образом, порошковая металлургия позволяет решать вопросы, связанные с изготовлением материалов и изделий как с обычными, так и особыми свойствами. Эффективность порошковой металлургии повышается в условиях массового производства изделий. С увеличением объема выпуска изделий себестоимость изготовления порошковых деталей снижается по сравнению с себестоимостью литых заготовок.

Предполагается дальнейшее развитие теории и практическое применение методов порошковой металлургии.

### **8.6 Задание на практическую работу**

Составить схему технологического процесса получения заданной детали методом порошковой металлургии:

- определить конструктивные особенности заданной детали;
- выполнить эскиз заданного изделия;
- составить схему технологического процесса получения изделия.

## Тема 9. ПОДБОР МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ДЕТАЛИ ОТ КОРРОЗИИ

### 9.1 Краткие теоретические сведения

Коррозию металла можно затормозить пассивацией и изменением потенциала металла, уменьшением концентрации окислителя, изоляцией поверхности металла от окислителя и пр. Все эти способы защиты можно объединить в группы:

- 1) защитные покрытия металлов;
- 2) обработка коррозионной среды;
- 3) электрохимические методы защиты;
- 4) получение коррозионно-стойких сплавов.

Рассмотрим первые два способа.

Покрытия, применяемые для защиты металлов, подразделяются на металлические, неметаллические и образованные в результате химической или электрохимической обработки поверхности металла.

Металлические покрытия по характеру защитного действия подразделяются на катодные и анодные.

К **анодным** относятся такие покрытия, в которых металл покрытия имеет более отрицательное значение электродного потенциала, чем защищаемая деталь. Например, железо, покрытое цинком. При **катодном** покрытии металл покрытия имеет более положительное значение электродного потенциала, чем сама деталь. Например, железо, покрытое медью или оловом (луженое железо). Пока защитный слой не нарушен, принципиального различия между этими покрытиями нет.

При нарушении целостности катодное покрытие перестает защищать основной металл от коррозии, создавая с ним гальваническую пару, усиливает его коррозию. Анодное же покрытие будет само подвергаться разрушению, защищая тем самым основной металл.

Метод обработки коррозионной среды пригоден для случаев, когда защищаемое изделие эксплуатируется в ограниченном объеме жидкости. Например, скорость процессов кислотной коррозии может быть значительно снижена введением в кислоту

ингибиторов – веществ, замедляющих коррозию, в количестве 0,1? 0,5%.

Механизм действия ингибиторов заключается в том, что, адсорбируясь на поверхности металла, они подавляют действие коррозионных микропар, препятствуя катодному или анодному процессу или обоим вместе.

Электрохимический метод защиты основан на торможении анодных или катодных реакций за счет изменения потенциала этих реакций. Одним из электрохимических методов является протекторная защита. Сущность его заключается в том, что к защищаемой конструкции присоединяют протектор, то есть металл, имеющий более отрицательный электродный потенциал. В искусственно созданной коррозионной гальванической паре разрушается протектор, то есть анод, а основной металл сохраняется.

## 9.2 Задание на практическую работу

**Вариант 1.** Железо покрыто оловом, какое это покрытие: анодное или катодное? Расписать работу коррозионной гальванической пары в кислой среде.

**Вариант 2.** Из перечисленных металлов (Cu; Zn; Ni) подобрать протектор для стальной детали (Fe). Расписать работу гальванической пары в нейтральной среде ( $H_2O+O_2$ ).



**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ: уч. пособие для вузов. Изд. 4-е доп. и перераб./ С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. – М.: МИСИС, 2002. – 360 С.
2. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы: уч. пособие для студентов вузов / Андриевский Р.А., Рагуля А.В. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
3. Тушинский Л.И. Методы исследования материалов: структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий: уч. пособие для вузов / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.О. Токарев, В.И. Синдеев. – М.: Мир, 2004. – 384 с.
4. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: уч. пособие для вузов / В.Л. Миронов. – Н.Новгород: Институт физики наноструктур РАН, 2004. – 110 с.
5. Бахтизин Р.З. Сканирующая туннельная микроскопия – новый метод изучения поверхности твердых тел // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6, № 11. – С. 1-7.
6. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Metallurgia, 1983.
7. Гуляев А.П., Малинина К.А., Саверина С.М. Инструментальные стали: Справочник. – М.: Машиностроение, 1975.
8. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник. – М.: Машиностроение, 1992.
9. Калачев Б.А., Ливанов Б.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.: МИСИС, 2005.
10. Коршунова Т.Е., Овсянникова Г.Л. Принцип обозначения марок черных и цветных сплавов. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 1998.
11. Коршунова Т.Е. Микроанализ. Твердость материалов. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 1999.