

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра материаловедения и технологии
художественных изделий

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направления 21.03.01

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 669.017(073)

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.В. Сивенков, Л.Г. Борисова*. СПб, 2020. 38 с.

Для улучшения усвоения материала курса и повышения эффективности преподавания, для выработки навыков самостоятельного предметного анализа о составе, строении и свойствах материалов, для студентов предусмотрены выполнения вариантов домашних заданий, позволяющих облегчить усвоение учебного материала и методические указания к их выполнению, а также библиографический список рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело» по профилю «Бурение нефтяных и газовых скважин».

Научный редактор проф. *Е.И. Пряхин*

Рецензент доц. С.А. Филиппов (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Самостоятельная работа студента является не менее важной, чем аудиторные занятия под руководством преподавателя, так как она вырабатывает навыки самостоятельного предметного анализа о составе, строении и свойствах основных металлических и неметаллических материалов, методах упрочнения металлов и сплавов, рациональных областях применения тех или иных конструкционных и инструментальных материалов, превращениях, происходящих при нагреве и охлаждении материалов, правильного выбора марки материалов, исходя из функционального назначения изделия, а так же разработка процессов упрочняющей технологии.

Для улучшения усвоения материала курса и повышения эффективности преподавания, для студентов предусмотрены выполнения *вариантов домашних заданий*, позволяющие облегчить усвоение учебного материала. Для учета индивидуальных особенностей студентов предусмотрено проведение консультаций.

Материалы для самостоятельного изучения могут использоваться в качестве краткого справочника студентами и аспирантами при выполнении НИР.

1. Методические указания к самостоятельной работе №1

«АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ»

Цель работы – анализ диаграммы состояния двойных сплавов; информация о структуре сплавов различного химического состава; прогноз свойств сплавов; определение оптимальной технологии и режимов их обработки.

Порядок выполнения работы

Выбрать **вариант задания** (табл. 1), соответствующий **последней цифре номера студенческого билета**, вариант 10 соответствует цифре 0.

Таблица 1

		Номер сплава – предпоследняя цифра студенческого билета									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер рисунка – последняя цифра студенческого билета	1	600	400	200	100	550	500	300	100	200	600
	2	800	600	300	500	700	300	750	650	400	550
	3	220	260	200	280	240	310	280	240	220	320
	4	1400	600	1200	900	700	600	900	1050	1000	1200
	5	100	500	200	400	300	500	200	300	200	150
	6	200	300	750	600	400	750	600	300	500	400
	7	200	400	650	750	500	200	600	300	600	100
	8	800	1400	1200	1000	900	1500	1550	1400	1000	1600
	9	600	700	1400	900	700	1000	1625	1200	1650	600
	10	100	580	400	200	500	600	200	100	300	150

1. Описать характер взаимодействия компонентов данной системы в жидком и твердом состояниях. Установить, какие фазы образуются при сплавлении компонентов, дать их характеристику.

2. Указать фазы во всех областях диаграммы.

3. Написать, какому превращению при охлаждении и нагреве соответствует каждая линия диаграммы.

4. Описать превращения, происходящие в одном из сплавов при медленном охлаждении из жидкого состояния до температуры, соответствующей оси абсцисс диаграммы. Указать окончательную структуру этого сплава.

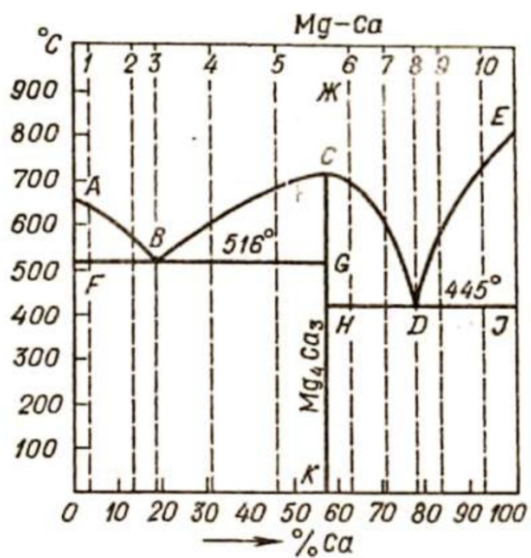


Рис. 1. Вариант 1

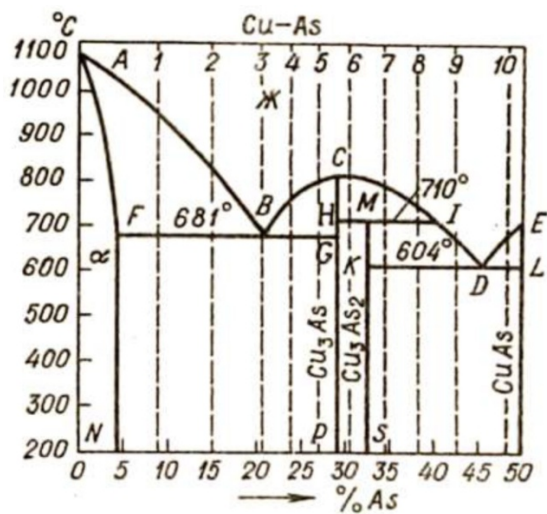


Рис. 2. Вариант 2

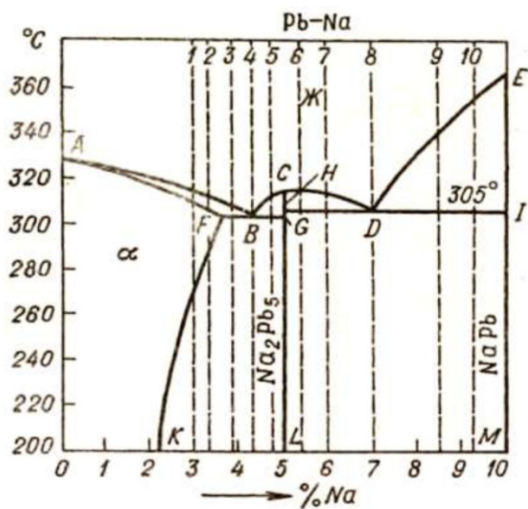


Рис. 3. Вариант 3

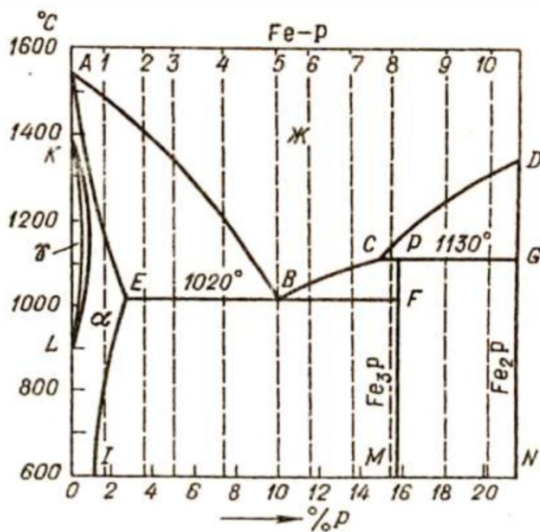


Рис. 4. Вариант 4

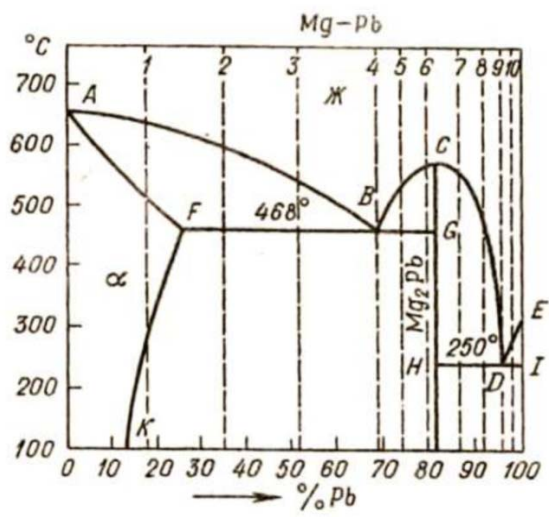


Рис. 5. Вариант 5

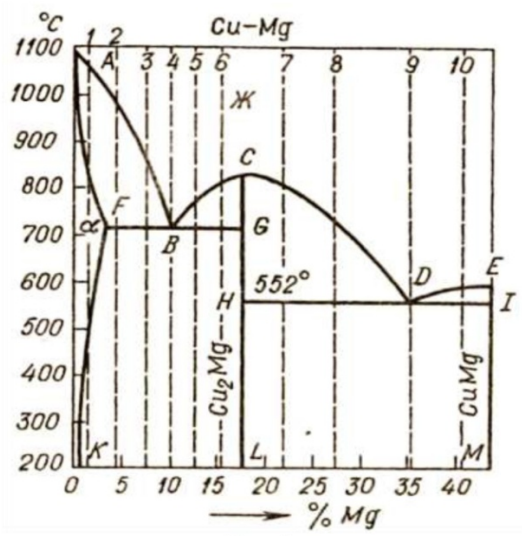


Рис. 6. Вариант 6

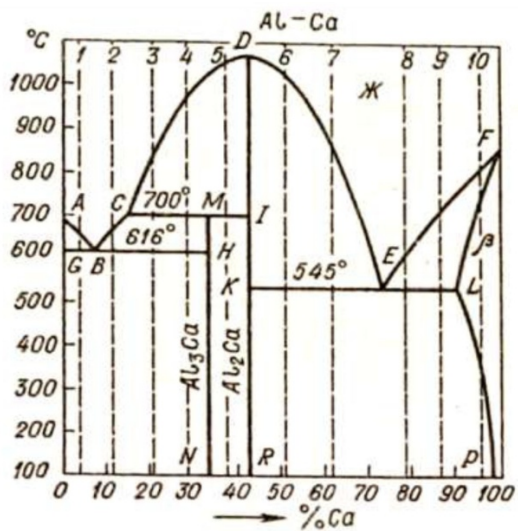


Рис. 7. Вариант 7

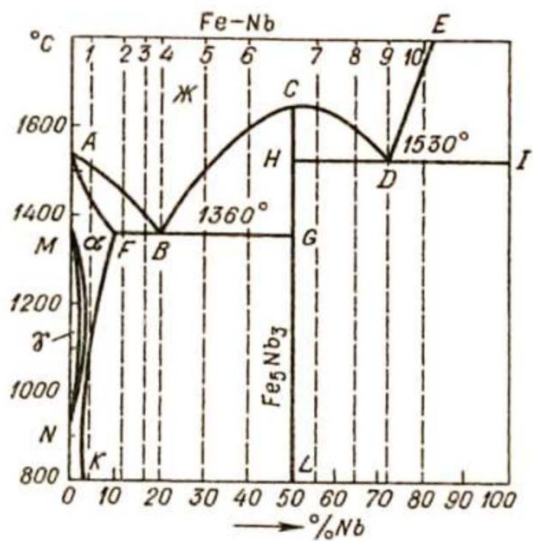


Рис. 8. Вариант 8

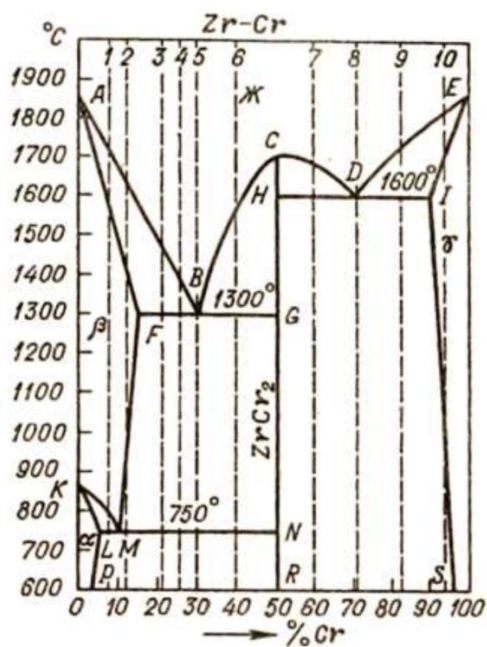


Рис. 9. Вариант 9

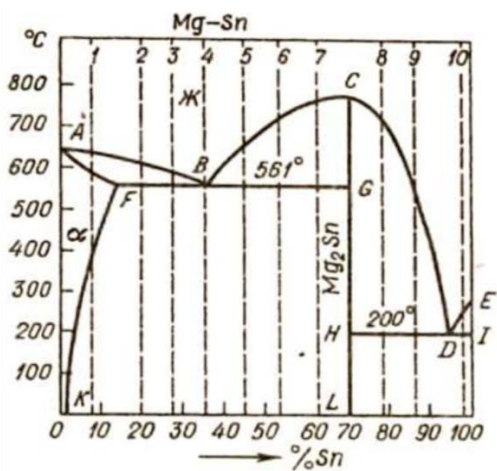


Рис. 10. Вариант 10

5. Проанализировать формирование структур сплавов других составов и указать все возможные типы окончательных структур, образующихся в данной системе. Отметить интервалы составов, в которых существует каждая из этих типовых структур.

6. Определить:

а) химические составы;

б) относительные количества фаз в сплаве заданного состава при заданной температуре.

7. Руководствуются законами Н.С. Курнакова, установить примерный характер изменения механических свойств сплавов данной системы в зависимости от их химического состава. Дать заключение об особенностях технологических свойств сплавов различного состава.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Нарисовать выбранную в соответствии с вариантом диаграмму и указать на ней фазы в двухфазных областях.

3. Анализ диаграммы по пунктам 1-7.

ПРИМЕР анализа диаграммы Cu–Ag:

1. Компонентами данной системы являются химические элементы Cu и Ag. Из рисунка диаграммы (рис. 11) следует, что в жидком состоянии (выше линии ликвидус ABC) они неограниченно растворяются друг в друге, образуя фазу Ж (жидкий раствор). В твердом состоянии (ниже линии солидус ADEC) компоненты ограниченно растворяются друг в друге, образуя твердые растворы α и β – твердый раствор на основе Cu, т. е. раствор Ag в Cu, а β – твердый раствор Cu в Ag. Причем взаимная растворимость компонентов повышается с увеличением температуры: Ag в Cu – по линии FD, Cu в Ag – по линии GE.

Таким образом, в данной системе существуют следующие фазы:

Ж – жидкий раствор Cu и Ag;

α – твердый раствор Ag в Cu;

β – твердый раствор Cu в Ag.

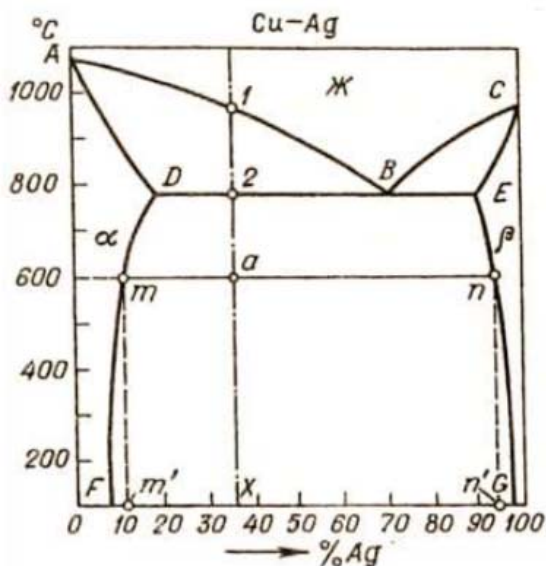


Рис 11. Диаграмма состояния Cu-Ag

2. Однофазные области существования этих фаз обозначены на рисунке диаграммы. Все остальные области диаграммы – двухфазные. В данном случае - это:

- область ABD – фазы Ж + α ;
- область BCE – фазы Ж + β ;
- область FDEG – фазы α + β .

3. Теперь, когда фазы указаны во всех областях диаграммы, нетрудно описать превращения, происходящие на каждой линии диаграммы при охлаждении и нагреве сплавов:

- линия AB – начало кристаллизации фазы α из жидкости при охлаждении или конец ее растворения в жидкости при нагреве;
- линия AD – конец кристаллизации фазы α при охлаждении или начало ее растворения в жидкости при нагреве;
- линия BC – начало кристаллизации фазы β из жидкости при охлаждении или конец ее растворения в жидкости при нагреве;
- линия CE – конец кристаллизации фазы β при охлаждении или начало ее растворения в жидкости при нагреве;

–линия DBE – эвтектическое превращение; при охлаждении происходит затвердевание жидкости эвтектического состава (J_B) в смесь двух твердых фаз определенного состава (α_D и β_E) – эвтектику:



При нагреве происходит обратное превращение – смесь кристаллов двух фаз (эвтектика) одновременно расплавляется, переходит в жидкую фазу;

–линия DF – линия предельной растворимости Ag в Cu. Видно, что максимально возможное содержание Ag в Cu (в α -твердом растворе) понижается с уменьшением температуры, поэтому при охлаждении ниже линии DF из α -фазы выделяется избыток Ag в виде вторичных кристаллов β_{II} .

При нагреве на этой линии заканчивается растворение кристаллов β_{II} в α -растворе;

–линия EG – аналогична DF (линия предельной растворимости Cu в Ag) – начало выделения α_{II} из β при охлаждении или конец растворения α_{II} в β при нагреве.

4. Рассмотрим превращения, происходящие в сплаве состава X при его медленном охлаждении из жидкого состояния до комнатной температуры. Прежде всего, необходимо обозначить на рисунке «критические точки» выбранного сплава – температуры, при которых происходят фазовые превращения – это точки пересечения вертикали, соответствующей химическому составу данного сплава, с линиями диаграммы. В рассматриваемом случае – это точки «1» и «2».

В точке 1 начинается кристаллизация – из жидкости выпадают первые кристаллы α . При дальнейшем охлаждении (до точки 2) количество кристаллов α возрастает, количество жидкой фазы уменьшается. Вблизи точки 2 оставшаяся жидкость приобретает эвтектический состав (J_B) и согласно реакции (1) превращается в эвтектику. Поэтому окончательная структура сплава X состоит из эвтектики ($\alpha + \beta$) и избыточных кристаллов α , образовавшихся в интервале температур между точками 1, 2.

Таким образом, структура данного сплава содержит две основные структурные составляющие и может быть записана как $\alpha + \varepsilon(\alpha + \beta)$.

5. Легко сообразить, что структуру, подобную сплаву X, имеют все сплавы, расположенные в интервале составов между точками D...В. Это – доэвтектические сплавы. Если аналогичным образом провести полный анализ диаграммы, то можно установить, что в системе Cu – Ag возможны 7 типов окончательных структур сплавов (табл. 2). Строка 1 указывает интервал по составу, определяемый проекциями соответствующих точек диаграммы на ось абсцисс; строка 2 - структуру сплавов.

Таблица 2

1	O...F	F...D	D...B	B	B...E	E...G	G...100
2	α	$\alpha+\beta_{II}$	$\alpha+\varepsilon(\alpha+\beta)$	$\varepsilon(\alpha+\beta)$	$\beta+\varepsilon(\alpha+\beta)$	$\beta+\alpha_{II}$	β

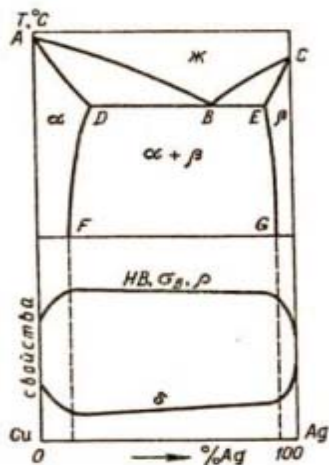


Рис. 12. Пример закономерностей растворимости Ag в Cu

Еще раз отметим, что вследствие переменной растворимости компонентов в твердом состоянии (линии DF и EG) в структуре доэвтектических и заэвтектических сплавов имеются вторичные кристаллы β_{II} и α_{II} соответственно (в приведенном перечне структур указаны лишь основные структурные составляющие этих сплавов). Если растворимость компонентов в твердом состоянии не изменяется с температурой (например Ag в Cu, рис. 12) или вообще отсутствует (например, Cu в Cu_3Ag), то нет и вторичных кристаллов в структуре до- и заэвтектических сплавов.

6. Химический состав фазы – это процентное содержание в ней компонентов. Естественно, что в однофазной области состав фазы совпадает с составом самого сплава.

Для определения состава фаз в двухфазной области необходимо через точку, задающую состояние сплава (она лежит на пересечении координат: температура – состав сплава), провести горизон-

таль до пересечения с границами данной двухфазной области (**коноду**). Проекция точек пересечения на ось абсцисс диаграммы показывают составы соответствующих фаз.

Определим составы фаз в сплаве X при температуре 600 °С, т.е. в состоянии, заданном точкой *a*. Через точку *a* проводим коноду *mn*. Проекция точки *m* (*m'*) показывает состав фазы α – 12 % Ag, 88 % Cu, проекция точки *n* (*n'*) – состав фазы β – 94 % Ag, 6 % Cu.

Для определения относительных количеств каждой из фаз в двухфазной области используются отрезки коноды («правило отрезков»):

относительное количество фазы α :

$$Q_{\alpha} = \frac{an}{mn} \times 100\% = \frac{59}{82} \times 100\% \approx 72\%$$

относительное количество фазы β :

$$Q_{\beta} = \frac{ma}{mn} \times 100\% = \frac{23}{82} \times 100\% \approx 28\%$$

7. В соответствии с закономерностями, связывающими свойства сплавов с видом их диаграмм состояния (закономерности Н.С. Курнакова), при образовании твердых растворов зависимость свойств от химического состава сплавов в данной системе имеет криволинейный характер. В сплавах, состоящих из смеси двух различных фаз, свойства в зависимости от состава меняются по линейному закону. Образование химического соединения приводит обычно к появлению экстремума на зависимостях состав-свойства. Хотя эти зависимости носят приближенный характер, они позволяют качественно прогнозировать свойства сплавов

Сплавы в интервале составов между точками F...G являются смесями кристаллов α и β вне этого интервала – твердыми растворами (α или β), поэтому можно считать, что свойства сплавов такой системы примерно описываются закономерностями, показанными на рис. 12.

Известно, что сплавы, содержащие в структуре эвтектику, обладают хорошими литейными свойствами. Поэтому сплавы из интервала D...E могут относиться по технологическим свойствам к

группе литейных. Причем наилучшие литейные свойства имеют сплавы по составу близкие к эвтектическому (точка В). Твердые растворы (в отличие от химических соединений), как правило, имеют высокую пластичность. Поэтому для обработки давлением лучше всего подходят сплавы с однофазной структурой твердого раствора α (O...F) или β (G...100). То есть по технологическим свойствам – это деформируемые или обрабатываемые давлением сплавы. К ним могут быть причислены также сплавы, содержащие небольшое количество вторичных выделений, т.е. со структурой $\alpha+\beta_{II}$ (F...D) и $\beta+\alpha_{II}$ (E...G). Эти сплавы, кроме того, могут упрочняться в результате термической обработки, состоящей из закалки и старения. Возможность такой термической обработки основана на увеличении растворимости компонентов в твердом состоянии при повышении температуры. Таким образом, знание диаграмм состояния дает возможность предусмотреть также технологию изготовления и термической обработки изделий из сплавов различного состава.

2. Методические указания к самостоятельной работе №2

«АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ «ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ»

Цель работы – проверка знания студентами диаграммы состояния «Железо-цементит» и умения пользоваться ею при определении равновесной структуры железоуглеродистых сплавов и назначении режимов термической обработки.

Работа имеет 10 вариантов, номера которых соответствуют **последней цифре студенческого билета**, вариант 10 соответствует цифре 0.

Для ответа на приведенные ниже вопросы заданий необходимо нарисовать диаграмму «Железо-цементит» и указать фазы во всех областях диаграммы. В ряде случаев можно ограничиться соответствующей частью диаграммы, например при выборе режимов термической обработки сталей достаточно рассмотреть «стальной угол» диаграммы. При ответе на вопросы нужно использовать рису-

нок диаграммы, анализируя состояние сплавов в различных ее областях.

Вариант 1

Определить по диаграмме железо-цементит, какие превращения совершаются в заэвтектоидной стали марки У10 и доэвтектического чугуна при медленном охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры. Сопоставить эти превращения и указать окончательную структуру сплавов. Каково принципиальное отличие структуры чугуна от структуры стали, и как это отличие сказывается на механических и технологических свойствах этих сплавов?

Вариант 2

Определить по диаграмме железо - цементит температуры отжига сталей марок 40, У8 и У12. Какова температура нагрева этих сталей под закалку? Дать обоснование выбранным температурам нагрева сталей, описав структурные превращения в этих сталях при соответствующих режимах (и видах) термической обработки.

Вариант 3

Определить по диаграмме железо-цементит превращения, совершающиеся в стали марки У8 при медленном охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры. Начертить диаграмму изотермического превращения аустенита для названной стали и показать на ней, как будут изменяться структура и свойства этой стали по мере ускорения охлаждения из аустенитной области. Какую структуру и свойства приобретет эта сталь, если скорость охлаждения из аустенитной области превысит критическую скорость закалки?

Вариант 4

Определить по диаграмме железо-цементит, какие превращения совершаются в стали марки 40 при медленном охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры и окончательную структуру этой стали. Какую структуру будут иметь изделия из этой стали после закалки с температур 740 и 840 °С? Какой из указанных вариантов закалки следует выбрать для обеспечения более

высоких эксплуатационных характеристик изделий из этой стали и почему?

Вариант 5

Определить по диаграмме железо-цементит, до какой области температур была нагрета сталь марки 45, если после закалки со скоростью выше критической ее структура состояла из феррита и мартенсита. Описать превращения, которые совершились в стали при охлаждении, и указать является ли выбранная температура нагрева стали удачной с точки зрения получения высоких механических свойств. Какова должна быть температура нагрева этой стали, чтобы при охлаждении со скоростью выше критической ее структура не содержала феррита?

Вариант 6

Сталь марки 50 после одного вида термической обработки получила структуру феррит+пластинчатый перлит, после второго - мартенсит+феррит и после третьего - мартенсит. Указать, какие виды термической обработки применены в каждом случае. Определить по диаграмме железо-цементит, до какой области температур была нагрета сталь при каждом виде термической обработки и указать, какие превращения она претерпела в процессе охлаждения в каждом из трех случаев.

Вариант 7

Определить по диаграмме железо-цементит, какие превращения совершаются в доэвтектическом белом чугуна какого-либо состава при охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры. Какова окончательная структура сплава? Назначить режим термической обработки для превращения этого чугуна в ковкий чугун и указать, как изменяются при этом свойства чугуна. Какова причина этих изменений?

Вариант 8

Определить по диаграмме железо-цементит, какие превращения совершаются в стали марки У12 при медленном охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры, привести

окончательную структуру стали. Какую структуру будут иметь изделия из этой стали после закалки с температур 770 и 960 °С? Какой из указанных вариантов закалки следует выбрать для обеспечения более высоких эксплуатационных характеристик инструмента из этой стали и почему?

Вариант 9

При закалке инструмента из углеродистых сталей температура в печи оказалась завышенной на 150 °С по сравнению с оптимальной.

Нарисовать в масштабе «стальной угол» диаграммы железо-цементит и показать на нем оптимальный интервал закалочных температур. Используя рисунок, объяснить, как указанное нарушение режима закалки повлияет на структуру и свойства сталей марок У7 и У10.

Вариант 10

Сталь марки У12 после одного вида термической обработки получила структуру пластинчатый перлит+вторичный цементит, после второго -мартенсит+остаточный аустенит, после третьего -мартенсит+остаточный аустенит+вторичный цементит. Указать, какие виды термической обработки применены в каждом случае. Определить по диаграмме железо-цементит, до какой области температур была нагрета сталь при каждом виде термической обработки и указать, какие превращения она претерпела в процессе охлаждения в каждом из трех случаев.

3. Методические указания к самостоятельным работам: №3, №4, №5, №6

«ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ»

Цель работы – выработка навыков по выбору материалов для изготовления изделий различного назначения (деталей машин и приборов, инструмента, конструкций) и рациональных технологий объемной и поверхностной упрочняющей обработки (термической, химико-термической и др.) этих изделий.

Для выполнения заданий этих работ необходимо освоить все темы дисциплины и уметь пользоваться учебной и (в отдельных случаях) специальной справочной литературой. Желательно также выполнить лабораторные работы.

Ответы на каждый вопрос задания должны быть обоснованными, четко указано, почему произведен выбор данной группы материалов, конкретной марки сплава, того или иного режима упрочняющей обработки и т.д.

Ниже описана **примерная схема (последовательность) выбора материалов** для изделий различного назначения.

1. Назначение изделия

Начинать нужно именно с назначения изделия (указывается в задании), поскольку оно сразу определяет тип материала. Все изучаемые в данном курсе материалы можно разделить по назначению на два основных типа – *конструкционные*, применяемые для широкого круга деталей машин, приборов, различного оборудования, и *инструментальные*. Инструментальными являются стали, классифицируемые по назначению инструмента, и твердые сплавы. Все остальные материалы можно считать конструкционными – это чугуны, стали (они также подразделяются на группы по назначению деталей) и сплавы цветных металлов.

Если в задании конкретизируется вид изделия, то это прямое указание на определенную группу сталей. Например, очевидно, что для фрез, метчиков, сверл нужно использовать *стали для режущего инструмента*, а для пружин – *рессорно-пружинные стали*.

Если требуется выбор материала для изделий «специфического назначения» (например, постоянных магнитов, сердечников трансформаторов, электронагревательных элементов и т.п.), то это, скорее всего, будут *стали и сплавы с особыми свойствами*.

Следующим важным этапом выбора материала является анализ условий работы изделия.

2. Условия работы изделия

а) Величина нагрузки и характер нагружения определяют *требования по механическим свойствам*; обычно они указаны в задании – чаще твердость и прочность (σ_B или $\sigma_{0,2}$).

Если твердость указана в единицах HRC_3 , то это высокая твердость и речь идет о сталях в термически упрочненном состоянии (закалка + отпуск). Величина твердости зависит от содержания углерода в стали и вида (температуры) отпуска. Максимальной твердости 60...65 HRC_3 соответствует низкий (≈ 200 °С) отпуск стали, содержащей $\geq 0,8\%$ С. Это *инструментальные стали (для режущего, измерительного, холодноштампового инструмента)* или цементованные низкоотпущенные детали (*из цементуемых низкоуглеродистых сталей*), поверхностный слой которых содержит такое же количество углерода.

Величина прочности (σ_B) в заданиях указывается обычно для ответственных (нагруженных) деталей, изготавливаемых из качественных углеродистых и легированных сталей, обязательно упрочняемых путем закалки и отпуска. Вспомним, что окончательная структура и свойства (в частности σ_B) стали зависят от температуры отпуска. Стали применяемые для разных групп однотипных изделий проходят присущий им вид отпуска (цементуемые – низкий, улучшаемые – высокий, рессорно-пружинные – средний виды отпуска), формирующий необходимый комплекс механических свойств. Все сведения по химическому составу, режимам термической обработки и механическим свойствам (включая σ_B) основных групп конструкционных сталей обычно приводятся в учебной литературе в виде сводных таблиц, поэтому, *если группа сталей по назначению определена, величина σ_B поможет выбрать конкретную марку (и режим термической обработки) стали.*

Характер нагружения также является подсказкой в выборе марки стали и режима термической обработки. Динамические (ударные) нагрузки способствуют охрупчиванию материала. Поэтому соответствующие детали должны обладать повышенной ударной вязкостью и пластичностью. Известно, что эти характеристики улучшаются с уменьшением содержания углерода в стали и повышением температуры отпуска. Отсюда для таких деталей (валы, рычаги, ответственный крепеж и т.п.) должны применяться стали с содержанием углерода не выше 0,3...0,5 % после высокого отпуска.

Заметим также, что все промышленные цветные сплавы (за исключением титановых и бериллиевой бронзы) имеют прочность

$\sigma_B \leq 500$ МПа, что существенно ниже прочности конструкционных сталей в термически упрочненном состоянии ($\sigma_B \approx 1000 \dots 1700$ МПа).

б) Особые условия работы

В основном это *температура эксплуатации изделия и химическая активность окружающей среды* – они определяют *требования по особым физико-механическим свойствам*.

Если в задании идет речь об эксплуатации нагруженных деталей машин при $t > 600$ °С (например, лопатки турбин), то это *жаропрочные легированные стали и сплавы*.

Если требуется выбор материала для инструмента, нагревающегося при работе до $t \leq 600$ °С, то это могут быть *штамповые стали для горячего деформирования* металла (молотовые штампы, пресс-формы для литья под давлением) либо *теплостойкие быстрорежущие стали и твердые сплавы* на карбидной основе (рабочая $t = 800 \dots 900$ °С), используемые для *режущего инструмента*.

Для изделий, работающих в химически агрессивных средах, очевидно, нужны *коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали*. Цветные сплавы также обладают высокой коррозионной стойкостью, но, как отмечалось выше, почти все значительно уступают сталям по прочности.

3. Размер (сечение) изделия

Если в задании указан диаметр изделия, то речь идет о *прокаливаемости стали* – способности закаливаться (приобретать мартенситную структуру) на определенную глубину. Для большинства ответственных изделий требуется сквозная прокаливаемость. В углеродистых сталях она не превышает 10-12 мм. В легированных сталях прокаливаемость тем больше, чем выше суммарное количество легирующих элементов в марке. Поэтому *конкретизировать выбор марки стали данной группы логично по величине прокаливаемости* (определяется критическим диаметром $D_{кр}$), сведения о которой имеются в учебной литературе.

4. Технология изготовления изделия

Если в задании указана технология изготовления изделия – *литье, обработка давлением*, то это служит дополнительным ориентиром выбора материала.

Основным требованием к материалу, используемому для *формования изделий методами обработки давлением* (особенно холодной штамповки), является его высокая пластичность. Величина пластичности сталей падает с увеличением содержания углерода, поэтому в данном случае *оптимален выбор конструкционных сталей обыкновенного качества и качественных с минимальным содержанием углерода*.

Литейные свойства (главным образом жидкотекучесть, заполняемость формы) тем лучше, чем уже температурный интервал кристаллизации металла. Поэтому *наилучшими литейными свойствами среди железоуглеродистых сталей обладают чугуны*.

Многие *цветные сплавы* по технологическим свойствам *делятся на деформируемые и литейные*, что значительно упрощает выбор нужной марки сплава.

5. Экономичность

Главной целью выбора материалов является обеспечение необходимого комплекса эксплуатационных свойств (что обсуждалось выше), определяющих работоспособность изделий. Однако оптимизация выбора предполагает и учет экономического фактора. Особенно это важно в условиях массового производства изделий.

Экономическая целесообразность выбора зависит не только от стоимости и доступности самого материала, но также экономичности технологий изготовления и упрочнения изделий и ряда других факторов.

Очевидно, что в рамках контрольной работы задача оптимизации выбора материала по экономическим показателям не может быть решена. Поэтому *здесь следует принимать во внимание лишь ориентировочную стоимость материалов, учитывая, что наиболее дешевыми металлическими материалами являются чугуны и стали обыкновенного качества; далее по возрастанию стоимости идут качественные и высококачественные углеродистые стали → мало- и среднелегированные стали → высоколегированные стали и сплавы, сплавы цветных металлов*.

Работы: №3, №4, №5 и №6 имеют по 10 вариантов. Номер варианта выбирается **по последней цифре студенческого билета**, вариант 10 соответствует цифре 0.

ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ №3

Вариант 1

1. Выбрать сталь для изготовления сварных корпусов аппаратов, работающих с агрессивными средами при температурах до 650°C (например, регенераторов и реакторов каталитического крекинга). Привести марку, химический состав, назначение легирующих элементов, структуру, физико-химические и механические свойства стали. Обосновать режим термической обработки перед штамповкой корпуса. Объяснить возможную причину ухудшения прочности сварного соединения в сталях этого типа, описать способы борьбы с этим отрицательным явлением.

Вариант 2

1. Выбрать марку стали для изготовления бесшовных холоднокатаных труб, используемых в трубопроводах, транспортирующих фреон при температурах до -70°C. Указать химический состав и роль легирующих элементов. Отметить связь между химическим составом, структурой стали и ее механическими и технологическими свойствами.

Вариант 3

1. Оборудование для бурения скважин в труднодоступных районах доставляется на вертолетах. Это вызывает необходимость резкого снижения веса оборудования при сохранении его прочностных характеристик, т.е. применения материалов с высокой удельной прочностью. Выбрать сплав с удельной прочностью $\sigma_b/\gamma \approx 190$ (σ_b в МПа, γ в г/см³) для изготовления несущих конструкций буровой установки. Указать марку сплава, химический состав, роль легирующих элементов; привести физико-механические и технологические свойства. Назначить режим термической обработки, обеспечивающий заданную величину удельной прочности. Описать изменения структуры и механических свойств сплава на отдельных этапах термообработки.

Вариант 4

1. Выбрать марку стали для изготовления штампованных профильных (эллиптических, полусферических и т.п.) днищ и крышек сосудов и аппаратов, работающих при температурах до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ со средами, не вызывающими заметной коррозии. Привести химический состав, механические и технологические свойства стали; объяснить, как изменяются эти свойства в процессе формования изделий. Обосновать режим термической обработки штампованного изделия перед свариванием его с корпусом аппарата.

Вариант 5

1. Шестерни роторных компрессоров, грязевых и масляных насосов должны обладать высокой износостойкостью и хорошей сопротивляемостью динамическим нагрузкам. Выбрать марку стали для изготовления шестерен с максимальным сечением 35...40 мм. Привести химический состав стали, объяснить назначение легирующих элементов. Указать способ достижения высокой износостойкости зубьев и режим термической обработки. Описать окончательную структуру и механические свойства в различных частях сечения шестерни.

Вариант 6

1. Оборудование, используемое в производстве азотной кислоты (теплообменники, испарители, перегреватели пара и др.), испытывает сильное коррозионное воздействие при повышенных температурах (200...450 $^{\circ}\text{C}$). Выбрать металл с прочностью $\sigma_{\text{в}} \approx 500$ МПа, из которого можно изготовить детали указанного оборудования методами пластической деформации с применением сварки. Привести марку, химический состав, структуру, механические и технологические свойства выбранного материала.

Вариант 7

1. Проходка нефтяных и газовых скважин производится с помощью бурильных долот, режущий инструмент которых (шарошки) подвержен значительным ударным нагрузкам и абразивному изнашиванию рабочих зубьев. Сформулировать требования по меха-

ническим свойствам, предъявляемые к такому инструменту. Выбрать марку стали для изготовления шарошек, указать химический состав и назначение легирующих элементов. Обосновать технологию и режимы обработки, обеспечивающие необходимый комплекс свойств. Привести структуру и твердость в различных частях сечения шарошки.

Вариант 8

1. Выбрать сталь для сильно нагруженных крупных ответственных деталей химического машиностроения (коленчатых валов, шатунов, штоков поршневых компрессоров; валов и штоков насосов; валов, звездочек и зубчатых колес буровых установок), подвергающихся при работе значительным динамическим нагрузкам. Указать марку стали, химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки на прочность $\sigma_b \approx 1000 \dots 1100$ МПа. Привести окончательную структуру и механические свойства стали.

Вариант 9

1. Втулки и плунжеры нефтяных глубинных насосов должны иметь очень высокую поверхностную твердость (HV до 1200) и износостойкость, а также сопротивляемость динамическим нагрузкам. Выбрать марку стали для таких деталей, объяснить роль легирующих элементов. Назначить способ поверхностного упрочнения, учитывая, что детали не должны деформироваться в процессе такой обработки. Описать превращения, происходящие в стали, ее окончательную структуру и механические свойства.

Вариант 10

1. Выбрать сплав с высокими показателями прочности ($\sigma_b \approx 1100$ МПа) и коррозионной стойкости для изготовления нагруженных деталей машин химических производств (скоростных насосов, турбокомпрессоров, центробежных сепараторов, баллонов для сжатых газов). Привести марку сплава, химический состав, назначение легирующих элементов. Описать структуру, физико-механические и

технологические свойства. Указать режим термической обработки, обеспечивающий заданный уровень прочности.

ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ №4

Вариант 1

2. Литые детали трубопроводной аппаратуры (клапанов, кранов, задвижек) для транспортировки слабоагрессивных сред изготавливают из сплавов на основе меди с прочностью $\sigma_b \approx 200...400$ МПа. Выбрать сплав данного назначения, привести марку, химический состав и физико-механические свойства. Отметить связь между химическим составом, структурой и технологическими свойствами сплавов этой группы.

Вариант 2

2. Разрезание бумажного полотна в бумагоделательных машинах происходит с большой скоростью, в результате чего режущая кромка ножей сильно нагревается. Сформулировать основные требования к материалу таких ножей. Выбрать марку стали, привести химический состав, объяснить роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, описать происходящие при этом структурные изменения. Указать окончательную структуру и твердость стали.

Вариант 3

2. Вал ротора центробежного насоса для перекачки неагрессивных нефтепродуктов опирается на два радиально-упорных подшипника с диаметром шариков 15 мм. Выбрать марку стали для изготовления деталей такого подшипника, указать химический состав и роль легирующих элементов. Объяснить, как выбор марки стали данного назначения связан с размером подшипника. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и твердость стали.

Вариант 4

2. Литые детали (корпус, крышка, седло, тарелка) дыхательного клапана резервуара для хранения нефтепродуктов изготавливают из сплава с плотностью $\approx 2,7 \text{ г/см}^3$ и прочностью $\sigma_b \approx 180 \text{ МПа}$. Привести марку сплава с такими характеристиками, указать его химический состав и свойства. Описать способ улучшения структуры сплава, обеспечивающий достижение заданной прочности.

Вариант 5

2. Материал труб некоторых теплообменных аппаратов должен обладать высокими показателями теплопроводности, коррозионной стойкости, а также пластичности. Выбрать сплав ($\sigma_b \geq 350 \text{ МПа}$, $\delta \geq 45 \%$), удовлетворяющий указанным требованиям. Привести марку, химический состав, отметить его влияние на структуру, механические и технологические свойства сплава.

Вариант 6

2. Выбрать марку стали для ответственных крепежных изделий (шатунных болтов поршневых компрессоров, болтов и шпилек центробежных насосов, фланцевых соединений нефтеперерабатывающих установок), испытывающих в процессе работы значительные статические и динамические нагрузки. Указать химический состав и назначение легирующих элементов. Привести режим термической обработки, окончательную структуру и механические свойства стали.

Вариант 7

2. Выбрать сплав с прочностью $\sigma_b = 200...300 \text{ МПа}$, из которого можно изготовить легкий сосуд для хранения химически активных жидкостей. Учесть, что технология изготовления включает холодную пластическую деформацию листовой заготовки с последующей сваркой стыков. Привести марку, химический состав, структуру, механические и технологические свойства сплава. Объяснить влияние способа формования сосуда на механические свойства сплава.

Вариант 8

2. В качестве опор валов быстроходных роторных машин химических производств (центробежных компрессоров, центрифуг и т.п.) применяют подшипники скольжения. Перечислить требования, предъявляемые к сплавам для подшипников этого типа. Выбрать марку сплава для изготовления вкладыша подшипника скольжения; привести химический состав и физико-механические свойства. Описать структурные особенности сплава и отметить их влияние на основную рабочую характеристику подшипника.

Вариант 9

2. Выбрать сплав с прочностью $\sigma_b \approx 1000...1250$ МПа для тяжело нагруженных деталей химической аппаратуры (сепараторов, центрифуг), подвергающихся воздействию агрессивных сред (сернистый газ, серная, фосфорная, уксусная кислоты) при температурах до 400 °С. Привести марку сплава и химический состав, объяснить роль легирующих элементов в формировании структуры, физико-механических и технологических свойств сплава. Назначить режим термической обработки, отметить ее влияние на свойства сплава.

Вариант 10

2. Выбрать сплав с твердостью HRA 86...90 (HRC_Э 74...76) для изготовления деталей химического оборудования (трущиеся колец торцевых уплотнителей валов; втулок цилиндров насосов и компрессоров; фильер, корпусов и седел клапанов и т.п.), подвергающихся изнашиванию в агрессивных средах с абразивными включениями. При выборе материала учесть, что при температуре рабочей среды до 300°С и высокой частоте вращения вала машин (≈ 3000 об/мин) трущиеся поверхности деталей сильно разогреваются. Привести марку сплава, химический состав, объяснить назначение отдельных элементов. Описать способ изготовления сплава, его структуру, механические и технологические свойства.

ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ №5

Вариант 1

3. В химической и металлургической промышленности для измельчения природного сырья применяют барабанные шаровые мельницы. Выбрать дешевый материал для изготовления дробящих тел (шаров). Описать примерный химический состав, структуру, механические свойства сплава и способ получения шаров. Какая структурная особенность препятствует использованию этого сплава в качестве конструкционного материала? Каким способом можно изменить его структуру с целью принципиального улучшения механических свойств?

Вариант 2

3. В вакуумных установках химических лабораторий применяют спай металл-стекло. Каково основное требование, предъявляемое к металлу таких соединений? Выбрать сплав для изготовления деталей, спаиваемых с нетеплостойким стеклом. Привести марку, химический состав и физические свойства сплава.

Вариант 3

3. Выбрать сталь для изготовления труб сварных магистральных газопроводов. Привести марку, химический состав, структуру и механические свойства стали. Объяснить влияние отдельных химических элементов на механические и технологические свойства стали. Обосновать необходимость термической обработки (и ее режима) сварных стыков трубопровода.

Вариант 4

3. В практике химической лаборатории широко применяется инструмент (различные пинцеты, шпатели, щипцы, ножницы), сочетающий достаточно высокую твердость (HRC_Э 50...55), упругость и коррозионную стойкость. Выбрать марку стали для изготовления такого инструмента, указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, обеспечивающий заданную твердость; привести окончательную структуру.

Вариант 5

3. Выбрать марку стали для форм прессования (рабочая температура 200...250 °С) химически активных пластмасс, содержащих минеральные наполнители с высокой твердостью. Указать химический состав и роль легирующих элементов. Привести режим термической обработки, окончательную структуру и твердость стали.

Вариант 6

3. Выбрать недорогую сталь для изготовления труб и свариваемых с ними фланцев и трубных решеток пароперегревателей, паропроводов, работающих до температуры 550 °С. Указать марку стали, химический состав, роль легирующих элементов. Обосновать режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

Вариант 7

3. Выбрать марку стали с прочностью $\sigma_b \geq 1600$ МПа для изготовления пружинных амортизаторов, уменьшающих вибрации быстроходных машин химических производств (компрессоров, центрифуг, турбоагрегатов и т.п.). Привести химический состав стали и назначение легирующих элементов. Указать режим термической обработки, окончательную структуру и механические свойства стали.

Вариант 8

3. Выбрать экономичный сплав с прочностью $\sigma_b = 300...370$ МПа и хорошей коррозионной стойкостью для изготовления литой запорной аппаратуры (вентилей, кранов) трубопроводов для транспортировки горячей воды и водяного пара. Указать марку, химический состав и структуру сплава. Описать принципиальную технологию получения таких деталей. Предложить режим термической обработки, повышающий их эксплуатационные характеристики.

Вариант 9

3. Выбрать сталь для изготовления деталей подшипников качения, работающих в химически агрессивных средах. Привести марку, химический состав, объяснить влияние основных элементов на

структуру, физико-химические и механические свойства стали. Назначить режим термической обработки деталей подшипника, указать окончательную структуру и твердость стали.

Вариант 10

3. Слесарные и другие работы во взрывоопасных условиях выполняются с применением не искрящего при ударах инструмента. Выбрать марку сплава на медной основе с прочностью $\sigma_b \approx 1200$ МПа для изготовления такого инструмента. Привести химический состав и физико-механические свойства сплава. Назначить режим термической обработки для получения заданной прочности. Объяснить, как изменяются структура и свойства сплава на отдельных этапах этой термообработки.

ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ №6

Вариант 1

4. Выбрать полимерный материал с рабочей температурой до -60°C для теплоизоляции труб, холодильных камер и т.п. Указать классификационную группу материала. Описать его состав, структуру и физико-механические свойства.

Вариант 2

4. Выбрать полимерный материал для лабораторной посуды, используемой при работе с высокоагрессивными жидкостями (кислотами, щелочами, окислителями). Указать классификационную группу материала и его структурную формулу. Привести химические и физико-механические свойства.

Вариант 3

4. В химическом машиностроении, строительстве широко применяются трубы из полимерных материалов. Выбрать недорогой материал для изготовления гибких труб, способных длительно работать в диапазоне $-70\dots+60^\circ\text{C}$. Указать классификационную группу материала, привести его структурную формулу и физико-механические свойства.

Вариант 4

4. Выбрать неметаллический материал для изготовления прозрачной химически и термически (до 1000 °С) стойкой лабораторной посуды. Описать строение материала и его физико-механические свойства.

Вариант 5

4. Выбрать пластмассу для изготовления шестерен зубчатых передач, работающих в агрессивных средах. Указать классификационную группу пластмассы, описать ее состав, строение и физико-механические свойства.

Вариант 6

4. Выбрать пластмассу с высокой прочностью ($\sigma_b \approx 500 \dots 600$ МПа) для изготовления корпусов реакционных аппаратов, труб магистральных и напорных газо- и нефтепроводов и т.п. Указать классификационную группу материала. Описать его строение и физико-механические свойства.

Вариант 7

4. Выбрать пластмассу для изготовления тормозных колодок подъемных механизмов буровых установок. Указать классификационную группу пластмассы, описать ее строение и характерные свойства.

Вариант 8

4. Выбрать пластмассу для концевых опор валов перемещающих устройств, обеспечивающих стабильную работу узла трения при повышенных удельных нагрузках (≥ 10 МПа) в диапазоне температур $-40 \dots +100$ °С. Указать классификационную группу пластмассы, ее структуру и физико-механические свойства.

Вариант 9

4. Выбрать резину для газонепроницаемых изделий (кислородных шлангов, различных уплотнений, баллонов). Описать состав, строение и принцип получения резины. Привести характерные свойства выбранного материала.

Вариант 10

4. Выбрать масло-, бензо-, щелочестойкую пластмассу для изготовления прозрачного экрана химического аппарата. Привести химическую формулу материала и его физико-механические свойства.

Библиографический список

Основная литература

1. Лахтин Ю.М. Материаловедение /Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. М.: Машиностроение. 1990. 527 с.

2. Солнцев Ю.П. Материаловедение: Учебник для ВУЗов /Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин. 4-е изд., перераб. И доп. СПб.: Химиздат. 2007. 783 с. <http://www.twirpx.com/file/199191/>.

3. Материаловедение /под общ.ред. Б.Н. Арзамасова.М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 575 с.

Дополнительная литература

4. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для ВУЗов /А.П. Гуляев.М.: Металлургия. 2015. 542 с.

5. Солнцев Ю. П. Материалы для низких и криогенных температур: энциклопедический справочник / Ю.П. Солнцев, Б.С. Ермаков, О.И. Слепцов. СПб.: Химиздат. 2008. 768 с.

6. Шадричев Е.В. Материаловедение (технология конструкционных материалов): учебно-методический комплекс/ Е.В. Шадричев, А.В. Сивенков, Т.П. Горшкова. СПб.: Изд-во СЗТУ. 2008. 309 с.

Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

7. Библиотека стандартов ГОСТ Р [сайт] URL <http://www.gost.ru>. (дата обращения: 29.12.2010).

8. Библиотека изобретений, патентов, товарных знаков РФ [сайт] URL: www.fips.ru. (дата обращения: 29.12.2010).

9. Марочник сталей и сплавов <http://www.splav-kharkov.com/main.php>.

10. Марочник сталей и сплавов http://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov.

11. Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана [сайт]. URL: <http://www.bmstu.ru/>. (дата обращения: 29.12.2010).

12. Металлургический классификатор [сайт]: URL: <http://www.metalweb.ru>. (дата обращения: 29.12.2010).

13. НИТУ "МИСиС" [сайт]: URL: [htt Корчемкин А.Е., Бойцов Ю.П. Материаловедение. Методические указания к лаборатор-](http://www.misis.ru)

ным работам. СПГГИ. 2007 p://misis.ru/. (дата обращения: 29.12.2010).

14. Полнотекстовые базы данных, библиотека СПГГИ URL:<http://kodeks.spmi.edu.ru:3000>. (дата обращения: 29.12.2010).

15. ФАК.RU (Факультет РУ) [сайт]: базы данных ВУЗов России по специальности 150404 «Металлургические машины и оборудование». – URL: <http://www.fak.ru/baza/students.php.spec=150404>. (дата обращения: 29.12.2010).

16. Черная металлургия [сайт]. URL: <http://emchezgia.ru>. (дата обращения: 29.12.2010).

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента

17. Гольдштейн М.И. Специальные стали / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер. М.: МИСИС. 1999. 408 с. <http://booktech.ru/books/materialovedenie/2821-specialnye-stali-1999-mi-goldshteyn.html>.

18. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна (с Изменением N 1).

19. ГОСТ 1778-70. Металлографические методы определения неметаллических включений (с Изменениями N 1, 2).

20. ГОСТ 3443-87 Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры.

21. Звягин В. Б. Технология материалов и покрытий [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Б. Звягин, А.В. Сивенков. СПб.: Горн. ун-т, 2013. 71с. http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=108&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=%2D044050<>

22. Сивенков А.В. Коррозия и коррозионно-стойкие покрытия: учебно-методический комплекс /А.В. Сивенков. СПб.: СЗТУ. 2009. 142 с. http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=108&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=%D0%9C%2D458913<>

СОДЕРЖАНИЕ

Методические указания по изучению дисциплины.....	3
1. Методические указания к самостоятельной работе №1.....	4
2. Методические указания к самостоятельной работе №2.....	15
3. Методические указания к самостоятельным работам: №3, №4, №5, №6.....	18
Задание на самостоятельную работу №3.....	23
Задание на самостоятельную работу №4.....	26
Задание на самостоятельную работу №5.....	29
Задание на самостоятельную работу №6.....	31
Библиографический список.....	34

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

***Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направления 21.03.01***

Сост.: *А.В. Сивенков, Л.Г. Борисова*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
материаловедения и технологии художественных изделий

Ответственный за выпуск *Л.Г. Борисова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 19.03.2020. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 2,1. Усл.кр.-отт. 2,1. Уч.-изд.л. 1,8. Тираж 50 экз. Заказ 235. С 47.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2