

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Блинова Светлана Павловна

Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе

Дата подписания: 13.12.2024 07:50:44

Уникальный программный ключ:

1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb20237f3ab5c65

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Заполярье государственный университет им. Н.М. Федоровского»
Политехнический колледж

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по дисциплине:

Электротехнические и конструкционные материалы

для специальности:

13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и
электротехнического оборудования

Методические указания для студентов по выполнению практических работ по дисциплине «Электротехнические и конструкционные материалы» для специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электротехнического оборудования

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского».

Разработчик: Петухова А.В., преподаватель.

Рассмотрены на заседании цикловой комиссии: Автоматизация технологических процессов и ЭД.

Утверждены методическим советом Политехнического колледжа ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского».

Протокол заседания методического совета № 4 от «31» 01 2024 г.

Зам. директора по УР  С.П. Блинова

Методические указания для студентов по выполнению практических работ по дисциплине «Электротехнические и конструкционные материалы» для специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электротехнического оборудования

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского».

Разработчик: Петухова А.В., преподаватель.

Рассмотрены на заседании цикловой комиссии: Автоматизация технологических процессов и ЭД.

Утверждены методическим советом Политехнического колледжа ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского».

Протокол заседания методического совета № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Зам. директора по УР _____ С.П. Блинова

Введение

Практические и лабораторные работы по дисциплине «Электротехнические материалы» способствуют лучшему усвоению изучаемого теоретического материала, развивают у учащихся навыки в обращении с приборами, технической документацией, в проведении испытаний и составлении отчетности по выполненным экспериментальным работам.

Для проведения лабораторных работ учебная группа делится на две подгруппы. В зависимости от оборудования лаборатории форма проведения лабораторных работ может быть фронтальная, комплексная комбинированная.

При фронтальной форме учебная подгруппа делится на бригады (по два-три учащихся в каждой), которые одновременно после изучения учащимися соответствующих тем программы выполняют одну и ту же лабораторную работу. При комплексной форме все бригады подгруппы выполняют разные лабораторные работы. При комбинированной форме одна часть подгруппы выполняет лабораторные работы фронтально, а другая комплексно.

Практические работы предусматривают усвоение учащимися необходимых навыков для обоснования выбора сплава при изготовлении конкретных деталей или инструмента. Учитывают надежность, стойкость деталей в условиях их эксплуатации, а также экономичность выбранного сплава. В указаниях даны примерные задачи по выбору марки сплавов.

Расчетная часть работы выполняется на занятии. Графическая часть работы и завершение оформления отчета учащиеся выполняют дома. На следующем занятии учащиеся предъявляют оформленный отчет для проверки преподавателю, без чего они не допускаются к выполнению очередной работы. Отчет должен быть выполнен тщательно и аккуратно.

При сдаче отчета преподаватель опрашивает студентов в объеме материала законченной работы, после чего работа засчитывается.

Учащиеся, выполнившие все, предусмотренные графиком лабораторные и практические работы и сдавшие своевременно отчеты по ним, получают зачет по предмету.

Практическая работа №1

Испытание металлов на прочность, пластичность и твердость

Цели работы: Научиться определять свойства металлов и сплавов по результатам испытаний.

Краткие теоретические сведения

Выбор материала для какой-либо определенной цели делают на основе его механико-технологических, физических и химических свойств. Контролировать эти свойства необходимо как в процессе изготовления, так и в ходе эксплуатации для выявления недопустимых изменений, а в случае повреждения изделия – определять его причину.

Механические и технологические методы испытаний используются для исследования прочности, деформируемости, пластичности, вязкости и характера разрушения изделия. К этой же группе относят определение свойств поверхности, например, твердости и сопротивления износу.

Статические испытания на растяжение. Из всех способов механических испытаний наибольшее распространение имеют испытания на растяжение. Качественное сравнение материалов производят по диаграммам напряжение – относительное удлинение. По ним видно различие материалов по характеристикам прочности и пластичности.

Характеристики прочности играют существенную роль при определении геометрических размеров статически нагруженных элементов несущих конструкций. Модуль упругости определяет жесткость строительных сооружений и геометрическую устойчивость деталей механизмов и машин, а также находит применение при выборе коэффициента запаса. Характеристика пластичности используется в качестве показателя, определяющего в какой-то мере вероятность хрупкого разрушения, а также для оценки обрабатываемости материалов.

Определение твердости. В технике наиболее часто понятие «твердость» определяют как сопротивление, оказываемое телом при внедрении в него другого, более твердого тела.

Методы измерения твердости отличаются друг от друга формой индентора (шарик, пирамида, конус), его материалом (закаленная сталь, твердый сплав, алмаз) и величиной приложенной нагрузки (измерение при больших нагрузках – макротвердости, твердости при малых нагрузках – микротвердости), а также способом выражения характеристик твердости.

К испытаниям макротвердости относят способы определения твердости по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу. Получившийся большой отпечаток выбирают в качестве параметра макротвердости, характерного для структуры в целом.

Порядок выполнения работы

1. Изобразить схему испытания на приборе Бринелля и схему измерения диаметра отпечатка (рис. 1.1).
2. Используя таблицу 1.2 «Результаты измерений твердости на приборе

Бринелля» внести результаты испытаний, приведенные для вашего варианта, в таблицу 1.1 «Результаты измерений и расчетов».

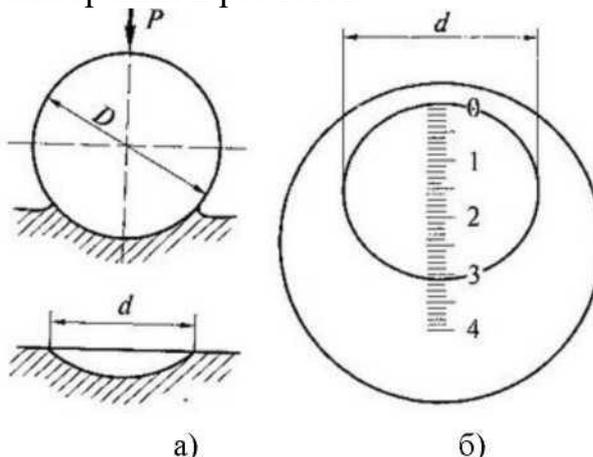


Рисунок 1.1 – Схема испытания на приборе Бринелля(а) и схему измерения диаметра отпечатка(б)

Таблица 1.1 – Результаты измерений и расчетов

Марка стали	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка P, Н (кг)	Измерения диаметра отпечатка d, мм	Число твердости НВ	
				По таблице	По расчету

3. Произвести расчет твердости по формуле 1.1

$$HV = \frac{P}{F} \quad (1.1)$$

где P – нагрузка,

$$F – \text{площадь сферического отпечатка, } F = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}),$$

где D – диаметр шарика,

d – диаметр сферического отпечатка.

Таблица 1.2 – Результаты измерений твердости на приборе Бринелля

№ варианта	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка P, Н (кгс)	Измерения диаметра отпечатка d, мм		
			1	2	3
1	1	30	0,313	0,315	0,320
2	1	30	0,323	0,321	0,326
3	1	30	0,326	0,330	0,323
4	1	30	0,344	0,339	0,340
5	1	30	0,345	0,348	0,346
6	1	30	0,363	0,357	0,360
7	1	30	0,366	0,361	0,359
8	1	30	0,380	0,386	0,385
9	1	30	0,395	0,399	0,391
10	1	30	0,412	0,404	0,399
11	10	3000	2,401	2,409	2,420
12	10	3000	2,630	2,651	2,657
13	10	3000	3,456	3,501	3,485
14	10	3000	3,987	4,152	4,203
15	10	3000	5,234	5,360	5,346

16	10	3000	6,025	5,870	5,924
17	10	3000	4,576	4,612	4,487
18	10	3000	5,123	5,078	5,220
19	10	3000	4,382	4,350	4,400
20	10	3000	3,185	3,206	3,210
21	10	1000	4,412	4,399	4,391
22	10	1000	2,651	2,420	2,630
23	10	1000	5,360	5,397	5,520
24	10	1000	2,461	2,649	2,566
25	10	1000	4,152	3,986	4,087
26	10	1000	3,210	3,425	3,333
27	10	1000	5,870	5,934	5,822
28	10	1000	3,485	3,327	3,923
29	10	1000	2,657	2,521	2,582
30	10	1000	5,873	5,726	5,804

4. Изобразить образец для испытаний на разрывной машине до и после испытания

5. Внести результаты испытаний в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты измерений и вычислений

Марка материала	Диаметр расчетной части образца до испытания D_0 , мм	Площадь поперечного сечения образца F , мм ²	Длина образца до испытания l_0 , мм	Длина образца после разрыва l , мм	Относительное удлинение δ , %	Предел прочности σ , МПа

6. Произвести расчет относительного удлинения по формуле 1.2

$$\delta = (l - l_0)/l_0 \quad (1.2)$$

где, l_0 – длина образца до испытания,

l – длина образца после разрыва.

7. Произвести расчет предела прочности по формуле

8. Сформулировать выводы по прочности, пластичности и твердости материалов.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема испытания
4. Таблица 1.1
5. Расчеты
6. Таблица 1.2
7. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики механических свойств металлов.
2. Назовите группы испытаний механических свойств металлов.
3. В чем состоит суть испытания на растяжение?
4. Что такое вязкость и пластичность твердых тел?
5. Что такое твердость?
6. Чем пользуются при определении твердости по Бринеллю?

Практическая работа 2

АНАЛИЗ СПЛАВА ОПРЕДЕЛЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПО ДИАГРАММЕ СОСТОЯНИЯ

Цель: изучить диаграмму состояния железо – цементит.

Задание:

- 1 Изучить диаграмму состояния железо-цементит;
- 2 Описать превращения, происходящие в сталях и чугунах при нагревании или охлаждении.

Основные теоретические положения

Диаграмма железо – углерод является основой для выбора режимов термической обработки сталей и чугунов, по ней выбирают режимы горячей обработки давлением (ковки, прокатки, штамповки), а также температуры плавления, необходимые для назначения режимов заливки жидких сплавов в литейные формы.

Прежде чем рассматривать превращения, происходящие в железоуглеродистых сплавах, рассмотрим свойства и строение самих компонентов (железа и углерода) и основных фаз, образующихся при их взаимодействии.

Железо – это серебристо-светлый металл, который плавится при температуре 1539 °С. Железо имеет два типа кристаллических решеток: ОЦК (существует ниже 910 °С Fe_{α} и выше 1390°С – Fe_{β}) и ГЦК ($Fe\gamma$ существует в интервале 910-1390 °С). При 768 °С (точка Кюри) происходит магнитное превращение, до 768 °С железо ферромагнитно, выше — парамагнитно. Железо обладает невысокой твердостью и прочностью, хорошей пластичностью.

Углерод в природе встречается в виде алмаза, имеющего сложную кубическую решетку (отличается высокой твердостью и прочностью), и графита со слоистой гексагональной решеткой. Графит мягок и обладает совсем низкой прочностью; температура плавления ~ 3500 °С.

При взаимодействии железа с углеродом образуются химическое соединение и твердые растворы.

Цементит (Ц) – карбид железа (Fe_3C), разрушающийся при содержании углерода 6,7 %; температура плавления ~1600 °С. Цементит очень твердое (НВ 8000 МПа) и хрупкое соединение.

В зависимости от того, в какой кристаллической решетке железа растворен углерод, различают следующие фазы.

Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в Fe_{α} (имеет решетку ОЦК). Максимальная растворимость при 727 °С составляет 0,2 процента. Феррит по свойствам близок к чистому железу (отсюда и его название) и имеет низкую прочность и твердость (σ_B 250 МПа и НВ 800 МПа), хорошую пластичность.

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в Fe^γ (решетка ГЦК), существующий только при высоких температурах (выше $727^\circ C$). Максимальная растворимость углерода в Fe^γ при $1147^\circ C$ составляет 2,14 процента, а при $727^\circ C$ – 0,8%. Аустенит имеет НВ 1600-2000 МПа и $\delta=40\div 50$ процентов, что говорит о хорошей пластичности.

Жидкая фаза (Ж) существует выше линии ликвидус и представляет жидкий раствор углерода в железе.

Диаграмма состояния системы железо – углерод существует двух видов: железо – цементит, описывающая равновесие в сталях и белых чугунах, и железо – графит, необходимая для описания равновесия в серых чугунах. Обычно эти диаграммы совмещают вместе и изображают сплошными и пунктирными линиями соответственно.

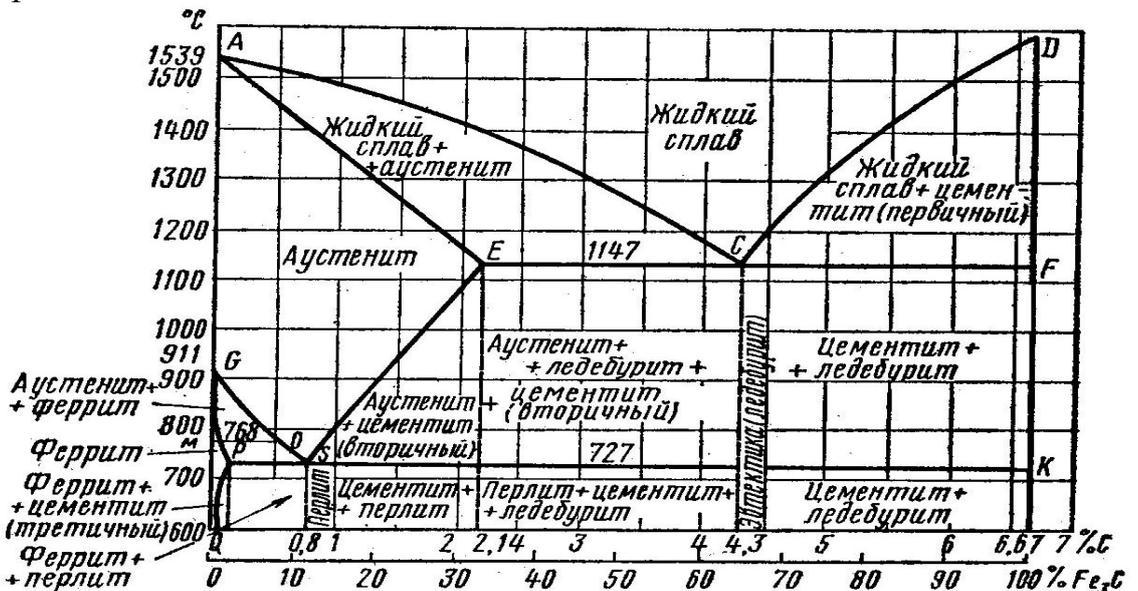


Рисунок 2.1 - Диаграмма состояния Fe—Fe₃C (в упрощенном виде)

Буквенное обозначение характерных точек на диаграмме Fe—Fe₃C стандартизовано и принято одинаковым во всех странах.

Диаграмма показывает фазовый состав и структуру сплавов с концентрацией углерода от чистого железа до цементита (6,67% углерода).

При больших содержаниях углерода сплавы практического значения не имеют.

Левая часть диаграммы (до точки E) описывает превращения в сталях (стальной угол). Сталью называются сплавы железа с содержанием углерода до 2,14%. Правая часть диаграммы описывает превращения в чугунах – сплавах железа с содержанием углерода от 2,14 до 6,67%.

Линия ACD является ликвидусом. Все сплавы выше этой линии находятся в жидком состоянии. Ниже начинается процесс кристаллизации. Линия AECF – солидус соответствует температуре конца затвердевания. Между линиями ликвидуса и солидуса находятся двухфазные области: при температурах ниже линии AC из жидкой фазы кристаллизуется аустенит, а ниже линии CD – цементит, который называется первичным, так как выделяется из жидкого расплава.

Цементит может выделяться и из твердых растворов: линия ES показывает ограниченную растворимость цементита в аустените, а линия PQ – в феррите. Цементит, выделяющийся из аустенита, называют вторичным, а из феррита – третичным. По физико-химическим свойствам первичный, вторичный и третичный цементиты одинаковы.

По двум горизонтальным линиям диаграммы железо – цементит ECF и PSK происходят превращения при постоянной температуре.

По линии ECF при $1147^{\circ}C$ происходит эвтектическая реакция, когда из жидкой фазы одновременно выделяются кристаллы аустенита и цементита первичного: $A+Ц_1$. При этом образуется механическая смесь кристаллов, называемая **ледебуритом** (в честь немецкого ученого Ледебура). Ледебурит – это структура, которая наблюдается только в чугунах (правая часть диаграммы). Все чугуны по отношению к точке S ($4,3\%$ углерода) подразделяют на доэвтектические ($2,14-4,3\%$ углерода), эвтектические ($4,3\%$ углерода) и заэвтектические ($4,3-6,67\%$ углерода).

По линии PSK при температуре $727^{\circ}C$ происходит аналогичное превращение, при котором распадается не жидкий, а твердый раствор – аустенит. В связи с этим реакция будет не эвтектическая, а эвтектоидная. Из аустенита одновременно выделяется феррит и цементит вторичный: $A+Ф+Ц_2$ – такая эвтектоидная механическая смесь кристаллов феррита и цементита называется **перлитом**. Такое название перлит получил за блеск, напоминающий блеск перламутра, который наблюдается на полированном и протравленном шлифе. Линию диаграммы PSK называют линией перлитного превращения. Как видно из диаграммы, перлитное превращение может происходить во всех железоуглеродистых сплавах.

Все стали по отношению к точке S делят на доэвтектоидные ($0,02-0,8\%$ углерода), эвтектоидные ($0,8\%$ углерода) и заэвтектоидные ($0,8-2,14\%$ углерода).

Во всех доэвтектоидных сталях, содержащих до $0,8\%$ углерода, кристаллизация начинается с выделения кристаллов аустенита, который охлаждается до температуры линии GS . Ниже линии GS из аустенита выделяется феррит. Достигнув линии PSK ($727^{\circ}C$), весь оставшийся аустенит разлагается на феррит и цементит – механическую смесь, называемую перлитом. Таким образом, после кристаллизации структура всех доэвтектоидных сталей будет состоять из феррита и перлита. Структура эвтектоидной стали (содержащей $0,8\%$ углерода) будет состоять только из одного перлита.

Во всех заэвтектоидных сталях, содержащих более $0,8\%$ углерода, процесс кристаллизации также начинается с образования аустенита, который охлаждается до температуры линии ES – линии ограниченной растворимости цементита в аустените. Поэтому после пересечения линии ES из аустенита начинает выделяться цементит вторичный. Этот процесс идет вплоть до линии PSK . При достижении $727^{\circ}C$ весь оставшийся аустенит превращается в перлит. Следовательно, все заэвтектоидные стали после кристаллизации будут иметь структуру перлита и цементита вторичного.

Кристаллизация белых чугунов, т.е. чугунов, в которых весь углерод находится в связанном состоянии, в цементите, начинается либо с образования аустенита (ниже линии AC), либо с выделения цементита первичного из жидкости (ниже линии CD). Процесс кристаллизации заканчивается образованием эвтектики – ледебурита (смеси аустенита и цементита), который образуется при $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ (линия ECF). При дальнейшем охлаждении вплоть до PSK из аустенита выделяется растворенный в нем цементит. Поскольку ниже линии PSK аустенит не существует, он превращается в перлит. Ледебурит, в котором аустенит превратился в перлит, называется превращенным. В сплаве содержащем (2,14-4,3% углерода) структура после окончательной кристаллизации состоит из превращенного ледебурита, перлита и цементита.

Таким образом, при медленном охлаждении в процессе кристаллизации в железоуглеродистых сплавах системы $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ формируется следующая окончательная структура:

- 1 у доэвтектоидных сталей – перлит и феррит;
- 2 у эвтектоидных сталей – перлит;
- 3 у заэвтектоидных сталей – перлит и цементит;
- 4 у белых доэвтектических чугунов – перлит, ледебурит превращенный и цементит вторичный;
- 5 у белых эвтектических чугунов – ледебурит превращенный;
- 6 у белых заэвтектических чугунов – ледебурит превращенный и цементит первичный.

В серых чугунах большая часть или весь углерод находится в свободном состоянии, т.е. в виде графита, поэтому процессы их кристаллизации описываются по диаграмме железо–графит.

Процесс выделения графита из жидкой или твердой фазы называется графитизацией. Процесс графитизации требует долгого времени, поэтому идет при очень медленном охлаждении.

На процесс графитизации оказывают влияние многие факторы – скорость охлаждения, химический состав чугуна, специальные присадки, которые меняют форму и размеры графитовых включений.

Влияние скорости охлаждения. Изменяя скорость охлаждения, можно при одном и том же химическом составе получить структуру как белого, так и серого чугуна. Чем медленнее охлаждаются отливки, тем больше успевает выделиться графита.

Влияние химического состава. В чугунах всегда имеются примеси кремния марганца, фосфора, серы и других элементов. Их можно разделить на карбидообразующие, которые связывают углерод в цементит и способствуют отбеливанию чугуна (Mn , Cr , Mo и др.) и графитообразующие, способствующие выделению графита и образованию серого чугуна (Si , Ni , Cu). Чем больше Si , тем процесс графитизации полнее.

Сера является вредной примесью. Она образует сульфид железа FeS , ухудшает жидкотекучесть чугуна, увеличивает усадку и повышает склонность к образованию трещин в отливках, поэтому ее содержание ограничивают в обычных чугунах до 0,12 %, а в высокопрочных не более 0,03 %.

Фосфор практически не оказывает влияния на процесс графитизации. Он образует фосфидную эвтектику, которая выделяется по границам зерен и повышает хрупкость чугуна. Для ответственных отливок содержание фосфора допускается до 0,2-0,3 %. Положительным влиянием фосфора является то, что он увеличивает жидкотекучесть и повышает износостойкость.

Чугун, содержащий 1 % фосфора, хорошо заполняет все тонкие изгибы формы, поэтому применяется для художественного литья.

Индивидуальные задания по анализу сплавов

1 Описать превращения, происходящие в стали с содержанием 0,2% углерода при нагревании;

2 Описать превращения, происходящие в стали с содержанием 0,2% углерода при охлаждении;

3 Описать превращения, происходящие в стали с содержанием 0,8% углерода при нагревании;

4 Описать превращения, происходящие в стали с содержанием 0,8% углерода при охлаждении;

5 Описать превращения, происходящие в стали с содержанием 1,3% углерода при нагревании;

6 Описать превращения, происходящие в стали с содержанием 1,3% углерода при охлаждении;

7 Описать превращения, происходящие в чугуне с содержанием 2,5% углерода при нагревании;

8 Описать превращения, происходящие в чугуне с содержанием 2,5% углерода при охлаждении;

9 Описать превращения, происходящие в чугуне с содержанием 4,3% углерода при нагревании;

10 Описать превращения, происходящие в чугуне с содержанием 4,3% углерода при охлаждении;

11 Описать превращения, происходящие в чугуне с содержанием 5,5% углерода при нагревании;

12 Описать превращения, происходящие в чугуне с содержанием 5,5% углерода при охлаждении.

Содержание отчета

1 Тема;

2 Цель;

3 Диаграмма состояния железо – цементит;

4 Задание;

5 Описание выполнения задания.

Вопросы для самопроверки

1 Дайте определения структурам аустенит, цементит, ледебурит, феррит, перлит.

2 Какие аллотропические формы имеет железо?

- 3 Назовите линии ликвидуса и солидуса.
- 4 Что происходит в железоуглеродистых сплавах на линии PSK?
- 5 Сколько углерода растворяется в Fe^{γ} и Fe_{α} ?
- 6 Какая линия показывает начало превращения аустенита в феррит?
- 7 Когда в стали выделяется цементит вторичный?
- 8 Сколько углерода содержится в доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали?
- 9 Сколько углерода содержится в доэвтекктическом, эвтекктическом и заэвтекктическом чугуне?

Практическая работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ЧУГУНОВ И СТАЛЕЙ ПО ИХ МАРКАМ

Цели работы

Научиться определять свойства, химический состав, структуру и назначение чугунов и сталей по их маркам.

Краткие теоретические сведения

ЧУГУНЫ

Чугун – сплав Fe (основа) с C (обычно 2...4 %), содержащий постоянные примеси (Si, Mn, S, P), а иногда и легирующие элементы (Cr, Ni, V, Al и др.); как правило, хрупок.

Углерод в чугуне может находиться в виде цементита, графита или одновременно в виде цементита и графита. Механические свойства литейных чугунов зависят от свойств металлической основы и, главным образом, от количества, формы и размеров графитных включений. Перлитная основа обеспечивает наибольшие значения показателей прочности и износостойкости.

Чугуны с графитом в зависимости от формы последнего разделяют на серые, ковкие и высокопрочные. Серыми называют чугуны, в структуре которых графит имеет пластинчатую форму. В ковких чугунах графит имеет хлопьевидную форму, в высокопрочных чугунах – шаровидную.

Серые чугуны

Структура серого (литейного) чугуна состоит из металлической основы с графитом пластинчатой формы, вкрапленным в эту основу. Марки серых чугунов согласно ГОСТ 1412 – 85 состоят из букв «СЧ» и цифр, соответствующих минимальному пределу прочности при растяжении. Чугун СЧ10 – ферритный; СЧ15, СЧ18, СЧ20 – ферритно-перлитные чугуны, начиная с СЧ25 – перлитные чугуны.

На долю серого чугуна с пластинчатым графитом приходится около 80 % общего производства чугунных отливок. Серые чугуны обладают высокими литейными качествами (жидкотекучесть, малая усадка, незначительный пригар металла к форме и др.), хорошо обрабатываются и сопротивляются износу, однако из-за низких прочности и пластических свойств в основном используются для неответственных деталей. В станкостроении серый чугун является основным конструкционным материалом (станины станков, столы и верхние салазки, колонки, каретки и др.); в автомобилестроении из ферритно-перлитных чугунов делают картеры, крышки, тормозные барабаны и др., а из перлитных чугунов – блоки цилиндров, гильзы, маховики и др. В строительстве серый чугун применяют, главным образом, для изготовления деталей, работающих при сжатии (башмаков, колонн), а также санитарно-технических деталей (отопительных радиаторов, труб). Значительное количество чугуна расходуется для изготовления труб, из которых сооружается туннель метрополитена. Из серого чугуна, содержащего фосфор (0,5 %), изготавливают архитектурно-художественные изделия.

Ковкие чугуны

Ковкие чугуны с хлопьевидной формой графита получают из белых доэвтектических чугунов, подвергая их специальному графитизирующему отжигу.

Ковкие чугуны с перлитной металлической основой обладают высокими твердостью (235...305 НВ) и прочностью ($\sigma = 650...800$ МПа) в сочетании с небольшой пластичностью ($\delta = 3,0...1,5$ %). Ковкий ферритный чугун характеризуется высокой пластичностью ($\delta = 10...12$ %) и относительно низкой прочностью ($\sigma = 370...300$ МПа).

Ковкие чугуны согласно ГОСТ 1215 – 79 маркируются двумя буквами (КЧ – ковкий чугун) и двумя группами цифр. Первые две цифры в обозначении марки соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении цифры после тире – относительному удлинению при растяжении, Чугуны марок КЧ30 – 6, КЧ33 – 8, КЧ35 – 10,

КЧ37 – 12, имеющие повышенное значение удлинения при растяжении, относятся к ферритным, а марок КЧ45 – 7, КЧ50 – 5, КЧ55 – 4, КЧ60 – 3, КЧ65 – 3, КЧ70 – 2, КЧ80 – 1.5 – к перлитным чугунам.

Ковкие чугуны, обладая высокими пластическими свойствами, находят применение при изготовлении разнообразных тонкостенных (до 50 мм) деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках, – фланцы, муфты, картеры, ступицы и др. Масса этих деталей – от нескольких граммов до нескольких тонн.

Высокопрочные чугуны

Высокопрочный чугун (ЧШГ – чугун с шаровидным графитом) получают модифицированием жидкими присадками (магния церия, иттрия и некоторых других элементов). При этом перед вводом модификаторов необходимо снизить содержание серы до 0,02...0,03 %.

Рекомендуемый химический состав высокопрочного чугуна (2,7...3,7 % С; 0,5...3,8 % Si) выбирается в зависимости от толщины стенок отливки (чем тоньше стенка, тем больше углерода и кремния).

Структура высокопрочного чугуна состоит из металлической основы (феррит, перлит) и включений графита шаровидной формы. Шаровидный графит, имеющий минимальную поверхность при данном объеме, значительно меньше ослабляет металлическую основу, чем пластинчатый графит, и не является активным концентратором напряжений. Ферритные чугуны имеют $\sigma = 220...310$ МПа, $\delta = 22...10$ %, 140...225 НВ, перлитные – $\sigma = 370...700$ МПа, $\delta = 7...2$ % и 153...360 НВ. Марки высокопрочных чугунов согласно ГОСТ 7293 – 85 состоят из букв «ВЧ» и цифр, соответствующих минимальному пределу прочности при растяжении σ , МПа / 10: ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45 – ферритные чугуны; ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ 100 – перлитные чугуны.

Высокопрочные чугуны обладают хорошими литейными и потребительскими свойствами (обрабатываемость резанием, способность гасить вибрации, высокая износостойкость и др.) свойствами. Они используются для массивных отливок взамен стальных литых и кованных деталей – цилиндры, шестерни, коленчатые и распределительные валы и др.

УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

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.

ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

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. Исключения 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.

Задание на практическую работу

Задание 1. Расшифровать марки чугунов

№ варианта	Марки	№ варианта	Марки
1	СЧ 10; КЧ 30-6; ВЧ 50	16	СЧ 35; КЧ 50-4; ВЧ 60
2	СЧ 15; КЧ 33-8; ВЧ 60	17	СЧ 40; КЧ 56-4; ВЧ 45
3	СЧ 20; КЧ 35-10; ВЧ 45	18	СЧ 45; КЧ 60-3; ВЧ 40
4	СЧ 25; КЧ 37-12; ВЧ 40	19	СЧ 10; КЧ 63-2; ВЧ 50
5	СЧ 30; КЧ 45-6; ВЧ 50	20	СЧ 15; КЧ 30-6; ВЧ 60
6	СЧ 35; КЧ 50-4; ВЧ 60	21	СЧ 10; КЧ 30-6; ВЧ 50
7	СЧ 40; КЧ 56-4; ВЧ 45	22	СЧ 15; КЧ 33-8; ВЧ 60
8	СЧ 45; КЧ 60-3; ВЧ 40	23	СЧ 20; КЧ 35-10; ВЧ 45
9	СЧ 10; КЧ 63-2; ВЧ 50	24	СЧ 25; КЧ 37-12; ВЧ 40
10	СЧ 15; КЧ 30-6; ВЧ 60	25	СЧ 30; КЧ 45-6; ВЧ 50
11	СЧ 10; КЧ 30-6; ВЧ 50	26	СЧ 35; КЧ 50-4; ВЧ 60
12	СЧ 15; КЧ 33-8; ВЧ 60	27	СЧ 40; КЧ 56-4; ВЧ 45
13	СЧ 20; КЧ 35-10; ВЧ 45	28	СЧ 45; КЧ 60-3; ВЧ 40
14	СЧ 25; КЧ 37-12; ВЧ 40	29	СЧ 10; КЧ 63-2; ВЧ 50
15	СЧ 30; КЧ 45-6; ВЧ 50	30	СЧ 15; КЧ 30-6; ВЧ 60

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

Марка	Структура	Свойства	Применение

Задание 3. Расшифровать марки углеродистых сталей

№ варианта	Марки							
	1	Ст0	БСт2пс	ВСт5кп	05кп	25	60Г	У7
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
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
26	Ст4сп	БСт6кп	ВСт2	20	30	60Г	У11А	У8
27	Ст5Г	БСт0	ВСт3кп	20кп	35	70Г	У12А	У9
28	Ст6кп	БСт1пс	ВСт4	20пс	40	75Г	У13А	У10
29	Ст0	БСт2сп	ВСт5пс	05кп	45	80Г	У7	У11А
30	Ст1пс	БСт3кп	ВСт4сп	08пс	50	65Г	У8	У12А

Задание 4. Для каждой марки выписать свойства и применение. Результат оформить в виде таблицы

Марка	Свойства	Применение

Задание 5. Расшифровать марки легированных сталей

№ варианта	Марки				
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
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
26	60С2	15ХА	13Х2НА	9ХВГ	Р18К5Ф2
27	30ХМ	40Х9С2	36НХТЮ	6ХВ2С	Р10К5Ф5
28	55С2	09Г2	20ХГР	Х12	Р9
29	50ХФА	14ХГС	55С2	5ХНМ	Р6К10
30	45Г2	60С2А	20ХГ2Ц	6ХВГ	Р12Ф3

Содержание отчета

1. Название практической работы.
2. Цель работы.

3. Задание.
4. Расшифровка марок.
5. Таблицы.

Контрольные вопросы

1. Чугун это сплав_____ с углеродом.
2. Чугун, который используют для переплавки его в сталь, называется _____
3. Чугун, в котором весь углерод находится в виде графита, называется _____
4. _____чугун более пластичный, чем серый.
5. Графит шаровидной формы находится в_____чугуне.
6. Что такое сталь?
7. По каким признакам классифицируют углеродистую сталь?
8. На какие группы по качеству делятся углеродистые стали?
9. Какие группы сталей обыкновенного качества различают в зависимости от назначения?
10. Как подразделяются качественные углеродистые стали по содержанию марганца?
11. На какие группы подразделяются углеродистые стали по способу раскисления?
12. Какие стали называются легированными?
13. Какие элементы являются легирующими?
14. Для чего легируют стали?
15. Каковы правила обозначения легированных сталей?

Практическая работа 4

ВЫБОР ВИДА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАРКИ СТАЛИ

Цель: приобрести навыки в выборе вида и режима термической обработки металлов в зависимости от назначения изделий, изучить влияние термической обработки на механические свойства сталей.

Задание:

- 1 Изучить условия работы заданной детали и требования, предъявляемые к ней;
- 2 Выбрать марку стали для изготовления заданной детали, изучить ее химический состав и механические свойства;
- 3 Назначить режимы обработки нормализации, закалки и отпуска;
- 4 Дать обоснование выбранного вида и режима обработки детали;
- 5 Охарактеризовать структуры, полученные в образцах после каждого вида термической обработки, с указанием их на диаграмме сплавов железо – цементит.

Основные теоретические положения

Общие сведения о термической обработке. Термическая обработка заключается в нагреве детали до определенных температур, выдержке при этой температуре и охлаждении с той или иной скоростью. При этом происходит изменение структуры, а следовательно, механические и технологические свойства обрабатываемой детали. При нагревании и охлаждении в железоуглеродистых сплавах происходят превращения при определенных температурах, называемых критическими точками. При нагревании их принято условно обозначать A_{c1} , A_{c3} , A_{cm} ; при охлаждении – A_{r1} , A_{r3} , A_{cm} (рисунок 4.1). Превращения в сталях при нагревании носят кристаллизационный характер, т.е. при этом происходит образование центров зародышей и последовательный их рост. Исходная структура всех сталей представляет собой смесь двух фаз – феррита и цементита.

При медленном нагревании до температуры A_{c1} ($723\text{ }^{\circ}\text{C}$) никаких превращений в стали не происходит. При достижении критической точки A_{c3} перлит переходит в аустенит. При дальнейшем нагреве в доэвтектоидных сталях происходит постепенное растворение феррита в аустените. При температуре выше линии GSE стали будут иметь однородную структуру – аустенит.

При медленном охлаждении эвтектоидной стали аустенит превращается в перлит (смесь феррита и цементита). Превращение аустенита в перлит происходит диффузионно: углерод, выделяясь из аустенита, образует зародыши цементитовых включений, число которых и последовательный рост зависят от степени переохлаждения.

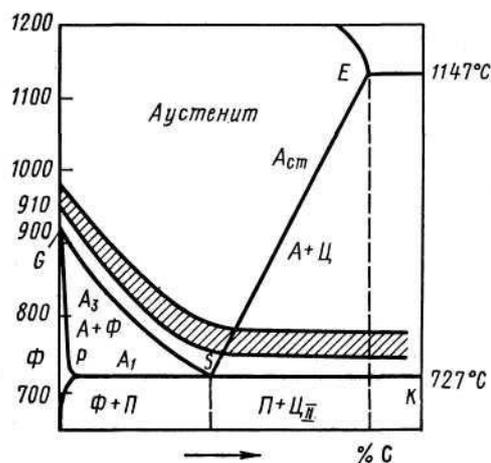


Рисунок 4.1 – Оптимальный интервал закалочных температур стали

Регулируя степень охлаждения аустенита, можно получить следующие продукты его распада: перлит – крупнозерную смесь феррита и цементита; троостит – мелкозерную (высокодисперсную) смесь феррита и цементита.

При больших степенях переохлаждения аустенита диффузионное перераспределение углерода практически прекращается и образование цементита становится невозможным. Образуется структура мартенсит, которая представляет собой перенасыщенный твердый раствор углерода в Fe_3C .

Наименьшая скорость охлаждения, при которой аустенит превращается в мартенсит, называется критической скоростью закалки. Мартенсит имеет игольчатое строение и высокую твердость (НВ 500-650). Мартенситное превращение происходит в интервале температур $M_H - M_K$ (где M_H – начало мартенситных превращений; M_K – конец мартенситных превращений), которые определяются содержанием углерода в стали.

Виды термической обработки стали:

- 1 отжиг первого рода или рекристаллизация;
- 2 отжиг второго рода;
- 3 нормализация;
- 4 закалка;
- 5 отпуск.

Отжиг первого рода (рекристаллизационный отжиг) – нагрев детали до температуры ниже фазовых превращений, выдержка при этой температуре и медленное охлаждение. Такой вид отжига применяют для снятия внутренних напряжений у деталей, полученных методом холодной деформации (холодная прокатка, холодная штамповка, волочение и др.), а также для уничтожения нагартовки (наклепа) металла.

Температура рекристаллизационного отжига любого металла должна быть выше температуры рекристаллизации данного металла. Температура рекристаллизационного отжига для разных металлов и сплавов различная. Например, для стали температура рекристаллизационного отжига на 150-250 °C выше температуры рекристаллизации, обычно 680-700 °C.

Рекристаллизация заключается в том, что, начиная с некоторой температуры при нагревании, происходит интенсивное перемещение атомов в

металле, что влечет за собой изменение формы и величины деформированных кристаллических зерен. При этом происходят превращения, подобные происходящим при первичной кристаллизации и вторичной перекристаллизации (зарождаются новые центры кристаллов и одновременно происходит их рост). Взамен вытянутых, расплюснутых зерен образуются мелкие, сфероидальные зерна; металлу возвращаются исходные свойства.

Отжиг второго рода (отжиг с фазовыми превращениями) – нагрев детали до температуры несколько выше критической, выдержка при этой температуре и медленное охлаждение вместе с печью. Цель отжига – выровнять химический состав детали, получить мелкозернистую равновесную структуру; снять внутренние напряжения, повысить пластичность и понизить твердость, улучшить условия обрабатываемости резанием. Отжиг второго рода подразделяется на полный, неполный, изотермический, ступенчатый и диффузионный.

Полный отжиг производят путем нагрева стали на 30-50 °С, выше критической температуры A_{c3} , выдержки при этой температуре и медленном охлаждении. Полному отжигу подвергаются горячедеформируемые стали (поковки, штамповки, прокат, а также слитки и фасонные отливки из углеродистой и легированной стали).

Неполный отжиг производят путем нагрева детали до температуры выше критической точки A_{c1} на 30-50 °С, выдержки при этой температуре и последующего медленного охлаждения. Неполный отжиг необходим для перекристаллизации перлита, снятия внутренних напряжений, улучшения обрабатываемости резанием. Применяется для заэвтектоидных сталей.

Нормализация отличается от отжига повышенной скоростью охлаждения (на стойком или движущемся воздухе). Процесс нормализации заключается в нагреве стали выше критических температур A_{c3} , A_{cm} на 30–50 °С, выдержке при этой температуре и охлаждении на воздухе. Нормализацией достигают измельчения и однородности структуры, устранения внутренних напряжений и уничтожения сетки вторичного цементита в заэвтектоидных сталях. Нормализации подвергают фасонные отливки, поковки, штамповки и прокатные материалы.

Нормализация является промежуточным процессом термической обработки между отжигом и закалкой. В зависимости от химического состава стали нормализацию применяют иногда вместо отжига или закалки.

Закалка – это процесс, который заключается в нагреве стали выше критических температур A_{c3} , A_{c1} на 30-50 °С, выдержке при этой температуре и последующем быстром охлаждении в воде, масле или других охлаждающих средах. Основная цель закалки – получение высокой твердости и прочности.

Резкое увеличение твердости и прочности в процессе закалки происходит за счет изменения структуры в процессе нагрева и охлаждения, за счет образования неравновесных твердых структур – мартенсита, троостита и сорбита.

Температура нагрева под закалку зависит от химического состава стали. Доэвтектоидную углеродистую сталь нагревают выше критической температуры A_{c3} на 30-50 °С, а заэвтектоидную и эвтектоидную стали

нагревают выше A_{c1} на 30-50 °С. Температура под закалку доэвтектоидной стали изменяется с изменением содержания в стали углерода, температура нагрева заэвтектоидных сталей постоянна и равна 770-780 °С.

Нагрев деталей должен быть медленным, чтобы не возникли напряжения и трещины. Время нагрева зависит от химического состава стали, от формы и размеров детали. Время выдержки должно быть достаточным, чтобы весь процесс превращения феррито-цементитной смеси в аустенит полностью завершился. Продолжительность выдержки обычно 25 процентов общего времени нагрева. Скорость охлаждения должна быть такой, чтобы обеспечить получение нужной структуры – мартенсита, троостита или сорбита, т.е. обеспечить необходимые механические свойства обрабатываемой детали.

Для успешного проведения термической обработки правильный выбор закалочной среды имеет большое значение. Закалку среднеуглеродистых сталей производят в воде при температуре 18 °С, а большинства остальных сталей – в масле. Объемная закалка в зависимости от способа охлаждения разделяется на следующие виды.

Закалка в одном охладителе углеродистых сталей (охлаждение в воде) и легированных сталей (охлаждение в масле) заключается в том, что нагретую до температуры закалки деталь погружают в закалочную среду и держат до ее полного охлаждения. Недостаток этого способа – возникновение больших термических напряжений из-за резкой разности температур нагретого металла и охлаждающей среды.

Ступенчатая закалка производится путем быстрого охлаждения последовательно в двух различных охлаждающих средах. Первой охлаждающей средой служат расплавленные соли или масло с температурой на 20-30 °С выше точки начала мартенситного превращения M_n для данной стали. В горячей среде деталям дают кратковременную выдержку, цель которой – выравнивание температур по сечению детали. Структура металла – аустенит. Второй охлаждающей средой является воздух; при этом аустенит переходит в мартенсит.

Достоинство такого метода закалки – уменьшение термических напряжений, а, следовательно, невозможность появления трещин, поводки и коробления, а также хорошее сочетание высокой вязкости с прочностью. Ступенчатую закалку применяют для мелких деталей из углеродистой стали с сечением 8 – 10 мм и для деталей из легированной стали с сечением до 30 мм.

Изотермическая закалка, так же, как и ступенчатая закалка, производится в двух охлаждающих средах. Температура горячей среды (соляные, селитровые и щелочные ванны) зависит от химического состава стали. Время выдержки должно быть достаточным для полного превращения аустенита в игольчатый троостит. Окончательное охлаждение до комнатной температуры производится на воздухе.

Изотермическую закалку широко применяют для деталей из высоколегированных сталей. После изотермической закалки сталь приобретает высокие прочностные свойства.

При охлаждении в процессе закалки в стали возникают термические и структурные внутренние напряжения. Термические напряжения возникают в

результате неравномерного охлаждения, а структурные – при превращении аустенита в мартенсит, что сопровождается значительным увеличением объема. В результате создания таких напряжений при закалке может возникнуть брак – коробление, трещины и изменение объема.

Поверхностная закалка применяется для придания ответственным деталям (валам, зубчатым колесам и др.), работающим на трение и одновременно подвергающимся действию ударных нагрузок, твердости поверхностного слоя, высокого сопротивления изнашиванию и вязкости сердцевины, обеспечивающей сопротивление удару. В зависимости от способа нагрева деталей поверхностная закалка разделяется на индукционную (токами высокой частоты), контактную, газопламенную, закалку в электролите.

Индукционная закалка основана на том, что электрический ток высокой частоты, проходя по проводнику – индуктору, создает вокруг него электрическое поле. На поверхности детали, помещенной в это поле, индуцируются вихревые токи, вызывая нагрев детали до высоких температур. Это обеспечивает возможность протекания фазовых превращений, т. е. превращение феррито-цементитной смеси в аустенит. После охлаждения поверхность детали имеет структуру мартенсита.

Отпуск – это завершающая операция термической обработки, формирующая структуру, а, следовательно, и свойства стали. Назначение отпуска – снять внутренние напряжения, возникшие в процессе закалки, и получить необходимую структуру. Процесс отпуска заключается в нагревании стали до температуры ниже A_{c3} , выдержке при этой температуре и охлаждении. В зависимости от температуры нагрева закаленной детали различают три вида отпуска: низкий, средний и высокий.

Низкий отпуск производится при температурах 150-250 °С с целью уменьшения закалочных напряжений при сохранении мартенситной структуры. Твердость детали после низкого отпуска почти не изменяется. Низкий отпуск применяется для углеродистых и легированных сталей, для которых необходимы высокая твердость и износостойчивость.

Средний отпуск производится при температурах нагрева 350-500 °С и применяется для пружинных и рессорных сталей, а также для сталей, идущих на изготовление штампов.

Высокий отпуск производится при температурах нагрева 500-650 °С и применяется для конструкционных сталей.

Кроме температуры нагрева при отпуске весьма важно время выдержки, скорость же охлаждения в большинстве случаев значения не имеет (рисунок 4.2).

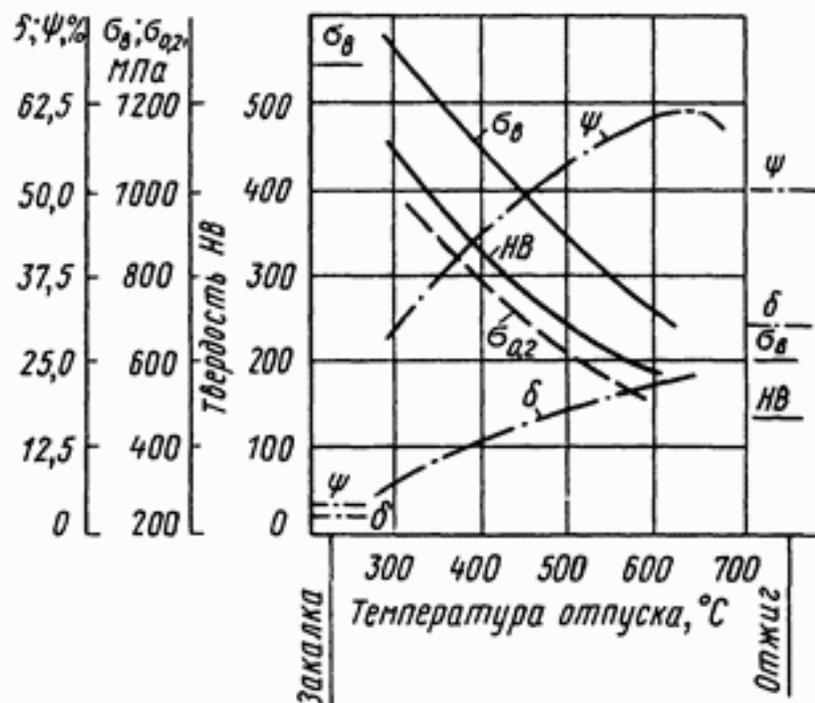


Рисунок 4.2 – Диаграмма влияния температуры отпуска на механические свойства стали

Нагрев образцов стали для термообработки в лабораторных условиях проводится в муфельных электропечах. Для измерения температуры применяются термоэлектрические пирометры, термопары, которые вставляются в отверстия печи, имеющиеся в задней стенке.

Для выполнения задания необходимо, прежде всего, определить материал, обладающий свойствами, близкими к требуемым. Для этой цели рекомендуется ознакомиться с классификацией, составом и назначением основных материалов, используемых в технике.

Если для улучшения свойств выбранного материала нужны термическая или химико-термическая обработка, то необходимо указать их режимы, получаемую структуру и свойства. При рекомендации режимов обработки необходимо также указать наиболее экономичные и производительные способы. Например, для деталей, изготавливаемых в больших количествах, – обработку с индукционным нагревом, газовую цементацию и др.; для деталей, работающих в условиях переменных нагрузок, например, для валов, зубчатых колес многих типов, необходимо рекомендовать обработку, повышающую предел выносливости (в зависимости от рекомендуемой стали к ним относятся цементация, цианирование, азотирование, закалка с индукционным нагревом, обработка дробью).

При решении задач рекомендуется использовать учебные пособия, ГОСТы, справочники и справочные материалы.

В помощь, учащимся при выполнении практического занятия приведено подробное решение одной типовой задачи.

Пример 4.1

Завод имеет сталь двух марок: 45 и 20ХН3А, из которых можно изготовить вал диаметром 70 мм для работы с большими нагрузками.

Какую из сталей следует применить для изготовления вала, если сталь должна иметь предел текучести не ниже 740 МПа?

Таблица 4.1 – Химический состав сталей, %

Сталь	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
Сталь 45	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25	0,25	0,045	0,040
20ХН3А	0,17-0,23	0,3-0,6	0,17-0,37	0,6-0,9	2,75-3,15	0,025	0,025

Сталь 45 в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более НВ 207. При твердости НВ 190-200 сталь имеет предел прочности σ_B не выше 580-600 МПа. Предел текучести стали 45 не превышает 260-310 МПа.

Сталь 20ХН3А в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более НВ 250. Предел прочности не превышает 735 МПа и может быть ниже 580 МПа для плавок с более низкой твердостью. Предел текучести стали не превышает 340-390 МПа.

Таким образом, для получения заданной величины предела текучести вал необходимо подвергнуть термической обработке.

Для такого ответственного изделия, как вал двигателя, поломки которого нарушают работу машины, необходимо применить сталь качественную. Сталь 45 относится к классу качественной углеродистой, а сталь 20ХН3А – к классу высококачественной легированной стали. Они содержат соответственно 0,42-0,50 и 0,17-0,23 процента углерода и принимают закалку. Для повышения прочности можно принимать нормализацию или закалку с высоким отпуском.

Так как вал двигателя воспринимает в работе динамические нагрузки, а также вибрацию, более целесообразно применить закалку и отпуск.

После закалки в воде углеродистая сталь 45 получает структуру мартенсита. Однако вследствие небольшой прокаливаемости углеродистой стали эта структура в изделиях диаметром более 20-25 мм образуется только в сравнительно тонком поверхностном слое толщиной 2-4 мм. Последующий отпуск вызовет превращение мартенсита и троостита в сорбит только в поверхностном слое, но не влияет на структуру и свойства перлита и феррита в основной массе изделия. Сорбит отпуска обладает более высокими механическими свойствами, чем феррит и перлит.

Наибольшие напряжения от изгиба, кручения и повторно переменных нагрузок воспринимают наружные слои. Однако в сопротивлении динамическим нагрузкам, которые воспринимает вал, участвуют не только поверхностные, но и нижележащие слои металла.

Сталь 20ХН3А легирована никелем и хромом для повышения прокаливаемости и закаливаемости. Она получает после закалки однородную структуру и механические свойства в сечении диаметром до 75 мм.

Таким образом свойствами, которые обеспечат требования для изготовления вала диаметром 70 мм для работы с большими нагрузками, обладает сталь 20ХН3А, которую необходимо применить для изготовления валов с соответствующей термодинамической обработкой (закалка с 820-835 °С в масле и отпуск 520-530 °С в масле).

Индивидуальные задания по выбору сплавов и режимов термической обработки в зависимости от условий работы деталей и конструкций

1 Завод изготавливает коленчатые валы диаметром 35 мм: сталь в готовом изделии должна иметь предел текучести не ниже 290 МПа и ударную вязкость не ниже 50 МПа. Кроме того, вал должен обладать повышенной износостойкостью не по всей поверхности, а только в шейках, т. е. в участках, сопряженных с подшипниками и работающих на истирание.

Подберите марку стали, рекомендуйте режим термической обработки всего вала для получения заданных свойств и режим последующей термической обработки, повышающей твердость только в отдельных участках поверхности вала.

Привести структуру и твердость стали в поверхностном слое шейки вала, структуру и механические свойства в остальных участках.

2 Стаканы цилиндров мощных двигателей внутреннего сгорания должны обладать высоким сопротивлением износу на поверхности. Для повышения износостойкости применяют азотирование.

Подберите сталь, пригодную для азотирования, приведите химический состав, рекомендуйте режим термической обработки и режим азотирования. Укажите твердость поверхностного слоя и механические свойства низлежащих слоев в готовом изделии.

3 Станкостроительный завод изготавливает шпиндели токарных станков. Шпиндели работают с большой скоростью в условиях повышенного износа: поэтому твердость в поверхностном слое должна быть HRC 58-62.

Подберите сталь для изготовления шпинделя, рекомендуйте режим термообработки, обеспечивающий получение заданной твердости в поверхностном слое. Укажите, структуру стали в поверхностных слоях и в сердцевине шпинделя, механические свойства сердцевины после окончательной термической обработки.

4 Червяк редуктора диаметром 35 мм можно изготовить из цементуемой и нецементуемой стали. Предел прочности в сердцевине детали должен быть 580-686 МПа².

Выберите марку цементуемой и нецементуемой углеродистой качественной стали. Обоснуйте, в каких случаях целесообразно применять цементуемую и в каких случаях – нецементуемую сталь.

Укажите химический состав, рекомендуемый режим химико-термической и термической обработки и сопоставьте механические свойства стали обоих типов в готовом изделии.

5 Палец шарнира диаметром 30 мм работает на изгиб и срез и должен обладать высокой износостойкостью на поверхности и высокой вязкостью в сердцевине.

Подберите углеродистую сталь, укажите ее состав и марку, рекомендуйте режим химико-термической и термической обработки, укажите структуру, механические свойства в сердцевине и твердость на поверхности после окончательной обработки. Укажите желаемую толщину твердого поверхностного слоя.

6 Выберите марку стали для изготовления топоров. Лезвие топора не должно сминаться или выкрашиваться в процессе работы; поэтому оно должно иметь, твердость в пределах HRC 50-55 на глубину не более 30-40 мм; остальная часть топора не подвергается закалке и имеет более низкую твердость.

Укажите химический состав стали, режим термической обработки, обеспечивающий указанную твердость, а также способ закалки, позволяющий получить эту твердость только на лезвии топора.

7 Выберите марку стали для изготовления продольных пил по дереву и укажите режим термической обработки, микроструктуру и твердость готовой пилы.

Режимы термической обработки выберите таким образом, чтобы предупредить деформацию пилы при закалке и отпуске, а также обеспечить получение в стали высоких упругих свойств после отпуска (пила должна «пружинить»).

8 Автосцепки вагонов на железнодорожном транспорте изготавливаются литыми. Для повышения механических свойств отливки подвергают термической обработке.

Выберите марку стали и обоснуйте термическую обработку, если предел прочности должен быть не ниже 340 МПа.

Укажите структуру и механические свойства стали после литья и после термической обработки.

9 Завод изготавливает зубчатые колеса диаметром 60 мм и высотой 80 мм. Предел текучести должен быть не ниже 530-540 МПа.

Выберите сталь для изготовления зубчатых колес и приведите состав и марку, учитывая технологические особенности термической обработки и необходимость предотвратить деформацию и образование трещин при закалке.

Рекомендуйте режим термической обработки и укажите механические свойства в готовом состоянии.

10 Многие измерительные инструменты плоской формы (шаблоны, линейки, штангенциркули) изготавливаются из листовой стали; они должны обладать высокой износостойкостью в рабочих кромках. Приведите режимы обработки, обеспечивающей получение этих свойств, если инструменты изготавливают большими партиями из сталей 15 и 20.

11 Для изготовления деталей, работающих в активных коррозионных средах, выбрана сталь 08X18H12T. Укажите состав и объясните причины введения легирующих элементов. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки.

12 Режущий инструмент требуется обработать на максимальную твердость. Для его изготовления выбрана сталь У13А. Назначьте режим термической обработки, опишите сущность происходящих превращений, структуру и свойства данной стали.

Содержание отчета

- 1 Тема;
- 2 Цель;

- 3 Задание;
- 4 Описание выполнения задания.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что называется, термической обработкой металлов?
- 2 Перечислите виды термической обработки.
- 3 Чем отличается отжиг от закалки?
- 4 Как определить температуру отжига, закалки по диаграмме состояния Fe-Fe₃C?
- 5 С какой целью проводится поверхностная закалка? Её виды?
- 6 Какая обработка называется химико-термической?
- 7 С какой целью проводится азотирование, цианирование, цементация, нитроцементация?

Практическая работа №5

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Цели работы: Научиться выбирать марки сплавов для деталей машин, обосновывая выбор условиями работы при их эксплуатации и технологией изготовления.

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.

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 5.1

Марка материала	Термообработка	Предел прочности, МПа	Твердость	Другие свойства

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

6. Для выбранного материала дать расшифровку марки.

Задание на практическую работу

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.

Содержание отчета

1. Название практической работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Анализ условий работы детали.
5. Название классов конструкционных материалов.
6. Таблица.
7. Вывод о выборе материала
8. Расшифровка марки выбранного материала

Контрольные вопросы

1. Какими механическими и технологическими свойствами обладают стали, чугуны, латуни, бронзы, алюминиевые сплавы?
2. Как влияют на сплавы легирующие элементы?
3. Что необходимо учитывать при выборе конструкционного материала?

Практическая работа 6

ВЫБОР МАРКИ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ИХ РАБОТЫ

Цель: приобрести навыки в работе со справочной литературой по выбору легированной стали для деталей в зависимости от условий их работы.

Задание:

- 1 Изучить условия работы заданной детали или инструмента и требования, предъявляемые к ней;
- 2 Выбрать марку легированной стали для изготовления детали или инструмента, изучить ее химический состав и механические свойства (по справочникам);
- 3 Дать обоснование выбора материала для заданной детали.

Основные теоретические положения

Легированные стали обладают лучшими механическими свойствами после термической обработки (закалки и отпуска), которые сравнительно мало отличаются от механических свойств углеродистой стали в изделиях малых сечений, а в изделиях крупных сечений (диаметром свыше 15-20 мм) механические свойства легированных сталей значительно выше, чем углеродистых. Особенно сильно повышаются предел текучести, относительное сужение и удельная вязкость. Это объясняется тем, что легированные стали обладают меньшей критической скоростью закалки, а следовательно, лучшей прокаливаемостью. Из-за большей прокаливаемости и меньшей критической скорости закалки замена углеродистой стали легированной позволяет производить закалку деталей в менее резких охладителях (масло, воздух), что уменьшает деформации изделий и опасность образования трещин. Поэтому легированные стали применяют не только для крупных изделий, но и для изделий небольшого сечения, имеющих сложную форму. Чем выше в стали концентрация легирующих элементов, тем выше ее прокаливаемость.

Инструментальные стали как имеющие высокие твердость, износостойкость и прочность, используют для режущих инструментов, штампов холодного и горячего деформирования, измерительных инструментов, различных размеров и форм.

Для характеристики и выбора инструментальных сталей следует учитывать прежде всего главное свойство этих сталей – теплостойкость, поскольку рабочая кромка инструментов в зависимости от условий эксплуатации может нагреваться до температуры: 500-700 °С у режущих инструментов и до 800 °С у штампов.

Стали для резания или горячего деформирования должны сохранять при нагреве высокие твердость, прочность и износостойкость, т. е. обладать теплостойкостью (красностойкостью). Это свойство создается специальным легированием и термической обработкой. В связи с этим различают стали:

- 1 *Нетеплостойкие*, сохраняющие высокую твердость (HRC 60) при

нагреве не выше 190-225 °С и используемые для резания мягких металлов с небольшой скоростью, а также для деформирования в холодном состоянии. Это углеродистые и легированные стали (с относительно невысоким содержанием легирующих элементов). Карбидная фаза их – цемент.

2 *Полутеплостойкие* преимущественно штамповые, рабочая кромка которых нагревается до 400-500 °С. Это стали, легированные хромом и дополнительно вольфрамом, молибденом и ванадием. Карбидные фазы – легированный цементит и карбид хрома.

3 *Теплостойкие* для резания с повышенной скоростью. Нагрев рабочей кромки до 500-650 °С (быстрорежущие стали); штамповка стали при повышенном нагреве до 600-800 °С. Основная карбидная фаза – карбид вольфрама (молибдена). Твердость HRC 60-62 у быстрорежущих сталей после нагрева до 600-680 °С и HRC 45-52 у штамповых 650-700 °С.

При выполнении заданий рекомендуется использовать учебные пособия, ГОСТы, справочники и справочные данные, приведенные в конце данного методического пособия.

Для получения навыков в выборе легированной стали в зависимости от условий их работы приводится примерное решение типовой задачи.

Пример 6.1

Подберите легированную инструментальную сталь повышенной теплостойкости, пригодную для резания жаропрочных сталей, укажите ее марку и химический состав, термическую обработку и микроструктуру в готовом инструменте. Сопоставьте теплостойкость стали P12 и выбранной стали.

При резании сталей и сплавов с аустенитной структурой (нержавеющих, жаропрочных и др.), получающих все более широкое применение в промышленности, стойкость инструментов и предельная скорость резания могут сильно снижаться по сравнению с получаемыми при резании обычных конструкционных сталей и чугунов с относительно невысокой твердостью (до HB 220-250). Это связано главным образом с тем, что теплопроводность аустенитных сплавов пониженная. Вследствие этого тепло, выделяющееся при резании, лишь в небольшой степени поглощается сходящей стружкой и деталью и в основном воспринимается режущей кромкой. Кроме того, эти сплавы сильно упрочняются под режущей кромкой в процессе резания, из-за чего заметно возрастают усилия резания.

Для резания подобных материалов, называемых труднообрабатываемые, малопригодны быстрорежущие стали умеренной теплостойкости типа P12, сохраняющие высокую твердость (HRC 60) и мартенситную структуру после нагрева не выше 615-620 °С.

Для обработки аустенитных сплавов необходимо выбирать быстрорежущие стали повышенной теплостойкости, а именно кобальтовые. Кобальтовые стали сохраняют твердость HRC 60 после более высокого нагрева до 640-645 °С. Кроме того, кобальт заметно повышает теплостойкость быстрорежущей стали, а следовательно, снижает температуру режущей кромки

из-за лучшего отвода тепла в тело инструмента. Стали с кобальтом имеют высокую твердость до HRC 68.

Для сверл и фрез, применяемых для резания аустенитных сплавов, рекомендуются кобальтовые сплавы марок P12Ф4К5 или P8М3К6С.

Таблица 6.1 – Химический состав сталей, %

Сталь	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Co
P12	0,85	0,3	0,3	3,6	12,5	1	1,7	–
P12Ф4К5	1,3	0,3	0,3	3,8	12,5	1	3,5	5,5
P8М3К6С	1,1	0,9	0,3	3,8	8	3,6	1,7	6

Термическая обработка кобальтовых сталей принципиально не отличается от обработки других быстрорежущих сталей.

Закалка до 1240-1250 °С (P13Ф4К5) и 1210-1220 °С (P8М3К6С), что необходимо для растворения большого количества карбидов и насыщения аустенита (мартенсита) легирующими элементами. Более высокий нагрев недопустим: он вызывает рост зерна, что снижает прочность и вязкость. Структура стали после закалки: мартенсит, остаточный аустенит (15-30 процентов) и избыточные карбиды, не растворяющиеся при нагреве и задерживающие рост зерна. Твердость HRC 60-62.

Затем инструменты отпускают при 550-560 °С (3 раза по 60 минут). Применение отпуска вызывает:

- 1 выделение дисперсных карбидов из мартенсита, что повышает твердость до HRC 66-69;

- 2 превращение остаточного аустенита в мартенсит;

- 3 снятие напряжений, вызываемых мартенситным превращением.

После отпуска инструмент шлифуют, а затем подвергают цианированию, чаще всего жидкому с выдержкой 15-30 минут (в зависимости от сечения инструмента).

Твердость цианированного слоя на глубину 0,02-0,03 мм достигает HRC 69-70. Цианирование повышает стойкость инструментов на 50-80 процентов. После цианирования возможен кратковременный нагрев при 450-500 °С с охлаждением в масле, поверхность инструмента приобретает тогда синий цвет и несколько лучшую стойкость против воздушной коррозии.

Индивидуальные задания по выбору марки легированной стали в зависимости от условий их работы

- 1 Щеки и шары машин для дробления руды и камней работают в условиях: повышенного износа, сопровождаемого ударами.

Подберите сталь для изготовления щек и шаров, укажите ее химический состав и свойства.

- 2 Лопатки реактивных и турбореактивных двигателей работают в окислительной среде при высоких температурах (800- 900 °С). Металл должен обладать повышенной коррозионной стойкостью и прочностью при указанной температуре.

Подберите металл или сплав, укажите его состав и свойства.

3 Рессоры грузового автомобиля изготавливают из качественной легированной стали; толщина рессоры до 10 мм. Сталь должна обладать высокими пределами прочности, выносливости и упругости.

Подберите сталь, укажите ее состав и свойства в зависимости от термической обработки.

4 Сталь, применяемая для пароперегревателей котлов высокого давления, должна сохранять повышенные механические свойства при длительных нагрузках при температурах 500 °С и иметь достаточно высокую пластичность для возможности выполнения холодной деформации при сборке котла.

Подберите сталь, укажите ее состав и механические свойства при комнатной и повышенной температурах.

5 Детали приборов и оборудования, которые устанавливают на морских судах, должны быть устойчивыми не только против действия воды, водяных паров и атмосферы воздуха, но и более сильного коррозирующего действия морской воды.

Подберите сталь, укажите химический состав и механические свойства.

6 Крупные пневматические долота, применяемые при разработке горных пород, обладают относительно высокой твердостью и износостойкостью, но вместе с тем должны иметь достаточную вязкость, так как они испытывают в работе ударные нагрузки.

Подберите легированную сталь, укажите химический состав и режим термической обработки.

7 Завод выполняет токарную обработку чугуновых и стальных деталей с большой скоростью резания. Выберите сплавы для резцов, обеспечивающие высокую производительность обработки стали и чугуна.

Приведите химический состав, структуру, твердость, прочность и теплостойкость и способ изготовления этих сплавов и сравните их с аналогичными характеристиками быстрорежущей стали.

8 Подберите сталь для червячных фрез, обрабатывающих конструкционные стали твердостью НВ – 230. Объясните причины, по которым для этого назначения нецелесообразно использовать углеродистую инструментальную сталь У12 с высокой твердостью (HRC 63-64).

Укажите режимы термической обработки фрез для выбранной легированной стали.

9 Получение заготовок горячей деформацией является производительным способом обработки. Выберите марку стали для изготовления крупного молотового штампа, рекомендуйте режим термической обработки штампа, укажите микроструктуру и механические свойства после отпуска. Объясните, почему подобные штампы не следует изготавливать из углеродистой стали.

10 Пружины приборов при нагреве даже в области климатических температур могут изменять свои характеристики в связи с изменением модуля упругости. Это снижает точность работы приборов.

Подберите сталь для изготовления пружин, модуль упругости которого не изменяется при температурах до 200 °С. Укажите режим упрочняющей обработки стали.

11 Для изготовления деталей топливной аппаратуры (плунжеры, иглы форсунок) применяются легированные стали. Выберите приемлемый для этих целей материал (38Х2МЮА, 40ХГНМ, 33ХС), приведите химический состав и обоснуйте выбор стали.

12 Для сварных деталей и изделий, работающих в условиях воздействия слабых агрессивных сред, совмещающих повышенную прочность с пластичностью и ударной вязкостью, применяют коррозионностойкие стали. Выберите приемлемую для этих целей сталь (95Х18, 12Х13, 10Х14АГ15), приведите химический состав и обоснуйте свой выбор.

Содержание отчета

- 1 Тема;
- 2 Цель;
- 3 Задание;
- 4 Описание выполнения задания.

Вопросы для самопроверки

- 1 Какие стали называются легированными?
- 2 По каким признакам проводится классификация легированных сталей?
- 3 Какими элементами в основном проводится легирование сталей?
- 4 По какому принципу проводится маркировка легированных сталей?
- 5 Что обозначают буквы А, Р, Ш, Э в начале маркировки легированной стали?
- 6 Перечислите и дайте определения сталям с особыми свойствами.

Практическая работа 7

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: научиться определять удельное сопротивление материала.

Основные теоретические положения

Электрическое сопротивление проводника зависит от его материала и размеров. Если проводник имеет постоянное поперечное сечение S и длину l , то его сопротивление:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (7.1)$$

где ρ – удельное сопротивление материала ($\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ или $\text{Ом} \cdot \text{м}$).
Удельное сопротивление материала проводника:

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad (7.2)$$

численно равно сопротивлению проводника длиной 1 м, площадью поперечного сечения 1 м² при температуре 20 °С. Единицей измерения удельного сопротивления является Ом·м. Значение ρ для металлов при такой единице измерения очень малó. Поэтому для удобства расчетов поперечное сечение проводника S берут в квадратных миллиметрах. Тогда единицей ρ

будет $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Значения удельных сопротивлений некоторых материалов приведены в таблице 7.2.

Приборы и оборудование

- 1 Источники питания постоянного тока регулируемого напряжения 0-15 В.
- 2 Комбинированный прибор.
- 3 Миллиамперметр.
- 4 Испытуемые образцы катушек с проводом различного сечения, длины и материала.
- 5 Переменный резистор.

Задание

- 1 Собрать электрическую схему в соответствии с рисунком 7.1 и показать ее для проверки преподавателю.

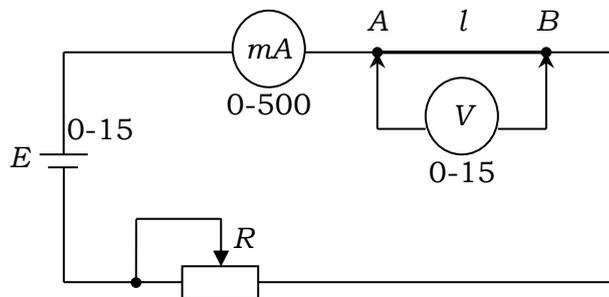


Рисунок 7.1 – Схема исследования материалов

2 Перед началом работы необходимо установить, какой ток допустим в испытуемых образцах, и проверить на соответствие миллиамперметра и регулировочного реостата.

При исследовании очередного образца, чтобы не испортить прибор, необходимо поставить переключатель комбинированного прибора (в зависимости от серии) на бóльший предел измерения тока 1,5 и 2,5 А. Затем, в случае нахождения стрелки прибора в первой половине шкалы, необходимо при помощи переключателя уменьшить предел измерения тока.

Внимательно следить за отклонением стрелки прибора, в случае ее резкого отклонения вправо, немедленно отключить схему от источника питания и увеличить переключателем предел измерения тока.

При изменении сопротивления, при помощи переменного резистора, заметить максимальное отклонение миллиамперметра.

3 Установить ток в цепи несколько меньше допустимого при помощи переменного резистора. Замерить напряжение мультиметром на участке l исследуемого образца.

Занести показания тока и напряжения в таблицу 7.1. Значение длины и диаметра провода исследуемого образца следует так же указать в таблице 7.1. Длина и диаметр провода записаны на каждом образце.

4 Прodelать аналогичные опыты с другими образцами. Для работы следует выбрать образцы различных материалов, что легко определить по их внешнему виду. В работе исследовать не менее трех образцов.

Таблица 7.1 – Данные опыта и вычисления

Номер опыта	Измерить				Вычислить			
	$U, В$	I, mA	$l, м$	$d, мм$	$R, Ом$	$s, мм^2$	$\frac{\rho, Ом \cdot мм^2}{м}$	Материал
1								
2								
3								

Обработка результатов

1 По измеренному току I и по напряжению на образце U определить сопротивление исследуемого проводника:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (7.3)$$

2 Определить удельное сопротивление проводника по формуле:

$$\rho = \frac{R \cdot s}{l}, \quad (7.4)$$

$$s = \frac{\pi d^2}{4}.$$

где сечение проводника

3 По найденному удельному сопротивлению проводника ρ определить исследуемый материал, используя таблицу 7.2.

Таблица 7.2 – Значения удельного сопротивления проводников

Материал	Удельное сопротивление, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Материал	Удельное сопротивление, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Алюминий	0,028-0,029	Нихром	1,1
Бронза	0,021-0,4	Сталь	0,13-0,25
Железо	0,13-0,30	Хромаль	1,3
Константан	0,40-0,51	Платина	0,105
Манганин	0,42-0,48	Серебро	0,016
Медь чистая	0,0168	Серебро-медь	0,018-0,020

Вопросы для самопроверки

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Как вычислить сопротивление проводника?
- 3 От чего зависит сопротивление металлического проводника?
- 4 От каких величин зависит удельное сопротивление материалов?
- 5 Какие материалы применяются для изготовления проводов и почему?
- 6 Чему будут равны сопротивления 1 км медного и алюминиевого проводов сечением 35 мм²?
- 7 Подобрать сечение медного провода так, чтобы при длине 3 км его сопротивление равнялось 1,7 Ом.

Практическое занятие 8

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ. ДИЭЛЕКТРИКИ

Основные расчетные выражения и необходимые пояснения

Диэлектрическая проницаемость как параметр материала характеризует поведение в электрическом поле зарядов вещества связанных в атомы, молекулы, кристаллы (не свободных). При воздействии на материал внешнего электрического поля с напряжённостью $E_{\text{пустоты}}$, имеющего плотность потока электрического смещения $D_{\text{внешн}} = \epsilon_0 E_{\text{пустоты}}$, в нем происходит поляризация (смещение (r) связанных зарядов, (q) в соответствии с их знаком и направлением поля). Поляризацию обозначают вектором поляризации P . Вектор поляризации P равен сумме дипольных моментов ($q \times r$) в единице объёма материала (V) и направлен против внешнего поля:

$$P = \frac{\sum qr}{V} \quad (8.1)$$

В результате поляризации напряжённость поля в материале уменьшается с $E_{\text{пустоты}}$ до $E_{\text{материала}}$. Поэтому поток электрического смещения воздействующего на материал поля можно приравнять сумме двух векторов:

$$D_{\text{внешн}} = \epsilon_0 E_{\text{материала}} + P \quad (8.2)$$

Отсюда получаем:

$$\frac{D_{\text{внешн}}}{\epsilon_0 E_{\text{материала}}} = 1 + \frac{P}{\epsilon_0 E_{\text{материала}}} \quad (8.3)$$

Относительная величина

$$1 + \frac{P}{\epsilon_0 E_{\text{материала}}} = \epsilon \quad (8.4)$$

называется **диэлектрической проницаемостью** материала и обозначается ϵ .

Обычная форма записи, связывающая внешний поток электрического смещения $D_{\text{внешн}}$ с напряжённостью поля в материале $E_{\text{материала}}$, вытекает из (8.3) и (8.4) и выглядит как:

$$D_{\text{внешн}} = \epsilon_0 \epsilon E_{\text{материала}} \quad (8.5)$$

В пустоте нет частиц, которые могли бы поляризоваться ($q=0$), поэтому $P=0$, а диэлектрическая проницаемость $\epsilon=1$. Для пустоты:

$$D_{\text{внешн}} = \epsilon_0 E_{\text{пустоты}} \quad (8.6)$$

Из (8.5) и (8.6):

$$\epsilon = \frac{E_{\text{пустоты}}}{E_{\text{материала}}} \quad (8.7)$$

Таким образом, можно дать следующие определения диэлектрической проницаемости:

1). **Диэлектрическая проницаемость, ϵ** является мерой поляризации вещества в электрическом поле (см. 1.4).

1) **Диэлектрическая проницаемость, ϵ** - это мера ослабления поля в веществе по сравнению с внешним полем; её значение показывает во сколько раз поле в веществе слабее поля от того же источника в вакууме (см. 1.7).

2) **Диэлектрическая проницаемость, ϵ** является также мерой ёмкости, которую может создать диэлектрик. Значение диэлектрической проницаемости вещества, ϵ можно определить как отношение ёмкости конденсатора с данным веществом (диэлектриком) к ёмкости конденсатора тех же размеров, диэлектриком которого является вакуум (см. ниже).

Для получения количественных результатов при выполнении задания необходимо вспомнить, что заряд какого либо устройства - q есть произведение ёмкости этого устройства C на приложенное к устройству напряжение U :

$$q = C \times U \quad (8.8)$$

Если ёмкость определяется по отношению к земле, потенциал которой принимается равным нулю, вместо напряжения U используется значение “потенциала” (ϕ) того тела, ёмкость которого определяется.

Для расчета ёмкости необходимо четко представить конфигурацию поля в рассчитываемом устройстве.

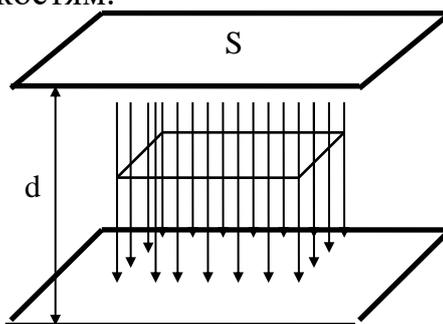
В заданиях используются электрические поля следующих конфигураций:

- плоско- параллельное,
- радиально-цилиндрическое,
- радиально-сферическое.

Ниже приводится описание этих полей и необходимые для расчета формулы.

Плоскопараллельное поле.

В плоско-параллельном поле эквипотенциальные поверхности (поверхности равного потенциала, поверхности уровня) представляют собой параллельные плоскости, а линии потока смещения D , совпадающие с направлением вектора напряженности поля E , - параллельны друг другу и перпендикулярны этим плоскостям.



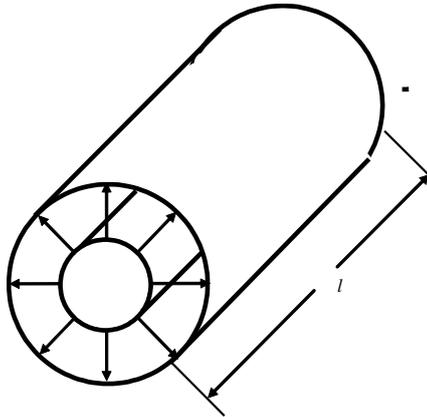
Значение ёмкости:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \cdot \frac{S}{d}, \quad (8.9)$$

В плоскопараллельном поле напряжённость **E** одинакова во всех точках. Поэтому:

$$U = E \times d \quad (8.10)$$

По выражениям (8.9) и (8.10) рассчитываются параметры плоских конденсаторов.



Радиально-цилиндрическое поле.

Эквипотенциальными в этом поле являются коаксиальные (имеющие общую ось) цилиндрические поверхности, а линии смещения располагаются по радиальным направлениям.

Значение ёмкости

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{2 \pi l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad (8.11)$$

r_1 - радиус внутреннего цилиндра;

r_2 - радиус внешнего цилиндра.

По выражению (8.11) можно рассчитать ёмкость одножильного коаксиального кабеля (например, кабеля для телевизионной антенны или одножильных кабелей на напряжение 110...500 кВ).

Радиально-сферическое поле.

В этом поле поверхности уровня - это сферы с общим центром, а линии смещения направлены по радиусам.

Значение ёмкости:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon 4 \pi \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}, \quad (8.12)$$

причем, ёмкость шара по отношению

к сфере бесконечного радиуса ($r_2 = \infty$):

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon 4 \pi r_1, \quad (8.13)$$

Ёмкость полушария в два раза меньше.

Кроме приведённых выражений полезно будет также вспомнить соотношение для плотности потока смещения \mathbf{D} , когда силовые линии от заряда q проходят перпендикулярно в каждой точке поверхности S :

$$D = \frac{q}{S} \quad (8.14)$$

Если поток смещения одинаковой плотности пронизывает диэлектрики с различной диэлектрической проницаемостью, то справедливо соотношение (вытекающее из 8.5):

$$\varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_2 E_2 \quad (8.15)$$

Отсюда следует, что значения напряжённости поля обратно пропорциональны диэлектрическим проницаемостям:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (8.16)$$

1.2. Пример выполнения 1-го задания

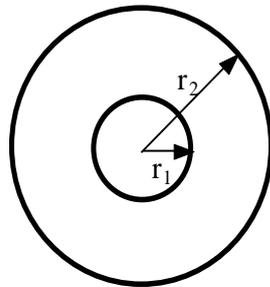
1. Задание 1-61.

Опишите поликарбонатные пленки и воздух, как диэлектрики, и определите напряжённость поля в воздушном включении, которое находится в изоляции одножильного кабеля с номинальным напряжением 10 кВ. Напряжение на жиле составляет 6 кВ. Жила диаметром 10 мм изолирована поликарбонатной пленкой "макрофоль" типа SN и имеет толщину изоляции 3 мм. При намотке пленки на жилу на поверхности жилы образовалось микроскопическое воздушное включение.

2. Определение величин, необходимых для выполнения задания.

Если пренебречь искажением поля, которое вносит небольшое воздушное включение, то напряжённость поля на поверхности провода, создающего радиально-цилиндрическое поле, равна:

$$E_n = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$



Здесь r_1 и r_2 - соответственно радиусы жилы и оболочки, U - напряжение на жиле.

Напряжённость поля в воздушном включении по отношению к напряженности поля в изоляционной плёнке определяется обратным

отношением диэлектрических проницаемостей материала воздуха ϵ_v и изоляции $\epsilon_{п}$:

$$E_{\epsilon} = E_n \frac{\epsilon_n}{\epsilon_{\epsilon}} = \frac{\epsilon_n}{\epsilon_{\epsilon}} \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Из этого выражения видно, что для выполнения задания необходимо знать значения диэлектрических проницаемостей поликарбонатной пленки $\epsilon_{п}$ и воздуха ϵ_v .

Диэлектрической проницаемостью называется способность материала образовывать ёмкость /1, стр. 22/ и её можно определить как отношение ёмкости конденсатора с данным диэлектриком к ёмкости конденсатора тех же размеров, диэлектриком которого является вакуум /2, стр. 18/.

3. Описание материалов.

Воздух /1, стр. 16/ - это смесь газов, состав которой (на уровне моря):

Компонент	% по объёму	% по весу
Азот N ₂	78,23	75,70
Кислород O ₂	20,81	23,00
Аргон Ar	0,90	1,24
Угольный ангидрид CO ₂	0,03	0,05
Прочие (H ₂ , Ne, He, Kr, Xe, NH ₃ , I, Rn)	0,03	0,01

Воздух является газообразным диэлектриком /1, стр. 43/. Его электрическая прочность при расстоянии между электродами в 1 см и атмосферном давлении равна примерно 3 МВ/м. Это на порядок меньше, чем у твердых диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость воздуха при 20⁰ С и давлении 101325 Па (760 мм рт.ст.) $\epsilon_v = 1,00059$ /1, стр. 44, табл. 3.2/. При повышении давления с 0,1 до 10 МПа диэлектрическая проницаемость воздуха увеличивается 1,00058 до 1,0549 /1, стр. 45, табл. 3.3/. Кроме того, диэлектрическая проницаемость воздуха увеличивается с повышением влажности из-за большой диэлектрической проницаемости водяных паров.

Поликарбонатная пленка (ПК) /3, стр. 90-92/ изготавливается толщиной 0,002 - 0,8 мм из поли-6-диоксидифенил-2,2-пропана без пластификаторов фирмой Bayer (ФРГ) под названием макрофоль. Плёнки бывают различных типов. Плёнки всех типов с одной стороны имеют шероховатую поверхность. Наилучшими электрическими и механическими свойствами обладают конденсаторные пленки KG и SKG. Эти свойства по данным /3, стр. 92, табл. 16.16/ следующие:

Показатель	Тип пленки		
	SN	KG	SKG
E _{пр} при толщине 20 мкм, МВ/м	170	180	
ρ после выдержки при относительной влажности 80%, Ом×м	4×10 ¹⁴	1×10 ¹³	
ϵ в сухом состоянии при 50-1000 Гц	3,0	2,8	
tg δ в сухом состоянии при 50 Гц	0,0025	0.0025	

В зарубежной практике поликарбонатная плёнка нашла применение в производстве кабелей на рабочее напряжение 500-1000 кВ. В СССР поликарбонатная плёнка до 1987 г. не производилась.

4. Решение.

Принимаем, что воздух в пузырьке находится при нормальном давлении. Следовательно, $\epsilon_v = 1,00059$. Из п. 3 $\epsilon_n = 3,0$.

$$E_e = \frac{3,0}{1,00059} \frac{0,006 \text{ МВ}}{0,005 \text{ м} \ln \frac{8}{5}} = 7,655 \text{ МВ / м}$$

5. Вывод.

Напряжённость поля в воздушном пузырьке составит 7,655 МВ/м, что выше электрической прочности воздуха - 3 МВ/м. Это означает, что воздушный пузырёк будет пробиваться при напряжении на жиле выше, чем 3,8 кВ.

1.3. Тексты заданий

Задание 1-01. Опишите свойства (физические, электрические), воздуха и элегаза, укажите особенности этих газов. Определите заряд шара радиусом 1 м, расположенного в воздухе при температуре 20° С и давлении 101325 Па. Потенциал шара равен 10^6 В. Каким станет потенциал этого шара, если его переместить в элегаз при той же температуре и давлении 2 МПа?

Задание 1-02. Опишите воздух как электротехнический материал. Как влияет давление на электрические характеристики воздуха? Покажите это на следующем примере: В воздушный конденсатор, имеющий при атмосферном давлении ёмкость 100 пФ и заряд 1 нКл, закачивается воздух. Каким станет напряжение на обкладках этого конденсатора при изменении давления закачиваемого воздуха от атмосферного до 10 МПа?

Задание 1-03. Опишите трансформаторное масло, его свойства и применение. Сравните электрические свойства трансформаторного масла и воздуха. Разберите следующий пример: В плоский конденсатор, заполненный трансформаторным маслом с площадью пластин 1 м² и расстоянием между электродами 1 см попал 1 л воздуха. На сколько и в какую сторону изменится ёмкость этой системы, если электроды расположены горизонтально?

Задание 1-04. Опишите электрические, физические свойства и область применения таких материалов, как конденсаторное масло и трихлордифенил. Сравните их свойства на следующем примере: Во сколько раз изменится общая ёмкость двух конденсаторов при замене в них конденсаторного масла фенольной очистки на высший сорт трихлордифенила при температуре 20 °С ?

Задачу решить при последовательном и параллельном соединении конденсаторов.

Задание 1-05. Опишите кремнийорганическую жидкость, называемую «полиметилфенилсилоксан» (физические и электрические свойства, область применения). Разберите пример: Два коаксиальных цилиндра длиной 1 м и радиусами 0,11 м и 0,12 м опускаются в кремнийорганическую жидкость типа ФМ-5. Построить кривую изменения ёмкости этой системы в зависимости от глубины погружения цилиндров в жидкость.

Задание 1-06. Опишите физические и электрические свойства поливинилхлорида и рассчитайте, какую поверхность должен иметь плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами 0,5 мм и ёмкостью, равной ёмкости кабеля с поливинилхлоридной изоляцией и следующими параметрами: длина кабеля 1 км, диаметр жилы 5 мм и диаметр оболочки - 6 мм, температура 20 °С, частота 50 Гц.

Задание 1-07. Дайте технические названия поливинилхлорида и полиметилметакрилата, опишите их физические и электрические свойства. Рассчитайте, во сколько раз изменится расстояние между пластинами плоского конденсатора при замене находящегося между ними поливинилхлорида на полиметилметакрилат при условии сохранения ёмкости? Частота 50 Гц, температура 20 °С.

Задание 1-08. Опишите физические, электрические свойства и область применения трансформаторного масла и определите значения заряда шарового электрода, погружаемого в масло при температурах 20° С и 90° С. Бак с трансформаторным маслом имеет большие размеры по сравнению с размерами электрода. У поверхности расположен шаровой электрод радиусом 0,1 м, полупогруженный в масло, диэлектрическая проницаемость которого имеет минимальное значение из возможных. К шару приложено напряжение 10 В. Ёмкостью половинки шара, находящейся в воздухе, по отношению к баку можно пренебречь.

Задание 1-09. Опишите свойства и применение конденсаторных масел. Разберите следующую ситуацию: В плоский конденсатор, заполненный конденсаторным маслом фенольной очистки с площадью пластин 1 м² и расстоянием между электродами 1 см, попала вода в количестве 2 л. Электроды расположены вертикально. На сколько и в какую сторону изменится ёмкость этой системы при попадании в неё воды?

Задание 1-10. Опишите свойства (физические, электрические) и область применения асбоцемента и эпоксинополиэфирных компаундов. Разберите пример: С каких значений до каких изменится ёмкость между квадратными пластинами площадью 1 м², прикладываемыми с обеих сторон к асбоцементной доске толщиной 5 мм, если последнюю покрыть с обеих сторон

эпоксиднополиэфирным компаундом КЭП-1 толщиной 1 мм. Для расчёта можно использовать минимальные значения параметров.

Задание 1-11. Опишите свойства лакоткани марки ЛКМ-105 и дистиллированной воды (физические, электрические), область применения. Используя найденные в справочнике минимальные значения необходимых величин, решите такую задачу: на стержень, диаметром 1 см и длиной 1 м наматывается лакоткань ЛКМ-105 толщиной 0,1 мм. Как изменится ёмкость между этим стержнем и соосным с ним цилиндром диаметром 2 см при погружении системы в дистиллированную воду, имеющую относительную диэлектрическую проницаемость 81?

Задание 1-12. Опишите свойства (физические, электрические) и область применения электроизоляционных резин. Рассмотрите их на следующем примере: Металлический шарик диаметром 1 см полувдавливается в резиновый блок больших размеров из резины РТИ-1 и к нему прикладывается напряжение 1 кВ. В каких пределах возможно изменение заряда шарика при температуре 20° С и разных влажностях резины? При решении задачи не забудьте учесть ёмкость полушарика, находящегося в воздухе.

Задание 1-13. Опишите свойства (физические, электрические) и область применения стеатитовой и высокочастотной конденсаторной электрокерамик. Выберите марку высокочастотной керамики, заменяющей стеатитовую керамику и позволяющий максимально уменьшить площадь плоского конденсатора, работающего при частоте 50 Гц, при условии сохранения ёмкости. Какое максимальное уменьшение площади можно при этом ожидать?

Задание 1-14. Опишите электроизоляционные неорганические плёнки. Разберите пример: Конденсатор выполнен из двух, приложенных друг к другу алюминиевых пластин, поверхность которых анодирована в плазме. Как изменится ёмкость конденсатора, если алюминиевые пластины заменить титановыми с теми же размерами и той же толщиной оксидной пленки?

Задание 1-15. Среди электроизоляционных полимеров разыщите и опишите «полиамиды» и полиимиды». Сравните между собой их строение и свойства. Подберите такой тип полиамида, который, заменив полиимид в устройстве, изменит ёмкость последнего не более чем на 9%.

Задача 1-16. Опишите политетрафторэтилен (технология получения, физические и электрические свойства, область применения). Ознакомьтесь с электрическими свойствами воздуха. сделайте расчет напряженностей электрического поля для случая: Провод изолирован политетрафторэтиленом толщиной 0,5 мм, имеет диаметр 1 мм и находится под напряжением 220 В. На поверхности провода под слоем изоляции имеется небольшое плоское воздушное включение. Определите напряжённости электрического поля в этом включении и в слое твёрдой изоляции, прилегающем к проводу.

Задание 1-17. Опишите трансформаторное масло и его свойства (физические, электрические, область применения). Сделайте расчеты для следующего примера: В баке с трансформаторным маслом у поверхности масла находится полушаровый электрод, к которому при температуре масла 20°C приложено напряжение 10 В. Как следует изменить напряжение на этом электроде с целью сохранения его заряда, если температура масла повысилась до 90°C ? При решении задачи ёмкостью полушара, находящегося в воздухе, можно пренебречь.

Задание 1-18. Опишите свойства конденсаторного и касторового масел (физические и электрические), область их применения, и определите, во сколько раз может измениться ёмкость масляного изоляционного устройства, если в нем заменить конденсаторное масло фенольной очистки на касторовое (по ГОСТ 18102-72).

Задание 1-19. В баке больших размеров налиты полиметилсилоксановая кремнийорганическая жидкость ПМС-10 и трихлордифенил первого сорта. Опишите физические и электрические свойства, область применения названных материалов. Воспроизведите расчетным путем следующий опыт: Погружаясь из одной жидкости в другую, в баке передвигаются два коаксиальных цилиндра радиусами 0,11 м и 0,12 м и длиной 1 м. Постройте кривую изменения ёмкости этой цилиндрической системы в зависимости от глубины погружения цилиндров в нижнюю жидкость. При расчетах принять температуру жидкостей 20°C и минимальные справочные значения необходимых параметров.

Задание 1-20. Опишите физические и электрические свойства политрифторхлорэтилена и воздуха. Сравните их на следующем примере: Одножильный кабель с изоляцией из политрифторхлорэтилена имеет длину 100 м, диаметр жилы 0,003 м и диаметр оболочки - 0,005 м. Какую площадь поверхности должен иметь плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами 0,001 м, имеющий равную с кабелем ёмкость?

Задание 1-21. Дайте технические названия полиметилметакрилата и поливинилхлорида, опишите их физические и электрические свойства, область применения. Рассчитайте, во сколько раз изменится площадь пластин плоского конденсатора, работающего при частоте 50 Гц, при замене находящегося между ними полиметилметакрилата на поливинилхлорид той же толщины при условии сохранения ёмкости.

Задание 1-22. Опишите полиимидную изоляцию и шеллак. (физические и электрические свойства, область применения). Рассчитайте ёмкость изолированного провода следующей конструкции: Провод диаметром 2 мм покрыт полиимидной изоляцией толщиной 0,1 мм и затем слоем шеллака той

же толщины, поверх которого находится медный экран. Рассчитать ёмкость между жилой этого провода и медным экраном при длине провода 100 м.

Задание 1-23. Опишите свойства (физические, электрические, область применения) эпоксидных лаков и оцените значение ёмкости между стержнем и обмоткой в следующей конструкции: Провод, покрытый эпоксидным лаком ЭП-9114 с толщиной покрытия 0,1 мм, намотан плотно в 1 слой на металлический цилиндр диаметром 0,1 м и длиной 1 м.

Задание 1-24. Опишите свойства асбоцемента и эпоксидного компаунда (физические, электрические) и их область применения. Определите верхнюю и нижнюю границы изменения ёмкости между пластинами площадью 1 м², прикладываемыми к асбоцементной доске толщиной 10 мм, если на нее затем с обеих сторон нанесено эпоксидное покрытие ЭВН-6 толщиной 1 мм?

Задание 1-25. Опишите физические и электрические свойства, область применения лакоткани и определите диапазон значений ёмкости системы коаксиальных (соосных) цилиндров. Система коаксиальных цилиндров радиусами 0,01 м и 0,02 м и длиной 1 м находится в дистиллированной воде с диэлектрической проницаемостью 81. На внутренний цилиндр намотано 10 слоев лакоткани ЛКМ-105, имеющей толщину 0,12 мм.

Задание 1-26. Опишите лаки на основе поливинилформалей (ПВФМ) и политрифторхлорэтилен (ПТФХЭ). Используя их свойства, рассчитайте толщину изоляции кабеля при следующих условиях: Жила одножильного кабеля, имеющая диаметр 3 мм, покрыта слоем лака на основе поливинилформали (ПВФМ) толщиной 0,1 мм, а затем изоляцией из политрифторхлорэтилена. Определите толщину ПТФХЭ - изоляции при условии равенства напряжённостей поля частотой 1000 Гц на поверхности изоляции и на границе раздела материалов изоляции.

Задание 1-27. Опишите физические и электрические свойства, область применения стеатитовой и глиноземистой электрокерамик и определите, какую марку отечественной глиноземистой керамики следует использовать, чтобы максимально (вычислить, на сколько процентов) уменьшить длину системы коаксиальных цилиндров, не уменьшая их ёмкости, заменяя стеатитовую керамику на глиноземистую.

Задание 1-28. Опишите электроизоляционные неорганические пленки, в том числе указанные в задании (способ получения, физические, электрические свойства, область применения) и определите, как изменится ёмкость конденсатора при следующих условиях: Конденсатор состоит из приложенных друг к другу алюминиевых пластин, поверхность которых окислена анодированием в плазме. Изоляционная пленка одной из пластин заменяется на пленку титаната бария той же толщины, нанесенную методом взрывного испарения.

Задание 1-29. Опишите электрические свойства газообразных диэлектриков, в частности, элегаза. Выберите такое давление элегаза, чтобы ёмкость коаксиальной системы длиной 47,65 м, состоящей из трубы диаметром 1 м и находящегося в ней токопровода диаметром 6 см, равнялась бы 1 нФ. Опишите свойства этого газа.

Задание 1-30. Опишите трансформаторное масло, и выберите масло такой марки, при заливке которого в трансформатор ёмкость обмотки последнего по отношению к корпусу была бы минимальной. Определите, во сколько раз увеличится ёмкость по сравнению с трансформатором без масла.

Задание 1-31. Изучите кабельные масла. Выберите и опишите такие марки кабельного масла, при которых можно получить максимальное и минимальное значения ёмкости между жилами и оболочкой маслонаполненного кабеля. Во сколько раз отличаются эти ёмкости?

Задание 1-32. Изучите хлорированные жидкие диэлектрики. Выберите среди этих жидких диэлектриков такой, чтобы при заполнении им конденсатора с площадью пластин $1,9143 \text{ м}^2$ и расстоянии между ними 0,1 мм ёмкость конденсатора составила бы 1 мкФ при температуре 20°C . Приведите необходимые сведения об этом материале.

Задание 1-33. Опишите гетинакс и трансформаторное масло и определите, во сколько раз отличается напряжённость электрического поля в масле и в опущенной в него изоляционной перегородке из гетинакса при частоте 50 Гц, если масло имеет марку ТКп, а тип гетинакса – 111.

Задание 1-34. Опишите нагревостойкие заливочные компаунды и рассчитайте, как соотносятся напряженности поля по концам стержня из компаунда типа АФС-4, если к этим концам приложено напряжение частотой 1 кГц, один из концов стержня находится при комнатной температуре, а другой нагрет до 600°C .

Задание 1-35. Изучите поведение материалов в условиях ионизирующего излучения. Выберите и опишите пленку для изоляции конденсатора, работающего в условиях ионизирующего излучения. Пленка должна обеспечивать наибольшую ёмкость и неизменность этой ёмкости при облучении электронами. Рассчитайте площадь пластин этого конденсатора при ёмкости 1 мкФ и толщине изоляции 0,1 мм.

Задание 1-36. Опишите политрифторхлорэтилен и политетрафторэтилен. Определите толщину наружной изоляции кабеля из этих материалов при условии равенства напряженностей поля частотой 50 Гц на поверхности изоляции и на границе раздела материалов изоляции при следующих условиях: Жила одножильного кабеля, имеющая диаметр 2 мм, покрыта слоем изоляции

из политрифторхлорэтилена толщиной 1 мм, затем на эту изоляцию нанесен слой политетрафторэтилена.

Задание 1-37. Опишите политрифторхлорэтилен и электроизоляционные хладоны. Определите, во сколько раз отличается напряжённость электрического поля в хладоне-113 и в опущенной в него изолирующей перегородке из фторлона-3, полагая, что в диапазоне частот 50-100 Гц, диэлектрическая проницаемость этих материалов остается неизменной.

Задание 1-38. Опишите нагревостойкие изоляционные материалы микалекс и новомикалекс. Рассчитайте, как соотносятся напряженности поля по концам проходного изолятора из новомикалекса, если один из концов стержня находится при комнатной температуре, а другой нагрет до 600°C .

Задание 1-39. Изучите ударопрочные фенопласты. Выберите среди этого класса материалов и опишите такую пластмассу для изоляции электротехнического устройства, работающего в условиях облучения электронами, которая бы обеспечивала наибольшую ёмкость устройства и неизменность этой ёмкости при облучении электронами. Рассчитайте радиус полушара, вдавленного с поверхности в эту пластмассу, если его ёмкость - 10 пФ.

Задание 1-40. Опишите полиэтилены и кремнийорганические каучуки. Определите толщину наружной изоляции одножильного кабеля при условии равенства напряженностей поля частотой 1 кГц на поверхности изоляции и на границе раздела материалов изоляции. Конструкция изоляции следующая: Жила кабеля, имеющая диаметр 4 мм, покрыта слоем изоляции из хлорсульфированного полиэтилена толщиной 2 мм, затем на эту изоляцию нанесен слой кремнийорганического каучука.

Задание 1-41. Изучите материалы, относящиеся к полиолефинам. Рассмотрите их свойства на таком примере: Жила одножильного кабеля, имеющая диаметр 4 мм, покрыта слоем изоляции из хлорированного полиэтилена толщиной 1 мм, затем на эту изоляцию нанесен слой другого полиолефина толщиной 3,45 мм. Определите материал наружной изоляции при условии равенства напряженностей поля частотой 1 МГц на поверхности изоляции и на границе раздела материалов изоляции.

Задание 1-42. Опишите неполярные полимерные пленки и рассчитайте, как соотносятся напряженности поля частотой 1 кГц в двухслойной изоляции конденсатора, если один слой выполнен из политетрафторэтилена, а другой - из полифениленоксида.

Задание 1-43. Опишите поливинилхлорид и воздух. Используйте найденные параметры для решения следующей задачи: Провод покрыт поливинилхлоридной изоляцией толщиной 0,5 мм, имеет диаметр 1 мм и

находится под напряжением 220 В. На поверхности провода, под изоляцией имеется воздушное включение. Определите напряженности электрического поля в этом включении и в твёрдой изоляции, прилегающей к проводу.

Задание 1-44. Опишите характеристики полярных полимерных пленок. Используя найденные характеристики этих изоляционных сред, выполните расчет следующего случая: В конденсаторе с двухслойной изоляцией “воздух-пленка из полиэтилентерефталата” толщиной по 1 мм каждого слоя, пробивается и шунтируется электрической искрой воздух. Во сколько и в какую сторону изменяется ёмкость конденсатора при пробое воздушной прослойки, если температура нормальная?

Задание 1-45. Опишите свойства и применение трансформаторного масла. Используя необходимые параметры масла, сделайте расчет следующего случая: В плоский конденсатор, заполненный трансформаторным маслом марки ГК, с площадью пластин 1 м^2 и зазором 1 см попала вода ($\epsilon=81$) в количестве 1 л. С какого значения до какого изменится ёмкость, если электроды расположены вертикально?

Задание 1-46. Опишите физические, электрические свойства, область применения полиуретана. Рассчитайте граничные значения ёмкости между проводом и металлическим экраном, если диаметр провода 1 мм и он изолирован от металлического экрана полиуретаном толщиной 0,1 мм при длине конструкции 10 м.

Задание 1-47. Опишите трихлордифенилы и полиимидные пленки. Рассчитайте ёмкостной делитель напряжения при таких условиях: Ёмкостный делитель в верхнем плече имеет изоляцию из трихлордифенила высшего сорта, а в нижнем из электроизоляционной полиимидной пленки. Как изменится отношение емкостей верхнего и нижнего плечей при повышении температуры с 20° до 90° С.

Зависимостью диэлектрической проницаемости от частоты в диапазоне 1 Гц...1 кГц пренебречь.

Задание 1-48. Опишите физические и электрические свойства, область применения электроизоляционных резин. Рассчитайте для нормальных условий ёмкость между шарами, вдавливаемыми в большой блок резины на значительном расстоянии друг от друга. Два шарика диаметром 1 см вдавливаются в резину до половины. При расчётах следует учесть и те половинки, которые находятся в воздухе.

Задание 1-49. Опишите эпоксидные компаунды, в том числе их свойства при криогенных температурах. Рассчитайте, как соотносятся напряженности поля по концам проходного изолятора из компаунда ЭД-16, если они находятся под напряжением частотой 100 Гц. Один из концов стержня находится при температуре 20° С, а другой охлажден до криогенной температуры 77° К.

Задание 1-50. Опишите воздух как электроизоляционный материал. Рассмотрите такой пример: Между двух концентрических сфер с радиусами 1 м и 1,1 м находится воздух при давлении 10 МПа. К сферам подведено постоянное напряжение 10 В. Определите, с какого значения до какого изменится заряд этого сферического конденсатора, если давление в нем уравнивается с атмосферным.

Задание 1-51. Опишите характеристики электроизоляционных неорганических пленок и решите следующую задачу: В конденсаторе с двухслойной изоляцией “воздух-пленка титаната бария, нанесенная методом СВЧ-распыления” толщиной по 0,5 мм каждого слоя, пробивается и шунтируется электрической искрой воздух. Как при этом изменяется ёмкость конденсатора?

Задание 1-52. Опишите свойства и применение конденсаторных масел. Сделайте расчеты для примера: В плоский конденсатор, заполненный конденсаторным маслом серно-кислотной очистки с площадью пластин 1 м^2 и зазором 1 см попал воздух количестве 2 л. На сколько и в какую сторону изменится ёмкость, если электроды расположены горизонтально.

Задание 1-53. Опишите физические и электрические свойства кремнийорганических лаков, область их применения. Используя найденные данные, сделайте расчет следующего изделия: Провод, покрытый кремнийорганическим лаком КО-990 с толщиной покрытия 0,01 мм, намотан плотно в 1 слой на металлический стержень длиной 1 м и диаметром 12 мм. Определите значение ёмкости между стержнем и обмоткой.

Задание 1-54. Опишите Совтол-10 и полиимидные плёнки. Рассчитайте ёмкостной делитель напряжения, выполненный с применением этих материалов. Ёмкостный делитель напряжения имеет изоляцию верхнего плеча из Совтола-10, а нижнего из полиимидной пленки. Соотношение ёмкостей верхнего и нижнего плечей при 90° С составляет 1:1000. Как изменится это соотношение, если температура нижнего плеча понизится до 20° С ?

Задание 1-55. Опишите физические и электрические свойства, область применения электротехнического фарфора и высокочастотной керамики на основе рутила. Определите, во сколько раз (максимально) можно уменьшить длину системы коаксиальных цилиндров, не уменьшая их ёмкости, если заменить, находящийся между цилиндрами электротехнический фарфор группы 100 на высокочастотную керамику на основе рутила?

Задание 1-56. Изучите электроизоляционные неорганические плёнки. Рассчитайте конденсатор, выполненный с их применением. Конденсатор состоит из приложенных друг к другу алюминиевых пластин, поверхность которых окислена анодированием в плазме. Определите, во сколько раз

(минимально) изменится ёмкость конденсатора, если пленку той же толщины получить методом электрохимического окисления.

Задание 1-57. Изучите конденсаторные керамические материалы. Выберите из справочника и опишите такой конденсаторный керамический материал, с помощью которого можно было бы создать цилиндрический конденсатор с ёмкостью не менее 1,64 нФ при частоте 0,5-5 МГц. Коаксиальные цилиндрические электроды конденсатора имеют радиусы 0,2 и 0,5 см и длину 0,1 м.

Задание 1-58. Соберите сведения по жидким диэлектрикам на основе фторорганических соединений. Выберите марку и опишите жидкий диэлектрик этого класса, при заливке которого в трансформатор ёмкость обмотки последнего по отношению к корпусу была бы минимальной. Определите, во сколько раз увеличится ёмкость по сравнению с трансформатором без этого жидкого диэлектрика?

Задание 1-59. Рассмотрите справочные данные по электроизоляционным неорганическим плёнкам. Выберите и опишите такую электроизоляционную неорганическую пленку (и способ ее получения), при которой можно получить максимальную ёмкость устройства, использующего эту пленку для изоляции между электродами. Во сколько раз ёмкость устройства уменьшится, если вместо пленки использовать воздушную изоляцию?

Задание 60. Опишите конденсаторное масло и конденсаторную бумагу. Рассчитайте возможные длины электродной фольги, ширина которой равна 10 см, если изоляцией между электродами конденсатора с ёмкостью 1 мкФ служит конденсаторная бумага типа АНКОН (марки 1), пропитанная конденсаторным маслом серно-кислотной очистки. Изоляция состоит из 10-и слоёв бумаги толщиной 12 мкм, спрессованной с коэффициентом запрессовки $K=1,2$. При расчетах учесть изменение диэлектрической проницаемости клетчатки бумаги в результате её пропитки маслом. Плотность клетчатки принять равной 1600 кг/м^3 .

Практическое занятие 10

ПОТЕРИ В ПРОВОДНИКАХ

Основные расчетные выражения и необходимые пояснения

Задачи данной темы относятся в основном к кратковременному нагреву проводников, когда можно пренебречь теплоотводом. При кратковременном нагреве справедливо уравнение теплового баланса:

$$j^2 \rho \tau = c d \Delta T, \quad (10.1)$$

в котором: j - плотность тока в проводнике, ρ - удельное сопротивление проводника, c, d - его теплоемкость и плотность (произведение этих величин можно назвать объемной теплоемкостью), τ - время протекания тока, ΔT - разница между начальной и конечной температурами проводника.

Плотностью тока называется значение тока, протекающего через единицу поперечного сечения проводника. Обычная единица измерения плотности тока в проводниках – А/мм².

Теплоёмкостью (удельной теплоёмкостью) называется энергия, которую нужно сообщить единице массы материала, чтобы повысить температуру материала на 1 К. Размерность – Дж/кг·К.

Плотностью называется масса единицы объёма материала. Размерность – кг/м³.

При нагреве проводника его удельное сопротивление изменяется в соответствии с температурным коэффициентом удельного сопротивления $TK\rho$. Поэтому указанное соотношение (3.1) приобретает вид:

$$\frac{I^2}{S^2} = \frac{cd}{TK\rho_t \tau \rho_t} \ln \frac{TK\rho_t^{-1} - t + t_k}{TK\rho_t^{-1} - t + t_0} \quad (10.2)$$

В выражении (3.2) I - ток, S - сечение проводника, $TK\rho_t$ и ρ_t - температурный коэффициент и удельное сопротивление, определенные при температуре t , t_k и t_0 - конечная и начальная температуры проводника.

Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления, $TK\rho$ – это относительное изменение удельного сопротивления при увеличении температуры на 1 К. Размерность – К⁻¹.

Предполагается также, что студенты знакомы с выражениями для мощностей однофазной сети ($P = IU = I^2R$) и трехфазной сети ($P_{3\phi} = 3 I \cdot U_\phi$). Нужно также помнить, что номинальное напряжение трёхфазной сети – это её линейное напряжение – U_π , которое связано с фазным напряжением (U_ϕ) соотношением: $U_\pi = \sqrt{3} \cdot U_\phi$

При решении задач студент может контролировать результаты, сравнивая их с примерными значениями допустимых и предельных плотностей тока для проводов из различных материалов, которые указаны в приводимой ниже таблице.

При расчете нагревателей из нихрома, если известно сечение (диаметр) провода, следует вначале определить ток, текущий по фазе нагревателя, по току и сечению - плотность тока, и сравнить последнюю с допустимыми значениями, указанными в таблице. Если расчетная плотность тока больше допустимой, то нагреватель следует конструировать из 2х-3х параллельных проволок, плотность тока в суммарном сечении которых входит в допустимые пределы.

Таблица 10.1 Допустимые и предельные плотности токов для проводов

материал	допустимая плотность тока (проводник не нагревается) А/мм ²	предельная плотность тока (проводник сгорает) А/мм ²
медь	4...10	100...200
алюминий	3...8	75...150
сталь	1...2	30...40
нихром	15...35 (нагрев до $\approx 1000^{\circ}\text{C}$)	сгорает при превышении допустимой плотности тока

10.2. Пример выполнения 3-го задания

1. Задание 10-61.

Опишите низкоуглеродистую «сталь 10» для полупроводниковых приборов и парафин. Лента из «стали 10» толщиной 2,5 мм и шириной 30 мм покрыта для защиты от коррозии парафином и используется для заземляющего проводника в помещении с температурой 20 °С. По проводнику в течение 1 с протекает ток короткого замыкания 2000 А. Начнёт ли плавиться парафин за это время ?

2. Определение величин, необходимых для выполнения задания.

Парафин начнёт плавиться, если температура стали за время протекания достигнет температуры плавления парафина. Температуру нагрева t_k стали током короткого замыкания $I_{кз}$ определяем из выражения:

$$\frac{I_{кз}^2}{S^2} = \frac{cd}{TK\rho_t\tau\rho_t} \ln \frac{TK\rho_t^{-1} - t + t_k}{TK\rho_t^{-1} - t + t_0}$$

Здесь $S=2,5\times 30=75$ мм² - сечение заземляющего проводника, c - теплоёмкость стали, d - её плотность, ρ_t и $TK\rho_t$, соответственно удельное электрическое сопротивление и температурный коэффициент удельного электрического сопротивления стали, $\tau = 1$ с – время протекания тока, $t_0 = 20$ °С – начальная температура.

Теплоёмкость, c - это энергия, которую нужно сообщить единице массы материала, чтобы повысить температуру материала на 1 К. Размерность – Дж/кг·К.

Плотность, d - это масса единицы объёма материала. Размерность – кг/м³.

Удельное электрическое сопротивление, ρ – это параметр вещества, численно равный сопротивлению образца длиной 1 м с площадью поперечного сечения 1 м², измеренному в плоско-параллельном поле.

Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления, $TK\rho$ – это относительное изменение удельного сопротивления при увеличении температуры на 1 К. Размерность – K^{-1} .

Указанные величины, а также температуру плавления парафина необходимо разыскать в справочниках.

3. Описание материалов.

Сталь - это сплав железа с углеродом при содержании углерода менее 2,14 %. /1/. «Сталь 10» содержит 0,1% углерода /2, стр. 349/. С повышением содержания углерода возрастают твёрдость стали и предел прочности при растяжении. «Сталь 10» обладает способностью к глубокой вытяжке, хорошо обрабатывается резанием и сваривается, при горячей штамповке, ковке и прокатке она упрочняется, однако при повторном нагреве до температуры 500...600 °С упрочнение может быть снято. Сталь изготавливается в виде лент толщиной от 0,05 до 2,5 мм и шириной до 400 мм. Физические свойства стали 10 показаны ниже /2, стр. 350, табл. 13.17/:

Плотность.....	7,86 Мг/м ³
Температура плавления	1500 °С
Коэффициент теплопроводности	
при 20 °С.....	73 Вт/м·К
при 500 °С.....	29 Вт/м·К
Температурный коэффициент линейного расширения при 20 °С....	$1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$
Удельное сопротивление	$0,10 \cdot 10^{-6} Ом \cdot м$

Коэффициент теплопроводности (удельная теплопроводность), λ – это удельный тепловой поток через материал P/S (мощность, проходящая перпендикулярно изотермической поверхности площадью 1 м²) при градиенте температуры (T/l) один Кельвин на метр. /1/

Температурный коэффициент линейного расширения - это относительное изменение длины при увеличении температуры на 1К. Размерность – K^{-1} .

В справочнике /2/ отсутствуют значения теплоёмкости «сталь 10» и температурного коэффициента удельного электрического сопротивления. Примем эти параметры такими же, как у железа (в связи с весьма малым содержанием углерода) по таблице 10.1 на стр. 184 /2/:

$$c = 453 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}. \quad TK\rho_t = 6,2 \cdot 10^{-3} K^{-1} \text{ при } t=20^\circ\text{C}.$$

Парафин /3, стр. 207-208/ представляет собой смесь предельных твёрдых углеводородов ряда C_nH_{2n+2} . Это бесцветный, без запаха, с ярко выраженной в изломе кристаллической структурой, слегка жирный на ощупь, материал. Парафин получают из дистиллятов¹ парафиновых и высокопарафиновых нефтей. Тяжёлые дистилляты, содержащие парафин, подвергают очистке от воды, смол и грязи. Парафин из них выкристаллизовывают при охлаждении и очищают от ненасыщенных соединений обработкой серной кислотой; для

¹ Дистиллят – продукт дистилляции. При перегонке нефти дистиллятами будут бензин, керосин, смазочные масла и др. Дистилляция (перегонка) - разделение жидких смесей на отличающиеся по составу фракции; основана на различии в температурах кипения компонентов смеси /4/.

устранения желтоватого цвета производят дополнительную очистку адсорбентом².

Парафины имеют следующие физико-химические и электрические параметры, общие для различных марок:

Плотность	850-900 кг/м ³
Температурный коэффициент линейного расширения....	0,0011-0,0035 К ⁻¹
Удельное электрическое объёмное сопротивление	10 ¹³ -10 ¹⁵ Ом·м
Удельное электрическое поверхностное сопротивление	10 ¹⁵ -10 ¹⁶ Ом·м
Диэлектрическая проницаемость	2,1-2,2
Тангенс угла диэлектрических потерь	(3-7)·10 ⁻⁴
Электрическая прочность при 20 ⁰ С.....	20-30 МВ/м

Удельным поверхностным сопротивлением ρ_s называется электрическое сопротивление квадратной поверхности диэлектрика в равномерном электрическом поле, направленном параллельно поверхности, перпендикулярно какой либо стороне квадрата /1/.

Углом диэлектрических потерь, δ (дельта) называют угол, дополняющий до 90 градусов угол сдвига между током и напряжением в диэлектрике /1/. При повышении температуры угол диэлектрических потерь увеличивается /3, рис. 7.2, стр. 207/.

Диэлектрическая проницаемость, ϵ является мерой поляризации вещества в электрическом поле /1/. При увеличении температуры значение диэлектрической проницаемости снижается /3, рис. 7.3, стр. 207/.

Электрической прочностью, $E_{пр}$ называется средняя напряженность электрического поля, при которой происходит электрический пробой. /1/.

Температура плавления парафинов в зависимости от марки лежит в пределах 50-62 ⁰С /3, табл. 7.1, стр. 208/.

Парафин применяют для пропитки конденсаторов, у которых допустимая рабочая температура не превышает 45 ⁰С. В кабельном производстве парафин применяют в смеси с церезином для пропитки хлопчатобумажной оплётки проводов и кабельной пряжи, а также кабельной бумаги для предохранения их от гниения.

4. Решение

Искомая величина – t_k входит по знак логарифма. Поэтому определим вначале значение логарифма:

$$\ln \frac{TK \rho_t^{-1} - t + t_k}{TK \rho_t^{-1} - t + t_0} = \frac{I_{кз}^2 \cdot TK \rho_t \cdot \rho_t \cdot \tau}{S^2 \cdot c \cdot d} = \frac{2000^2 \cdot 6,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{75^2 \cdot 10^{-12} \cdot 453 \cdot 7860} = 1,267$$

Таким образом,

$$\frac{TK \rho_t^{-1} - t + t_k}{TK \rho_t^{-1} - t + t_0} = e^{1,267} = 3,55$$

$$t_k = 3,55(TK \rho_t^{-1} - t + t_0) - (TK \rho_t^{-1} - t) = 3,55(161,29 - 293 + 293) - (161,29 - 293) = 709,3K \approx 436^0 C$$

² Адсорбент – тело, на поверхность которого происходит адсорбция – поглощение вещества поверхностным слоем /4/.

5. Вывод.

Поскольку конечная температура заземляющего проводника (463°C) превышает максимально возможную температуру плавления парафина (62°C), то парафин при коротком замыкании расплавится.

3.3 . Тексты заданий

Задание 01. Изучите алюминиевые сплавы. Разберите пример: По трёхфазной системе шин электроустановки с номинальным напряжением 10 кВ передается мощность 10 МВт. Шины выполнены из алюминиевого сплава АДО, имеют прямоугольное сечение с размерами $4 \times 40 \text{ мм}^2$ и температуру в установившемся режиме 20°C . Опишите физические, электрические свойства и область применения указанного сплава и определите потери мощности в шинах, если их длина 20 м.

Задание 02. Опишите физические, электрические свойства и область применения алюминия. Определите, какое значение превышал ток короткого замыкания в электрической сети, если время между началом замыкания и его отключением составило 0,12 с, а начальная температура алюминиевых проводов воздушной линии электропередачи была 40°C . Дополнительные условия: При коротком замыкании в сети 110 кВ фазный провод из алюминия сечением 120 мм^2 нагрелся до температуры, составляющей 20 % от значения температуры плавления провода.

Задание 03. Изучите алюминий - физические и электрические свойства, область применения. Определите, до какой температуры нагреются алюминиевые провода электрической сети сечением 120 мм^2 при отключении короткого замыкания основной защитой через 0,08с. А также определите температуру проводов в случае, когда основная защита отказывает, и работает резервная со временем действия 0,5 с. Мощность трехфазного короткого замыкания в сети 110 кВ составляет 3 ГВт. Начальная температура проводов 30°C .

Задание 04. Опишите медь и алюминий, как материалы для изготовления проводов. Определите, какое сечение должен иметь алюминиевый провод, чтобы при токе короткого замыкания 10 кА, протекающем в течение 1 с, он нагрелся бы до той же температуры, что и медная шина. Медная шина прямоугольного сечения $40 \times 4 \text{ мм}^2$ присоединена к алюминиевому проводу последовательно. Начальная температура проводов 10°C .

Задание 05. Опишите физические и электрические свойства и область применения нихрома, в том числе сплава Х13Ю4. Определите максимальную длину нихромовой проволоки диаметром 0,5 мм из этого сплава для изготовления нагревателя мощностью 1 кВт на напряжение 220 В. Температура нагрева проволоки должна быть оптимальной, а плотность тока лежать в допустимом диапазоне.

Задание 06. Опишите физические и электрические свойства, область применения меди и алюминия. Разберите пример: По трехфазной воздушной линии напряжением 380/220 В передается мощность 5 кВт. Два провода линии выполнены из проволоки АТ сечением 16 мм², а третий - из проволоки ММ диаметром 2 мм. Определите потери в перечисленных материалах при длине линии 100 м.

Задание 07. Опишите физические и электрические свойства, область применения алюминия и алюминиевых проводов. Выполните расчеты для следующего случая: Мощность, передаваемая в отдельный коттедж, составляет 6 кВт. Питание осуществляется по двухпроводной линии напряжением 220 В длиной 0,5 км. Провода линии выполнены из алюминиевой проволоки марки АТ сечением 25 мм². Определите удельное сопротивление материала проволоки, сравните его с удельным сопротивлением чистого алюминия. Рассчитайте, каким должно быть напряжение на подстанции, чтобы на щитке дома оно было номинальным ?

Задание 08. Опишите физические и электрические свойства и область применения нихрома, в том числе сплава Х20Н80. Какой минимальной длины нужно взять нихромовую проволоку из этого сплава, если ее диаметр 0,3 мм и из нее необходимо изготовить нагреватель на напряжение 220 В мощностью 1 кВт. Температура нагрева проволоки должна быть оптимальной, а плотность тока лежать в допустимом диапазоне.

Задание 09. Опишите физические и электрические свойства, область применения меди и полиэтилена. Определите, каким должно быть сечение медного провода в полиэтиленовой изоляции, чтобы при токе короткого замыкания 2 кА, протекающего в течение 1 с, температура бы не превысила допустимую (длительную рабочую) для изоляции. Провод имеет начальную температуру 40 °С.

Задание 10. Опишите физические и электрические свойства, область применения меди и поливинилхлорида. Определите, через какое время может начать плавиться («течь») изоляция медной электропроводки. Электропроводка из медного изолированного провода сечением 2,5 мм² имеет поливинилхлоридную изоляцию. При коротком замыкании с током 100 А отключения автомата не произошло.

Задание 11. Опишите медь как материал для плавких вставок (физические и электрические свойства, область применения). Выберите диаметр медной проволоки для плавких вставок, которые за 0,5 с расплавились бы от тока в 2 раза превышающего ток нагрузки. Мощность трехфазной нагрузки 10 кВт, напряжение сети 380/220 В.

Задание 12. Опишите физические и электрические свойства, область применения алюминиевых сплавов, в том числе сплава АД 31. Определите

потери мощности в шинах из этого сплава, если их длина - 100 м. По двум шинам электроустановки постоянного тока напряжением 3,3 кВ передается мощность 6 МВт. Шины имеют прямоугольное сечение 5×50 мм² и температуру в установившемся режиме 20 °С.

Задание 13. Опишите физические и электрические свойства, область применения алюминия. Определите, какое максимальное сечение было у проводов воздушной линии электропередачи напряжением 220 кВ, если при коротком замыкании в сети, фазный провод, состоящий из двух алюминиевых проводов, нагрелся до температуры плавления. Ток короткого замыкания составил 17,7 кА, замыкание отключилось через 5 с, а начальная температура проводов была 30 °С.

Задание 14. Опишите алюминий - как материал для изготовления проводов (физические и электрические свойства, область применения). Рассчитайте пример: Мощность трехфазного короткого замыкания в сети 220 кВ составляет 25 ГВт. Определите, существует ли опасность расплавления проводов из алюминия сечением 2×70 мм² в случаях работы основной и резервной защит на отключение. Времена отключения равны соответственно 0,12 и 0,7 с. Начальная температура проводов 10 °С.

Задание 15. Опишите физические и электрические свойства, область применения меди и алюминия. Определите сечение медной шины при следующих условиях: К медной шине подсоединен алюминиевый провод сечением 120 мм². При токе короткого замыкания 10 кА, протекающего в течение 1 с, медная шина нагревается до той же температуры, что и алюминиевый провод. Начальная температура проводов 30 °С.

Задание 16. Опишите физические и электрические свойства, область применения нихрома, в том числе сплава ХН70Ю. Определите минимальное количество в метрах нихромовой проволоки диаметром 1 мм, необходимой для выполнения 3-х фазного нагревателя мощностью 10 кВт на напряжение 380/220 В.

Задание 17. Опишите медь и алюминий как материалы, применяемые для изготовления проводов (физические и электрические свойства, область применения). Сделайте расчёты для следующего примера: От трехфазной сети 380/220 В питается электропечь, потребляющая мощность 3 кВт. Проводка к электропечи выполнена двухжильным медным проводом (МТ) диаметром 1,78 мм и одножильным алюминиевым (проволока марки АМ) диаметром 4,5 мм. Определите потери мощности в электропроводке на длине 10 м от распределительного щитка до электропечи.

Задание 18. Опишите физические и электрические свойства, область применения алюминия. Определите сечение проводов, питающих животноводческую ферму, при условии, чтобы напряжение на оборудовании

было не менее 380 В. Мощность работающего оборудования на животноводческой ферме составляет 20 кВт. Ферма питается от трехфазной сети с номинальным напряжением 0,4 кВ. Питающая линия выполнена из алюминиевых проводов марки А, проволоки марки АТ и имеет длину 2 км.

Задание 19. Опишите физические и электрические свойства, область применения нихрома, в частности, марки Х15Н60. Сделайте расчёты нагревателя из нихрома. Необходимо изготовить трехфазный нагреватель для сети 0,4 кВ мощностью 5 кВт. Для этой цели имеется проволока диаметром 0,3 мм. Определите сколько метров проволоки необходимо для изготовления трёхфазного нагревателя?

Задание 20. Опишите физические и электрические свойства, область применения алюминия и поливинилхлорида. Разберите пример: Кабель с алюминиевой жилой и поливинилхлоридной изоляцией работает при длительно допустимой рабочей температуре. Сечение жилы - 50 мм². Определите, какой ток короткого замыкания сможет пропустить кабель в течение 0,5 с, чтобы температура изоляции не превысила предела ее текучести?

Задание 21. Опишите физические и электрические свойства, область применения алюминия и полиэтилена. Сделайте следующие расчёты. Алюминиевая проводка сечением 2,5 мм² имеет изоляцию из полиэтилена высокого давления. При коротком замыкании, ток которого 50 А, не сработали автоматические выключатели. Определите через какое время может начать плавиться изоляция?

Задание 22. Опишите медь и алюминий. Рассчитайте, каким должно быть сечение медной проволоки в предохранителе, чтобы при коротком замыкании в сети предохранитель бы расплавился через 0,5 с, а электропроводка нагрелась бы при этом с температуры 20 °С до 90 °С ? Электропроводка выполнена алюминиевым проводом сечением 2,5 мм².

Задание 23. Опишите физические и электрические свойства нихрома и нихромовой проволоки из сплава Х20Н80. Определите, какой минимально возможный ток нагреет эту проволоку до предельной температуры за 1 с, если ее диаметр равен 0,6 мм.

Задание 24. Опишите физические и электрические свойства нихрома и конструкционной стали марки 10. Пользуясь найденными параметрами, определите минимальный диаметр стальной проволоки, удельная выделяемая мощность в которой была бы равна удельной мощности, выделяемой в нихромовой проволоке из нихрома марки Х15Н60 диаметром 0,6 мм при условии, что обе проволоки соединены последовательно.

Задание 25. Опишите алюминий как материал для проводов. Пользуясь найденными параметрами, решите задачу: Ток можно передать через землю

при помощи алюминиевой оболочки кабеля или используя два полушаровых заземлителя радиусом 3 м. Для последнего случая удельное сопротивление грунта равно $50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, а допустимая плотность тока с поверхности заземлителей по условию невысыхания грунта составляет 1 А/м^2 . Определите сечение алюминиевой оболочки кабеля длиной 1 км в которой выделяемая мощность в 40 раз меньше мощности, выделяемой при передаче тока через землю. Чему равна мощность, теряемая в оболочке ?

Задание 26. Опишите алюминий как материал для проводов линий электропередачи. Пользуясь найденными параметрами, решите следующую задачу: Провод линии электропередачи марки АС120/19 имеет стальной сердечник из 7-и стальных проволок диаметром 1,88 мм и навив из 26-и алюминиевых проволок диаметром 2,7 мм. До какой температуры нагреются алюминиевые и стальные проволоки от тока короткого замыкания 50 кА за 1 секунду, если их начальная температура была $20 \text{ }^\circ\text{C}$? Расчет провести, пренебрегая теплопроводностью. В качестве параметров стали принять: удельное сопротивление и плотность - для марки НЖ, теплоемкость и температурный коэффициент удельного сопротивления - для резистивного сплава Х13Ю4.

Задание 27. Опишите физические и электрические свойства стали и хлорированного полиэтилена, область их применения. Решите с использованием найденных параметров задачу: Провод имеет 3 стальных жилы диаметром 0,2 мм каждая («сталь 10») и изоляцию из хлорированного полиэтилена ХПЭ. Сколько времени должен протекать по жиле ток 10 А, чтобы изоляция на границе с проводом нагрелась бы до значения длительной рабочей температуры полиэтилена? Теплоемкость и температурный коэффициент удельного сопротивления стали принять равными значениям этих величин для железа.

Задание 28. Между двумя коаксиальными кольцами из меди находится слой алюминия. Диаметр и длина внутреннего кольца 1 см. Опишите физические и электрические свойства алюминия и определите ток, который за 1 с доведет алюминий до плавления у внутреннего кольца

Задание 29. Опишите физические и электрические свойства меди и припоя ПОС-90, области применения. Решите с использованием найденных параметров задачу: Медный провод сечением 3 мм^2 и длиной 1 см запаивается припоем ПОС-90 в цилиндрическую втулку. При каком токе, протекающем от провода к втулке через 1 секунду начнет плавиться припой ?

Задание 30. Опишите свойства (физические и электрические) политетрафторэтилена (фторопласта) и алюминия. Рассчитайте сечение алюминиевой жилы у провода с изоляцией из фторопласта, при которой ток в

130 А, протекающей по жиле, нагреет провод за 1 секунду до значения длительной рабочей температуры фторопласта.

Задание 31. Опишите свойства меди, и подберите среди электроизоляционных полимеров, применяемых для изоляции проводов, подходящие материалы для изоляции медного провода по условиям нагрева. Медный проводник сечением 1 мм^2 предназначен для односекундного протекания тока 100 А.

Задание 32. Изоляция алюминиевого провода выполнена из политрифторхлорэтилена. Опишите свойства алюминия и политрифторхлорэтилена, и подберите такое сечение алюминия, при котором ток в 200 А за 1 секунду нагреет проводник до температуры, равной длительной рабочей политрифторхлорэтилена (при которой изоляция остается эластичной).

Задание 33. Опишите свойства меди и определите ее массу в катушке. По катушке с медным проводом сечением $2,5 \text{ мм}^2$ протекает постоянный ток 20 А. При этом в катушке выделяется мощность 20 Вт. Нагревом провода пренебречь.

Задание 34. Опишите физические и электрические свойства вольфрама и молибдена. Определите длину раскаленной до $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ вольфрамовой нити диаметром 0,02 мм в электролампочке мощностью 40 Вт. Какой в этих условиях была бы длина такой же нити из молибдена?

Задание 35. Опишите сталь марки 10 и медь. Сделайте вычисления для следующего примера: Военно-полевой провод для связи состоит из 3-х стальных жил марки 10 диаметром 0,2 мм и 4-х медных марки МТ диаметром 0,1 мм. Опишите сталь и медь как материалы для проводов и определите, до какой температуры нагреются проволоки при протекании по проводу в течение 0,1 с тока 100 А. Значения недостающих параметров для стали взять такими же, как для железа, начальную температуру принять равной $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Задание 36. Опишите физические и электрические свойства, область применения меди и кабельной резины РТИ. Пользуясь найденными параметрами решите задачу: Медный провод марки МТ сечением $0,75 \text{ мм}^2$ имеет изоляцию из кабельной резины типа РТИ-1. Какой ток должен протекать по жиле в течение 1 с, чтобы нагреть ее до длительной рабочей температуры, допускаемой резиной?

Задание 37. Опишите алюминий и полиэтилен. Определите ток, который за 0,5 секунды нагреет жилу алюминиевого проводника с изоляцией из полиэтилена до длительно допустимой рабочей температуры полиэтилена. Диаметр жилы 10 мм.

Задание 38. Опишите полиэтилен и хлорированный полиэтилен, а также медь. Определите, каким должен быть диаметр медной жилы с изоляцией из полиэтилена, чтобы при протекании по ней тока 350 А в течение 0,1 секунды ее температура не превысила бы длительной рабочей для изоляции.

Задание 39. Дайте описание поливинилхлорида, и определите, во сколько раз и в какую сторону изменится сопротивление изоляции кабеля из этого материала, если от протекающего тока он нагреется до 140 °С. Какая плотность тока при этом будет в медной жиле, если время протекания тока составляет 1 с?

Задание 40. Опишите необходимые свойства меди, подберите и опишите материал для изоляции провода по условиям нагревостойкости. По медному проводу сечением 2,5 мм² в течение 1 секунды должен протекать ток 300 А.

Задание 41. Опишите необходимые свойства меди, полиэтилена и органосиликатных композиций, применяемых для изоляции проводов. Разберите пример: Медный провод сечением 1 мм² изолирован полиэтиленом и по нему в течение 1 секунды протекает ток, нагревающий жилу до максимальной рабочей температуры полиэтилена. Во сколько раз можно увеличить время протекания этого тока, если этот же провод изолировать стеклоэмалью ТК-40 с органосиликатной композицией?

Задание 42. Опишите политетрафторэтилен и изоляционные материалы высокой нагревостойкости. Сделайте расчёты для следующего примера: Высоконагревостойкий провод ПЭЖБ имеет сечение медной жилы 1 мм². В течение 0,3 секунды по нему протекает ток, разогревающий провод до максимально допустимой температуры. Какое сечение меди необходимо было бы для этого провода, если его изоляция была бы выполнена из политетрафторэтилена

Задание 43. Опишите физические и электрические свойства, область применения нихрома, в частности, сплава Х13Ю4. Определите массу нихромовой проволоки диаметром 0,6 мм для изготовления нагревателя мощностью 1 кВт на напряжение 220 В.

Задание 44. Опишите физические и электрические свойства, область применения алюминия и определите потери энергии в электропроводке к коттеджу за 1 месяц. Мощность, передаваемая в отдельный коттедж, составляет 10 кВт. Питание осуществляется по двухпроводной линии напряжением 220 В длиной 0,5 км, выполненной из алюминиевых проводов марки А сечением 16 мм², свитых из проволоки марки АТ.

Задание 45. Опишите физические и электрические свойства, область применения нихромовой проволоки из сплава Х20Н80. Сколько грамм такой проволоки диаметром 1 мм необходимо для того, чтобы изготовить нагреватель на напряжение 220 В мощностью 3 кВт ?

Задание 46. Опишите физические и электрические свойства, область применения меди и полиэтилена и определите плотность тока, при которой через 1 с после начала протекания тока температура бы не превышала допустимое значение для изоляции. Медный провод в полиэтиленовой изоляции имеет начальную температуру 40°C .

Задание 47. Опишите физические и электрические свойства, область применения алюминия и полиэтилена. Определите, через какое время начнет плавиться изоляция при коротком замыкании в алюминиевой проводке. Алюминиевая проводка сечением $1,5\text{ мм}^2$ имеет полиэтиленовую изоляцию из ПЭСД. При коротком замыкании, ток которого 100 А, не сработали предохранители.

Задание 48. Опишите свойства алюминия и меди. Разберите пример: Электропроводка выполнена алюминиевым проводом сечением $1,5\text{ мм}^2$. Каким должно быть сечение медной проволоки в предохранителе, чтобы при коротком замыкании в сети она бы расплавилась за 0,1 с, а проводка нагрелась бы при этом с температуры 20°C до 90°C ? Опишите физические и электрические свойства, область применения названных материалов.

Задание 49. Фторопласт - свойства (физические и электрические). Найти сечение медной жилы провода с изоляцией из фторопласта-4, при котором ток в 300 А, нагреет жилу за 1 секунду до предельной температуры, допускаемой фторопластом-4.

Задание 50. Опишите физические, электрические свойства и области применения стального (марка «сталь10») алюминиевого и медного проводов и определите значения токов, при которых погонные потери составят 1 кВт/км при сечениях, равных для всех проводов 6 мм^2 .

Задание 51. Опишите физические и электрические свойства стали и полипропилена, область их применения. Решите с использованием найденных параметров задание: Провод имеет стальную жилу диаметром 0,2 мм (марка «сталь 10», теплоемкость и температурный коэффициент сопротивления принять такими же как у железа) и изоляцию из полипропилена ПП. Сколько времени должен протекать по жиле ток 5 А, чтобы изоляция на границе с проводом начала бы плавиться?

Задание 52. Между двумя коаксиальными кольцами из меди находится слой расплавленного алюминия при температуре на 10 градусов выше температуры плавления. Диаметр и длина внутреннего кольца 1 см. Опишите физические и электрические свойства алюминия и меди и определите ток, который за 1 с доведет до плавления медь внутреннего кольца.

Задание 53. Опишите физические и электрические свойства меди и припоя ПОС-90, области применения. Решите с использованием найденных параметров задачу: Медный провод диаметром 5 мм и длиной 1 см запаивается припоем ПОС-90 в цилиндрическую втулку. Через сколько времени от тока 4 кА, протекающего от провода к втулке, начнет плавиться припой, если его начальная температура была 150 °С ?

Задание 54. Опишите свойства алюминия и определите его массу в катушке из алюминиевого провода. По катушке с алюминиевым проводом сечением 2,5 мм² протекает постоянный ток 15 А. При этом в катушке выделяется мощность 40 Вт.

Задание 55. Опишите физические и электрические свойства вольфрама и константана. Определите соотношение масс последовательно соединенных проволок из этих материалов при одинаковых сечении и выделяемой мощности.

Задание 56. Опишите медь и сложные эфиры поливинилового спирта. Разберите пример: Медный провод покрыт лаком "метальвин" на основе поливинилацетата. Подберите такое сечение меди, при котором ток в 485 А за 1 секунду нагреет проводник до температуры, равной длительной рабочей для лака.

Задание 57. Опишите свойства никеля, и высоконагревостойкую стеклокерамическую изоляцию проводов. Выберите материал для изоляции никелевого провода по условиям нагрева. Никелевый провод диаметром 0,5 мм предназначен для односекундного протекания тока 23 А.

Задание 58. Опишите физические и электрические свойства стали и темплен термостойкого, область их применения. Решите с использованием найденных параметров задачу: Провод имеет стальную жилу диаметром 0,2 мм (марка «сталь 10», теплоемкость и температурный коэффициент сопротивления принять для железа) и изоляцию из темплен. Какой ток должен протекать по жиле, чтобы изоляция на границе с проводом за 1 с нагрелась бы до максимальной рабочей температуры темплен ?

Задание 59. Фторопласт - свойства (физические и электрические). Найти ток, протекающей по алюминиевой жиле провода с изоляцией из фторопласта, при котором жила сечением 2,5 мм² нагреется за 1 секунду до предельной температуры, допускаемой фторопластом-2М.

Задание 60. Опишите основные свойства сплавов на никелевой и медноникелевой основе для термопар. Выберите проволоку из такого сплава, в которой будут наибольшие удельные потери при температуре 800°С.

1.4. Ответы

3-01. 3,6 кВт **3-02.** 27,9 кА. **3-03.** 47 °С; 153 °С **3-04.** 233 мм² **3-05.** 7,1 м **3-06.** 22,8 Вт; 31,6 Вт **3-07.** 255 В **3-08.** 11,4. **3-09.** 21,7 мм² **3-10.** 15,4 с **3-11.** 0,3 мм **3-12.** 86,1 кВт **3-13.** 2×120 мм² **3-15.** 82,9 мм² **3-16.** 24,6 м **3-17.** 3,3 Вт **3-18.** 81,2 мм² **3-19.** 51,6÷56,4 **3-20.** 7,68 кА **3-21.** 17 с **3-22.** 0,73 мм² **3-23.** 17,7 А **3-24.** 0,33 мм **3-25.** 212 мм²; 1,67 кВт **3-26.** 31,4 °С; 21,8 °С **3-27.** 0,18 с **3-28.** 78,4 кА **3-29.** 10,1 кА **3-30.** 1,03 мм² **3-32.** 2,14 мм² **3-33.** 0,16 кг **3-35.** 490,3 °С; 71,7 °С **3-36.** 66,5 А **3-37.** 9,04 кА **3-38.** 1,125 мм **3-41.** в 4,75÷5,20 раза **3-42.** 1,26 мм² **3-43.** (19÷21) г **3-44.** 2945 кВт·ч **3-45.** 78 г **3-46.** 92,2 А/мм² **3-47.** 1,9 с **3-48.** 0,4 мм² **3-49.** 1,6 мм² **3-50.** 7,8; 15,2; 18,8 А **3-51.** 0,15 с **3-52.** 7,32 кА **3-53.** 9,4 с **3-54.** 116 г **3-55.** 16,6÷20 **3-56.** 4 мм² **3-58.** 1,7 А **3-59.** 316,4 А

Практическое занятие 11

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ. ПРОВОДНИКОВЫЕ, ПОЛУПРОВОДЯЩИЕ И ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1. Основные расчетные выражения и необходимые пояснения

Электропроводность – это способность вещества проводить электрический ток, обусловленная наличием свободных зарядов в веществе. Для численного определения этой способности вводятся величины: «удельное электрическое сопротивление», ρ и «удельная электрическая проводимость», γ . Эти величины являются обратными по отношению друг к другу:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (11.1.)$$

Значение удельной электрической проводимости вещества – γ [См/м] определяется как произведение суммарного заряда свободных носителей в единице объема nq [Кл/м³] и подвижности этих зарядов – u [м²/с×В]:

$$\gamma = nq \times u \quad (11.2)$$

n – концентрация свободных зарядов, [1/м³], q – заряд носителя, [Кл].

Удельное электрическое сопротивление, ρ – это параметр вещества, численно равный сопротивлению образца длиной 1 м с площадью поперечного сечения 1 м², измеренному в плоско-параллельном поле.

Удельное электрическое сопротивление измеряется в [$\frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}}$] или в [Ом×м]. Удельная электрическая проводимость измеряется в [См/м].

По значению удельного электрического сопротивления все вещества подразделяются на 3 класса:

Проводники..... $\rho \approx 10^{-8} \dots 10^{-6} \text{ Ом} \times \text{м}$;
Слабопроводящие материалы (полупроводники)... $\rho \approx 10^{-6} \dots 10^7 \text{ Ом} \times \text{м}$;
Диэлектрики (изоляционные материалы)..... $\rho \approx 10^6 \dots 10^{20} \text{ Ом} \times \text{м}$.

В электропроводном материале вместо электростатического поля электрических зарядов (которое рассматривалось в теме 1) существует электрическое поле тока, протекающего по материалу. Виды полей, встречающихся в задачах раздела 2 те же, что и в разделе 1. Но для электропроводного материала формулы будут выглядеть следующим образом:

Для плоско-параллельного поля, проводимость конструкции, имеющей площадь поперечного сечения S и длину d , будет равна:

$$G = \gamma \frac{S}{d}, \quad (11.3)$$

где

γ - удельная электропроводность материала.

³ Это выражение вытекает из закона Ома в дифференциальной форме: $j=\gamma E$; понятия плотности тока j , равной произведению суммарного заряда носителей в единице объема nq на их скорость v ($j=nq \times v$) и определения подвижности как средней скорости носителей зарядов при единичной напряженности электрического поля: $u=v/E$

Поскольку проводимость есть величина, обратная сопротивлению: $G = \frac{1}{R}$, а удельная электропроводность обратная удельному электрическому сопротивлению $\gamma = \frac{1}{\rho}$, то формула 11.3 идентична хорошо известной:

$$R = \rho \frac{d}{S},$$

где: - S - площадь поперечного сечения проводника; d - длина проводника.

Для радиально цилиндрического поля, сохраняя те же, что в разделе 1 обозначения геометрических размеров, напишем выражение для проводимости между двумя коаксиальными цилиндрами:

$$G = \gamma \frac{2\pi l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad (11.4)$$

из которого также несложно получить выражение для сопротивления:

$$R = \rho \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi l}$$

В радиально-сферическом поле потенциал шара, с которого стекает ток в "бесконечность", будет выражаться как:

$$\phi = \frac{I}{\gamma 4\pi r}, \quad (11.5)$$

где I - ток, стекающий с шарового электрода радиуса r.

Проводимость между двумя концентрическими (имеющими общий центр) сферами радиусов r_1 и r_2 :

$$G = 4\pi\gamma \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}, \quad (11.6)$$

Сравнивая выражения раздела 1 и 2 нетрудно установить их полную аналогию. В том и другом случае при одинаковых полях одинаковы и части выражений, содержащие геометрические параметры. Если независимо от вида поля эти части выражений обозначить буквой Г, то будем иметь два аналогичных выражения:

Для электростатического поля
тока

$$\text{в диэлектрике:} \\ C = \epsilon_0 \epsilon \Gamma$$

(11.7)

Для поля электрического

в проводнике:

$$G = \gamma \Gamma$$

Если материал конструкции между электродами имеет большое удельное сопротивление и определенное значение диэлектрической проницаемости, то для такой конструкции справедливо вытекающее из (11.7) выражение:

$$CR = \varepsilon_0 \varepsilon_r \quad (11.8)$$

Левая часть этого выражения есть постоянная времени разряда конденсатора с ёмкостью C через сопротивление R . Правая часть называется постоянной времени релаксации:

$$\tau = \varepsilon_0 \varepsilon_r R.$$

Время релаксации отражает скорость затухания возбуждения в материале после исчезновения электрического поля, вызвавшего это возбуждение.

В некоторых заданиях раздела затрагивается тема создания композиционных материалов, электропроводность и диэлектрическая проницаемость которых определяются соотношением не реагирующих между собой компонентов с различными значениями указанных величин.

Композиционным материалом называется материал, состоящий из двух или более компонентов, химически не связанных между собой, но в итоге изменяющих параметры материала в целом по сравнению с параметрами каждого из компонентов.

Примеры: бетон, текстолит, гетинакс, эком, бетэл, вилит, резина, стеклопластик, некоторые материалы для электрических контактов, магнетодиэлектрики и др.

Если сравнить между собой формулы разделов 1 и 2 настоящего задачника, то мы увидим их полную идентичность. Поэтому электропроводность и диэлектрическую проницаемость можно считать аналогичными величинами и присвоить им единое название - "обобщенная проводимость". Будем обозначать это понятие общим символом " σ ", понимая в каждом конкретном случае под ним или диэлектрическую проницаемость или электропроводность.

Если смешивать два вещества с разными значениями σ , то возможно образование двух структур: «матричная система» и «статистическая смесь».

В *матричной системе* один из материалов образует непрерывную матрицу, в которую вкраплены включения другого материала. Значение обобщенной проводимости для матричной смеси определяется выражением:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_0 \left(1 + \frac{v_1}{\frac{1-v_1}{3} + \frac{\sigma_0}{\sigma_1 - \sigma_0}} \right), \quad (11.9)$$

в котором σ_0 и σ_1 - обобщенные проводимости матричной фазы и наполнителя, v_1 - объемная доля наполнителя (в долях единицы).

В статистической смеси оба материала равноправны, и значение обобщенной проводимости рассчитывается по выражению:

$$\sigma_{э\kappa\upsilon} = A + \sqrt{A^2 + \frac{\sigma_1 \sigma_2}{2}} \quad \text{де}$$

$$A = \frac{(3\nu_1 - 1) \cdot \sigma_1 + (3\nu_2 - 1) \cdot \sigma_2}{4} \quad (11.10)$$

Пользуясь выражениями, приведенными выше, можно вычислить необходимые параметры всех заданий раздела 2.

2.2. Пример выполнения 2-го задания

1. Задание 61.

Опишите свойства электроизоляционных кабельных резин. Проверьте, сработает ли устройство защитного отключения (УЗО) при следующих условиях: Шахтный одножильный кабель диаметром 12 мм длиной 500 м, сечением жилы 35 мм², с изоляцией из резины типа РТИ-1 попал в воду. Напряжение на жиле – 380 В. УЗО срабатывает, если утечка через изоляцию превысит 10 мА.

2. Определение величин, необходимых для выполнения задания.

Для того, чтобы сработало УЗО необходимо, чтобы сопротивление изоляции провода было бы не более такого, при котором ток утечки был бы равен 10 мА. Найдём это сопротивление:

$$R_{из} \leq 380 \text{ В} / 0,01 \text{ А} = 38000 \text{ Ом.}$$

Поскольку ток через изоляцию стекает с жилы, поле тока можно принять радиально-цилиндрическим, и сопротивление изоляции будет равно:

$$R_{из} = \rho_{резины} \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi l}$$

Неизвестным параметром в этом выражении является удельное сопротивление резины – $\rho_{резины}$.

Удельное электрическое сопротивление, ρ – это параметр вещества, численно равный сопротивлению образца длиной 1 м с площадью поперечного сечения 1 м², измеренному в плоско-параллельном поле.

Можно предположить, что при увлажнении удельное сопротивление изоляции снижается. Если оно снизится таким образом, что сопротивление изоляции в целом станет ниже 38 кОм, то должно сработать УЗО.

Критическое значение удельного электрического сопротивления резины:

$$\rho_{резины} = \frac{2\pi l \times 38000}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

3. Описание материалов.

Резина представляет собой вулканизированную многокомпонентную смесь на основе каучуков /1/. Резиновая смесь изготавливается путём введения в каучук минеральных или углеродных порошкообразных наполнителей (мел, тальк, каолин, техуглерод), вулканизирующих агентов и др.

Каучуки бывают натуральные и синтетические. Натуральный каучук является естественным продуктом коагуляции⁴ частиц, содержащийся в соке, который извлекают из стволов каучуковых деревьев, растущих в странах с тропическим климатом. Синтетические каучуки являются продуктом полимеризации (вулканизации) смесей разнообразных химических веществ: изопрена, бутадиена, стирола, изобутилена, этилена, пропилена, хлоропрена и др.

Резины типа РТИ относятся к кабельным изоляционным резинам, то есть применяются при изготовлении кабелей наряду с изоляционно-защитными резинами, резинами для защитных оболочек и электропроводящими резинами. Для изоляции, допускающей длительный нагрев токопроводящей жилы до 65 °С, применяются резины на основе каучуков общего назначения типов РТИ-0, РТИ-1, РНИ, а также изоляционно-защитные резины типов РТИШ и РТИШМ. Наиболее широко для изолирования кабелей, проводов и шнуров применяют резины типа РТИ-1. Они отвечают эксплуатационным требованиям всех кабельных изделий на переменное напряжение до 660 В и постоянное до 1000 В.

Прочность при растяжении резины РТИ-1 составляет 5,88 МПа, а относительное удлинение при разрыве не менее 350 % /1, стр. 107, табл.17.4/.

Электрические характеристики резин типа РТИ-1 в зависимости от времени увлажнения показаны в таблице:

Таблица 11.6 /1, стр. 109/

Время увлажнения, сут	Увлажнение при 20 °С				Увлажнение при 70 °С			
	ρ , Ом·м	tg δ	ϵ	$E_{пр}$, МВ/м	ρ , Ом·м	tg δ	ϵ	$E_{пр}$, МВ/м
0	$2,4 \cdot 10^{13}$	0,021	3,4	41,9	$2,4 \cdot 10^{13}$	0,021	3,6	41,9
1	$8,0 \cdot 10^{12}$	0,022	3,8	37,5	$3,9 \cdot 10^{12}$	0,013	4,2	13,9
4	$1,3 \cdot 10^{12}$	0,026	3,9	17,9	$3,9 \cdot 10^{12}$	0,012	4,3	9,8
7	$1,2 \cdot 10^{12}$	0,026	3,8	15,1	$3,9 \cdot 10^{12}$	0,012	4,6	8,0
14	$1,1 \cdot 10^{12}$	0,027	3,8	14,1	$3,6 \cdot 10^{12}$	0,015	4,6	6,0

В таблице помимо удельного электрического сопротивления приводятся также значения тангенса угла диэлектрических потерь (tg δ), диэлектрической проницаемости (ϵ) и электрической прочности ($E_{пр}$).

Определения по /3/:

Углом диэлектрических потерь, δ (дельта) называют угол, дополняющий до 90 градусов угол сдвига между током и напряжением в диэлектрике.

Диэлектрическая проницаемость, ϵ является мерой поляризации вещества в электрическом поле.

⁴ Коагуляция [лат. coagulatio свёртывание, сгущение] – укрупнение частиц в дисперсных системах; ведёт к выпадению из коллоидного раствора хлопьевидного осадка или образованию студня /2/.

Электрической прочностью, $E_{пр}$ называется средняя напряженность электрического поля, при которой происходит электрический пробой.

4. Решение.

Рассчитаем удельное электрическое сопротивление электрической изоляции из резины РТИ-1, при котором может сработать УЗО. Для этого вначале определим радиус токопроводящей жилы через площадь её сечения - S :

$$r_1 = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{35}{3,14}} = 3,34 \text{ мм}$$

Радиус внешней эквипотенциальной поверхности коаксиальной системы можно принять равным 6 мм, поскольку кабель находится в воде, а его диаметр равен 12 мм. Рассчитываем удельное электрическое сопротивление:

$$\rho_{\text{резины}} = \frac{2\pi l \times 380000}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 500 \cdot 380000}{\ln \frac{6}{3,34}} = 2,04 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Таким образом, УЗО может сработать, если удельное сопротивление в результате увлажнения снизится до $2 \cdot 10^8$ Ом·м.

5. Вывод.

Сравнения полученное значение со значениями в таблице п. 3, видим, что удельное сопротивление резины РТИ-1 даже после 14-и дней увлажнения при любой температуре имеет значения на 4 порядка выше, чем полученное в нашем расчёте. Таким образом, при попадании резинового кабеля в воду срабатывания УЗО не произойдёт. То есть условия электробезопасности при эксплуатации резинового кабеля в воде соблюдаются. По-видимому, отключение УЗО может произойти, если в изоляции будут дополнительные повреждения, например, трещины от старения.

2.3. Тексты заданий

Задание 01. Опишите свойства меди и области её применения. Используя эти свойства, решите задачу: В точку на поверхности расплавленной меди вводится ток силой 10 кА. Если измерять разность потенциалов между точками радиально отстоящими от места ввода тока на расстоянии 10 и 20 см, что покажет прибор?

Задание -02. Опишите алюминий (физические, электрические свойства, область применения). Решите задачу: Между двумя коаксиальными кольцами наливается расплавленный алюминий. Как нужно изменить толщину слоя застывшего алюминия, чтобы сопротивление между кольцами не изменилось?

Задание 03. Опишите медь и алюминий как электропроводящие материалы и укажите, как влияют добавки на электрические характеристики

материалов. Покажите это на следующем примере: Одна проволока сделана из алюминия с добавлением 0,25% меди. Другая - из чистого алюминия. Во сколько раз длина одной проволоки больше другой, если их сопротивление и сечение одинаковы?

Задание 04. Опишите поликристаллический графит - свойства (физические, электрические), область применения. Выполните расчет: К концам двух коаксиальных цилиндров из поликристаллического графита с наружными диаметрами 5 см и 10 см, толщиной стенки 1 см и длиной 1 м приложено напряжение 1 В. Определить токи в том и другом цилиндре.

Задание 05. Опишите физические и электрические свойства контактных композиционных материалов и область их применения. Рассчитайте сопротивление контакта в следующем примере: При замыкании контактов, выполненных из контактной композиции КМК-Б25, они коснулись друг друга лишь площадками диаметром 0,1 мм.

Задание 06. Опишите электроизоляционные неорганические плёнки. Разберите следующий пример: Электролитический конденсатор, анодом которого служит алюминиевая фольга, изолированная от второго электрода оксидной пленкой, имеет емкость 1 мкФ. Какой должна быть технология нанесения оксидной пленки, чтобы получить наибольшее сопротивление изоляции конденсатора? Укажите значение этого сопротивления.

Задание 07. Опишите физические и электрические свойства меди и припоя ПОС-10, области применения. Решите с использованием найденных параметров задачу: Медный провод сечением 1 мм² запаивается припоем ПОС-10 в цилиндрическую втулку с внутренним диаметром 2 мм на длину 5 мм. Найти сопротивление контакта.

Задание 08. Опишите физические и электрические свойства контактных композиционных материалов и область их применения. Определите марку контактной композиции в следующем примере: Композиционный материал для сильноточных контактов состоит из медной матрицы (97% по массе) и углеродистого наполнителя (поликристаллический графит, 3% по массе). Сравните расчетное значение удельного сопротивления этой композиции со справочным.

Задание 09. Опишите электрические свойства растворов соляной кислоты и латуни, как электропроводящий материал. Сравните эти свойства, используя следующий пример: Полиэтиленовая труба с внутренним диаметром 0,5 м, заполненная 10% соляной кислотой, служит проводником электрического тока. Определите сечение проводника из латуни марки Л68, эквивалентное названному электролитическому проводнику.

Задание 10. Опишите полиэтилены. Найдите минимальное значение сопротивления изоляции из полиэтилена (ПЭВД) у одножильного кабеля с

диаметром токоведущей жилы 1 мм и диаметром экрана 10 мм при длине кабеля 1 км.

Задание 11. Опишите физические и электрические свойства 10% раствора поваренной соли. Какую разность потенциалов следует приложить к двум полушаровым электродам диаметром 1 мм, погруженным с поверхности 10% раствор поваренной соли на значительном расстоянии от стенок сосуда и друг от друга, чтобы между этими электродами потек ток силой 1 А?

Задание 12. Опишите физические и электрические свойства, область применения нихромовой проволоки из сплава Х20Н80. Определите массу этой проволоки диаметром 0,6 мм, необходимую для создания резистора с сопротивлением 2,5 кОм, работающем при оптимальной для этой марки температуре.

Задание 13. Разрабатывается новый электротехнический материал, путём смешивания измельченной слюды (мусковит) с полиуретаном. Опишите физические, электрические свойства и область применения указанных материалов. Предскажите значения удельного сопротивления нового материала при содержании в нём слюды (с минимальным удельным сопротивлением) 20% и 80% по объёму.

Задание 14. Опишите высоконагревостойкое стеклоэмалевое покрытие для провода марки ПЭЖБ и оцените сопротивление изоляции этого провода в нормальном состоянии и после выдержки в 100% влажности в течение 250 часов. Диаметр провода - 0,4 мм, толщина изоляции - 20 мкм, а длина провода - 100 м.

Задание 15. Опишите физические и электрические свойства, область применения нихрома и стали. Пользуясь найденными параметрами, оцените, как отличаются длины проволок из нихрома марки Х15Н60 и стали марки НЖ, если у этих проволок одинаковое сечение и сопротивление.

Задание 16. Опишите алюминий как материал для проводов линий электропередачи. Пользуясь найденными параметрами решите задачу: Электрический ток передается через землю с удельным сопротивлением 70 Ом·м на расстояние 95,5 км при помощи x полушаровых электродов радиусом 1 м, вдавленных с поверхности в грунт по обоим концам электропередачи. Обратно ток возвращается по алюминиевому проводу. Какое сечение провода соответствует условию равенства сопротивлений указанных путей тока?

Задание 17. Опишите физические, электрические свойства и область применения стального (марка “сталь 10”), алюминиевого и медного проводов и определите соотношение их сечений при одинаковых сопротивлениях и длине.

Задание 18. Опишите алюминий и сталь как материалы для проводов линий электропередачи. Пользуясь найденными параметрами решите следующую задачу: Провод линии электропередачи марки АС 120/19 имеет стальной сердечник из 7-ми стальных проволок диаметром 1,85 мм (марка стали НЖ и навив из 26 алюминиевых проволок диаметром 2,7 мм). Каково соотношение значений постоянного тока, текущего по стали и алюминию?

Задание 19. Опишите физические и электрические свойства стали и хлорированного полиэтилена, область их применения. Решите с использованием найденных параметров задание: Провод длиной 10 км имеет стальную жилу диаметром 0,5 мм (сталь марки “сталь 10”) и изоляцию из хлорированного полиэтилена ХПЭ толщиной 1 мм. Во сколько раз сопротивление изоляции больше сопротивления жилы провода?

Задание 20. В точку на поверхности расплавленной меди вводится ток, растекающийся в расплаве. На расстояниях 5 и 15 см от точки ввода тока измеряется разность потенциалов, составляющая 100 мкВ. Опишите физические и электрические свойства меди, область применения и определите, какой ток вводится в расплав?

Задание 21. Полагая, что структура контактного композиционного материала для сильноточных контактов марки КМК-Б45 является статистической смесью, рассчитайте ожидаемое значение удельного сопротивления этого материала, описав предварительно входящие в него компоненты и необходимые для расчета параметры. Компонентом с малым процентным содержанием можно пренебречь. Учтите, что в справочнике содержание компонентов указано в долях массы.

Задание 22. Опишите физические и электрические свойства, область применения молибдена и вольфрама. Определите, во сколько раз как отличается вес отожженных проволок из вольфрама и молибдена, если у них одинаковое сечение и сопротивление?

Задание 23. Опишите влияние добавок на удельное сопротивление меди и алюминия. Рассчитайте сопротивление постоянному току катушки из медной проволоки в случае, если в меди содержится 0,06 % железа. Диаметр проволоки 0,5 мм, длина - 100 м. Меньше это сопротивление или больше, чем у проволоки тех же размеров из алюминия с тем же содержанием железа?

Задание 24. Изучите дисилицид молибдена, как жаростойкий материал для резисторов - свойства (физические, электрические), область применения. Пользуясь найденными параметрами решите задачу: К двум коаксиальным цилиндрам из дисилицида молибдена с наружными диаметрами 5 и 10 мм, толщиной стенки 1 мм и длиной 1 м приложено по концам напряжение 1 В. Найти значения токов в том и другом цилиндре.

Задание 25. Опишите физические и электрические свойства, область применения контактной композиции КМК-А32. При замыкании силовых контактов, выполненных из контактной композиции КМК-А32 они коснулись друг друга площадками с радиусом 0,1 мм. Оцените значение сопротивления такого контакта.

Задание 26. Опишите конденсаторные керамические материалы с линейной поляризацией и выберите из них такой, конденсатор из которого с емкостью 1 пФ, будет иметь наименьшее сопротивление изоляции. Рассчитайте это сопротивление.

Задание 27. Опишите физические и электрические свойства электролитов. Используя раствор хлористого калия, определите потенциал погруженного в него электрода и его изменение при изменении концентрации соли до 20 %. Условия: Полушаровый электрод диаметром 1 см погружен с поверхности в 5 % раствор хлористого калия и с него стекает ток 0,1 А.

Задание 28. Поликристаллический графит - свойства (физические, электрические), область применения. На поверхности земли, удельное сопротивление которой 50 Ом·м вертикально стоит полый цилиндр из поликристаллического графита высотой 1 м, наружным диаметром 10 см и толщиной стенки 1 см. К верхнему его концу подводится ток 0,1 А. Какова разность потенциалов между этим концом и точкой на поверхности грунта, отстоящей от оси цилиндра на 1 м?

Задание 29. Фторопласт - свойства (физические, электрические), область применения. Найти погонное значение сопротивления изоляции из фторопласта типа 2М у одножильного экранированного провода с сечением жилы 0,5 мм² и толщиной изоляции 1 мм.

Задание 30. Опишите медь бронзу как электропроводные материалы и укажите как влияют добавки на электрические характеристики материалов. Решите пример: Одна проволока сечением 1 мм² сделана из меди, содержащей с 0,1 % алюминия. Другая - из чистой меди. Во сколько раз длина одной проволоки больше другой, если сопротивление их одинаково?

Задание 31. Опишите физические и электрические свойства электролитов. Для соляной кислоты рассмотрите следующий пример: Между двумя полушаровыми электродами диаметром 1 мм, погруженными с поверхности в 5 % раствор соляной кислоты протекает ток 1 А. Оцените разность потенциалов, приложенных к этим электродам. Как изменится эта разность потенциалов при повышении концентрации кислоты до 40 %?

Задание 32. Опишите физические и электрические характеристики меди, область применения. Определите длину и сопротивление медной проволоки марки МТ диаметром 0,9 мм, если ее масса на катушке составляет 10 кг.

Задание 33. Опишите физические и электрические свойства, область применения алюминия. Обратите внимание на свойства расплава алюминия и разберите следующий пример. Между двумя коаксиальными кольцами находится слой затвердевшего алюминия. Определите, как следует изменить толщину этого слоя в расплавленном состоянии, чтобы сопротивление между кольцами не изменилось?

Задание 34. Опишите алюминий как материал для проводов линий электропередачи. Пользуясь найденными параметрами, решите задачу: Электрический ток передается через землю с удельным сопротивлением $120 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ на расстояние 10 км и возвращается по алюминиевому проводу марки А из проволоки марки АТ сечением 50 мм^2 . Для ввода тока в землю и вывода из нее используются полушаровые электроды. Определить диаметр этих электродов при условии равенства сопротивлений “земляного” провода и провода из алюминия.

Задание 35. Опишите физические и электрические свойства, область применения хромели и алюмели и определить соотношение их длин при одинаковых сечении и сопротивлении.

Задание 36. Опишите сталь и медь как материал для проводов и определите сопротивление 1 км военно-полевого провода для телефонной связи. Военно-полевой провод состоит из 7 стальных жил из стали марки 10 диаметром $0,1 \text{ мм}$ и одной медной жилы из меди марки МТ того же диаметра.

Задание 37. Опишите физические и электрические свойства, область применения меди и кабельной резины РТИ-1. Пользуясь найденными параметрами решите задачу: Медный провод марки МТ сечением $0,75 \text{ мм}^2$ и длиной 1 км имеет изоляцию из кабельной резины типа РТИ-1 толщиной 1 мм . Во сколько раз сопротивление изоляции больше сопротивления жилы провода?

Задание 38. Опишите полиэтилен и определите минимальное значение тока утечки через полиэтиленовую изоляцию кабеля при напряжении на жиле 70 кВ . Одножильный кабель имеет длину 1 км , диаметр жилы 10 мм и толщину изоляции – 15 мм .

Задание 39. Изучите класс карбоцепных полимеров. Разберите пример. Минимальный ток утечки через изоляцию из хлорированного полиэтилена составляет 2 мкА . Подберите и опишите материал из того же класса, при котором в той же конструкции минимальный ток утечки через изоляцию понизился бы до $0,02 \text{ мкА}$.

Задание 40. Дайте описание поливинилхлорида. Определите во сколько раз и в какую сторону изменится сопротивление изоляции кабеля из этого материала, если от протекающего тока он нагреется до 140° С .

Задание 41. Ознакомьтесь с полиэфирами и эпоксидными смолами. Разберите пример: Изоляционная деталь выполнена из полиформальдегида и имеет сопротивление изоляции 32 МОма. Подберите и опишите эпоксидную смолу с отвердителем, из которой можно было бы изготовить такую же деталь, но с сопротивлением не менее 3000 МОм.

Задание 42. Опишите электроизоляционный покрывной лак марки ХС-9105 и оцените максимально возможное значение сопротивления изоляции провода, покрытого таким лаком, если диаметр проводника - 1 мм, толщина пленки - 0,03 мм, а длина провода - 1 м. Как изменится это сопротивление, если провод выдержать 4 суток при влажности 95 % и температуре 40° С ?

Задание 43. Изучите клеящие лаки. Подберите и опишите такой тип лака, чтобы сопротивление изоляции между пластинами было бы не менее 1 ГОма. Условие: Две металлические пластины площадью 1 м² склеиваются лаком таким образом, что толщина пленки лака между пластинами составляет 0,2 мм.

Задание 44. Рассмотрите составы и свойства компаундов, обратив особое внимание на заливочные компаунды. Разберите пример: При изготовлении трансформатора тока его изоляция была выполнена из заливочного компаунда типа КФ-4, при этом сопротивление изоляции при 20°С составило 60 МОм. Подберите и опишите такой заливочный компаунд, при котором сопротивление изоляции в тех же условиях можно повысить до 5,5 ГОм и более.

Задание 45. Изучите электроизоляционные бумаги из синтетических волокон. Оцените максимально возможное сопротивление изоляции между обкладками конденсатора ёмкостью 1 мкФ. Изоляция конденсатора выполнена из бумаги типа КМ-60.

Задание 46. Изучите материалы на основе асбеста. С использованием этих материалов необходимо выполнить изделие, состоящее из двух металлических пластин и двухслойной изоляции из асбестовых материалов между этими пластинами. Подберите и опишите такие материалы, которые бы создавали напряженность постоянного электрического поля у одной пластины в 1000 раз большую, чем у другой.

Задание 47. Опишите гетинакс и текстолит и выберите-таки марки этих листовых материалов, чтобы сопротивление их оказалось одинаковым.

Задание 48. Ознакомьтесь со свойствами кабельных электроизоляционных резин. Одножильный кабель с изоляцией из резины должен эксплуатироваться в воде. Выберите и опишите резину, которая обеспечивала бы сопротивление изоляции в этих условиях не менее 70 кОм/км при радиусе жилы 2 мм и толщине изоляции - 3 мм.

Задание 49. При изготовлении композиционного материала для сильноточных контактов марки КМК-А25 в него не добавили никель. Опишите правильный состав и свойства этого материала и сравните расчетное значение удельного сопротивления полученного материала со справочным для этой марки. При расчетах можно принять, что матрицей в этой композиции служит вольфрам, и учесть, что в справочнике содержание компонентов указано в долях массы.

Задание 50. Ознакомьтесь с высокочастотными керамическими материалами. Выберите и опишите такую марку керамики, при которой сопротивление изоляции керамического конденсатора было бы наибольшим. Керамический конденсатор имеет емкость 0,01 мкФ, выполнен с применением керамики на основе диоксида титана и работает в интервале частот 0,5 - 5 МГц. Рассчитайте его сопротивление.

Задание 51. Опишите физические, электрические свойства и область применения полиуретана и слюды. Рассчитайте параметры нового электротехнического материала, состоящего из измельченной слюды (мусковита) и полиуретана, значение диэлектрической проницаемости которого минимальное из возможных. Зная, что относительная диэлектрическая проницаемость слюды равна 7, предскажите значения диэлектрической проницаемости нового материала при содержании в нём слюды 30 % и 70 % по объему.

Задание 52. Изучите пропиточные составы высокой нагревостойкости. Изоляция, выполненная путем пропитки пропиточным нагревостойким составом марки СПВ-914, при нагревании до 850⁰ С имеет сопротивление 2 МОм. Подберите и опишите такие пропиточные составы для изоляции того же устройства, чтобы сопротивление изоляции в тех же условиях повысилось, по крайней мере, до 25 МОм.

Задание 53. Разберите электроизоляционные покрытия высокой нагревостойкости. Разберите пример: Деталь изолирована высоконагревостойким органосиликатным покрытием марки ОС-92-18 и имеет сопротивление изоляции 32 МОм при температуре 700⁰ С. Подберите и опишите такое покрытие, из которого можно было бы изготовить такую же деталь, но с сопротивлением в тех же условиях не менее 85 МОм.

Задание 54. Опишите поливинилхлорид и алюминий. Рассчитайте длину алюминиевого проводника сечением 1,5 мм² в поливинилхлоридной изоляции с минимальным значением удельного сопротивления толщиной 1 мм, при которой сопротивление проводника постоянному току будет в 10⁹ раз меньше сопротивления его изоляции.

Задание 55. Опишите слюдяные электроизоляционные материалы. Рассчитайте сопротивление изоляции между контактными пластинами коллектора электрической машины с изоляцией из миканита во влажном состоянии, если в сухом состоянии оно равно 1 МОм.

Задание 56. Опишите мрамор как минеральный диэлектрик и рассчитайте диапазоны сопротивления устройства следующей конструкции: Между двумя металлическими пластинами с площадью 1 м^2 находится мраморная доска толщиной 1 см. Сопротивление необходимо рассчитать двумя способами, задаваясь: а) диэлектрической проницаемостью и удельным сопротивлением, б) только удельным сопротивлением.

Задание 57. Опишите медь и полиэтилен. Разберите пример: Имеется коаксиальный кабель, радиус медной жилы которого 1 мм, а радиус оплетки - 5 мм. Изоляция кабеля выполнена из полиэтилена. Найти длину, при которой сопротивление изоляции будет в 10^{10} раз больше продольного сопротивления медной жилы.

Задание 58. Изучите электроизоляционные картоны. Разберите пример. Барьерная изоляция масляного трансформатора выполнена из картона марки А. Рассчитайте диапазон значений полного сопротивления 1 м^2 барьерной изоляции при изменении влагосодержания от 1 до 6 %.

Задание 59. Опишите кабельные изоляционные резины. Найдите погонное сопротивление изоляции коаксиального двухслойного кабеля, состоящего из резины РНИ и РТИ-0, толщиной 1 мм каждый слой при радиусе жилы 3 мм. Ближе к жиле находится резина с большей электрической прочностью ($E_{пр}$).

Задание 60. Опишите композиционный электроизоляционный материал изофлекс и рассчитайте его диэлектрическую проницаемость, воспользовавшись моделью статистической смеси. Перед этим ознакомьтесь также с изделиями из стеклянных волокон. Значения диэлектрической проницаемости компонентов примите минимальными, а объемную долю неорганического компонента - 0,1.

2.4. Ответы

2-01. 284 мкВ **2-02.** 1,64 **2-03.** 1,04 **2-04.** 157 А; 353 А **2-05.** 509,6 мкОм **2-06.** 97,4 ГОм **2-07.** 4,6 мкОм **2-08.** $\rho_{расч.}=0,02 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ **2-09.** $0,87 \text{ мм}^2$ **2-10.** 36,7 ГОм **2-11.** 52,6 В **2-12.** $(1,46\div 1,61) \text{ кг}$ **2-13.** $(1,2\div 2,2)\cdot 10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ **2-14.** 77,7 МОм; 155,4 Ом **2-15.** $(8,15\div 8,92)$ **2-16.** $6,28\cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ **2-17.** 1:1,65:5,88 **2-19.** $50\cdot 10^3$ **2-20.** 1320 А **2-21.** $0,024 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ **2-22.** 1,64 **2-23.** 11,7 Ом **2-24.** 62,8 А; 141 А **2-25.** $0,14\cdot 10^{-3} \text{ Ом}$; 504,7 ГОм **2-27.** $(0,46\div 0,119) \text{ В}$ **2-28.** 15,1 В **2-29.** 2 МОм/км **2-30.**

1,1 **2-31.** 16,1 В; 12,4 В **2-32.** 1769,1 м; 50,1 Ом **2-33.** 1,64 **2-34.** 5,97 м **2-35.** 2,06
2-36. 1014 Ом **2-37.** $1,77 \cdot 10^6$ **2-38.** 0,32 мкА **2-40.** $(2 \div 200) \cdot 10^4$ **2-42.** 9,3 ГОм **2-45.**
 ≈ 2 ГОм **2-49.** 0,032 мкОм·м **2-50.** 141,7 ГОм **2-51.** 3,92; 5,47 **2-54.** 287 м **2-55.** 5
кОм **2-56.** 1 кОм; 10 МОм **2-57.** 2,16 км **2-58.** 0,11 кВ; 0,203 кВ **2-59.** 35,56 ГОм
2-60. 3,18