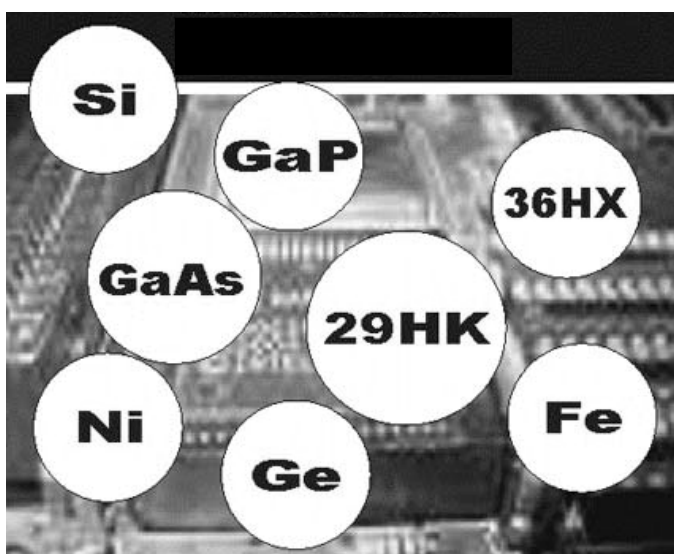


**Ю.А. БРУСЕНЦОВ, В.А. ПРУЧКИН,  
И.С. ФИЛАТОВ**

# **МАРКИРОВКА МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

УДК 621.382(075)

ББК ←844я73

Б892

Рецензенты:

Доктор физико-математических наук,  
профессор Тамбовского государственного университета  
*В.А. Федоров*

Кандидат технических наук, доцент  
Тамбовского государственного технического университета  
*А.М. Подкаура*

**Брусенцов, Ю.А.**

Б892

Маркировка материалов электронной техники : учебное пособие / Ю.А. Брусенцов, В.А. Пручкин, И.С. Филатов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 80 с. – 250 экз. – ISBN 5-8265-0544-3.

Дано описание практических занятий по маркировке материалов,

применяемых в приборостроении, электронике, системах автоматизации и электрификации в промышленности и сельском хозяйстве. Приведены обозначения конструкционных материалов на основе сталей и цветных сплавов, сплавов с особыми электрическими, магнитными, тепловыми и упругими свойствами, даны их основные характеристики и химический состав.

Предназначено для студентов 1–2 курсов специальностей 210201, 110302, 140106, 140211, 220301 дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.382(075)

ББК ←844я73

ISBN 5-8265-0544-3

© Брусенцов Ю.А., Пручкин В.А.,  
Филатов И.С., 2006

© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный  
технический университет" (ТГТУ), 2006

Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

**Ю.А. Брусенцов, В.А. Пручкин, И.С. Филатов**

## **МАРКИРОВКА МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

*Рекомендовано Учебно-методическим советом в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению 210200 и специальности 210201 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств"*



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2006

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

БРУСЕНЦОВ Юрий Анатольевич,  
ПРУЧКИН Владимир Аркадьевич,  
ФИЛАТОВ Иван Сергеевич

## **МАРКИРОВКА МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

Учебное пособие

Редактор Е.С. Мордасова  
Инженер по компьютерному макетированию М.Н. Рыжкова

Подписано в печать 13.12.2006.  
Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.  
4,63 уч.-изд. л. Тираж 250 экз. Заказ № 811

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Современный научно-технический прогресс неразрывно связан с разработкой и освоением новых материалов. Именно материалы стали ключевым звеном, определяющим успех многих инженерных решений при создании сложнейшей электронной аппаратуры. Интенсивное развитие электроники связано с появлением новых разнообразных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, которые находят широкое применение в вычислительной технике, космонавтике, автоматике, радиотехнике, телевидении, в установках измерительной техники, медицине, биологии и др. В настоящее время число наименований материалов, применяемых в электронной технике для различных целей, составляет несколько тысяч.

При использовании материалов необходимо знание комплекса их свойств, позволяющих использовать их при различных условиях эксплуатации. А нередко перед конструкторами и технологами возникают и более сложные задачи по созданию материалов с заранее заданными свойствами.

В технологическом процессе изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем широко используются как традиционные полупроводники, металлы и сплавы, так и новые материалы, специально разработанные для полупроводниковой технологии.

Применение большого количества разнообразных материалов, используемых в электронной промышленности, предполагает знание их обозначений в соответствии с ГОСТами.

Основной задачей настоящего учебного пособия является освоение студентами практических навыков в использовании маркировки конструкционных и специальных сплавов, умение правильно читать марки материалов и определять по ним химический состав, свойства и назначение сплавов.

## 1. МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ

Стали продолжают оставаться важнейшими конструкционными и инструментальными материалами, применяемыми в различных отраслях промышленности, в том числе и на предприятиях радиоэлектроники, приборостроения, автоматике и др. Кроме основных требований по прочности, железоуглеродистые сплавы могут обладать высокой коррозионной стойкостью, особыми магнитными, тепловыми и электрическими свойствами.

Стали применяют для изготовления схемотехнических и конструктивных элементов радиоэлектронной аппаратуры, инструментов, оснастки и оборудования, необходимых для технологического процесса их производства, поэтому для выбора материала, выбора способа его обработки, необходимо знание его обозначения в соответствии с ГОСТом.

Единой мировой системы маркировки сталей не существует. В США применяется сразу несколько систем **AISI**, **ASTM**, **UNS**. В Европе используют **DIN**, **ECISS**, **EN**. В России и других странах СНГ применяют самую совершенную систему обозначения марок стали, разработанную в СССР.

Маркировка стали зависит от ее металлургического качества, назначения и химического состава.

*Металлургическое качество стали* зависит от ее чистоты по вредным примесям (сера S и фосфору P) и неметаллическим включениям.

**По металлургическому качеству** сталь разделяют на:

- *сталь обыкновенного качества* (S не более 0,055...0,060 %; P не более 0,05...0,07 %);
- *качественную* (S не более 0,03 %; P не более 0,03 %);
- *высококачественную* (S не более 0,025 %; P не более 0,025 %);
- *особо высококачественную* (S не более 0,015 %; P не более 0,015 %; ограничение по количеству неметаллических включений на единице площади металлографического шлифа).

*Металлургическое качество стали определяет алгоритм дальнейшей расшифровки марки.*

**По назначению** сталь делят на следующие основные группы:

- конструкционные;
- инструментальные;
- стали с особыми свойствами.

**По химическому составу** сталь делят на углеродистую и легированную.

В таблицах 1.2, 1.3, 1.4 указано примерное назначение некоторых сталей, применяемых в приборостроении и энергомашиностроении.

По содержанию углерода различают мало- (до 0,25 % C), средне- (0,25...0,6 % C) и высокоуглеродистую (свыше 0,6 % C) сталь.

По степени легирования (т.е. по суммарному количеству легирующих добавок) различают мало- (до 2,5 %), средне- (2,5...10 %) и высоколегированные (более 10 %) стали.

### 1.1. МАРКИРОВКА СТАЛИ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Применяется для изготовления конструкционных деталей неответственного назначения (несущие конструкции радиоприборов, корпусные детали, панели).

Сталь углеродистую обыкновенного качества (ГОСТ 380–94) выпускают следующих марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп.

Структура марки стали обыкновенного качества:

- буквы Ст в марке обозначают "Сталь обыкновенного качества";

– *цифра* после Ст – условный номер марки в зависимости от химического состава стали в ГОСТ 380–94. Иногда после этой цифры может стоять буква Г, означающая легирование стали марганцем до 1,5 % (другие легирующие добавки в сталях обыкновенного качества не используют).

– *маленькие буквы в конце марки – степень раскисления ("кп" – кипящая, "пс" – полуспокойная, "сп" – спокойная);*

Пример: *Сталь Ст4кп* – сталь обыкновенного качества (*неверно* говорить – *обычно!*) № 4 по ГОСТ 380–94, кипящая.

## 1.2. МАРКИРОВКА КАЧЕСТВЕННОЙ СТАЛИ

Этот класс сталей отличается более высокой надежностью, чем сталь обыкновенного качества, и в отличие от высококачественной имеет умеренную цену, поэтому получил наиболее широкое применение в приборостроении (табл. 1.1).

### 1.1. Маркировка легированных сталей

<b>А</b> (внутри марки) <b>а</b> зот	<b>А</b> (в начале марки) <b>а</b> втоматная	<b>А</b> (в конце марки) высоко- качественная	<b>Б</b> ниобий
<b>В</b> <b>в</b> ольфрам	<b>Г</b> марганец	<b>Д</b> Медь	<b>Е</b> селен
<b>К</b> <b>к</b> обальт	<b>Л</b> (в конце марки) <b>л</b> итейная	<b>М</b> <b>м</b> олибден	<b>Н</b> <b>н</b> икель
<b>П</b> ф( <b>пх</b> )осфор	<b>Р</b> (внутри марки) <b>р</b> ор	<b>Р</b> (в начале марки) <b>р</b> апидная (вольфрам)	<b>С</b> <b>с</b> илиций (кремний)
<b>Т</b> <b>т</b> итан	<b>У</b> углеродистая инструментальная в 0,1 % С	<b>Ф</b> в( <b>ф</b> )анадий	<b>Х</b> <b>х</b> ром
<b>Ц</b> <b>ц</b> ирконий	<b>Ч</b> ц( <b>ч</b> )ерий	<b>Ш</b> <b>ш</b> арикоподшип-никовая сталь	<b>Ю</b> <b>ю</b> лий

*Качественную сталь* маркируют содержанием углерода и легирующих элементов. Обычно в стандарте на качественную сталь приводят варианты режимов ее термической обработки и получаемые при этом механические свойства.

*Качественная конструкционная сталь* маркируется содержанием углерода, указанным в сотых долях весового процента (обычно указывают значение, соответствующее середине марочного интервала).

Примеры: *Сталь 08кп* – сталь качественная конструкционная с содержанием **0,08** % углерода, кипящая.

*Сталь 80* – сталь качественная конструкционная с содержанием **0,80** % углерода.

*Качественная инструментальная сталь* маркируется содержанием углерода, указанным в десятых долях процента (обычно указывают значение, соответствующее середине марочного интервала). Углеродистая (нелегированная) *инструментальная сталь* дополнительно маркируется буквой **У**, которая ставится перед числом, обозначающим содержание углерода.

Примеры: *Сталь У8* – сталь качественная инструментальная с содержанием **0,8** % углерода, кипящая.

*Сталь У13* – сталь качественная инструментальная с содержанием **1,3** % углерода.

Иногда трудно различить по назначению легированные стали со сходной маркой. Обычно предельное содержание углерода в инструментальных сталях не превышает 1,3 %. Такие высокоуглеродистые инструментальные стали обычно легируют только хромом.

Пример: *Сталь 11Х, 13Х* – качественные инструментальные стали легированные хромом до 1 % с содержанием углерода **1,1** % и **1,3** %, соответственно.

В некоторых марках легированной *инструментальной стали* в начале марки может быть не указано содержание углерода. В этом случае содержание углерода до 1 %. Это еще один признак *инструментальной стали*.

Пример: *Сталь Х* – сталь качественная инструментальная с содержанием до 1 % углерода, до 1 % хрома.

Содержание легирующих добавок в качественных легированных сталях (и конструкционных, и инструментальных) указывается русской прописной буквой, обозначающей элемент (табл. 1.1), и стоящим после буквы числом, указывающим содержание вещества в весовых процентах (обычно указывают значение, соответствующее середине марочного интервала). Если после буквы, обозначающей легирующий элемент, число не стоит – его содержание менее (до) 1 %.

### 1.2. Примерное назначение конструкционных сталей

Марка	Назначение
Ст1, Ст2	Неответственные корпусные детали (получаемые глубокой вытяжкой или сваркой)
Ст3пс, Ст3кп	Гнутые профили с толщиной листа 1...9 мм, уголки
Ст5пс, Ст5сп	Болты, гайки, ручки, штыри, тяги и др.
08кп, 10	Детали, изготавливаемые холодной штамповкой и холодной высадкой (сложные корпуса, несущие конструкции)
30, 35	Детали, испытывающие небольшие напряжения (оси, шпиндели, звездочки, диски, валы)
40, 45	Детали, от которых требуется повышенная прочность (коленчатые и распредвалы, шатуны, зубчатые венцы и рейки)
50, 55	Зубчатые колеса, прокатные валки, штоки, валы, эксцентрики, малонагруженные пружины и рессоры
60, 70, 80	Детали с высокими прочностными и упругими свойствами (шпиндели, пружинные кольца, пружины амортизаторов)
09Г2, 09Г2С	Для деталей сварных конструкций, изготавливаемых из листов
10ХСНД, 09Г2СЮч	Для деталей ответственных сварных конструкций повышенной прочности
15Х, 15ХФ	Хорошо цементуется. Валы распределительные, толкатели, мелкие детали, работающие в условиях износа при трении
18ХГТ, 20ХГР	Для цементуемых деталей, работающих на больших скоростях при высоких давлениях и ударных нагрузках (зубчатые колеса, шпиндели, кулачковые муфты, втулки и др.)
40Х, 45Х, 50Х	Улучшаемая сталь. Для деталей, работающих на средних скоростях и давлениях (зубчатые колеса, шпиндели в подшипниках качения, червячные валы).
45ХН, 50ХН	Аналогично применению стали 40Х, но для деталей больших размеров
60С2, 60С2А, 65Г	Для рессор из полосовой стали толщиной 3...16 мм и пружинной ленты толщиной 0,08...3 мм; для витых пружин из проволоки диаметром 3...16 мм. Обрабатываются резанием плохо. Максимальная температура эксплуатации 250 °С
50ХФА, 50ХГФА	Для ответственных пружин и рессор, работающих при повышенной температуре (до 300 °С) с многократными переменными нагрузками
65ГСА, 65С2ВА	Для ответственных высоконагруженных пружин и рессор из калиброванной стали и пружинной ленты

### 1.3. Примерное назначение инструментальных сталей

У7, У7А	Для слесарно-монтажных инструментов – молотков, кувалд, бородок, отверток, комбинированных плоскогубцев, острогубцев, боковых кусачек и др.
У8, У8А, У8Г, У8ГА, У9, У9А	Для изготовления инструментов, работающих без разогрева режущей кромки. Для калибров простой формы и пониженных классов точности. Для изготовления плоских и витых пружин и пружинящих деталей сложной конфигурации, мелких конструктивных деталей, в том числе для часов
У10, У10А, У11, У11А	Для штампов холодной штамповки небольших размеров и без резких переходов по сечению. Для калибров простой формы и пониженных классов точности. Для накатных роликов, напильников, шаберов слесарных и др.
У13, У13А	Для инструментов с пониженной износостойкостью при умеренных и значительных удельных давлениях (без разогрева режущей кромки); напильников, бритвенных лезвий и ножей, острых хирургических инструментов, шаберов, гравировальных инструментов
Х, 9Х18	Измерительные инструменты
ХВГ, Х12М, Х12Ф1	Штампы для холодной штамповки, валки для накатки резьбы
4Х5В2ФС, 4Х5МФС	Штампы для вытяжки, прессования и высадки
5ХНВ, 5ХГСНВ	Молотовые и высадочные штампы
3Х12В12Ф, 2Х12В8К10	Формы для литья железных сплавов
Х6ВФ, 9Х5ВФ	Ножовочные полотна
Р12, Р6М3, Р9	Сверла, протяжки, долбяки, фрезы
Р18, Р14Ф4	Метчики, плашки резьбонарезные, сверла

Исключением являются подшипниковые стали типа ШХ15, в которых содержание хрома указано в десятых долях % (1,5 % Сг).

Примеры: *Сталь 10ХСНД* – сталь качественная конструкционная с содержанием **0,10** % углерода; хрома, кремния, никеля, меди – до 1 % каждого.

*Сталь 18Г2АФ* – сталь качественная конструкционная с содержанием 0,18 % углерода, марганца 2 %, азота и ванадия до 1 % каждого.

*Сталь 9ХС* – сталь качественная инструментальная с содержанием 0,9 % углерода, хрома и кремния до 1 % каждого.

*Сталь ХГ2ВМ* – сталь качественная инструментальная с содержанием до 1 % углерода, марганца 2 %, вольфрама и молибдена до 1 % каждого.

#### 1.4. Примерное назначение коррозионно-стойких сталей и сплавов

Марка	Назначение
20Х13, 08Х13, 25Х13Н2	Для деталей с повышенной пластичностью, подвергающихся ударным нагрузкам и работающих в слабоагрессивных средах. Мартенситная сталь
14Х17Н2, 12Х13	Для различных деталей химической и авиационной промышленности. Феррито-мартенситная сталь
95Х18	Для деталей высокой твердости, работающих в условиях износа. Мартенситная сталь
09Х15Н8Ю, 07Х16Н6	Для высокопрочных изделий, упругих элементов
08Х10Н20Т2	Немагнитная сталь для деталей, работающих в морской воде, аустенитная немагнитная
03Х13АГ19	Для деталей, работающих в слабоагрессивных средах, а также при температурах до –196 °С
12Х18Н10Т, 03Х18Н12	Для сварных конструкций в разных отраслях промышленности, аустенитная немагнитная
15Х18Н12С4ТЮ	Для сварных изделий, работающих в воздушной и агрессивной средах, в концентрированной азотной кислоте
120Г10ФЛ, 130Г14ХМФАЛ	Аустенитная сталь для деталей, работающих в условиях износа с ударом, литейная

Некоторые марки сталей разрабатывали в специализированных отраслях машиностроения. Они имеют отличия от общих принципов маркировки сталей.

Стали, проходящие промышленные испытания, часто маркируют буквами ЭИ или ЭП (завод "Электро-сталь" Московской области), ДИ (завод "Днепроспецсталь"), ЗИ (Златоустовский завод) с соответствующим очередным номером плавки. Здесь буква **И** означает – исследовательская, а буква **П** – пробная. Некоторые удачные по свойствам стали сохраняют свою старую марку в практике.

Примеры: *Сталь 03Х21Н21М (ЗИ35)*

*Сталь 10Х17Н13М3Т (ЭИ 432)*

*Сталь Р7Т (ЭП200)*

*Сталь 10Х13Г18Д (ДИ61)*

Для изготовления подшипников качения разработана группа специальных *шарикоподшипниковых сталей*, которые обозначают буквой **Ш** в начале марки. Высокие требования к чистоте по вредным примесям в этих сталях относят их к категории высококачественных. В таких сталях содержание хрома указано в марке в десятых долях процента (сталь ШХ4, ШХ15, ШХ20СГ).

При высокоскоростном резании металлов широко применяют так называемые *быстрорежущие (рапидные) стали*. Они маркируются буквой **Р** в начале марки. Число, стоящее после этой буквы, обозначает *содержание вольфрама в процентах*. Обычно кроме вольфрама эти стали легированы 4 % хрома и 1 % ванадия (старое название – сталь 18-4-1), но указывать их в характеристике стали не надо.

Пример: *Сталь Р18* – высококачественная (см. ниже) быстрорежущая инструментальная сталь; содержание углерода до 1 %, 18 % вольфрама.

#### 1.3. МАРКИРОВКА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ СТАЛИ

Стали этого класса обладают большой надежностью, сочетанием высокой прочности и стойкости против хрупкого разрушения, комплексом специальных свойств. Это достигается жестким контролем чистоты материала по вредным примесям и введением большого количества легирующих добавок. Они применяются для изготовления ответственных деталей, работающих в жестких условиях эксплуатации.

*Маркировка высококачественных сталей похожа на качественные.*

На высокое качество стали указывает буква **А** в конце марки или высокое суммарное содержание легирующих элементов (более 8...10 %). *Высоколегированная сталь – высококачественная.*

*Примечание:* Если в марке стали очень много букв, обозначающих легирующие элементы, содержание которых до 1 %, – это качественная сталь (экономно легированная сталь 12ГН2МФАЮ).

*Примеры:* **Сталь 90Х4М4Ф2В6Л** – сталь высококачественная конструкционная с содержанием **0,90 %** углерода,

4 % хрома, 4 % молибдена, 2 % ванадия, 6 % вольфрама, литейная.

**Сталь 18Х2Н4ВА** – сталь высококачественная конструкционная с содержанием **0,18 %** углерода, 2 % хрома, 4 % никеля, вольфрама до 1 %.

**Сталь Р18К5Ф2** – высококачественная быстрорежущая инструментальная сталь; содержание углерода до 1 %, 18 % вольфрама, 5 % кобальта, 2 % ванадия.

**Сталь 9Х18** – сталь высококачественная инструментальная с содержанием 0,9 % углерода, 18 % хрома.

#### 1.4. МАРКИРОВКА ОСОБОВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ СТАЛИ

Для получения самого высокого комплекса различных свойств сталь выплавляют из чистых шихтовых материалов в вакуумно-индукционной печи (**ВИП** или **ВИ**). Другой способ – дополнительная очистка для максимального удаления вредных примесей – переплав. Существуют различные методы рафинирования стали: обработка расплавленной стали синтетическим шлаком (**СШ**), вакуумно-дуговой переплав (**ВДП** или **ВД**), электрошлаковый переплав (**ЭШП** или **Ш**) или их сочетание (**ШД**), электронно-лучевой переплав (**ЭЛП**) и плазменно-дуговой переплав (**ПДП**).

В марке особовысококачественной стали после обозначения химического состава через тире указывают тип выплавки или переплава.

*Примеры:* **Сталь 01Х25-ВИ** – сталь особовысококачественная с содержанием 0,01 % углерода, 25 % хрома, вакуумно-индукционной выплавки.

**Сталь ШХ15-ШД** – сталь особовысококачественная подшипниковая с содержанием до 1 % углерода, 1,5 % хрома после электрошлакового переплава с последующим вакуумно-дуговым переплавом.

#### 1.5. МАРКИРОВКА АВТОМАТНОЙ СТАЛИ

Автоматная сталь предназначена для изготовления мелких винтов, гаек, шпилек и других конструктивных деталей неотчетливого назначения или работающих без ударных нагрузок.

Для обеспечения низкой себестоимости этих метизов они должны изготавливаться на металлорежущих станках – *автоматах*, которые устойчиво работают только при обработке охрупченной стали. Для получения хрупкой стружки на этих станках применяют автоматные стали, легированные серой до 0,3 % и фосфором до 0,16 % (обозначаются **А**), селеном (**АЕ**), кальцием (**АЦ**) или свинцом (**АС**).

*Для автоматной стали металлургическое качество не указывают!*

*Примеры:* **Сталь А11** – сталь автоматная с содержанием 0,11 % углерода.

**Сталь АСЦ30ХМ** – сталь автоматная, легированная свинцом и кальцием с содержанием 0,30 % углерода, хрома и молибдена до 1 % каждого.

##### Задание 1

Дать характеристику стали (варианты заданий в табл. 1.5):

1. Прочитать вслух марку стали.
2. Указать металлургическое качество стали.
3. Указать назначение стали.
4. Указать химический состав стали по марке.

#### 1.5. Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Ст3Гпс	Ст3кп	Ст2кп	Ст6сп
20ХР	50Г2	38ХМЮА	40ХФА
12ХГНФАЮ	15Г2СФ	16Г2АФпс	12Г2СМФ
2Х13В8К10	5ХНМ	2Х12В3МФ	6ХНФ
Р6М5	Р12	Р7Т	Р9
14Х17Н2	07Х13АГ20	08Х21Н6М2Т	09Х15Н8Ю
Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8
Ст1сп	Ст6пс	Ст5сп	Ст4пс
50ХГ	20ХГР	50ХГА	45ХН
15ХГ2СФР	14ХГНСФР	12ХГ2СМФ	12ХГНФАЮ
9ХФ	8Х4В4Ф	4Х5В4ФСМ	2Х12В7К5
Р6М3	Р9М4	Р12М3	Р18Ф2



14X18H4Г4Л	12X18H12БЛ	31X19H9МВБТ	15X23H18Л
Вариант 9	Вариант 10	Вариант 11	Вариант 12
Ст1сп	Ст4пс	Ст5Гпс	Ст6пс
60С2ХА	40ХН3А	18ХГТ	40ХС
15ГСМХР	14Х2ГМР	14ГНФБАЮ	09Г2СЮЧ
ХГ3М	У11А	4ХНМ	4Х13
Р14Ф4	Р9Ф5	Р6М5Ф3	Р5М4Ф4
12X18H12M3T	12X25H5TMФЛ	120Г10ФЛ	20X21H46B8PЛ
Вариант 13	Вариант 14	Вариант 15	Вариант 16
Ст2сп	Ст3пс	Ст4пс	Ст3сп
50ХН	85	50ХФА	70
10ХСНД	15ХСНД	15ГФ	09Г2С
Х6ВФ	9Г2Ф	ХВГ	ХВСГ
Р18Ф3	Р14Ф4	Р9Ф5	Р12Ф3
10X18H11БЛ	110Г13ФТЛ	110Г13Х2БРЛ	15X18H22B6M2P
<i>Продолжение табл. 1.5</i>			
Вариант 17	Вариант 18	Вариант 19	Вариант 20
Ст5пс	Ст3кп	Ст3Гсп	Ст6пс
60С2Н2А	70С2ХА	70С3А	65ГС
15Г2АФДпс	12ГН2МФАЮ	12Г2АМФ	15ХСНД
У10А	Х12Ф1	6Х2С	9ХВФ
Р9К10	Р18К5Ф2	Р10К5Ф5	Р12Ф4К5
10X18H9Л	10X18H3Г3Д2Л	130Г14ХМФАЛ	15X18H22B6M2
Вариант 21	Вариант 22	Вариант 23	Вариант 24
Ст2пс	Ст3сп	Ст4кп	Ст4сп
35ХМ	45Г2	50ХГФА	12Х5МА
16Г2АФД	12ГН2МФАЮ	18Г2АФДпс	12ХГН2МБАЮ
7ХГ2ВМ	3Х2В8Ф	У13А	6ХС
Р10М4Ф3К10	Р18Ф2К5	Р18Ф2К8М	Р15Ф2К5
09X16H4БЛ	09X17H3С	10X17H10Г4МБЛ	08X17H34B5T3Ю2P
Вариант 25	Вариант 26	Вариант 27	Вариант 28
Ст1кп	Ст1пс	Ст4кп	Ст0
08кп	38ХА	15ХФ	65С2ВА
15X2ГН2ТА	12ГН2МФАЮ	12Г2СМФЮ	12Г2АМФ
4Х5МС	4Х3ВМФС	9ХФ	4Х5В2ФС
Р10Ф5К5	Р2М8К5	Р14Ф4	Р9Ф5
07X17H16ТЛ	07X18H9Л	08X14H7М	16X18H12C4ТЮЛ

## 2. МАРКИРОВКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цветные металлы и сплавы широко применяются в различных областях промышленности. Так, медь и ее сплавы, обладая высокой электрической проводимостью широко применяется в электротехнике и радиоэлектронной промышленности. Алюминий и его сплавы, имея малый удельный вес и низкое удельное сопротивление используются в авиационной промышленности, приборостроении и др.

Алюминий и медь являются самыми распространенными проводниковыми материалами. Поэтому более подробное описание их свойств, химического состава и маркировки дано в разделе "Проводниковые материалы".

Многообразие цветных металлов и сплавов не позволяет ввести единой системы маркировки. Многие цветные сплавы разрабатывали внутри отдельных отраслей металлургии и машиностроения, поэтому они имеют отличные от других обозначения. Обычно для обозначения отдельных легирующих элементов применяют буквы, приведенные в табл. 2.1. Цифры после буквы обозначают либо содержание элемента в сплаве в весовых процентах, либо условную степень чистоты основного металла. Иногда число в марке представляет просто порядковый номер сплава.

### 2.1. Условные обозначения химических элементов в марках цветных металлов и сплавов

Элемент	Химический символ	Обозначение элемента	Элемент	Химический символ	Обозначение элемента
---------	-------------------	----------------------	---------	-------------------	----------------------

Алюминий	Al	А	Ртуть	Hg	Р
Бериллий	Be	Б	Свинец	Pb	С
Железо	Fe	Ж	Сурьма	Sb	Су
Иридий	Ir	И	Теллур	Te	Те
Кадмий	Cd	Кд	Титан	Ti	Т
Кремний	Si	К	Фосфор	P	Ф
Магний	Mg	Мг	Хром	Cr	Х
Марганец	Mn	Мц	Цинк	Zn	Ц
Медь	Cu	М	Церий	Zr	Цр
Мышьяк	As	Мш	Палладий	Pd	Пд
Никель	Ni	Н	Золото	Au	Зл
Олово	Sn	О	Серебро	Ag	Ср

Удобно изучать маркировку сплавов по группам, связанным с определенным металлом.

## 2.1. СПЛАВЫ АЛЮМИНИЯ

Большинство марок алюминиевых сплавов начинаются с буквы А, обозначающей основной элемент. В табл. 2.2 приведены химический состав и механические свойства алюминиевых сплавов.

### 2.1.1. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые (ГОСТ 4784–74)

Деформируемые сплавы маркируются буквами АД (алюминий деформируемый) и порядковым номером в ГОСТе. В скобках приведено *цифровое обозначение* марки.

#### 2.1.2. Сплавы алюминий-магний-кремний (авиали)

Авиали АД31(1310), АД33 (1330), АД35 (1350), АВ (1340), САВ-1 разработаны в авиационной промышленности (табл. 2.2). Для них характерно сочетание высокой прочности с малой плотностью. Высокая пластичность после закалки облегчает обработку сплавов давлением.



### 2.1.3. Коррозионно-стойкие сплавы (алюминий-магний, алюминий-марганец)

Сплавы относятся к неупрочняемым термообработкой и отличаются высокой пластичностью, свариваемостью и коррозионной стойкостью. Их маркируют содержанием магния в весовых процентах после букв **АМг**. Содержание марганца в сплавах типа **АМц** составляет 1...1,6 %.

Пример: *Сплав АМг2* ГОСТ 4784–74 – алюминиевый сплав с содержанием 2 % магния.

### 2.1.4. Дуралюмины

Сплавы на основе алюминия с добавками меди и магния получили название дуралюминов (происходит от названия германского города Дюрена, в котором было начато промышленное производство этого сплава).

Деформируемые термически упрочняемые (закалка + старение) сплавы. Маркируются буквой **Д** и порядковым номером в ГОСТ 4784–74.

Пример: *Сплав Д16* ГОСТ 4784–74 – дуралюмин № 16.

### 2.1.5. Высокопрочные алюминиевые сплавы

Высокопрочные алюминиевые сплавы маркируют буквой **В** и их порядковым номером в ГОСТ 4784–74.

Пример: *Сплав В95* ГОСТ 4784–74 – высокопрочный алюминиевый сплав № 95.

### 2.1.6. Ковочные сплавы

Сплавы (марки АК4, АК6, АК8) обладают хорошей пластичностью, стойки к образованию трещин при горячей пластической деформации. Отличаются от дуралюминов повышенным содержанием кремния (0,7...1,2 %). Буква **К** означает *ковочный сплав*. **Цифра 4, 6** или **8** после букв **АК** указывает *порядковый номер* сплава в ГОСТе.

Пример: *Сплав АК6* – алюминиевый ковочный сплав № 6 по ГОСТ 4784–74.

*Примечание:* Сплавы типа **АК**, в которых после буквы **К** стоят другие цифры и буквы, относятся к литейным по ГОСТ 1583–89.

Пример: *Сплав АК6М2* – алюминиевый литейный сплав с содержанием 6 % кремния и 2 % меди по ГОСТ 1583–89.

### 2.1.7. Сплавы алюминиевые литейные (ГОСТ 1583–89)

К литейным относятся алюминиевые сплавы с содержанием 6...13 % кремния (силумины), хуже литейные свойства у сплавов с 4...5 % меди или 5...12 % магния с добавкой марганца.

В марке литейных сплавов после буквы **А** стоят буквы, обозначающие легирующие элементы (табл. 2.2), и сразу после них – число весовых процентов данного элемента (середина марочного интервала). До 1989 г. действовала старая маркировка, которая состояла из букв **АЛ** и порядкового номера в стандарте.

*Примечание:* в конце марки могут быть строчные буквы, указывающие на количество примесей в сплаве: **ч** – чистый; **пч** – повышенной чистоты; **оч** – особой чистоты; **р** – рафинированный; **л** – литейный.

*Примеры:* Сплав **АК9пч** ГОСТ 1583–89 – алюминиевый литейный сплав с содержанием 9 % кремния (К9) повышенной чистоты.

Сплав **АМ5** ГОСТ 1583–89 – алюминиевый литейный сплав с содержанием 5 % меди (М5).

## 2.2. СПЛАВЫ МЕДИ

Конструкционные медные сплавы имеют исторически сформировавшиеся названия – латуни и бронзы. Латунями называют медные сплавы, в которых основным легирующим элементом является цинк. Сплавы меди со всеми другими элементами называют – бронзы (табл. 2.3).

Наиболее широкое применение в промышленности, а особенно в электронике, электротехнике, автоматике и других нашли **бронзы** (сплавы меди с оловом, алюминием, бериллием, кремнием и др.) и **латуни** (сплавы меди с цинком).

### 2.2.1. Бронзы

Маркировка бронзы начинается с букв **Бр**. В зависимости от состава, назначения и метода обработки бронзы делят на литейные оловянные (ГОСТ 613–79) и безоловянные (ГОСТ 493–79); обрабатываемые давлением оловянные (ГОСТ 5017–74) и безоловянные (ГОСТ 18175–78).

В марке *литейной бронзы* после обозначения **Бр** стоят буквы, обозначающие легирующие элементы (табл. 2.3), и сразу после них – число весовых процентов данного элемента (середина марочного интервала). Иногда в конце марки стоит буква **Л** (литейная).

*Примеры:* Бронза **БрО5Ц5С5** – литейная бронза с содержанием 5 % олова, 5 % цинка, 5 % свинца, остальное – медь (ГОСТ 613–79).

Бронза **БрА7Мц15Ж3Н2Ц2** – литейная бронза с содержанием 7 % алюминия, 15 % марганца, 3 % железа, 2 % никеля, 2 % цинка, остальное – медь (ГОСТ 493–79).

*Обрабатываемые давлением бронзы* имеют в марке после **Бр** перечень всех букв легирующих элементов (табл. 2.3), входящих в состав сплава. Содержание всех этих элементов (в вес. %) указывается в конце марки через тире в том же порядке, что и указанные легирующие вещества.

*Примеры:* Бронза **БрОЦС4-4-4** – обрабатываемая давлением бронза с содержанием 4 % олова, 4 % цинка, 4 % свинца, остальное – медь (ГОСТ 5017–74).

Бронза **БрАЖНМц9-4-4-1** – обрабатываемая давлением бронза с содержанием 9 % алюминия, 4 % железа, 4 % никеля, 1 % марганца, остальное – медь (ГОСТ 18175–78).

### 2.2.2. Латуни

Маркировка латуней начинается с буквы **Л**. В зависимости от назначения и метода обработки латуни делят на литейные (ГОСТ 17711–80) и обрабатываемые давлением (ГОСТ 15527–70).

В марке латуни, *обрабатываемой давлением*, после буквы **Л** стоит содержание меди в весовых процентах. Затем идет перечень всех букв легирующих элементов (табл. 2.4), входящих в состав сплава. Содержание этих элементов (в вес. %) указывается в конце марки через тире в том же порядке, что и указанные легирующие вещества. Содержание главного легирующего элемента в латуни (*цинк*) получается как *остаток до 100 %*.

*Пример:* Латунь **ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5** – обрабатываемая давлением латунь содержит 75 % меди, легирована 2 % алюминия, 2 % никеля, 0,5 % кремния, 0,5 % марганца, *остальное – цинк* (ГОСТ 15527–70).

В марке *литейной латуни* после буквы **Л** стоит **Ц** и сразу указывается содержание цинка (в весовых %). Далее в таком же порядке приводятся остальные легирующие элементы (табл. 2.4) с их содержанием. *Остальное – медь*.

*Пример:* Латунь **ЛЦ23А6ЖЗМц2** – литейная латунь с содержанием 23 % цинка, 6 % алюминия, 3 % железа, 2 % марганца, *остальное – медь* (ГОСТ 17711–80).

### 2.2.3. Медно-никелевые сплавы

Медно-никелевые сплавы (ГОСТ 492–73) обладают особыми физическими и химическими свойствами (табл. 2.5). Коррозионно-стойкими сплавами являются мельхиоры (система Cu-Ni), нейзильберы (система Cu-Ni-Zn, 5...35 % Ni и 13...45 % Zn) и кундали (система Cu-Ni-Al).

Марка таких сплавов начинается с буквы **М** (медь), затем идут буквы легирующих элементов и в конце в том же порядке среднее содержание этих веществ в весовых процентах.

*Пример:* Сплав **МНМц15-20** – медный сплав с содержанием 15 % никеля и 20 % марганца.

## 2.3. МАГНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

Сплавы магния отличаются низкой плотностью и одним из самых высоких значений удельной прочности ( $\sigma_{0,2}/d = 5,2$ ), что в 1,7 раза выше, чем у железа и в 2,1 раза, чем у алюминия. Поэтому они широко применяются как конструкционные материалы в авиационном приборостроении.

В зависимости от способа переработки различают деформируемые и литейные магниевые сплавы. Деформируемые сплавы (ГОСТ 14957–76) маркируют буквами МА, после которых стоит порядковый номер материала (табл. 2.6). Литейные сплавы (ГОСТ 2856–79) обозначают буквами МЛ и порядковым номером (табл. 2.7).

## 2.4. ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ

Титан и многие титановые сплавы хорошо обрабатывается давлением при нормальных и повышенных температурах, обладает наивысшей удельной прочностью  $\sigma_{0,2}/d = 5,9$  среди других металлов и высокой жаропрочностью.

Благодаря способности к газопоглощению титан нашел применение в приборостроении как геттер в радиолампах.

В зависимости от способа переработки титановые сплавы делят на деформируемые ГОСТ 19807–91 и литейные ТУ 1-92-184–91. Состав, свойства и применение некоторых титановых сплавов приведены в табл. 12, 13.

По фазовому составу, тесно связанному со свойствами, титановые сплавы делят на четыре группы.

**$\alpha$ -сплавы и псевдо- $\alpha$ -сплавы** – система Ti-Al-Mn (ОТ4, ОТ4-0, ОТ4-1, ВТ4, ОТ4-2), Ti-Mo-Zr (сплав АТ2), Ti-Al-Cr-Fe-Si (3, АТ4, АТ6), Ti-Al-Zr-Mo-V (сплавы ВТ20 и ВТ18) и Ti-Al-Zr-Sn-V (сплав ТС5). Высокая технологическая пластичность характерны лишь для ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4, АТ3.

**Сплавы  $\alpha + \beta$**  существенно упрочняются при термообработке (закалка + отпуск или старение). Условно их можно разделить на сплавы средней и высокой прочности и жаропрочные сплавы.

К сплавам средней и высокой прочности относятся системы Ti-Al-V (ВТ6 и его сварной вариант ВТ6С), Ti-Al-V-Mo (высокопрочные ВТ14, литейный ВТ14Л и ВТ16) и сравнительно новые высокопрочные сплавы ВТ22 и ВТ23 (Ti-Al-V-Mo-Cr-Fe).

К жаропрочным относятся сплавы системы Ti-Al-Mo с малыми добавками хрома, железа и кремния (ВТ3-1, литейный ВТ3-1Л), только кремния (ВТ8) или кремния + цирконий (ВТ9 и ВТ9Л). С целью высокой термической стабильности их подвергают отжигу.

**$\beta$ -сплавы** – сильно легированные ВТ15 и ТС6 на основе Ti-Al-Cr-Mo, сильно упрочняемые закалкой с последующим старением.













## Задание 2

Дать характеристику сплава (варианты заданий в табл. 2.10):

1. Прочитать вслух марку сплава.
2. Указать основной металл сплава.
3. Указать назначение или способ обработки сплава.
4. Указать химический состав сплава по марке.

### 2.10. Варианты заданий

Билет 1	Билет 2	Билет 3
А995	А99	А95
АМц	АМцС	Д12
АК12	АК9	АК9ч
М00к	М0к	М00
БрОФ8,0-0,3	БрОФ7-0,2	БрОФ6,5-0,4
Л85	ЛО62-1	ЛС63-3
МНМц43-0,5	МНМц40-0,5	МНЖМц30-1-1
Билет 4	Билет 5	Билет 6
А97	А999	А85
АМг1	АМг2	АМг3
АК9пч	АК7	АК7пч
М00б	М0	М0б
БрО3Ц12С5	БрОЦ4-4-2,5	БрОЦ4-3
ЛЖС58-1-1	ЛС60-2	ЛМц58-2
МН19	МНМц3-12	МНЦС16-29-1,8
Билет 7	Билет 8	Билет 9
А8	А7	А7Е
АМг4	АК4	АМг3
АК10Су	АК21М2,5Н2,5	АК6М2

М006	М1	М0к
БрОФ2-0,25	БрОФ4-0,25	БрОФ6,4-0,15
ЛМцА57-3-1	ЛЖМц59-1-1	ЛК80-3
МНЦС16-29-1,8	МНЦ15-20	МНА13-3

Продолжение табл. 2.10

Билет 10	Билет 11	Билет 12
А5	А5Е	А0
В95	АМг3С	АК6
АК5М	АК8М3ч	АК12ММгН
М00	М00к	М1ф
БрО3Ц7С5Н1	БрО4Ц7С5	БрО4Ц4С17
ЛЦ40Мц3Ж	ЛМш68-0,05	ЛЖС58-1-1
МНА6-1,5	МНЦ15-20	МНА13-3

Билет 13	Билет 14	Билет 15
АД00	АД0	АД1
Д18	АМг6	Д16
АК12М2МгН	АК12М2	АК9М2
М2р	М3	М2
БрО10Ц2	БрО5С25	БрО6Ц6С3
Л80	ЛО90-1	ЛС63-2
МН19	МНМц3-12	МНЦС16-29-1,8

Билет 16	Билет 17	Билет 18
АД	А5	А7Е
В65	АК8	АМг5
АМ5	АМ4,5Кп	АК7Ц9
М1	М1р	М2
БрО8Ц4	БрО10Ф1	БрО10С10
ЛС60-1	ЛО70-1	ЛС64-2
МН19	МНМц3-12	МНЦС16-29-1,8

Билет 19	Билет 20	Билет 21
А97	А85	А999
Д18	Д1	В65
АМг4К1,5М	АМг5Мц	АМг6
М2р	М1ф	М3р
БрА5	БрА7	БрАМц10-2
ЛМш68-0,05	Л68	Л63
МНА13-3	МН19	МНМц3-12

Окончание табл. 2.10

Билет 22	Билет 23	Билет 24
А99	А95	А999
АК6	АМг4	Д12
АМгблч	АЦ4Мг	АМг7
М3	М3р	М1рМ
БрМг0,3	БрБНТ1,9Мг	БрАЖН10-4-4
ЛС59-3	ЛОМш70-1-0,05	ЛАМш77-2-0,05
МНМц43-0,5	МНМц40-0,5	МНЖМц30-1-1

Билет 25	Билет 26	Билет 27
А5	А8	А7
Д16	АД33	Д18
АЦ4Мг	АЦ4Мг	АК7Ц9

МЗр	МЗ	М2
БрКд1	БрМц5	БрБНТ1,9
ЛС74-3	ЛН65-5	ЛАН59-3-2
МНМцС16-29-1,8	МНМц40-0,5	МНЖМц30-1-1
Билет 28	Билет 29	Билет 30
А85	А5Е	А7Е
АД35	АД31	В95
АК7Ц9	АК9Ц6	АК9Ц6
М1р	М1ф	М2р
БрАМц9-2	БрАЖ9-4	БрАЖМц10-3-1,5
Л90	ЛА77-2	ЛАЖ60-1-1
МНА13-3	МН19	МНМц3-12

### 3. МАРКИРОВКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

К полупроводникам относится большая группа материалов с электронной электропроводностью, удельное сопротивление которых при нормальной температуре больше, чем у проводников, но меньше, чем у диэлектриков. Полупроводниковыми свойствами могут обладать как неорганические, так и органические вещества, твердые и жидкие, кристаллические и аморфные, магнитные и немагнитные.

Электропроводность этой группы материалов зависит не только от их природы, но и от интенсивности внешнего энергетического воздействия, природы и концентрации примеси, которую специально вводят в полупроводниковый материал для создания определенного типа и величины проводимости.

Полупроводниковый материал, используемый для изготовления приборов, должен иметь очень высокую степень чистоты. Так, в кремнии (Si) содержание случайных примесей не должно превышать  $1 \cdot 10^{-11}$  %, в германии (Ge) –  $5 \cdot 10^{-9}$  %, в селене (Se) –  $8 \cdot 10^{-3}$  %. Высокая степень чистоты полупроводниковых материалов достигается применением специальных технологий. Наиболее эффективным способом очистки полупроводников от примесей является метод *зонной плавки*.

Воспроизводимость характеристик полупроводниковых приборов во многом зависит от структурного совершенства исходных кристаллов. Поэтому полупроводниковый материал должен иметь монокристаллическую структуру. Наиболее совершенные монокристаллы получают *методом вытягивания из расплава* (метод Чохральского).

Полупроводниковые материалы по химическому составу делят на *простые и сложные*. Свойства полупроводников проявляют 12 химических элементов таблицы Менделеева: германий, кремний, селен, теллур, йод, бор, углерод, фосфор, сера, сурьма, мышьяк, серое олово (простые полупроводники). Свойства некоторых простых полупроводников приведены в табл. 3.1.

Полупроводниковые свойства проявляют и целый ряд органических соединений (нафталин, антрацен, фталоцианин и др.).

#### 3.1. Свойства некоторых простых полупроводников

Свойства	Германий	Кремний	Селен
Атомный номер	32	14	34
Температура плавления, °С	937	1412	218
Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·м	0,47	$2 \cdot 10^3$	–
Собственная концентрация носителей, м <sup>-3</sup>	$2 \cdot 10^{19}$	$2 \cdot 10^{16}$	–
Ширина запрещенной зоны,			
при 0 К	0,74	1,165	2,5
при 300 К	0,65	1,12	2,0

#### 3.1. ПРОСТЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ

В настоящее время промышленность выпускает кремний в виде поликристаллических и монокристаллических слитков. Поликристаллический кремний имеет маркировку КП-1, где К – кремний, П – поликристаллический, 1 – уровень свойств и размеры. Поликристаллический кремний является исходным продуктом для получения монокристаллического легированного кремния.

Промышленность выпускает большое количество разнообразных марок монокристаллического кремния, отличающихся по типу электропроводности, виду легирующих примесей, размерам слитка, величине удельного электросопротивления и другим параметрам.

Например, монокристаллический кремний для полупроводниковых приборов маркируется следующим образом: КДБ 7,5/01-45, где К – кремний, полученный по методу Чохральского, Д – тип электропроводности (дырочный), Б – вид легирующей примеси (бор), 7,5 – номинальное значение электросопротивления (Ом·см), 0,1 – диффузионная длина неосновных носителей заряда (0,1 мм), 45 – диаметр слитка (мм).

КЭФ – 0,3/0,1, где Э – тип электропроводности (электронный), Ф – легирующий элемент (фосфор), 0,3 – номинальное значение электросопротивления (Ом·см), 0,1 – диффузионная длина (мм).

Принцип маркировки монокристаллического германия (ГОСТ 16153–80) аналогичен маркировке кремния. Например, ГДГ 0,75/0,5, где Г – германий, Д – тип электропроводности (Э – электронный, Д – дырочный), третья буква – название легирующего элемента (в данном случае галлия). Числитель дроби показывает значение удельного электросопротивления (0,75 Ом·см), знаменатель – диффузионную длину неосновных носителей заряда (0,5 мм).

Примеси элементов V группы вызывают в германии и кремнии преобладание электронного типа проводимости. Такие примеси называют *донорными*.

Для Ge – чаще всего это мышьяк (М) и сурьма (С).

Для Si – это фосфор (Ф) и мышьяк (М).

Примеси элементов III группы вызывают преобладание дырочной проводимости. Такие примеси называют *акцепторными*.

Для Ge – это галлий (Г) и золото (З).

Для Si – это бор (Б) и алюминий (А).

### 3.2. СЛОЖНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ

Полупроводниками являются сложные соединения, включающие два, три и более элемента. Сложные полупроводниковые материалы объединяют по номеру группы периодической системы Д.И. Менделеева, к которой принадлежат компоненты соединения и обозначают буквами латинского алфавита (А – первый компонент, В – второй, С – третий и т.д.). Римские цифры над буквами обозначают группу элементов в периодической системе, а арабские под буквами – стехиометрический коэффициент.

Например, бинарное соединение InP (фосфид индия) обозначается  $A^{III}B^V$ ,  $Bi_2Te_3$  (теллурид вимута) –  $A_2^V B_3^{VI}$ , силицид цинка и фосфора  $ZnSiP_2$  –  $A^{II}B^{IV}C_2^V$ .

Бинарные полупроводники можно разделить на следующие группы:

$A^{III}B^V$  – GaAs, GaP, InAs и др.

$A^{II}B^{VI}$  – CdS, CdSe, ZnSe, ZnS, CdTe и др.

$A^{IV}B^{VI}$  – PbS, PbSe, PbTe и др.

Среди них наибольший научный и практический интерес представляют соединения  $A^{III}B^V$  и  $A^{II}B^{VI}$ , которые являются важнейшими материалами полупроводниковой оптоэлектроники. Свойства основных полупроводниковых соединений типа  $A^{III}B^V$  приведены в табл. 3.2.

#### 3.2.1. Арсенид галлия GaAs

Из всех химических соединений GaAs наиболее широко применяется в производстве полупроводниковых приборов. Это объясняется наличием у него широкой запрещенной зоны ( $\Delta W = 1,43$  эВ) и высокой подвижностью носителей заряда.

Арсенид галлия является основным материалом для производства полупроводниковых лазеров с длиной волны излучения 0,83...0,92 мкм. Его широко используют в СВЧ-технике для изготовления полевых транзисторов с эффектом Шоттки (ПТШ), туннельных диодов, диодов Ганна, интегральных микросхем на ПТШ.

Арсенид галлия, предназначенный для производства полупроводниковых приборов и эпитаксиальных структур выпускают в виде монокристаллов диаметром 18...25 мм и длиной 20...50 мм и более. В обозначении марки GaAs указывают вид материала (АГ – арсенид галлия), способ получения (Ч – по методу Чохральского, Н – методом направленной кристаллизации), вид легирующей примеси (Ц – цинк, О – олово, Т – теллур). К буквенному обозначению добавляют две цифры, из которых первая означает величину концентрации основных носителей заряда, вторая – показатель десятичного порядка этой величины. Например, АГЧЦ – 21-19 (арсенид галлия, полученный методом Чохральского, легирован цинком, марки 2, концентрация основных носителей заряда  $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ).

#### 3.2.2. Фосфид галлия

Вследствие большой ширины запрещенной зоны излучательные переходы в фосфиде галлия приходится на видимую часть спектра, что позволяет на основе GaP создавать светодиоды, дающие красное, желтое и зеленое свечение. Высокая термическая и радиационная стойкость позволяет применять его для изготовления солнечных батарей.

Фосфид галлия имеет рабочий температурный предел, равный 1000 °С. Транзисторы на арсениде галлия, в которых эмиттеры изготовлены из фосфида галлия, имеют больший выход по мощности, чем транзисторы на германии.

Фосфид галлия выпускается в виде монокристаллических слитков диаметром 38 и длиной 50 мм, а также дендритных пластин.

Вводя в фосфид галлия легирующие примеси: теллур, цинк, кислород можно получить светодиоды, имеющие разное свечение, что указывается в маркировке фосфида галлия:

Марки ФГЭТ-к/10, ФГЭТ-о/20, ФГЭТК-к/30, ФГДЦ-з – означают ФГ – фосфид галлия; Э, Д – электронный или дырочный тип проводимости; Т, Ц и К – легирующие примеси (теллур, цинк, кислород); к, о и з – цвета свечения материала (красный, оранжевый, зеленый). Цифры в знаменателе показывают минимальную яркость свечения (кД/м<sup>2</sup>).

### 3.2.3. Антимонид индия InSb

Антимонид индия является одним из наиболее изученных и широко применяемых бинарных полупроводников. Технология его получения сравнительно проста. Его достоинством является высокая химическая стойкость в любой атмосфере. Антимонид индия из всех двойных полупроводников имеет самую узкую ширину запрещенной зоны, равной 0,236 эВ при высокой подвижности носителей заряда.

Отличительной особенностью InSb является очень малое время жизни неосновных носителей заряда, равное 0,36 мкс. Только на антимониде индия изготавливают диоды, работающие при низких температурах. Кроме того, он является одним из основных материалов для датчиков инфракрасного излучения.

Промышленность выпускает антимонид индия в виде монокристаллических слитков марок: ИСЭ, ИСЭТ, ИСДГ, ИСДЦ, где ИС – индий сурьмянистый; Э и Д – тип проводимости (электронный и дырочный); Т, Г, Ц – легирующая примесь – теллур, галлий, цинк.

### 3.2. Основные свойства соединений типа $A^{III}B^V$

Полупроводник	Ширина запрещенной зоны, эВ	Подвижность электронов/дырок, м <sup>2</sup> /(В·с)	Постоянная решетки, ×10, нм	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
GaAs	1,43	0,95/0,045	5,653	1238	5320
GaP	2,26	0,019/0,012	5,451	1467	4070
InSb	0,18	7,8/0,075	6,479	525	5780

## 4. МАРКИРОВКА МАТЕРИАЛОВ С ОСОБЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Для материалов, проводящих электрический ток, основной характеристикой является удельное электросопротивление  $\rho$ . По значению удельного электросопротивления металлические проводниковые материалы можно разделить на две основные группы: металлы высокой проводимости, у которых  $\rho$  при нормальной температуре составляет не более 0,05 мкОм·м и металлы и сплавы высокого сопротивления, имеющие при тех же условиях  $\rho$  не менее 0,3 мкОм·м.

### 4.1. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Проводниковые материалы первой группы применяются в основном для изготовления обмоточных и монтажных проводов, жил кабелей различного назначения, шин и т.д. Проводниковые материалы второй группы используются при производстве резисторов, электронагревательных приборов, нитей ламп накаливания и т.п.

Особую группу составляют криопроводники и сверхпроводники – материалы, которые обладают ничтожно малым удельным электрическим сопротивлением при температурах, близких к абсолютному нулю.

Наиболее широкое применение среди металлов первой группы нашли серебро, медь и алюминий.

#### 4.1.1. Серебро

Серебро – среди всех проводниковых материалов обладает минимальным удельным сопротивлением при нормальной температуре (табл. 4.1). Высокие механические свойства серебра позволяют изготавливать из него проводники различного диаметра вплоть до микропроводов диаметром до 20 мкм и менее.

Особенностью серебра является его способность образовывать при вжигании или напылении прочные покрытия на диэлектриках. Это свойство серебра широко используют в производстве слюдяных и керамических конденсаторов.

В соответствии с ГОСТ 6836–80 серебро, имеющее марку Ср999-999,9, должно содержать не более 0,1 % примесей. По сравнению с другими благородными металлами (золотом и платиной) серебро имеет пониженную химическую стойкость и имеет тенденцию диффундировать в материал подложки, на которой оно нанесено. Также к недостаткам серебра следует отнести его способность легко образовывать пленки сернистых соединений, имеющих повышенное удельное сопротивление, что делает необходимым применять защиту путем покрытия лаками или тонкими слоями более стойкого металла, например, палладия.

### 4.1. Основные характеристики проводниковых материалов



Металл	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	ТК удельного сопротивления
Серебро	961,0	10 500	0,016	40
Медь	1083,0	8940	0,017	43
Алюминий	657,0	2700	0,028	42
Золото	1063,0	19 300	0,024	38
Железо	1539,0	7870	0,098	60

Серебро широко применяется в электротехнике и электронике, а именно: при производстве высокочастотных кабелей, работающих в диапазоне высоких частот, для защиты медных проводников от окисления при температурах выше 250 °С, для изготовления электродов в производстве слюдяных конденсаторов, при изготовлении и применении контактов и т.д.

#### 4.1.2. Медь (ГОСТ 859–78)

Медь по электропроводности уступает только серебру. Она обладает достаточно высокой механической прочностью и стойкостью к коррозии. При этом медь легко протягивается в проволоку малого диаметра (до 0,001 мм) и легко прокатывается в листы, ленту и фольгу (до 0,005 мм), хорошо паяется.

При холодной прокатке и волочении получают *твердотянутую* медь (МТ), которая благодаря наклепу приобретает повышенную твердость, упругость, предел прочности на разрыв, но при этом возрастает удельное сопротивление. Медь марки МТ применяют там, где требуется обеспечить высокую прочность, твердость и сопротивление истиранию. Например, для изготовления контактных проводов электрифицированного транспорта, коллекторных пластин, электрических машин, шин для распределительных устройств и т.п.

После отжига получают мягкую *отожженную* медь (ММ). Мягкую медь в виде проволоки различного диаметра и профиля используют в качестве токопроводящих жил (одно- и многожильных), кабелей, монтажных и обмоточных проводов и т.д. Круглую проволоку марок МТ и ММ изготавливают диаметром от 0,02 до 10 мм.

Ленточную медь широко используют для экранирования кабелей связи и радиочастотных кабелей.

Буквой **М** в начале марки обозначают чистую медь и медно-никелевые прецизионные сплавы. После обозначения марки указывают способ изготовления меди: **к**, **ку** – катодная, **б** – бескислородная, **р** и **ф** – раскисленная, **у** – катодная переплавленная. Чистоту меди обозначают числом, стоящим после буквы **М**. Чем меньше число, тем более чистый металл (00 – высокочистая; 0 – чистая; 1, 2, 3 – технически чистая). Строчные буквы в конце марки обозначают технологию обработки металла: **к** – катодная; **б** – бескислородная; **р**, **ф** – раскисленная.

Пример: *Медь М1к* – медь технически чистая № 1 по ГОСТ 859–78 катодная Г.

Существует множество марок меди (МВЧк, М00к, М0ку, М0к, М1к, М00б, М0б, М1б, М1у, М1, М1р, М1ф и др.), отличающихся химическим составом (табл. 4.2).

#### 4.2. Химический состав и маркировка основных марок меди

Марка меди	М00	М0	М1	М1р	М2	М2р	М3	М3р
Содержание меди, % не менее	99,99	99,95	99,90	99,90	99,70	99,70	99,50	99,50

Максимальное содержание меди имеют марки М00к и М00б.

Медь марок М1ф и М1р из-за повышенного содержания в них фосфора, снижающего электропроводность, для изготовления проводов не используется. Она чаще всего используется для некоторых типов кабельной продукции, например, некоторых видов лент. Медь марок М1р, М2р и М3р при суммарном содержании примесей, одинаковом с медью марок М1, М2 и М3, отличается от них тем, что содержание кислорода в них снижено до 0,01 % вместо 0,05...0,08 %. Кроме того, в них дополнительно содержится до 0,04 % фосфора. Марка М0б кислорода не содержит совсем, тогда как в марке М0 он может быть в количестве до 0,02 %. Примеси, входящие в состав меди можно разделить на три группы:

*Никель, цинк, сурьма, олово, алюминий, мышьяк, железо, фосфор и др.* образуют с медью твердые растворы. Они, особенно сурьма и мышьяк, резко снижают электропроводность и теплопроводность меди, поэтому для проводников тока применяют медь М0 и М1, содержащую не более 0,002 Sb и не более 0,002 As.

*Свинец, висмут и другие* – практически не растворимы в меди. Эти примеси оказывают небольшое влияние на электропроводность.

*Кислород и сера* – образуют с медью хрупкие химические соединения. Кислород, находясь в растворе, уменьшает электропроводность. Сера улучшает обрабатываемость меди резанием, а кислород, если он присутствует в меди, образует закись меди и вызывает "водородную болезнь" которая приводит к значительной потере прочности.

#### 4.1.3. Алюминий

Алюминий – металл, занимающий второе место по значению (после меди) среди проводниковых материалов благодаря комплексу его механических и электрических свойств.

Алюминий легок, его плотность  $2,7 \text{ г/см}^3$  – почти в 3 раза меньше, чем у стали, и в 3,3 раза меньше, чем у меди. А электропроводность алюминия лишь на одну треть уступает электропроводности меди. Эти обстоятельства и тот факт, что алюминий стал значительно дешевле меди (в наши дни – примерно в 2,5 раза), послужили причиной массового использования алюминия в проводах и вообще в электротехнике.

Высокая теплопроводность в сочетании с более чем удовлетворительной химической стойкостью сделали алюминий перспективным материалом для теплообменников и других аппаратов химической промышленности, домашних холодильников, радиаторов автомобилей и тракторов. Высокая отражательная способность алюминия оказалась очень кстати при изготовлении на его основе мощных рефлекторов, больших телевизионных экранов, зеркал. Малый захват нейтронов сделал алюминий одним из важнейших металлов атомной техники.

Все эти многочисленные достоинства алюминия становятся еще более весомыми оттого, что этот металл в высшей степени технологичен. Он прекрасно обрабатывается давлением – прокаткой, прессованием, штамповкой, ковкой, но при этом алюминий малопрочен. Предел прочности чистого алюминия – всего  $6...8 \text{ кг/мм}^2$ , и если бы не его способность образовывать намного более прочные сплавы, вряд бы алюминий стал одним из важнейших металлов XX века.

#### *Алюминий первичный (ГОСТ 11069–74)*

Первичный алюминий маркируется буквой А, после которой указывается чистота материала в виде дробной части содержания основного металла в весовых %: особой чистоты (**осч**) – А999; высокой чистоты (**вч**) – А995, А99, А97, А95 и технически чистый – А85, А8, А7, А7Е, А5, А5Е, А0. Если в конце марки стоит буква Е – металл предназначен для получения проволоки, если стоит буква Р – рафинированный.

Примеры: *Алюминий А995* – первичный алюминий с содержанием основного металла 99,995 %.  
*Алюминий А7Е* – первичный алюминий с содержанием основного металла 99,7 % для проволоки.

#### *Алюминий технически чистый*

Маркируется – АД00 (1010), АД0 (1011), АД1(1013) АД(1015). Если после марки стоит буква Ш – металл для изготовления пищевой посуды.

Пример: *Алюминий АДШ* – алюминий деформируемый технически чистый пищевого назначения.

### **4.1.4. Криопроводники**

Среди материалов высокой проводимости особое место занимают *криопроводники* – металлические проводники, удельное сопротивление которых при охлаждении снижается плавно, без скачков, и при криогенных температурах (при  $T < -195 \text{ }^\circ\text{C}$ ) становится на несколько десятичных порядков ниже, чем при нормальной температуре. При очень низких температурах удельное сопротивление, вызванное рассеянием электронов на тепловых колебаниях кристаллической решетки, становится пренебрежимо малым, и сопротивление в основном обуславливается искажениями решетки, вызванными наличием примесей и наклепа. Поэтому металлы, применяемые в качестве криопроводников должны быть отожженными и иметь высокую степень чистоты.

При температуре жидкого водорода ( $-252,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ) наиболее эффективными в качестве криопроводников являются особо чистые Cu и Al, а при температуре жидкого азота – технически чистый Ве (примесей не более 0,1 %). Однако бериллий высокотоксичен и дорог, малотехнологичен и имеет сильновыраженный магниторезистивный эффект, поэтому в качестве криопроводника чаще всего используют алюминий, например, марки А999. При температуре жидкого гелия ( $-269 \text{ }^\circ\text{C}$ ) имеет удельное сопротивление не более  $(1...2) \cdot 10^{-12} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Криопроводники применяют в основном для изготовления проводов и кабелей, работающих при температурах жидкого водорода ( $-252,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ), неона ( $-245,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ) или азота ( $-195,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

### **4.1.5. Сверхпроводники**

Явление *сверхпроводимости* было обнаружено голландским ученым Г. Камерлинг–Онессом в 1911 г. Он установил, что при температуре жидкого гелия (4,2 К) сопротивление ртути скачкообразно падает до нуля. В настоящее время в сверхпроводниковое состояние переведены 39 химических элементов, в том числе 33 металла (табл. 4.3) и больше тысячи различных сплавов и химических соединений. Еще 13 элементов проявляют сверхпроводящие свойства при высоких давлениях. Среди них такие полупроводники, как кремний, германий, селен, теллур, сурьма и др.

Кроме чистых металлов сверхпроводимостью обладают многие интерметаллические соединения и сплавы (табл. 4.4).

## **4.3. Основные физические свойства некоторых чистых металлов**

Металл	Химический символ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура плавления, °С	ТКЛР × 10 <sup>6</sup> , К <sup>-1</sup>	Удельное сопротивление, мкОм·м	Температура перехода в сверхпроводящее состояние, К
Алюминий	Al	2700	660	21	0,028	1,2
Бериллий	Be	1840	1280	12,0	0,041	0,03
Ванадий	V	6110	1900	8,3	0,248	5,13
Вольфрам	W	19 300	3380	4,4	0,055	0,01
Галлий	Ga	5920	30	18,1	0,136	1,09
Гафний	Hf	13 290	2220	5,9	0,351	0,35
Индий	In	730	156	28,4	0,090	3,41
Иридий	Ir	22 400	2410	6,5	0,054	0,14
Кадмий	Cd	8650	321	29,0	0,074	0,52
Молибден	Mo	10 200	2620	5,3	0,05	0,93
Ниобий	Nb	8570	2470	7,2	0,15	9,2
Олово	Sn	7290	232	23,0	0,113	3,72
Осмий	Os	22 500	3000	4,6	0,095	0,71
Рений	Re	21 020	3180	6,7	0,214	1,7
Ртуть	Hg	13 500	-39	182,0	0,958	4,15
Рутений	Ru	12 400	2250	9,1	0,075	0,47
Свинец	Pb	11 340	327	28,3	0,190	7,2
Тантал	Ta	16 600	3000	6,6	0,124	4,5
Титан	Ti	4520	1670	8,1	0,47	0,39
Торий	Th	11 600	1750	11,5	0,13	1,37
Цинк	Zn	7140	419	30	0,059	0,88
Цирконий	Zr	650	1855	6,3	0,41	0,55

В конце 1980-х гг. были получены принципиально новые сверхпроводящие материалы на основе керамики. В настоящее время известно несколько высокотемпературных сверхпроводящих керамик с общими формулами: лантановая керамика  $(La_{1-x} \cdot Ba)_2CuO_{1-y}$  с  $T_{кр} = 56$  К, иттриевая  $(Y-Ba-Cu-O)$  с  $T_{кр} = 91$  К, висмутовая  $(Bi-Sr-Ca-O)$  с  $T_{кр} = 115$  К, таллиевая  $(Tl-Ba-Ca-Cu-O)$  с  $T_{кр} = 119$  К. Максимальной  $T_{кр} = 135$  К обладает ртутная керамика.

#### 4.4. Основные сверхпроводящие сплавы и их параметры

Материал	Кристаллическая структура	Критическая температура $T_c$ , К	Верхнее критическое поле $H_{c2}$ , Тл	Глубина проникновения, нм	Плотность тока распаривания при $T = 4,2$ К, А/см <sup>2</sup>	Плотность критического тока, А/см <sup>2</sup>	Сопротивление при $T = T_c$ , мкОм·см
NbTi (47 % Nb)	Объемноцентрированная кубическая	9	12 (4 К)	240	$3,6 \times 10^7$	$4 \times 10^5$ (5 Тл)	60
Nb <sub>3</sub> Sn	A15 кубическая	18	27 (4 К)	65	$7,7 \times 10^8$	$\sim 10^6$	5
MgB <sub>2</sub>	P6/mmm гексагональная	39	15 (4 К)	140	$7,7 \times 10^7$	$\sim 10^6$	0,4
YBCO	Орторомбическая, слоистый перовскит	92	> 100 (4 К)	150	$3 \times 10^8$	$\sim 10^7$	~40...60

Bi-2223	Тетрагональная, слоистый перовскит	108	> 100 (4 К)	150	$3 \times 10^8$	$\sim 10^6$	$\sim 150 \dots 800$
---------	------------------------------------	-----	-------------	-----	-----------------	-------------	----------------------

В настоящее время разрабатываются новые материалы, обладающие большей плотностью тока и более высокой температурой перехода в сверхпроводящее состояние. Большие возможности здесь открывает нанотехнология. Работы в этом направлении уже ведутся: получены сверхпроводники с температурой перехода в сверхпроводящее состояние до 160 К.

#### 4.2. СПЛАВЫ С ВЫСОКИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Сплавы для электронагревательных элементов печей длительно работают на воздухе при высоких температурах (до 1000...1200 °С), поэтому должны обладать высоким удельным сопротивлением  $\rho$  и иметь высокую окалиностойкость. К таким сплавам относятся нихромы типа Х20Н80 и хромали 0ХЭ3Ю5А.

При использовании сплавов для электроизмерительных приборов и образцовых резисторов помимо высокого удельного сопротивления требуются также высокая стабильность значения  $\rho$  во времени, малый температурный коэффициент электросопротивления и малый коэффициент термоЭДС в паре сплава с медью.

Например, марганец МНМц 3-12, широко применяемый для изготовления образцовых резисторов, имеет температурный коэффициент электросопротивления весьма малый (порядка  $0,3 \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$ , коэффициент термоЭДС в паре с медью всего лишь 15 мкВ/°С. В то же время нихром Х15Н60 имеет соответственно температурный коэффициент  $1,5 \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$  и коэффициент термоЭДС 15 мкВ/°С. Назначение и основные характеристики сплавов с высоким удельным сопротивлением приведены в табл. 4.5, 4.6 и 4.7.

Кроме того, для многих случаев применения требуется технологичность сплавов – возможность изготовления из них тонкой гибкой проволоки (диаметром до 0,02 мм).

#### 4.5. Назначение и характеристика сплавов с высоким удельным электрическим сопротивлением

Сплав	$\rho$ при 20 °С, Ом·мм <sup>2</sup> /м	Оптимальная рабочая температура, °С	Назначение сплава
Х13Ю4 фехраль	1,18...1,34	900	Нагревательные приборы и реостаты
Х27Ю5Т	1,37...1,47	1250	Высокотемпературные печи
Х15Н60	1,04...1,16	950	Нагревательные приборы и реостаты
Х25Н60	0,85...0,96	900	Нагревательные приборы и реостаты, повышенная окалиностойкость
Х20Н80 нихром	1,03...1,15	1050	Нагревательные приборы и реостаты, микропровода для приборов

#### 4.6. Назначение и характеристика сплавов с заданным электрическим сопротивлением

Сплав	$\rho$ при 20 °С, Ом·мм <sup>2</sup> /м	Оптимальная рабочая температура, °С	Назначение сплава
Х20Н80-ВИ Х15Н60-ВИ	–	–50...+60	Высокое удельное сопротивление – используется в ответственных соединениях электровакуумной техники
Н50К10	–	20...500	Термодатчики и термочувствительные элементы
Манганин МНМц 3-12	0,42...0,48	200	Шунты и добавочные сопротивления высокоточных приборов
Константан МНМц 40-1,5	0,48...0,52	450	Реостаты, потенциометры, особо ответственные обогревательные устройства

**4.7. Химический состав, %, некоторых сплавов  
с высоким удельным сопротивлением (остальное – Fe)**

Сплав	C	Mn	Si	Cr	Ni	Al
X13Ю4	0,15	0,7	1,0	12,0...15,0	Не более 0,6	3,5...5,5
X27Ю5Г	0,05	0,3	0,6	26,0...28,0	Не более 0,6	5,0...5,8
X15Н60	0,15	1,5	0,4...1,5	15,0...18,0	55...61	Не более 0,2
X20Н80	0,15	0,7	0,4...1,5	20,0...23,0	Остальное	Не более 0,1
X20Н80-ВИ	0,06	0,3	0,4	20...23	Основа	Не более 0,1
Н50К10	0,03	0,3	0,15	–	50...52	–

**5. МАРКИРОВКА СПЛАВОВ С ОСОБЫМИ ТЕПЛОВЫМИ И  
УПРУГИМИ СВОЙСТВАМИ**

В приборостроении применяют сплавы, соединяемые с диэлектриками – стеклом, керамикой, слюдой, сапфиром и др. Эти сплавы должны иметь: 1) температуру плавления выше температуры их соединения с диэлектриками; 2) коэффициенты теплового расширения, близкие к коэффициентам теплового расширения стекла, керамики и других диэлектриков при температурах 20...500 °С для спаев со стеклом и до 900 °С для спаев с керамикой; 3) адгезия между стеклом и металлом должна сохраняться при всех технологических операциях; 4) прочные соединения припайки и сварки с другими металлами.

Из многих сплавов с заданными температурными коэффициентами линейного расширения наибольшее применение находят железоникелевые сплавы, в которых в зависимости от химического состава коэффициенты линейного расширения могут изменяться в широких пределах ( $1...22 \cdot 10^{-6}$  1/град).

Причиной постоянства температурного коэффициента линейного расширения являются возникающие в Fe-Ni сплавах магнитоупругие явления. К ним относятся сплавы с малым и заданным коэффициентом линейного расширения.

Маркировка сплавов с особыми свойствами аналогична структуре марки прецизионных сплавов.

**5.1. СПЛАВЫ С ЗАДАННЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ  
(ГОСТ 14082–78)**

С заданным температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) в зависимости от их магнитных свойств можно разделить на две основные группы: ферромагнитные и немагнитные.

**Пример:** **32НКД** – суперинвар, магнитный сплав на основе железа с минимальным значением ТКЛР, содержит 32 % никеля, легирован кобальтом и медью.

Наиболее широко применяют *ферромагнитные сплавы* (двойные и сложнoleгированные на железоникелевой основе). По величине ТКЛР в интервале температур  $\Delta T$  их делят на три группы:

- 1) с минимальным ТКЛР (табл. 5.1);
- 2) с низким ТКЛР (табл. 5.2);
- 3) со средним ТКЛР (табл. 5.3).

*Немагнитные сплавы* с минимальным и низким значением ТКЛР (инварного класса) делают на основе хрома с небольшими добавками 5...6 % Fe, 0,5 % Mn, Re, Ru, Os, Ta, La и др. Они не имеют устоявшейся маркировки.

Немагнитные сплавы со средним значением ТКЛР изготавливают на основе никеля (табл. 5.4), циркония (93ЦТ, ТКЛР =  $6 \cdot 10^{-6}$  K<sup>-1</sup> для -70... +750 °С) и титана (72ТФ, 75ТМ, ТКЛР =  $8...10 \cdot 10^{-6}$  K<sup>-1</sup> для 20...700 °С).

**5.1. Состав и свойства ферромагнитных сплавов  
с минимальным значением ТКЛР**

Сплав	ТКЛР·10 <sup>6</sup> , K <sup>-1</sup>	Химический состав, вес. %				$\Delta T$ , °С	Применение
		Ni	Co	Mn	Другие		
36Н инвар	1,5	35,0... 37,0	–	0,3... 0,6	0,15 Cr	-60... + 100	Точные детали
32НКД супер- инвар	1,0	31,5... 33,0	3,3... 4,2	0,4	0,6... 0,8 Cu	-60... +100	Высокоточные детали
36НХ	1...2	35,0... 37,0	–	0,3... 0,6	0,6 Cr	+20... – 259	Криогенные конст- рукции
35НКТ	3,5	34,0... 35,0	5,0... 6,0	0,2... 0,4	2,2... 2,8 Ti	+20... –60	Нагруженные детали, точные пружины

32НК-ВИ	1,5	31,5... 33,0	3,7... 4,7	0,4	0,2... 0,4 Cu	20... 100	Детали с малой жесткостью формы
---------	-----	-----------------	---------------	-----	------------------	-----------	---------------------------------

### 5.2. Состав и свойства ферромагнитных сплавов с низким значением ТКЛР

Сплав	ТКЛР·10 <sup>6</sup> , К <sup>-1</sup>	Химический состав, вес. %				ΔT, °C	Применение
		Ni	Co	Cu	Cr		
29НК ко-вар	4,5...6,3	28,5... 29,5	17,0... 18,0	–	–	–70... +420	Вакуумные спаи со стеклами
38НКД	7...7,8	37,5... 38,5	4,5... 5,5	4,5... 5,5	–	–60... +400	Вакуумные спаи с сапфиром
47НХ	3...9	46,0... 47,0	–	–	0,7... 1,0	–70... +450	Вакуумные спаи с термическими стеклами
42НА	4,5...5,5	41,5... 43,0	–	–	–	–70... +340	Спаи с керамикой и с тонкими пленками

### 5.3. Состав и свойства ферромагнитных сплавов со средним значением ТКЛР

Сплав	ТКЛР·10 <sup>6</sup> , К <sup>-1</sup>	Химический состав, вес. %			ΔT, °C	Применение
		Ni	Cu	Cr		
47НЗХ	9,5... 10,5	46,0... 48,0	–	0,7... 1,0	–70... +440	Спаи с керамикой и тонкими пленками тугоплавких стекол
47НД	9...11	46,0... 48,0	4,5... 5,5	–	–70... +440	Пружины герконов, соединения с керамикой и слюдой
47НХР	8,6...11	46,0... 48,0	0,04 В	4,5... 6,0	–70... +330	Спаи со стеклами
52Н	11...11,5	51,5... 52,5	–	–	–70... +500	Спаи со стеклами
58Н-ВИ инвар-стабиль	11,5±0,3	57,5... 59,5	–	–	20... 100	Эталоны длины и линейки станков

### 5.4. Состав и свойства немагнитных сплавов на основе никеля со средним значением ТКЛР

Сплав	ТКЛР·10 <sup>6</sup> , К <sup>-1</sup>	Химический состав, вес. %			ΔT, °C	Применение
		Mo	W	Cr		
75НМ-ВИ	12,0... 12,5	24,5... 26,0	–	–	20... 500	Детали методом штамповки и глубокой вытяжки. Вакуум-плотные спаи с Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – керамикой и стеклом в сжатых спаях
80НМВ	12,8... 13,3	9,5... 11,0	10,5... 11,5	–	20... 800	
80НМВХЗ	13,0... 13,5	9,5... 11,0	10,5... 11,5	3,0... 4,0	20... 800	

Немагнитные сплавы с высоким ТКЛР изготавливаются на основе меди 56ДГНХ (ТКЛР = 17...20·10<sup>-6</sup>, К<sup>-1</sup> для 20...700 °С) и марганца 70ГДНХ (ТКЛР = 26,5...28,6·10<sup>-6</sup>, К<sup>-1</sup> для 20...700 °С).

### 5.2. СПЛАВЫ С МАЛЫМ И ПОСТОЯННЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ

Сплавы Fe-Ni, помимо низких значений температурного коэффициента линейного расширения при некоторых концентрациях никеля обладают еще одним свойством – малым температурным коэффициентом модуля упругости.

Во всех металлах и сплавах модуль упругости при нагреве уменьшается в связи с уменьшением энергии межатомных связей. В некоторых же сплавах Fe-Ni наблюдается аномалия в изменении модуля упругости при нагреве, который либо растет, либо изменяется очень незначительно. Эти сплавы называют *инвариными*. Некоторые физико-механические свойства и их применение приведены в табл. 5.5.

В приборостроении материалы с особыми упругими свойствами используют для упругих элементов приборов: мембран, пружин и др. Они должны иметь высокое отношение предела упругости  $\sigma_y$  к модулю упругости  $E$ . Природа этого явления такая же как и природа инвариности ферромагнитного происхождения.

#### *Fe-Ni сплавы*

36НХ (элинвар) имеет недостатки – низкое значение механических характеристик и невысокое значение точки Кюри ( $\approx 100$  °С).

36НХТЮ, 42НХТЮ, 44НХТЮ – применяются для изготовления немагнитных пружин, имеют высокую коррозионную стойкость.

Кроме того, для изготовления упругих элементов приборов применяются бериллиевые бронзы, например: БрБ2 со свойствами  $\sigma_y = 120$  МПа,  $E = 1,09 \times 10^6$  МПа.

Кроме того, к элинварным сплавам относятся безуглеродистые, дисперсионно-твердеющие сплавы – 41НХТА, 42НХТЮ, 44НХТЮ.

### Задание 3

Дать характеристику сплава (варианты заданий в табл. 5.6):

1. Прочитать вслух марку сплава.
2. Назвать основные компоненты, входящие в состав сплава.
3. Указать способ получения и назначение сплава.

#### 5.6. Варианты заданий

Билет 1	Билет 2	Билет 3
КП 1	КДБ 7,5/0,1	КЭФ 0,3/0,1
МТ	ММ	М00
32НКД	36Н	33НК
<i>Продолжение табл. 5.6</i>		
Билет 4	Билет 5	Билет 6
ГДГ 0,75/0,5	ФГЭТ – к/10	ФГЭТ – о/20
М0	М1	М1р
44НХТЮ	36НХ	35НКТ
Билет 7	Билет 8	Билет 9
ФГЭТК – к /30	ФГДЦ – 3	ИСЭ
М2	М2р	М3
32НК-ВИ	29НК	38НКД
Билет 10	Билет 11	Билет 12
ИСЭТ	ИСДГ	ИСДЦ
М3р	А995	А7Е
47НХ	42НА	47НЗХ
Билет 13	Билет 14	Билет 15
АГЧЦ -1-19	АГЧТ -1-10	АГЧО -1 -14
АДШ	Х20Н80	Х23Ю5
47НД	47НХЮ	52Н
Билет 16	Билет 17	Билет 18
ФГЭТ – к/10	КЭФ 0,3/0,1	ФГДЦ – 3
Х27Ю5Т	Х25Н60	Х15Н60
58Н-ВИ	75НМ	80НМВ
Билет 19	Билет 20	Билет 21
КДБ 7,5/0,1	ГДГ 0,75/0,5	ФГЭТК – к /30
НММц 3-12	НММц 40-1,5	Ср.999
56ДГНХ	36НХТЮ	42НХТЮ

## 6. МАРКИРОВКА МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ

Применяемые в радиотехнике магнитные материалы делят на магнитомягкие и магнитотвердые.

### 6.1. МАГНИТОМЯГКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Магнитомягкие материалы используются в качестве сердечников катушек индуктивности и трансформаторов, через которые текут переменные токи. Для увеличения эффективности устройства потери в сердечниках должны быть сведены к минимуму. Поэтому петля гистерезиса магнитомягких материалов должна быть как можно более узкой.

Потери в сердечнике трансформатора складываются не только из потерь на перемагничивание (гистерезисных потерь), но и потерь на токи Фуко (вихревые токи), индуцируемые переменными магнитными полями в проводящих материалах. Поэтому, такие сплавы должны иметь как можно меньшую проводимость.

Магнитомягкие материалы (с малой коэрцитивной силой и высокой магнитной проницаемостью) можно разделить на четыре группы:

- сталь электротехническая тонколистовая и сортовая нелегированная ГОСТ 3836–83 и техническое железо 11036–75;
- сталь электротехническая кремнистая ГОСТ 21427–75 и ГОСТ 21427.4–78;
- сплавы прецизионные магнитомягкие ГОСТ 10160–75 и ГОСТ 10994–74;
- магнитомягкие ферриты (на основе оксида железа).

#### 6.1.1. Сталь электротехническая нелегированная тонколистовая ГОСТ 3836–73

Применяется для магнитопроводов на постоянном токе и переменном токе промышленной частоты (сердечники реле, трансформаторы, электрические машины).

Марку стали обозначают *пятизначным числом*:

- *Первая цифра* в марке указывает способ изготовления: **1** – горячекатаная; **2** – холоднокатаная изотропная.
- *Вторая цифра* (0) указывает низкое содержание кремния (не более 0,03 %). Если вместо нее стоит цифра **1**, сталь изготовляют с нормированным коэффициентом старения (процент увеличения коэрцитивной силы образца после старения).
- *Третья цифра* – **8** определяет основное нормируемое свойство, гарантируемое для стали – коэрцитивную силу  $H_c$ .
- *Четвертая и пятая цифры* читаются вместе и обозначают максимальное значение коэрцитивной силы в А/м.

Свойства нелегированной электротехнической стали приведены в табл. 6.1, 6.2.

**Примеры:** *Электротехническая сталь 10895* – (сталь один-ноль-восемь-девять-пять) горячекатаная нелегированная с гарантией коэрцитивной силы не более 80 А/м.

*Электротехническая сталь 21880* – (сталь два-один-восемь-восемьдесят) холоднокатаная изотропная нелегированная с нормированным коэффициентом старения с гарантией коэрцитивной силы не более 80 А/м.

#### 6.1. Магнитные свойства электротехнической нелегированной стали (ГОСТ 11036–75)

Сталь	$\mu_{\max}$ , МГн/м	$H_c$ , А/м	Магнитная индукция $B$ , Тл, при напряженности поля $H$ , А/м		
			500	1000	2500
10895, 20895 11895, 21895	3,6	95	1,32	1,45	1,54
10880, 20880 11880, 21880	5,0	80	1,36	1,47	1,57
10864, 20864 11864, 21864	5,6	64	1,40	1,50	1,60
10845, 20845	5,0	45,0	–	–	–
20832	6,3	32,0	–	–	–

$\mu_{\max}$  – максимальная магнитная проницаемость сплавов.

#### 6.2. Механические свойства электротехнической нелегированной стали (ГОСТ 11036–75)

Сталь	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	НВ, МПа
	не менее			не более
Горячекатанная	270	24	60	1310
Холоднокатанная	350	4	–	–



### 6.1.2. Сталь электротехническая тонколистовая кремнистая ГОСТ 21427.0–75 и ГОСТ 21427.4–78

Применяют для генераторов, динамомашин, трансформаторов с частотой не выше 25 кГц.

Марку стали обозначают четырехзначным числом по ГОСТ 21427.0–75:

– *Первая цифра* в марке указывает способ изготовления и структурное состояние стали: **1** – горячекатаная изотропная; **2** – холоднокатаная изотропная; **3** – холоднокатаная анизотропная с ребровой текстурой.

– *Вторая цифра* указывает содержание кремния: **0** – до 0,4 % включительно (нелегированная); **1** – свыше 0,4 до 0,8 % вкл.; **2** – свыше 0,8 до 1,8 % вкл.; **3** – свыше 1,8 до 2,8 % вкл.; **4** – свыше 2,8 до 3,8 % вкл.; **5** – свыше 3,8 до 4,8 % вкл.

– *Третья цифра* определяет основное нормируемое свойство, гарантируемое для стали: **0** – удельные потери при индукции 1,7 Т и частоте 50 Гц ( $P_{1,7/50}$ ); **1** – удельные потери при индукции 1,5 Т и частоте 50 Гц ( $P_{1,5/50}$ ); **2** – удельные потери при индукции 1,0 Т и частоте 400 Гц ( $P_{1,0/400}$ ); **6** – магнитная индукция в слабых магнитных полях при напряженности поля  $H = 0,4$  А/м ( $B_{0,4}$ ); **7** – магнитная индукция в средних магнитных полях при напряженности поля  $H = 10$  А/м ( $B_{10}$ ).

*Первые три цифры* в обозначении марки указывают *тип стали*.

– *Четвертая цифра* в марке стали означает *порядковый номер* стали в пределах одного типа.

Коэрцитивная сила всех сплавов данной категории находится в пределах 0,2...0,4 А/см.

Пример: *Электротехническая сталь 3411* – (сталь триста сорок один-один) холоднокатаная анизотропная с ребровой текстурой легированная кремнием от 2,8 до 3,8 % с гарантией удельных потерь при индукции 1,5 тесла и частоте 50 Гц, номер 1.

Назначение и свойства кремнистой электротехнической стали приведены в табл. 6.3 (в скобках приведено старое обозначение марок).

### 6.3. Назначение и свойства кремнистой электротехнической стали по ГОСТ 21427–75\*

Сталь	Удельные потери, Вт/кг		Магнитная индукция (Тл) при напряженности поля $H$	
	$P_{1,5/50}$	$P_{1,0/400}$	0,4 А/м	10 А/м
1571(Э47)	–	–	–	0,03
1561	–	–	0,00022	–
1521	–	19,5	–	–
1211(Э11)	7,7	–	–	–
1511(Э41)	3,5	–	–	–
2011 (Э0100)	8,0	–	–	–
2411(Э31100)	3,6	–	–	–
3411 (Э310)	1,75	–	–	–
3414 (Э330А)	1,10	–	–	–
3421 (Э340)	–	10,0	–	–
3425(Э360АА)	–	7,0	–	–

\* Нормируемые свойства указаны для толщины листа 0,35 мм.

### 6.1.3. Прецизионные магнитомягкие сплавы

Эти сплавы могут быть двойные железо-никелевые с содержанием 40...8 % Ni, железо-кобальтовые и тройные железо-никель-кобальтовые (табл. 6.4 и 6.5). Марки этих сплавов и химические составы устанавливаются по ГОСТ 10994–74.

### 6.4. Основные свойства и назначение прецизионных магнитомягких сплавов (ГОСТ 10с160–76 и 10994–74)

Группа	Марка	Основные свойства и назначение
1	79НМ 50НХС 83НФ 30НХС	Наивысшая магнитная проницаемость в слабых полях. Для сердечников малогабаритных трансформаторов, дросселей и реле, для магнитных экранов. Для сердечников магнитных головок
2	50НХС	Повышенные значения магнитной проницаемости и удельного электросопротивления. Для сердечников импульсных трансформаторов и аппаратуры связи звуковой и высоких частот, работающих без подмагничивания или с небольшим подмагничиванием; для сердечников магнитных головок
3	45Н 50Н	Повышенная магнитная проницаемость и наивысшая индукция насыщения из всей группы железоникелевых сплавов ( $B_s$ не менее 1,6 Тл). Для сердечников межкаскадных и малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей, реле и деталей магнитных цепей, работающих при повышенных индукциях без

		подмагничивания или с небольшим подмагничиванием
4	68НМП 31НКМП 35НКХСП 40НКМП 50НПА	Высокая магнитная проницаемость и индукция насыщения (не менее 1,15...1,5 Тл). Сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса обладают анизотропией магнитных свойств (магнитная текстура). Сплав с кристаллографической текстурой и прямоугольной петлей гистерезиса. Для сердечников магнитных усилителей, коммутирующих дросселей выпрямительных установок
5	27КХ	Высокая магнитная индукция насыщения (2,35 Тл) в средних и сильных полях. Высокая точка Кюри (950 °С). Для роторов и статоров электрических машин и других магнитопроводов, работающих при высоких температурах и механических нагрузках
	49К2Ф  49КФ (пермендюр) 49К2ФА	Высокое магнитное насыщение (2,35 Т), высокая магнитострикция и точка Кюри – 950 °С. Для пакетов ультразвуковых преобразователей телефонных мембран. Для сердечников и полюсных наконечников магнитов и соленоидов. Для трансформаторов, магнитных усилителей, роторов и статоров электрических машин

Окончание табл. 6.4

Группа	Марка	Основные свойства и назначение
6	47НК 47НКХ 64Н	Низкая остаточная магнитная индукция и постоянство магнитной проницаемости в широком интервале полей. Сплавы обладают магнитной текстурой
	40НКМ	Для сердечников катушек постоянной индуктивности, дросселей фильтров, широкополосных трансформаторов

### 6.5. Химический состав и свойства прецизионных магнитомягких сплавов

Сплав	Химический состав, вес. %					Свойства	
	Ni	Mo	Co	Si	Другие элементы	$\mu_n$ , МГ/М	$\mu_{\max}$ , МГ/М
79НМ	78,5... 80,0	3,8... 4,1	–	0,3... 0,5	–	25	150
80НХС	79,0... 81,5	–	–	1,1... 1,5	2,5...3,0 Cr	25	88
50НХС	49,5... 51,0	–	–	1,1... 1,4	3,8...4,2 Cr	3,8	25
50Н	49,0... 50,5	–	–	0,16... 0,30	–	12,5	75
49К2ФА	<0,3	–	48,0... 50,0	<0,15	1,7...2,0 V	–	6,9
64Н	63,0... 65,0	–	–	0,15... 0,30	–	2,5	3,2
36КНМ	21,5... 22,5	2,8... 3,2	35,5... 37,0	<0,40	–	2,7	3,2

$\mu_n$  – начальная магнитная проницаемость;  $\mu_{\max}$  – максимальная магнитная проницаемость сплавов.

Марки прецизионных сплавов начинаются с двухзначного числа, обозначающего среднее содержание главного легирующего элемента в процентах; затем идет буква, обозначающая этот элемент (обычно Никель или Кобальт). После этого идут числа, обозначающие содержание других легирующих добавок, за которыми указывается буква этого элемента. Часто перед буквой не стоит число, но это не значит, что этого элемента меньше 1 % (его может быть 3...5 %). Так делают для упрощения марки прецизионных сплавов.

**Примечание:** Как отличить марку стали, в начале которой обычно указано содержание углерода, от марки прецизионного сплава? Если после числа в начале марки идет буква **Н** или **К** – уверенно можно считать это маркой спецсплава.

Буква **П** (обычно в конце марки) означает, что в результате особой технологии и режима окончательной термической обработки сплав обладает прямоугольной петлей гистерезиса.

Буква **А** означает суженные пределы химического состава (более точный состав).

Буквенные обозначения в конце марки (часто после дефиса) указывают способ выплавки или дополнительной обработки: **ВИ** – вакуумно-индукционный переплав; **ЭЛ** – электронно-лучевой; **ПДП** – плазменно-дуговой; **Ш** – электрошлаковый; **ВД** – вакуумно-дуговой переплав.

**Пример:** Сплав **79НМ** – магнитомягкий сплав на основе железа с содержанием 79 % никеля, легируемый молибденом, суперпермаллой.

#### 6.1.4. Магнитомягкие материалы на основе оксида железа

Для работы при высоких и сверхвысоких частотах используются *ферриты* – магнитные материалы на основе оксида железа III (типа  $\text{MeFe}_2\text{O}_4$  и других оксидов, где  $\text{Me}$  – один или несколько металлов). За счет высокого электрического сопротивления (в  $10^6 \dots 10^{11}$  раз больше, чем у железа) они имеют очень малые потери энергии на перемагничивание, поэтому широко применяются в радиоэлектронике.

### 6.1.5. Ферриты для радиочастот

К магнитомягким ферритам для радиочастотного диапазона (табл. 6.6) относятся никель-цинковые и марганец-цинковые ферриты системы  $\text{NiO-ZnO-Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{MnO-ZnO-Fe}_2\text{O}_3$ , а также литий-цинковые, свинцово-никелевые и другие типы ферритов. Ферриты используют в полях малой и средней напряженности из-за их малой индукции насыщения (0,15...0,7 Тл). Тангенс угла магнитных потерь  $\text{tg } \delta$  изменяется от 0,005 до 0,1. Для ферритов важно значение критической частоты ( $f_{\text{кр}}$ ) – той частоты, при которой  $\text{tg } \delta = 0,1$ . Для низкочастотных ферритов  $f_{\text{кр}} = 0,01 \dots 30$  МГц, а для высокочастотных никель-цинковых ферритов  $f_{\text{кр}} = 25 \dots 250$  МГц. Относительный температурный коэффициент магнитной проницаемости  $\text{TK}_\mu$  сильно зависит от температуры, так как точка Кюри для ферритов относительно низка ( $T_{\text{к}} < 373$  °К), и при температурах, близких к  $T_{\text{к}}$ , магнитная проницаемость и другие свойства резко изменяются.

### 6.6. Свойства радиочастотных ферритов общего применения

Марка	$T_{\text{к}}$ , К (не менее)	$\mu_{\text{н}}$	$f_{\text{кр}}$ , МГц	$\rho$ , Ом·м
20000НМ	383	15 000...25 000	0,005	<0,01
10000НМ	383	8000...15 000	0,05	0,01
6000НМ	383	4800...8000	0,005	0,1
4000НМ	398	3500...4800	0,1	0,5
2000НМ	473	1700...2500	0,5	0,5
1000НМ	343	800...1200	0,1	10
2000НН	473	1800...2400	0,6	0,5
1000НН	383	800...1200	0,4	$10^4$
600НН	383	500...800	1,5	$10^4$
150ВН	673	130...170	25	$10^4$
50ВН	723	40...60	70	$10^4$
7ВН	723	6...8	220	$10^4$

$\mu_{\text{н}}$  – начальная магнитная проницаемость;  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление, Ом·м.

Марки магнитомягких ферритов начинаются с числа, показывающего значение начальной магнитной проницаемости. Далее идет буква, указывающая частотный диапазон применения (**Н** – низкочастотные, **В** – высокочастотные). Вторая буква указывает на химический состав феррита (**М** – марганец-цинковый, **Н** – никель-цинковый). Иногда вместо буквы **Н** в высокочастотных ферритах используют **Ч** (вместо **ВН** стоит **ВЧ**).

Примеры: **20000НМ** – (двадцать тысяч – НМ) магнитомягкий низкочастотный марганец-цинковый феррит на основе оксида железа с начальной магнитной проницаемостью 20 000.

**50ВН** – магнитомягкий высокочастотный никель-цинковый феррит на основе оксида железа с начальной магнитной проницаемостью 50.

### 6.1.6. Магнитомягкие СВЧ-ферриты

СВЧ-ферриты (табл. 6.7) должны отвечать ряду специфических требований:

- высокая активность материала к управляющему полю (возможность управления относительно слабым внешним полем);
- высокое удельное электрическое сопротивление  $\rho$  ( $10^5 \dots 10^{11}$  Ом·м);
- низкий уровень диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta = 10^{-4} \dots 10^{-3}$ , а также магнитных потерь вне области резонанса, что обеспечивает малое затухание сигнала в феррите;
- ширина кривой ферромагнитного резонансного поглощения ( $\Delta H$  меньше 1 кА/м);
- температурная стабильность свойств;
- высокое значение точки Кюри  $T_{\text{к}}$ .

Материалы, полученные на основе магниевого феррита (Mg-Mn-шпинель), предназначены в основном для работы в средней части сантиметрового диапазона.

### 6.7. Свойства СВЧ-ферритов (при 293 К)

Тип феррита	Марка феррита	$\lambda$ , см	$T_K$ , К	$B_s$ , Тл	$H_c$ , А/м	$\mu'$	$\Delta H$ , КА/М (при $\lambda$ , см)	$\rho$ , Ом·м
Иттриевые ферриты-гранаты	10СЧ6	10	553	0,175 0,030	56	100	4,8(10) 4,8(10)	$1,2 \cdot 10^{10}$
	80СЧ	80	393		160	20		$1,6 \cdot 10^{10}$
Литиевый феррит	10СЧ9	10	453	0,070	80	20	15(10)	$3 \cdot 10^8$
Магниевого ферриты	2СЧ1	2	573	0,200	320	20	42 (3)	$5 \cdot 10^4$
	3СЧ6	3	453	0,330	32	80	8 (3)	$1,1 \cdot 10^5$
Никелевые ферриты	1СЧ	1	573	0,450 0,310	200	100	33,5 (3)	$8,2 \cdot 10^4$
	5СЧ	5	623		96	90	11 (3)	$3 \cdot 10^6$
Магниевого ферроалюминаты	8СЧ1	8	553	0,175 0,085	360 160	12	32 (10)	$1,5 \cdot 10^5$
	30СЧ4	30	393			35	8 (10)	$7,2 \cdot 10^8$
Никелевые и магниевого феррохромиты	15СЧ	15	593	0,120 0,085	720	9	36 (10)	$6,8 \cdot 10^4$
	40СЧ	40	363		72	60	7 (10)	$9,7 \cdot 10^6$

$B_s$  – индукция магнитного насыщения (в поле 400...640 кА/м), Тл;  $\mu'$  – магнитная проницаемость при частоте 1,1 МГц;  $\lambda$  – длина СВЧ волны, см.

В длинноволновой части сантиметровых волн применяются магниевого ферроалюминаты (Mg-Al-шпинель) и феррохромиты (Mg-Сг-шпинель), которые характеризуются малыми значениями индукции насыщения и малыми начальными проницаемостями. Некоторые марки этих ферритов имеют низкие значения точки Кюри, что ограничивает их применение при повышенных температурах.

Широко применяются иттриевые феррогранаты (Y-Fe-гранат) с частичным замещением иттрия и железа другими ионами. Они характеризуются малыми магнитными и диэлектрическими потерями. Введение в иттриевый феррогранат ионов алюминия ведет к снижению намагниченности насыщения, ширины линии ферромагнитного резонанса и точки Кюри.

Одна из важнейших особенностей феррогранатов – очень узкая ширина кривой ферромагнитного резонансного поглощения  $\Delta H$ . На тщательно отполированных сферах феррограната может быть достигнута ширина линии ферромагнитного резонанса несколько десятков ампер на метр.

Марки СВЧ-ферритов начинаются с числа, показывающего значение длины электромагнитной волны в сантиметрах. Далее идет буквы СЧ, указывающие частотный диапазон применения. Цифра в конце марки (после СЧ) указывает порядковый номер феррита (иногда она не ставится).

Пример: **30СЧ4** – (тридцать-СЧ-4) СВЧ феррит на основе оксида железа для длины электромагнитной волны 30 см, № 4.

## 6.2. МАГНИТОТВЕРДЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Магнитотвердые материалы разделяют по способу получения и технологии обработки. В соответствии с этим можно указать следующие группы:

1. Литые сплавы на основе Fe-Ni-Al и Fe-Ni-Al-Co, легированные медью, титаном, ниобием и некоторыми другими элементами.
2. Деформируемые магнитотвердые материалы.
3. Порошковые магнитотвердые материалы, получаемые прессованием и спеканием порошков с последующей термообработкой.

В табл. 6.8 представлены сравнительные характеристики современных магнитотвердых сплавов. Наиболее перспективными являются магниты Nd-Fe-B, обладающие высокой энергией и недорогие.

### 6.8. Сравнительные характеристики современных магнитотвердых материалов

Материал	$B_r$ , Тл	$H_c$ , кА/м	$(BH)_{\max}$ , кДж/м <sup>3</sup>	Цена, р. за 1 кг	Цена, р. на единицу $(BH)_{\max}$
Керамика	0,4	140	24	25...70	10...20
Альнико	1,35	110	72	1100...1200	100...120
Sm-Co	1,05	740	160	6000...15000	330...350
Спеченные Nd-Fe-B	1,42	1120	500	2000...4000	40...100

Основными характеристиками магнитотвердого материала являются коэрцитивная сила  $H_c$  (более 4 кА/м), остаточная магнитная индукция  $B_r$ , и магнитная энергия  $(BH)_{\max}$ .

#### 6.2.1. Сплавы магнитотвердые литые для постоянных магнитов (ГОСТ 17809–82)

По ГОСТ 17809–82 выпускаются 25 марок сплавов (табл. 6.9, 6.10). Сплавы Fe-Ni-Al-Co (открыты в 1932 г.) являются важнейшими материалами для постоянных магнитов. Основным недостатком – высокая твердость и хрупкость. Поэтому обрабатываются они лишь шлифованием или электроискровым способом.

Маркировка литых магнитотвердых материалов на основе железа состоит из буквенного обозначения основных легирующих элементов без указания их содержания. После букв **К** (кобальт) и **Т** (повышенное содержание титана) указано их содержание в весовых процентах. Иногда содержание кобальта не указывают и о его количестве можно догадаться по содержанию титана. Буквы в конце марки означают: **А** – столбчатая кристаллическая структура; **АА** – монокристаллическая структура.

Пример: **ЮНДК40Т8АА (ЮНДКТ8АА)** – литой магнитотвердый сплав системы АЛНИКО с содержанием 40 % Со, 8 % Тi; остаточная магнитная индукция 0,9 Тл, коэрцитивная сила 145 кА/м; монокристалл.

### 6.9. Назначение магнитотвердых литых сплавов

Сплавы	Назначение и характеристика
ЮНД4 ЮНД8	Изотропные сплавы для постоянных магнитов с невысокими магнитными свойствами
ЮНДК18 ЮНДК15	Для магнитов с относительно высокими магнитными свойствами без магнитной анизотропии
ЮН13ДК24 ЮН14 ДК24 ЮН15ДК24	Сплавы с высокими магнитными свойствами в направлении магнитной текстуры, имеют широкое применение
ЮН13ДК25БА ЮН14ДК25БА ЮН15ДК25БА ЮН13ДК26А	Для магнитных систем с наименьшими массой и габаритами. Сплавы с направленной кристаллизацией в виде столбчатых кристаллов. Обладают большой магнитной энергией
ЮНДК35Т5	Магнитная анизотропия. Для сильно разомкнутых магнитных систем, когда требуется высокая $H_c$
ЮНДК35Т5АА ЮНДК40Т8АА	Для магнитов с высокими магнитной энергией и коэрцитивной силой в трех взаимно перпендикулярных направлениях (монокристалл)

### 6.10. Химический состав и свойства магнитотвердых литых сплавов

Сплав	Al	Ni	Cu	Со	Другие элементы	$H_c$ , кА/м	$B_r$ , Тл
ЮНД4	14,0	25,0	4	–	0,3Ti	40	0,5
ЮНД8	11,3	28,4	8,2	–	–	44	0,6
ЮНТС	16,0	35	–	–	0,5Ti, 1,5Si	58	0,43
ЮНДК15	9,5	20	4	15	0,3Ti	48	0,75
ЮНДК18	10	19,0	4,0	19,0	–	55	0,9
ЮНДК18С	7,5	15,0	2,0	20,0	0,8Si	44	1,1
ЮН13ДК24С	8,0	13,0	2,5	24,5	0,25Si	36	1,3
ЮН13ДК24	8,5	13,5	3,5	24,5	–	40	1,25
ЮН14ДК24	8,5	13,5	3,5	54,5	–	48	1,20
ЮН15ДК24	8,5	13,5	3,5	24,5	–	52	1,15
ЮН14ДК24Т2	9,0	15,0	4,0	24,5	2,0Ti	60	1,10
ЮН13ДК25А	8,0	13,5	3,5	26,0	–	44	1,4
ЮН14ДК25А	8,5	14,5	4,0	26,0	0,3Ti	52	1,35
ЮН13ДК25БА	8,1	13,0	3,5	26	0,8Nb, 0,6Si	48	1,4
ЮНДК31ТБА	7,2	13,5	3,5	31,5	3,5Ti, 1,5Nb	98	1,15
ЮНДК34Т5	7,2	14,5	4,0	35,0	5,5Ti	92	0,75
ЮНДК35Т5	7,2	14,5	3,7	35,5	5,5Ti	110	0,75
ЮНДК35Т5АА	7,2	14,5	3,5	35,5	5,5Ti	115	1,05
ЮНДК38Т7	7,3	14,0	3,7	40	7,2Ti	135	0,75
ЮНДК40Т8	8,5	14,5	4,0	42	9,0Ti	145	0,70
ЮНДК40Т8АА	7,7	14,5	4,0	40	8,0Ti	145	0,90

### 6.2.2. Магниты системы самарий-кобальт

Самарий-кобальтовые магниты (открыты в 1960 г.) получают методом порошковой металлургии. Это химическое соединение состава  $\text{SmCo}_5$  обладает высокой константой магнитной анизотропии, что позволяет получить большие значения коэрцитивной силы и магнитной энергии.

По ГОСТ 21559–76 выпускают сплавы типа КС37 или КСП37. Буква **К** означает кобальт, **С** – самарий, **П** – празеодим. Число указывает содержание в процентах редкоземельных металлов Sm или Sm + Pr. Остальное – кобальт. Буква **А** в конце марки указывает на повышенные магнитные свойства.

Для улучшения магнитных свойств и температурной стабильности эти сплавы легируют медью (Д), цирконием (Ц) и тяжелыми РЗМ – гадолинием (Гд) и эрбием (Э). При этом получится соединение типа  $R_2T_{17}$  (где R – элементы-лантаноиды, а T – железо, цирконий и т.д.). Для снижения стоимости магнитов вместо дорогостоящего самария частично используют **мишметалл (ММ)** – сплав редкоземельных металлов на основе церия (мишметалл используют в качестве кремня в закигалках). Число после **ММ** указывает содержание мишметалла в весовых %.

После марки через дефис может быть указано значение магнитной энергии  $(BH)_{\max}$ .

Пример: **КСП37А** – самарий-кобальтовый постоянный магнит, содержащий 37 % (самария + празеодима) с повышенными магнитными свойствами  $H_{CB} = 640$  кА/м, остаточная магнитная индукция  $B_r = 0,90$  Тл.

**КС25ДЦ-240** – самарий-кобальтовый постоянный магнит, содержащий 25 % самария и легированный медью и цирконием; максимальная магнитная энергия  $240$  кДж/м<sup>3</sup>  $H_{CB} = 780$  кА/м.

### 6.11. Свойства самарий-кобальтовых магнитов

Обозначение ГОСТ	$(BH)_{\max}$ , кДж/м <sup>3</sup>	$B_r$ , Тл	$H_{CB}^*$ , кА/м	$H_{CJ}$ , кА/м
КММ37	65	0,57	425	630
КС10ММ27	80	0,64	470	720
КС20ММ17	95	0,70	520	960
КС25ММ12	130	0,73	580	1275
КС25ЭГд	90	0,68	510	1030
КС27ЭГд	105	0,72	550	1030
КС37	110	0,77	540	1300
КС37А	127	0,85	620	1194
КС36А	160	0,90	680	1270
КС25ДЦ-150	150	0,90	690	900
КС25ДЦ-175	180	0,95	720	270
КС25ДЦ-190	190	0,98	710	900
КС25ДЦ-210	210	1,02	740	900
КС25ДЦ-225	225	1,06	760	900
КС25ДЦ-240	240	1,10	780	900

\*  $H_{CB}, H_{CJ}$  – коэрцитивная сила, определенная по магнитной индукции и намагниченности, соответственно.

### 6.2.3. Магниты системы неодим-железо-бор

Магниты системы Nd-Fe-B (табл. 6.12) обладают наивысшей магнитной энергией (открыты в 1984 г.), поэтому все шире применяются для изготовления роторов шаговых электродвигателей, приводов дисководов и винчестеров в компьютерах, а также для создания мощных магнитных сепараторов и подъемных устройств.

### 6.12. Свойства постоянных магнитов системы неодим-железо-бор

	$(BH)_{\max}$ , кДж/м <sup>3</sup>	$B_r$ , Тл	$H_{CB}$ , кА/м	$H_{CJ}$ , кА/м	$T_{\max}^*$ , °С
Н30/9,1	223	1,08	780	955	80
Н50/11	376	1,40	835	880	
Н30/9,8	360	1,08	780	1114	100 °С
Н40/11	360	1,26	860	1114	
Н30/9,8	223	1,08	780	1353	120 °С
Н40/12	302	1,24	923	1353	
Н30/9,8	223	1,08	780	1592	150 °С
Н40/12	302	1,24	939	1592	
Н 30/10	223	1,08	812	1990	180 °С
Н35/11	260	1,17	860	1990	
Н26/9,6	191	1,00	764	2388	200 °С
Н30/10	223	1,08	812	2388	
Н28/9,8	207	1,04	780	2706	240°С
Н34/11	255	1,14	836	2706	

\*  $T_{\max}$  – максимальная рабочая температура магнита.

Эти материалы являются химическими соединениями типа  $Nd_2Fe_{14}B$ . Маркировка этих материалов начинается с буквы **Н** (неодим), а затем идет дробь с указанием в числителе максимальной магнитной энергии  $(BH)_{\max}$  в МГс·Э ( $1$  кДж/м<sup>3</sup> =  $0,1256$  МГс·Э), а в знаменателе – коэрцитивной силы  $H_{CB}$  в кЭ ( $1$  кА/м =  $0,1256$  кЭ).

Пример: **Н30/9,8** – постоянный магнит системы неодим-железо-бор с максимальной магнитной энергией не ниже  $30$  МГс·Э [МегаГаусс·эрстед] и коэрцитивной силой не ниже  $9,8$  кЭ.

#### 6.2.4. Деформируемые магнитотвердые материалы

К деформируемым магнитотвердым материалам относятся сплавы системы Fe-Co-V, легированные мартенситные стали, пластически деформируемые сплавы и материалы для магнитных лент.

У деформируемого сплава ниже твердость и лучше обрабатываемость, чем у литого. Повышенная пластичность при высоких температурах позволяет применить горячую вырубку и штамповку заготовок магнитов.

#### 6.2.5. Сплавы систем Fe-Co-V-Cr и Fe-Co-V-Ni

Эти материалы предназначены для изготовления активной части гистерезисных двигателей (табл. 6.13). Эти сплавы имеют заданные параметры частной (в поле максимальной проницаемости) петли гистерезиса. Оптимальные магнитные свойства они получают после холодной пластической деформации и отпуска. Викаллоны 52K10Ф и 52K11Ф (табл. 6.14), кроме этого, используют для получения малогабаритных постоянных магнитов.

#### 6.13. Сплавы систем Fe-Co-V-Cr и Fe-Co-V-Ni

Сплав	Co	Si	Al	Cr	Другие	$H_c$ , кА/м	$B_r$ , Тл
35KX6Ф	34,5... 35,5	–	–	7,5... 8,5	5,5... 6,5 V	2,8...4,4	0,90... 1,14
35KX12	34,5... 35,5	–	–	11,5... 12,5	0,2... 0,4 Mn	2,0...3,2	1,80
28X20КЮ	22,6... 23,4	0,9... 1,1	0,3... 0,6	27,5... 28,5	–	36,0	0,5
25X15КЮБ	14,0... 16,0	0,3... 0,7	0,8... 1,2	23,5... 25,5	0,8... 1,2 Nb	36,0	0,5

Сплавы 35KX4Ф, 35KX6Ф и 35KX8Ф анизотропны, но могут изготавливаться с пониженной анизотропией. Сплавы 25KФМН и 35KФ10Н имеют прямоугольную петлю гистерезиса при изотропности свойств.

Пример: **25X15КЮБ** – магнитотвердый деформируемый сплав на основе железа; 25 % хрома, 15 % кобальта, легирован алюминием и ниобием; коэрцитивная сила 36 кА/м, остаточная индукция 0,5 Тл.

#### 6.14. Сплавы системы Fe-Co-V (ГОСТ 10994–74)

Сплав	Co	V	$H_c$ , кА/м	$B_r$ , Тл
52K10Ф	52...54	9,8...11,2	11,0...16,8	0,80...0,90
52K11Ф	52...54	10,0...11,5	11,0...16,8	0,80...0,90
52K12Ф	52...54	11,6...12,5	18,0...22,0	0,75...0,80
52K13Ф	52...54	12,6...13,5	24,0...27,2	0,60...0,80
52K14Ф	52...54	13,5...14,5	47,0...48,0	0,9...1,0

Проволока из сплава 52K13Ф после специальной термомеханической обработки имеет коэрцитивную силу 32...40 кА/м при индукции 0,8...1,0 Тл.

Пример: **52K10Ф** – магнитотвердый деформируемый сплав на основе железа; викаллоны; легирован 52 % кобальта, 10 % ванадия; коэрцитивная сила 11...16 кА/м, остаточная индукция 0,6...0,8 Тл.

#### 6.2.6. Легированные мартенситные стали

В качестве недорогих постоянных магнитов могут использоваться стали с содержанием углерода до 1 %, легированные хромом, вольфрамом, молибденом и кобальтом (табл. 6.15). Высокую коэрцитивную силу они получают после закалки и низкого отпуска (на структуру мартенсита отпуска) и намагничивания. Марка расшифровывается как у качественных сталей.

#### 6.15. Состав и свойства легированных мартенситных сталей (ГОСТ 8662–71)

Сталь	C	Cr	Co	Ni	Прочие элементы	$H_c$ , кА/м	$B_r$ , Тл
EX3	0,90... 1,10	2,8... 3,6	–	0,3	–	4,77	0,95
EB6	0,68... 0,78	0,3... 0,5	–	0,3	5,2...6,2 W	4,77	1,00
EX5K5	0,90... 1,05	5,5... 6,5	5,5... 6,5	0,6	–	7,16	0,85
EX9K15M2	0,90... 1,05	8,0... 10,0	13,5... 16,5	0,6	1,2...1,7 Mo	11,94	0,80

Пример: **EX9K15M2** – электротехническая магнитотвердая сталь с содержанием углерода до 1 %, хрома 9 %, кобальта 15 %, молибдена 2 %; мартенситная; коэрцитивная сила 12 кА/м, остаточная индукция 0,8 Тл.

Для изготовления штамповкой и резкой мелких магнитов измерительных приборов, стрелок компасов, лент магнитной записи и т.д. применяют магнитотвердый материал в виде лент, листов, проволоки из пластически деформируемых сплавов на основе меди. Например, сплав кунифе (20 % Ni, 60 % Cu) имеет  $H_c = 40$  кА/м,  $B_r = 0,55$  Тл.

### 6.2.7. Магнитотвердые ферриты

Магнитотвердые ферриты (на основе оксида железа III) имеют очень высокую коэрцитивную силу  $H_c$  и низкое значение магнитной индукции  $B_r$  (табл. 6.16). Поэтому их магнитная энергия  $W_{max}$  меньше, чем у лучших сплавов на основе Fe-Ni-Al и Fe-Ni-Co-Al. Важнейшая особенность магнитотвердых ферритов – большое удельное электрическое сопротивление  $10^3 \dots 10^6$  Ом·м, благодаря чему они используются для работы при высоких частотах и нашли широкое применение в радиоэлектронике. Наибольшее распространение получили магнитотвердые ферриты: бариевый  $BaO \cdot 6Fe_2O_3$  (ферроксдюр), стронциевый  $SrO \cdot 6Fe_2O_3$  и кобальтовый  $CoO \cdot 6Fe_2O_3$ .

#### 6.16. Свойства магнитотвердых ферритов

Марка материала	$W_{max}$ , кДж/м <sup>3</sup>	Феррит	$H_c$ , кА/м	$B_r$ , Тл
4БИ145	4,0	Бариевый	145	0,17
7БИ300	7,0	Бариевый	300	0,20
15БА300	15,0	Бариевый	300	0,30
28БА190	28,0	Бариевый	190	0,39
21СА320	21,0	Стронциевый	320	0,34
28СА250	28,0	Стронциевый	250	0,39
11КА135	11,0	Кобальтовый	135	0,24
14КА135	14,0	Кобальтовый	135	0,28

Большое преимущество бариевых магнитотвердых ферритов в том, что они не содержат дефицитных и дорогих материалов, и примерно в 10 раз дешевле магнитов из сплава ЮНДК24. Недостатки их – плохие механические свойства (высокая хрупкость и твердость) и большая температурная нестабильность параметров. Так, значение температурного коэффициента  $TKB_r$  бариевых ферритов в интервале температур 203...473 К примерно  $2 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ , т.е. в 10 раз больше, чем у литых магнитов.

Марки магнитотвердых ферритов начинаются с числа, показывающего значение магнитной энергии в кДж/м<sup>3</sup>. Далее идет буква, указывающая главный легирующий оксид. Вторая буква указывает наличие магнитной анизотропии: **И** – изотропные, **А** – анизотропные. Число в конце марки указывает значение коэрцитивной силы в кА/м.

Пример: **28СА250** – (двадцать восемь-С-А-двести пятьдесят) магнитотвердый феррит, стронциевый, анизотропный, с магнитной энергией 28 кДж/м<sup>3</sup>, коэрцитивная сила 250 кА/м.

### Задание 4

Дать характеристику магнитного сплава (варианты заданий в табл. 6.17):

1. Прочитать вслух марку сплава.
2. Указать группу материалов по величине коэрцитивной силы и частоте изменения магнитного поля.
3. Указать основу сплава и его химический состав по марке.
4. Указать нормируемые магнитные свойства.

#### 6.17. Варианты задания

Билет 1	Билет 2	Билет 3	Билет 4
Сталь 21880	Сталь 20895	Сталь 21864	Сталь 10864
Сталь 3421	Сталь 3416	Сталь 2311	Сталь 1521
50НП	80НХС	40НКМП	64Н
49К2Ф-ВИ	50КФ	50КФ	30ХК25
700НМ	80СЧ	10СЧ6	100ВЧ
14КА135	7БИ300	28БА190	7БИ300
ЮНДК35Т5АА	ЮНТС	ЮНДК15И	ЮНДК40Т8
Н50/11	КММ37	КС10ММ27	Н30/9,8



Сталь ЕХ9К15М2	Сталь ЕХ5К5	Сталь ЕХ9К15М2	Сталь ЕВ6
Билет 5	Билет 6	Билет 7	Билет 8
Сталь 10880	Сталь 10848	Сталь 20832	Сталь 10880
Сталь 1514	Сталь 1511	Сталь 1411	Сталь 1561
50НХС	40НKM	79Н3М	47НКХ
52К13Ф	52К13Ф	50КФ	27КХ
8СЧ	300НН	200ВЧ	8СЧ1
21СА320	15БА300	28БА190	4БИ1Ч5
ЮН13ДК25БА	ЮНД4	ЮНТС	ЮНДК34Т5
Н40/11	КС25ММ12	КС25ЭГд	Н40/12
Сталь ЕХ3	Сталь ЕХ5К5	Сталь ЕХ9К15М2	Сталь ЕХ3
Билет 9	Билет 10	Билет 11	Билет 12
Сталь 20848	Сталь 20864	Сталь 21895	Сталь 20880
Сталь 1211	Сталь 1212	Сталь 1562	Сталь 1412
79НМ	36КНМ	83НФ	45Н
27КХ	49К2Ф	27КХ	50КФ
200ВЧ	5СЧ	6000НМ	10СЧ6
14КА135	11КА135	28БА190	28СА250
ЮН14ДК25А	ЮНДК40Т8	ЮНДК18	ЮНДК31ТБА
Н26/9,6	КС25ДЦ-175	КС25ДЦ-190	Н34/11
Сталь ЕХ9К15М2	Сталь ЕХ5К5	Сталь ЕХ9К15М2	Сталь ЕВ6
Билет 13	Билет 14	Билет 15	Билет 16
Сталь 10864	Сталь 10895	Сталь 11880	Сталь 10848
Сталь 3404	Сталь 3425	Сталь 1312	Сталь 2211
68НМП	79НМ	50Н	79НМП
49К2Ф	52К13Ф	49К2ФА	52К13Ф

Продолжение табл. 6.17

Билет 13	Билет 14	Билет 15	Билет 16
10СЧ6	4000НМ	2СЧ1	200ВЧ
4БИ145	4БИ145	11КА135	21СА320
ЮН14ДК24	ЮНД4	ЮНДК34Т5	ЮНДК18
КС25ДЦ-210	Н35/11	КС25ДЦ-240	КС25ММ12
Сталь ЕХ3	Сталь ЕХ3	Сталь ЕХ5К5	Сталь ЕХ3
Билет 17	Билет 18	Билет 19	Билет 20
Сталь 20848	Сталь 20880	Сталь 10895	Сталь 11880
Сталь 2111	Сталь 1213	Сталь 1571	Сталь 1521
77НМДП	64Н	47НК	50НП
49К2ФВМ	49К2ФВИ	49К2Ф	52К13Ф
50ВЧ3	80СЧ	1000НН	15СЧ
28СА250	28СА250	14КА135	14КА135
ЮНДК31ТБА	ЮН14ДК25Б	ЮН14ДК24т2	ЮН15ДК24
Н40/12	КСП37	Н30/9,8	КСП37А
Сталь ЕВ6	Сталь ЕВ6	Сталь ЕХ9К15М2	Сталь ЕХ9К15М2
Билет 21	Билет 22	Билет 23	Билет 24
Сталь 10845	Сталь 20832	Сталь 10880	Сталь 21880
Сталь 1561	Сталь 1511	Сталь 1521	Сталь 2411
79НМ	83НФ	50НХС	50НПА
52К10Ф	52К13Ф	49К2Ф	35КХ4Ф
10000НМ	80СЧ	150ВЧ	2СЧ1
4БИ145	7БИ300	28БА190	21СА320
ЮНДК40Т8АА	ЮНДК40Т8	ЮНДК25Т5	ЮНД4
Н35/11	КСП37	Н50/11	КСП37А
Сталь ЕВ6	Сталь ЕВ6	Сталь ЕХ9К15М2	Сталь ЕХ9К15М2
Билет 25	Билет 26	Билет 27	Билет 28
Сталь 21864	Сталь 10895	Сталь 21895	Сталь 10880
Сталь 3411	Сталь 2011	Сталь 1521	Сталь 1561

31НКМП	35НКХСП	47НК	40НПА
35КХ8Ф	25КФ14П	35КФ10Н	35КХ6Ф
2СЧ1	1000НН	6000НМ	15СЧ
28СА250	11КА135	14КА135	28БА190
ЮНТС	ЮНДК31ТБА	ЮНДК38Т7	ЮН13ДК25БА
Н26/9,6	КСП37	Н35/11	КСП37А
Сталь EX3	Сталь EB6	Сталь EX9K15M2	Сталь EX5K5

## 7. МАРКИРОВКА КЕРАМИКИ И СТЕКОЛ

### 7.1. КЕРАМИКА

Керамика – материал, получаемый спеканием неорганических солей с различными минералами или оксидами металлов. Исходные компоненты могут быть не пластичными (кристаллообразующими) и пластичными. Кристаллообразующими компонентами являются неорганические соли (хлористые алюминий, железо, магний и др.), минералы (кварц, глинозем, тальк), оксиды металлов (циркония, бария, кальция, магния, титана и др.) и карбонаты. Пластичными – различные глинистые материалы, облегчающие оформление заготовок и деталей. Керамика широко применяется для изготовления элементов корпусов, изоляторов, деталей полупроводниковых приборов. В производстве корпусов используют алюмооксидную, минолундовую, стеатитовую, кордиеритовую и бериллиевую керамику.

Алюмооксидная керамика содержит от 90 до 97 %  $Al_2O_3$ . Температура плавления ее 2050 °С. Удельное сопротивление – от  $10^{12}$  до  $10^{16}$  Ом·см. Диэлектрическая проницаемость при 20 °С и частоте  $10^6$  Гц равна 8...12. Тангенс угла диэлектрических потерь составляет от 0,001 до 0,0003. Электрическая прочность от 45 до 60 кВ/мм. Состав и марки алюмооксидной керамики приведены в табл. 7.1.

Стеатитовая керамика получила свое название по основному компоненту – тальку (стеатиту), имеющему состав от  $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$  до  $4MgO \cdot 5SiO_2 \cdot H_2O$ .

Стеатитовую керамику используют при изготовлении корпусов интегральных микросхем, а также в качестве изоляционного высокочастотного материала (проходные изоляторы, подложки, изолирующие кольца). Характерной особенностью стеатитовой керамики является ее высокая механическая прочность и малые диэлектрические потери.

В производстве используют стеатитовую керамику СПК-2, СПК-5, ТК-21, ТКП, СК-1 и СНЦ, электрофизические свойства которой зависят от состава исходной шихты и режима отжига (табл. 7.2, 7.3).

#### 7.1. Состав алюмооксидной керамики

Марка	Компоненты керамики, %							
	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$Cr_2O_3$	MnO	CaO	MgO	$Fe_2O_3$	$Na_2O$
22Х	94,4	2,76	0,45	2,39	–	–	–	–
22ХС	94,4	2,76	0,49	2,35	–	–	–	–
ВГ-IV	95,3	3,30	–	–	0,30	1,2	–	–
М-7	94,0	4,00	–	–	2,00	–	0,05	0,05

#### 7.2. Состав стеатитовой керамики

Марка	Компоненты керамики, %								
	$SiO_2$	$Al_2O_3 + TiO_2$	$Fe_2O_3$	CaO	MgO	BaO	$Na_2O$	$K_2O$	ZnO
СПК-2	62,15	7,64	0,66	1,96	26,78	–	0,56	0,25	–
СПК-5	58,0	6,91	0,84	2,22	26,01	–	0,25	0,46	5,31
ТК-21	55,12	6,07	0,66	6,39	27,30	–	0,11	0,35	–
ТКП	66,58	6,18	0,76	0,33	25,68	–	0,12	0,28	–
СК-1	54,22	0,99	0,76	–	28,60	15,4	0,01	0,02	–
СНЦ	53,0	1,37	0,30	0,16	27,70	11,4	0,04	0,08	5,35

#### 7.3. Свойства стеатитовой керамики

Свойства	Марка					
	СПК-2	СПК-5	ТК-21	ТКП	СК-1	СНЦ
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,66	2,6	2,6	2,65	3	3
Удельное сопротивление $\rho \cdot 10^{13}$ Ом·см	5	7	1	10	10	30

Электрическая прочность, кВ/мм	40	40	42	40	40	40
Относительная диэлектрическая проницаемость	6,1	6,0	5,5	5,8	6	7
Тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg} \cdot 10^3$ )	2,5	2	1,5	0,8	0,6	0,1
Коэффициент температурного расширения (КТР) $\cdot 10^{-6}$ , $1/^\circ\text{C}$	5,9	6	6,4	6	6	5
Теплопроводность, Вт/(м·К)	4,15	4,5	5,8	5	5,2	4,9

Форстеритовая керамика имеет высокие диэлектрические характеристики, что позволяет использовать ее для получения вакуумно-плотных сплавов с металлами, обладающих повышенным КТР (например с медью). В полупроводниковой технологии применяют форстеритовую керамику ЛФ-11, КВФ-4 и форстерит-17 (табл. 7.4, 7.5).

#### 7.4. Состав форстеритовой керамики

Марка керамики	Компоненты керамики, %				
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	BaO	CaO	MgO
ЛФ-11	0,8	41,7	6,0	–	51,5
КВФ-4	4,3	41,6	7,7	–	46,4
Форстерит-17	2,6	44,0	7,8	0,6	45,0

#### 7.5. Свойства форстеритовой керамики

Свойства	Марка		
	ЛФ-11	КВФ-4	Форстерит-17
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,9	3,0	3,2
Удельное сопротивление, Ом·см	10 <sup>13</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>
Электрическая прочность, кВ/мм	45	48	46
Относительная диэлектрическая проницаемость	7,1	6,7	6,9
Тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg} \cdot 10^3$ )	5	5,5	4,6
Коэффициент температурного расширения (КТР) $\cdot 10^{-6}$ , $1/^\circ\text{C}$	8,3	8	8,5
Теплопроводность, Вт/(м·К)	7	10	12

Кордиеритовая керамика представляет собой материал, получаемый на основе минерала кордиерита (2MgO·2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5SiO<sub>2</sub>). Основное назначение кордиеритовой керамики – изготовление изоляторов, способных выдерживать большие перепады температур. Состав и основные свойства кордиеритовой керамики приведены в табл. 7.6 и 7.7.

#### 7.6. Состав кордиеритовой керамики

Марка	Компоненты керамики, %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Л-24	41,50	49,50	1,00	0,19	7,50	0,31	–
К-2	39,68	50,82	1,62	0,47	6,86	0,15	0,46
К-4	38,05	51,90	1,57	0,45	7,37	0,16	0,50
КДИ-2	59,60	33,60	2,13	0,36	13,33	0,14	0,84
КП-2	51,70	33,30	0,90	0,40	12,87	0,89	0,89

#### 7.7. Свойства кордиеритовой керамики

Свойства	Марка				
	Л-24	К-2	К-4	КДИ-2	КП-2
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,2	2,2	2,3	1,9	2,6

Удельное сопротивление, Ом·см	2	1	8	1	1
Электрическая прочность, кВ/мм	15	16	14	15	15
Относительная диэлектрическая проницаемость	6,3	6,5	6,5	6,3	6,5
Тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg} \cdot 10^3$ )	2	1	1,7	1	1
Коэффициент температурного расширения (КТР) $\cdot 10^{-6}$ , $1/^\circ\text{C}$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Теплопроводность, Вт/(м·К)	6,5	6,0	6,2	6,1	6,1

*Бериллиевая керамика* обладает самой высокой среди всех керамических материалов теплопроводностью. Поэтому она применяется в микроэлектронике для изготовления корпусов, которые позволяют изолировать полупроводниковый кристалл от металлического основания и отводить от него тепло. Теплопроводность бериллиевой керамики 150 Вт/(м·К), электрическая прочность – около 100 кВ/мм, удельное сопротивление –  $10^{14}$  Ом·см, относительная диэлектрическая проницаемость – 6,5, тангенс угла диэлектрических потерь –  $10^{-4}$ .

## 7.2. СТЕКЛА

Стекла широко используют при изготовлении различных корпусов полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, а также металлостеклянных спаев, проходных изоляторов и оптических линз для оптоэлектронных приборов. Все стекла можно условно разделить на две группы: тугоплавкие, КТР которых не превышает  $5 \cdot 10^{-6}$   $1/^\circ\text{C}$ , и легкоплавкие с более высоким КТР.

*Тугоплавкие стекла* имеют боросиликатную или алюмосиликатную основу и обладают высокими диэлектрическими свойствами, большими термостойкостью и механической прочностью.

*Легкоплавкие стекла* имеют свинцовый, баритовый или магнезиальный состав.

*Боросиликатные стекла* С37-1, С38-1 и С39-1 служат для получения согласованных по КТР спаев с вольфрамом, а С47-1, С48-1, С48-2, С48-3, С49-1 – с молибденом. Особенность боросиликатных стекол С48-1, С48-2 и С49-1 – в получении герметичных спаев с одним из основных материалов, применяемых в производстве корпусов – коваром.

Алюмосиликатные стекла имеют более низкие диэлектрические потери и в некоторых случаях являются конкурентами керамике.

Состав и свойства стекол приведены в табл. 7.8 и 7.9.

## 7.8. Химический состав стекол

Марка	Компоненты стекла, %									
	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
С37-1	57,6	–	–	25	7,2	8,2	–	2,0	–	–
С39-1	73,0	16,5	6,0	–	–	–	3,0	1,5	–	–
С49-1	66,5	20,3	–	4,0	–	–	8,7	–	0,5	–
С50-2	7,0	35,0	–	23,0	6,3	14,2	–	–	–	14,5
С89-2	69,6	2,8	–	4,0	6,9	–	9,0	7,7	–	–
С90-1	69,5	–	–	–	5,5	3,5	12,5	4,0	–	–

## 7.9. Свойства стекол

Свойства	Марка					
	С37-1	С39-1	С49-1	С50-2	С89-2	С90-1
Удельное сопротивление, $\rho \cdot 10^{11}$ Ом·см	1	1	1	0,1	1	1
Коэффициент температурного расширения (КТР) $\cdot 10^{-6}$ , $1/^\circ\text{C}$	3,7	3,9	4,9	5,0	8,9	9,0

## 7.3. СИТАЛЛЫ

Промежуточное положение между керамикой и стеклами занимают *ситаллы* – материалы, широко применяемые в радиоэлектронике для изготовления элементов интегральных микросхем, лазерных гироскопов и др.

Ситаллы – это стеклокристаллические материалы, которые получают из стекол при помощи контролируемой кристаллизации. Мелкокристаллическая структура получается в результате многоступенчатой технологической операции. Центрами кристаллизации служат мелкие частицы металлов – Ag, Au, Cu, Al и др. В табл. 7.10 приведены основные свойства некоторых ситаллов.

**7.10. Основные свойства ситаллов**

Свойство	Марка						
	Ст-32-1	Ст-35-2	Ст-38-1	Ст50-1	Ст-50-2	Ст-83	Ст-90
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3,1	2,8	2,9	2,8	2,8	2,9	2,9
Удельное сопротивление, $\rho \cdot 10^{14}$ , Ом·см	0,01	0,1	1	1	1	1	1
Электрическая прочность, кВ/мм	50	110	40	70	80	90	105
Теплопроводность, Вт/(м·К)	1,1	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,3
Относительная диэлектрическая проницаемость	10	5,5	7,3	8,5	6,4	6,6	6,8
Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta \cdot 10^{-3}$	0,3	2	2	3	2	1	1
КТР $\cdot 10^{-6}$ , °С	3,2	3,6	3,8	5,2	5,7	8	9
Предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{и}} \cdot 10^8$ , Н/м <sup>2</sup>	2,5	1,7	1,8	2,5	1,7	2,5	2,6

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, А.П. Металловедение / А.П. Гуляев – М. : Металлургия, 1987. – 544 с.
2. Геллер, Ю.А. Материаловедение / Ю.А. Геллер, Г.А. Рахштадт. – М. : Металлургия, 1983. – 384 с.
3. Журавлев, В.Н. Машиностроительные стали / В.Н. Журавлев, О.И. Николаева. – М. : Машиностроение, 1992. – 480 с.
4. Колачев, Б.А., Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : МИСИС, 2001. – 416 с.
5. Металлопродукция из цветных металлов и сплавов : справочник / под ред. Р.З. Тумасян. – М. : "Истра", 1992.
6. Пасынков, В.В. Материалы электронной техники / В.В. Пасынков, В.С. Сорокин. – СПб. : "Лань", 2001. – 368 с.
7. Новые материалы / под науч. ред. Ю.С. Карабасова. – М. : МИСИС, 2002. – 736 с.
8. Конструкционные материалы : справочник / Б.Н. Арзамасов и др. ; под ред. Б.Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с.
9. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – М. : Высш. шк., 2004. – 519 с.
10. Электротехнические и конструкционные материалы / под ред. В.А. Филикова. – М. : Высш. шк., 2000. – 280 с.
11. Конструкционные и электротехнические материалы / под ред. В.А. Филикова. – М. : Высш. шк., 1990. – 296 с.
12. Богородицкий, Н.П. Электротехнические материалы / Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1985. – 304 с.

13. Калинин, М.Н. Электрорадиоматериалы / М.Н. Калинин, Г.Л. Скибинский, П.П. Новиков. – М. : Высш. шк., 1981. – 293 с.
14. Материалы для производства изделий электронной техники / Г.Н. Кадыкова и др. – М. : Высш. шк., 1987. – 247 с.
15. Курносов, А.И. Материалы / А. И. Курносов. – М. : Высш. шк., 1989. – 96 с.
16. Материалы приборостроения / К.Г. Бутовский и др. – Саратов : Сарат. техн. ун., 2005. – 236 с.
17. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов и др. ; под ред. Б.Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1986. – 384 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1. МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ</b> .....	3
1.1. МАРКИРОВКА СТАЛИ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА .....	5
1.2. МАРКИРОВКА КАЧЕСТВЕННОЙ СТАЛИ .....	5
1.3. МАРКИРОВКА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ СТАЛИ .....	10
1.4. МАРКИРОВКА ОСОБОВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ СТАЛИ .....	11
1.5. МАРКИРОВКА АВТОМАТНОЙ СТАЛИ .....	11
Задание 1 .....	12
<b>2. МАРКИРОВКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ</b> .....	13
2.1. СПЛАВЫ АЛЮМИНИЯ .....	14
2.1.1. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые .....	14
2.1.2. Сплавы алюминий-магний-кремний .....	14
2.1.3. Коррозионно-стойкие сплавы .....	18
2.1.4. Дуралюмины .....	18
2.1.5. Высокопрочные алюминиевые сплавы .....	18
2.1.6. Ковочные сплавы .....	18
2.1.7. Сплавы алюминиевые литейные .....	18
2.2. СПЛАВЫ МЕДИ .....	19
2.2.1. Бронзы .....	19
2.2.2. Латунь .....	20
2.2.3. Медно-никелевые сплавы .....	20
2.3. МАГНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ .....	21
2.4. ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ .....	21
Задание 2 .....	31
<b>3. МАРКИРОВКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	33
3.1. ПРОСТЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ .....	35
3.2. СЛОЖНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ .....	35
3.2.1. Арсенид галлия GaAs .....	36
3.2.2. Фосфид галлия .....	36
3.2.3. Антимонид индия InSb .....	37
<b>4. МАРКИРОВКА МАТЕРИАЛОВ С ОСОБЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ</b> .....	38
4.1. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ .....	38
4.1.1. Серебро .....	38
4.1.2. Медь .....	39
4.1.3. Алюминий .....	41
4.1.4. Криопроводники .....	42
4.1.5. Сверхпроводники .....	42
4.2. СПЛАВЫ С ВЫСОКИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ .....	44
<b>5. МАРКИРОВКА СПЛАВОВ С ОСОБЫМИ ТЕПЛОВЫМИ И УПРУГИМИ СВОЙСТВАМИ</b> .....	47
5.1. СПЛАВЫ С ЗАДАННЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ .....	47

КОЭФФИЦИЕНТОМ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ .....	
5.2. СПЛАВЫ С МАЛЫМ И ПОСТОЯННЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ .....	51
Задание 3 .....	51
<b>6. МАРКИРОВКА МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ .....</b>	<b>52</b>
6.1. МАГНИТОМЯГКИЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ .....	52
6.1.1. Сталь электротехническая нелегированная тонколистовая .....	53
6.1.2. Сталь электротехническая тонколистовая кремнистая .....	54
6.1.3. Прецизионные магнитомягкие сплавы .....	55
6.1.4. Магнитомягкие материалы на основе оксида железа .....	58
6.1.5. Ферриты для радиочастот .....	58
6.1.6. Магнитомягкие СВЧ-ферриты .....	59
6.2. МАГНИТОТВЕРДЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ .....	61
6.2.1. Сплавы магнитотвердые литые для постоянных магнитов .....	62
6.2.2. Магниты системы самарий-кобальт .....	63
6.2.3. Магниты системы неодим-железо-бор .....	64
6.2.4. Деформируемые магнитотвердые материалы .....	65
6.2.5. Сплавы систем Fe-Co-V-Cr и Fe-Co-V-Ni .....	65
6.2.6. Легированные мартенситные стали .....	67
6.2.7. Магнитотвердые ферриты .....	67
Задание 4 .....	68
<b>7. МАРКИРОВКА КЕРАМИКИ И СТЕКОЛ .....</b>	<b>71</b>
7.1. КЕРАМИКА .....	71
7.2. СТЕКЛА .....	74
7.3. СИТАЛЛЫ .....	75
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>77</b>