

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра Материаловедение и технологии обработки материалов

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В. И. Темных
(подпись)

«__» _____ 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Профиль 22.03.01.07 Материаловедение и технологии материалов
в машиностроении

Разработка структуры и методических элементов дисциплины
«Машиностроительные и приборостроительные материалы»

Научный руководитель
кандидат технических наук

(подпись, дата)

С. И. Почкутов

Выпускник

(подпись, дата)

А. М. Клинова

Нормоконтроль

(подпись, дата)

Л. А. Свечникова

Красноярск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Чугуны.....	4
1.1 Чугуны общего назначения.....	6
1.2 Чугуны специального назначения.....	9
2 Стали.....	13
2.1 Строительные стали.....	13
2.2 Машиностроительные стали.....	17
3 Стали и сплавы с особыми физическими свойствами.....	39
3.1 Магнитно-мягкие и магнитно – твердые стали и сплавы.....	40
3.2 Сплавы с высоким электросопротивлением.....	41
3.3 Сплавы с особыми упругими свойствами и аномальным тепловым расширением.....	42
3.4 Сплавы с эффектом «памяти формы».....	43
4 Цветные металлы.....	45
4.1 Медные сплавы.....	46
4.2 Алюминиевые сплавы.....	48
4.3 Титан и его сплавы.....	50
4.4 Магний.....	52
5 Разработка тестовых заданий.....	56
Заключение.....	58
Список использованных источников.....	59
Приложение А.....	62
Приложение Б.....	63

ВВЕДЕНИЕ

Развитие машиностроения неразрывно связано с выбором и применением металлических и неметаллических материалов. При изучении дисциплины «Машиностроительные и приборостроительные материалы» студенты сталкиваются с большой проблемой определения принадлежности металлических материалов к той или иной группе по различным признакам: качество, степень легирования, структура, требуемая обработка.

Большинство источников литературы представляют эти материалы в виде разделов и параграфов. Поэтому представляется целесообразным выполнение работы по структурированию основных металлических материалов, с их кратким описанием и примерами использования.

Тема моей выпускной квалификационной работы: «Разработка структуры и методических элементов дисциплины «Машиностроительные и приборостроительные материалы».

Цель выпускной квалификационной работы: разработка (содержательная часть) структуры машиностроительных и приборостроительных материалов с их кратким описанием, контрольными вопросами и тестовыми заданиями с целью улучшения восприятия данного материала студентами.

Задачи:

1 Изучить учебную и проанализировать справочную литературу по темам разработки;

2 Проанализировать существующую рабочую программу дисциплины и на её основе предложить структуру учебных элементов по дисциплине «Машиностроительные и приборостроительные материалы»;

3 Дать описание всех элементов структуры конструкционных металлических материалов;

4 Разработать банк тестовых заданий и контрольные вопросы для контроля и самоконтроля знаний студента по разработанным элементам дисциплины.

1 Чугуны

Чугуны широко применяются в машиностроении в качестве конструкционного материала благодаря существенным преимуществам:

- обладают удовлетворительным комплексом основных свойств;
- обладают хорошим комплексом технологических свойств;
- характеризуются невысокой стоимостью отливок [25].

Основные марки применяемых в машиностроении чугунов представлены в табл. 1, их основные свойства – в табл. 2, а технологические свойства и рекомендации по термической обработке чугунов и способам получения отливок из них – в табл. 3.

В машиностроении широкое применение находят чугуны *общего назначения* стандартных марок: серые, высокопрочные, ковкие. Кроме стандартных чугунов на предприятиях используются серые чугуны, изготовленные по техническим условиям этого предприятия, а также отбеленные.

Ввиду специфических свойств некоторых деталей, а также условий их эксплуатации на предприятиях производятся отливки из *специальных легированных чугунов*: антифрикционные, жаропрочные, с повышенной прочностью, износостойкостью (рис. 1).

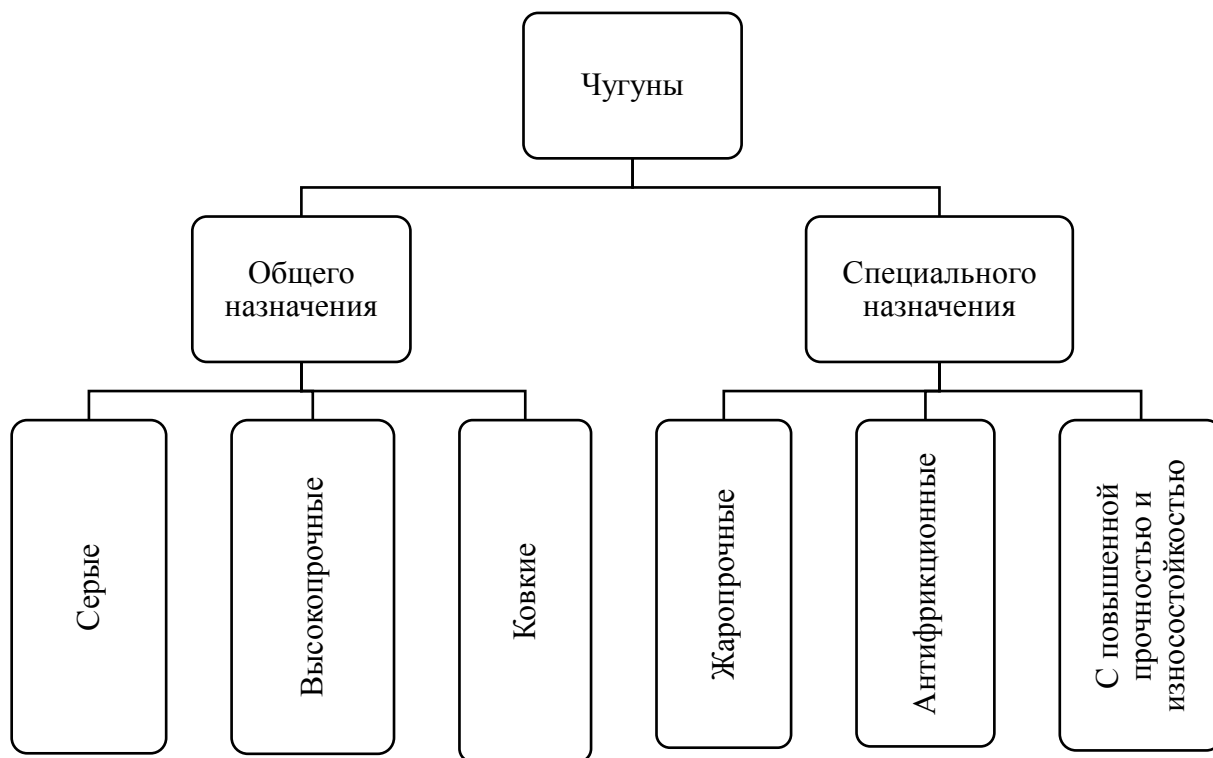


Рисунок 1 – Схема классификации чугунов

Таблица 1 – Наиболее распространенные типы и марки чугунов и примеры изготавливаемых из них деталей

Типы чугуна	Наиболее распространенные марки	Изготавливаемые детали
Серые и модифицированные	Серые: СЧ15; СЧ20; СЧ25 Модифицированные: СЧ30; СЧ35; СЧ40; СЧ45	Впускные и выпускные трубопроводы двигателей, блоки цилиндров двигателей, цилиндры гидротормозов и сцеплений и другие детали
Высокопрочные с шаровидным графитом	ВЧ 45; ВЧ 50; ВЧ 60	Поршневые кольца, коленчатые валы, распределительные валы двигателей, ступицы колес, тормозные барабаны, башмаки рессор, кронштейны двигателей и подвески и др.
Ковкие с хлопьевидным графитом	КЧ 35-8; КЧ 37-12; КЧ 50-5; КЧ 55-4	Картеры главных передач, картеры задних мостов, картеры рулевых механизмов.

Таблица 2 – Механические свойства отливок из серых чугунов

Марка чугуна	Временное сопротивление разрыву σ_B , не менее	Относительное удлинение δ , %, не менее	Твердость НВ
Серый чугун с пластинчатым графитом			
СЧ10	100(10)	–	156
СЧ15	150 (15)	–	163
СЧ20	200 (20)	–	170
СЧ25	250 (25)	–	187
СЧ30	300 (30)	–	197
СЧ35	350 (35)	–	229
Высокопрочный чугун			
ВЧ 35	350 (35)	22	140÷170
ВЧ 40	400 (40)	15	140÷200

ВЧ 45	450 (45)	10	160÷220
ВЧ 50	500 (50)	7	170÷240
ВЧ 60	600 (60)	3	190÷280
ВЧ 70	700 (70)	2	240÷300
ВЧ 80	800 (80)	2	250÷330
ВЧ 100	0 (100)	2	270÷360
Ковкий чугун			
КЧ 30-6	294 (30)	6	100÷163
КЧ 33-8	323 (33)	8	100÷163
КЧ 35-10	333 (35)	10	100÷163
КЧ 37-12	362 (37)	12	110÷163
КЧ 45-7	441 (45)	7	150÷207
КЧ 50-5	490 (50)	5	170÷230
КЧ 55-4	539 (55)	4	192÷241
КЧ 60-3	588 (60)	3	200÷269
КЧ 65-3	637 (60)	3	212÷269
КЧ 70-3	686 (70)	2	241÷285

1.1 Чугуны общего назначения

В машиностроении широко применяют серые чугуны стандартных марок: серый чугун с пластинчатым графитом СЧ25, СЧ20, СЧ25 и модифицированные СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45 [8]; высокопрочные чугуны с шаровидным графитом ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60, ВЧ 80, ВЧ 100 [9] и ковкие чугуны с хлопьевидным графитом КЧ 35-10, КЧ 37-12, КЧ 50-5, КЧ 55-4 [7].

Маркируют серые чугуны буквами и цифрами: СЧ – чугуны с пластинчатым графитом; ВЧ – чугуны с шаровидным графитом; КЧ – чугуны с хлопьевидным графитом. Первые две цифры указывают предел прочности серых чугунов на растяжение (σ_B , кгс/мм²), а последующая цифра в ковких чугунах – относительное удлинение в процентах (δ , %).

На основные свойства серых чугунов влияет их структура: форма, размер и объем графитовых включений, строение металлической основы. Самой благоприятной формой графита является шаровидная, поэтому высокопрочные чугуны обладают самыми высокими показателями прочности в сочетании с пластичностью. Промежуточное положение занимают серые чугуны с хлопьевидным графитом.

Основа чугунов может быть ферритной, феррито-перлитной, перлитной. С увеличением доли перлита в структуре прочность возрастает, а пластичность снижается. Объемная доля феррита не оказывает положительного влияния на пластичность серого чугуна с пластинчатым графитом. В машиностроении используются преимущественно перлитные чугуны, при этом допускается 10÷20 % феррита, потому что эти чугуны являются самыми прочными.

В структуре серых чугунов в сердцевине не допускаются грубые графитовые включения, отбел, т. е. наличие первичного цементита, входящего в состав карбидной эвтектики, являющийся основным признаком структуры белого чугуна. Такая структура является бракованной, т.к. характеризуется пониженной прочностью и не обладает вязкостью [2].

Серые чугуны с пластинчатым графитом имеют невысокие показатели прочности, плохо работают на растяжение. Основное их применение – детали, воспринимающие статические нагрузки, работающие без значительных динамических нагрузок (табл. 1, 2).

Марки СЧ15, СЧ20, СЧ25 используются для деталей, воспринимающих только статические нагрузки: блоки цилиндров двигателей, головки блоков цилиндров, гильзы блоков цилиндров, картеры сцепления КПП1, маховики, тормозные цилиндры, барабаны, толкатели, корпуса масляных и водяных насосов, диски сцепления, выпускные трубопроводы.

Серые чугуны с пластинчатым графитом производят модифицированными. Модифицирование выполняется с целью измельчения структурных составляющих графита за счет добавки в жидкий чугун $0,3 \div 0,5$ % кремния перед разливкой в форму. Измельчение структуры модифицированием приводит к повышению прочности. К модифицированным чугунам относятся марки СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45. Их используют для более нагруженных деталей машин – это коленчатые и распределительные валы, шестерни, поршни, поршневые кольца.

Несмотря на понижение показателей прочности по сравнению с другими, серые чугуны с пластинчатым графитом – это основной вид чугуна, используемого в машиностроении. Объясняется это более простой технологией их изготовления и меньшей себестоимостью отливок по сравнению с высокопрочными и ковкими чугунами.

Высокопрочные чугуны. Высокопрочные чугуны с шаровидным графитом получают путем раскисления жидкого расплава чугуна перед разливкой магнием, церием в сотых долях процента. Эта сложная технологическая задача решается в условиях массового производства, т.к. требует специального оборудования.

Шаровидная форма графита – это самая благоприятная форма, т.к. шаровидные частицы в меньшей степени ослабляют металлическую основу чугуна. Высокопрочные чугуны обладают самым высоким комплексом основных свойств среди чугунов, выходят по прочности на уровень нормализованной углеродистой стали, уступая при этом в пластичности. Они в $3 \div 5$ раз прочнее серых, при этом они обеспечивают пластичность до $2 \div 10$ %

В промышленности основными являются высокопрочные чугуны марок ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60. Для высокопрочных чугунов эффективно использовать упрочняющую термическую обработку. Свойства этих чугунов меняются в широком интервале значений за счет изменения структуры основы в результате термообработки: перлит – в ВЧ 45, ВЧ 50; сорбит – ВЧ 60; бейнит или мартенсит – в ВЧ 80 и ВЧ 100 [37].

Применяют высокопрочный чугун в машиностроении для нагруженных

ответственных деталей машин сложной формы. Часто высокопрочные чугуны успешно заменяют литые стали. Из них изготавливают детали машин сложнейшей формы, которые выгодно производить методами литья, а не горячей обработкой давлением.

Ковкие чугуны. Ковкие чугуны получают из отливок белого чугуна методом длительного отжига (табл. 3). В процессе отжига происходит графитизация, т.е. распад первичного и вторичного цементита и выделение углерода в свободном состоянии в виде графита.

Отжиг может проводиться в одну стадию, при температурах $920\div 970^{\circ}\text{C}$ с длительностью до $40\div 80$ ч для получения чугуна на перлитной основе (КЧ 50-5, КЧ 55-4). На первой стадии графитизации первичный цементит распадается с образованием хлопьевидного графита.

В случае необходимости получения чугуна на феррито-перлитной основе (КЧ 37-12, КЧ 35-10) проводится дополнительно вторая стадия графитизации с выдержкой при температурах $720\div 760^{\circ}\text{C}$. В процессе выдержки требуемая часть аустенита распадается на феррит и графит, оставшийся аустенит в процессе последующего охлаждения превращается в перлит. В результате формируется феррито-перлитная структура основы [7].

Ковкие чугуны часто на практике заменяют высокопрочные чугуны, хотя уступают им по всем основным свойствам. Преимуществом ковких чугунов является высокая плотность заготовок, т.к. при отжиге графит заполняет все поры, а также возможность изготовления тонкостенных отливок. Этим объясняются рекомендации по их применению. Из них изготавливают детали повышенной прочности и вязкости, работающие при высоких статических и динамических нагрузках, в тяжелых условиях износа. Серые чугуны подвергают термической обработке. Из предварительных видов – это в основном отжиг для снятия напряжения. Упрочняющая обработка эффективна только для чугунов с большой объемной долей перлита, преимущественно для высокопрочных и ковких чугунов и модифицированных серых. Для серых чугунов с пластинчатым графитом эффект упрочнения незначителен. Для повышения износостойкости применяют поверхностное упрочнение.

Белый чугун. В белом чугуне весь углерод находится в виде цементита. Структура такого чугуна – перлит, ледебурит и цементит. Такое название этот чугун получил из-за светлого цвета излома.

Белый чугун обладает высокой твердостью (450-550 НВ), хрупкостью и очень плохо обрабатывается. Поэтому для изготовления изделий он не используется и применяется как предельный чугун, то есть идет на производство стали. Кроме того белый чугун используется в процессе изготовления деталей из ковкого чугуна. Сначала получают детали из белого чугуна, а затем отжигом превращают в ковкий чугун [33].

Для деталей с высокой износостойкостью используется чугун с отбеленной поверхностью, в котором основная масса металла имеет структуру серого чугуна, а поверхностный слой – белого чугуна.

Основные виды термической обработки серых чугунов.

Виды термической обработки:

- предварительная термическая обработка:
- упрочняющая термическая обработка:
- поверхностная упрочняющая обработка:

Выбор термической обработки зависит от условий эксплуатации деталей и марки чугуна [25].

1.2 Чугуны специального назначения

Как дополнительно легированные чугуны, имеющие специальные свойства к ним относятся:

1 антифрикционные чугуны;

2 жаропрочные чугуны;

3 чугуны с повышенной прочностью и износостойкостью достигаются специальные свойства дополнительным легированием упрочняющей термообработкой, химико-термической обработкой отбеливанием.

Антифрикционные чугуны. Антифрикционные чугуны – применяют для работы в узлах трения подшипников качения, втулок, вкладышей. Это нелегированные или низколегированные серые чугуны с пластинчатым графитом АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3, АЧС-4, АЧС-5, АЧС-6, высокопрочные чугуны с шаровидным графитом АЧВ-1, АЧВ-2 и ковкие чугуны с хлопьевидным графитом АЧК-1, АЧК-2. Коэффициент трения в серых чугунах пониженный из-за наличия в структуре графита и благодаря добавкам меди (0,2÷1,5 %). Во избежание налипания материала подшипника на шейку вала количество феррита в их структуре ограничено (30+50 %). Антифрикционные чугуны уступают по антифрикционным свойствам баббитам, бронзам, латуням. Они хуже прирабатываются, но имеют существенное преимущество – низкую стоимость. Их используют при ограниченных скоростях вращения для точно сопряженных поверхностей в условиях постоянной смазки.

Износостойкие, жаростойкие, жаропрочные и коррозионностойкие чугуны. Износостойкие, жаростойкие, жаропрочные и коррозионностойкие чугуны – это чугуны, легированные хромом, алюминием, кремнием и никелем.

Для повышения жаростойкости и коррозионной стойкости чугуны легируют хромом, алюминием, кремнием. На поверхности этих чугунов образуются окисные пленки, которые защищают металл от коррозии. Дополнительно для повышения жаропрочности вводят медь (5÷10 %), никель (до 15 %), а также карбидообразующие тугоплавкие элементы Cr, W, Mo, V. В этом случае жаропрочность, жаростойкость и высокая износостойкость обеспечиваются наличием высоколегированного мартенсита или аустенита в хромоникелевых чугунах, специальных карбидов Cr, W, Mo. Механизм повышения жаропрочности аналогичен жаропрочным сталям.

Специальные чугуны маркируют буквой Ч – чугуны, за которой следуют буквы, обозначающие название соответствующих легирующих элементов.

После каждого легирующего элемента ставится цифра, указывающая его

содержание в процентах, Ш в конце маркировки – шаровидный графит.

По химическому составу можно выделить следующие группы жаропрочных чугунов:

хромистые – ЧХ2, ЧХ22;

1 никелевые с пластинчатым графитом – ЧНХТ, ЧН2Х, ЧН4Х2, ЧН15Д7;

2 никелевые с шаровидным графитом – ЧН11Г7Х2Ш, ЧН 19Х31Ш;

3 кремнистые – ЧС5, ЧС15, ЧС17;

4 алюминиевые – ЧЮХШ, ЧЮ7Х2, ЧЮЗО;

5 марганцевые – ЧГ7Х4, ЧХГ6С3Ш;

6 медные – ЧН15Д7.

Основное применение специальных чугунов – это двигателестроение. Объясняется это тем, что они одновременно обладают жаростойкостью, жаропрочностью и износостойкостью. Для этой цели используют чугуны групп ЧХ, ЧНХ, ЧНМШ и ЧНХМД. Из них изготавливают головки составных поршней, крышки и днища цилиндров.

Для улучшения свойств кроме легирования применяют термическую обработку – закалку с последующим старением, химико-термическую обработку – преимущественно азотирование. При насыщении чугуна азотом на поверхности образуются твердые частицы нитридов железа и хрома, существенно повышающие износостойкость поверхности чугунов.

Специальные чугуны, изготовленные по традиционной технологии, имеют технологические недостатки: они плохо обрабатываются резанием, особенно жаропрочные с аустенитной структурой – хромоникелевые, хромомарганцевые; многие из них имеют повышенную склонность к образованию усадочных раковин и трещин.

Таблица 3 – Технологические и эксплуатационные свойства основных типов чугунов, применяемых для изготовления деталей

Тип чугуна	Способ отливки	Обычная термическая обработка	Обрабатываемость резанием	Свариваемость при восстановлении деталей	Износостойкость
С пластинчатым графитом	В земляные формы, центробежное литье	Смягчающий отжиг ($T \approx 600^{\circ}\text{C}$) или нормализация	Хорошая	Вполне удовлетворительная	Удовлетворительная
Модифицированный с пластинчатым графитом	В земляные формы, центробежное литье	Смягчающий отжиг ($T \approx 600^{\circ}\text{C}$) или нормализация	Хорошая	Удовлетворительная	Выше, чем у серого чугуна
Высокопрочный	В землю и оболочковые формы	Закалка ТВЧ, азотирование, нормализация или улучшение	Вполне удовлетворительная	Удовлетворительная	Высокая (после закалки)
Легированный с пластинчатым графитом	В землю, оболочковые формы и другие способы	Отпуск, закалка объемная или ТВЧ	Удовлетворительная	Низкая	Высокая (после закалки)
Отбеленный и белый	Наплавка на специальных автоматах и полуавтоматах	Самозакалка струей воды или ТВЧ	Очень плохая	Не сваривается	Очень высокая (в особенности при содержании никкля, марганца, хрома, молибдена)
Ковкий	Отливка в земляные формы, иногда в оболочковые	Многочасовой ($27 \div 43$ ч) двухступенчатый отжиг: $T_1 = 920 \div 970^{\circ}\text{C}$ $T_2 = 720 \div 760^{\circ}\text{C}$	Хорошая	Свариваемость очень низкая, возможная наплавка поверхностей вибродуговым способом	Вполне удовлетворительная

Контрольные вопросы:

- 1 Чем отличаются чугуны от сталей (состав, структуры)?
- 2 Какие существуют структурные классы чугунов?
- 3 Какие чугуны имеют шаровидный, хлопьевидный графит?
- 4 Почему один из чугунов называют ковким?
- 5 Поддаются ли чугуны ковке? Почему?
- 6 Строение, каких чугунов приведено на диаграмме «Железо–углерод»?
- 7 Каковы основные свойства чугуна?
- 8 Какие детали изготавливают из высокопрочного и ковкого чугунов?
- 9 Как маркируются чугуны?
- 10 Почему из ковкого чугуна детали изготавливают только небольших размеров?
- 11) Как получают изделия из ковкого чугуна?

2 Стали

Сталь – это сплав двух химических элементов: железа (Fe) и углерода (C), причем содержание последнего не должно превышать 2 %. Если углерода больше, то этот сплав относится к чугунам. Но сталь – это не только химически чистое соединение двух элементов, она содержит как вредные примеси, например серу и фосфор, так и легирующие элементы, которые придают нужные свойства материалу – повышают прочность, улучшают обрабатываемость, пластичность и т. д.

Если в сплаве углерода менее 0,025 % и содержится незначительное количество примесей, то его считают техническим железом. Этот материал отличается от сталей по всем показателям, он обладает высокими магнитными характеристиками, и его используют в качестве для изготовления электротехнических элементов. Чистого железа в природе не существует, получить его даже в лабораторных условиях очень сложно.

Несмотря на то, что углерода в процентном отношении содержится совсем немного, он оказывает значительное влияние на механические и технические свойства материала. Увеличение этого вещества приводит к увеличению твердости, растет прочность, но при этом резко снижается пластичность. И, как следствие, меняются технологические характеристики: с увеличением углерода снижаются литейные свойства, ухудшается обрабатываемость резанием. При этом низкоуглеродистые стали также плохо обрабатываются резанием [23].

Сталь – это самый распространенный сплав на планете. Получают ее промышленным способом из чугуна, из которого под влиянием высоких температур выжигают избыток углерода и другие примеси. Стали в основном получают двумя способами: плавление в мартеновских печах и плавление электропечей. Материал, изготовленный в электропечи, называется электросталь. Она получается более чистой по составу. Кроме того, существует множество специальных процессов для получения сплавов с особыми свойствами, например электродуговая плавка в вакууме или электронно-лучевая плавка.

2.1 Строительные стали

К строительным сталям относятся конструкционные стали, применяемые для изготовления металлических конструкций и сооружений, а также для арматуры железобетона [41].



Рисунок 2 – Схема классификации строительных сталей

Строительные стали применяют для изготовления металлоконструкций зданий, сооружений, мостов, кранов, вагонов, машин, эстакад, бункеров, резервуаров и т.п. Эти стали должны иметь определенное сочетание прочностных и пластических свойств, высокую вязкость, коррозионную стойкость, малую склонность к хрупким разрушениям, а также обладать хорошими технологическими свойствами: свариваемостью, обрабатываемостью резанием, способностью к гибке, правке и т.д.

Строительные стали классифицируют на:

1 Углеродистые стали обыкновенного качества (горячекатаные и термоупрочняемые).

2 Низколегированные стали (стали повышенной прочности, высокопрочные и арматурные стали), что видно на рисунке 2.

Углеродистые стали обыкновенного качества. В строительстве широко применяют углеродистые стали обыкновенного качества, как наиболее дешевые, технологичные и обладающие необходимым комплексом свойств при изготовлении многих металлоконструкций массового назначения. Их используют в машиностроении. В основном эти стали используют в горячекатаном состоянии без дополнительной термической обработки. Как правило, они имеют

феррито-перлитную структуру. В ряде случаев прокат подвергают термическому упрочнению. Строительные углеродистые стали обыкновенного качества классифицируют на горячекатные и термоупрочняемые стали.

Горячекатные стали. Углеродистые горячекатные стали обыкновенного качества [14] в зависимости от назначения и гарантируемых при поставке свойств подразделяют на три группы А, Б и В.

Стали группы А поставляют с регламентированными механическими свойствами. Химический состав их не нормируется. Поэтому стали этой группы наиболее часто применяют в конструкциях, узлы которых не подвергаются горячей обработке – ковке, штамповке, термической обработке, следовательно, механические свойства горячекатной стали сохраняются.

Стали группы Б поставляют с регламентированным химическим составом, без гарантии механических свойств. Поэтому их применяют для изделий, подвергаемых горячей обработке, технология которой зависит от состава стали, а конечные механические свойства определяются самой обработкой.

Стали группы В поставляют с регламентированными механическими свойствами и химическим составом. Как правило, такие стали применяют для изготовления сварных металлоконструкций, так как свариваемость стали определяется составом стали, а механические свойства вне зоны сварки определены в состоянии поковки. Стали группы В дороже, чем стали групп А и Б, их применяют для ответственных изделий. Углеродистые стали обыкновенного качества бывают спокойными (сп), полуспокойными (пс) и кипящими (кп). В их составе разное содержание кремний, %: спокойные – 0,12-0,30, полуспокойные – 0,05–0,17; кипящие менее 0,07.

Термоупрочненные стали. Термоупрочнение углеродистых сталей позволяет повысить прочностные характеристики стали в 1,3–1,5 и более раз, снизить порог хладноломкости (для большинства видов проката) или сохранить его на прежнем уровне, при этом характеристики пластичности стали остаются соответствующими нормам стандартов. В результате использования термоупрочненного проката в строительстве достигается экономия металла от 15 до 60 % и повышается надежность металлоконструкций и сооружений. Термоупрочнение с прокатного нагрева позволяет получить в металлургии большую экономию капиталовложений, топлива и энергии, уменьшить потери металла в окалину. Недостатком процесса термоупрочнения является коробление проката и необходимость его правки. Эти недостатки устранимы при оптимальной технологии производства. Термоупрочнению подвергают арматуру, лист, сортовой и фасонный профиль, катанку, трубы, рельсы и др. Эффективно термоупрочнение проката и из низколегированных сталей [26].

Низколегированные стали. К низколегированным строительным сталям относятся низкоуглеродистые свариваемые стали, содержащие недорогие и недефицитные легирующие элементы (обычно до 2,5 %) и обладающие повышенной прочностью и пониженной склонностью к хрупким разрушениям по сравнению с углеродистыми сталями. Применение низколегированных сталей в стро-

ительстве вместо углеродистых позволяет уменьшить массу строительных конструкций, получить значительную экономию металла (до 50-80 %), повысить надежность конструкций, особенно уменьшить их склонность к хрупким разрушениям, а также решить целый ряд других задач [41].

К низколегированным строительным сталям предъявляется комплекс различных требований. Главными из них являются повышенная и высокая прочность (основной показатель – предел текучести) и малая склонность к хрупким разрушениям (порог хладноломкости). Эти стали должны также иметь хорошую свариваемость, обрабатываемость резанием, формоизменяемость и т.д. Поскольку легированная сталь дороже углеродистой, то экономия от применения низколегированных сталей вследствие повышения прочности должна перекрывать дополнительные расходы на их производство и обработку.

Строительные низколегированные стали разделяют на:

Стали повышенной прочности;

Высокопрочные стали;

Арматурные стали.

Стали повышенной прочности. Как правило, стали повышенной прочности (σ_T менее 400 МПа) поставляют в горячекатаном состоянии с феррито-перлитной структурой. Химический состав сталей нормы механических свойств для проката различных видов и сечений определяется по ГОСТ.

Основными легирующими элементами в этих сталях являются недорогие и доступные марганец, кремний, а в стали ряда марок дополнительно хром, ванадий, ниобий, титан, медь, фосфор.

Высокопрочные стали. Высокая прочность ($\sigma_T = 450 - 750$ МПа) низколегированных строительных сталей должна сочетаться с малой склонностью к хрупким разрушениям. Как отмечалось ранее, одновременно повышение прочности и снижение хладноломкости является весьма сложной проблемой. Решение ее решается несколькими путями: карбонитридным упрочнением сталей, термической обработкой, контролируемой прокаткой, созданием малоперлитных сталей.

Малоперлитные стали имеют пониженное содержание углерода (до 0,10 %), что приводит к уменьшению количества перлита в стали, а следовательно, к повышению ударной вязкости и пластичности, снижению порога хладноломкости и улучшению свариваемости. При этом снижение прочностных характеристик компенсируется введением в стали карбонитридообразующих элементов – ванадия, ниобия, азота и алюминия. Следовательно, малоперлитные стали являются разновидностью сталей с карбонитридным упрочнением при пониженном в них содержании углерода.

Контролируемая прокатка – разновидность термомеханической обработки, она представляет собой обработку металла давлением, регламентируемую определенной температурой окончания прокатки (около 800-850°C) и заданной степенью обжатия (15-20 %) в последних пропусках.

Арматурная сталь. Арматурная сталь в виде стержней , гладких и периодического профиля, применяется для армирования железобетонных конструкций. Последние бывают ненапряженными и предварительно напряженными.

2.2 Машиностроительные стали

Машиностроительные стали и сплавы специализированного назначения характеризуются их механическими свойствами при низких и высоких температурах; физическими, химическими и технологическими свойствами (рис. 3).

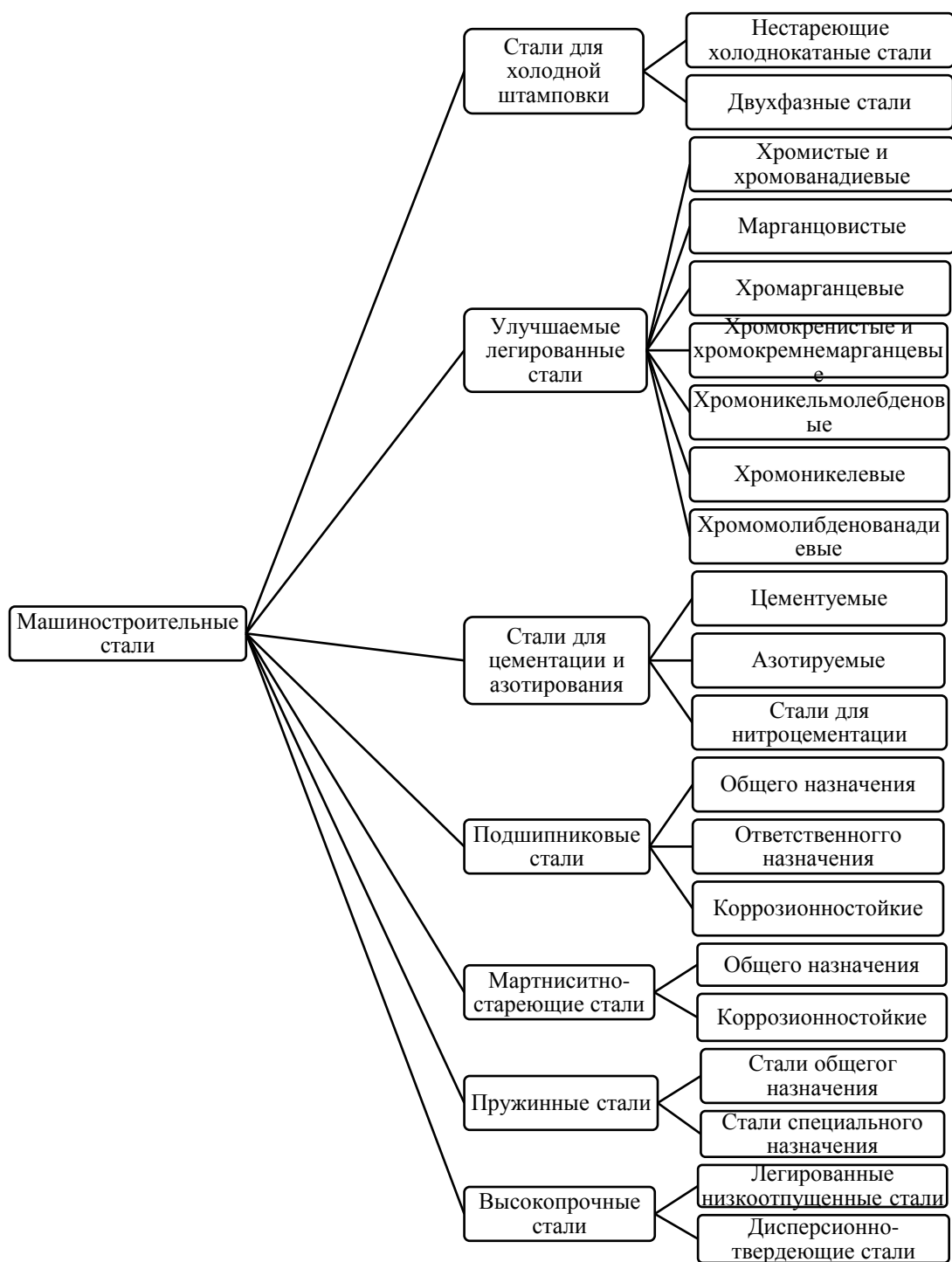


Рисунок 3 – Схема классификации машиностроительных сталей

Стали для холодной штамповки. В машиностроении большое число деталей и изделий изготавливают из листовой стали методом холодной штамповки, при этом происходит весьма сложная глубокая вытяжка металла. Такая штамповка наиболее широко применяется в автомобилестроении; около 50 % массы легкового автомобиля занимают детали, изготовленные этим методом [41]. Стали для холодной штамповки (рис. 4) должны обеспечивать достаточно высокую штампуемость при изготовлении деталей сложной формы и высокое качество поверхности для нанесения последующего покрытия. Для некоторых деталей (например, крыльев, капота и других не несущих деталей кузова автомобиля)

прочность готовых изделий не имеет существенного значения. В этом случае применяют мягкие низкоуглеродистые нестареющие холоднокатаные стали. Для ряда других деталей (например, лонжеронов, дисков колес и других несущих нагрузок частей автомобиля) требуется повышенная прочность изделий. Для этих целей наиболее перспективны двухфазные феррито-мартенситные стали.

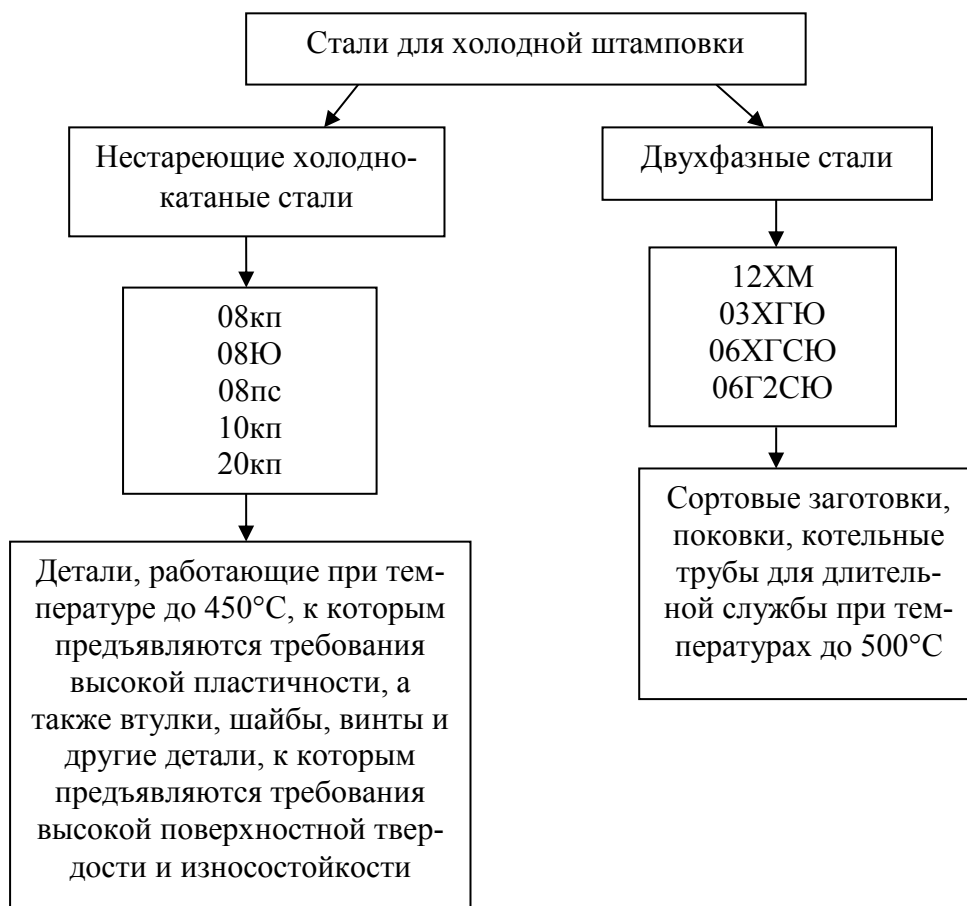


Рисунок 4 – Схема классификации сталей для холодной штамповки

Нестареющие холоднокатаные стали. Нестареющие стали для холодной штамповки должны иметь минимально возможное содержание всех примесей (N, Mn, Si, Cr, Ni, S, P и др.), низкую твердость и прочность, высокое относительное и равномерное удлинение, большую вытяжку, холоднокатаный лист из них должен иметь высокое качество поверхности и не быть склонным к деформационному старению.

Склонность таких сталей к деформационному старению является главным показателем их качества, при штамповке сложных изделий с большой вытяжкой из холоднокатаных листов, подверженных старению, образуются поверхностные дефекты: полосы. Образование полос-линий скольжения связано с неоднородной деформацией металла на площадке текучести.

Применение нестареющей стали позволяет исключить брак в виде полосной скольжения при штамповке изделий с особо сложной вытяжкой [28].

Двухфазные стали. Для штампованных деталей и изделий, которые должны иметь повышенную прочность, применяют двухфазные низколегированные стали с феррито-мартенситной структурой. Эти стали обладают низким сопротивлением малым пластическим деформациям (пределом текучести), высокими значениями временного сопротивления, равномерного удлинения, скорости деформационного упрочнения, что предопределяет их хорошую штампуемость и высокую прочность в отштампованных изделиях. Двухфазная феррито-мартенситная структура стали получается при определенном охлаждении из межкристаллического интервала температур после специального нагрева или горячей прокатки. Свойства стали определяются количеством мартенсита и размером зерна феррита. Оптимальные свойства стали, предназначенной для холодной штамповки, достигается при содержании мартенсита 20-30%. При небольшой доле мартенсита растет прочность и падает удлинение, что ухудшает штампуемость. Однако рост прочности при этом сопровождается снижением температуры перехода в хрупкое состояние. Это открывает новую перспективу применения двухфазных феррито-мартенситных сталей и для других целей – в качестве высокопрочных и хладостойких сталей [35].

Улучшаемые легированные стали. Для наиболее ответственных тяжело нагруженных деталей машин применяют легированные стали, подвергаемые закалке с отпуском. В зависимости от требуемого уровня свойств выбирают температуру отпуска. Низкий отпуск (до 200–250 °С) обеспечивает высокие прочностные характеристики и низкие значения пластичности и вязкости. Наиболее часто в машиностроении применяют закалку с высоким отпуском при 550–650 °С (улучшение). Такая термическая обработка при правильно выбранном составе стали обеспечивает более высокую конструкционную прочность деталей и изделий. Достаточно высокую прочность в сочетании с высокой пластичностью, вязкостью и малой склонностью к хрупким разрушениям. Легирующие элементы, влияющие на процессы, происходящие при закалке и отпуске, будут в значительной мере влиять и на механические свойства улучшаемой стали [32]. В улучшаемых конструкционных сталях легирующие элементы должны обеспечивать необходимую прокаливаемость и требуемые механические свойства после отпуска.

Влияние легирования на прокаливаемость в улучшаемых сталях. Прокаливаемость стали определяется устойчивостью переохлажденного аустенита, сечением изделия и скоростью охлаждения. При достижении в определенном сечении изделия скорости переохлаждения больше критической после закалки получается структура мартенсита. При меньших скоростях охлаждения кроме мартенсита может получаться структура бейнита (как верхнего, так и нижнего) и даже продукты распада по первой ступени (избыточный феррит и перлит). Наряду с мартенситом после закалки может присутствовать также остаточный аустенит. Все легирующие элементы кроме кобальта, повышают прокаливаемость стали. Сильные карбидообразующие элементы (V, Nb, Ti) могут оказывать

влияние на прокаливаемость. Они увеличивают прокаливаемость, если растворены в аустените, и уменьшают ее, если связаны в карбиды или карбонитриды. Обычно в конструкционные стали эти элементы вводят в относительно малых количествах (около 0,1 %) с целью обеспечения мелкозернистой структуры, поэтому их влияние на прокаливаемость не значительно. Свойства улучшаемой стали зависят от прокаливаемости, т.е. от структуры по сечению изделия после закалки. При полной прокаливаемости структура по сечению – мартенсит. При неполной прокаливаемости наряду с мартенситом образуются немартенситные продукты распада аустенита. Если сталь имеет другие структуры, то некоторые свойства могут ухудшаться. Особенно сильно это может сказываться на параметрах, характеризующих сопротивление стали хрупкому (например, температуре перехода) и вязкому (работе развития трещины) разрушению. В закаленной конструкционной стали может присутствовать небольшое количество остаточного аустенита. Его влияние на свойства стали после отпуска может быть двояким. Если остаточный аустенит распадается при отпуске на феррит и карбид, то это вызовет охрупчивание стали. Стабилизированный остаточный аустенит, не разлагающийся при отпуске, расположенный между пластинами мартенсита в виде тонких прослоек, сильно повышает вязкость разрушения высокопрочных сталей [5]. В зависимости от требований по прокаливаемости и необходимого уровня механических свойств в машиностроении используют большое количество различно легированных сталей (рис. 5). Основными легирующими элементами в улучшаемых сталях являются хром, марганец, никель, молибден, бор и ванадий. Содержание углерода в них обычно находится в пределах 0,25 – 0,50 %.

Хромистые стали типа 30X, 35X, 40X, 45X, 50X, 35X2АФ, 40X2АФЕ являются наименее легированными и обеспечивают прокаливаемость в несколько больших сечениях (20–25 мм), чем углеродистые стали [4]. Легирование хромом не увеличивает склонности к росту зерна аустенита. Однако с целью получения мелкозернистой структуры в сталь вводят ванадий (40XФ), который, находясь в карбидах, препятствует росту зерна, а при отпуске задерживает разупрочнение. Значительные преимущества имеют хромистые стали, упрочненные нитридами: 35X2АФ и 40X2АФЕ. Эти стали мелкозернистые, глубокопрокаливающиеся, имеют высокие механические свойства, как после закалки и низкого отпуска, так и после улучшения. Для улучшения обрабатываемости резанием стали легируют селеном (40X2АФЕ).

Марганцовистые стали (30Г2, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2), имеют несколько большую прокаливаемость, чем хромистые. Однако марганец усиливает склонность к зерна к росту, поэтому эти стали чувствительны к перегреву и могут иметь пониженную ударную вязкость, особенно при отрицательных температурах. Эти стали можно применять при обработке ТВЧ и для изделий, несущих небольшие ударные нагрузки.

Хромомарганцевые стали (25ХГТ, 30ХГТ, 40ХГТ, 35ХГФ) обладают повышенной устойчивостью переохлажденного аустенита и соответственно прокаливаемостью до 40 мм. Введение титана обеспечивает хромомарганцевой стали

меньшую склонность к перегреву, а добавление бора увеличивает ее прокаливаемость.

Хромокремнемарганцевые стали (20ХГС, 25ХГС и 30ХГС) обладают высокой прочностью и хорошей свариваемостью. Стали хромансил применяют также в виде листов и труб для ответственных сварных конструкций (например, в самолетостроении). Стали 30ХГС подвергают улучшению или изотермической закалке на нижний бейнит, что способствует улучшению механических свойств и снижает чувствительность к надрезам. Более высокая прокаливаемость и лучшая вязкость достигается при введении 1,4-1,8 % Ni в сталь 30ХГСНА. Высокопрочную стали 30ХГСНА применяют для изготовления ответственных деталей, в том числе сварных. При использовании высокопрочных сталей необходимо учитывать, что они чувствительны к концентраторам напряжений [40].

Хромоникелевые стали (40ХН, 45ХН и 50ХН) используют для тяжело нагруженных деталей с диаметром до 70 мм обладающие высокими механическими свойствами. В такие стали рекомендуется вводить до 3 % Ni. При большем содержании никеля получается много остаточного аустенита. Вследствие большей устойчивости переохлажденного аустенита хромоникелевые стали обладают высокой прокаливаемостью, и хорошими вязкостью и прочностью. Они применяются для изготовления крупных изделий сложной конфигурации, работающих при вибрационных и динамических нагрузках.

Хромоникелевые и хромоникелемолибденовые (вольфрамовые) стали (20ХНЗА, 20Х2НЧА, 40ХН, 30ХНЗА, 20ХН2М, 30ХН2М, 38Х2Н2МА, 40ХН2МА, 38ХН3МА, 18Х2Н4МА) являются наиболее качественными, их применяют для изготовления самых ответственных крупных изделий (сечением порядка 100-1000 мм). Уникальные свойства этих сталей достигаются вследствие их высокой прокаливаемости и большей вязкости [39].

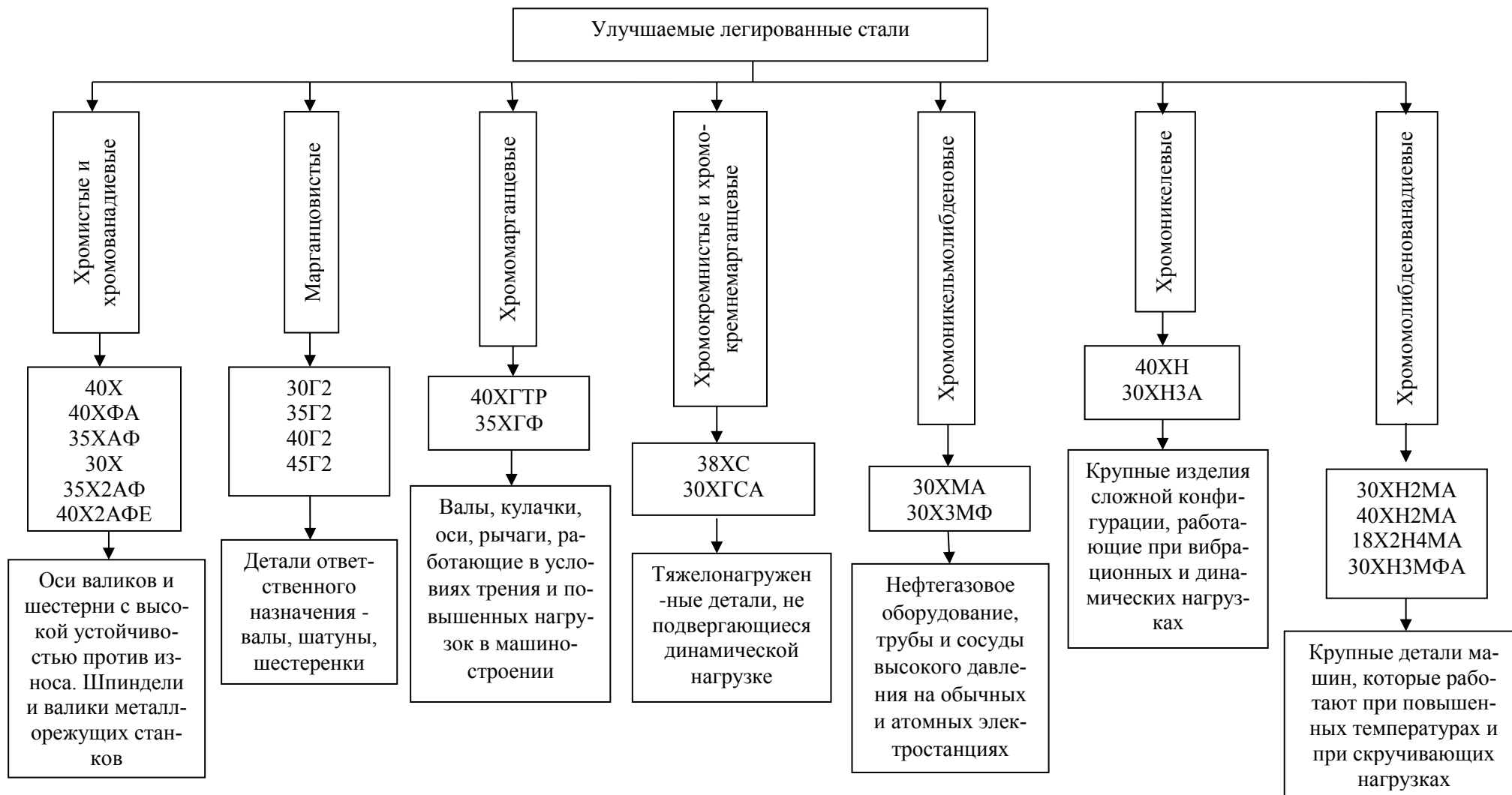


Рисунок 5 – Схема классификации улучшаемых легированных сталей

Стали для цементации и азотирования. Цементация и азотирование – наиболее распространенные методы химико-термической обработки (ХТО) стали. В результате такой обработки происходит поверхностное насыщение деталей машин и механизмов: возрастает износостойкость, прочность, усталостная стойкость, а в ряде случаев сопротивление коррозии и окислительной стойкость. Как правило, для деталей, подвергаемых цементации и азотированию, применяют специальные стали (рис. 6). Роль легирования таких сталей состоит в получении высоких поверхностных свойств цементованного и азотированного слоя и обеспечения необходимых свойств сердцевины при обработке [41].

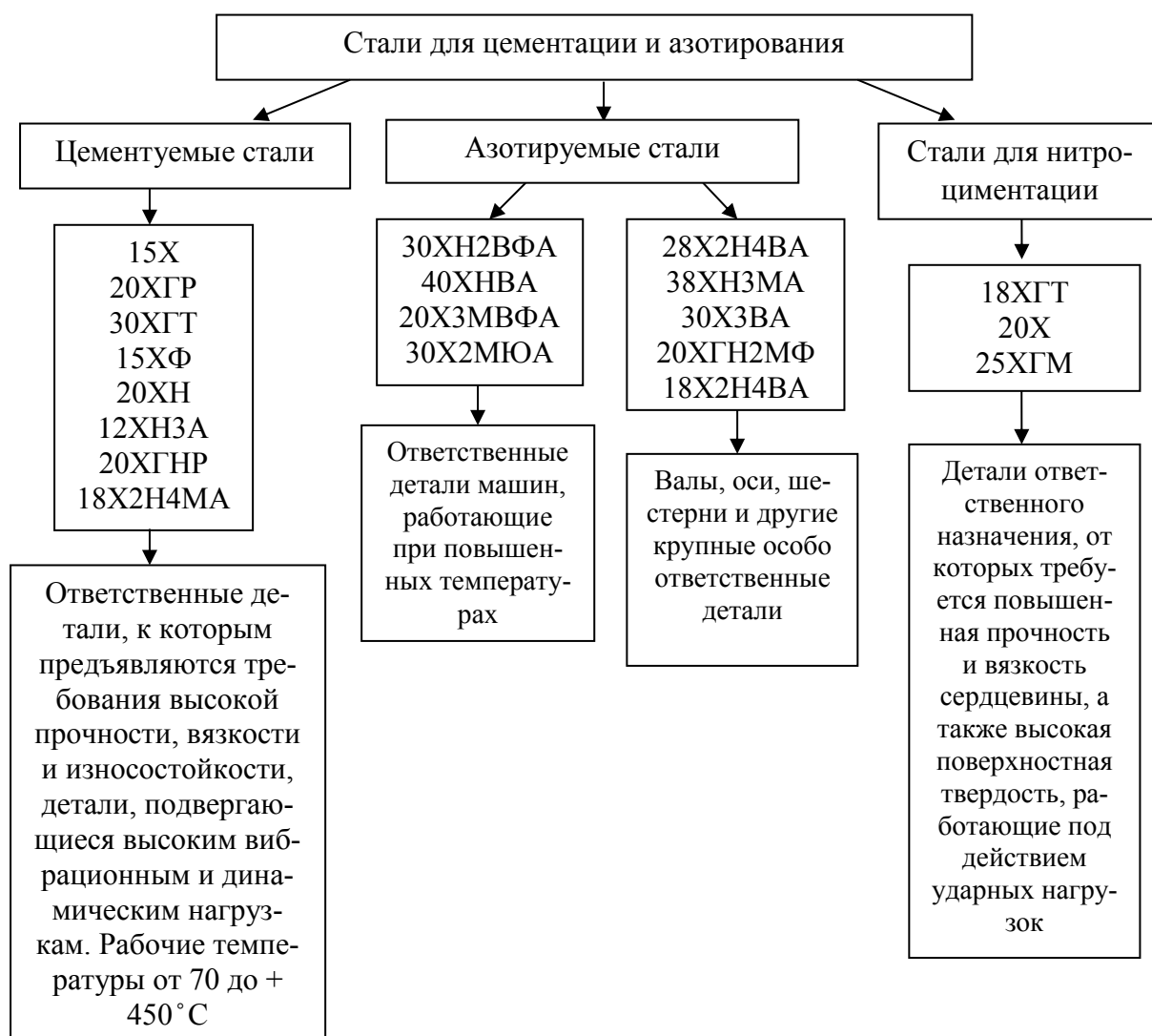


Рисунок 6 – Схема классификация сталей для цементации, нитроцементации и азотирования

Цементируемые стали. Цементация стали осуществляется путем поверхностного насыщения изделий углеродом до эвтектоидной или заэвтектоидной

концентрации. Конечные свойства изделий достигаются в результате поверхностной последующей термической обработки. При цементации наиболее существенно изменяются поверхностная твердость, износостойкость и усталостная прочность. Глубина цементованного слоя может быть различна для разных изделий и составляет от 0,3 до 2,5 мм в зависимости от размеров и назначения изделия.

Цементации подвергают низкоуглеродистые стали с содержанием углерода 0,08–0,25 %, что обеспечивает получение вязкой сердцевины. Для некоторых высоконагруженных деталей (зубчатые колеса и т.д) содержание углерода в стали может быть повышено до 0,35 %. С повышением содержания углерода в стали уменьшается глубина цементованного слоя, увеличивается прочность и понижается вязкость сердцевины.

Некарбидообразующие элементы, такие как никель, кремний, кобальт, ускоряют диффузию углерода в аустените при 950°C. В тоже время эти элементы снижают растворимость углерода в аустените и тем самым уменьшают максимальное содержание углерода в поверхностном слое. Наиболее сильно ускоряет диффузию углерода в аустените и понижает содержание углерода в цементованном слое кремний. Однако при более высоких температурах (1000, 1100 °C) кремний уменьшает коэффициент диффузии углерода в аустените.

При этом они повышают максимальную концентрацию углерода в поверхностном слое по сравнению с углеродной нелегированной сталью, что связано с интенсивным карбидообразованием в поверхностном слое. С повышением углерода в цементованном слое легированных сталей уменьшается [24].

При легировании цементуемых конструкционных сталей часто осуществляется комплексное легирование несколькими элементами. Так, введение кремния в хромоникелевые цементуемые стали позволяет повысить их ударно – усталостную выносливость посредством уменьшения глубины заэвтектоидной зоны и увеличения количества карбидов.

Широко применяется легирование цементуемых сталей элементами, задерживающими рост зерна аустенита при нагреве (ванадием или титаном). Особенно благоприятно легирование сталей никелем, который повышает вязкость цементованного слоя и сердцевины и понижает порог хладноломкости.

Оптимальное содержание углерода при цементации в поверхностном слое составляет 0,8–0,9 %. Увеличение содержания углерода способствует выделению карбидов по границам зерен, что может приводить к образованию трещин и снижению механических свойств.

Процесс одновременного насыщения стали углеродом и азотом в газовой среде называется нитроцементацией. Нитроцементацию проводят при более низких температурах (850–870 °C) по сравнению с цементацией. Это обусловлено тем, что азот, диффундируя в сталь одновременно с углеродом, понижает температуру существования твердого раствора на основе γ -железа и способствует науглероживанию стали при более низких температурах.

Нитроцементуемые стали. Нитроцементации обычно подвергают легированные стали с содержанием до 0,25 % C. Такие как 20X, 18XГТ, 25XГМ,

18X2H4BA (рис. 6). Термическая обработка после нитроцементации – закалка с низким отпуском. Продолжительность процесса 4-10 ч. Толщина нитроцементованного слоя составляет 0,2–0,8 мм. После нитроцементации следует закалка либо непосредственно из печи с подстуживанием до 800–825 °С, либо после повторного нагрева; реже применяют ступенчатую закалку. После закалки проводят отпуск при 160–180 °С. Микроструктура нитроцементованной стали выглядит как показано на рисунке ниже. После насыщения структура нитроцементованного слоя состоит из мелкокристаллического мартенсита, небольшого количества мелких равномерно распределенных карбонитридов и 25–30 % остаточного аустенита. Твердость слоя после закалки и низкого отпуска составляет 58–64 HRC. Высокое содержание остаточного аустенита обеспечивает хорошую прирабатываемость например, не шлифуемых автомобильных шестерен, что обеспечивает бесшумность их движения. Максимальные показатели прочности достигаются только при оптимальном для данной стали содержании на поверхности нитроцементованного слоя углерода и азота [46].

Преимущества нитроцементации перед цементацией:

1 Смещаются критические точки превращений к более низким температурам. Это позволяет снизить температуру процесса до 810–850 °С. Такая температура, по сравнению с температурой цементации (910–1050 °С) приводит к гораздо меньшим короблениям изделий;

2 Из-за относительно невысоких температур процесса, аустенитное зерно при нитроцементации может вырастать гораздо меньше, чем при науглероживании в процессе цементации;

3 Процесс нитроцементации в ряде случаев проходит гораздо быстрее, чем процесс цементации. При этом чаще всего, нет необходимости делать закалку с повторного нагрева, как при цементации.

Для нитроцементации рекомендуется использовать контролируемую эндотермическую атмосферу, к которой добавляют 3–15 % не отработанного природного газа и 2–10 % NH_3 или жидкий карбюризатор – триэтанолламин $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{N}$, который в виде капель вводят в рабочее пространство.

Азотируемые стали. Азотирование представляет собой процесс поверхностного насыщения стали азотом. Азотирование конструкционных сталей проводят для повышения их твердости, износостойкости, теплостойкости и коррозионной стойкости. Перед азотированием изделия подвергают закалке и высокому отпуску. В общем случае формирование структуры диффузионного слоя азотируемой стали зависит от состава стали, температуры и длительности нагрева, а также и скорости охлаждения после азотирования [36].

Высокая твердость и износостойкость азотируемых конструкционных сталей обеспечивается главным образом нитридами легирующих элементов (N, MoN, AlN). Однако из-за наличия углерода в легированных сталях при азотировании образуются карбонитридные фазы.

Легирующие элементы в значительной мере влияют на глубину поверхностного слоя и твердость. Уменьшение глубины азотированного слоя при легировании обусловлено уменьшением коэффициента диффузии в феррите. Углерод уменьшает так же коэффициент диффузии в азоте.

Из азотируемых легированных сталей широко применяют сталь 30X2MЮА. Так же широко используется ряд легированных сталей подвергаемых азотированию, например: 30X3BA, 30XH2BФА, 40XHBA, 20X3MBФА и др. (рис. 6).

Наиболее высокая поверхностная твердость при азотировании достигается в хромомолибденовых сталях, дополнительно легированных алюминием, типичным представителем которых является сталь 38X2MЮА.

Для деталей машины, работающих в условиях циклических изгибных и контактных нагрузок, применяют стали 28X2H4BA, 38XH3MA, 30X3BA, 20XГH2MФ [42].

Азотирование повышает предел усталости сталей. Так, например предел усталости коленчатых валов авиационного двигателя из стали 18X2H4BA после азотирования повышается на 25–60 %. При наличии концентраторов напряжений азотирование в большой степени влияет на предел усталости сталей. Азотирование так же повышает теплостойкость легированных сталей. Например, рабочие температуры азотируемых деталей из сталей 38X2MЮА и 25X2MФА составляет 400–480 °С, а из сталей 25X2M1Ф 480–510 °С. Когда азотирование применяют только для получения коррозионностойкого покрытия изделий, используют простые углеродистые стали с содержанием углерода в пределах (от 0,1 и до 1,0%).

Подшипниковые стали. Подшипники являются ответственными деталями машин и механизмов. Они во многом определяют точность и производительность металлорежущих станков, надежность электродвигателей, экономичность, качество автомобилей вагонов и т.д. Промышленность производит около 5 тысяч подшипников диаметром от 0,5 до 3,0 м. К особенностям работы подшипников относятся высокие локальные нагрузки, и, как следствие чрезвычайно высокие требования к сталям [43].

Подшипниковые стали делятся на стали: общего назначения, ответственного назначения, коррозионностойкие (рис. 7).



Рисунок 7 – Схема классификации подшипниковых сталей

Основные требования, которые должны обеспечивать подшипниковые стали [43, 47]:

1 Высокая статическая грузоподъемность – предельная нагрузка, при которой остаточные деформации в зоне контакта не превышают 0,01 % от диаметра шарика или ролика. Необходимая статическая грузоподъемность – а она должна быть высока, поскольку давления в области контакта при работе подшипника доходят до 2000–4000 МПа, достигается применением в качестве материалов для подшипников заэвтектоидных легированных хромом сталей, обработанных на высокую твердость.

2 Высокое сопротивление контактной усталости. Эта характеристика чрезвычайно сильно зависит от наличия металлургических дефектов различного рода, особенно сульфидных и оксидных включений, а также водорода, поскольку подшипниковые стали флокеночувствительны.

3 Износостойкость в том числе абразивная, достигается введение в сталь от 1,0 до 1,5 % Cr.

4 Высокое сопротивление малым пластическим деформациям. Это требование наиболее актуально для подшипников точных нагрузок.

5 Размерная стабильность. В зависимости от размеров и класса точности подшипников изменения размеров при эксплуатации не должны превышать $10^{-4} - 10^{-5}$ мм/мм.

При производстве подшипниковых сталей применению рафинирующих переплавов уделяют особое внимание. Рафинирующие переплавы позволяют снизить загрязненность стали, неметаллическими включениями, что значительно удорожает сталь.

Подшипниковые стали обычно классифицируются по условиям работы: различают стали общего применения, используемые для изготовления деталей подшипников (колец, шариков, роликов), работающих при температурах 60–300 °С в неагрессивных средах, и стали специального назначения, предназначенные для изготовления теплостойких и коррозионностойких подшипников.

В составе подшипниковых сталей общего назначения обязательно присутствует хром. Хром определяет состав карбидной фазы и, кроме того, обеспечивает необходимую прокаливаемость. Дополнительное введение кремния и марганца проводят с целью повышения прокаливаемости и применяют для сталей, используемых для производства крупногабаритных подшипников с толщиной стенки более 10 мм.

Для изготовления тел качения и подшипниковых колец небольших сечений обычно используют высокоуглеродистую хромистую сталь ШХ15 (от 0,95 до 1,05 % С, и от 1,3 до 1,65 % Сг), а больших сечений хромомарганцево – кремнистую сталь ШХ15СГ (0,95–1,05 % С, 0,9–1,2 % Мп, 0,4–0,65 % Si и 1,3–1,65 % Сг), прокаливающуюся на большую глубину. Стали обладают высокой твердостью, износостойкостью и сопротивлением контактной усталости. К сталям предъявляют высокие требования по содержанию неметаллических включений, так как они вызывают преждевременное усталостное разрушение. Недопустима также карбидная неоднородность. Электрошлаковый и вакуумно-дуговой переплав, уменьшая количество неметаллических включений (сульфидов, оксидов и др.), повышают долговечность подшипников. Стали изготавливают в виде прутков, труб и проволоки. После отжига стали получают структуру мелкозернистого перлита. Такая структура обеспечивает удовлетворительную обрабатываемость резанием и достаточную пластичность при холодной штамповке шариков и роликов; твердость после отжига НВ 179–207 (1790–2070 МПа). Кольца, шарики и ролики проходят закалку в масле (30–60 °С) с 840–860 °С и отпуск при 150–170 °С. Перед отпуском для уменьшения количества остаточного аустенита детали подшипника охлаждаются до температуры не выше 20–25 °С. Это повышает стабильность их размеров [27].

Для получения оптимального сочетания прочности и контактной выносливости кольца и ролики подшипников должны иметь после закалки и отпуска твердость 61–65 для стали ШХ15 и 60–64 для стали ШХ15СГ, а шарики – 62–66. Детали подшипников особо ответственного назначения изготавливают из особо-

высококачественных сталей ШХ15-ШД и ШХ15СГ-ШД, которые дополнительной «очистки» с целью значительного повышения предела выносливости, подвергают последовательно двойном переплаву: электрошлаковому (Ш) – для удаления серы и вакуумно-дуговому (Д) - для удаления газов.

Готовые детали подшипников подвергают ступенчатой или изотермической закалке от 850–900 °С. Выбор такой температуры обусловлен, необходимостью растворить карбиды хрома в аустените, и не допустить чрезвычайного роста зерна аустенита. Окончательной операцией термической обработки подшипниковых сталей является низкий (170–250 °С) отпуск, с целью уменьшения закалочных напряжений.

В качестве материалов для подшипников ответственного назначения, работающих при повышенных ударных нагрузках, применяют стали типа 18ХГТ, 20ХНМ и др. Детали из сталей такого типа имеют повышенную вязкость сердцевин, однако твердость сердцевины не должна составлять менее HRC 35–45 во избежание продавливания цементованного слоя при эксплуатации.

Теплостойкие подшипники качения должны обладать высокой твердостью, в том числе при рабочих температурах (горячая твердость), которая определяет несущую способность подшипника, достаточной контактной выносливостью в рабочем интервале температур, высоким сопротивлением ползучести и релаксации напряжений при воздействии динамических нагрузок и температуры.

Высокая теплостойкость сталей 8Х4М4В2Ф1Ш и 8Х4В9Ф2Ш достигается при совместном легировании вольфрамом и молибденом. Их суммарное содержание должно удовлетворять соотношению $W + 2Mo = (7-10 \%)$. Меньшее содержание не позволяет получить достаточную теплостойкость и стабильную структуру.

В нержавеющих подшипниковых сталях содержится до 18 % Cr, поскольку необходимо обеспечить достаточную теплостойкость и износостойкость, и коррозионную стойкость стали.

Мартенситно – стареющие стали. Мартенситно – стареющие стали получили в настоящее время достаточно широкое распространение вследствие удачного сочетания высоких прочностных и пластических свойств, хорошей тепло- и хладноломкости, достаточного сопротивления хрупкому разрушению, размерной стабильности при термической обработке [41].

Разработан весьма широкий ряд мартенситно – стареющих сталей не только на основе системы Fe-Ni, но и на основе тройных систем (Fe-Ni-Co, Fe-Ni-Cr, Fe-Cr-Co), дополнительно легированных Mo, Co, Ti, Al. Особенностью этих сталей является то, что они практически безуглеродистые. Их матрица после закалки представляет собой α – твердый раствор, пересыщенный элементами замещения. При распаде α – твердого раствора при старении сплавов происходит выделение упрочняющих интерметаллидных фаз. Структура мартенситно – стареющих сталей после закалки представляет собой так массивный или реечный мартенсит, имеющий высокую плотность дефектов кристаллической решетки.

Мартенситно – стареющие стали можно разделить на стали общего и специального назначения (нержавеющие стали), их классификация представлена на рисунке 8. Составы мартенситно – стареющих сталей регламентируются обычно соответствующими техническими условиями (ТУ).

Как правило, мартенситно – стареющие стали общего назначения содержат 8–20 % Ni. При добавлении к железу 4–8 % Ni происходит снижение температуры $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, и после закалки образуется мартенсит замещения. Введение 8–12 % Ni с одновременным легированием Ti, Al, Mo и другими элементами приводит к развитию старения благодаря уменьшению растворимости легирующих элементов в мартенсите; с повышением содержания никеля до 12–20 % увеличивается сопротивление хрупкому разрушению благодаря высокой подвижности дислокаций и облегченного поперечного скольжения в железоникелевой матрице.

Положительно влияет комплексное легирование при совместных добавках молибдена и кобальта – в этом случае интенсивность упрочнения при старении существенно возрастает. Титан и алюминий относятся к наиболее эффективным упрочнителям мартенситно – стареющих сталей. Растворимость их в α -фазе мала, и в присутствии никеля при нагреве происходит выделение дисперсных фаз Ni_3Ti , $NiAl$. Однако титан резко понижает пластичность, вязкость и сопротивление хрупкому разрушению, поэтому суммарное отношение титана и алюминия не превышает 1 %. Понижение пластичности мартенситно – стареющих сталей при увеличении содержания титана связано с образованием при охлаждении в интервале 800–1000 °С карбонитрида Ti (C, N) по границам аустенитных зерен. В отличие от Ti и Al молибден не оказывает столь сильного охрупчивающего воздействия и поэтому он присутствует в составе практически всех мартенситно – стареющих сталей [12].

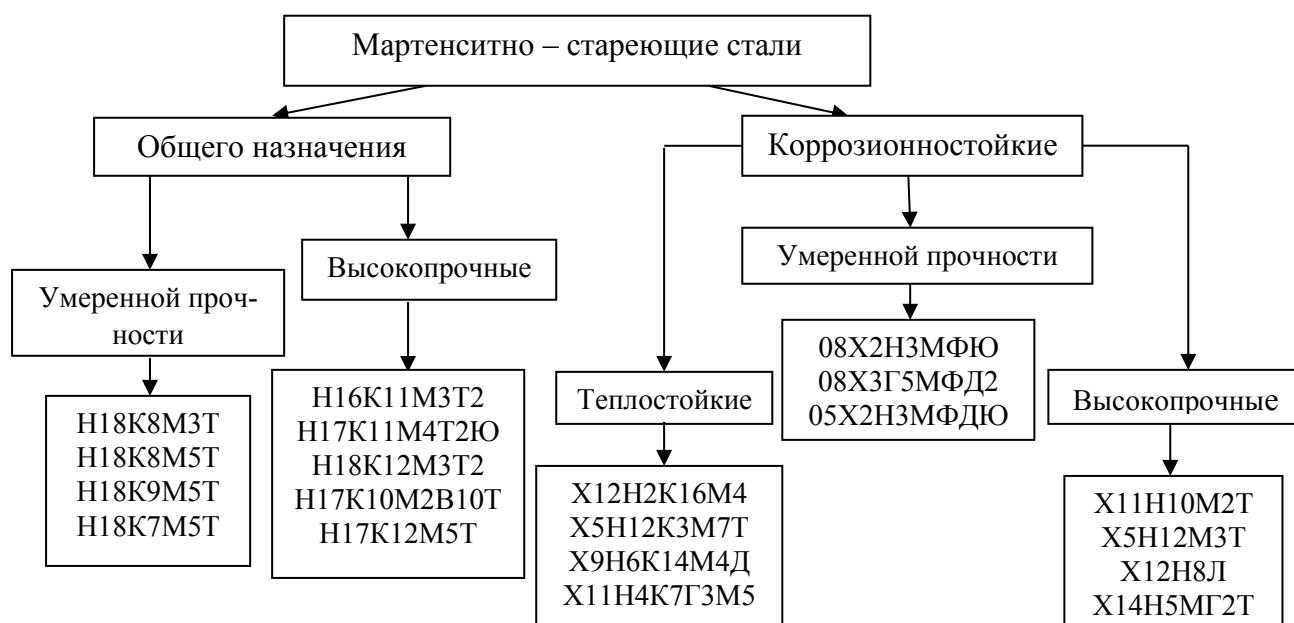


Рисунок 8 – Схема классификации мартенситно – стареющих сталей

Важнейшим преимуществом мартенситно – стареющих сталей перед другими высокопрочными материалами является высокое сопротивление хрупкому разрушению. Мартенситно – стареющие стали высокой прочности по уровню ударной вязкости мало отличаются от высокопрочных конструкционных сталей. Однако температура порога хладноломкости существенно ниже на 70–80 °С, а значение ударной вязкости образцов с трещиной намного выше, чем у углеродо-содержащих высокопрочных сталей.

Область применения мартенситно – стареющих сталей определяются растущей потребностью ряда передовых областей техники высокопрочных материалов. Однако сравнительно высокая стоимость (примерно в 5 раз выше стоимости легированных высокопрочных сталей) и дефицитность ряда основных легирующих элементов ограничивают применение сталей этого класса теми отраслями, где они являются крайне необходимыми, а иногда и незаменимыми. Высокая хладностойкость позволяет применить мартенситно – стареющие стали для изготовления криогенных систем, деталей авиационной техники (в том числе шасси), гидрокрыльев и т.п. Хорошее сопротивление хрупкому разрушению и весьма высокая прочность сварных конструкций в сочетании с коррозионной стойкостью позволяют использовать мартенситно – стареющие стали, особенно коррозионностойкие, для производства корпусов батискафов, химических сосудов, аппаратов и т.п. Мартенситно – стареющие стали обладают высокой размерной стабильностью при термической обработке, т.е. практически не испытывают коробления. Поэтому из них можно изготавливать особо сложные и точные детали (например, элементы пресс-форм для литья). Мартенситно – стареющие стали нашли применение в композиционных материалах. Распространенный композит алюминиевый сплав (матрица) – мартенситно – стареющая сталь (арматура) [38].

Пружинные стали. Пружинные стали предназначены для изготовления пружин, упругих элементов, пружинящих деталей приборов и механизмов, а также рессор различного типа.

По способу изготовления пружинные стали делят на стали, упрочняемые путем деформации и последующего стабилизирующего отпуска (старения) и стали, упрочняемые путем закалки на пересыщенный твердый раствор и последующего отпуска (старения). По назначению пружинные стали можно разделить на стали общего назначения (рис. 9), предназначенные для изготовления изделий, обладающих высоким сопротивлением малым пластическим деформациям (предел упругости) и релаксационной стойкостью, при достаточной пластичности и вязкости, для пружин, работающих при циклических нагрузках, и высоким сопротивлением усталости. Рабочая температура таких пружин обычно не превышает 100–120 °С. И стали специального назначения, предназначены для изготовления изделий, к которым кроме необходимого высокого комплекса механических свойств (предел упругости, сопротивление релаксации напряжений, пластичность), предъявляют требования по обеспечению специальных физико-химических свойств (коррозионной стойкости, немагнитности, теплостойкости). В

некоторых случаях необходимы пружины для работы при отрицательных температурах. Имеются высоколегированные пружинные сплавы с заданным коэффициентом линейного расширения, независимым от температуры модулем упругости.

Пружинные материалы чаще всего используют в виде проволоки или ленты, из которых путем нарезки, резки или вырубki изготавливают пружины и пружинящие детали необходимой конфигурации [31].

Наиболее общим требованием ко всем пружинным сталям является обеспечение высокого сопротивления малым пластическим деформациям (предел упругости) и релаксационной стойкости (сопротивление релаксации напряжений). Предел упругости пружинных сталей определяют при некотором допуске на остаточную деформацию (условный предел упругости), обычно 0,03 %. Высокая релаксационная стойкость пружинных сталей (сопротивление релаксации напряжений) обеспечивает точность и надежность работы пружин и упругих элементов, постоянство во времени эксплуатационных свойств (например, крутящего момента, силовых параметров). Под релаксацией напряжений понимается самопроизвольное затухающее падение напряжений при постоянной суммарной деформации.

Стали общего назначения. Пружинные стали общего назначения в виде проволоки или ленты можно упрочнять холодной пластической деформацией и закалкой на мартенсит с последующим отпуском. Путем пластической деформации широко обрабатывают пружинные стали (углеродистая сталь с 0,6–1,2 % С). Готовые пружины подвергают стабилизирующему отпуску.

Сталь 70С3ХМВА смещает максимум релаксационной стойкости в сторону более высоких температур отпуска по сравнению, например, со сталью 70С2ХА. Однако в легированной стали 70С3ХМВА релаксация напряжений замедленна. Легирование способствует образованию повышенных количеств остаточного аустенита при закалке, поэтому для легирования пружинных сталей необходимо применять ускоренные способы охлаждения в мартенситном интервале: такие как закалку в воду или масло, ступенчатую закалку с дополнительным охлаждением после переохлаждающей ванны.

Значительное влияние на свойства пружинной проволоки и ленты, а так же готовых пружин, упрочненных путем закалки на мартенсит и отпуска, оказывает значительная обработка перед закалкой. Закаленная и отпущенная лента, и проволока с предварительной обработкой на структуру тонкопластинчатого сорбита имеет более высокий комплекс механических свойств, по сравнению с обработкой на структуру зернистого цементита.

В целом пружинная проволока и лента и изделия из них, обработанные путем пластической деформации и отпуска (деформационного старения), обладают более высокими значениями вязкости (число перегибов или скручиваний) и сопротивление усталости. Проволока и лента, упрочняемые путем закалки на мартенсит и отпуска, имеют более высокие значения предела упругости и сопротивление релаксации, а также более высокие силовые характеристики пружин [6].

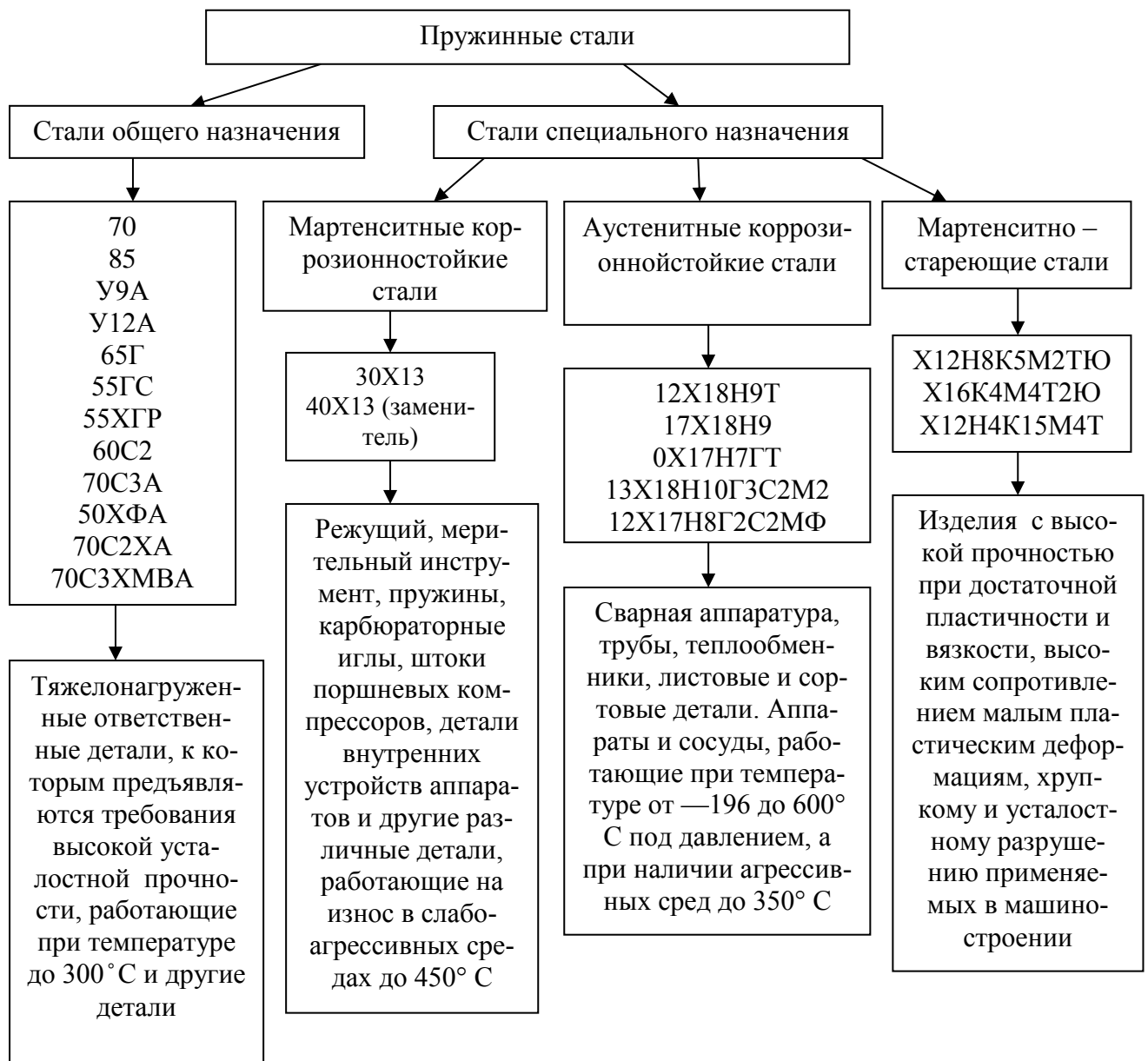


Рисунок 9 – Схема классификация пружинных сталей

Легирование пружинных сталей общего назначения перлитного и мартенситного классов ограничено необходимостью сохранения достаточной пластичности для проведения холодной прокатки ленты или волочения проволоки, а также некоторым технологическими особенностями обработки проволоки и ленты на агрегатах непрерывного действия. Пружинные стали общего назначения легируют элементами, повышающими предел упругости и сопротивление

релаксации. В качестве легирующих элементов используют до 2,5 % Si, до 1,0 % Mn, до 0,5 % Cr, Mo, W или V.

Стали специального назначения. Пружинные стали специального назначения кроме высоких значений предела упругости могут иметь еще и высокую коррозионную стойкость, теплостойкость (высокое сопротивление релаксации при повышенных температурах), немагнитность и др. К таким сталям относятся высоколегированные мартенситные, мартенситно-стареющие и аустенитные стали. В качестве коррозионностойких пружинных сталей применяют мартенситные стали. Для получения высокой коррозионной стойкости стали легируют хромом в количестве более 12 %. Применяют стали типа 30X13 и 40X13 после закалки от температур 1000–1050 °С и отпуска. Режим отпуска зависит от назначения пружин. Для работы при комнатной температуре применяют отпуск при 300–350 °С, а в условиях повышенных температур при 500–550 °С. Повышенная прокаливаемость таких сталей позволяет использовать их для пружин больших сечений. Для повышения релаксационной стойкости нержавеющей стали мартенситного класса дополнительно легируют вольфрамом, молибденом, ванадием и другими элементами. Так сталь 12X12H2BMФ имеет рабочую температуру 350 °С, что на 50 °С выше, чем у стали 30X13.

Мартенситно – стареющие стали перспективны как пружинные стали специального назначения. Мартенситно – стареющие стали на Fe-Ni (H18K9M5T, H18K8M4TЮ, H16K4M4T2Ю) и Fe-Cr-Ni (X12H10Д2Т5, X12H10Д2Т, X18H8K5M2TЮ) основах применяют для изготовления пружинной проволоки и ленты. Почти все мартенситно – стареющие стали (за исключением сверхпрочных с пониженной пластичностью) могут быть использованы в качестве пружинных [49].

Мартенситно – стареющие стали на Fe-Ni- основе используют благодаря их высокой релаксационной стойкости и высокому значению предела упругости для работы в условиях больших рабочих нагрузок при повышенных температурах. Стали на Fe-Cr-Ni- основе являются коррозионностойкими и имеют высокое сопротивление релаксации напряжений, при этом хромоникелевые нержавеющей мартенситно – стареющие стали можно принять для изготовления пружин, работающих при температурах до 400–500 °С. при рабочих температурах до 500–600 °С следует применять пружины из мартенситно – стареющих сталей на Fe-Cr-Co-Mo-основе.

К нержавеющей теплостойким пружинным сталям относятся стали на аустенитной основе. Как правило, аустенитные пружинные стали – это стали, на железо – никелевой основе, содержащие до 0,2 % С. Наиболее широко для пружин применяют обычные аустенитные хромоникелевые стали, например, 12X18H10Т, 17X18H9. Для получения высокого сопротивления начальным пластическим деформациям (предел упругости) и релаксационной стойкости аустенитные стали, предназначенные для изготовления пружин и упругих элементов, упрочняют путем пластической деформации (прокатка ленты, волочение проволоки) и отпуска (деформационного старения).

Для повышения теплостойкости, т.е. сопротивления релаксации при повышенных температурах аустенитные пружинные стали дополнительно легируют такими элементами как молибден, вольфрам, титан. Предел упругости аустенитных пружинных сталей повышается при легировании кремнием в количестве до 2,0–2,5 %, более высокие содержания кремния могут понижать пластичность. При температурах релаксации выше 450 °С релаксационная стойкость пружинных сталей становится недостаточной. В этом случае можно применить сплавы (например, X25H25T) в монокристаллическом состоянии. Монокристаллические пружинные материалы используют в литом и деформированном состояниях.

Высокопрочные стали. К высокопрочным относятся стали, временное сопротивление которых σ_v более 1600 МПа. Стали с пределом текучести более 2000 МПа иногда называют сверхвысокопрочными.

Прежде всего, высокопрочные стали применяют в изделиях, для которых важно уменьшение массы при сохранении высокой прочности. Это могут быть высокопрочные болты и крепежные изделия, некоторые виды тросов и прядей, высокоскоростные роторы, валы и многие другие детали машин и механизмов. Высокопрочные стали используют в космической, ракетной, авиационной технике, а также в ряде отраслей приборостроения (рис. 10).

Высокопрочные стали при необходимой прочности должны иметь достаточную пластичность, сопротивление динамическим нагрузкам, ударную вязкость, усталостную прочность, а для ряда изделий и хорошую свариваемость.

В высокопрочном состоянии изделия весьма чувствительны к различным концентраторам напряжений как внешним (выточки, острые переходы, отверстия с малым радиусом и т.д), так и внутренним (неметаллические включения), поэтому большое значение имеет частота стали по неметаллическим включениям [39].

Существуют разные способы получения высокопрочных сталей: закалка на мартенсит с низким отпуском (300–350 °С) и вторичное твердение в интервале температур 500–650 °С, а также ряд специальных технологических процессов, к которым можно отнести термомеханическую обработку, волочение сталей со структурой тонкопластинчатой феррито-карбидной смеси, получение сталей со структурой сверхмелкого зерна.

Легированные низкоотпущенные стали. Роль легирования заключается в повышении устойчивости мартенсита к отпуску (получение высокие прочностные свойства при более высоких температурах отпуска), обеспечении необходимой прокаливаемости, повышении сопротивления хрупкому разрушению. Углерод является элементом, наиболее упрочняющим мартенсит. Но он сильно понижает хрупкую прочность стали, поэтому содержание углерода в высокопрочной стали, обрабатываемой путем закалки на мартенсит и последующего низкого отпуска, должно быть не высоким. Обычно содержание углерода в высокопрочной низкоотпущенной стали не превышает 0,3–0,4 %.

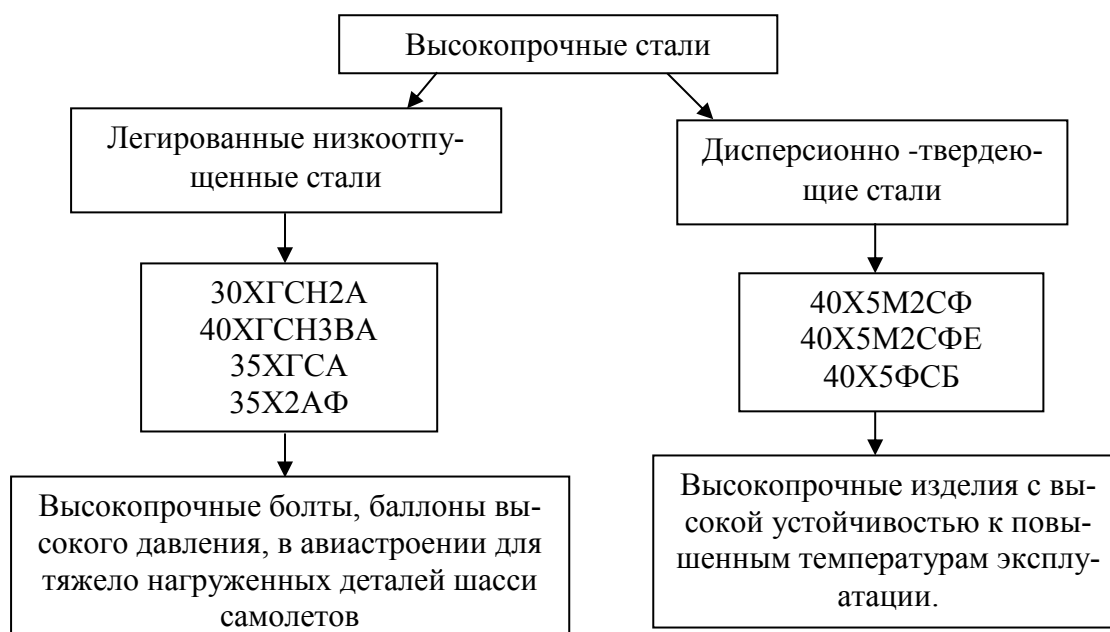


Рисунок 10 – Схема классификации высокопрочных сталей

Высокопрочные стали легируют хромом, молибденом, вольфрамом и ванадием, а так же кремнием. Полезным является легирование высокопрочной стали никелем (иногда в сочетании с кобальтом), так как никель повышает вязкость стали. Такие стали как 35X2АФ, 40X2АФЕ обеспечивают после закалки и низкого отпуска высокий комплекс свойств в сечениях до 50мм.

Для высокопрочной низкоотпущенной стали мартенситного класса большое значение имеет чистота стали по не металлическим включениям и вредным примесям. Повышение чистоты стали по не металлическим включениям повышает усталостную прочность и пластичность стали.

К недостаткам низкоотпущенных высокопрочных сталей относятся большая чувствительность к действию различных сред: водородная хрупкость, возникающая при травлении и гальванических покрытиях, хрупкость при контакте с водой, металлическими расплавами [35].

Низкоотпущенные стали применяют для высокопрочных болтов, баллонов высокого давления, в авиастроении для тяжело нагруженных деталей шасси самолетов. Возможно применение таких сталей для корпусов ракетных двигателей.

Дисперсионно-твердеющие стали. Для изготовления высокопрочных изделий с высокой устойчивостью к повышенным температурам эксплуатации используют стали с вторичным твердением. Эффект вторичного твердения при отпуске закаленных на мартенсит сталей основан на выделении специальных карбидов в интервале температур 550–650 °С. При этом повышаются прочностные

характеристики и падает пластичность и вязкость. Возрастание прочности и твердости сталей при вторичном твердении происходит при определенной объемной доле выделяющихся карбидов.

Содержание углерода в дисперсионно – твердеющих сталях также, как и в низкоотпущенных сталях не должно превышать 0,3–0,4 %. Более высокое содержание углерода значительно понижает пластичность высокопрочной стали.

При комплексном легировании высокопрочной стали хромом, молибденом и ванадием, существенный пик вторичной твердости достигается примерно при содержании стали 5 % Cr; 1–2 % Mo и 0,5 % V. К этому следует добавить, что хром и молибден, переведенные в аустените в больших количествах при относительно невысоких температурах (около 950–1000 °С), что делает удобным проведение аустенитизации, а содержание ванадия более 0,5 % нежелательно, так как при этом образуется чрезмерное количество карбида ванадия, что приводит к снижению пластичности и вязкости стали.

Полезным является легирование высокопрочной стали со вторичным твердением кремнием. Кремний повышает интенсивность вторичного твердения, однако он одновременно ускоряет перестаривание и поэтому содержание кремния ограничивается. Небольшие добавки ниобия способствуют получению мелкозернистой стали.

В настоящее время разработано большое количество высокопрочных дисперсионно-твердеющих сталей. Все эти стали являются модификацией штамповых сталей для горячего деформирования. Такие стали обычно подвергают закалке от температур 1000–1100 °С, что обеспечивает перевод части карбидной фазы в твердый раствор. Однако зерна аустенита при этом остаются мелкими, так как около половины карбидов ванадия и почти целиком карбиды ниобия остаются нерастворимыми и являются барьерами при миграции границ зерен. Отпуск дисперсионно-твердеющих высокопрочных сталей обычно проводят при температурах выше максимума прироста прочностных свойств, а именно, при 600–650 °С в области некоторого перестаривания, что повышает пластичность и вязкость, так как при максимальном развитии вторичного твердения наиболее интенсивно падает ударная вязкость стали.

Одним из важных достоинств дисперсионно-твердеющих сталей является сохранение высокой устойчивости против отпуска и, следовательно, высокие механические свойства при повышенных температурах эксплуатации. Дисперсионно – твердеющие высокопрочные стали могут быть использованы для работы при температурах на 100–150 °С ниже температуры отпуска, т.е до 500–600 °С (при не слишком длительных выдержках при эксплуатации).

Для высокопрочных дисперсионно-твердеющих сталей характерна также высокая чувствительность к надрезам и неметаллическим включениям. Применение более чистых шихтовых материалов и качественных методов выплавки (вакуумная плавка) позволяют существенно повысить пластичность высокопрочных сталей и, следовательно, надежность изделий [47, 48].

Контрольные вопросы:

1 Какие стали относятся к строительным сталям?

- 2 Каким требованиям должна отвечать сталь для холодной штамповки?
- 3 Какую обработку проходят двухфазные стали для холодной штамповки?
- 4 Назовите марку стали с хорошей обрабатываемостью резанием.
- 5 Каким требованиям должны отвечать улучшаемые стали?
- 6 Какие требования предъявляют к стали для изготовления подшипников?
- 7 Марки сталей применяемых для изготовления подшипников.
- 8 Назовите основные преимущества и недостатки мартенистно-старееющих сталей.
- 9 Область применения мартенситно-старееющих сталей.
- 10 Требования, предъявляемые к пружинным сталям?
- 11 Марки пружинных сталей.
- 12 Какие стали применяют для деталей, работающих в агрессивных средах?
- 13 Какие стали применяют для работы при температурах 550–600 °С?
- 14 Каким требованиям должны отвечать стали при работе при высоких температурах?
- 15 Какие стали считаются высокопрочными?
- 16 Какие способы достижения высокой прочности в сталях используются в производстве?
- 17 Где используют износостойкие стали?
- 18 Термическая обработка мартенситно-старееющих сталей.
- 19 Термическая обработка улучшаемых сталей.
- 20 Как возникает износостойкость в аустенитных сталях?
- 21 Область применения высокопрочных сталей?
- 22 Элементы, обеспечивающие коррозионную стойкость стали?
- 23 Чем обусловлена устойчивость к агрессивной среде коррозионностойких сталей?
- 24 Что такое жаропрочность и жаростойкость стали?
- 25 Чем обусловлена ползучесть нагретого металла при нагружении?
- 26 Назовите марку стали с «памятью формы».
- 27 Термическая обработка пружинных сталей.

3 Стали и сплавы с особыми физическими свойствами

Сплавы, имеющие точно определенный состав и специальные физические или физико-механические свойства, называют прецизионными (рис. 11). При их изготовлении требуется строго соблюдать режимы выплавки и обработки. При отклонении от строго регламентированных режимов недостижимы высокие параметры, характерные для того или иного сплава.



Рисунок 11 – Схема классификации сталей и сплавов с особыми физическими свойствами

К прецизионным относят сплавы со специальными электрическими, магнитными, тепловыми, упругими и другими свойствами. Большинство прецизионных сплавов создано на основе Fe, Ni и Co, либо на основе их сочетания (например, Fe–Co, Fe–Ni, Ni–Co). Для усиления соответствующих физических свойств сплавы легируют элементами: Mo, Cr, Mn, Cu, Zr, Ti, Nb, Вe и другими.

Эти сплавы, как правило, безуглеродистые (содержание углерода в них менее 0,005–0,05 %). Содержание других примесей также должно быть возможно более низким. Очень важно для получения требуемых свойств прецизионных

сплавов обеспечить строгое соблюдение режимов промежуточных и окончательных обработок на всех этапах их изготовления [31].

3.1 Магнитно - мягкие и магнитно - твердые стали и сплавы

Магнитные материалы подразделяются: на магнитно-мягкие с коэрцитивной силой по индукции не более 4 кА/м и магнитно-твердые с коэрцитивной силой по индукции не менее 4 кА/м. Коэрцитивная сила по индукции - величина, равная напряженности магнитного поля, необходимого для изменения магнитной индукции от остаточной индукции до нуля (до полного размагничивания). Магнитно-мягкие металлические материалы (стали и сплавы) легко намагничиваются и перемагничиваются и характеризуется узкой петлей гистерезисного цикла. Наряду с малой коэрцитивной силой они должны обладать высокой магнитной проницаемостью и относительно большой индукцией насыщения. Магнитно – мягкие материалы используют в трансформаторах, генераторах, переключателях и других устройствах [6].

Магнитно-твердые стали и сплавы применяют для изготовления постоянных магнитов. Они должны иметь высокие значения коэрцитивной силы и остаточной индукции. Коэрцитивной силой называется напряженность магнитного поля обратного знака, которая должна быть приложена к образцу для его размагничивания. Остаточной индукцией называют магнитную индукцию, остающуюся в образце после его намагничивания и снятия магнитного поля. К магнитно-твердым сталям относятся стали ЕХЗ (1 % С, 3 % Сг), ЕХ5К5 (1 % С, 5 % Сг, 5 % Со), подверженные закалке на мартенсит и старению при 100 °С. Одним из лучших материалов для магнитов является сплав альнико (8 % А1, 14 % №, 24 % Со, остальное Fe). Магниты из альнико изготавливают литьем, так как они плохо обрабатываются резанием.

Магнитно-мягкие стали используются для работы в переменных полях, т. е. в условиях непрерывного перемагничивания. Магнитно-мягкие материалы должны иметь малое значение коэрцитивной силы и высокую магнитную проницаемость. Из них изготавливают сердечники магнитных устройств, магнитопроводы. Для этой цели широко применяют низкоуглеродистые стали с добавлением кремния 1–5 %.

Высокую магнитную проницаемость имеют специальные железоникелевые сплавы-пермаллои с определенными узкими пределами содержания никеля (около 78,5 %). Магнитная проницаемость пермаллоев почти в 10 раз больше, чем у низкоуглеродистого технического железа, что позволяет использовать их для приборов, работающих в слабых полях (радио, телефон). Недостатком сплава является его повышенная хрупкость [36]. В радиоаппаратуре и электромашиностроении иногда требуются магнитодиэлектрики, которые отличаются высоким постоянством магнитной проницаемости. Магнитодиэлектрики получают обычно методами порошковой металлургии из карбонильного железа и альсифера с изолирующими материалами. Иногда в электромашиностроении требуются немагнитные материалы с низкой электропроводностью и высокими

механическими свойствами. Для этих целей используют аустенитные стали и чугуны. К числу таких сталей относятся Н12ХГ, 45Г13Ю3 и чугуны: хромоникелевые (Х18Н9) и марганцовистые (ГЗ). Аустенитные стали для этих целей применяют реже из-за плохой обрабатываемости [31].

3.2 Сплавы с высоким электросопротивлением

В электротехнической промышленности электросопротивления находят применение в двух существенно различных областях: как сопротивления – нагреватели и как сопротивления для измерительных приборов и тонкого регулирования (в сплавах этого типа требуется точная воспроизводимость величины сопротивления).

Наиболее часто используют сплавы (рис. 12) высокого омического сопротивления нихромы Х20Н80 и ферронихромы Х15Н60, а также нихромы, легированные титаном, – Х20Н80Т, Х20Н80Т3 и др. Максимальная температура, до которой работают указанные сплавы, 1050–1150 °С (последняя для легирования титаном). Недостатком этих сплавов является их дороговизна и высокое содержание дефицитного никеля. Разработаны также сплавы на основе железа – хромоалюминиевые стали ферритного класса Х13Ю4 (фехраль) и 0Х25Ю5А (хромаль). Рабочая температура этих сплавов тем выше, чем больше в сплаве алюминия и хрома. Стали типа Х13Ю14 и 1Х17Ю5 работоспособны до 850–1000 °С, некоторые марки сталей (1Х17Ю5) – до 1150 °С, а такие, как 0Х27Ю5А, – и до 1250 °С. В сталях, используемых для нагревательных элементов, строго ограничивается содержание углерода (0,06–0,12 %), поскольку выделение карбидов отрицательно влияет на пластичность и уменьшает срок службы изделий [31].



Рисунок 12 – Схема классификация сплавов с высоким электросопротивлением

Для сопротивлений – нагревателей (с высоким омическим сопротивлением, порядка $100\text{--}150 \cdot 10^{-8}$ Ом/м) обычно используют твердые растворы. Структура твердого раствора обладает высокой пластичностью, поэтому сплавы для сопротивлений – нагревателей легко деформируются в ленту и проволоку. Нагреватели должны обладать хорошей окалиностойкостью и достаточной прочностью при высоких температурах, чтобы при работе сохранялась их форма.

3.3 Прецизионные сплавы с высокими упругими свойствами и аномальным тепловым расширением

Прецизионные сплавы с высокими упругими свойствами используются в приборостроении для изготовления упругочувствительных элементов различной измерительной аппаратуры. Эти сплавы подразделяют на ферромагнитные, с температурно – стабильным модулем упругости и немагнитные [19, 21].

К ферритомангнитным сплавам на железоникелевой основе принадлежит элинвар, обладающий малым температурным коэффициентом упругих модулей, а к немагнитным – дисперсионно – твердеющий сплав 40ХНМ, обладающим, помимо высоких упругих свойств, коррозионной стойкостью. Сплав имеет высокую пластичность при повышенных температурах, поэтому поддается ковке и прокатке. Для точного приборостроения важны сплавы с низким температурным коэффициентом линейного расширения α . В сочетании с высокой пластичностью они пригодны для спайки со стеклом и керамикой.

Сплавы с минимальным α используют в измерительной технике, а сплавы двух других групп – в основном для изготовления деталей приборов, имеющих спай со стеклом, керамикой и другими материалами. Большинство сплавов с заданным α однофазны во избежание объемных изменений при изготовлении и эксплуатации изделий. Широко используется инвар (36 % Ni, ост. Fe) и более сложные сплавы на его основе, а также железохромистый сплав Х18ТФ.

Особенностью этих ферромагнитных сплавов с заданным α является аномалия теплового расширения. Заключается она в том, что у сплава с 36 % Ni температурный коэффициент линейного расширения примерно на порядок ниже, чем у входящих в него чистых компонентов железа и никеля; а у сплава с 25 % Ni – он, наоборот, почти в два раза выше. Это различие наблюдается лишь для ферромагнитного состояния сплавов. При переходе в парамагнитное состояние температурный коэффициент линейного расширения значительно возрастает. Увеличение температурного интервала, в котором железоникелевые сплавы сохраняют низкие значения α , достигается их легированием кобальтом и медью, сужение – легирование хромом [31].

К сплавам с минимальным тепловым расширением относятся 36Н, 39Н, а также 32НКД и 35НКТ. Для снижения величины α сплавы закаливают с 830 – 870 °С в воду, отпускают при 315 °С в течении часа и затем около 48 ч подвергают старению при 95 °С. При этом α около $1,7 \cdot 10^{-6}$ 1/°С. Еще более низкие значения α получают в результате отжига сплавов после холодной деформации на 60 %.

Сплав 36Н используют в точном машиностроении в интервале температур от 100 до – 269 °С. В интервале от 100 до – 60 °С также широко применяют железоникелькобальтовый сплав 32КНД и супер – инвар. Для деталей повышенной прочности и твердости и одновременно с заданным α используют дисперсионно-твердеющий сплав 35КНТ (35 % Ni; 5–6 % Cr; 2,2–2,8 Ti; не более 0,05 % С; 0,5 % Со; ост. Fe). Величина α сплавов и спаиваемых с ними неорганических веществ должны быть близки, а сами материалы не должны претерпевать фазовых превращений. Для этих целей используют сплавы 30КНД (29,5–30,5 % Ni; 13–14,2 % Со; 0,05 % С; 0,3–0,5 % Cu; ост. Fe). и 29НК (28,8 % Ni; 17,8 % Со; 0,02 %С; ост. Fe) [14].

Немагнитные сплавы с заданным температурными коэффициентами линейного расширения характеризуются средними значениями α и низкой магнитной восприимчивостью. К числу этих сплавов относят 75НМ (никель-молибденовый), 80НМВ и 70НВД (никель-молибденовый и никельвольфрамовый, легированный медью до 1-2%).

3.4 Сплавы с эффектом «памяти формы»

В технике все более широкое применение получают сплавы, обладающие эффектом «памяти формы», т.е. способностью восстанавливать форму в результате протекания фазовых превращений.

В основе эффекта лежит явление термоупрочняемого мартенситного превращения, предсказанного Г. В. Курдюмовым в 1948 году и затем обнаруженного им на алюминиевой бронзе. Эффект проявляется в том, что изменение формы материала проводить при температуре ниже начала мартенситного превращения, а затем материал нагревать до температуры обратного мартенситного превращения, то проявляется возврат к исходной форме. Наблюдается и обратный эффект.

Если ленту или проволоку свернуть в спираль при повышенной температуре, затем охладить до температуры ниже мартенситной точки, чтобы прошло прямое мартенситное превращение, и в мартенситном состоянии разогнуть, то при повторном нагреве до температуры выше A_c , в результате протекания обратного мартенситного превращения выпрямленный образец вновь примет спиральную форму. Изменение формы при нагреве и охлаждении может происходить многократно.

Материалы с эффектом «памяти формы» получили широкое распространение в космической технике (в частности для антенн), авиации, атомной энергетике (в качестве соединительных элементов трубопроводов, различных термодатчиков), редко в виде монокристаллических изделий. Проводиться как разработка новых составов сплавов с эффектом «памяти формы», так и поиск новых областей использования в технике [31].

Многие из сплавов с эффектом «памяти формы» обладают также высокой демпфирующей способностью (способностью гасить упругие механические и

акустические колебания). Поэтому такие сплавы очень перспективны для конструкций, испытывающих вибрационные нагрузки. Высокой демпфирующей способностью обладают сплавы типа 70ГНДХ, 70ГНХ, 56ДГНХ.

Контрольные вопросы:

- 1 Какие основные классы сталей и сплавов используют в электротехнической промышленности?
- 2 Перечислите основные свойства сплавов с эффектом «памяти формы».
- 3 Где используются сплавы с аномальным тепловым расширением?
- 4 Каковы области применения материалов с эффектом «памяти формы».
- 5 Какими элементами легируются стали и сплавы с особыми физическими свойствами?
- 6 Каковы свойства магнитных материалов?
- 7 Каковы свойства и назначение магнитно – мягких материалов?
- 8 Каковы свойства и назначение магнитно – твердых материалов?
- 9 Что такое инвар?
- 10 Что такое ковар?

4 Цветные металлы

Цветные металлы – это распространенное сырье для производства металлопроката, металлических конструкций и изделий из металла. Оно востребовано большинством областей современной промышленности. Область применения цветных металлов очень широка: машиностроение, радиоэлектроника, сфера высоких технологий, бытовые коммуникации. Цветной металл обычно представлен изделиями проката, которые являются своего рода полуфабрикаты для дальнейшего использования [3].

Они подразделяются на медные, алюминиевые, титановые и магниевые сплавы (рис. 13).

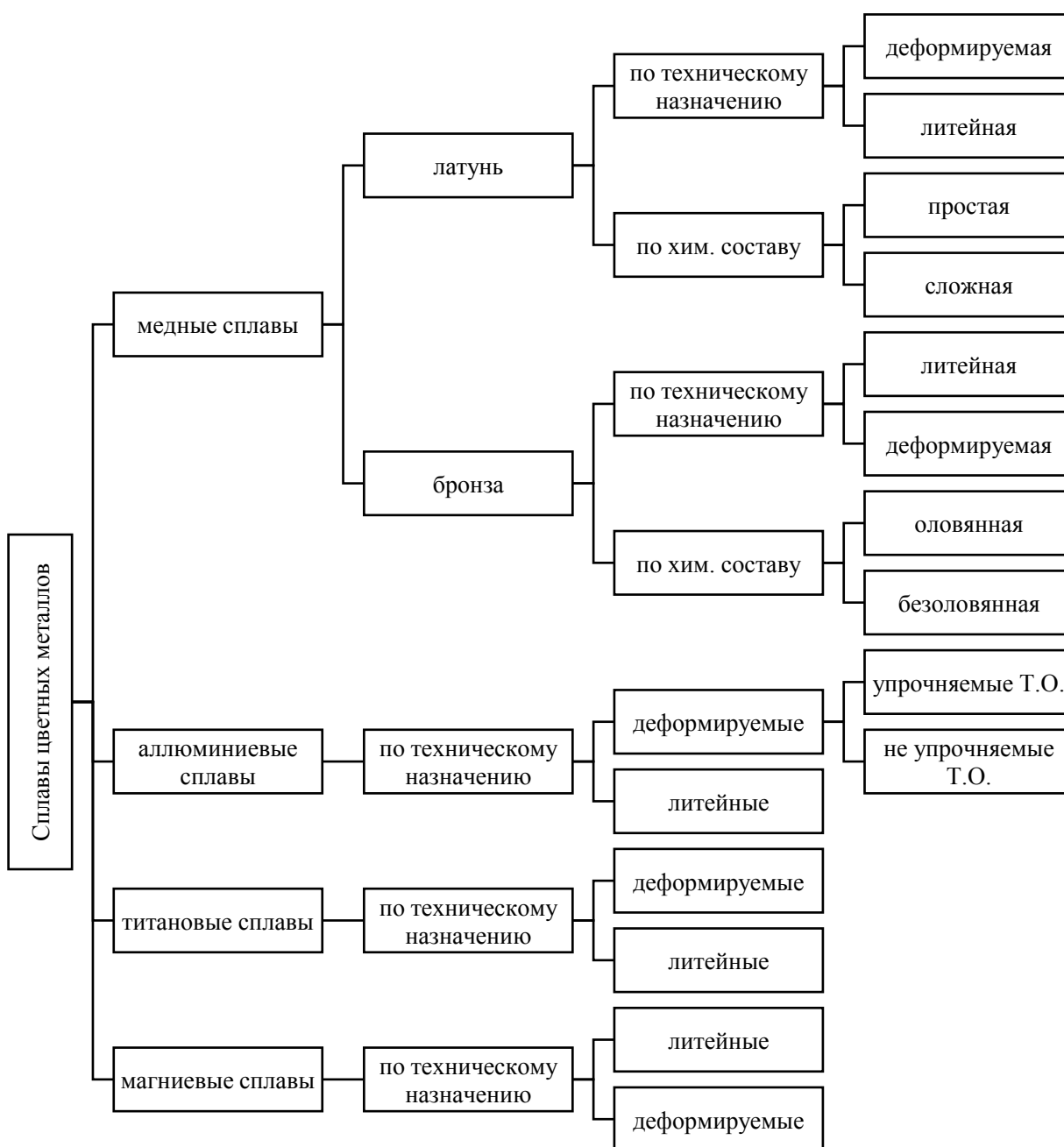


Рисунок 13 – Схема классификации цветных металлов

4.1 Медные сплавы

По химическому составу сплавы меди делят на две основные группы: латуни (сплавы меди с цинком) и бронзы (сплавы меди с другими элементами). Бронзы, в свою очередь, подразделяют на оловянные и безоловянные. По технологическому признаку медные сплавы подразделяют на деформируемые и литейные (рис. 14) [45].

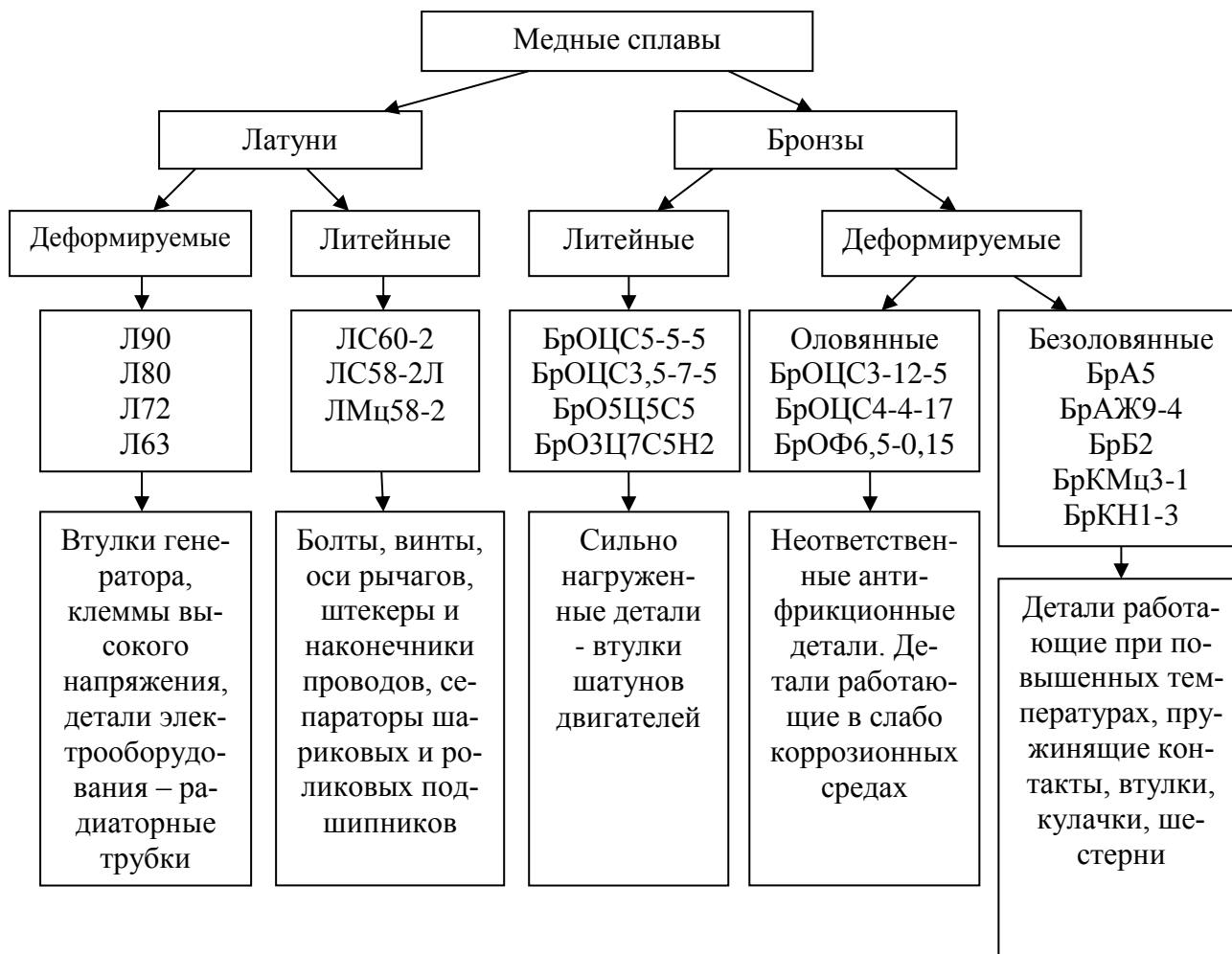


Рисунок 14 – Схема классификации медных сплавов

Сплавы меди маркируют буквами Л (латунь) или Бр (бронза), после чего следуют буквы и цифры, обозначающие составляющие сплав элементы и среднее содержание этих элементов в процентах. Условные обозначения легирующих элементов в медных сплавах: А – алюминий, Б – бериллий, Ж – железо, К – кремний, Мц – марганец, Н – никель, О – олово, С – свинец, Ф – фосфор, Х – хром, Ц – цинк. Порядок букв и цифр различен для деформируемых и литейных сплавов. В марках деформируемых латуней первые две цифры после буквы Л обозначают среднее содержание меди в процентах. Цифры, указывающие содержание других элементов в сплаве, пишут через тире после всех букв, обознача-

ющих эти элементы. Содержание цинка определяют по разности от 100 %. В литейных латунях среднее содержание элемента в процентах ставят сразу после буквы, обозначающей данный элемент. Если цифра отсутствует, то это означает, что данного элемента в сплаве около 1 %. Содержание меди определяют по разности от 100%. Деформируемые латуни Л90, Л80, Л72, Л63 хорошо поддаются холодной обработке давлением, обработке резанием, имеют высокую коррозионную стойкость. Из них изготавливают радиаторные трубки, сильфоны, втулки, тройники, штуцеры, токопроводящие детали электрооборудования, бачки радиаторов. [9] Литейные латуни, например, ЛС60-2, ЛС58-2Л, ЛМц58-2, обладают хорошей жидкотекучестью, коррозионной стойкостью и антифрикционными свойствами. Из них изготавливают втулки, сепараторы шариковых и роликовых подшипников и др.[40]. Деформируемые оловянные бронзы БрОЦС3-12-5, БрОЦС4-4-17 и др. [17] обладают хорошими антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью. Их используют для изготовления плоских и круглых пружин, мембран, антифрикционных деталей. В марках деформируемых бронз содержание основного компонента – меди - не указывают, а определяют по разности от 100 %. Цифры, указывающие содержание элементов в сплаве, пишут через тире после всех букв, обозначающих элементы.

К деформируемым безоловянным бронзам относят:

1 Алюминиевые бронзы БрА5, БрА7, БрАЖ9-4 и др. Они отличаются высокими механическими, антикоррозионными и антифрикционными свойствами. Из них изготавливают втулки, фланцы, шестерни, червячные колеса и другие ответственные детали [16, 18].

2 Бериллиевые бронзы БрБ2, БрБ2,5 и др. Они имеют высокую прочность, упругость, коррозионную стойкость, хорошо обрабатываются резанием и свариваются. Эти бронзы используют для изготовления ответственных пружин, мембран, кулачков, пружинящих контактов и т.д.

3 Кремнистые бронзы БрКМц3-1, БрКН1-3. Они характеризуются хорошими механическими, упругими и антифрикционными свойствами. Такие бронзы легко обрабатываются давлением, резанием и свариваются. Кремнистые бронзы используют вместо более дорогих оловянных для изготовления антифрикционных деталей, а также для замены бериллиевых бронз при производстве пружин, мембран и других упругих деталей, работающих в пресной и морской воде [13].

В марках литейных бронз как и в литейных латунях, среднее содержание элемента в процентах ставят сразу после буквы, обозначающей этот элемент, элемент БрБ2, БрА7. Литейные оловянные и безоловянные бронзы обладают хорошей жидкотекучестью и малой усадкой, что позволяет применять их для изготовления сложных отливок, в частности художественного литья. Высокая коррозионная стойкость в атмосферных условиях, пресной и морской воде способствует их широкому использованию для изготовления пароводяной арматуры. Литейные бронзы являются также хорошим антифрикционным материалом, их применяют для изготовления подшипников скольжения. Недостатком всех медных сплавов является их дороговизна и дефицитность.

4.2 Алюминиевые сплавы

Алюминий - металл серебристо-белого цвета. Чистый алюминий – легкий металл с плотностью $\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3$. Кристаллическая решетка алюминия – Г.Ц.К. с периодом : $\alpha = 4,041 \text{ \AA}$ (0,4041нм). Он хорошо проводит тепло и электричество ($\rho = 2,7 \text{ Ом}\cdot\text{см}\cdot 10^{-6}$). Алюминий химически активен, но образующаяся плотная пленка Al_2O_3 предохраняет его от коррозии. Механические свойства чистого алюминия: σ_6 около 150 МПа, δ около 50 %, модуль упругости $E = 7\cdot 10^3 \text{ МПа}$.

Алюминий высокой чистоты маркируется А99 (99,999 % А1), А8, А7, А6, А5, А0 (содержание алюминия от 99,85 % до 99 %). Технический алюминий хорошо сваривается, имеет высокую пластичность. Из него изготавливают различные строительные конструкции, малонагруженные детали машин. Алюминий используется как электротехнический материал для изготовления кабелей, проводов, шин [10, 25].

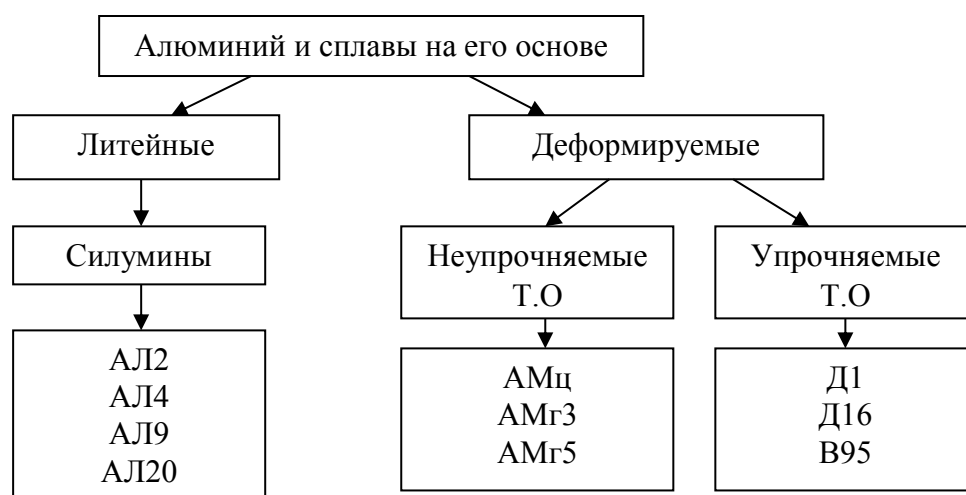


Рисунок 15 - Схема классификации алюминиевых сплавов

Алюминиевые сплавы. Алюминий с другими элементами образует сплавы, диаграммы состояния которых подобны диаграмме А1 - Си. На основе диаграммы состояния алюминиевые сплавы по технологическим свойствам подразделяются на три группы: 1 – деформируемые сплавы, не упрочняемые термообработкой; 2 – деформируемые сплавы, упрочняемые термообработкой; 3 – литейные сплавы (рис. 15).

Маркировка алюминиевых сплавов. Буква Д в начале марки обозначает сплавы типа дюралюминов, буква А в начале марки – технический алюминий. Буквы АК, стоящие в начале марки, присвоены ковким алюминиевым сплавам, В – высокопрочным сплавам. Буквы АЛ имеют марки литейных сплавов. После этих букв отмечается условный номер сплава. Часто за условным номером сле-

дуют обозначения, характеризующие состояние сплава: М – мягкий (отожженный); Т – термически обработанный (закалка + старение); Н – нагартованный; П – полунагартованный (т. е. наклепанный, уплотненный, например молотком или прокатными валками) и др. Некоторые алюминиевые сплавы, например, Al–Cu, Al–Cu–Mg, Al–Mg–Zn–Cu, упрочняются термической обработкой. Термическая обработка позволяет повысить прочностные свойства металла.

Обоснование изменения механических свойств при закалке и старении алюминиевых сплавов базируется на дислокационной теории пластической деформации и факторах, влияющих на подвижность в металлах. Таким образом, целью термической обработки является получение требуемого комплекса механических и технологических свойств алюминиевых сплавов путем обжига, закалки, старения [29].

Дюралюмины имеют пониженную коррозионную стойкость, для повышения которой в состав сплавов вводится марганец. Для этой же цели производится планирование листового дюралюминия чистым алюминием.

Дюралюмины обычно подвергаются закалке [температура закалки (500 ± 5 °С)] и естественному старению, которому предшествует 2–3 часовой инкубационный период. В течение этого времени сплав сохраняет высокую пластичность. Максимальная прочность достигается после 4–5 суток старения.

Широкое применение находит дюралюминий в авиастроении, автомобилестроении, вагоностроении, строительстве.

Высокопрочными стареющими алюминиевыми сплавами являются сплавы которые, кроме меди и магния, содержат цинк (сплавы В95, В96 имеют σ_B до 650 МПа). Основным потребителем этих сплавов является авиастроение (обшивка, стрингеры, лонжероны, шпангоуты самолетов).

Деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термообработкой. К этим сплавам относятся сплавы типа Al–Mg (группа АМц) и Al–Mg (группа АМг). Сплавы хорошо обрабатываются давлением, хорошо свариваются и имеют высокую коррозионную стойкость. Повышение прочности их достигается нагартовкой (усиленной пластической деформацией поверхностных слоев, например обкатыванием шариком или подшипником).

Упрочнение от наклепа (нагартовки) алюминия и его сплавов объясняется повышением плотности дислокации от 10^7 до 10^{11} см². Из этих сплавов изготавливают строительные конструкции, емкости для жидкостей [15].

Ковочные алюминиевые сплавы. Поковки и штамповки из алюминиевых сплавов АКУ-1, АК6, АК8 и т. д. выполняют при температуре 380–450 °С.

Поковки подвергают закалке от 500–575 °С и старению при 150–165 °С в течение 6–15 ч.

Дополнительное введение в состав алюминиевых сплавов Ni, Fe, Ti повышает температуру рекристаллизации и жаропрочность состаренных сплавов до 300 °С. Из них изготавливают поршни, крыльчатки, лопатки и диски осевых компрессоров турбореактивных двигателей и др.

Характерными для сплава АК4-1 при нагружении ($T = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$) являются постоянная скорость ползучести в течение 40 000 ч и малая скорость распространения трещин в деталях с концентраторами напряжений. Поэтому сплав АК4-1 применяется в сверхзвуковом самолетостроении. Из этого сплава изготавливают не только поковки, но и прокат (листы, плиты, полосы, трубы и др).

Литейные алюминиевые сплавы. Типичными литейными алюминиевыми сплавами являются сплавы системы Al-Si – силумины (10–13 % Si). Присадка к силуминам Mg, Si содействует эффекту упрочнения литейных сплавов при старении; Ti, Zr измельчают зерно; Mn повышает антикоррозионные свойства; Ni, Fe повышают жаропрочность литейных сплавов алюминия.

Имеется много литейных сплавов алюминия разного состава, которые маркируются от АЛ2 до АЛ20. В справочной литературе приводятся состав, условия оптимального использования (литье в землю, кокиль, под давлением), режимы термообработки и получаемые свойства сплавов. Упрочняющей обработкой литейных сплавов обычно является закалка + искусственное старение при повышенных температурах от 150 до 200 $^{\circ}\text{C}$. Сплавы АЛ1, АЛ20 являются жаропрочными при температурах 275–300 $^{\circ}\text{C}$ [11].

4.3 Титан и его сплавы

Титан достаточно широко используется в промышленности. Это объясняется очень ценными свойствами титана: небольшой плотностью, очень высокой удельной прочностью (σ_g/γ) и коррозионной стойкостью. Основными недостатками титана и его сплавов является активное взаимодействие с газами при повышенных температурах, сильная склонность к водородной хрупкости, невысокие антифрикционные свойства, плохая обрабатываемость, невысокая жесткость конструкции из титановых сплавов из-за низкого значения модуля упругости. Титановые сплавы делятся на деформируемые и литейные (рис. 16). Применение титана сдерживается его высокой стоимостью.

Титан – серебристо-белый легкий металл с плотностью 4,5 г/см³ и температурой плавления 1669 $^{\circ}\text{C}$. При 882,5 $^{\circ}\text{C}$ титан претерпевает полиморфное превращение. Чистый йодидный титан имеет σ_g около 270 МПа, δ около 55 %, модуль упругости $E = 112000$ МПа. С уменьшением чистоты титана (марки ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ1) прочностные свойства повышаются ($\sigma_g = 300\text{--}350$ МПа); пластичность падает (δ около 15–25 %) [40].

Титан является химически активным металлом, но на воздухе быстро покрывается защитной пленкой плотных оксидов, из-за чего приобретает высокую стойкость в атмосфере, в воде, в органических и неорганических кислотах (он не стоек в плавиковой, в крепкой серной и в азотной кислотах).

Сплавы титана. Так как титан обладает полиморфным превращением, диаграммы состояния титановых сплавов являются сложными. Как и в сплавах железа, характер превращений при кристаллизации из жидкого состояния имеет

меньшее влияние на свойства титановых сплавов, чем превращения, обусловленные полиморфизмом титана, т. е. превращением титана при охлаждении и нагреве.

Сплавы Ti с Cr, Mn, Fe, Cu, Ni, Pb, Be, Co претерпевают эвтектоидное превращение. Эти элементы называют β - эвтектоидными стабилизаторами.

Сплавы Ti с V, Mo, Nb, Ta, W не претерпевают эвтектоидного распада, и, начиная с некоторой концентрации их в сплаве, β - фаза сохраняется непревращенной до нормальной температуры. Эти элементы называют β - изоморфными стабилизаторами [22].

Титановые сплавы, работающие в узлах трения, подвергаются химикотермической обработке – азотированию при 850–950 °С в течение 30–60 ч, после чего образуется азотированный слой толщиной около 0,1 мм с твердостью 750–900 HV.

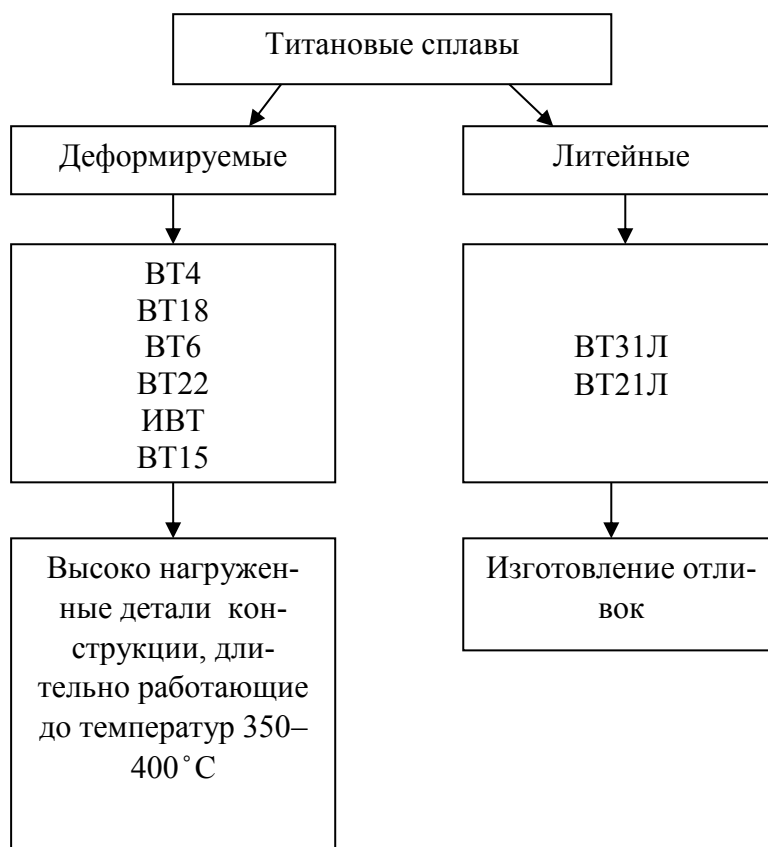


Рисунок 16 – Схема классификации титановых сплавов

Основы классификации и области применения титановых сплавов.

По составу титановые сплавы подразделяются в зависимости от характера легирующего элемента как упрочнителя сплавов. Если обозначить элементы α – стабилизаторы – А, В – эвтектоидные стабилизаторы – В, β изоморфные стабилизаторы – В_и нейтральные упрочнители - N, то возможны следующие типы титановых сплавов: Ti–А; Ti–А–В_э–Ni; Ti–А–В_и; Ti–А–В_и.

Важнейшими примесями – упрочнителями титановых сплавов являются Al, Si, Fe, Mn, Mo, Cr, V. При расчетах принимают, что упрочнение от введения 1 % элемента составляет ($\text{МПа} \cdot 10^{-1}$).

Практически все титановые сплавы имеют в составе Al, так как он дешевый и доступный элемент, имеет малую плотность, из-за чего повышается удельная прочность сплавов.

Для титановых сплавов алюминий имеет эквивалентное значение углероду в сплавах железа.

По способам производства деталей различаются деформируемые и литейные.

Общее направление при разработке новых титановых сплавов – создание комплексно - легированных сплавов, которые обладают высоким сочетанием свойств по сравнению с простыми сплавами. Большинство титановых сплавов применяется в термически обработанном состоянии [34].

Области применения титана и его сплавов. Важнейшими областями использования титановых сплавов является следующие.

1 Авиация и ракетостроение. Изменение массы авиационных конструкций из различных материалов по сравнению с алюминиевым сплавом В95, предназначенным для работы при нормальной температуре.

Из титановых сплавов для самолетов и ракет производят корпуса двигателей, баллонов для газов, сопла, диски, лопатки компрессора, детали крепежа, фюзеляжа. Следует отметить, что у аппаратов, летящих со сверхзвуковой скоростью, обшивка сильно нагревается (при скорости, равной тройной скорости звука), температура достигает 246–316 °С. Для таких условий наиболее приемлемые титановые сплавы.

2 Химическая промышленность (компрессоры, клапана, вентили для агрессивных жидкостей).

3 Оборудование для обработки ядерного топлива.

4 Морское и речное судостроение (гребные винты, обшивках морских судов, подводных лодок).

5 Криогенная техника. Высокая ударная вязкость Ti-сплавов (100–160 Дж/см²) сохраняется до температуры жидкого водорода (- 253 °С).

Основной содержащий фактор по широкому практическому использованию титана – сложность процесса производства титана из руд, что, бесспорно, будет устранено в будущем.

4.4 Магний

Среди промышленных металлов магний обладает наименьшей плотностью (1,7 г/см³), что и обусловило применение магния и его сплавов в различных отраслях техники и главным образом в авиации. Магний кристаллизуется в гексагональной решетке ($a = 0,32$ нм, $c = 0,52$ нм), аллотропических превращений не имеет. Температура, плавления магния невысокая и составляет 651 °С.

Магний и его сплавы неустойчивы против коррозии. Магний относительно устойчив против коррозии лишь в сухой атмосфере. При повышении температуры он интенсивно окисляется и даже самовоспламеняется. Поэтому при использовании магния и его сплавов, особенно при разливке, следует применять меры против его окисления и воспламенения. Окисная пленка магния (MgO) не обладает защитными свойствами (как пленка Al_2O_3 на алюминии) так как ее плотность $3,2 \text{ г/см}^3$ – значительно выше плотности магния, поэтому она растрескивается [20].

Магний обладает малой прочностью и пластичностью. Низкая пластичность – результат малого числа преимущественных плоскостей скольжения в гексагональной решетке. Примерные свойства прокатанного и отожженного магния следующие: $\sigma_b = 180 \text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} = 100 \text{ МПа}$, $\delta = 15 \%$, твердость 30 НВ.

Такие свойства исключают возможность применения чистого магния как конструкционного материала. Технический магний применим для пиротехнических целей, в химическом производстве, как раскислитель и модификатор, однако легированием и термической обработкой могут быть получены сплавы с пределом прочности 300–350 МПа. Применение сплавов магния с такой прочностью оказывается целесообразным, если учесть их низкую плотность (около $1,8 \text{ г/см}^3$).

Магниевые сплавы. В качестве легирующих добавок в магниевых сплавах используют алюминий, цинк и марганец растворяющиеся в магнии. Растворимость падает с уменьшением температуры, что позволяет применять для этих сплавов термическую обработку, заключающуюся в закалке с последующим старением [1, 30].

Следует отметить, что термическая обработка не имеет для магниевых сплавов такого большого значения, как для алюминиевых, так как у магниевых сплавов не наблюдается при этом столь существенного изменения свойств.

Кроме алюминия, цинка и марганца, являющихся, как правило, постоянными компонентами промышленных сплавов магния, в сплав магния вводят и некоторые другие элементы, обычно в сотых долях процента. Как и алюминиевые, сплавы магния также подразделяют на деформируемые и литейные (первые маркируются буквами МА, вторые МЛ). Это видно на схеме на рисунке 17.

Следует отметить, что в магниевых сплавах эффект старения невелик ($\Delta \sigma_b$ около $30 \div 40 \text{ МПа}$, $\Delta \sigma_{0,2}$ около $50 \div 80 \text{ МПа}$), и поэтому часто ограничиваются одной закалкой, при которой за счет гомогенизации и растворения пограничных выделений заметно повышаются пластические свойства при одновременном и некотором повышении прочностных. Сплав МА10, по-видимому, является наиболее прочным магниевым сплавом (σ_b более 430 МПа) и, вероятно, представляет собой сплав с наиболее высокой удельной прочностью.

Приведем значения удельной прочности сплавов на основе разных металлов, из сопоставления которых видна «жестокая» конкуренция разных сплавов ввиду относительно близких значений удельной прочности. В качестве примера взяты наиболее прочные сплавы каждой группы (предел прочности приведен в кгс/мм^2):

Сплав...Магния МА10 Алюминия В95 Титана ВТ Железа Н18К9МА
 σ_B / γ 43/1,8 = 24 60/29 = 21 100/4,5 = 22; 180/7,8 = 23



Рисунок 17 – Схема классификации магниевых сплавов

Интересно, что цифра, получаемая от деления прочности (σ_B) на плотность (γ), есть одновременно и разрушающаяся длина в км: т.е. проволока из стали Н18К9МА разрушится под действием собственного веса при длине 23 км, поэтому часто удельную прочность измеряют в км.

Очевидно, чтобы получить преимущественное применение того или иного сплава, необходимо повысить прочность (значительно снизить плотность реально) без потери пластичности и вязкости (надежности): у сплавов магния надо достичь прочности 500, у сплавов алюминия 750, титана 1300 и железа 2200 МПа. Это, вероятно, будет достигнуто (в смысле широкого использования на практике) [44].

Химический состав литейных магниевых сплавов близок к деформируемым, но по свойствам они заметно им уступают, особенно по пластичности. Это связано с грубой литой структурой. Термическая обработка (гомогенизация при нагреве под закалку) приводит к растворению избыточных фаз, сконцентрированных по границам зерен, что повышает пластичность и прочность.

Контрольные вопросы:

1 Укажите недостатки и преимущества алюминия и его сплавов.

- 2 Какие элементы входят в состав алюминия, для какой цели и какие результаты получаются?
- 3 На какие группы подразделяются алюминиевые сплавы по технологическим свойствам?
- 4 С какой целью проводится термическая обработка алюминиевых сплавов?
- 5 Каковы недостатки и преимущества титана и его сплавов.
- 6 В чем сущность старения сплавов Al-Cu?
- 7 Какие основные компоненты входят в магниевый сплав?
- 8 В каких конструкциях используется титановый сплав?
- 9 В каких деталях используются оловянистые, алюминиевые, кремнистые, берилливые и свинцовые бронзы?
- 10 Укажите недостатки и достоинства титана и его сплавов.
- 11 Какие сплавы называются латунями и бронзами?
- 12 Как обозначаются алюминиевые сплавы?
- 13 Какое влияние оказывают легирующие элементы на свойства титана?
- 14 Как обозначаются сплавы магния, меди?
- 15 Каковы недостатки и достоинства магния и его сплавов?
- 16 Каковы положительные свойства титана?
- 17 Как обозначаются сплавы титана?
- 18 Как классифицируются и маркируются сплавы на основе меди в зависимости от их состава?
- 19 Перечислите области применения сплавов на основе меди.
- 20 Приведите обоснования предпочтительности использования титановых сплавов в ряде областей специальной техники.
- 21 Свойство меди и ее сплавов.
- 22 Отличительные признаки алюминиевых сплавов?
- 23 Какие бывают виды латуней по составу и по структуре?
- 24 Какова особенность термической обработки магниевых сплавов?

5 Разработка тестовых заданий

Тест – это испытание обучаемого с целью выявления уровня сформированности знаний и умений, применяемое в соответствии с методикой измерения уровня знаний и оценкой результатов.

Тест состоит из задания, которое выдается учащемуся, и эталона ответа, который остается у преподавателя,

Эталон – это правильный и полный ответ или метод выполнения заданной деятельности.

Преподаватель, сверяя ответ учащегося с эталоном, приходит к выводу о качестве выполненного теста. Тест, лишенный эталона, превращается в обычное задание, решение, о качестве выполнения которого принимается на основе субъективного мнения преподавателя. Зная число существенных операций в наборе тестов, и проверив ответ учащегося, можно определить по эталону число правильно выполненных учащимся операций и вычислить коэффициент усвоения знаний учащихся, а затем и оценить его в течение занятия [32].

По количеству заданий различают следующие виды тестов:

- короткие (до 20 заданий);
- средние (20–500 заданий);
- длинные (более 500 заданий).

По уровню усвоения знаний, умений и навыков тесты классифицируют на 3 уровня.

Тесты первого уровня усвоения подразделяют на:

- тесты опознания;
- тесты различения;
- тесты соотнесения;
- тесты-задачи с выборочными ответами.

В *тесте опознания* студенту задается вопрос, требующий альтернативного ответа: «да» или «нет», «является» или «не является», «относится» или «не относится» и т. п.

В задании обязательно фигурирует объект, о свойствах или характеристиках которого должен иметь представление учащийся.

Тесты различения вместе с заданием содержат ответы, из которых учащийся должен выбрать один или несколько.

Тесты соотнесения предлагают найти общности или различия в изученных объектах, причем сравниваемые свойства или параметры обязательно фигурируют в задании. Оформленные таким образом тесты называют выборочными.

Тесты – задачи с выборочными ответами. В задании формулируется условие задачи и все необходимые исходные данные, в ответах представлено несколько вариантов результата решения в числовом или буквенном виде. Студент должен решить задачу и показать, какой ответ из представленных он получил.

Применение тестов первого уровня целесообразно для промежуточного контроля знаний студентов в рамках чтения одного определенного курса.

Проверку усвоения на втором уровне можно проводить с помощью следующих тестов: воспроизведения информации, решения типовых задач.

По оформлению тесты воспроизведения информации подразделяются на: тесты-подстановки; конструктивные тесты.

Тесты – подстановки могут иметь в задании разнообразные виды информации – словесный текст или формулу (уравнение), чертеж (схему) или график, в которых пропущены составляющие (существенная часть слова или буквы, условные обозначения, линии или изображения элементов схем). Получив задание, студент должен воспроизвести в памяти и заполнить пропущенные места («пропуски»), а также выполнить другие указания, содержащиеся в задании.

Задания *конструктивных тестов* не содержат ни намеков, ни подсказок. Они требуют от учащегося самостоятельного конструирования ответа (решения): воспроизвести формулировку, дать характеристику, написать формулу (уравнение), выполнить чертеж или график.

Таким образом, тесты второго уровня целесообразно использовать при промежуточном контроле знаний студентов по основным разделам курсов, без знания которых общее понимание дисциплины либо затруднено или вообще невозможно. Так, например подобный контроль необходим после изучения темы «Цветные металлы» в курсе «Машиностроительные и приборостроительные материалы».

Тесты (итоговые), при ответе на вопрос требуют применения усвоенных умений и навыков в новых условиях, в неизученной ситуации, в практической деятельности. Тесты третьего уровня можно принять в качестве заданий на практических занятиях или при итоговом контроле за весь пройденный курс, хотя создать такой текст весьма сложно.

Главное достоинство проверки знаний по тестам – в скорости обработки полученных результатов. В конце концов, при отработанной технологии можно довести дело до полностью автоматизированной проверки, обеспечив тем самым максимально возможную объективность.

Недостатки использования тестов для проверки усвоения учебного материала. Подмена учебных целей. Сужение содержания учебного предмета: есть предметы, содержание которых плохо охватывается системой тестов. Да и внутри самого предмета одни разделы легко проверяются с помощью тестирования, а другие с трудом. Но почти нет тестов, проверяющих умение рассуждать, логически мыслить.

Применение тестового контроля знаний по специальным дисциплинам на технических специальностях, в особенности по специальным дисциплинам, возможно только в виде промежуточного контроля. Контроль по всему курсу, а тем более, итоговый контроль по специальности целесообразнее всего проводить в письменной форме [34].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе мною были решены следующие задачи:

1 изучена учебная и проанализирована справочная литература по темам разработки;

2 проанализирована существующая рабочая программа дисциплины и на её основе предложена структура учебных элементов по дисциплине «Машиностроительные и приборостроительные материалы»;

3 дано описание всех элементов структуры конструкционных металлических материалов;

4 разработан банк тестовых заданий и контрольные вопросы для контроля и самоконтроля знаний студента по разработанным элементам дисциплины.

Полученные результаты позволят студентам более эффективно работать с учебным контентом по дисциплине «Машиностроительные и приборостроительные материалы». Предложенная структура позволит студенту понять классификацию сталей по основным критериям. Примеры использования приведенные для большинства материалов будут способствовать усвоению изучаемых тем. Наличие контрольных вопросов и тестовых заданий позволит студенту оценить уровень собственных знаний и правильность в понимании изучаемого материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Адаскин, А.М. Материаловедение / А. М. Адаскин. – М.: Высшая школа, 2005.
- 2 Биронт, В. С. Материаловедение. Конструкционные материалы / В. С. Биронт. – Красноярск: Поликом, 2003.
- 3 Блантер М. Е. Металловедение и термическая обработка. - М.: Металлургия, 1984. 416с.
- 4 Высокомарганцовистые стали и сплавы. Волынова Т.Ф. М.: Металлургия, 1988, 343с.
- 5 Геллер, Ю. А. Материаловедение: учеб. для вузов / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1989.
- 6 Гелин Ф. Д. Металлические материалы: Справ. – Мн.: Выш. шк., 1987. – 368 с.
- 7 ГОСТ 1215-79 «Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия»;
- 8 ГОСТ 1412-85 «Чугун с пластинчатым графитом для отливок»;
- 9 ГОСТ 7293-85 «Чугун с шаровидным графитом для отливок»;
- 10 ГОСТ 14957-76 «Сплавы магниевые деформируемые. Марки»;
- 11 ГОСТ 15527-70 «Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки»;
- 12 ГОСТ 1583-93 «Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия»;
- 13 ГОСТ 17711-93 «Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки»;
- 14 ГОСТ 18175-78 «Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки»;
- 15 ГОСТ 2856-79 «Сплавы магниевые литейные. Марки»;
- 16 ГОСТ 380-71 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки и общие технические требования»;
- 17 ГОСТ 4784-97 «Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки»;
- 18 ГОСТ 493-79 «Бронзы безоловянные литейные. Марки»;
- 19 ГОСТ 5017-74 «Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением. Марки»;
- 20 ГОСТ 613-79 «Бронзы оловянные литейные. Марки»;
- 21 Гольдштейн, М. И. Специальные стали: учеб. для вузов. / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, М. Г. Векслер. – М.: Металлургия, 1985. – 408с.
- 22 Гуляев А. П., Гуляев А. А. Металловедение: Учебник для вузов. 7-е изд., перераб. и доп. М.: ИД Альянс, 2012. – 644с.
- 23 Золоторевский В. С. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1983. 350с.
- 24 Зуев, В. М. Термическая обработка металлов. – М.: Высш. шк., 2001. – 288с.

- 25 Келли А. Высокопрочные материалы / Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1976. 261с.
- 26 Колачев, Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во «МИСИС», 1999. – 416с.
- 27 Короткова, Л. П. Конструкционные материалы: учеб. пособие / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – 165с.
- 28 Коррозионностойкие стали и сплавы: Справ. изд. Ульянин Е.А. М.: Металлургия, 1991. 256с.
- 29 Лахтин. Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. Учебник для вузов. 3-е изд. М., «Металлургия», 1983. 360с.
- 30 Литвиненко Д. А. Холоднокатаная нестареющая сталь. М.: Металлургия, 1968. 168с.
- 31 Материаловедение и технология металлов / под ред. В. В. Атрощенко. – М.: Высшая школа, 2000.
- 32 Магниево-алюминиевые сплавы: Справочник в 2т. – М.: Металлургия, 1978. – Т. 1. – 232с.; Т. 2. – 295с.
- 33 Материаловедение. Учебник для вузов. Травин О. В., Травина Н. Т. М.: Металлургия, 1989. 384с.
- 34 Материаловедение и технология материалов / Г. П. Фетисов [и др.]. – М.: Высш. шк. 2002. – 638с.
- 35 Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 5-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2003. – 648с.: ил.
- 36 Материаловедение и технологии конструкционных материалов / О.А. Масанский, В.С. Казаков, А.М. Токмин, Л.А. Свечникова, Е.А. Астафьева. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 268с.
- 37 Машиностроительные стали: справочник / В. Н. Журавлев, О. И. Николаева. – М.: Машиностроение, 1992. – 391с.
- 38 Металловедение и технология металлов: Учебник для вузов / Солнцев Ю. П., Веселов В. А., Демянцевич В. П. и др. М.: Металлургия, 1988, 512с.
- 39 Новые стали и сплавы в машиностроении. Под ред. Ю.М. Лахтина и Я.Д. Когана. М., «Машиностроение», 1979. 223с. с ил.
- 40 Перкас М. Д., Кардонский В. М. Высокопрочные матренично-старяющие стали. М.: Металлургия, 1970. 224с.
- 41 Потак Я. М. Высокопрочные стали. М.: Металлургия, 1972. 208с.
- 42 Рукосуев А. П. Материаловедение: Учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Металлические материалы. Ч. 2. Неметаллические материалы/ А. П. Рукосуев. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. 439с.
- 43 Специальные стали. Учебник для вузов. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г.: Металлургия, 1985. 408с.

44 Справочник по конструкционным материалам: Справочник / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов и др.; Под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 640 с.: ил.

45 Спектор А. Г., Зельбет Б. М., Киселева С. А. Структура и свойства подшипниковых сталей. М.: Metallurgy, 1980. 264с.

46 Стерин И. С. Машиностроительные материалы. Основы материаловедения и термической обработки / Учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2003. – 344с.

47 Сучков Д. И. Медь и её сплавы. М.: Metallurgy, 1967. 248с. Тарасенко, Л. В. Специальные материалы: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 120с.

48 Технология конструкционных материалов/ Под ред. А. М. Дальского – М.: Машиностроение, 1977. 664с.

49 Фетисов, Г. П. материаловедение и технология металлов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др. – М.: Высшая школа, 2001.

50 Шишкин, А. В. материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. для вузов / А. В. Шишкин. – Новосибирск. Изд-во НГТУ, 2004.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Структура банка тестовых заданий

1	М:1	М:М	С	Д	Всего
Стали	21	13	3	2	39
Чугуны	26	5	0	0	31
Цветные металлы	28	6	1	2	37
Итого	75	24	4	4	107
Итого в %	70	22	4	4	100

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Тестовые задания по теме «Стали»

1) МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ПРИБОРОВ, ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРГАЮЩИЕСЯ МЕХАНИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ, НАЗЫВАЮТСЯ _____ МАТЕРИАЛАМИ.

(Эталон: конструкционными)

2) МАРКА МАГНИТНО-МЯГКОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ...

- а) 18ХГТ
- б) Н12ХГ
- в) ШХ15СГ
- г) Н16К11МЗТ2

(Эталон: б)

3) СПЛАВ ОБЛАДАЮЩИЙ ЭФФЕКТОМ «ПАМЯТИ ФОРМЫ»...

- а) 40НВА
- б) Ст1
- б) 03ХГЮ
- г) 70ГНДХ

(Эталон: г)

4) ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ СТАЛЬ – ...

- а) У12А
- б) Ст1
- в) 40
- г) 20Л
- д) 30ХНМ

(Эталон: а)

5) УЛУЧШАЕМЫЕ СТАЛИ – ...

- а) У10
- б) ШХ15
- в) 38ХН3М
- г) 45ХНМФА
- д) Р18

(Эталон: в; г)

6) ВЫСОКОЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ – ...

- а) 40ХН
- б) 18Х2Н4МА
- в) 08Х13
- г) У12
- д) 60ГС2С

(Эталон: б)

7) ПО НАЗНАЧЕНИЮ 65ГС2А – ЭТО СТАЛЬ.

- а) пружинная
- б) мартенситно-старееющая
- в) подшипниковая
- г) сталь для холодной штамповки

(Эталон: а)

8) ЦЕМЕНТУЕМЫЕ СТАЛИ – ...

- а) 20
- б) 40ХН
- в) 18ХГТ
- г) 45ХНЗА
- д) Р18

(Эталон: а; в)

9) СООТВЕТСТВИЕ СТАЛЕЙ ИЗГОТАВЛИВАЕМЫМ ИЗДЕЛИЯМ:

- | | |
|----------|-------------|
| 1) 18ХГТ | а) шестерня |
| 2) Р6М5 | б) фреза |
| | в) пружина |

(Эталон: 1 – а; 2 – б)

10) СООТВЕТСТВИЕ ИЗДЕЛИЙ МАРКАМ СТАЛЕЙ:

- | | |
|------------|----------|
| 1) пружина | а) 60ГС |
| 2) вал | б) 18ХГС |
| | в) ШХ15 |

(Эталон: 1 – а; 2 – б)

11) РЕССОРНО-ПРУЖИННАЯ СТАЛЬ – ...

- а) У10
- б) ШХ15
- в) 18ХГТ
- г) 60Г
- д) 45ХНМА

(Эталон: г)

12) МАРКИ МАГНИТНО-ТВЕРДЫХ СТАЛЕЙ:

- а) 15Х
- б) ЕХ5К5
- в) 28Х2Н4ВФА
- г) ЕХ3

(Эталон: б;г)

13) СТАЛЬ ШХ15 ПО НАЗНАЧЕНИЮ – ЭТО _____ СТАЛЬ.

(Эталон: подшипниковая, шарико-подшипниковая)

14) ИЗДЕЛИЯ, ИЗГОТОВЛИВАЕМЫЕ ИЗ МАТЕРИАЛА, УСТОЙЧИВОГО К УСТАЛОСТНОМУ ВИДУ ИЗНАШИВАНИЯ:

- а) пружина
- б) фреза
- в) подшипник
- г) зубчатое колесо

(Эталон: в; г)

15) ЗНАЧЕНИЕ ВТОРОЙ БУКВЫ «Ш» В МАРКЕ ПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ (ШХ15-Ш) – ... СТАЛЬ.

- а) высоко качественная
- б) модифицированная
- в) нетермообработанная
- г) особовысококачественная

(Эталон: г)

16) СПЛАВЫ, ОБЛАДАЮЩИЕ ВЫСОКИМИ АНТИФРИКЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ:

- а) Ст.2
- б) Б83
- в) АСЧ-1
- г) БрО10Ф1
- д) 20А

(Эталон: б; в; г)

17) ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНВАРА (36Н) – ...

- а) высокая твердость
- б) коррозионная стойкость
- в) малый коэффициент теплового расширения
- г) высокая прокаливаемость

(Эталон: в)

18) ИЗДЕЛИЯ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫЕ ИЗ СТАЛИ У12:

- а) шестерня
- б) пружина
- в) сверло
- г) напильник

(Эталон: в; г)

19) СОДЕРЖАНИЕ Ni В МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИХ СТАЛЯХ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ - ...%.

- а) 5-8
- б) 8-20
- в) 18-25
- г) 20-30

(Эталон: б)

20) МАРКА ПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ...

- а) ШХ15СГ
- б) 8Х4В9Ф2Ш
- в) 40Х
- г) 30ХНМ

(Эталон: в)

21) СТАЛИ ДЛЯ ИЗГОТАВЛЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ, РАБОТАЮЩИХ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ...

- а) У12
- б) 20ХН2А
- в) 11Х18М
- г) 40Х

(Эталон: в)

22) МАРКИ СТАЛЕЙ КОТОРЫЕ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ:

- а) X15H60
- б) X13Ю14
- в) 1X17Ю5
- г) X20H80

(Эталон: б;в)

23) МАРКА ФЕРРОНИХРОМА...

- а) X20H80T3
- б) 0X25Ю5А
- в) X15H60
- г) 1X17Ю5

(Эталон: в)

24) НАСЫЩАЮЩАЯ СРЕДА ПРИ ЦЕМЕНТАЦИИ – ЭТО...

- а) цементатор
- б) карбюризатор
- в) минеральный раствор
- г) растворитель

(Эталон: б)

25) СВОЙСТВА, ПРИСУЩИЕ ЦЕМЕНТОВАННОМУ СЛОЮ В СТА-
ЛЯХ:

- а) коррозионная стойкость
- б) жаропрочность
- в) твердость
- г) вязкость
- д) износостойкость

(Эталон: в; д)

26) ИЗДЕЛИЯ, ПОДВЕРГАЕМЫЕ ЦЕМЕНТАЦИИ:

- а) сверло
- б) фреза
- в) станина станка
- г) шестерня
- д) вал

(Эталон: г; д)

27) СТАЛЬ ПРИМЕНЯЕМАЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНЫХ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ВЫБРАЦИОННЫХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ ...

- а) улучшаемую
- б) высокопрочную
- в) цементуемую
- г) мартенситно-старяющую

(Эталон: а)

28) СТАЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ:

- а) 25ХГТ
- б) 18ХГТ
- в) 40Х
- г) 110Г13
- д) У13

(Эталон: а; б)

29) СТАЛЬ, ПРИМЕНЯЕМАЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЗОТИРУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ – ...

- а) 18ХГТ
- б) 38ХМЮА
- в) Р18
- г) 60Г

(Эталон: б)

30) КАРБИРИЗАТОР – ЭТО ... СТАЛЕЙ.

- а) охлаждающая среда при закалке
- б) инертная среда при нагреве
- в) защитный слой при азотировании
- г) насыщающая атмосфера при цементации

(Эталон: г)

31) ИНДЕКС "кп" В МАРКЕ СТАЛИ Ст4кп ОБОЗНАЧАЕТ – ...

- а) способ производства
- б) степень раскисления
- в) легирующие элементы
- г) назначение стали

(Эталон: б)

32) СТАЛЬ КОТОРАЯ ПОЛНОСТЬЮ РАСКИСЛЕННА ПЕРЕД ЗАЛИВКОЙ ЭТО..... СТАЛЬ.

- а) Ст3кп
- б) Ст2пс
- в) Ст2сп

(Эталон: а)

33) СООТВЕТСТВИЕ МАРОК СТАЛЕЙ ИЗДЕЛИЯМ ИЗ НИХ:

- | | |
|--------|------------|
| 1) 45 | а) вал |
| 2) У12 | б) швеллер |
| | в) пила |

(Эталон: 1 – а; 2 – в)

34) СТАЛЬ, ОТНОСЯЩАЯСЯ К ГРУППЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ СТАЛЕЙ, – ЭТО ...

- а) У12А
- б) Ст.1
- в) 40
- г) Ст.6кп
- д) А20

(Эталон: а)

35) СТАЛЬ ПРИМЕНЯЕМАЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ИЗДЕЛИЯ С ВЫСОКОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ПОВЫШЕННЫМ ТЕМПЕРАТУРАМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ...

- а) 30ХГСН2А
- б) 30ХМА
- в) У8
- г) 40Х5М2СФ

(Эталон: г)

36) МАРКИ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИХ СТАЛЕЙ:

- а) 40ХН2МА
- б) Х11Н10М2Т
- в) Н16К11М3Т2
- г) 95Х18-Ш

(Эталон: б; в)

37) ПОДШИПНИКОВАЯ СТАЛЬ...

- а) ШХ20СГ

- б) 18ХГТ
 - в) У8
 - г) Х20Н80
- (Эталон: а)

38) МАРКИ ЦЕМЕНТУЕМЫХ СТАЛЕЙ:

- а) 15ХФ
- б) 28Х2Н4ВА
- в) ШХ4
- г) 12ХН3А

(Эталон: а; г)

39) СТАЛИ ИЗ КОТОРЫХ ИЗГОТАВЛИВАЮТСЯ СОРТОВЫЕ ЗАГОТОВКИ, ПОКОВКИ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 500С:

- а) 12ХМ
- б) 18ХГТ
- в) 8Х4М4В2Ф1Ш
- г) 06ХГСЮ

(Эталон: а; г)

Тестовые задания по теме «Чугуны»

1) ДЕТАЛИ ПАРОВЫХ ТУРБИН ИЗГОТАВЛИВАЮТ ИЗ Чугуна.

- а) ковкий
- б) высокопрочный
- в) серый
- г) белый

(Эталон: б)

2) ОТЛИЧИЕ СЕРОГО ЧУГУНА ОТ КОВКОГО В ТОМ, ЧТО В СЕРОМ ЧУГУНЕ ...

- а) нет графита
- б) графит есть, а в ковком нет
- в) графит имеет иную форму
- г) больше углерода
- д) графит находится в форме цементита

(Эталон: в)

3) ЗНАЧЕНИЕ ЧИСЛА 35 В МАРКЕ ЧУГУНА СЧ 35 – ...

- а) порядковый номер по ГОСТу
- б) количество углерода в чугуне
- в) значение временного сопротивления (предела прочности)
- г) величина относительного удлинения
- д) допустимая толщина стенки изделия из данного чугуна

(Эталон: в)

4) ПРИМЕНЕНИЕ СЕРЫХ ЧУГУНОВ – ...

- а) станины станков
- б) кокильная оснастка
- в) арматура котлов
- г) детали химической аппаратуры
- д) дробе- и пескоструйных камер,

(Эталон: а)

5) ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ:

- а) молоты
- б) кокильная оснастка
- в) прессы
- г) детали химической аппаратуры
- д) дробе- и пескоструйных камер,

(Эталон: а; в)

6) ЕТАЛИ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ ИЗГОТАВЛИВАЮТ ИЗ ЧУГУНА.

- а) серого
- б) белого
- в) ковкого
- г) высокопрочного

(Эталон: а)

7) СПЛАВ, ОТЖИГОМ КОТОРОГО ПОЛУЧАЮТ КОВКИЙ ЧУГУН – ...

- а) серый чугун
- б) низкоуглеродистая сталь
- в) белый чугун
- г) высокоуглеродистая сталь
- д) высокопрочный чугун

(Эталон: в)

8) КРОНШТЕЙНЫ ИЗГОТОВЛИВАЮТ ИЗ ЧУГУНА.

- а) серого
- б) белого
- в) ковкого
- г) высокопрочного

(Эталон: в)

9) ЧУГУН, ИЗ КОТОРОГО ИЗГОТОВЛИВАЮТ КОЛЕНЧАТЫЕ ВАЛЫ – ЭТО ЧУГУН.

- а) высокопрочный
- б) ковкий
- в) белый
- г) серый

(Эталон: а)

10) ЧУГУН, ПРИМЕНЯЕМЫЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СТАНКОВ – ЭТО ЧУГУН.

- а) серый
- б) белый
- в) высокопрочный
- г) ковкий

(Эталон: в)

11) ПОРШНИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ИЗГОТОВЛИВАЮТСЯ ИЗ ЧУГУНА.

- а) высокопрочного
- б) серого
- в) ковкого
- г) белого

(Эталон: а)

12) ЦИФРА 45 В МАРКЕ ЧУГУНА ВЧ 45 ОБОЗНАЧАЕТ – ...

- а) предел прочности при растяжении
- б) предел прочности при изгибе
- в) относительное удлинение
- г) содержание углерода

(Эталон: а)

13) ЧИСЛО 35 В МАРКЕ ЧУГУНА СЧ35 ПОКАЗЫВАЕТ...

- а) порядковый номер по ГОСТ
- б) количество углерода в чугуне
- в) значение временного сопротивления (предела прочности)
- г) величину относительного удлинения

(Эталон: в)

14) МАХОВИКИ ИЗГОТАВЛИВАЮТ ИЗ ...ЧУГУНА.

- а) серого
- б) белого
- в) высокопрочного
- г) ковкого

(Эталон: а)

15) К МОДОФИЦИРОВАННЫМ ЧУГУНАМ ОТНОСИТЬСЯ:

- а) ВЧ 120-4;
- б) СЧ 45;
- в) КЧ50-5
- г) ВЧ45

(Эталон: б)

16) ЧУГУН, КОТОРЫЙ ИДЕТ НА ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ - ...

- а) белый
- б) ковкий
- в) серый
- г) высокопрочный

(Эталон: а)

17) БЛОКИ ЦИЛИНДРОВ ИЗГОТВАЛИВАЮТ ИЗ ЧУГУНА.

- а) КЧ37-12
- б) ВЧ50
- в) СЧ21
- г) АСЧ-3

(Эталон: в)

18) МАРКИ СЕРОГО ЧУГУНА:

- СЧ10
- ЧС15
- ЧС15М3

СЧ 35
АЧС-6

(Эталон: а; г)

19) МАРКИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА:

- а) СЧ10
- б) ЧС15
- в) ЧС15М3
- г) СЧ 35
- д) АЧС-6

(Эталон: б; в)

20) МАРКИ АНТИФРИКЦИОННЫХ ЧУГУНОВ:

- а) ЧС17
- б) ЧВГ35
- в) ЧВГ45
- г) АЧС-1
- д) АЧВ-1

(Эталон: г; д)

21) ВПУСКНЫЕ И ВЫПУСКНЫЕ ТРУБОВПРОВОДЫ ДВИГАТЕЛЕЙ
ИЗГОТВАЛИВАЮТ ИЗ ... ЧУГУНА.

- а) белого
- б) серого
- в) ковкого
- г) высокопрочного

(Эталон: б)

22) БЛОКИ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ИЗГОТАВЛИВАЮТ ИЗ ...
ЧУГУНА.

- а) высокопрочного
- б) ковкого
- в) серого
- г) белого

(Эталон: в)

23) ЧУГУН, ИЗ КОГОТОГО ИЗГОТАВЛИВАЮТ ПОРШНЕВЫЕ
КОЛЬЦА – ЭТО ... ЧУГУН.

- а) белый

- б) серый
- в) ковкий
- г) высокопрочный

(Эталон: г)

24) ЧУГУН С НАИБОЛЬШЕЙ ПЛАСТИЧНОСТЬЮ:

- а) КЧ 37-12
- б) ВЧ 80
- в) КЧ 35-10
- г) ВЧ 100

(Эталон: а)

25) РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ВАЛЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ИЗГОТАВЛИВАЮТ ИЗ ЧУГУНА:

- а) серого
- б) ковкого
- в) высокопрочного
- г) белого

(Эталон: в)

26) ЧУГУН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МУФТ – ЭТО

- а) серый
- б) белый
- в) ковкий
- г) высокопрочный

(Эталон: в)

27) СТУПИЦЫ КОЛЕС ИЗГОТАВЛИВАЮТ ИЗ ЧУГУНА.

- а) серый
- б) белый
- в) высокопрочный
- г) ковкий

(Эталон: в)

28) ТЯГОВЫЕ КРЮКИ ИЗГОТАВЛИВАЮТ ИЗ ЧУГУНА.

- а) серый
- б) ковкий
- в) высокопрочный

(Эталон: б)

29) МАРКИ ЧУГУНОВ С ПЛАСТИНЧАТЫМ ГРАФИТОМ:

- а) СЧ15
- б) КЧ 50-5
- в) СЧ20
- г) ВЧ 45

(Эталон: в)

30) ЧУГУН С НАИБОЛЬШЕЙ ПРОЧНОСТЬЮ:

- а) КЧ 37-12
- б) ВЧ 80
- в) КЧ 35-10
- г) ВЧ 100

(Эталон: а; в)

31) ЧУГУН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРАТЕРОВ ГЛАВНЫХ ПЕРЕДАЧ...

- а) серый
- б) белый
- в) ковкий
- г) высокопрочный

(Эталон: в)

Тестовые задания по теме «Цветные металлы и сплавы»

1) ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ – ... °С

- а) 660
- б) 1539
- в) 1083
- г) 911

(Эталон: а)

2) МАРКА АЛЮМИНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ – ...

- а) А7
- б) А95
- в) А99
- г) Д16
- д) Д0

(Эталон: а)

3) ТРИ ОСНОВНЫЕ ПРИМЕСИ АЛЮМИНИЯ:

- а) Fe
- б) Si
- в) Mn
- г) W

(Эталон: а; б; в)

4) АЛЮМИНИЙ ПО УДЕЛЬНОМУ ВЕСУ ОТНОСИТЬСЯ К _____
МЕТАЛЛАМ.

(Эталон: легким)

5) Д16 – ЭТО ... СПЛАВ.

- а) деформируемый
- б) литейный
- в) высокопрочный

(Эталон: а)

6) СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ МАГНИЯ В СПЛАВЕ АМг2 – ...%

- а) 0,02
- б) 0,2
- в) 2,0
- г) 20

(Эталон: а)

7) ЭЛЕМЕНТЫ, КОТОРЫЕ ИСПОЛЬЗУЮТ ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ
АЛЮМИНИЯ:

- а) Cu
- б) Mg
- в) Si
- г) Co

(Эталон: а; б; в)

8) МАРКА СИЛУМИНА...

- а) АК7
- б) АМ5
- в) АМг10
- г) В95

(Эталон: а)

10) СИСТЕМЫ КОМПОНЕНТОВ, К КОТОРЫМ ОТНОСЯТСЯ СИЛУМИНЫ:

- а) Al-Si
- б) Al-Si-Mg
- в) Al-Zn-Mg-Cu
- г) Al-Mg

(Эталон: а; б; в)

11) ЭЛЕМЕНТ, КОТОРЫЙ ВСЕГДА СОДЕРЖИТСЯ В СИЛУМИНАХ...

- а) Mg
- б) Mn
- в) Cu
- г) Si

(Эталон: г)

12) МАРКА ЛИТЕЙНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Si-Mg – ЭТО ...

- а) АК9
- б) АМ4,5Кд
- в) АЦ4Мг
- г) АМг6

(Эталон: а)

12) СООТВЕТСТВИЕ МАРОК СИЛУМИНОВ СИСТЕМАМ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ:

- | | |
|---------|-------------|
| 1) АК12 | а) Al-Si |
| 2) АК9 | б) Al-Si-Mg |
| | в) Al-Si-Cu |

(Эталон: 1 – а; 2 – б;)

13) СПЛАВ АК5М ОТНОСИТЬСЯ К СИСТЕМЕ...

- а) Al-Si
- б) Al-Si-Mg
- в) Al-Si-Mg-Cu

(Эталон: в)

14) СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ МАГНИЯ В СПЛАВЕ АМг10 –...%.

а) 0,1

б) 1

в) 10

(Эталон: в)

15) МАРКА ТЕРМИЧЕСКИ НЕУПРОЧНЯЕМОГО ДЕФОРМИРУЕМОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ...

а) АМг2

б) Д16

в) АК12

г) В95

(Эталон: а)

16) СПЛАВЫ, К КОТОРЫМ ОТНОСЯТ СПЛАВ АМц – ЭТО ... СПЛАВЫ.

а) деформируемые

б) литейные

в) электротехнические

(Эталон: а)

17) СИСТЕМА КОМПОНЕНТОВ, К КОТОРЫМ ОТНОСЯТ ДУРАЛЮМИНЫ ...

а) Al–Cu–Mg

б) Al–Mg–Si

в) Al–Mg–Si–Cu

г) Al–Mg–Zn

(Эталон: а)

18) КЛАСС СПЛАВОВ СИСТЕМЫ КОМПОНЕНТОВ Al–Cu–Mg – ЭТО ...

а) дуралюмины

б) магналии

в) авиали

г) силумины

(Эталон: а)

19) МАРКА МАГНИЕВОГО СПЛАВА...

- а) МЛ2
 - б) ВТ31Л
 - в) Д16
 - г) МГ2
- (Эталон: а)

20) ОСНОВНЫЕ ЛЕГИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В МАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ:

- а) Zn
- б) Al
- в) Fe
- г) Au

(Эталон: а; б)

21) ОСНОВНЫЕ ЛЕГИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЛИТЕЙНЫХ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ:

- а) Mn
- б) Al
- в) Zn
- г) Ag

(Эталон: а; б; в)

22) СПЛАВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК...

- а) МА1
- б) ЛС60-2
- в) БрА5
- г) ВТ21Л

(Эталон: г)

23) ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ ТИТАНА – ...°С

- а) 650
- б) 660
- в) 1083
- г) 1668

(Эталон: г)

24) ГРУППА, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ТИТАН ПО УДЕЛЬНОМУ ВЕСУ ЭТО _____ МЕТАЛЛЫ.

(Эталон: легкие)

25) СВОЙСТВА, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА ТИТАНА:

- а) коррозионная стойкость
- б) пластичность
- в) упругость
- г) теплопроводность

(Эталон: а; б)

26) МАРКА ДЕФОРМИРУЕМОГО МАГНИЕВОГО СПЛАВА...

- а) ВТ5Л
- б) АМг3
- в) МА10

(Эталон: в)

27) МАРКА ЛИТЕЙНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ...

- а) ВТ5Л
- б) ВТ9
- в) ВТ0
- г) ВТЛ2

(Эталон: а)

28) СВОЙСТВО МЕДИ, КОТОРОЕ ЯВЛЯЕТСЯ НАИВЫСШИМ СРЕДИ МЕТАЛЛОВ (КРОМЕ Ag):

- а) электропроводность
- б) прочность
- в) жаростойкость
- г) износостойкость

(Эталон: а)

29) ОСНОВНАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕДИ – ЭТО ...

- а) автомобилестроение
- б) электротехника
- в) судостроение
- г) машиностроение

(Эталон: б)

30) МАРКА ЛИТЕЙНОЙ ЛАТУНИ...

- а) Л80

- б) ЛЦ16К4
- в) ЛАЖМц59-1-1
- г) ЛС59-1

(Эталон: б)

- 31) СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ В СПЛАВЕ Л70 - ...%.
- а) 7
 - б) 30
 - в) 70
 - г) 93

(Эталон: в)

32) СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ БРОНЗА – ЭТО...

- а) Cu -C
- б) Cu-Zn
- в) Cu-Sn
- г) Cu-N

(Эталон: в)

33) МАРКА БЕЗОЛОВЯННОЙ БРОНЗЫ:

- а) ЛМцО52-2
- б) БрО5Ц5С5
- в) БрКН1-3
- г) ЛМц58-2

(Эталон: в)

34) МАРКА СПЕЦИАЛЬНОЙ ЛИТЕЙНОЙ БРОНЗЫ – ЭТО...

- а) БрА5
- б) БрА11Ж6Н6
- в) БрАЖМц10-3-1,5
- г) БрС30

(Эталон: б)

35) ЭЛЕМЕНТ, КОТОРЫЙ СОДЕРЖИТ БРОНЗА БрБ2 – ЭТО...

- а) бор
- б) бром
- в) бериллий
- г) необий

(Эталон: в)

36) СПЛАВ Х20Н80 – ЭТО ...

- а) нихром
- б) инвар
- в) мельхиор
- г) силумин

(Эталон: а)

37) СПЛАВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕОТВЕТСТВЕННЫХ АНТИ-ФРИКЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ:

- а) БрБ2
- б) БрА5
- в) В95
- г) БрОФ6,5-0,15

(Эталон: г)

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра Материаловедение и технологии обработки материалов

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В. И. Темных
(подпись)

«__» _____ 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Профиль 22.03.01.07 Материаловедение и технологии материалов
в машиностроении

Разработка структуры и методических элементов дисциплины
«Машиностроительные и приборостроительные материалы»

Научный руководитель
кандидат технических наук

С. И. Почекутов
(подпись, дата)

С. И. Почекутов

Выпускник

Клинова А. М.
(подпись, дата)

А. М. Клинова

Нормоконтроль

Л. А. Свечникова 25.06.18
(подпись, дата)

Л. А. Свечникова

Красноярск 2018