

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

С. И. БОГОДУХОВ, А. Д. ПРОСКУРИН, Е.С. КОЗИК

СВОЙСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановление деталей машин и аппаратов»

Оренбург 2009

УДК 621.002.23 (075.8)

ББК 34.43я73

Б74

Рецензенты

д-р техн. наук, проф. А.И. Сердюк, д-р техн. наук, доцент А.Н.Поляков.

Б74 **Богодухов, С.И.**
Свойства машиностроительных материалов: учебное пособие /
С.И. Богодухов, А.Д. Проскурин, Е.С. Козик. - Оренбург,
ГОУ ОГУ, 2009. – 201 с.

ISBN

В учебном пособии описаны свойства машиностроительных материалов, приведены составы и свойства основных групп машиностроительных материалов, даны практические рекомендации по их применению.

При написании учебного пособия использовались как данные из литературных источников, так и результаты научных исследований, выполненных на кафедре МТМ ГОУ ОГУ.

Представлена рекомендуемая литература по машиностроительным материалам.

Пособие предназначено для студентов специальностей 150002, 150205, 151001, 160201, 190601, 19603, 220301, 260601.

Б 2703000000

ISBN

ББК 34.43я73

© Богодухов С.И.,
Проскурин А.Д.,
Козик Е.С., 2009

© ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

Введение	5
1 Свойства машиностроительных материалов.....	6
1.1 Требования к основным свойствам.....	7
1.2 Требования к технологическим свойствам	17
2 Машиностроительные стали и сплавы.....	20
2.1 Общие сведения.....	20
2.2 Конструкционные углеродистые стали.....	23
2.3 Легированные стали.....	27
2.4 Материалы с особыми технологическими свойствами	31
2.4.1 Стали конструкционные высокой обрабатываемости резанием	31
2.4.2 Стали с высокой технологической пластичностью и свариваемостью ...	32
2.4.3 Железоуглеродистые сплавы с высокими литейными свойствами	33
2.5 Износостойкие материалы.....	39
2.5.1 Наплавочные материалы.....	42
2.5.2 Материалы устойчивые к усталостному изнашиванию.....	45
2.5.3 Материалы, устойчивые к изнашиванию в условиях больших давлении и ударных нагрузок	45
2.5.4 Антифрикционные материалы.....	45
2.5.5 Фрикционные материалы.....	48
2.6 Материалы с высокими упругими свойствами	52
2.6.1 Рессорно-пружинные стали общего назначения	52
2.6.2 Пружинные сплавы специального назначения	53
2.7 Материалы, устойчивые к воздействию температуры и агрессивной среды	53
2.7.1 Коррозионно - стойкие материалы.....	53
2.7.2 Теплостойкие и жаростойкие материалы.....	56
2.7.3 Жаропрочные материалы.....	58
2.8 Материалы с особыми физическими свойствами (тепловыми и электрическими)	60
2.8.1 Материалы с особыми тепловыми свойствами.....	60
2.8.2 Материалы с особыми электрическими свойствами.....	62
2.9 Инструментальные материалы.....	64
2.9.1 Инструментальные стали.....	64
2.9.2 Углеродистые инструментальные стали.....	65
2.9.3 Низколегированные инструментальные стали.....	65
2.9.4 Быстрорежущие стали.....	67
2.9.5 Штамповые стали для холодного деформирования.....	67
2.9.6 Штамповые стали для горячего деформирования	69
2.10 Твердые сплавы.....	69
2.11 Сверхтвердые материалы.....	73
2.12 Сплавы на основе цветных металлов (алюминия, магния, меди, титана)	73
2.12.1 Алюминиевые сплавы.....	73
2.12.2 Магниевого сплавы.....	77

2.12.3	Медные сплавы.....	80
2.12.4	Титановые сплавы	85
2.13	Порошковые материалы конструкционного назначения.....	87
3	Улучшение физико-механических свойств материалов и деталей машин.....	92
4	Особенности использования сталей и сплавов при производстве деталей машин и аппаратов по отраслям.....	102
4.1	Особенности термической обработки деталей редукторов ведущих мостов, коробок перемены передач и мелких деталей шасси в условиях высокомеханизированного и автоматизированного производства.....	102
4.1.1	Особенности термической обработки крепежных деталей	102
4.1.2	Термическая обработка в потоке механосборочного производства	108
4.1.3	Динамическое старение.....	109
4.1.4	Сельскохозяйственное машиностроение. Термическая обработка мелких деталей.....	109
4.1.5	Химико-термическая обработка шестерен.....	110
4.1.6	Термическая обработка коленчатых валов.....	112
4.1.7	Термическая обработка деталей ходовой части тракторов	112
4.1.8	Применение термообработки в подшипниковой промышленности	113
5	Неметаллические материалы.....	115
5.1	Древесные материалы.....	115
5.2	Пластмассы	120
5.3	Клеящие материалы и герметики.....	136
5.4	Прокладочные материалы.....	139
5.5	Изоляционные материалы.....	140
6	Использование ЭВМ при выборе материалов.....	143
6.1	Программно-методический комплекс «Выбор требуемых материалов»	143
6.1.1	Общие сведения.....	143
6.2	Порядок работы	144
6.2.1	Создание и обновление базы	144
6.2.2	Поиск требуемых материалов.....	144
6.2.3	Пример	144
7	База данных.....	146
7.1	Углеродистые и легированные конструкционные стали	146
7.1.1	Конструкционные цементуемые стали	147
7.1.2	Конструкционные улучшаемые стали	150
7.1.3	Строительные стали	153
7.1.4	Арматурные стали	154
7.1.5	Стали для холодной штамповки	156
7.1.6	Мартенситно-старееющие стали	156
7.1.7	Рессорно-пружинные стали	157
7.1.8	Подшипниковые стали	159
7.1.9	Износостойкие стали	160
7.1.10	Коррозионно-стойкие стали	161

7.1.11	Хладостойкие стали	163
7.1.12	Жаропрочные стали и сплавы	164
7.2	Инструментальные стали	167
7.3	Цветные металлы и сплавы	169
7.3.1	Алюминий и его сплавы	169
7.3.2	Магний и его сплавы.....	176
7.3.3	Медь и ее сплавы	177
7.3.4	Латуни	178
7.3.5	Бронзы	182
7.4	Неметаллические материалы	186
7.4.1	Пластические массы	186
7.4.2	Резины	196
7.4.3	Клеи	197
7.4.4	Герметики	199
	Список использованных источников	201

Введение

Основным потребителем производимых в стране металлургической промышленностью сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов является машиностроение. Для изготовления деталей машин, приборов, элементов конструкций, оборудования требуются металлические материалы с различными свойствами: твердые и мягкие, способные работать при повышенных или отрицательных температурах, обладающие способностью сопротивляться разрушению в агрессивных средах, магнитные, немагнитные, а также полимерные и композиционные материалы. Правильный выбор материала для конкретных целей основывается на знании их свойств. Свойства, в свою очередь, зависят от природы материалов и сплавов и их внутреннего строения.

В настоящее время в мире определились две основные категории металлургических предприятий:

- интегрированные заводы мощностью до нескольких миллионов тонн готовой продукции, как правило, листовой, но иногда и высококачественной сортовой, включающие доменные печи, сталеплавильное и прокатное производства и работающие в цикле руда — прокат;

- металлургические комбинаты в состав которых входят горнорудное хозяйство, обогатительные фабрики, коксовые батареи и др.

- мини-заводы производительностью 1,0 - 1,5 млн т/год, ориентированные на производство листового, сортового и профильного проката, работающие в цикле скрап (металлолом) — прокат.

Основным видом сталеплавильных агрегатов на таких заводах являются электродуговые печи.

Инженер машиностроительного профиля должен знать основные свойства конструкционных материалов, их область применения, сортамент и обозначения на чертежах, знать способы изготовления деталей (литьем, обработкой резанием, давлением, сваркой) и методы химико-технического упрочнения и коррозионной защиты металлов.

Достигнутый уровень прочности стали Ст1, Ст2, Ст3 (лист, прокат, уголок и т.д.) составляет 380 - 420 МПа. Для сложных легированных термообработанных сталей достигает 2000 - 2500 МПа, тогда как теоретическая прочность для железа может превышать 14000 МПа, в настоящее время получают металлические усы (бездислокационный металл) длиной 2-5 мм и толщиной до 0,01 мм с пределом прочности 8000 МПа.

Вопросы повышения качества металлопродукции, совершенствования технологии ее переработки, внедрения новых способов обработки, создания новых материалов для новой техники, рационального выбора металлических материалов и многие другие решаются на основе основных положений металловедения. Кроме металлических материалов все шире применяются неметаллические материалы — дерево, пластмассы, резины, стекло, герметики, высококачественные специальные сплавы, производство которых определяет уровень развития индустрии, техники и всей экономики страны.

Авторы выражают благодарность инженеру кафедры материаловедения и технологии материалов Оренбургского государственного университета Л.И. Борисовой за помощь в подготовке и оформлении данного учебного пособия.

1 Свойства машиностроительных материалов

К свойствам материалов относятся:

- механические (предел прочности при растяжении σ_B , предел упругости $\sigma_{упр}$, ударная вязкость КСU, модуль упругости E, твердость HB, HRC, HV, относительное удлинение δ и относительное сужение ψ , характеризующие пластичность);

- химические (стойкость в агрессивных средах, жаростойкость и др.);

- физические (электросопротивление, электро-теплопроводность, магнитные свойства и др.);

- технологические (обрабатываемость резанием, давлением, свариваемость, закаливаемость, жидкотекучесть и т.п.).

Механическими называют свойства материала, определяющие его сопротивление действию внешних механических нагрузок.

Прочность металла при статическом нагружении - это свойство, определяющее его способность сопротивляться деформации и разрушению. Стандартными характеристиками прочности являются предел упругости, предел текучести и временное сопротивление.

Пределом упругости называют напряжение, при котором пластическая деформация достигает заданной малой величины, установленной условиями (например, 0,005 % - $\sigma_{0,005}$).

Предел текучести (условный) - это напряжение, которому соответствует пластическая деформация 0,2 % ($\sigma_{0,2}$).

Временное сопротивление (σ_B) характеризует максимальное напряжение, предшествующее разрушению образца. Различают напряжения условные и истинные. Условным напряжением называют отношение величины нагрузки к исходному сечению образца; истинным - к сечению, которое образец приобрел к моменту достижения данной нагрузки. Диаграммы растяжения пластичных металлов с условными напряжениями отличаются от диаграмм с истинными напряжениями.

Из 107 элементов таблицы Д.И. Менделеева 83 – металлы. Для металлов характерны: металлический блеск, пластичность, твердость, высокие теплопроводность, электропроводимость. Свойства некоторых материалов приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Свойства некоторых металлов

Атомный номер элемента	Металл	Твердость HB	Плотность, кг/м ³ ·10 ⁻³	Температура плавления, °С	Удельное электросопротивление, ρ·10 ⁸ Ом·м
13	Алюминий	20	2,7	660	2,8
26	Железо	120	7,68	1539	9,8
29	Медь	35	8,92	1083	1,72

Под свойствами материалов фактически подразумевают свойства образца, изготовленного из этого материала. Все свойства могут существенно различаться в зависимости от размера, геометрии образцов даже при идентичности внешних воздействий, структуры и химического состава стали, а также распределения и плотности дефектов кристаллического строения. Причины этого объясняются с позиций механики деформируемого тела, а также физики зарождения и развития трещин.

На поведение материала существенно влияет характер приложения внешней нагрузки (статической, длительной статической, циклической, динамической и т.п.). Имеет значение также напряженное состояние и способ нагружения (растяжение, сжатие, изгиб, кручение), температура, окружающая агрессивная среда.

При выборе материала для изготовления деталей машин необходимо, прежде всего учитывать его механические свойства: прочность, твердость, упругость, пластичность, ударную вязкость и выносливость. Эти свойства определяются по результатам механических испытаний. Вопрос рационального выбора материала детали должен решаться не только с позиций собственных свойств материала и учета внешнего воздействия, но также и с позиций конструкции геометрии, размеров и технологии изготовления детали.

Обычно различают требования, предъявляемые к эксплуатационным свойствам (т.н. основным), которыми деталь должна обладать в рабочем состоянии (например, износостойкость, "горячая твердость") и к технологическим свойствам, которые желательны с точки зрения изготовления детали (например, пластичность при холодной деформации, шлифуемость, закаляемость).

Основные и технологические свойства взаимосвязаны, а требования к ним зачастую являются противоположными. При сопоставлении требований к основным и технологическим свойствам часто сталкиваются не только с экономическими, но и с техническими проблемами.

1.1 Требования к основным свойствам

Прочность – свойство твердых тел сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы (пластической деформации) под действием внешних нагрузок. В узком смысле под прочностью понимают сопротивление разрушению.

В зависимости от материала, вида напряженного состояния и условий эксплуатации (температура, время действия нагрузки, скорость и характер ее воздействия, химическое влияние окружающей среды, наличие магнитных и электромагнитных полей и т.п.) в технике приняты различные меры прочности (предел текучести, временное сопротивление, предел упругости, предел усталости и др.). Разрушение твердого тела представляет собой чрезвычайно сложный процесс, зависящий от многих факторов, поэтому величины, определяющие прочность, являются во многом условными.

Отметим основные характеристики прочности.

Предел прочности - σ_b (временное сопротивление. Сопротивление зна-

чительным пластическим деформациям характеризуется пределом прочности - условным напряжением, соответствующим наибольшей нагрузке, выдерживаемой образцом $\sigma_b = P_{max}/F_0$, где максимальная нагрузка P_{max} практически совпадает с началом образования шейки на образце; F_0 - начальная площадь поперечного сечения.

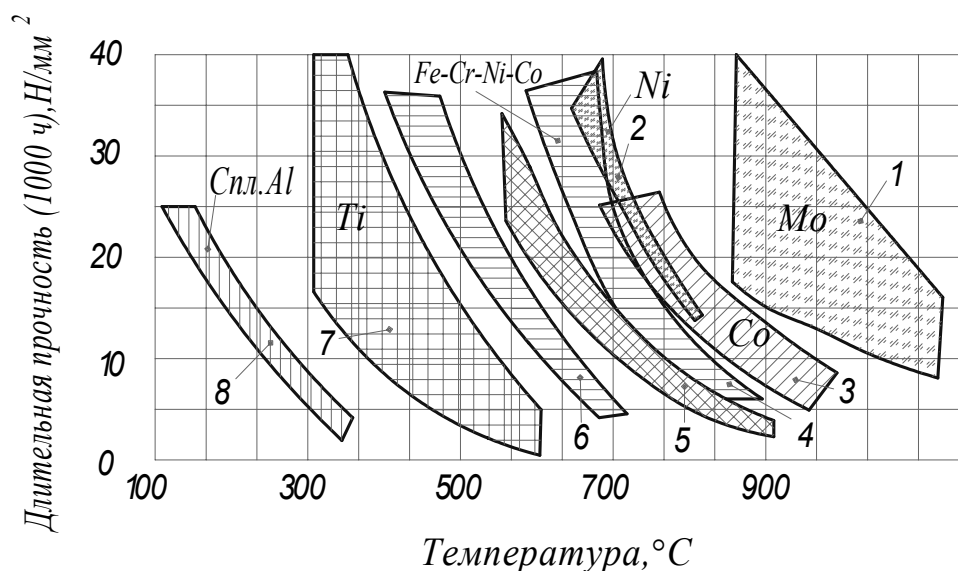
Для материалов, используемых в авиационной и ракетной технике, важное значение имеет эффективность материала по массе - удельная прочность σ_b/ρ , где σ_b - предел прочности при растяжении; ρ - плотность материала.

Образцы из хрупких материалов испытывают не на растяжение, а на изгиб или кручение, реже на сжатие, при более мягких способах нагружения. В этом случае прочность чаще всего характеризуется величиной предела прочности на изгиб $\sigma_{и}$ или на кручение $\tau_{к}$.

Условное напряжение, соответствующее появлению остаточных деформаций заданной величины, называют пределом упругости и его обозначают $\sigma_{0,05}$ (0,05 - допуск на остаточную деформацию). Предел упругости ограничивает область упругих деформаций более точно, чем предел текучести.

Все указанные прочностные характеристики относятся к случаю статического нагружения без учета времени действующей нагрузки.

Предел длительной прочности - условное наибольшее напряжение, под действием которого материал разрушается через заданный промежуток времени. Предел длительной прочности характеризует способность материала противостоять разрушению при длительном воздействии температуры и напряжения. Его условное обозначение, например σ_{1000}^{800} , обозначает предел длительной прочности за 1000 ч. испытания при 800 °С, (рисунок 1.1).



1 - сплавы молибдена; 2 - сплавы никеля; 3 - сплавы кобальта; 4 - сплавы Fe-Cr-Ni-Co; 5 - аустенитные стали; 6 - теплостойкие стали; 7 - сплавы титана; 8 - сплавы алюминия

Рисунок 1.1 - Зависимость длительной прочности (1000 ч) сплавов различных металлов от температуры

Ударная вязкость - представляет собой комплексную характеристику прочности и пластичности. До сих пор не существует способов ее достоверного определения. Это вызвано, в частности, значительными трудностями в определении истинной площади поверхности излома образца. Хотя ударная вязкость условная характеристика, сильно зависящая от размера образца, формы и состояния поверхности надреза, не может быть введена в расчеты на прочность, ее практическое значение очень велико, в частности, при проведении натуральных испытаний деталей она объективно характеризует поведение материала при воздействии динамических нагрузок.

Основное назначение динамических (ударных) испытаний на изгиб - простейшее и наименее трудоемкое определение опасной хрупкости металлов и сплавов. Ударные испытания применяются для определения критических температур хрупкости. Испытания проводят при нормальной, повышенной (до 1000 °С) или пониженной (до минус 100 °С) температурах.

Вязкость разрушения оценивают не только методом ударного изгиба, но и другими способами: ударным растяжением, ударным кручением и т.п., однако эти методы применяются довольно редко.

Ударную вязкость определяют на стандартных образцах по формуле $KC = K/S_0$ (кДж/м^{3/2}), где K - работа, затраченная на деформирование и разрушение образца; S_0 - площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытаний.

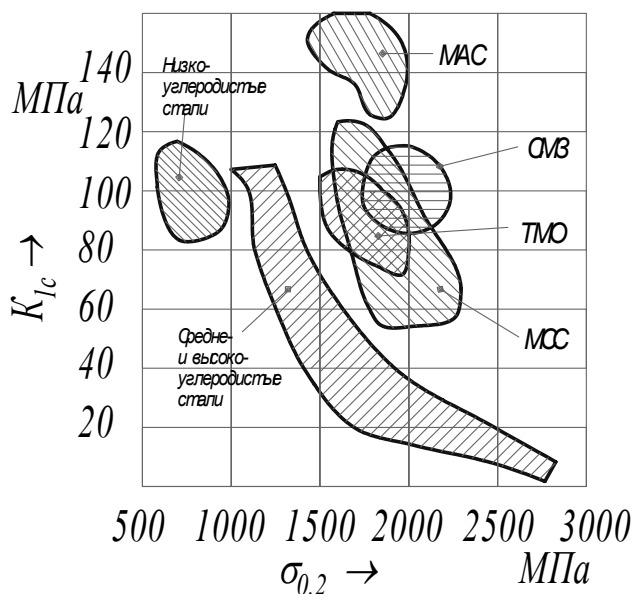
Действующий стандарт предусматривает для испытаний стандартные образцы трех видов: с V - образным надрезом, U- образным надрезом и образцы с усталостной трещиной (концентратором) (надрезом вида Т). Допускается применение образцов без надреза. Параметром KCU оценивают пригодность материала для сосудов давления, трубопроводов и других конструкций. Параметр KCU характеризует работу развития трещины при ударном изгибе и оценивает способность материала тормозить начавшееся разрушение. KCU - основной критерий ударной вязкости.

Перспективы достижения высокого сопротивления разрушению у различных сплавов целесообразно оценивать с помощью сводных диаграмм конструктивной прочности, по которым определяют наиболее важный для данных условий испытаний параметр трещиностойкости в зависимости от условного предела текучести ($\sigma_{0,2}$).

Чтобы избежать внезапных поломок в ходе эксплуатации, необходимо учитывать трещиностойкость материала - группу параметров надежности, характеризующих способность материала тормозить развитие трещины. Критерий K - называют коэффициентом интенсивности напряжений в вершине трещины. Силовое условие начала самопроизвольного разрушения – достижение величиной K критического значения, т.е. K_c .

Величина K_{Ic} – вязкость разрушения – определяет способность металла (сплава) противостоять развитию трещины. Поэтому нередко K_{Ic} называют трещиностойкостью. Чем выше значение K_{Ic} , тем меньше опасность хрупкого разрушения и выше надежность конструкции (машины), изготовляемой из этого материала.

На рисунке 1.2 показана диаграмма конструктивной прочности $K_{1C}-\sigma_{0,2}$, для различных сталей в условиях испытаний при комнатной температуре. Диаграмма показывает преимущества термически улучшенных среднеуглеродистых сталей по сравнению с низкоуглеродистыми, потенциально мартенситно-старееющими сталями (МСС) и метастабильными аустенитными сталями (МАС), а также термомеханической обработки (ТМО) и термической обработки на сверхмелкое зерно (СМЗ).



МАС – метастабильные аустенитные стали; СМЗ – термическая обработка на сверхмелкое зерно; ТМО – термомеханическая обработка; МСС - мартенситостарееющие стали

Рисунок 1.2 - Сводная диаграмма конструктивной прочности различных сталей

Считается, что с понижением температуры прочность металла возрастает. Однако на температурной шкале имеется ряд интервальных значений, в которых прочность резко уменьшается, а потом вновь возрастает. Эти явления получили названия краснеломкости, синеломкости (хрупкость при нагреве) и хладнеломкости (резкое уменьшение вязкости при понижении температуры). Они обусловлены различными факторами (составом стали, ее структурой). Отмеченные температурные интервалы, в которых снижаются прочность и ударная вязкость, обязательно нужно учитывать при выборе материала, работающего в определенных температурных условиях. Твердость - это характеристика материала, отображающая его прочность, пластичность и упругие свойства. Твердость металлов определяется прямым и косвенным методом. Прямые методы испытания на твердость состоят в том, что в образец вдавливаются специальный твердый наконечник (из закаленной стали, твердого сплава или алмаза) соответствующей формы. После снятия нагрузки остается отпечаток, величина которого характеризует твердость образца.

При косвенных методах оцениваются свойства металла пропорционально его твердости.

Испытания на твердость могут быть статическими и динамическими: к первому виду относятся испытания методом вдавливания, ко второму - методом ударного вдавливания или царапания.

В зависимости от характера и способа приложения нагрузки твердость косвенно характеризует различные механические свойства металлов. Если наконечник вдавливается в образец, то твердость характеризует сопротивление пластической деформации; если наконечник царапает образец, то твердость характеризует упругие свойства металла образца. По значению твердости металла можно составить представление об уровне его свойства, например, чем выше твердость, тем меньше пластичность металла, и наоборот.

Метод измерения твердости имеет ряд преимуществ перед другими методами механических испытаний металлов: простота техники и быстрота испытаний, простота формы и большие размеры образцов, возможность проводить испытания непосредственно на изделии без его разрушения. В зависимости от цели испытания, свойств испытуемого металла выбирают твердый наконечник в виде шарика, конуса или пирамиды, величину и длительность приложения нагрузки. С увеличением твердости возрастает стойкость и предел выносливости, но не по линейному закону, поскольку существенное влияние оказывает поведение карбидных фаз и изменение прочности и вязкости.

Твердость инструментальных сталей в зависимости от состава и термической обработки можно изменять в широких пределах. В качестве максимального значения она достигает 62-65 HRC у большинства ледебуритных заэвтектоидных сталей и даже 68 HRC у некоторых быстрорежущих. Соответственно, большая твердость сохраняется при кратковременных нагревах во время эксплуатации, так как разупрочнение сталей, называемое распадом мартенсита и коагуляцией карбидов, протекает на первых стадиях нагрева почти одинаково интенсивно в сталях с более высокой и более низкой твердостью.

Существуют следующие методы определения твердости.

Метод Бринелля - это способ, при котором в испытываемую поверхность вдавливают стальной закаленный шарик диаметром D (мм) под действием заданной нагрузки P в Ньютонах (Н) в течение определенного времени. В результате на поверхности образца получается отпечаток диаметром d . За меру твердости по Бринеллю принято отношение нагрузки P к площади полученного шарового сегмента (отпечатка): $HВ = P/F$. На практике, чтобы избежать длительных вычислений, пользуются готовой таблицей, в которой, в зависимости от диаметра отпечатка, дается уже подсчитанная твердость.

Наибольшее распространение получили шарики диаметром 10 мм, реже применяются шарики диаметром 2,5 мм и 5 мм, так как погрешность измерения при их использовании больше. Для шарика диаметром 10 мм при стандартном испытании применяют нагрузку 30000 Н (3000 кгс).

Условия определения твердости, т.е. диаметр шарика, нагрузка и время выдержки под нагрузкой определяют в зависимости от твердости и толщины испытуемого образца по таблицам.

Для многих металлов существует зависимость между числом твердости НВ и пределом прочности при растяжении σ_B . Например, для стали $\sigma_B = 0,35 \text{ НВ}$.

Испытания на твердость по Роквеллу. При этом методе глубина отпечатка измеряется в самом процессе вдавливания, что значительно упрощает испытание. В зависимости от твердости материала применяют наконечники двух типов: стальные закаленные шарики диаметром 1,6 мм для испытания малой и средней твердости при суммарной (основной и предварительной) нагрузке 1000 Н (100 кгс) - шкала В на приборе и алмазный конус с углом при вершине 120° . Для испытания твердых металлов при суммарной нагрузке 600 Н (60 кгс) - шкала А и при суммарной нагрузке 1500 Н (150 кгс) - шкала С.

Числа твердости отсчитываются на круговой шкале индикатора. В зависимости от того, какой применяют наконечник и нагрузку, числа твердости обозначаются HRB, HRC, HRA.

У метода Роквелла по сравнению с методом Бринелля имеются ряд преимуществ, важнейшие из которых: возможность проводить испытания материала высокой твердости (закаленные стали, твердые сплавы), малая повреждаемость поверхности в результате измерения, высокая производительность метода.

Недостатки метода: невозможность, вследствие большой погрешности, измерения твердости мягких материалов.

Метод Виккерса состоит во вдавливании алмазной пирамиды с углом при ширине 136° в шлифованную поверхность образца. Число твердости по Виккерсу (HV) - отношение приложенной нагрузки к площади пирамидальной поверхности отпечатка. Нагрузка выбирается в зависимости от твердости или толщины испытываемого образца (50, 100, 200, 300, 500, 1000 Н). Преимущества метода Виккерса состоят в том, что он универсален - позволяет определить твердость практически любых, кроме сверхтвердых, материалов. Методом Виккерса можно измерять твердость поверхностных слоев толщиной до 0,03 - 0,05 мм, что важно при исследовании композиционных материалов, азотированных и цементованных сталей и т.п. Кроме того, это - самый точный из методов определения твердости за исключением метода измерения микротвердости, который здесь не рассматривается.

Кроме отмеченных статических методов испытаний твердости, применяются и динамические: метод царапания, микрорезания, ударного отскока, ударного упруго-пластического деформирования, метод Маоса (для минералов), метод ультразвуковых колебаний и некоторые другие: эти методы используются гораздо реже, чем статические и поэтому здесь не приводятся.

Под теплостойкостью понимают способность стали сохранять свои свойства при нагреве. С повышением температуры твердость материала, как правило, понижается. При этом снижение твердости может быть как обратимый (т.е. после охлаждения сталь получает свою первоначальную твердость, здесь аналогом являются упругие деформации), так и необратимый (после охлаждения образца - его твердость оказывается ниже первоначальной, здесь аналог - пластическая деформация). Теплостойкость определяется путем замера твердо-

сти на образцах, охлажденных до 20 °С. Поскольку при этом способе измерения твердость образцов оказывается несколько больше той, которую они имели непосредственно при температуре нагрева (так как здесь фиксируется только необратимое снижение твердости), то для получения данных об истинной твердости при повышенных температурах испытаний используют понятие "горячей" твердости. "Горячая" твердость измеряется методом Виккерса непосредственно при нагреве образца в специальной вакуумной камере, исключаяющей его окисление, и позволяет получить более объективные данные, соответствующие условиям работы детали.

В справочных таблицах вместо термина «горячая твердость» чаще употребляется аналогичное понятие «твердость при нагреве», однако в большинстве случаев указывается просто теплостойкость: температура нагрева и соответствующие значения твердости сталей после охлаждения от этой температуры.

Необходимое снижение твердости при нагреве зависит от многих факторов (параметров структурного состояния стали, химического состава), но наиболее важным параметром является температура рекристаллизации T_r . Интенсивное разупрочнение стали начинается при температуре $T=(0,4 - 0,5)T_r$, где $T_r = (0,55 - 0,6)T_{пл}$; $T_{пл}$ - температура начала плавления стали). Отмеченная зависимость между началом интенсивного разупрочнения и температурой рекристаллизации справедливо лишь в том случае, если при нагреве до этой температуры сталь не испытывает полиморфных превращений.

При разработке путей повышения теплостойкости необходимо учитывать, что теплостойкость и прочность изменяются, как правило, неодинаково. Повышение теплостойкости достигается значительным легированием стали, созданием достаточного количества фаз - упрочнителей и сильным повышением температуры закалки, в результате которого получается насыщенный твердый раствор, что понижает прочность и вязкость.

Естественно, что зависимость между теплостойкостью стали, ее работоспособностью должна быть весьма значительной. Она, вместе с тем, не может быть однозначной для всех условий обработки. Эта зависимость справедлива для многих и сравнительно одинаковых условий эксплуатации, в первую очередь для резания (или деформирования) одинаковых или близких по свойствам материалов. Возрастанию теплостойкости отвечает повышение стойкости инструментов, если одновременно заметно не изменяются распределение и размеры карбидов и не ухудшаются такие свойства, как прочность, вязкость и теплопроводность.

Износостойкость и износоустойчивость. Износостойкость - это сопротивление в условиях трения материалов, деталей машин изнашиванию. Изнашивание - это процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и накопление его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и формы тела. Износ - результат изнашивания, определяемый в установленных единицах.

Многообразие условий работы деталей машин, а также материалов, используемых в технике, обуславливает различные виды взаимодействия поверхностей, а, следовательно, различные виды изнашивания. Изнашивание класси-

фицируют по кинематическим признакам, в соответствии с особенностями процесса разрушения и явлениями вызвавшими износ. Определены следующие виды механического изнашивания - абразивный, адгезионный, гидроабразивный (газоабразивный), эрозионный, гидроэрозионный, кавитационный, усталостный, фреттинг – износ.

Увеличению износостойкости способствует конструктивное усовершенствование деталей, создание условий, снижающих трение (применение смазки, защита от абразивного воздействия и пр.).

Под износоустойчивостью понимают сопротивление, главным образом, абразивному износу и его упруго - пластической разновидности. В отличие от очень сложного явления износостойкости, зависящего от многих факторов, износоустойчивость определяется прежде всего твердостью поверхностных слоев детали: чем выше твердость, тем сильнее износоустойчивость.

Жаропрочность - способность материала сопротивляться деформации и разрушению при повышенных температурах. Критериями жаропрочности является предел ползучести (постоянное напряжение, которое вызывает за определенное время при определенной постоянной температуре деформацию заданной величины) и предел длительной прочности. При этом особое внимание следует обратить на температурные интервалы красноломкости и вязкохрупкого перехода различных материалов (таблицы 1.2, 1.3).

Таблица 1.2 - Химический состав, свойства и область применения теплоустойчивых и жаростойких сталей

Марка стали	Химический состав, в %				Механические свойства			Назначение
	С	Cr	Mo	прочие	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{т}$, МПа	δ , %	
Стали перлитного класса (котельные стали.) теплоустойчивые*								
12ХМ	0,11-0,16	0,8-1,0	0,4-0,55	-	420	240	21	Трубы пароперегревателей, проводов, коллекторов, энергетических установок, арматура паровых котлов и паропроводов, крепежные детали (болты, шпильки), плоские пружины.
12Х1МФ	0,08-0,15	0,9-1,2	0,25-0,35	0,15-0,3 V	480	260	21	
25Х1МФ	0,22-0,29	1,5-1,8	0,25-0,35	0,15-0,3 V	900	750	14	
Стали мартенситного класса (жаростойкие)								
15Х11МФ	0,12-0,19	10-11,5	0,6-0,8	0,25-0,5 V	686	490	15	Лопатки паровых турбин длительно работающих при температурах 540 °С
1Х12ВНМФ	0,12-0,18	11-13	0,5-0,7	0,15-0,3	900	500	15	Для лопаток, крепежа, диафрагм, турбинных дисков и роторов, работающих при температурах 550-580 °С Клапаны автомобильных и авиационных двигателей.
40Х9С2	0,35-0,45	8-10	-	2-3	870	690	24	
40Х10С2М (сильхром)	0,35-0,45	9-10,5	0,7-0,9	1,9-2,5 0,5	950	750	10	
* Механические свойства после нормализации и высокого отпуска								

Таблица 1.3 - Область применения аустенитных жаропрочных сталей

Группа	Марка	Режим термической обработки	Назначение
Гомогенные	1X14H1882Б, 1X18H10Т, X23H18, X25H2002	Температура нагрева под закалку 1050-1100 °С, закалка в воде или на воздухе. Стабилизирующий отпуск при 750 °С	Пароперегреватели, трубы высокого давления, 650-700 °С, 10 ⁴ -10 ⁶ ч. То же, при средних температурах 800-950 °С
Дисперсионно-твердеющие	4X12H8Г8МФБ, X12H20ТЗР OX14H2833ТЗЮР (0,08 %С, 13-15 %Cr, 26-29 %Ni, 2,8-3,5 %W, 2,4-3,2 %Ti, 0,5-1,2 %Al)	Температура нагрева под закалку 1050-1100 °С, закалка в воде, стабилизация старения при 700- 750 °С	Диски турбин, 600-630 °С, 10 ³ -10 ⁴ ч при 700 °С. Диски турбин, 10 ² -10 ³ ч.

Величина жесткости E характеризует способность материала сопротивляться упругости деформированию и является критерием жесткости материала. Эта величина называется модулем Юнга, которая выражается в единицах силы на единицу площади, Н/м (МПа). Различные металлы имеют различную жесткость, т.е. различную величину модуля упругости. У сталей E находится в пределах $(20-21) \cdot 10^3$ МПа, у латуни - $(10-11) \cdot 10^3$ МПа, у алюминиевых сплавов - $(7-8) \cdot 10^3$ МПа и в основном определяется химсоставом.

Коррозионная стойкость. Коррозией называют разрушение металлов под действием окружающей среды. Коррозионные разрушения вызываются электрохимическими и химическими процессами. Характерный признак химической пропорции - образования продуктов коррозии непосредственно в месте взаимодействия металла с агрессивной среды.

Коррозионно-стойкими называют металлы и сплавы, способные сопротивляться химическому воздействию среды. Коррозионную стойкость сталей и сплавов обычно оценивают по 10 - бальной шкале. Коррозионная стойкость достигается, например, применением специальных сталей и сплавов, содержащих хром более 13 %, никель и другие элементы.

Другим способом придания стали коррозионной стойкости является создание защитных окисных пленок на ее поверхности, пассивирование, плакетирование и относительно новый способ - введение редкоземельных элементов (церия; лантана и др.) с целью изменения химического потенциала межкуристаллических границ.

Жаростойкость - способность материалов сопротивляться газовой коррозии в процессе обработки и эксплуатации при высоких температурах. Разрушение поверхностных слоев металлов и сплавов при высоких температурах в коррозионно-активных средах создает большие трудности при эксплуатации,

например, газовых турбин. Жаростойкость стали может быть повышена легированием, в основном, хромом, алюминием, кремнием с образованием плотных оксидов Cr_2O_3 ; Al_2O_3 ; SiO_2 . Высокими защитными свойствами отличаются оксиды - шпинели, которые образуются в высокохромистых сплавах: $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ и $\text{NiO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$, хорошо сцепляемые с поверхностью изделия.

Теплофизические свойства. Главное значение для характеристики теплостойких и полутеплостойких сталей имеют теплопроводность и тепловое расширение, в меньшей степени адгезионная способность. Коэффициент термического расширения, теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость существенно влияют на характер отвода тепла из зоны контакта. Материалы с повышенной теплопроводностью, например, твердые сплавы, характеризуются меньшим нагревом рабочей поверхности. Кроме того, с повышением теплопроводности (или температуропроводности) и с уменьшением коэффициента теплового расширения детали менее склонны к образованию прижогов и микротрещин в процессе эксплуатации и заточки.

Магнитные свойства. Коэрцитивная сила, магнитная восприимчивость, точка Кюри - представляют особую важность при конструировании деталей в приборостроении, когда к материалам предъявляются особые требования. Коэрцитивная сила - это напряженность размагничивающего поля, при которой магнитная индукция или намагниченность предварительно намагниченного материала становится равной нулю. Если коэрцитивная сила H_c не превышает 4 кА/м, материалы считают магнитно - мягкими; если H_c более 4 кА/м - магнитно - твердыми. Коэрцитивная сила существенно зависит от величины, знака и распределения внутренних напряжений и структуры материала. В связи с этим, с помощью механической и термической обработки коэрцитивную силу можно изменить на несколько порядков для любой практически стали.

Намагниченность - это отношение магнитного момента некоторого объема тела к величине этого объема.

Магнитная восприимчивость характеризуется способностью материала намагничиваться в магнитном поле, в связи с чем материалы принято разделять на ферромагнетики, диамагнетики и парамагнетики. Магнитная проницаемость характеризует зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля.

Особенно важен выбор материала для изготовления деталей машин в приборостроении, где необходимо учитывать магнитные свойства материалов.

Электрические (электросопротивление, температурный коэффициент элетросопротивления) и диэлектрические (диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери) свойства необходимо учитывать, прежде всего, в приборостроении, когда к деталям предъявляются определенные требования указанного характера.

Способность сопротивляться циклическим температурным изменениям. Такие изменения связаны с циклическим нагревом и охлаждением. Материалы, не обладающие достаточным сопротивлением циклическим температурным изменениям, например минералокерамические, могут растрескиваться при работе.

Вибрационная устойчивость - способность конструкций работать в заданном диапазоне режимов без недопустимых колебаний. Чаще всего вибрация является следствием недостаточной жесткости деталей машин, неуравновешенности вращающихся масс, очень высоких рабочих скоростей и т.п. Вибрация создает дополнительные динамические напряжения, шум, резонанс, которые могут приводить к усталостному разрушению деталей.

Надежность - свойства объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. Надежность работы конструкции во многом определяется сопротивлением материала распространению трещины, т.е. его вязкостью разрушения. Конструкционную прочность сплавов нередко оценивают с помощью так называемых диаграмм конструктивной прочности.

Надежность - комплексное свойство, которое может включать в себя безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность изделия и его частей.

1.2 Требования к технологическим свойствам

Технологическими называют свойства, характеризующие поведение материала при изготовлении и термической обработке. Недостаточный уровень многих технологических свойств может служить причиной дефектов, возникающих в производственных условиях и затрудняющих изготовление деталей. Более того, некоторые дефекты (ухудшение состояния поверхностного слоя в результате обезуглероживания или шлифования) могут остаться полностью или частично в готовых деталях, вследствие чего снижается их стойкость. Такие дефекты не всегда наблюдаются в инструментах, тщательно обрабатываемых в лабораториях, но возникают при изготовлении массовых партий.

Обрабатываемость давлением - важнейшее технологическое свойство. Большинство заготовок для изготовления деталей получают ковкой, штамповкой, волочением, прокаткой в горячем, твердом и холодном состояниях. В основе всех этих методов лежит общее свойство металлов - пластичность - способность твердых тел изменять не разрушая свою форму и размеры под действием внешних сил и сохранять остаточные (главным образом, пластические) деформации после снятия внешних сил. Отсутствие или малое значение пластичности называют хрупкостью.

Пластичность металла зависит как от условий деформирования, так и от свойств материала, его структуры, химического состава. Пластичность характеризуют относительным удлинением и относительным сужением при растяжении цилиндрического образца. При равномерном удлинении (без образования шейки) относительное сужение однозначно связано с относительным удлинением. После возникновения шейки увеличение относительного сужения в зоне шейки превышает относительное удлинение и тем больше, чем сильнее развитие шейки. Полное относительное сужение (то есть начала нагружения до полного разрушения) во многих случаях более точная характеристика пластично-

сти, чем относительное удлинение, и при выборе материалов следует исходить из нее. Пластичность можно условно оценивать также пределом текучести, отношением предела текучести к временному сопротивлению, а также относительным углом закручивания (при кручении образца), числом перегибов (при изгибе) и еще целым рядом параметров при специальных, в том числе натуральных, испытаниях.

Выше отмечалось, что целый ряд основных свойств (твердость, износостойкость, ударная вязкость и другие) зависит также от пластичности. Естественно, что пластичность каждой отдельной марки стали может быть изменена термической обработкой, увеличена в технологическом состоянии (за счет снижения твердости) и уменьшена в эксплуатационном состоянии (за счет роста прочности и твердости). Поэтому пластичность может одновременно являться и основным технологическим свойством, сохраняя при этом один и тот же физический смысл. В общем же, чтобы отличить "технологическую пластичность" от "эксплуатационной пластичности" в первом случае используют термин "пластичность", во втором - "запас пластичности".

Обрабатываемость резанием. Подавляющее большинство заготовок, прошедших обработку давлением, подлежит механической обработке путем снятия стружки для получения требуемых размеров и шероховатости поверхностей. Обрабатываемость резанием представляет собой комплексное свойство, зависящее от громадного количества факторов. В целом же можно условно полагать, что материалы, имеющие твердость не выше 30 - 33 HRC, можно успешно обрабатывать быстрорежущим инструментом; от 33 HRC до 45 - 47 HRC - твердосплавным инструментом; свыше 50 HRC - инструментом из сверхтвердых синтетических материалов.

К технологическим свойствам, определяющим обрабатываемость резанием, относится также шлифуемость, которую часто представляют как самостоятельное свойство. Шлифуемость материала - это способность материала подвергаться абразивной обработке с соответствующей производительностью и качеством поверхностного слоя (без изменения структур, появления прижогов, дефектов поверхности).

Технологичность при термической обработке. Сюда относятся: закаляемость - способность принимать закалку, т.е. приобретать в результате закалки структуру мартенсита или мартенситно-трооститную с высокой твердостью; прокаливаемость - способность стали закаливаться на определенную глубину; стойкость против обезуглероживания при нагреве под закалку; стойкость против окисления при термической обработке; склонность к деформации при закалке; ширина интервала закалочных температур и некоторые другие.

Основными видами термической обработки, изменяющими структуру и свойства стали, и назначаемые в зависимости от требований, предъявляемых к полуфабрикатам и готовым изделиям, являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск. Пример режимов термической обработки стали X12Ф1 приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Режим термической обработки стали X12Ф1

Ре- жим	Темпе- ратура нагрева, °С	Среда охлажде- ния	Твер- дость после закалки, HRC	Кол- во аусте нита, %	Темпе- ратура отпус- ка, °С	Число отпус- ков	Твер- дость после отпус- ка, HRC
1	1070+10	Масло, расплав- ленная соль (се- литра)	62-64	20-25	160	1	62-64
2	1070+10	То же	62-64	20-25	200	1	58-60
3	1170+10	Масло или се- литра + обработ- ка холодом при минус 70 °С	151-153	30-35	520	2-3	60-62
4	1120+10	Масло или се- литра	57-59	35-45	Термическая до- водка		57-59
Примечание - 1- обычный режим; 2 - применяют, если обработка по режиму 1 не обеспечивает необходимой вязкости; 3 - для режущих инструментов, когда требуется износостойкость; 4 - используется тогда, когда, требуется неизменность размеров							

Кроме указанных основных и технологических свойств, к которым предъявляются требования, должен учитывать еще целый ряд экономических требований, таких как: необходимость снижения металлоемкости конструкции (решается за счет оптимального выбора машиностроительных материалов), а также конструкторских усовершенствований; производительность машины; себестоимость ее деталей и т.п. В значительной степени эти вопросы могут быть решены за счет оптимального выбора машиностроительных материалов и способов их упрочнения (термической, термомеханической и других видов обработки).

2 Машиностроительные стали и сплавы

2.1 Общие сведения

Сплавами называют вещества, полученные сплавлением двух или нескольких компонентов. По характеру взаимодействия компонентов различают сплавы: механические смеси, твердые растворы, химические соединения, промежуточные фазы.

Механические свойства твердых растворов нелинейно зависят от соотношения компонентов. Они могут быть существенно выше (ниже) свойств любого из образующих сплав компонентов.

Твердые растворы могут быть растворами замещения и растворами внедрения. В растворах замещения атомы растворенного элемента замещают атомы элемента-растворителя в узлах его кристаллической решетки, в растворах внедрения - внедрены в межузельное пространство. Растворы замещения могут быть ограниченными и неограниченными (непрерывными). В кристаллической решетке неограниченных твердых растворов А(В) атомы растворенного элемента В могут полностью заместить атомы растворителя А (компоненты А и В изоморфны).

Сплав "химическое соединение" образуется при определенном соотношении компонентов. Ему может быть приписана химическая формула, например A_mB_n , где m и n - количество атомов компонентов А и В, образующих соединение (стехиометрические коэффициенты). Соединение имеет собственную кристаллическую решетку, отличную от решеток образовавших его элементов. Механические свойства сплава сильно отличаются от свойств каждого компонента.

В настоящее время наиболее эффективный способ повышения надежности производительности машин при одновременном снижении их металлоемкости состоит в использовании рационально подобранных марок сталей и сплавов с оптимальным комплексом физико-механических свойств. Естественно, что вопросы конструирования, технологии механической обработки и сборки, оптимизации свойств машиностроительных материалов, а также целый ряд экономических показателей и других факторов оказываются "завязанными" в один узел; однако наиболее простое решение проблем повышения эффективности и качества производства заключается именно в использовании прогрессивных конструкционных сталей и сплавов.

К железоуглеродистым относятся сплавы, основными компонентами которых являются железо и углерод. Железо обладает температурным полиморфизмом и может существовать в двух аллотропических модификациях: в виде железа-альфа с ОЦК и железа-гамма с ГЦК кристаллическими решетками. С углеродом железо образует твердые растворы и химическое соединение.

Обедненный твердый раствор внедрения углерода в альфа - железе называется ферритом. Растворимость углерода в нем очень мала (максимум 0,02 % при температуре 727 °С). Феррит обладает низкой твердостью и высокой пластичностью.

Твердый раствор внедрения углерода в гамма - железе называется аустенитом. Максимум растворимости углерода в аустените 2,14 % (при $t = 1147 \text{ }^\circ\text{C}$). В равновесном состоянии аустенит существует лишь выше $727 \text{ }^\circ\text{C}$. Он обладает высокой пластичностью и низкой твердостью.

Железо образует с углеродом химическое соединение Fe_3C , называемое цементитом. Цементит очень тверд и хрупок.

Железоуглеродистые сплавы с концентрацией углерода, не превышающей 2,14 %, называют сталями, с более высокой - чугунами.

В настоящее время количество промышленно выпускаемых в мире марок металлов, различаемых по химическому составу и свойствам, составляет около 20 тысяч, в России – только по стандартам выпускается более 450.

Существует много признаков, по которым производится классификация сталей. Ниже приводятся некоторые из них (таблица 2.1).

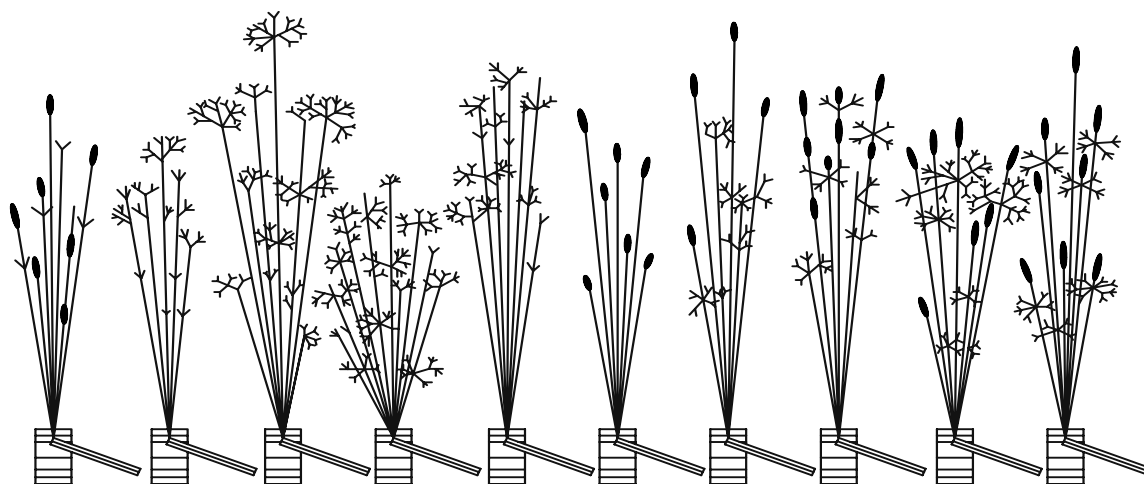
Таблица 2.1 - Классификация сталей

Конструкционные стали					
Углеродистые			Легированные		
Обыкновенного качества	Качественные	Автоматные	Качественные	Подшипниковые	Рессорно-пружинные
P до 0,07% S до 0,06%	P, S 0,035- 0,04 %	S=0,08- 0,25 % P=0,06- 0,25 %	P,S=0,035%	P=0,027 % S=0,020 %	P, S = 0,035% (Mn, Si, Cr)
Малоуглеродистая 0,3 %	Среднеуглеродистая 0,3-0,6 % Высокоуглеродистая до 0,6 %		Малолегированная 5 %, среднелегированная 5-10 %	Высоколегированная 10 %	
Ст1 - Ст6 10, 25	45, 50, 70, 80	A11, A20	45X, 30X1T, 15XГН2Т 18X2Н4М	20X13, ХН58В, ШХ4, ЩХ15СГ	60Г, 60С2Г

По составу стали можно подразделить на углеродистые и легированные. По содержанию углерода стали делятся на низкоуглеродистые с содержанием углерода до 0,25 %, среднеуглеродистые - с содержанием углерода 0,3-0,6 % и высокоуглеродистые с содержанием углерода 0,6 %. По преобладающему легирующему элементу легированные стали подразделяют на хромистые, марганцевые, хромоникелевые, хромоникельмобденовые и т.п.

Экспресс-оценку марки стали можно определить по искре (рисунок 2.1).

Качество стали зависит от качества вредных примесей серы и фосфора. При количестве $0,04 \% \leq S \leq 0,06 \%$, $0,04 \% < P \leq 0,08 \%$ имеем углеродистые стали обыкновенного качества; при содержании S от $0,05 \%$ до $0,04 \%$ и P от $0,035 \%$ до $0,030 \%$ имеем качественные стали; при $S \leq 0,025 \%$ и $P \leq 0,025 \%$ стали считаются высококачественными. Кроме того, в качественных и высококачественных сталях меньше неметаллических включений, чем в сталях обыкновенного качества. Все легированные стали являются качественными или высококачественными.



1 – мягкая углеродистая сталь с $0,12 \% C$, соломенно-желтые; 2 - углеродистая сталь средней мягкости $0,5 \% C$, светло-желтые; 3 – углеродистая сталь средней твердости с $0,9 \% C$, светло-желтые; 4 – очень твердая углеродистая с $1,2 \% C$, белые; 5 – твердая марганцовистая сталь с $10..14 \% Mn$, блестящие винно-желтые; 6 – быстрорежущая сталь ($10 \% W$, $4 \% Cr$, $0,7 \% C$), темно-красные; 7 – вольфрамовая сталь с $1,3 \% W$ - темно-красные; 8 – кремниевая сталь, светло-желтые; 9 – хромистая сталь, цвет зависит от содержания углерода; 10 – хромоникелевая сталь с $3...4 \% Ni, Cr$.

Рисунок 2.1- Экспресс-оценка марки стали пробой на искру

Стали различаются:

- по равновесной структуре, в зависимости от содержания углерода, можно выделить следующие классы сталей: доэвтектоидные (перлит и феррит); эвтектоидные стали (перлит); заэвтектоидные стали (перлит и цементит). Дополнительно различают аустенитные, полуаустенитные, ферритные и полуферритные стали;

- по назначению: инструментальные, строительные, арматурные, подшипниковые, конструкционные, рессорно-пружинные, и т.д;

- по методу выплавки: мартеновские, конверторные, электростальные;

- по методу раскисления: спокойные, полуспокойные, кипящие;

- по видам обработки: горячекатаные, калиброванные, стали круглые со специальной отделкой поверхности, круглые с обточенной поверхностью.

В зависимости от назначения горячекатаную сталь делят на подгруппы: для горячей обработки давлением; для холодной механической обработки (обточки, строгания, фрезерования т.д.) по всей поверхности; для холодного волочения (подкат). Назначение стали указывают в заказе.

По технологии производства: порошковые стали, литые, горяче- и холоднодеформированные.

По состоянию материала стали изготавливают: без термической обработки; термически обработанную - Т; нагартованную - Н (для калиброванной стали) и сталь со специальной отделкой поверхности. Эти стали обладают большой анизотропией механических свойств, склонны к хрупкому разрушению, имеют пониженный предел выносливости.

По технологическим свойствам: повышенной, обычной и пониженной прокаливаемости, стали пониженной шлифуемости, автоматные стали и т.д.

Ниже рассматриваются наиболее часто используемые машиностроительные материалы:

- 1) конструкционные углеродистые и легированные стали;
- 2) материалы с особыми технологическими свойствами: стали конструкционные высокой обрабатываемости резанием и чугуны;
- 3) износостойкие материалы;
- 4) материалы с высокими упругими свойствами;
- 5) материалы, устойчивые к воздействию температуры и рабочей среды;
- 6) материалы с особыми физическими (тепловыми и электрическими) свойствами;
- 7) инструментальные материалы;
- 8) сплавы на основе цветных металлов (алюминия, магния, титана, меди);
- 9) композиты.

2.2 Конструкционные углеродистые стали

Конструкционными называются стали, предназначенные для изготовления деталей машин (машиностроительные стали), конструкций и сооружений (строительные стали). К конструкционным относится и стали со специальными свойствами: износостойкие, рессорно - пружинные, коррозионно-стойкие, жаростойкие, жаропрочные и другие.

Углеродистые стали представляют значительную группу конструкционных материалов; они составляют 80 % общего объема продукции черной металлургии и применяются для изготовления различных металлоконструкций и изделий машиностроения. Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-2005) и качественные (ГОСТ 1050-88) дешевы, имеют удовлетворительные механические свойства в сочетании с хорошей обрабатываемостью резанием и давлением. В сталях обыкновенного качества допускается повышенное содержание вредных примесей, а также газонасыщенность и загрязненность неметаллическими включениями, так как они выплавляются по нормам массовой технологии.

Углеродистые стали обыкновенного качества выпускаются в виде проката или поковок. Они предназначены для изготовления различных металлоконструкций, а также слабонагруженных деталей машин и приборов.

Степень раскисления обозначается добавлением индексов: спокойные стали - "сп", полуспокойные - "пс", кипящие - "кп".

Кипящие стали, содержащие повышенное количество кислорода, имеют порог хладноломкости на 30 - 40 °С выше, чем стали спокойные. С повышением условного номера марки стали возрастают предел прочности (σ_B), предел текучести ($\sigma_{0,2}$) и снижается пластичность (δ , ψ), (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Механические свойства углеродистых сталей обыкновенного качества

Марка стали	Механические свойства			Содержание углерода, %	Назначение
	σ_T , МПа, при $a \leq 20$ мм	σ_B , МПа	δ , % при $a \leq 20$ мм		
Ст 0 Ст1кп	-	≥ 300 300-390	20 32	$\leq 0,23$ 0,06-0,12	Листовой и сортовой прокат для строительных конструкций
Ст1пс Ст1сп	-	310-410	31	0,06-0,12 0,06-0,12	Ограждения, арматура, анкерные болты, сварные неответственные соединения
Ст2пс Ст2сп	225	330-430	29	0,09-0,15 0,09-0,15	Заклепки, листы, трубы неответственные, топочные устройства.
Ст3сп Ст3пс Ст3кп	245 235	370-480 360-460	23 24	0,14-0,22 0,14-0,22	Детали и нормали, воспринимающие небольшие нагрузки (арматура, болты, гайки, тяги, оси и др.)
Ст4кп Ст4пс, Ст4сп	255 265	400-510	25 24	0,18-0,27	Для строительных конструкций
Ст5пс, Ст5сп	285	490-630	20	0,28-0,37	Метизы, оси, валы, рельсы, железнодорожные колеса, детали грузоподъемных и сельскохозяйственных машин
Ст6пс, Ст6сп	315	\geq 590	15	0,38-0,49	
Примечание - Содержание примесей в спокойной стали Mn-0,25 (Ст1) - 0,8 (Ст6) %; Si от 0,12 (Ст1) до 0,35 (Ст6) %; P от 0,04 до 0,07 %, S от 0,04 до 0,07 %, a - толщина листа					

Механические свойства сталей обыкновенного качества могут быть значительно повышены, а порог хладноломкости понижен закалкой в воде с прокатного нагрева. Закалку проводят сразу по выходе сортового проката из клетки прокатного станка. Охлаждение осуществляется в специальных устройствах с форсунками – спрейерами, в которых вода подается под высоким давлением, что обеспечивает интенсивное охлаждение.

Углеродистые качественные стали характеризуются более низким, чем у сталей обыкновенного качества, содержанием вредных примесей: содержание серы не более 0,04 %.

Они маркируются двухзначными числами 05, 08, 10, 15, 20...85, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Механические свойства низкоуглеродистых качественных конструкционных сталей в нормализованном состоянии

Марка стали	Содержание углерода, %	Температура нормализации, °С, (30 минут)	Механические свойства, не менее			
			σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	НВ, не более (без т.о.)
08	0,05-0,12	920	320	196	33	131
10	0,07-0,14	900	330	205	31	143
15	0,12-0,19	900	370	225	27	149*
20	0,17-0,24	890	410	245	25	163
25	0,22-0,30	880	450	275	23	170
Примечание - Содержание Si - 0,17-0,37 %; Mn - 0,25 - 0,8 %; Cr до 0,25 %						

Данные стали подразделяют на низкоуглеродистые, среднеуглеродистые и низкоуглеродистые качественные. По назначению их подразделяют на две подгруппы. Стали 05, 08, 10 - малопрочные, высокопластичные. Применяются для холодной штамповки различных изделий. Стали 15, 20, 25 - цементуемые, предназначены для деталей небольшого размера (кулачки, толкатели и т.п.). Эти стали пластичны, хорошо штампуются, свариваются. Применяют для деталей невысокой прочности.

Среднеуглеродистые качественные конструкционные стали 30, 35, 40, 45, 50, 55 отличаются большей прочностью, но меньшей пластичностью, чем низкоуглеродистые. Их применяют после улучшения, нормализации, закалки ТВЧ и низкого отпуска, в зависимости от требуемых свойств (таблица 2.4).

Углеродистые стали (конструкционные) высокой прочности и износостойкости, с высокими упругими свойствами, содержат углерод от 0,6 % до 0,85 %. Стали 60, 65, 70, 75, 80, а также с увеличенным содержанием марганца 60Г, 55Г, 70Г преимущественно применяются в качестве рессорно - пружинных (таблица 2.5).

Таблица 2.4 – Механические свойства среднеуглеродистых качественных конструкционных сталей в нормализованном состоянии

Марка стали	Содержание углерода, %	Температура нормализации, °С, (30 минут)	Механические свойства, не менее				
			σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	КСУ, Дж/см ²	НВ, не более (без т.о.)
30	0,27-0,35	880	490	295	21	78	179
35	0,32-0,40	870	530	315	20	69	187
40	0,37-0,45	860	570	335	19	59	197
45	0,42-0,50	850	600	355	16	49	207
50	0,47-0,55	850	630	375	14	38	217
55	0,52-0,60	850	650	380	13	-	229

Примечание - Содержание Si - 0,17-0,35 %; Mn - 0,5 - 0,9 %; Cr < 0,25%

Таблица 2.5 – Механические свойства отливок из конструкционных углеродистых сталей

Марка стали	Содержание углерода, %	Режим термической обработки		Механические свойства после нормализации и отпуска			
		Температура нормализации, °С	Температура отпуска, °С	σ_T МПа	σ_B МПа	δ , %	КСУ, Дж/см ²
15Л	0,12-0,20	910-930	670-690	200	400	24	50
20Л	0,17-0,25	880-900	630-650	220	420	22	50
25Л	0,22-0,30	880-900	610-630	240	450	19	40
30Л	0,27-0,35	880-900	610-630	260	480	17	35
35Л	0,32-0,40	860-880	600-630	280	500	15	35
40Л	0,37-0,45	860-880	600-630	300	530	14	30
45Л	0,42-0,50	860-880	600-630	320	550	12	30
50Л	0,47-0,50	860-880	600-630	340	580	11	25
55Л	0,47-0,50	840-860	600-630	350	600	10	25

Примечание - Содержание Mn - 0,3 - 0,9 %; Si - 0,2 - 0,52 %.; Cr, Ni, Cu, не более 0,30 % каждый.

Такие стали подвергают закалке и среднему отпуску для получения высоких упругих и прочностных свойств. В нормализованном состоянии эти стали применяют для прокатных валков, шпинделей станков и других крупных деталей, работавших в условиях высоких нагрузок.

К конструкционным сталям относятся и так называемые автоматные стали. Это стали повышенной обрабатываемости резанием, которые подразделяются на сернистые автоматные стали, свинцово-содержащие и кальцийсодержащие автоматные стали.

2.3 Легированные стали

Сталь называется легированной, если содержание легирующего элемента в ней существенно превышает неизбежно получающееся при производстве стали его количество. Стали, в которых суммарное содержание легирующих элементов не превышает 2,5 %, относятся к низколегированным; содержащие 2,5-10 % к легированным, и более 10 % - к высоколегированным (содержание железа более 45 %). Мартенситно-старееущими сталями называют безуглеродистые высоколегированные сплавы, упрочняющиеся после закалки и старения вследствие выделения интерметаллидных фаз. Например, мартенситно-старееущими являются стали 03Н18К9М5Т, 03Н12К15М10, 03Х11Н10М2Т.

Маркировка легированных сталей состоит из сочетания букв и цифр, обозначающих ее химический состав. Легирующие элементы обозначаются буквами: никель - Н, кобальт - К, марганец - Г, кремний - С, молибден - М, вольфрам - В, хром - Х, алюминий - Ю, ванадий - Ф, бор - Р, ниобий - Б, медь - Д, цирконий - Ц, титан - Т, и т.д.

Цифра, стоящая после буквы, указывает на примерное содержание легирующего элемента в процентах. Если после буквы нет цифры, то содержание элемента в стали меньше, около 1,0 - 1,5 %, исключение сделано лишь для молибдена и вольфрама, содержание которых в большинстве конструкционных сталей 0,2 – 0,3 %. Две цифры в начале марки показывают содержание углерода в сотых долях процента, например в стали 30ХТ2М - 0,3 % углерода, около 1 % хрома, 2 % титана, 0,2 % молибдена.

Буква А в конце марки означает, что сталь высококачественная (не путать с обозначением автоматных сталей, у которых буква А пишется в самом начале марки; у сталей, легированных азотом, буква А пишется в середине марки). Особовысококачественные стали имеют в конце марки буквы Ш (30ХГС-Ш). У сталей, которые используются в литом состоянии, в конце марки пишется буква Л.

Механические свойства и назначение некоторых легированных сталей приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6– Механические свойства и назначение легированных сталей

Марка стали	Режим термической обработки	Механические свойства			Назначение
		σ_b , МПа	δ , %	НВ после отжига, не более	
1	2	3	4	5	6
09Г2	Листовой прокат	440	21	-	Элементы листовых сварных металлоконструкций, балки вагонные и стойки. Детали аппаратов химического, нефтяного машиностроения, работающие под давлением и при температуре + 450 °С
12ГС	Листовой прокат	460	21	-	Трубы паропроводов высокого давления. Детали сельскохозяйственных машин и автомобилей изготавливаемых методом вытяжки, гибки, штамповки.
14Г2АФ	Листы и полосы	540	20	-	Металлоконструкции для промышленных зданий. Подкрановые фермы для мостовых кранов
10ХСНД	Листовой прокат	530-590	19	-	Элементы сварных металлоконструкций повышенной прочности и коррозионной стойкости
15Х	$T_3 - 880$ °С, вода или масло, $T_3 - 770-820$ °С, вода или масло. Отпуск 180 °С, воздух или масло	700	12	179	Для цементуемых деталей, работающих на трение, с повышенной прочностью сердцевин (поршневые пальцы и кольца, распределительные и червячные валы, копиры, ролики толкателей автотранспортных двигателей
20Х	$T_3 - 880$ °С, вода или масло, $T_3 - 770-820$ °С, вода или масло. Отпуск 180 °С, воздух, масло (заготовки сечением 15 мм)	800	11	179	То же, что и для 15Х
30Х	Закалка 850 °С, масло. Отпуск 550 °С, вода или масло (заготовка сечением 25 мм)	880	12	187	Оси, валики, рычаги, болты, гайки и др. некрупные детали, а также зубчатые колеса, валы и ответственные нагруженные шпильки
30ХА	Закалка. 860 °С, масло, отпуск 550 °С, вода или масло (заготовка сечением 25 мм)	930	12	207	В моторостроении - коленчатые валы, зубчатые колеса, неазотируемые гильзы цилиндров, шатунные болты и гайки, силовые шпильки и др. улучшаемые детали. В турбостроении - турбинные диски, валы зубчатых передач, роторы турбокомпрессоров. В нефтеперерабатывающем машиностроении – высокопрочные трубы

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4	5	6
40X	Закалка 860 °С, масло. Отпуск 500 °С, вода или масло (заготовка сечением 25 мм)	980	10	217	
45X	Закалка 840 °С, масло. Отпуск 520 °С, вода или масло (заготовка сечением 25 мм)	1030	9	229	Валы, оси, крупные зубчатые колеса, пальцы и другие детали, к которым предъявляются требования повышенной твердости и износостойкости без значительных ударных нагрузок
40Г	Закалка 840 °С, вода. Отпуск 550 °С	840	20	-	Полуоси легковых и грузовых автомобилей, распределительные валики, коленчатые валы, шатуны, оси, карданные валы, тормозные рычаги, диски трения, зубчатые колеса, шлицевые и шестеренные валы, анкерные болты.
45Г	Нормализация 850 °С, масло или воздух. Отпуск 600 °С, воздух (заготовка сечением 25 мм)	615	15	229	
20ХНР	После цементации. Нормализация 930- 780-830 °С, масло. Отпуск 200 °С, воздух или масло (заготовки диаметром 15мм)	1180	10	-	Крупные детали, работающие в условиях ударных нагрузок: зубчатые колеса, червяки, валы, шестеренные, кулачковые муфты, валики, пальцы, втулки и др.
20ХГНР	То же	1275	10	197	То же
12ХН3А	После цементации. Закалка 860 °С, вторая закалка 760 – 810 °С, вода или масло. Отпуск 180 °С, воздух или масло	930	11	217	Ведущие зубчатые колеса электровоза, зубчатые колеса тракторов, распределительные валики, оси и др., цементуемые и нитроцементуемые детали с высокой поверхностной твердостью.
12Х2Н4А	После цементации. Первая закалка 860 °С, вторая – 760 – 800 °С, масло. Отпуск 180 °С, воздух и масло (заготовки диаметром 15 мм)	1130	10	269	Зубчатые колеса, вал-шестерни, шлицевые валы и др. особоответственные высоконагруженные детали, к которым предъявляются требования высокой прочности и поверхностной твердости в сочетании с пластичной сердцевиной, работающие под действием ударных нагрузок
40ХН2МА	Закалка 850 °С, масло. Отпуск 620 °С, масло (заготовка сечением 25 мм)	980	12	269	Коленчатые валы, клапаны, шатуны, крышки шатунов ответственные болты, шестерни, муфты и другие детали в автомобилестроении и станкостроении

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4	5	6
38ХНЗМА	Закалка 850 °С, масло. Отпуск 590 °С, воздух, (заготовка сечением 25 мм)	1080	12	269	Валы, оси, зубчатые колеса, муфты и другие особоответственные детали
45ХН2МФ	Закалка 860 °С, масло. Отпуск 450 °С, масло	1420	7		Торсионные валы, коробки передач и другие нагруженные детали, работающие при повторно-переменных нагрузках и испытывающие динамические нагрузки
ШХ4	Поверхностная закалка ТВЧ, 840-860 °С, выдержка не менее 45 с, охлаждение интенсивным потоком воды	500		600 HV	Зубчатые колеса, цилиндрические крупногабаритные. Кольца и ролики толщиной более 12 мм для подшипников качения.
ШХ15СГ	Закалка 820 – 850 °С, масло. Отпуск 150 °С, воздух	1760-2160	0	627 HV	Крупногабаритные кольца шарико- и роликоподшипников со стенками толщиной более 20-30 мм, кольца роторов буровых машин, шарики диаметром более 50 мм
Сталь 70	Закалка 830 °С, масло. Отпуск 470 °С – 15 мин.	1030	-	229	Рессоры, пружины и пр. детали от которых требуется повышенная прочность и упругие свойства, а также износостойкость

2.4 Материалы с особыми технологическими свойствами

2.4.1 Стали конструкционные высокой обрабатываемости резанием

Делятся на два основных класса свинецсодержащие и кальцийсодержащие стали. В зависимости от химического состава их подразделяют на шесть групп: углеродистую сернистую, углеродистую свинецсодержащую, углеродистую кальцийсодержащую, легированную кальцийсодержащую, легированную свинецсодержащую, легированную кальцийсвинецсодержащую (АСЦЗОХМ).

Обрабатываемость стали резанием оценивается несколькими показателями, главный из которых интенсивность изнашивания режущего инструмента. Обрабатываемость стали зависит от ее механических свойств, теплопроводности, микроструктуры и химического состава. Повышение обрабатываемости резанием достигается технологическими и металлургическими приемами. К технологическим относятся термическая обработка и наклеп. Обрабатываемость низкоуглеродистых сталей повышает холодной пластической деформацией. Более эффективны металлургические приемы, предусматривающие введение в конструкционную сталь серы, селена, кальция, свинца, фосфора, таллия. Эти добавки и образуемые ими включения создают как бы внутреннюю смазку.

Стали с увеличенным содержанием серы или дополнительно легированные указанными выше элементами относятся к автоматным сталям. Автоматные углеродистые стали: А12, А20, А30, А35, А40Г (таблица 2.7) и легированные: АС12ХН; АС14ХГН; АС20ХГНМ; АС20ХГНМ; АС40ХГНМ. Автоматные кальцийсодержащие: АЦ20; АЦ30; АЦ40Х; АЦЗОХН (0,002 - 0,008% кальция). Автоматные селеносодержащие стали: углеродистые - А35Е; А45Е; хромистые - А40ХЕ (0,04 - 0,10 % селена, 0,06 - 0,12 % серы).

Автоматные стали позволяют проводить обработку резанием с большой скоростью и получать высокое качество обрабатываемой поверхности.

Таблица 2.7 – Химический состав и механические свойства автоматных горячекатаных сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %				Механические свойства		
	С	Mn	S	P	σ_b , МПа	δ , %	НВ, не более
А12	0,08-0,16	0,70-1,10	0,08-0,20	0,08-0,2	410	22	160
А20	0,17-0,25	0,70-1,00	0,15-0,25	0,08-0,15	450	20	168
А30	0,26-0,35	0,70-1,00	0,08-0,15	0,08-0,15	510	15	185
А40Г	0,37-0,45	1,20-1,55	0,18-0,30	0,18-0,30	590	14	207
Примечание - Содержание Si в сталях 0,15 - 0,35 %; Cr ≤ 0,25 %							

2.4.2 Стали с высокой технологической пластичностью и свариваемостью

Пластичность - способность металла подвергаться горячей и холодной пластической деформации. Технологическая пластичность зависит от химического состава стали, ее микроструктуры и контролируется параметрами механических свойств. Способность стали к вытяжке при холодной штамповке определяется концентрацией углерода, чем меньше углерода, тем легче идет технологический процесс вытяжки. Микроструктура стали должна состоять из феррита с небольшим количеством перлита. Выделение по границам зерен структурно - свободного (третичного) цемента строго ограничивается во избежание разрывов при штамповке.

Лучше всего деформируется сталь с мелким зерном, соответствующим 7-8 номеру по ГОСТ 5639 - 82. Для придания стали высоких механических свойств после аустенизации ее подвергают 80 %-ной деформации (прокат, волочение, гидроэкструзия и т.д.) при 250 – 500 °С (ниже температуры рекристаллизации). Для глубокой сложной вытяжки используются малопрочные, высокопластичные стали 05, 08, 10 всех видов раскисления. Для холодной штамповки используется сталь микролегированная ванадием 08 Фкп или алюминием 08 Юкп.

Свариваемость определяется способностью металлов и сплавов получать при оптимальной технологии прочный износостойкий шов или наплавленный металл без существенного снижения эксплуатационных качеств восстановленной, или изготовленной детали, или сварного узла. Обычно свариваемость оценивается терминами "хорошая" (без ограничений), "вполне удовлетворительная", "удовлетворительная", "ограниченная", "затрудненная", "весьма затрудненная" и др. Указанные термины устанавливаются согласно накопленному производственному опыту и по результатам лабораторных исследований.

Различают следующие основные группы сварных соединений:

1) сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях и подвергающиеся динамическим и вибрационным нагрузкам. Рекомендуются стали классов: С440/290 (09Г2С); С460/330 (10Г2С1Д) и С520/400 (10ХСНД). Применение высокопрочных сталей не рекомендуется;

2) сварные конструкции, находящиеся под непосредственным воздействием динамических нагрузок. При температуре минус 30 °С помимо сталей обычной и повышенной прочности классов С380/230 (09Г2С); С460/330 применяются высокопрочные стали;

3) сварные конструкции перекрытий и покрытий. При температуре ниже минус 30 °С применяются высокопрочные стали 12Г2СМФ1;

4) сварные конструкции, не подвергающиеся непосредственному воздействию подвижных или вибрационных нагрузок. При температурах до – 40 °С применяются стали 16Г2АФ и 12Г2СМФ при более низких температурах применяются стали 09Г2С, 10Г2С1, 15ХСНД, 10ХСНД.

После сварки низколегированные стали для снятия напряжения подвергают высокому отпуску при 630 – 700 °С (таблица 2.8).

Таблица 2.8 - Механические свойства сварных соединений

Марка стали	Т.О.	σ_B МПа	$\delta, \%$	$\Psi, \%$	$\sigma_{изг},$ МПа	Дж/см
Ст3	Исходное состояние	462	5,2	10	942	65
	Отпуск (600 °С)	433	6	11,2	924	68
40	Исходное состояние	562	9,8	17,6	1243	42
	Отпуск (600 °С)	582	10,2	21,4	1248	46
40 X	Исходное состояние	686	10,2	26,2	1368	56
	Отпуск (600 °С)	691	10,8	28	1376	78

Стали высокой пластичности и свариваемости: 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 11кп, 15кп, 15пс, 15, 18кп, 20пс, 20кп, 20, 25, 15Г. ЮГ, 25Г, 10Г2. Профили стальные приведены в приложении.

2.4.3 Железоуглеродистые сплавы с высокими литейными свойствами

Чугунами называют железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14 % углерода и затвердевающие с образованием эвтектики. Благодаря сочетанию высоких литейных свойств, достаточной прочности, износостойкости, а также относительной дешевизне, чугуны получили широкое распространение в машиностроении. Их используют для производства качественных отливок сложной формы при отсутствии жестких требований к габаритам и массе деталей.

По структуре различают отливки:

- 1) из графитизированного чугуна, характеризуемого наличием в структуре свободного графита различной формы;
- 2) из белого чугуна характеризуемого отсутствием в структуре свободного графита;
- 3) из половинчатого отбеленного чугуна.

Форма графита в графитизированных чугунах разнообразна: пластинчатая вермикулярная (червеобразная), хлопьевидная, шаровидная. Эти формы графита определяют основные типы чугунов: серый чугун, чугуны с вермикулярным графитом, ковкий чугун, высокопрочный чугун с шаровидным графитом. При этом структура металлической основы может быть ферритной; ферритно-перлитной, перлитной. Государственными стандартами регламентировано около 100 марок чугунов.

По химическому составу различают нелегированные и легированные чугуны.

По назначению чугуны могут быть разделены на несколько укрупненных групп в зависимости от предъявленных требований. К укрупненным группам относятся отливки:

- а) машиностроительные из серого чугуна;

б) с повышенной прочностью и вязкостью из высокопрочного или ковкого чугуна;

в) с повышенной прочностью и поверхностной твердостью из отбеленного чугуна или подвергнутого поверхностной закалке;

г) с резко выраженными специальными свойствами из легированных чугунов.

По технологии получения различных отливок: получаемые в разовых песочных формах; в керамических формах изготовленных по выплавляемым и выжигаемым моделям; в металлические формы – кокили и т.д.

Технологические свойства чугунов приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Технологические и эксплуатационные свойства чугунов

Чугун	Способ отливки	Обычная термическая обработка	Обрабатываемость резанием	Свариваемость при восстановлении детали.	Износостойкость
Серый	В земляные формы, центробежное литье	Смягчающий отжиг ($t \approx 600$ °С), или нормализация.	Хорошая (улучшается при увеличении содержания графита) и степени дисперсности структурных составляющих	Вполне удовлетворительная	Удовлетворительная.
высокопрочный	в землю и оболочковые формы	закалка ТВЧ и др. виды	вполне удовлетворительная	удовлетворительная	высокая (после закалки)
легированный	в землю и оболочковые формы, другие способы	закалка объемная или ТВЧ, отпуск	удовлетворительная	низкая	То же
отбеленный	наплавка на специальных автоматах и полуавтоматах	самозакалка струей воды или ТВЧ	очень плохая	не сваривается	очень высокая, в особенности при содержании никеля, марганца, хрома, молибдена
ковкий	в земляные формы, иногда в оболочковые формы	Многочасовой (27-42ч) двухступенчатый отжиг. $t_1=920-970$ °С $t_2=720-760$ °С	хорошая	свариваемость очень низкая. Возможна наплавка.	вполне удовлетворительная.

Серыми называют чугуны с пластинчатой формой графита (СЧ). По химическому составу серые чугуны разделяют на обычные (нелегированные) и легированные. Обычные серые чугуны – сплавы сложного состава, содержащие элементы: железо, углерод, кремний и постоянные примеси: марганец, фосфор и серу. Содержание этих примесей колеблется в серых чугунах в следующих пределах: Si - 1-3 %; Mn – 0,2-1,1 %; P - до 0,03 %; S – 0,01-0,15 %. Количество углерода 2,2 -3,7 %. Чем выше концентрация углерода, тем больше выделения графита в чугуне и тем ниже его механические свойства (таблица 2.10.)

Таблица 2.10 – Механические свойства серых чугунов

Чугун	Содержание углерода	Механические свойства		Назначение	Структура металлической основы
		σ_B , МПа	НВ		
СЧ10 СЧ15	3,5-3,7 3,5-3,7	100 150	149-200 156-224	Слабо и средне нагруженные детали (крышки, фланцы и т.п.)	Ф
СЧ20 СЧ25	3,3-3,5 3,2-3,4	200 250	168-240 170-255	Детали, работающие при повышенных статических и динамических нагрузках (блоки цилиндров, картеры двигателя, станины станков)	Ф–П
СЧ30 СЧ35	3,0-3,2 2,9-3,0	300 350	187-270 201-290	Детали, работающие при высоких нагрузках или в тяжелых условиях износа (зубчатые колеса, гильзы блоков цилиндров, шпиндели, распределительные валы др.)	Ф

Снижение углерода отрицательно сказывается на жидкотекучести и, следовательно, на литейных свойствах.

Высокопрочными называются чугуны с шаровидным графитом. Шаровидная форма графита зависит от состава металла условий модифицирования, условий плавки и от скорости охлаждения отливки. Чем больше скорость охлаждения отливки, тем ближе к шаровидной форме. Чаще всего для получения шаровидного графита расплав модифицируют, обрабатывая сфероидизирующими металлами (магнием, кальцием и др.).

Высокопрочный чугун можно получить со всеми известными структурами металлической основы: ВЧ35, ВЧ40 – ферритный чугун; ВЧ45, ВЧ50 – перлитно-ферритный чугун; ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80 – перлитный чугун; ВЧ100 – бейнитный чугун (таблица 2.11).

Таблица 2.11 –Механические свойства высокопрочных чугунов

Марка чугуна	Механические свойства			Назначение
	σ_B , МПа	δ , %	НВ	
Ч35	350	22	140-170	Оборудование прокатных станов (прокатные валки, станины); кузнечно-прессовое оборудование (траверсы прессов); в турбостроении (корпус паровой турбины и др.); в дизеле-, тракторо- и автомобилестроении (коленчатые валы, поршни и другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания).
ВЧ40	400	15	140-202	
ВЧ45	450	10	140-225	
ВЧ50	500	7	153-245	
ВЧ60	600	3	192-277	
ВЧ70	700	2	228-302	
ВЧ80	800	2	248-351	
ВЧ100	1000	2	270-360	

Высокопрочные чугуны имеют высокие механические свойства, не уступающие свойствам литой углеродистой стали, сохраняя при этом хорошие литейные свойства и обрабатываемость резанием, способность гасить вибрации, высокую износостойкость и т.д. Обычный состав чугуна: С – 3,2 – 3,6 %; Si – 1,6 – 2,9 %; Mn – 0,3 – 0,7 %; S – до 0,02 %; P – до 0,1 %.

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают отжигом белых доэвтектических чугунов. Такой графит, в отличие от пластинчатого, меньше снижает механические свойства металлической матрицы.

Ковкий чугун маркируется буквами КЧ и цифрами. Первые две цифры указывают временное сопротивление (в 10^4 МПа), вторые – относительное удлинение (в %). Ковкие чугуны ферритного класса: КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ37-12; перлитного класса: КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3 и другие. Ферритные чугуны имеют более высокую пластичность, а перлитные – более высокую прочность и твердость (таблица 2.12).

Чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ) отличается от серого чугуна более высокой (в 1,5-2 раза) прочностью, повышенной теплопроводностью, износостойкостью, большей стабильностью свойств по толщине отливки. Этот материал перспективен для изготовления ответственных отливок, работающих в условиях значительного перепада температур и испытывающих большие термоциклические нагрузки: детали двигателей внутреннего сгорания, корпуса компрессоров, газовых турбин, гидроаппаратуры высокого давления, тормозные диски для высокоскоростных поездов, металлургическая оснастка и т.п.

Вермикулярный графит получают обработкой расплава лигатурами, содержащими редкоземельные металлы (РЗМ). В структуре ЧВГ есть также шаровидный графит (до 30 %). Механические свойства ЧВГ и рекомендуемый химический состав регламентируются ГОСТ 28394-89 (таблицы 2.13 и 2.14). Механические свойства ЧВГ определяются в основном химическим составом, формой графита (соотношением количества включений графита вермикулярной и шаровидной формы), структурой металлической основы (количеством феррита и перлита).

Таблица 2.12 – Механические свойства ковкого чугуна

Марка чугуна	Механические свойства			Назначение
	σ_B , МПа	δ , %	НВ	
Чугуны с ферритной основой				
КЧ30-6	294	6	100-163	Детали, работающие при низких нагрузках (клапаны, фланцы, муфты, глушители и др.)
КЧ33-8	323	8	100-163	Детали, работающие при средних нагрузках (башмаки, подкладки и др.)
КЧ35-10	333	10	100-163	Детали, работающие при высоких нагрузках, материал которых должен обладать повышенной прочностью и пластичностью (ступицы, задние мосты, картеры редукторов)
КЧ47-12	362	12	110-163	
Чугуны с перлитной основой				
КЧ45-7	441	7	150-207	Детали, работающие при высоких динамических и статических нагрузках или в тяжелых условиях износа, к материалу предъявляются требования высокой прочности и износостойкости при максимальной вязкости (коленчатые валы, втулки, муфты, диски, звенья или звездочки приводных цепей, тормозные колодки, храповики и др.)
КЧ50-5	490	5	170-230	
КЧ56-4	539	4	192-241	
КЧ60-3	588	3	200-269	
КЧ70-2	688	2	241-285	
КЧ80-1,5	784	1,5	270-320	

Таблица 2.13 - Механические свойства ЧВГ (ГОСТ 28394-89)

Марка чугуна	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	НВ
	не менее			
ЧВГ 30	300	240	3,0	130-180
ЧВГ 35	350	260	2,0	140-190
ЧВГ 40	400	320	1,5	170-220
ЧВГ 45	450	380	0,8	190-250

Белыми называют чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цемента (F_3C), их подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические. Из-за большого количества цементита белые чугуны тверды (300 - 450 НВ), хрупки, имеют ограниченное применение.

Таблица 2.14 – Рекомендуемый химический состав чугуна с вермикулярным графитом

Марка чугуна	Массовая доля элемента, % (остальное Fe)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg	PЗМ
				не более					
ЧВГ30	3,5-3,8	2,2-3,0	0,2-0,6	0,08	0,25	0,15	-	0,015-0,028	0,10-0,20
ЧВГ35		2,2-2,8							
ЧВГ40	3,1-3,5	2,0-2,5	0,4-1,0	0,05	0,30	0,20	0,4-0,6	0,020-0,028	
ЧВГ45			0,8-1,2						

Отбеленный (половинчатый) чугун - отливки из серого чугуна, имеющие слой белого чугуна на поверхности. Наибольшее распространение он получил для производства прокатных валков как металлургических, так и мельничных валков лакокрасочных, бумагоделательных и маслобойных машин. Наиболее стойкие и качественные валки получают при изготовлении из отбеленного чугуна, легированного магнием.

Легированные чугуны со специальными свойствами. Различают по условиям эксплуатации: жаростойкие, которые обладают окалиностойкостью, жароустойчивостью и трещиностойкостью; жаропрочные, обладающие высокой длительной прочностью и ползучестью при высоких температурах; коррозионной стойкостью. По химическому составу различают несколько групп легированного чугуна: хромистые, кремнистые, алюминиевые, марганцевые, никелевые.

Хромистые чугуны (ЧХ1, ЧХ2, ЧХ3, ЧХ3Т, ЧХ9Н5, ЧХ16, ЧХ16М2, ЧХ22 и другие) применяются главным образом как жаростойкие, коррозионно-стойкие и износостойкие материалы. Большая часть высокохромистых чугунов хорошо работает в условиях ударного абразивного изнашивания.

Кремнистые чугуны (ЧС5, ЧС5Ш, ЧС13, ЧС17, ЧС15М4, ЧС15М3) применяются главным образом, как окалино-росто- и коррозионно-стойкие материалы. Механические свойства кремнистых чугунов относительно низкие, как при нормальной, так и повышенной температуре.

Алюминиевые чугуны (ЧЮХШ, ЧЮ6С5, ЧЮ22Ш ЧЮ30) применяются главным образом как жаростойкие и износостойкие материалы. Увеличение содержания алюминия приводит к снижению прочности, которая в дальнейшем стабилизируется. Максимальную твердость чугуны, содержащие 10-17 % и выше 26 % алюминия. Высокая жаростойкость алюминиевого чугуна сохраняется в ряде агрессивных газовых сред.

Марганцевые чугуны (ЧГ6С3Ш, ЧГ7Х4, ЧГ893) применяются главным образом как немагнитные и износостойкие материалы.

Никелевые чугуны (ЧНХТ6, ЧХМД6, ЧНМШ6, ЧН4Х2, ЧН11Г7Ш, ЧН15Д7 и др.) применяются как немагнитные коррозионно-стойкие, жаропроч-

ные и хладостойкие материалы. Прочность и твердость никелевых чугунов возрастает с увеличением содержания никеля и хрома. При получении шаровидного графита механические свойства обычно пластичного чугуна, заметно возрастают.

2.5 Износостойкие материалы

Износ деталей машин и аппаратов может быть вызван трением металлических деталей, воздействием рабочей среды (жидкости, газы, твердых частиц) и т.д. Механизм износа различен и зависит от условий износа, но в основном он состоит в том, что с поверхности металла вырываются мелкие частицы. Высокая твердость поверхности необходимое условие обеспечения износостойкости при большинстве видов изнашивания. При работе пары трения возможно схватывание. Для уменьшения этого явления используют цветные металлы и сплавы, имеющие в своем составе легкоплавкие металлы (свинец, олово). Особенно в тяжелых условиях работают червячные передачи. Для предупреждения схватывания червяк выполняется из стали, имеющей твердость поверхностного слоя 45 - 60 HRC, а червячное колесо - из оловянистой бронзы.

При абразивном, окислительном, усталостном видах изнашивания наиболее износостойки стали и сплавы с высокой исходной твердостью поверхности. Наибольший урон сельскохозяйственным машинам, горнодобывающему оборудованию, дорожно-строительным машинам и т.д. наносит абразивное изнашивание. Износостойкость при изнашивании чистых металлов пропорциональна их твердость. При абразивном изнашивании ведущими являются процессы многократного деформирования поверхности скользящими по ней частицами и микрорезанием.

Для деталей, работающих без ударных нагрузок, применяются сплавы с мартенситной структурой: к ним относятся сплавы типа У25Х38, У30Х23Г2С2Т. Детали, работающие при значительных ударных нагрузках (зубья ковшей экскаваторов, пики отбойных молотков и др.), изготавливают из сплавов с повышенным содержанием марганца с аустенитно-мартенситной (У37Х7Г7С) или аустенитной (У11Г13, У30Г34) матрицей. Для деталей, работающих при средних условиях изнашивания, применяют спеченные сплавы, а также высоколегированные стали типа Х12, Х12М, Р9, Р5М5 и другие, которые после закалки и отпуска имеют твердость более 60 HRC.

В работе Сорокина В.Г. была осуществлена попытка проанализировать износостойкость сталей основных структурных классов с учетом их механических свойств в закаленном состоянии при температурах отпуска (таблица 2.15). Наиболее полно представлены стали перлитного класса: низко-, средне-, высокоуглеродистые, улучшенная сталь 40Х.

Таблица 2.15 – Износостойкость сталей

Марка стали	Режим термической обработки, °С		Твердость, HRC	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	φ	KCV, МДж/м ²	Износостойкость И, г ⁻¹
	Закалка	Отпуск							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20		500	14	790	710	13	66	-	0,46
		600	13	670	570	16	70	-	0,43
45	810-840 вода	0	55	1450	1330	5	3,5	0,22	1,1
		100	53	1700	1640	3	6	0,13	1,05
		200	49	1700	1700	-	-	0,19	0,98
		300	44	1380	1310	10	48	0,39	0,79
		400	32	940	850	12	65	1,1	0,72
		500	27	930	850	15	61	1,45	0,63
40X	830-860 вода	0	55	1740	1740	-	-	0,36	0,73
		100	50	1710	1710	-	-	0,2	0,74
		200	48	1850	1520	7	8	0,18	0,73
		300	44	1680	1450	8	40	0,26	0,64
		400	37	1420	1310	7	44	0,6	0,57
		500	33	1170	1090	9	56	1,2	0,52
У10	760-780 вода	0	63	330	330	-	-	0,05	1,12
		100	62	370	370	-	-	0,05	1,45
		200	62	610	610	-	-	0,063	1,58
		300	54	810	810	-	-	0,076	1,27
		400	43	1640	1590	1	16	0,17	1,09
		500	38	1370	1210	1	22	0,08	-
Н18К9М5Т	820-840 масло	0	28	1000	750	5	-	-	0,57
		100	29	1050	800	-	-	-	0,56
		200	31	1070	900	7	-	-	0,54
		300	32	1150	1000	7	-	-	0,54
		400	48	1400	1300	8	-	-	0,57
		54	1850	1800	3	-	-	0,77	
95Х18	1000-1050 масло	0	58	-	-	-	-	-	2
		100	60	-	-	-	-	-	2,2
		200	61	1800	1700	8	8	0,15	2,4
		300	55	-	-	-	-	-	1,29
		400	57	-	-	-	-	-	1,13
		500	58	-	-	-	-	-	2,2
	600	39	-	-	-	-	-	0,86	

Продолжение таблицы 2.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Н110Г13Л	1000-1050	0	15	488	304	42	31	1,34	0,89
	вода	100	16	542	315	31	26	1,62	0,8
		200	16	327	327	37	28	1,53	0,79
		300	14	532	288	34	27	1,49	0,78
		400	15	415	283	24	24	1,5	-
		600	13	388	299	18	14	0,08	-
X12M	1000-1300	0	61	440	440	-	-	0,014	1,33
	масло	100	60	370	370	-	-	0,015	1,63
		200	59	730	730	-	-	0,016	1,69
		300	52	890	890	3	2,8	0,017	1,15
		400	49	1090	1090	-	-	0,033	0,84
		500	58	1300	1300	2	2	0,023	1,31
		600	48	1550	1300	-	-	0,032	0,78
P18	1270-1290	0	60	440	440	-	-	-	1,33
	масло	100	61	660	660	-	-	0,015	1,89
		200	58	1150	1150	-	-	0,015	1,51
		300	61	1218	1218	-	-	0,05	1,98
		400	61	1320	1320	-	-	0,03	2,1
		500	63	1400	1400	-	-	0,02	2,47
		600	65	1600	1600	-	-	0,015	3,2

Мартенситный класс представлен сталью 95X18, аустенитный – 110Г13Л, карбидный - P18; для сравнения изучали износостойкость высокоуглеродистой и высоколегированной стали X12M. В последние годы появилась информация о перспективности в условиях абразивного изнашивания мартенситно-старееющих сталей; с целью проверки этого мнения испытывали мартенситно-старееющую сложнолегированную сталь H18K9M5T. Таким образом, были исследованы представители практически всех сталей, за исключением ферритной.

При повышении температуры отпуска низкоуглеродистой стали 20 ее износостойкость практически не изменилась: 0,50 - 0,43 г⁻¹. Этот весьма показательный экспериментальный факт обусловлен тем, что если в стали нет начального упрочнения после закалки по типу мартенситного, то, естественно, нет и разупрочнения при последующем нагреве, хотя твердость этой стали снизилась более чем в два раза, но относительное удлинение и относительное сужение увеличились примерно в три раза, что не только сохранило значение произведения предела прочности на относительное сужение при температурах отпуска 100 и 600 °С, но и частично повысило этот показатель: 30 x 103 при 100 °С и 46 x 103 при 600 °С.

Этот пример еще раз подтверждает, что разупрочнение при тепловом воздействии сопровождается снижением прочностных характеристик, а следовательно, и износостойкости. Это наглядно прослеживается на примере стали 45 и У10. Их износостойкость при повышении температуры отпуска снизилась

практически в два раза: от 1,1 до 0,53 г⁻¹ для стали 45 и от 1,2 до 0,64 г⁻¹ для стали У10. Легирование углеродистой стали хромом (сталь 40Х) способствует ее структурной устойчивости в условиях отпуска после закалки, поэтому снижение износостойкости не столь существенно.

Испытания сталей указанного перечня показали, что нет основания считать ни мартенситно-старяющие, ни аустенитные стали более износостойкими, чем стали других классов. Износостойкость сталей Н18К9М5Т и 110Г13Л была примерно одинакова во всем интервале температур отпуска.

Сталь Х12М теряет свои начальные свойства при отпуске: ее износостойкость уменьшилась при 600 °С примерно в два раза по сравнению с начальной. Совершенно иной характер имеет зависимость износостойкости стали Р18 от температуры отпуска после закалки. Если все другие стали, взятые для сравнения, при повышении температуры отпуска разупрочняются или остаются стабильными, а их износостойкость или снижается, или остается без изменения, то начальная износостойкость 1,43 г⁻¹ карбидной стали Р18 при повышении температуры отпуска до 600 °С увеличилась до 3,2 г⁻¹. Эти данные имеют не только сугубо прикладное значение: они дают основание судить об износостойкости и отдельных сталей, и структурных классов в целом, тем самым ориентируя трибологов при выборе более износостойких сталей. Для металловедов эта информация важна в плане создания или выбора классов сталей для условий, в которых причиной отказов является низкая износостойкость.

2.5.1 Наплавочные материалы

Для динамически нагруженных деталей решением проблемы является нанесение на их поверхности износостойких слоев. Для армирования бурового инструмента, наплавки режущего инструмента машин, разрабатывающих мерзлые грунты, зубьев ковшов экскаваторов и других деталей машин, подверженных интенсивному абразивному изнашиванию применяют релит - смесь карбидов вольфрама ($W_2C + WC$) в эвтектической пропорции. Его выпускают в виде крупки марки З (зерновой) и в виде электродов марки ТЗ (трубчато-зерновой), представляющие собой трубочки из низкоуглеродистой стали, заполненные крупкой. Разные марки его отличаются дисперсностью карбидного порошка (от 20-до-80 мкм).

Для наплавки износостойких и жаростойких слоев газопламенным способом применяются присадочные прутки из сормайта, стеллита. Сормайт направляют на детали, подверженные абразивному изнашиванию (ножи бульдозеров и грейдеров и др.), на инструменты для обработки металлов давлением, на детали, работающие в среде агрессивных газов при повышенных температурах (засыпных аппаратов доменных печей и др.). Выпускаются сормайты в виде прутков и мелких порошков. Химический состав сормайтов приведен в таблице 2.16.

Сормайт-1 обладает большей твердостью, но и большей хрупкостью по сравнению с Сормайтом-2 (≥ 50 HRC и ≥ 44 HRC соответственно), что определя-

ет выбор сплава для наплавки. сормайт-1: 3,0 %C; 30 % Cr; 5 %Ni; 3 % Si, остальное - железо; сормайт-2: 1,7 %C; 15 % Cr; 2 % Ni; 2 % Si, остальное - железо.

Таблица 2.16 – Химический состав сормайтов, %

Сормайт	Fe	Cr	Ni	C	Si	Mn
N1 (Пр-С1)	Основа	27-31	3-5	2,5-3,3	2,8-3,5	0,4-1,5
N2 (Пр-С2)	Основа	13-17	1,5-2,5	1,5-2,0	1,5-2,2	0,4-1,0

Высокой износостойкостью и стойкостью против коррозии обладают хромовольфрамкобальтовые наплавки - стеллиты В2К В3К и В3К-Р. Достаточно широко применяются гранулированные порошки на железной и никелевой основах, главным образом высокохромистые ПГ, изнашиванию.

Стали, используемые для сварочной проволоки маркируют дополнительно буквами Св, например, Св-06Х19Н9Т, наплавочные - Нп, например, Нп-40Х3Г2МФ.

Электроды для дуговой сварки - буквой Э (например, Э-10Г2 содержит 1 % С и 2 % Мп).

Прутки для наплавки маркируют ПрН, например, ПрН-У30Х28Н4С3.

Гранулированные порошки из сплавов маркируют ПГ, например, ПГ-С27 (типа ПН-У40Х28Н2С2ВМ).

Порошковые проволоки маркируют ПП, например, ПП-3Х2В8.

Порошковые ленты маркируют ПЛ, например, ПЛ-У30Х30Г3ТЮ).

эвтектики.

Наплавочные смеси С-2М, БХ, КБХ, ФБХ6-2, приготовляемые механическим смешиванием ферросплавов, углеродистых материалов, а также карбидов и боридов. Примерный состав сплава, названного сталинитом: 10 % С; 20 % Cr; 15 % Mn; 3 % Si; остальное Fe, образуется после расплавления смеси ферромарганца, чугуна и угля. Обладает высокой твердостью 65 HRC.

В таблице 2.17, 2.18 приведены некоторые марки материалов, рекомендуемых для восстановления изношенных деталей в зависимости от условий эксплуатации.

Таблица 2.17 - Наплавочные электроды для ручной дуговой наплавки

Группа условий работы	Марка электрода	Тип наплавочного металла	Твердость HV (HRC)	Область применения
1	2	3	4	5
1	ВСН-9 ЦН-16 ЭНУ-2 Т-620	140Х10Н2Г2АР 175Н8Х6С5 350Х15Г3Р1 320Х23С2ГТР	До 700 До 600 До 600 (55-62)	Ножи дорожных машин, клыки и зубья ковшей экскаваторов и т.п.

Продолжение таблицы 2.17

1	2	3	4	5
2	ВНК/ЛИВТ	80X4С	560-600	Ножи дорожных машин, детали пескоструйных аппаратов и т.п.
3	ЦНИИН-4 ОМГ-Н ВСН-6 ОЗШ-6	65X25ПЗНЗ 65X11НЗ 110X14В13Ф2	300 (50) 250-310 НВ 520-570 (58-62)	Породоразрушающий инструмент, звенья гусениц, детали дробильных аппаратов
4	12АН/ЛИВТ	95X7Г5С	280-350	Детали землечерпалок, насосов и др.
5	ЭН-60М ВСН-10	60X2СМ 50X12Н4М2	400-450 (56-62)	Детали строительнодорожных машин, вагонов и др.
6	К2-55 ЖСН-60р	14Г2Х 105В6Х5М3Ф3	550-600 (29-36)	Рельсы, колесные пары и др.
7	НР-70 УОНИ-13/55	30С2ХМ Э-55	(140-210) НВ (30-39)	Валы, оси, пальцы, крестовины, рельсы
8	ОЗШ-1 ОЗН-300	16Г2ХН 15Г3	350-400 (250-300) НВ	Зубья шестерен и др.
9	ЦН-6Л	08X17Н8С6Г	300-380	Клапаны насосов и др.
10	ЦН-2	190К62Х29В5С2	420	Клапаны двигателей внутреннего сгорания
11	УОНИ-13/НЖ	Э-20X13	(54-62 после т.о.)	Аппараты химического производства, детали насосов

Таблица 2.18 - Наплавочные проволоки сплошного сечения

Марка и тип	Рекомендуемый флюс	Твердость НВ	Группа	Применение
1	2	3	4	5
Нп-25, Нп-30 Нп-50 Нп-65, Нп-80	АН-348А	160-220 180-240 220-340	7-8	Детали, работающие в условиях трения металла по металлу (оси, валы, катки, шпиндели и т.п.)
Нп-50Г Нп-65Г	АН-348А	200-270 230-310	6-8	Натяжные колеса, опорные ролики гусеничных машин, оси, валы и др.
Нп-50ХФА	АН-20 АН-26	43-50 НRC	5	Детали машин, работающие с динамическими нагрузками (коленчатые и шлицевые валы, кулачки)
Нп-30ХГСА	АН-20, АН-26	220-300	6	Шестерни, крановые колеса и др.
Нп45Х2В8Г	АН-20, АН-26	40-46 НRC	1-3	Прокатные валки и кузнечно-прессовый инструмент
Нп-105Х	АН-20, АН-26	32-38 НRC	1,3,4	Зубья ковшей экскаваторов, дет. землечерпалок
Нп-40ХЗГ2МФ	АН-20, АН-26	38-44 НRC	3	Детали дробилок и др., работающие на удар
Нп-Г13А	ОФ-6	220-280	3	Детали из стали типа 110Г13Л, железнодорожные крестовины
Нп-30Х13	ОФ-6	38-45 НRC	9	Детали насосов, задвижек для пара и воды

Продолжение таблицы 2.18

1	2	3	4	5
Нп-30Х10Г10Т	ОФ-6	200-220	9	Лопастни гидротурбин, плунжеры и др.
Сварочная проволока для наплавки				
Св-08 Св-08ГС	АН-348А	120-180 180-200	7	Оси, шпиндели, валы, опорные ролики и др.
Св-18ХГС	АН-20 АН-26	240-300	7,8	Оси катков, цапфы, опорные ролики и др.
Св-20Х13 Св-10Х17Т	ОФ-6	42-48 HRC 30-38 HRC	9	Уплотнительная арматура, работающая при T=450 °С

2.5.2 Материалы устойчивые к усталостному изнашиванию

Эти материалы предназначены для таких изделий массового производства, как подшипники качения и гребчатые колеса. Усталостное выкрашивание на их рабочих поверхностях вызывают циклические контактные напряжения сжатия. Высокая контактная выносливость может быть обеспечена лишь при высокой твердости поверхности. Высокая твердость поверхности необходима также для затруднения истирания контактных поверхностей при их проскальзывании. Подшипниковая сталь: ШХ4, ШХ10, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ, а также коррозионно-стойкая подшипниковая сталь 95Х18. Для зубчатых колес применяют цементуемые (нитроцементуемые) стали: 15Х; 15ХФ; 20ХР; 20ХН3А; 12Х2Н4А; 18Х2Н4МА; для азотирования колес применяют стали 40ХМЮА; 40ХФА; 38Х2МЮА и др.

2.5.3 Материалы, устойчивые к изнашиванию в условиях больших давлений и ударных нагрузок

Для изготовления деталей, работающих в условиях ударно абразивного изнашивания, широко применяются высокомарганцовистые стали, в частности, аустенитная сталь 110Г13Л. Высокая износостойкость этой стали обусловлена способностью аустенита к сильному деформированному упрочнению (наклепу). Сталь плохо обрабатывается резанием, поэтому детали получают литьем или ковкой. Для повышения прочности и пластичности сталь закаляют в воде от температуры 1100 °С. При таком нагреве растворяются карбиды, и сталь после закалки приобретает более устойчивую аустенитную структуру со следующими свойствами: $\sigma_b = 800 - 1000$ МПа; $\sigma_{0,2} = 250-350$ МПа; $\delta = 35-45$ %; $\psi = 40-50$ %; 180-220 НВ. Из этой стали изготавливают звенья гусениц тракторов и другие детали гусеничных машин, шары дробильных машин, щеки камнедробилок и др.

Высокой износостойкостью при высоких давлениях и ударных нагрузках обладают высококобальтовые (20-30 % Со) твердые сплавы типа ВК.

2.5.4 Антифрикционные материалы

Предназначены для использования в различных подшипниках скольжения. К антифрикционным материалам предъявляют определенные требования. Они должны обладать:

- 1) по возможности низкими значениями коэффициента трения;
- 2) высокой износостойкостью;
- 3) способность быстро прирабатываться и легко приспособливаться к ужесточению условий работы трибосистемы (вторичная приработка);
- 4) повышенной сопротивляемостью к заеданию и задиру;
- 5) достаточной прочностью и сопротивляемостью усталостным, кавитационным, коррозионным и абразивным повреждениям.

Различают антифрикционные материалы: металлические, неметаллические (полимеры) и комбинированные (металлополимерные, графитометаллические и др.). Свойства антифрикционных материалов приведены в таблице 2.19.

Таблица 2.19– Характеристика антифрикционных материалов

Материал	НВ	Коэффициент трения по стали		Допустимая скорость скольжения м/с
		без смазочного материала	со смазочным материалом	
Баббиты: Б83 Б16 БК2	30 30 32	0,07-0,12	0,004-0,006	50 30 15
Бронзы: Бр010Ф1 Бр05Ц5С5 БрС30	100 60 25	0,1-0,2	0,004-0,009	10 3 12
Латуни: ЛЦ16К4 ЛЦ38Мц2с2	100 80	0,15-0,24	0,009-0,016	2 1
Алюминиевые сплавы: АО9-2	31	0,1-0,15	0,008	20
Антифрикционные серые чугуны: АЧС-1 АЧС-3	180-241 160-190	0,12-0,23	0,008 0,016	5 1,0
Пластмассы: капрон текстолит	10 35	0,15-0,21 0,15-0,25		5 8
Комбинированные материалы: железо-графит бронза-графит металлофторопластовая лента МФПл	80 56	0,08-0,12 0,04-0,1 0,03-0,1		1 1

Баббиты - антифрикционные сплавы на основе олова или свинца. На основе олова Б83, Б88,(состав баббита Б83: 10 – 12 % Sb; 5,5 - 6,5 % Cu, остальное - Sn); на свинцовой основе, дополнительно легированные оловом Б16, БН, а также свинцово-кальциевые баббиты БКА, БК2. Баббиты применяются только для тонкого покрытия рабочей поверхности опоры скольжения, используются для подшипников ответственного назначения.

Бронзы оловянные (БР010Ф1: Бр010Ц2), оловянно-цинково-свинцовые

(Бр05Ц5С5: Бр06С3 и др.) относятся к лучшим антифрикционным материалам. В тяжело нагруженных трущихся местах применяют высокопрочные алюминиевые бронзы БрАЖ9-4; БрАЖМц10-3-1,5

В качестве антифрикционных используются и латуни, однако по антифрикционным свойствам они уступают бронзам.

Высокие антифрикционные свойства имеют сплавы алюминиевой основы АН-2,5; АСМ; А09-1; А03-1 и др.

Чугуны применяются для подшипников и других трущихся деталей в большем количестве и ассортименте: антифрикционные серые чугуны АЧС-1; АЧС-2; АЧС-3; высокопрочные АЧВ-1; АЧВ-2; ковкие АЧК-1; АЧК-2.

Порошковые антифрикционные материалы, изготовленные в основном на основе недорогих металлов и сплавов, используются в узлах трения (подшипники скольжения, поршневые кольца и т. п.), успешно заменяя собой дорогостоящие литые изделия. В антифрикционных порошковых изделиях из цветных сплавов остаточная пористость может составлять от 10 до 50 %.

Основные требования, которые предъявляются к порошковым антифрикционным материалам, это высокая износостойкость при малом коэффициенте трения, обеспечение при работе самосмазываемости, быстрая прирабатываемость, длительный срок службы как при обычных температурах, малых и средних скоростях скольжения, так и при криогенных и высоких температурах, скорости скольжения свыше 100 м/с и давлениях более 10 МПа. При работе в агрессивных средах они должны быть коррозионностойкими, при высоких температурах обладать повышенной окислительной стойкостью.

В настоящее время количество антифрикционных марок сплавов стремительно растет, охватывая все новые и новые виды продукции. Однако число нормированных марок весьма невелико, и в последующих таблицах (таблица 2.20) будут приведены данные только о тех материалах, составы которых вошли в соответствующие государственные стандарты.

Антифрикционные материалы на основе полимеров предназначены, как правило для работ с жидкостями, не обладающими смазочными свойствами, и без смазки. Антифрикционные самосмазывающиеся пластмассы (АСП) имеют большее разнообразие. Это композиции, имеющие, антифрикционные добавки (графит, дисульфит молибдена и др.), антифрикционные полимеры (полиэтилен, фторопласт-4 и др.), композиции с комплексными наполнителями (например, наряду с антифрикционными, содержат углеродные, металлические волокна). Комбинированные материалы - металлофторопластовая лента состоит из четырех слоев: 1-й слой выполнен из фторопласта, наполненного дисульфидом молибдена; 2-й слой бронзофторопластовый; 3-й слой образован медью; 4-й слой - стальная основа.

Таблица 2.20- Марки, состав и свойства антифрикционных порошковых материалов на основе железа по ГОСТ 26802-86

<i>A Марки и состав</i>						
Марка материала	Cu	C	S	Другие элементы	Пористость, %	Твердость НВ, МПа, не менее
1	2	3	4	5	6	7
ПА-Ж	—	<0,3	-	-	17-34	200
ПА-ЖД	2,5-3,5	<0,3	-	-	12-28	450
ПА-ЖД5	4,8-10,0	<0,5	-	-	16-37	500
ПА-ЖК	—	<0,3	0,1-0,5	—	17-22	400
ПА-ЖКД	2,5-3,5	<0,5	0,2-0,4	-	15-23	450
ПА-ЖГр	-	0,5-1,2	-	-	15-25	500
ПА-ЖГр2	-	1,4-2,0	-	-	15-25	500
ПА-ЖГр3	-	2,2-3,2	-	-	15-25	450
ПА-ЖГрД	2,3-3,5	0,5-1,2	—	-	15-25	600
ПА-ЖГрД5	4,8-10,0	0,7-1,3		-	16-27	500
<i>B Механические свойства и структура</i>						
Марка	Механические свойства			Ударная вязкость, кДж/м ²	Микроструктура	
	$\sigma_{в.изг}$, МПа	$\sigma_{в.раст}$, МПа	Не менее			
ПА-Ж	130	85	30	Ф, П, допускается до 20 % Пр		
ПА-ЖД	250	120	39	То же + допускаются отдельные включения меди и до 10 % Ц		
ПА-ЖД5	300	150	40			
ПА-ЖК	170	120	-	Ф, П, до 20 % Пр, до 5 % Ц, включения		
ПА-ЖКД	250	120	30	Сл		
ПА-ЖГр	140	120	20	Пр, Гр, П, до 40 % Ф, до 10 % Ц		
ПА-ЖГр2	ПО	100	20			
ПА-ЖГр3	ПО	70	15			
ПА-ЖГрД	250	150	30			
ПА-ЖГр2Д	200	150	25			
ПА-ЖГрД5	250	150	30	То же, допускаются включения меди		

2.5.5 Фрикционные материалы

Фрикционные материалы применяются в тормозных устройствах и механизмах, передающих крутящий момент. Они работают в тяжелых условиях изнашивания - при высоких давлениях (до 6 МПа), скоростях скольжения (до 50 м/с) и температуре, мгновенно возрастающей до 1000 °С. Фрикционные материалы должны иметь высокий и стабильный в широком интервале температур (весьма легкие (температура на поверхности трения до 100 °С), легкие (до 250 °С), средние (до 600 °С), тяжелых и сверхтяжелых(до 1000 °С) условий работы) коэффициент трения (в автомобильных тормозах и на железнодорожном транспорте расчетный коэффициент трения принят равным 0,35 и 0,2, а в авиационных тормозах (0,25-0,5), минимальный износ, высокие теплопроводность и теплостойкость, хорошую прирабатываемость и достаточную прочность.

Фрикционные материалы разделяются на две группы: металлические и неметаллические. В тяжелых условиях эксплуатации при работе без смазки наиболее долговечными и износостойкими являются легированные чугуны (с перлитной основой). В качестве фрикционных материалов часто применяются также стали 30ХГСА, 65Г, 12Х18Н9Т и спеченные фрикционные материалы на основе железа и меди. Из спеченных материалов на железной основе наибольшее распространение получили материалы ФМК-8; ФМК-11; МКВ-50А; СМК-80 химический состав и свойства которых приведены в таблице 2.21.

В тормозах автотранспорта, тракторов, железнодорожного транспорта нашли широкое применение асбофрикционные материалы. Главным компонентом фрикционных асбополимерных материалов (ФС) является хризотил-асбест, применяемый в качестве теплостойкого материала. Связующими в ФПМ являются каучуки и смолы. Фрикционные асбополимерные детали крепятся на основе (колодке, ведомому диску сцепления) различными способами: механически, приклеиванием, приформовыванием. Из асбофрикционных материалов наибольшей работоспособностью обладает Ретинакс (ФК-24А, ФК-16Л), который содержит 25 % фенолформальдегидной смолы, 40 % асбеста, 35 %, барита, рубленую латунь и пластификатор. В паре со сталью Ретинакс обеспечивает коэффициент трения 0,37-0,40.

Наибольшей фрикционной теплостойкостью обладают материалы Ретинакс ФК-16Л и Ретинакс ФК-24А. В соответствии с ГОСТ 10851-94, первый из них можно успешно применять в тормозах и муфтах при кратковременной поверхностной температуре до 1100 °С, второй — при температуре до 700 °С. Длительно действующая объемная температура для этих материалов не должна превышать 300 °С. Накладки дисковых тормозов из материалов 145-40, Т-266, 358-40 выдерживают поверхностную температуру до 450-500 °С и объемную до 200-250 °С. Эластичные материалы применяют в узлах трения с поверхностной температурой до 200 °С. Остальные фрикционные асбополимерные материалы работоспособны при максимальных температурах поверхностей трения в пределах 250-350 °С.

Таблица 2.21 - Химический состав и свойства фрикционных материалов на железной основе, получаемых методом порошковой металлургии

Марка материала	Содержание,						Другие добавки, % (масс.)	γ , т/м ³	НВ	σ_B	$\sigma_{ср.}$	$\sigma_{сж.}$	λ , Вт/(м·°С)	Износ, мкм	
	Fe	Cu	Ni	C	Si O ₂	Ас-бест								Фрикционного материала	Контр-тела (ЧНМХ)
ФМК-8	45	-	25	7	-	-	10 Cr; 6 W 7 Cu ₂ S	6,0	60-90	9-100	70-90	450-500	37,7	5-8	1-2
ФМК-11	64	15	0	9	3	3	6 BaSO ₄	6,0	80-100	50-70	80-100	300-350	19-46	16	2
МКВ-50А	64	10	0	8	0	3	5FeSO ₄ ; 5 SiC; 5 B ₄ C	5,0	80-100	30-40	67-85	150-210	18,8-27,2	6	5,5
СМК-80	48	23	0	0	0	0	6,5 Mn; 6,5BN; 10 B ₄ C; 3,5 SiC; 2,5 MoS ₂	5,7	80-100	-	65-80	200-250	21-29	1,25	4

2.6 Материалы с высокими упругими свойствами

2.6.1 Рессорно-пружинные стали общего назначения

К материалам с высокими упругими свойствами относятся рессорно-пружинные стали и сплавы. Основным свойством, которым они должны обладать, является высокое сопротивление малым пластическим деформациям как в условиях кратковременного (предел упругости), так и длительного (релаксационная стойкость) нагружения.

В зависимости от конфигурации упругих элементов, их размеров, требуемых свойств и экономичности технологического процесса для изготовления этих изделий применяют пружинную сталь;

1) холоднодеформированную, предварительно термообработанную (обычно патинированием) проволоку или ленту;

2) термически обработанную закалкой и последующим отпуском до заданной прочности ленту или проволоку;

3) холоднодеформированную и горячекатаную сталь для пружин, подвергаемых затем закалке.

Для производства пружин и рессор крупных сечений применяют сортовой полосовой горячекатаный прокат. Пружины и другие элементы изготовленные из холодно- или горячекатаного проката для достижения требуемого комплекса механических свойств подвергаются закалке и отпуску или ВТМО отпуску.

К рессорно-пружинным сталям общего назначения относятся преимущественно углеродистые и легированные стали, главным образом перлитного класса и лишь в ограниченной степени мартенситного класса. Углеродистые пружинные стали 65... 85, 50Г, 60Г, 70Г, У7...У13 отличаются низкой коррозионной стойкостью, невысокой релаксационной стойкостью, даже при небольшом нагреве. Поэтому они непригодны для работы при температурах выше 100 °С. Кроме того, углеродистая сталь имеет малую прокаливаемость, поэтому ее можно применять лишь для изготовления пружин малого сечения.

Пружины, рессоры и другие упругие элементы больших сечений и те, от которых требуется повышенная релаксационная стойкость, в том числе и при небольшом напряжении, изготавливаются из легированных сталей, чаще всего, из кремнистых, а также хромомарганцевых, кремнехромистых, хромованадиевых и других (таблицы 2.22, 2.23). Практически используемые режимы отпуска тех или иных упругих элементов зависят от условий их службы и могут варьироваться в широких пределах. Помимо закалки и отпуска в ряде случаев применяют изотермическую закалку, в частности для стали перлитного класса марок 60С2; 65С2ВА; 50ХФА и др. Температура изотермической выдержки 280-350 °С, после соответствующей выдержки пружины охлаждают в масле. После изотермической закалки у пружинной стали повышаются пластичность, вязкость и уменьшается склонность к хрупкому разрушению: предел упругости и релаксационная стойкость ниже, чем после обычной закалки и отпуска при температуре предшествующей изотермической выдержке.

Таблица 2.22 – Рекомендуемые режимы термической обработки и механические свойства рессорно-пружинных сталей общего назначения

Марка стали	Режим термической обработки (ориентировочный)		Механические свойства		
	Температура до закалки, °С	Температура отпуска, °С	σ_B , МПа	δ , %	НВ термически не обработанной стали
65	830	470	980	10	255
80	820	470	1080	8	302
85	820	470	1130	8	302
60Г	830	470	980	8	285
70Г	830	470	1030	7	285
55С2	870	470	1270	6	285
60С2	870	470	1270	6	302
70С3А	850	470	1670	6	302
50ХГ	850	470	1270	7	302
50ХГА	850	470	1270	7	302
55ХГР	850	470	1270	7	302
50ХГФА	850	470	1420	6	321
60С2ХФА	870	470	1670	6	321
60С2Н2А	870	470	1470	6	302

Таблица 2.23 - Режимы термической обработки и механические свойства (минимальные) рессорно-пружинных сталей

Марка стали	Режим термической обработки		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$	δ , %	Ψ , %
	закалка, °С	отпуск, °С				
1	2	3	4	5	6	7
65	830	470	980	785	10	35
70	830	470	1030	835	9	30
75	820	470	1080	885	9	30
80	820	470	1080	930	8	30
85	820	470	1130	980	8	30
У9А	760-790	300-420	-	-	-	-
У10А-У12А	770-810	300-420	-	-	-	-
60Г	830	470	980	785	8	30
65Г	830	470	980	785	8	30
70Г	830	470	1030	835	7	25
55С2-55С2А	870	470	1270	1175	6	30
60С2-60С2А	870	470	1270	1175	6	25
60С2Г	870	470	1470	1325	6	25
70С3А	850	470	1470	1470	6	25
50ХГ, 50ХГА	850	470	1270	1175	7	35
55ХГР	850	470	1270	1175	7	35
50ХФА	850	470	1270	1080	8	35
50ХГФА	850	470	1420	1325	6	35

Продолжение таблицы 2.23

1	2	3	4	5	6	7
55С2ГФ	870	470	1570	1375	6	25
60С2ХФА	870	470	1670	1470	6	25
60С2ХА	870	470	1470	1325	6	25
5С2ВА	850	420	1860	1655	5	20
Механические свойства являются ориентировочными						

2.6.2 Пружинные сплавы специального назначения

Упругие элементы приборов, кроме высоких пределов упругости, выносливости и релаксационной стойкости должны обладать высокой коррозионной стойкостью, немагнитностью и электропроводностью.

Коррозионно - стойкие сплавы, - высокохромистые стали 30Х13, 40Х13. Высоким упрочнением, хорошей коррозионной стойкостью, меньшей склонностью к хрупкому разрушению и меньшей деформацией при термической обработке отличаются дисперсионно - твердеющие стали аустенитно-мартенситного класса - 09Х15Н8Ю, 09Х17Н7Ю, 0Х17Н7ГТ, 0Х7Н13ГТ.

Немагнитные пружинные сплавы. Например, коррозионно-стойкие стали 08Х18Н10Т, 12Х18Н9Т. В тех случаях, когда нужна полная немагнитность в сильно упрочненном состоянии, применяются стали 17Х18Н9 и 37Х12Н8Г8МФБ. Когда необходимо изготавливать немагнитные и коррозионно-стойкие пружины и другие элементы сложной формы методами пластической деформации с большим обжатием используют сплавы на железоникельхромовой основе 36НХТЮ, 36НХТЮ5М, 36НХТЮ8М.

Пружинные сплавы с постоянным и низким температурным коэффициентом модуля упругости. Это сплавы ферромагнитные, обычно на железоникельхромовой основе, упрочняются в результате термической обработки. Сплавы 42НХТЮ и 42НХТЮА имеют постоянный модуль упругости при температуре до 100 °С; сплавы 44НХТЮ - при температуре до 200 °С.

Высокоэлектропроводные пружинные сплавы. К этой группе относятся бериллиевые бронзы БрБ2, БрБНТ1, фосфористая бронза и некоторые другие сплавы, преимущественно на основе меди. Широкое применение бериллиевых бронз. В промышленности объясняется, тем что наряду с высокими значениями предела упругости и релаксационной стойкости они обладают хорошей коррозионной стойкостью, немагнитностью и ценными технологическими свойствами.

2.7 Материалы, устойчивые к воздействию температуры и агрессивной среды

2.7.1 Коррозионно - стойкие материалы

Коррозия (от лат. *corrosio* — разъедание) — это самопроизвольное разрушение металлов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. В общем случае это — разрушение любого материала - будь то металл или керамика, дерево или полимер. Причиной корро-

зии служит термодинамическая неустойчивость конструкционных материалов к воздействию веществ, находящихся в контактирующей с ними среде. Пример - Кислородная коррозия железа в воде: $4\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 = 2(\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$.

Разделяются на две основные группы: металлические сплавы и неметаллические материалы. Металлические сплавы представляют собой двух - или многокомпонентные системы, обладающие стойкостью против общей коррозии или локальных видов коррозии, в том числе межкристаллитной, точечной, коррозионного растрескивания и т.п. Основой промышленных коррозионно - стойких сплавов является железо (стали), титан, никель, медь, алюминий; в отдельных случаях в качестве коррозионно - стойких применяются тугоплавкие и благородные металлы.

Коррозионно- стойкие стали включают в себя так называемые атмосферокоррозионно - стойкие (АКС) и собственно коррозионно-стойкие стали (КС), применяемые для изготовления оборудования, работающего в контакте с агрессивными средами в химической промышленности и других отраслях техники.

АКС представляет собой низколегированные стали, содержащие медь, фосфор, хром, иногда (мышьяк (10ХНДП, 15ХСНД, 10ХДП, 10ХСНД). Толщина металлоконструкции из АКС за 20 - 30 лет работы уменьшается в два три раза меньше, чем толщина конструкций из обычных углеродистых и низколегированных сталей. Более высокая стойкость на первом периоде работы достигается образованием поверхностных пленок содержащих оксиды хрома и фосфора, а при продолжительных сроках - накоплением меди на работающей поверхности изделия. Применение сталей 10ХДП и 10ХНДП без окраски рекомендовано в несущих и ограждающих металлических конструкциях, эксплуатируемых на открытом воздухе и в промышленной атмосфере слабой агрессивности, в том числе в промышленных зданиях, галереях и эстакадах, заводах черной металлургии и топливной промышленности (газопроводы, воздухопроводы, опоры и пролетные строения трубопроводов, бункеры, ограждающие конструкции и т.п.): опорах ЛЭП жилых и общественных зданиях.

Коррозионно-стойкие стали представляют большую группу высоколегированных материалов, включающих шесть структурных классов (таблица 2.24).

Стали для применения в слабоагрессивных средах: 08Х13; 12Х13; 20Х13; 25Х13Н2 - повышенной пластичности; 30Х13 и 40Х13 повышенной твердости; 14Х17Н2 и 20Х17Н2 - для тяжело-нагруженных деталей; стали 13Х17, 10Х14АГ15, 10Х14Г14Н4Т, 12Х17Г9АН4, 20Х13Н4Г9 - применяются как заменители высоко-никелевых сталей типа Х18Н9.

Стали для применения в средах средней агрессивности 08Х17Т, 08Х18Т1, 15Х25Т, 15Х28, 08Х22Н6Т, 12Х21Н5Т, 08Х18Г8К2Т рекомендуются как заменители высоконикелевых сталей типа Х18Н10Т.

Стали для применения в средах повышенной и высокой агрессивности: 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 04Х18Н10, 03Х18Н11 - повышенной сопротивляемости межкристаллитной коррозии; 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 03Х17Н14М3, 08Х17Н13М2Т, 08Х21Н6М2Т - для сварных конструкций, работающих в кислотах разной концентрации и температуры.

Сплавы на никелевой основе для весьма агрессивных сред: ХН588, Н70МФВ, ХН65М8У.

Таблица 2.24 – Химический состав и механические свойства некоторых коррозионно-стойких сталей

Структурный класс	Марка стали	Химический состав, в %				Механические свойства			
		C	Cr	Ni	прочие	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %
мартенситный	20X13	0,16- 0,25	12-14	-	-	850	650	15	50
	30X13	0,25-0,35	12-14	-	-	950	700	15	50
	40X13	0,35-0,45	12-14	-	-	1150	900	12	30
мартенситно-ферритный	12X13	0,09-0,15	12-14	-	-	750	500	20	65
ферритный	12X17	0,12	10-18	-	-	532	350	30	75
	15X25Т	0,15	24-27	-	5 C-0,9 Ti	540	-	40	70
	15X17M2Б	0,015	16-18	-	1,5-2,0Mo 0,3-0,5Nb	450	280	30	60
аустенитный	12X18Н9	0,12	17-19	8-10	-	520	360	30	75
	10X14Г14Н4Т	0,10	13-15	2-4	5C-0,6 Ti 13-15 Mn	620	280	45	60
	10X14АГ15	0,10	13-15	-	0,15-0,25N 14-18 Mn	750	300	45	55
	10X17Н13М3Т	0,1	16-18	12-14	5C-0,7Ti	580	280	40	60
аустенитно-ферритный	08X21Н6М2Т	0,08	20-22	5,5-6,5	1,8-2,5Mo 0,2-0,4 Ti	750	450	50	55
аустенитно-мартенситный	09X15Н8Ю	0,09	14-16	7-9	0,7-1,3 Al	1250	1000	20	50

2.7.2 Теплостойкие и жаростойкие материалы

Теплостойкими (окалиностойкими) материалами являются стали и сплавы, способные работать при температурах до 600 °С, в нагруженном или слабонагруженном состоянии. Способность материалов сопротивляться газовой коррозии в процессе эксплуатации при высоких температурах называется жаростойкостью. При выборе марки стали или сплава необходимо знать рабочую температуру, механические напряжения, срок службы, режим работы детали, состав окружающей среды. При температурах выше 600 °С в основном используют жаропрочные аустенитные стали.

Для повышения окалиностойкости сталь легируют элементами, которые благоприятным образом изменяют состав и строение окалины. Так, в результате введения в сталь соответствующих количеств хрома, алюминия или кремния, обладающих большим сродством к кислороду, чем железо, в процессе окисления на поверхности образуется плотные оксиды Cr_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 . Образовавшаяся тонкая пленка этих окислов затрудняет процесс дальнейшего окисления. Чем больше в стали содержание хрома, алюминия или кремния, тем выше окалиностойкость и тем выше может быть рабочая температура (таблица 2.25).

Из жаростойких сталей наибольшее применение нашли хромистые стали 15X5, 15X6СЮ. Стали, с содержанием 5-6 % хрома обладают достаточно высокой жаростойкостью до 600-650 °С; с 14-15 % хрома - до 800 °С. Для сохранения окалиностойкости до температуры 1100 °С в стали должно быть не менее 28 % хрома (15X28). Недостатком высокохромистых сталей является склонность к росту ферритного зерна. Для предотвращения охрупчивания при длительных нагревах сталь дополнительно легируют титаном - сильным карбидообразующим элементом (стали 08X17Т, 15X25Г, 08X18Т1).

Дополнительное легирование железохромистых сталей алюминием и кремнием повышает их жаростойкость. Широко применяются жаростойкие хромистые стали, легированные кремнием - сильхромы - 40X9С2, 40X10С2М, 30X13Н7С2. Однако содержание алюминия и кремния в сталях ограничено, так как эти элементы ухудшают технологические свойства. Наилучшие результаты получаются при совместном легировании хромом, кремнием и алюминием. Например, температура окалинообразования стали 10X13СЮ – 950 °С; температура окалинообразования стали 15X18СЮ – 1050 °С, эти стали устойчивы в серо-содержащих средах. Легирование никелем улучшает технологические и прочностные свойства хромоникелевых аустенитных сталей, но значительно удорожает их.

Разработаны жаростойкие хромомарганцевые стали, легированные алюминием, которые могут использоваться до 900 - 950 °С. Сплавы системы Fe - Ni - Cr предназначены для работы до 1050 °С. Марганец может лишь частично (до 10 %) заменить никель. Следует выделить сплав ХН45Ю, который обладает лучшими свойствами, чем сплавы на основе никеля. Это единственный сплав, который работает при температуре 1350 °С (до 100 ч). Сталь ХН35ЮС может эксплуатироваться до 1200 °С, стали ЮХ18Н18Ю и ЮХН20ЮС - до 1100 °С.

Таблица 2.25 – Механические свойства жаростойких сталей

Марка стали	Температура окалинообра- зования, °С	Температура эксплуатации, °С	Режим термической обра- ботки	Механические свойства			
				σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	КСУ, МДж/м ²
12X13	700	20 500	Закалка 1030-1500 °С, масло, высокий отпуск 700 °С	580-605 450-480	710-750 530-560	14-22 13-15	1,4-1,7 1,9-2,5
08X18Н10	850	20 800	Закалка 1000-1120 °С, вода.	210 70	580 150	60 30	- -
12X18Н10Т	850	20	Закалка 1050-1100 °С, воздух	230	560	46	2,2
12X18Н9Т	850	650		120	280	27	-
12X18Н12Т	850	700		120	270	20	-
40X9C2	850	20	Отжиг 850 – 870 °С	650	900	20	-
		600		400	530	17	-
12X17	900	20	Отжиг 780 °С, воздух	320	520	28	-
		600		150	200	60	-
30X13Н7C2	950	20	Закалка 1040-1060 °С, во- да + отжиг 680-800 °С, ох- лаждение до 700 °С 2 часа и затем с печью + отжиг 650-680 °С, 30 мин. Воз- дух + закалка 790-810 °С, масло.	780	1180	10	-
		900		-	150	4	-
20X20Н14C2	1000-1050	20-900	Закалка 1150 °С, воздух	350	640	53	-
				40	110	58	-
20X23Н18	1050	20-800	Закалка 1180 °С, вода, старение 800 °С	300	610	29-35	2,1
				160	190	19-24	3,0

Сплавы системы Fe - Ni - Co - Cr также являются высоко-жаростойкими, но легирование кобальтом (до 40 %) связано в основном с необходимостью повышения жаропрочности

Некоторые стали являются одновременно коррозионно - стойкими и жаростойкими - 12X13, 12X18H9T, 12X18H10T, 12X18H12T.

Нихромы (сплавы никеля с хромом) обладают высокой жаростойкостью, имеют высокое удельное электрическое сопротивление, поэтому используются как материал для нагревателей электропечей, а также для камер сгорания, деталей газотурбинных установок.

Сплавы, содержащие никель и 20 % хрома, основа большинства жаростойких никелевых сплавов. Для создания высокожаростойких никелевых сплавов используют алюминий. Лучший жаростойкий никелевый сплав X20H80ЮЗ.

Широкое применение в промышленности находят жаростойкие чугуны, как наиболее дешевые и доступные материалы: хромистые - ЧХ1, ЧХ2, ЧХ22С, ЧХ28; кремнистые ЧС5, ЧС5Ш; алюминиевые ЧЮХШ, ЧЮ7Х2, ЧЮ22Ш. требования по химическому составу, режим термообработки, механическим свойствам жаростойких чугунов определены ГОСТ7769-82.

2.7.3 Жаропрочные материалы

Жаропрочными называют стали и сплавы, способные работать под нагрузкой при высоких температурах в течении определенного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью. Стали разделяют на низколегированные и среднелегированные перлитного и мартенситного класса и высоколегированные стали, аустенитные (таблица 2.26).

Стали перлитного класса характеризуются продолжительными сроками их не подвергают упрочняющей термической обработке и применяют в отожженном или нормализованном состоянии. Рекомендуются для котельных установок, работающих продолжительное время (10 - 100 тыс. ч) при температурах 500 – 580 °С. Перлитные стали являются низкоуглеродистыми (0,08 - 0,15 % углерода, иногда 0,3 %), содержат 2-3 % карбидообразующих элементов из которых самыми важными являются молибден, хром, ванадий. Широкое применение нашли стали 12ХШФ, 25Х2М1Ф, 20Х3МВФ. Наиболее высокие показатели жаропрочности имеет сталь 12Х2МВ8ФБ.

Увеличение содержания хрома при достаточном содержании углерода переводит стали в мартенситный класс. Мартенситные стали предназначены для изделий, работающих при температурах 450 - 600 °С и отличаются от перлитных сталей повышенной жаростойкостью в атмосфере пара или топочных газов.

В зависимости от содержания хрома, который присутствует во всех сталях, предназначенных для длительной эксплуатации при высоких температурах в различных средах, различают две группы мартенситных сталей: высокохромистые стали с содержанием 10 - 13 % хрома, добавками молибдена, ванадия, вольфрама, ниобия и низким содержанием углерода (0,10 - 0,15 % С) - 15Х1МФ; 18Х11МНФВ; 20Х128НМФ; 11ХН2В2МФ; 13Х11Н2ВМФ; 20Х13; мартенситные стали (сильхромы) с содержанием до 10 % хрома, кремния в количестве до 2-3 % и углерода до 0,4 % - 40Х9С2; 40Х10С2М.

Таблица 2.26 - Механические свойства жаропрочных сталей

Структурный класс	Марка стали	Максимальная температура применения, °С	Режим термической обработки	Температура испытаний, °С	Механические свойства				
					σ_T	σ_B	δ_s	σ_{100000}	$\sigma_{1/100000}$
Перлитный	12Х1МФ	570-585	Нормализация 960-980 °С + высокий отпуск 700-750 °С, воздух	20 560	330 220	510 310	25 20	108	84
Мартенситный	20Х13	500	Нормализация 1000-1020 °С + высокий отпуск 730-750 °С	20 500	500 340	705 430	21 32	160	48
	15Х11МФ	550-580	Нормализация 1080-1100 °С + высокий отпуск 670-680 °С	20 550	675 510	830 580	15 14	90	
	20Х12ВНМФ	600	Закалка 1050 °С+ высокий отпуск 700 °С, масло	20 600	710 360	850 380	15 23		
Аустенитный	08Х16Н13М2Б	600	Закалка 1100-1130 °С воздух + высокий отпуск 750 °С	20 600	230 170	620 470	45 29	150	90-120
	09Х14Н19В2БР1	700	Нормализация 1130 °С воздух + старение 750 °С, 5 ч	20 700	215	510	30	137	83
	31Х19Н9МВБТ	600	Закалка 1150-1180 °С вода + старение 800 °С, 15 ч, воздух	20 600	230 200	750 490	31 20	147	78
	40Х14Н14В2М	650	Нагрев 800 °С, 5 ч, воздух	20 650	320 240	720 440	20 12	40	100

Аустенитные жаропрочные стали. Хром и никель - основные легирующие компоненты этих сталей. По жаропрочности превосходят перлитные и мартенситные, обладают большой пластичностью и хорошей свариваемостью и используются при температурах выше 600 °С. В зависимости от химического состава они могут быть разделены на две группы: неупрочняемые термообработкой, т.е. не склонные к дисперсионному твердению (гомогенные). Это, главным образом, низкоуглеродистые хромоникелевые стали, легированные тугоплавкими элементами (например 09X14H19B2BP): упрочняемые термообработкой, применяемые после закалки при 1050 – 1100 °С в воде и отпуске (старении) при 600 - 750 °С. Упрочнение создается благодаря выделению карбидных, карбонитридных или интерметаллидных избыточных фаз.

Аустенитные стали с карбидным упрочнением обычно содержат несколько карбидообразующих элементов: ванадий, молибден, титан, а также бор. Из аустенитных сталей с карбидным упрочнением наиболее простой является сталь 40X14H114B2M. Широко применяются стали с невысоким содержанием никеля (7 - 8 %) - 40X15H7ГФ2МС, сталь 37X12H8Г8МФВ легирована значительным количеством карбидообразующих элементов. Аустенитные стали с интерметаллидным упрочнением – самые жаропрочные. Стали легируют хромом, молибденом, ванадием для повышения жаропрочности аустенита, добавки алюминия, титана, ниобия служат для формирования выделений упрочняющих фаз типа ниобия, алюминия.

Жаропрочные сплавы для работы при высоких температурах (до 700 – 950 °С) созданы на никелевой и железоникелевой основе, а для работы при очень высоких температурах (до 1200 - 1500 °С) на основе тугоплавких металлов. Простейшим жаропрочным сплавом на никелевой основе является сплав ХН32Г, самым жаропрочным является сплав ХН35ВТЮ. Никелевые сплавы содержат, как правило, 10 - 12 % хрома и такие элементы как ванадий, молибден, кобальт, алюминий, титан, бор и другие. Самым простым по составу из дисперсионно-твердеющих никелевых сплавов является ХН77ТЮ. Для длительных сроков службы наилучшее сочетание прочности и пластичности у сплава ХН658МТЮ.

2.8 Материалы с особыми физическими свойствами (тепловыми и электрическими)

2.8.1 Материалы с особыми тепловыми свойствами

Сплавы с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Во многих областях техники требуются материалы, позволяющие сохранять стабильность размеров изделий или их регламентированное изменение при определенных температурных диапазонах эксплуатации. К этой группе материалов относятся сплавы системы железо-никель. Основной характеристикой этих сплавов является температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР). Сплавы, в зависимости от физической природы, определяющей ТКЛР, делят на ферромагнитные: 36Н (инвар), 36НК (ковар), 32НКД (суперинвар), 47НД (платинид) и немагнитные: 75НМ-ВИ, 80НМВ, 80НМВХЗ. Наибольшее применение имеет инвар 36Н (36 % никеля) с минимальным ТКЛР ($\alpha = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) в интервале температур от минус 60 до плюс 100 °С), таблица 2.27.

Таблица 2.27 – Марки и сортамент ферромагнитных сплавов со средним ТКЛР

Марка сплава	Сортамент	Толщина или диаметр, мм	$\alpha \cdot 10^{-6}, ^\circ\text{C}^{-1}$, при $t, ^\circ\text{C}$	
			200-300	200-500
34НК	Шлифованные прутки	1,0-3,0	7,4-8,4	7,2-8,0
31НК	Лента Полоса	0,3-1,0 5,0		
24НК	Лента Полоса	0,8 16,0		
33НК, 38НКД, 47НХ 48НХ 47НЗХ 47НХР	Горячекатаные или кованые прутки	8-200	7,6 – 8,4 8,4 – 9,2	8,3 – 9,5 10,7 – 11,5
50НЗХЮ	Лента	0,3-0,8		
18ХТФ	»	0,6-2,5		
58Н-ВИ	Полоса	2,8-22		
	Шлифованные прутки	1,0-30		
	Горячекатаные и кованые прутки	8-200		
52Н 47НД	»	8-200	9,2 – 10,1	9,7 – 10,5

Сплавы с заданным температурным коэффициентом модуля упругости (или термоупругим коэффициентом).

Сплавы системы железо-никель, помимо низких значений температурного коэффициента линейного расширения, при некоторых концентрациях никеля обладают еще одним свойством – низким температурным коэффициентом модуля упругости, который определяет характер изменения модуля упругости при нагреве.

Сплавы характеризуются низким температурным коэффициентом модуля упругости (42НХТЮ, 44НХТЮ, 42НХТЮА, 43НКТЮ, 45НХТ, 36Н11Х. Они находят применение для изготовления упругих элементов (спирали, пружины, сильфоны и т.д.) высокоточных приборов, обеспечивающих малую температурную погрешность при эксплуатации, таблица 2.28.

Таблица 2.28 – Марки и сортамент немагнитных сплавов со средним ТКЛР

Марка сплава	Сортамент	Толщина или диаметр, мм	$\alpha \cdot 10^{-6}, ^\circ\text{C}^{-1}$, при $t, ^\circ\text{C}$	
			20 - 300	20 - 800
75НМ-ВИ	Холоднокатаная лента	0,1-0,015	11,5-12	-
80НМВ	То же	0,03-2,5	11,7-12,2	12,8-13,3
	Кованые прутки Холоднокатаная про- волока	20-60 1,0-5,0		
80НМВХЗ	Холоднокатаная про- волока	1,0-5,0	11,7-12,2	13,0-13,5
76НХВГ	То же	3,0-5,0		

2.8.2 Материалы с особыми электрическими свойствами

Материалы с особыми электрическими свойствами подразделяют на группы: материалы с высокой проводимостью, полупроводниковые, диэлектрические, материалы высокого электрического сопротивления. Различают эти материалы по величине удельного электрического сопротивления, по характеру в зависимости от его температуры и по типу проводимости.

Электротехнические стали маркируют четырехзначными числами. Первая цифра характеризует вид и структуру проката: 1 - горячекатаная изотропная сталь, 2 - холоднокатаная изотропная, 3 - холоднокатаная анизотропная с ребровой текстурой. Вторая цифра указывает на содержание кремния: 0 - менее 0,4 %, 1 - более 0,4 до 0,8 %, 2 - более 0,8 до 1,8 %, ... 5 - более 3,8 до 4,8 %. Третья цифра определяет тепловые потери при определенных значениях индукции B и частоты f . Например, единица указывает, что потери нормированы при $B=1,5$ Тл и $f=50$ Гц ($P_{1,5/50}$). Четвертая цифра - код числового значения нормируемого параметра. Чем цифра больше, тем потери меньше.

Материалы высокой проводимости – это проводниковые материалы, с удельным электрическим сопротивлением при нормальных условиях не более $0,1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м. Эти материалы должны обладать следующими свойствами: малым удельным электрическим сопротивлением, высокими механическими свойствами, хорошими технологическими параметрами и стойкостью против окисления. Материалы высокой проводимости: медь, бронзы, латуни, алюминий, серебро и прочие металлы и сплавы.

Электрические и механические характеристики меди в значительной степени определяются наличием примесей и напряженностью структуры металла. Наименьшим электрическим сопротивлением обладает чистая медь. Любые примеси снижают ее электропроводность. Деформационное упрочнение ухудшает проводниковые свойства меди, но увеличивает ее механическую прочность. Холоднотянутая (твердая) медь - МТ применяется в основном там, где необходимы, наряду с достаточной электрической проводимостью ($\rho = 0,018$ мкОм·м), прочность, твердость, высокое сопротивление истирающим нагрузкам (например, контактные провода, коллекторные пластины электрических машин). Отожженная (мягкая) медь - ММ имеет высокую электрическую проводимость (ρ не более $0,01724$ мкОм·м) и применяется в виде проволок для

изготовления токопроводящих жил кабелей, обмоточных и монтажных проводов, в производстве волноводов и т. д.

Алюминий, как проводниковый материал, занимает второе место после меди. Для электротехнических целей используют специальные марки алюминия А5Е (общее содержание примесей 0,5 %) и А7Е (примесей 0,3 %), в которых содержание железа и кремния находится в определенном соотношении, а концентрация Ti, V, Cr и Mn снижена до тысячных долей процента. Удельное электрическое сопротивление проводникового алюминия не более 0,0289 мкОм · м.

Железо значительно уступает меди и алюминию по электрической проводимости, но оно обладает более высокими механическими характеристиками. В качестве проводникового материала железо (низкоуглеродистые стали) применяют в тех случаях, когда прочностные свойства имеют решающее значение, например для рельсов подвижного состава с электрической тягой.

К криопроводникам относятся материалы, приобретающие при глубоком охлаждении (ниже минус 173 °С) высокую электрическую проводимость, но не переходящие в сверхпроводниковое состояние. Одним из таких материалов является алюминий особой чистоты А999 (99,999 % Al). При температуре жидкого азота минус 195,6 °С удельное электрическое сопротивление его равно ~ 0,003 мкОм·м, а при температуре жидкого водорода минус 252,6 °С - ~ 0,00005 мкОм·м.

Диэлектрики - материалы, основным электрическим свойством является способность к поляризации в электрическом поле. Важнейшим свойством диэлектриков является их высокое удельное электрическое сопротивление (10^7 - 10^{18} Ом·м). Наибольшая часть выпускаемых промышленностью диэлектрических материалов предназначена для использования в качестве электроизоляционных материалов.

Полупроводники - это материалы, основным свойством которых является сильная зависимость их электрической проводимости от воздействия внешних факторов, таких, как температура, электрическое поле, свет, и т.д. Многие из них используются для изготовления различных электрических приборов и микросхем, СВЧ-генераторов, фоточувствительных и преобразовательных приборов, лазеров, термистов, термоэлементов, тензочувствительных элементов и т.п. Известно около 1000 простых и сложных полупроводников. Из простых полупроводников наибольшее применение нашла кремний и германий. Обычно полупроводниковые материалы, предназначены для использования в электронике, изготавливают в виде монокристаллических слитков.

Материалом высокого электрического сопротивления (резистивным) называют проводниковый материал с удельным электрическим сопротивлением при нормальных условиях не менее $0,3 \cdot 10^{-6}$ Ом·м. К ним относятся и материалы для электронагревателей. Основные промышленные металлические элементы электрических нагревателей изготавливают на железоалюминиевых и никельхромовых прецизионных сплавах марок Х13Ю4 (фехраль), Х23Ю5 (хромали), Х27Ю5Н60 (ферронихром), Х20Н8 (нихром).

Материалы для термоэлектродов термопар:

- тип преобразователя ТМК: марка сплава термоэлектрода – медь-копель, М1- МНМц 42-0,5; диапазон измеряемой температуры (200 ± 100) °С;

- тип термопреобразователя ТХК: марка сплава термоэлектрода – хромель-копель, НХ9, 5-МНМц 34-0,5; диапазон измеряемой температуры от 200 °С до 600 °С;

- тип термопреобразователя ТХА; марка сплава термоэлектрода - хромель - алюмель 5-НМцАК 2-2-1; диапазон измеряемой температуры от 200 °С до 1000 °С.

2.9 Инструментальные материалы

Инструментальные материалы подразделяют на стали (углеродистые, легированные, быстрорежущие), твердые сплавы и сверхтвердые материалы. Наиболее обширную и важную в практическом отношении группу составляют инструментальные стали. Они предназначены для изготовления режущих и измерительных инструментов, штампов холодного и горячего деформирования.

Основные свойства, которыми должен обладать материал для режущих инструментов – твердость, износостойкость и теплостойкость. Штампы для горячей обработки давлением должны обладать высокой жаропрочностью, окалинностойкостью и повышенной прокаливаемостью.

2.9.1 Инструментальные стали

В зависимости от условий работы различного инструмента возникает необходимость применять большое количество марок инструментальных сталей (таблица 2.29). Важной характеристикой инструментальных сталей является теплостойкость.

Таблица 2.29 – Инструментальные стали

Для режущего инструмента			Для штампов и прессформ		
Неглубокой прокаливаемости	Глубокой прокаливаемости и красностойкости		Для деформирования в холодном состоянии	Для деформирования в горячем состоянии	Для ударного инструмента
	быстрорежущие	легированные			
t_p до 280 °С	t_p до 600 °С	t_p до 250 °С	$t_p = 20-40$ °С	$t_p = 400-800$ °С	t_p до 200 °С
У8; У10; У12; 7ХФ; 7ХФ; 11ХФ	Р18;Р9; Р6М5; ХГС;	9ХС; ХВГ 9Х5В	Х5ВФ; Х12; Х12ВМФ 7ХГ2ВМФ	7Х3; 5ХНВ 4Х5МФС; 4Х5В2ФС	40ХС; 5ХВГ 4ХВ20; 6ХВ2С

Нетеплостойкими являются углеродистые и низколегированные высокоуглеродистые стали, которые после закалки имеют высокую твердость и износостойкость в результате мартенситного превращения. При нагреве до 200 – 300 °С основное количество углерода выделяется из мартенсита, в результате сталь теряет твердость, износостойкость.

Полутеплостойкими являются средне- и высоколегированные в основном хромом, стали, которые сохраняют повышенную твердость до температуры 300 – 500 °С.

Теплостойкими являются высоколегированные стали, которые приобре-

тают твердость в результате мартенситного превращения при закалке и дисперсионного твердения при высоком отпуске (500 – 620 °С) за счет выделения дисперсных фаз – упрочнителей. Этими фазами являются сложные карбиды вольфрама, молибдена, ванадия.

2.9.2 Углеродистые инструментальные стали

Производят качественные У7, У8...У13 и высококачественные У7А, У8А... У13А. буква У в марке показывает, что сталь углеродистая, а цифра – среднее содержание углерода в десятых долях процента. Углеродистые стали используют для инструментов не подвергаемых в процессе работы воздействию температур свыше 150 - 200 °С и не требующих в процессе изготовления значительного шлифования (напильники, метчики, развертки, ножовки, топоры, стамески, слесарно-монтажные и хирургические инструменты, а также некоторые штамповые и измерительные инструменты). Высокая твердость углеродистых сталей 62 - 63 HRC достигается уже при 0,6 % углерода в инструменте диаметром (толщиной) 1 – 5 мм. В инструменте большего сечения такую твердость на поверхности можно получить лишь при содержании углерода 0,8 - 0,9 %. С увеличением содержания углерода более 0,9 - 1,0 % твердость можно повысить до 65 HRC оптимальное содержание углерода определяется особенностями работы инструмента, его формой и технологией изготовления (таблица 2. 30).

2.9.3 Низколегированные инструментальные стали

Они содержат до 5 % легирующих элементов, которые вводят для увеличения закаливаемости, прокаливаемости, уменьшения деформаций и опасности растрескивания инструмента. Хром постоянный элемент нелегированных сталей. Для улучшения свойств в них дополнительно вводят марганец, кремний, вольфрам.

Низколегированные инструментальные стали 11ХФ, 13Х, ХВСГ, 9ХС, ХВ4 подобно углеродистым не обладают теплостойкостью и пригодны для резания материалов высокой прочности ($\sigma_{\text{в}}=500 - 600$ МПа) с небольшой скоростью (до 5 - 6 м/мин). Их используют для инструмента не подвергаемого в работе нагреву свыше 200 – 250 °С (таблица 2.30).

Таблица 2.30– Режимы термической обработки наиболее применяемых инструментальных сталей

Марка стали	Содержание углерода, %	Температура, °С		Твердость, HRC	Назначение
		закалки	отпуска		
У7	0,66-0,73	800-820	150-160 200-220	62-63 57-59	Инструменты для обработки дерева (топоры., стамески, долота), слесарно-монтажные инструменты (кусачки, плоскогубцы, молотки, кувалды, отвертки и др.)
У10	0,96-1,03	760-780	150-160 200-220	62-63 58-59	Столярные пилы ручные и машинные, ручные ножовки, напильники, спиральные сверла, накатанные ролики, калибры, метчики, штампы для холодной штамповки деталей небольших размеров
Примечание: закалка в воде.					
Низколегированные инструментальные стали.					
9ХС	0,85-0,95	840-860	180-250	58-62	Сверла, развертки, метчики, гребенки, фрезы, клейма, деревообрабатывающий инструмент
ХВСГ	0,95-1,05	840-860	140-160	60-62	Инструмент для ручной работы-плашки, сверла, развертки, деревообрабатывающий инструмент
Примечание: закалка в масле					
Быстрорежущие стали					
P9	0,85-0,95	1220-1240	550-570	62-64	Для изготовления инструментов простой формы, не требующих большого объема шлифования
P6M5	0,80-0,88	1200-1230	540-560	63-65	Для всех видов инструмента
Примечание - Охлаждение инструмента после закалки возможно в любой среде (воздух, масло, горячие среды при 500-600 °С)					

2.9.4 Быстрорежущие стали

Это высоколегированные инструментальные сплавы ледебуритного класса. Для повышения структурной однородности литую сталь подвергают горячей обработке давлением, дробящей сетку эвтектики. В структуре прокованной и отожженной стали просматриваются крупные первичные карбиды - осколки ледебуритной эвтектики, мелкие вторичные карбиды, выделившиеся в литой стали из аустенита при охлаждении сплава в интервале температур между эвтектическим и эвтектоидным превращениями, и очень мелкие эвтектоидные карбиды, входящие в сорбитный фон.

Быстрорежущие стали маркируют буквой Р, после которой следует число, указывающее на содержание вольфрама в процентах. В остальном маркировка такая же, как у легированных инструментальных сталей. Например, Р18 (18 % W), Р6М5 (6 % W, 5 % Мо), Р18К5Ф2 (18 % W, 5 % Со, 2 % V).

Они сочетают высокую теплостойкость (600 – 650 °С) с высокими твердостью (до 68 - 70 HRC, износостойкостью при повышенных температурах и повышенным сопротивлением пластической деформации. Быстрорежущие стали позволяют повысить скорость резания в 2 - 4 раза по сравнению со скоростями, применяемыми при обработке инструментами из углеродистых и легированных инструментальных сталей.

Стали нормальной теплостойкости – Р18, Р9, Р6М5 (теплостойкость 620 °С, твердость 58 HRC).

Быстрорежущие стали широко применяются для режущих инструментов работающих в условиях значительного нагружения и нагрева рабочей кромки. Инструмент из быстрорежущих сталей обладает достаточно высокой стабильностью свойств. Высокие режущие свойства быстрорежущих сталей обеспечиваются легированием сильными карбидообразующими элементами (вольфрамом, молибденом, ванадием, применением специальной термической обработки, заключающейся в закалке высоких температур (1200-1300 °С) и отпуске, вызывающем дисперсионное твердение (см. таблицу 2.30).

2.9.5 Штамповые стали для холодного деформирования

При условиях работы стали можно разделить на 4 группы: 1) высокой и повышенной износостойкости; 2) высокого сопротивления смятию и высокой теплостойкости; 3) высокопрочные с повышенной ударной вязкостью; 4) для ударных инструментов.

Условия работы инструмента определяют выбор режимов термической обработки (таблица 2.31) во избежание возникновения чрезмерных термических напряжений из-за низкой теплопроводности сталей перед окончательным нагревом под закалку рекомендуется одноступенчатый (при 650 – 700 °С) и двухступенчатый нагрев (при 300 – 400 °С и при 800 – 860 °С).

Инструменты холодного деформирования, работающие в условиях значительного износа, изготавливают преимущественно из сталей с 12 % хрома - Х128М, Х12, Х12Ф1. используются также стали с 6 % хрома - Х6Ф4М и Х6ВМ.

Стали с высоким сопротивлением смятию и высокой теплостойкости – 8Х4В2МФС2 и 11Х4В2МФ3С2.

Высокопрочные стали с повышенной ударной вязкостью 6Х4М2ФС, 6Х6В3МФС и 7ХГ2ВМФ.

Таблица 2.31 - Режим окончательной термической обработки штамповых сталей

Марка стали	Содержание углерода, %	Температура закалки, °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска, °С	Твердость, HRC	Назначение
Стали для штампов холодной обработки давлением						
X12	2-2,20	950-980	Масло	170-200	60-62	Гибочные и формовочные штампы сложной формы, матрицы и пуансоны вырубленных и просечных штампов.
6ХВФ	1,05-1,15	980-1000	Масло, щелочь, селитра	150-170 280-300	60-62 56-58	Матрицы и пуансоны холодного пресования; резьбо- и зубонакатный инструмент
Стали для штампов горячей обработки давлением Умеренной теплостойкости и повышенной вязкости						
5ХНМ	0,50-0,60	850	Масло	450 500	44 42	Молотовые штампы, прессовые штампы и штампы машинной скоростной штамповки
5ХНВ	0,50-0,60	870	Масло	500	43	Молотовые штампы
Повышенной теплостойкости и вязкости						
4Х5В2ФС	0,35-0,45	1030-1050	Масло	1-й отпуск 560-580 2-й отпуск 530-540	47-49	Молотовые и прессовые вставки; инструмент для высадки заготовок из легированных и конструкционных жаропрочных материалов; прессформы литья под давлением алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов
Высокой теплостойкости						
4Х2В5МФ	0,30-0,40	1050-1080	Масло	610-630 630-640	45-49 42-45	Тяжелонагруженный прессовый инструмент

Инструменты холодного деформирования, работающие в условиях динамического нагружения с изнашиванием или смятием, но без высоких давлений, изготавливают из сталей 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2СФ, 6ХВГ, 6ХЗМФС.

2.9.6 Штамповые стали для горячего деформирования

Чтобы обеспечить необходимую стойкость инструмента стали для горячего деформирования должны иметь: 1) теплостойкость, обеспечивающую необходимое сопротивление пластической деформации; 2) вязкость, особенно при работе с динамическими нагрузками; 3) износостойкость; 4) окалинотстойкость, определяющую скорость окислительного износа, особенно выше 600 °С; 5) прокаливаемость для достижения равнопрочности по сечению.

По условиям работы и уровню основных свойств стали можно разделить на четыре группы:

- умеренной теплостойкости и повышенной вязкости – стали 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, 4ХМФС, 4ХМНФС, 3Х2МНФ, 5Х2МНФ;

- повышенной теплостойкости и вязкости – стали 4Х5МФС, 4Х5МФ1С, 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ, 3Х3М3Ф, 4Х4ВМФС;

- высокой теплостойкости – стали – 4Х2В5МФ, 5Х3В3МФС, 2Х6В8М2К8;

- нетеплостойкие стали повышенной вязкости – 7ХЗ, 8ХЗ, применяют для инструмента горячей высадки заготовок на углеродистых и низколегированных сталях.

Стойкость штампового инструмента зависит от правильности выбора и качества выполнения термической обработки (см. таблицу 2.31). Оборудование и режим термической обработки крупных штампов и сменного штампового инструмента малых и средних размеров различны. Для уменьшения коробления при нагреве (особенно в соляных ваннах) применяют промежуточный нагрев; однократный при 650 - 690 °С или 840 - 870 °С и двукратный – в обоих интервалах. При медленном нагреве (в ящиках с защитным материалом) промежуточный нагрев не обязателен.

2.10 Твердые сплавы

Обладают высокой твердостью (80-92 НРС в зависимости от состава), теплостойкостью (до 900-1000 °С), износостойкостью. Находят широкое применение для изготовления режущего инструмента. По своим эксплуатационным свойствам они превосходят инструменты из быстрорежущей стали и применяются для резания с высокими скоростями. Недостатки – сложность изготовления фасонных изделий, высокая прочность и низкая хрупкость.

Твердые сплавы делятся на четыре группы: вольфрамовые (ВК), титановольфрамовые (ТК), титанотанталовольфрамовые (ТТК) и безвольфрамовые.

К группе ВК относят карбидные твердые сплавы, состоящие из карбида вольфрама и кобальта – ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15, ВК20, ВК25. Цифра после буквы К обозначает содержание кобальта в процентах, остальное – карбидовольфрам. Буква М в марке сплава обозначает, что сплав мелкозернистый (ВК6-М), буква К – крупнозернистый (ВК20-К), буква В указывает, что изделия спекались в атмосфере водорода (ВК6-В).

Сплавы ВК3 - ВК9 применяют для режущих инструментов при обработ-

ке материалов дающих прерывистую структуру: сплавы ВК10, ВК15 используют для волочильных и буровых инструментов: сплавы ВК20, ВК25 применяют для изготовления штамповых инструментов (таблица 2.32).

К группе ТК относят двухкарбидные твердые сплавы, состоящие из карбида титана и кобальта – Т30К4, Т15К6, Т5К10 и др. Цифры, стоящие после буквы Т, соответствуют содержанию в сплаве в процентах карбида титана: цифра, стоящая после буквы К, указывает на содержание в нем кобальта в процентах, остальное в сплаве составляет карбид вольфрама. Эти сплавы характеризуются более высокой, чем у сплавов группы ВК, теплостойкостью. Их хорошо применяют для высокоскоростного резания сталей.

К группе ТТК относят трехкарбидные твердые сплавы, состоящие из карбида вольфрама, карбида титана и кобальта – ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ. Цифры, стоящие за буквами ТТ, соответствуют суммарному содержанию в сплаве карбида титана и карбида тантала в процентах, остальное составляет карбид вольфрама. Эти сплавы отличаются большей прочностью, лучшей сопротивляемостью вибрациям, выкрашиванию. Применяются при наиболее тяжелых условиях резания, как при обработке сталей, так и чугунов.

Безвольфрамовые твердые сплавы на основе карбида и карбонитрида титана (КНТ16, ТН20 и др.) отличаются высокой окалиностойкостью, отсутствием дефицитного вольфрама, вдвое меньшей плотностью, по сравнению со сплавами группы ВК, однако уступают им по прочности, ударной вязкости и теплопроводности. Безвольфрамовые твердые сплавы рационально использовать при чистой и получистой обработке углеродистых сталей и цветных металлов.

Таблица 2.32 – Состав, основные свойства и применение твердых сплавов

Группа	Марка	Массовая доля компонентов, %				Физико-механические свойства		Плотность г/см ³	Примечание
		WC, %	TiC, %	TaC, %	Co, %	$\sigma_{изг}$, МПа	HRA (не менее)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вольфрамовая	ВК6	94	-	-	6	1550	88,5	14,6-15,0	Черновая обработка чугуна, цветных металлов, танталовых сплавов, нержавеющей стали.
	ВК8	92	-	-	8	1700	87,5	14,4-14,8	Черновая обработка чугуна, цветных металлов, жаропрочных сталей, волочение стали.
	ВК10	90	-	-	10	1800	87	14,2-14,6	Волочение сталей, быстроизнашивающиеся детали
	ВК15	85	-	-	15	1900	86	13,9-14,1	Быстроизнашивающиеся детали машин, бурение крепких горных пород, волочение сталей, штамповый инструмент
	ВК25	75	-	-	25	2150	83	12,9-13,5	Быстроизнашивающиеся детали, штамповый инструмент, работающий при больших ударных нагрузках

Продолжение таблицы 2.32

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Титановольф- рамовая	T15K6	79	15	-	6	1200	90	11-11,6	Черновое и получистовое точение, фрезе- рование углеродистых и легированных сталей.
	T5K10	85	5	-	10	1450	88,5	12,4-13,1	Чистовое точение, строгание, черновая обработка поковок, штампов, отливок ста- лей
	T30K4	66	30	-	4	1000	92	9,5-9,8	Тонкое точение закаленных сталей
Титанотанта- ловольфрамо- вая	ТТ7К12	81	4	3	12	1650	87	13-13,3	Тяжелое черновое точение стальных заго- товок
	ТТ10К7	82	3	7	8	1450	89	13,5-13,8	Черновое и получистовое точение труд- нообрабатываемых материалов
Безвольфра- мовая	КНТ16	74 % TiC, 19,5 % Ni,			6,5 % Mo	1200	89-90	5,8	Черновое и получистовое точение углеро- дистых и легированных сталей, цветных металлов
	ТН20	79 % TiC,			6 % Mo	1100	89	5,8	

2.11 Сверхтвердые материалы

В промышленности применяют инструменты из таких сверхтвердых веществ, как алмаз, нитрид бора, оксид алюминия, нитрид кремния монокристаллической формы или в виде порошков и спеков в качестве лезвийного инструмента, шлифовальных кругов и др.

Среди сверхтвердых материалов первое место принадлежит алмазу, твердость которого (100000 HV), в шесть раз превышает твердость карбида вольфрама (17000 HV) в 8 раз – твердость быстрорежущей стали (13000 HV). Алмазные резцы из природных монокристаллов, а также из синтетических алмазов типа баллас (АВС), карбонадо (АСПК), борт могут эффективно применяться при обработке изделий из цветных металлов и сплавов, а также неметаллических материалов и пластмасс. При обработке сталей их применять не рекомендуется. Основным преимуществом алмазного лезвийного инструмента, кроме высокой твердости и износостойкости, является его высокая теплопроводность. Монокристалльные алмазы, как и поликристаллы типа балласов, карбонадо, хрупки и могут использоваться лишь при непрерывном точении.

Большой универсальностью обладают инструменты из поликристаллического нитрида бора с кубической решеткой, называемого кубическим нитридом бора. Выпускается под названием альбор и кубонит. Кубический нитрид бора обладает твердостью, близкой к твердости алмаза, более теплоустойчив, чем алмаз, и более химически инертен. Разновидности: - эльбор-Р, гексанит, исмит, композит и др.

Применяются новые материалы силинит Р на основе нитрида кремния с добавками оксида алюминия и титана.

2.12 Сплавы на основе цветных металлов (алюминия, магния, меди, титана)

2.12.1 Алюминиевые сплавы

Свойства алюминия. Алюминий кристаллизуется в гранцентрированной кубической решетке. Аллотропических превращений не имеет. ГЦК решетка предопределяет высокий (с учетом, что температура плавления всего 660 °С) комплекс механических свойств алюминия, как при комнатной, так и при повышенных температурах. Алюминий относится к группе легких металлов. Его плотность – 2700 кг/м³. Он обладает высокой электрической проводимостью и теплопроводностью.

Механические свойства алюминия характеризуются низкими значениями абсолютной прочности и твердости и высокой пластичностью.

Алюминий обладает высокой химической активностью и одновременно исключительной коррозионной стойкостью. На воздухе он покрывается тонкой, но очень прочной беспористой оксидной пленкой Al₂O₃, надежно защищающей металл от дальнейшего окисления.

Чем алюминий чище, тем выше его коррозионная стойкость, пластичность, электро- и теплопроводность и тем ниже прочность и твердость.

Так, литой алюминий высокой чистоты марки А955 (суммарное количество примесей 0,005 %) имеет предел прочности при растяжении 50 МПа, отно-

сительное удлинение 45 %, твердость по Бринеллю 15 НВ. У алюминия марки А0 (сумма примесей 1 %) те же характеристики соответственно равны 90 МПа, 30 % и 25 НВ.

Характеризуются малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью, способностью сопротивляться инерционным и динамическим нагрузкам, хорошей технологичностью. Временное сопротивление алюминиевых сплавов достигает 500 - 700 МПа при плотности не более 2850 кг/м. По удельной прочности некоторые алюминиевые сплавы приближаются ($\sigma_B/(\rho g = 23 \text{ км})$) к высокопрочным ($\sigma_B/(\rho g = 27 \text{ км})$) сталям. Большинство алюминиевых сплавов имеют хорошую коррозионную стойкость, за исключением сплавов с медью, высокие теплопроводность и электропроводимость и хорошие технологические свойства (обрабатываются давлением, свариваются точечной сваркой, а специальные – сваркой плавлением, в основном хорошо обрабатываются резанием).

Основными легирующими элементами алюминиевых сплавов являются медь, магний, кремний, марганец, цинк реже литий, никель, титан. Многие легирующие элементы образуют с алюминием твердые растворы, ограниченной растворимости и промежуточные фазы CuAl_2 , Mg_2Si и др. Легирующие элементы, особенно переходные, повышают температуру рекристаллизации алюминия. При кристаллизации они образуют с алюминием пересыщенные твердые растворы.

Алюминиевые сплавы классифицируют по технологии изготовления (деформируемые, литейные, спеченные), по способности к термической обработки (упрочняемые и неупрочняемые) и по свойствам (жаропрочные, ковочные, высокопрочные и др.), (таблица 2.33).

Деформируемые алюминиевые сплавы разделяются на упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой. К сплавам, неупрочняемым термической обработкой, относятся: сплавы на основе системы Al- Mg (магналии) – AlMg_2 , AlMg_3 , AlMg_4 , AlMg_5 , AlMg_6 , сплавы на основе системы Al-Mn-AMц. Сплавы отличаются высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и высокой коррозионной стойкостью, обрабатываемость резанием увеличивается с увеличением степени легирования.

Сплавы типа AMц и AMг применяются для изделий, получаемых глубокой вытяжкой, сваркой от которых требуется высокая коррозионная стойкость (трубопроводы для бензина и масла, сварные баки и др.)

2.12.1. 1 Алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

Сплавы на основе системы Al-Cu-Mg с добавлением Mn – дуралюмины, Д1, Д16, ВД17, Д18, Д19. характеризуются хорошим сочетанием прочности и пластичности.

Виды термической обработки обозначаются: Т1 - искусственное старение без предварительной закалки; Т2 - отжиг; Т4 - закалка; Т5 - закалка и неполное (кратковременное) старение; Т6 - закалка и полное старение до максимальной твердости; Т7 - закалка и стабилизирующий отпуск; Н - полунагартованное состояние (низкотемпературный отжиг после деформации).

Ковочные сплавы на основе Al-Mg-Si-Cu-АК6, АК8. По химическому составу ковочные алюминиевые сплавы близки к дуралюминам, отличаются более

Таблица 2.33 – Алюминиевые сплавы

Сплав	Содержание элементов, масс. доля, % (основа Al)					Вид Т.О.	Механические свойства		Назначение
	Cu	Mg	Mn	Si	Прочие		σ_b , МПа	δ , %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Деформируемые сплавы. Высокопрочные									
Д1 (1110)	3,5-4,5	0,4-0,8	0,4-1,0	0,2-0,8	Ti - 0,15 Zn - 0,25	T6	460	21	Лопasti воздушных винтов, узлов креплений, строительных конструкций
Д16 (1160)	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	0,5	То же	T6	460	6	Для силовых элементов конструкций самолетов (шпангоуты, тяги управления, лонжероны), буровые трубы
B95	1,4-2,0	1,8-2,8	0,2-0,6	0,5	Zn-5,0-7,0 Cr-0,1-0,25	T6	520	14	Высоконагруженные конструкции (детали обшивки, шпангоуты, лонжероны самолетов)
Жаропрочные, высокой износостойкости									
AK4-1 (1140)	1,9-2,7	1,2-1,8	до 0,2	до 0,35	Ni-0,8-1,4 Fe-0,8-1,4 Ti-до 0,15	T6	380	6	Детали реактивных двигателей (крыльчатые насосы, компрессоры, заборники, диски, лопатки)
Повышенной пластичности, коррозионно-стойкие									
AB (авиаль)	0,1-0,5	0,45-0,90	0,15-0,35	0,5-1,2	Ti - до 0,15	T6	350	12	Лопasti вертолетов, штампованные и кованные детали сложной конфигурации
Коррозионно-стойкие повышенной пластичности и свариваемости									
AMц (1400)	До 0,15	До 0,2	1,0-1,6	До 0,6	Ti-до 0,2	T2	150	24	Бензино- и маслопроводы, баки сварные заклепки
AMг6 (1560)	До 0,1	5,8-6,8	0,5-0,8	До 0,4	Ti-до 0,1	T2	365	22	То же

Продолжение таблицы 2.33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Литейные сплавы с высокими литейными свойствами высокой герметичности (алюминиевокремнистые силумины)										
(НВ)										
АЛ2	До 0,6	До 0,1	До 0,5	10,0-13,00	Ti-до 0,1	T2	160	5	55	Детали колес, агрегатов и приборов малой нагруженности
АЛ4	До 0,3	0,17-0,3	0,2-0,5	8,0-10,5	-	T6	260	4	70	Средние и крупные литые детали ответственного назначения: корпусов компрессоров, картеров двигателей внутреннего сгорания и др.
АЛ9	До 0,2	0,2-0,4	-	6,0-8,0	-	T6	230	2	75	
Коррозионно-стойкие с повышенными механическими свойствами (алюминиевомагниевые)										
АЛ8	До 0,1	9,3-10,0	До 0,1	До 0,3	-	T4	320	11	80	Ответственные детали работающие при ударных нагрузках и во влажной атмосфере
Высокопрочные и жаропрочные (алюминиевомедные)										
АЛ19	4,5-5,3	до 0,05	0,6-1,0	до 0,3	Ti - 0,15-0,35	T4	320	10	80	Крупногабаритные отливки и ответственные детали, работающие в условиях повышенных статических и ударных нагрузок (детали двигателей)
Примечание – Режимы термообработки (Т.О.): Т1 – старение; Т2 – отжиг; Т4 – закалка; Т5 – закалка и частичное старение; Т6 – закалка и полное старение; Т7 – закалка и стабилизирующий отпуск; Т8 – закалка и смягчающий отпуск										

высоким содержанием кремния. Они обладают хорошей пластичностью, стойки к образованию трещин при горячей пластической деформации.

Сплавы на основе системы (Al-Cu-Mg-Ni) - АК4-1. Жаропрочные. По химическому и фазовому составу близки к дуралюминам, но вместо марганца содержат железо и никель. Сплавы хорошо деформируются в горячем состоянии, коррозионная стойкость удовлетворительная. Хорошо соединяются сваркой, хорошо обрабатываются резанием, отличаются высокой износостойкостью.

Сплавы на основе системы (Al-Mg-Si) - АД31, АД33, АВ (авиаль). Сплавы повышенной пластичности и коррозионной стойкости.

Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе системы (Al-Zn-Mg-Cu) - Д93, В95 отличаются высоким временным сопротивлением и пределом текучести, не являются теплостойкими.

Литейные алюминиевые сплавы маркируются буквами АЛ.

Сплавы на основе (Al-Si) - АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ9, АЛ34- силумины отличаются высокими литейными свойствами и герметичностью изготовленных из них отливок. Высокая жидкотекучесть, малая усадка, отсутствие или низкая склонность к образованию горячих трещин и хорошая герметичность силуминов объясняются наличием большого количества эвтектики в структуре этих сплавов.

Сплавы на основе (Al-Cu) - АЛ19, АЛ33 высокопрочные и обладают высокой жаропрочностью.

Сплавы на основе системы (Al-Mg) - АЛ8, АЛ22, АЛ27-это коррозионно-стойкие сплавы.

Прочность большинства литейных алюминиевых сплавов можно повысить термической обработкой.

Порошковые алюминиевые сплавы. Из смесей алюминиевых порошков и порошков других элементов (Si, Ni) методом прессования и спекания изготавливают детали, имеющие удовлетворительные механические свойства. Обычно для изготовления деталей, предусмотренных к использованию при повышенных температурах, применяют предварительно окисленную алюминиевую пудру САП.

2.12.2 Магниеые сплавы

В ряду технических легких металлов (Al, Be, Mg, Ti) наиболее легким является магний. Его плотность - около 1740 кг/м^3 , температура плавления $651 \text{ }^\circ\text{C}$. Он обладает ГПУ кристаллической решеткой. Mg - активный металл, энергично взаимодействующий с кислородом воздуха. Тонкая пленка оксида MgO при температуре, ниже $450 \text{ }^\circ\text{C}$, предохраняет поверхность от дальнейшего окисления, однако при более высоких температурах защитные свойства оксида нарушаются и при $623 \text{ }^\circ\text{C}$ магний сгорает ослепительно ярким пламенем. Магний обладает весьма низким, особенно в литом состоянии, комплексом механических свойств ($\sigma_{\text{в}} = 100\text{-}120 \text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} = 20\text{-}30 \text{ МПа}$; $\delta = 6\text{-}8 \%$; $\text{НВ} = 300 \text{ МПа}$; $E = 45 \text{ ГПа}$). Прочностные свойства в значительной мере зависят от зернистости и дефектности литой структуры. Низкая пластичность Mg объясняется тем, что в металлах с гексагональной кристаллической структурой при температуре, близкой к нормальной, скольжение происходит только по базисным плоскостям и

лишь при нагреве появляются дополнительные плоскости скольжения и двойникования.

К достоинствам магниевых сплавов относятся высокие удельные механические свойства, хорошая обрабатываемость резанием, отличные демпфирующие свойства, высокая коррозионная стойкость в щелочах, керосине, бензине, минеральных маслах (для предотвращения воздушной коррозии магниевые сплавы оксидируют или покрывают лакокрасочными пленками, эпоксидной смолой).

Малая прочность магниевых сплавов в сочетании с довольно высокими удельными механическими свойствами, высокой коррозионной стойкостью в щелочах, бензине, керосине, делают их ценными во многих отраслях народного хозяйства. Магниевые сплавы хорошо поглощают вибрации. Удельная вибрационная прочность магниевых сплавов, с учетом деформирующей способности, почти в 100 раз больше, чем у дуралюминиевых, и в 20 раз больше, чем у легированной стали. Магниевые сплавы обладают хорошей обрабатываемостью резанием, в горячем состоянии хорошо прессуются, куются и прокатываются. Они широко применяются в виде поковок, штамповок, листов, профилей прутков, труб и т.д. Комплекс свойств магниевых сплавов способствуют их широкому применению в самолетостроении, ракетной технике, приборостроении.

Магниевые сплавы принято делить на деформируемые для получения полуфабрикатов и изделий методом пластической деформации (МА) – МА1, МА2, МА5, МА8, МА11, МА12 и на литейные для получения деталей методом фасонного литья (МЛ) – МЛ3, ... МЛ6, МЛ9, ... МЛ12, МЛ19 и др. (таблица 2.34).

По применению их классифицируют на конструкционные и со специальными физическими и химическими свойствами. По плотности сплавы магния подразделяют на легкие и сверхлегкие (магниево-литиевые МА8, МА12)

Сплавы магния легируют алюминием (до 10 %), цинком (до 7 %), марганцем, цирконием, литием, редкоземельными металлами и др. Цинк и алюминий придают сплавам хорошую технологическую пластичность, что позволяет изготавливать из них кованные и штампованные детали сложной формы.

Среди деформируемых сплавов наибольшей прочностью обладают: сплавы магния и алюминия, легированные марганцем и цинком (МА5); сплавы магния с цинком, легированные цирконием (МА14, МА15) и дополнительно легированные ниобием (МА19). К высокопрочным относятся сплавы МА11, МА12.

Литейные магниевые сплавы по химическому составу близки к деформируемым. Сплавы магния с алюминием, легированные марганцем и цинком – МЛ3...МЛ5. Наилучшее сочетание литейных и механических свойств имеют сплавы, содержащие 7,5 – 10 % алюминия (МЛ5, МЛ6). Небольшие добавки цинка улучшают технологические свойства. Более высокими технологическими и механическими свойствами при 20 – 25 °С и повышенных температурах обладают сплавы магния с цинком, легированные цирконием (МЛ12), а также сплавы дополнительно легированные кадмием (МЛ8, МЛ10). Механические свойства литейных магниевых сплавов в основном находятся на уровне свойств литейных алюминиевых сплавов, но обладая меньшей плотностью, магниевые сплавы превосходят их по удельной прочности.

Для упрочнения магниевых сплавов широко используется эффект дис-

Таблица 2.34 – Магниевые сплавы

Сплавы	Содержание элементов, массовая доля, % (основа Mg)				Вид Т.О.	Механические свойства		Назначение
	Mn	Zn	Al	Прочие		σ_b , МПа	δ , %	
Деформируемые сплавы								
МА5	0,15 - 0,5	0,2 - 0,8	7,8 - 9,2	-	T5	335	9,5	Нагруженные детали
МА11	1,5 - 2,5	-	-	Nd - 2,5 - 4 Ni - 0,13 - 0,25	T6	260	9,5	Детали, нагревающиеся в процессе эксплуатации
МА14	-	5 - 6	-	Zr - 0,3 - 0,9	T5	340	13,5	Высоконагруженные детали
МА19	-	5,5 - 7,0	-	Zr - 0,5 - 0,9 Nd - 1,4 - 2,0	H	380	5	Детали сварных конструкций, для которых требуются повышенный предел прочности и текучести
Литейные сплавы								
МЛ15	0,15 - 0,5	0,2 - 0,8	7,5 - 9,5	-	T6	255	4	Сплавы общего назначения. Нагруженные детали, работающие в условия морской атмосферы, а также детали двигателей, приборов и т.д.
МЛ8	-	5,5 - 6,5	-	Zr - 0,7 - 1,1 Cd - 0,2 - 0,8	T6	290	6	Нагруженные детали (реборды, барабаны колес и другие конструкции)
МЛ10	-	0,1 - 0,7	-	Zr - 0,4 - 1,0 Nd - 2,2 - 2,8	T6	226	3	Нагруженные детали различных конструкций, требующих высокой герметичности и высокой стабильности размеров
МЛ15	-	4-5	-	Zr - 0,7 - 1,1 La - 0,6 - 1,2	T1	220	4	
Примечание – Режимы термообработки (Т.О.): Т1 – старение; Т2 – отжиг; Т4 – закалка; Т5 – закалка и частичное старение; Т6 – закалка и полное старение; Т7 – закалка и стабилизирующий отпуск; Т8 – закалка и смягчающий отпуск								

персионного твердения с выделением дисперсных фаз типа Mg_4Al_3 , $MgZn_2$ и др., протекающего при искусственном старении закаленных сплавов. Диффузионные процессы в магниевых сплавах протекают чрезвычайно медленно, поэтому операции термообработки имеют большую продолжительность (время выдержки при температуре закалки доходит до 24 часов). Охлаждение при закалке ведут в горячей воде или на воздухе.

Для упрочнения литейные сплавы, как и деформируемые подвергают термической обработке: гомогенизации, закалке, искусственному старению или отжигу (см. таблицу 2.34).

Термическая обработка магниевых сплавов затруднена из-за замедленных диффузионных процессов, что требует длительных выдержек при нагреве под закалку (для деформируемых 4 – 6 ч, для литейных 8 – 32 ч). Закалку проводят от температуры 370 – 450 °С. Охлаждение проводят на воздухе. Эффективность старения не так велика, как например, у сплавов на основе алюминия и титана. Термомеханическая обработка является одним из методов повышения прочности стареющих деформируемых магниевых сплавов.

2.12.3 Медные сплавы

Медь - металл красноватого цвета с ГЦК кристаллической решеткой. Плотность Cu равна 8940 кг/м³. При 1083 °С медь плавится. Она обладает высокой электро- и теплопроводностью, коррозионностойка в сухой атмосфере (Cu примыкает к группе благородных металлов). Механические свойства меди характеризуются высокой пластичностью и невысокими прочностью и твердостью.

Различают две группы медных сплавов – латуни и бронзы. Латуни представляют собой двойные или многокомпонентные медные сплавы, в которых цинк является основным легирующим компонентом. Могут иметь в своем составе до 45 % Zn . Максимальную пластичность сплавы имеют при содержании цинка около 37 %.

2.12.3.1 Латуни

Строение и свойства двойной латуни изменяются в зависимости от концентрации цинка. При содержании цинка до 39 %, в сплаве образуется твердый раствор цинка в меди α -фаза. α -фаза обладает хорошей пластичностью, которая увеличивается с повышением концентрации цинка. При увеличении содержания цинка свыше 39 % избыток его начинает реагировать с медью, образуя соединение $Cu Zn$. В результате в сплавах появляется новая – β -фаза представляющая собой твердый раствор цинка в соединении $Cu Zn$. Такая двухфазная структура ($\alpha \neq \beta$) существует у латуней, содержащих от 39 % до 45 % цинка. Такие латуни имеют низкую пластичность и обрабатываются лишь в горячем состоянии.

Двойные латуни маркируются буквой Л за которой следует число, показывающее содержание меди в сплаве в процентах. Например, в сплаве Л62 имеется 62 % Cu и 38 % Zn . В обозначении многокомпонентных (легированных) латуней после буквы Л указываются легирующие элементы (А - алюминий, Ж - железо, О - олово, С - свинец, Н - никель, Мц - марганец и т.д.) число после букв означает содержание легирующих элементов. Например, сплав ЛАЖ60-1-1 содержит 60 % Cu ; 1 % Al ; 1 % Fe ; 38 % Zn .

В марке литейных латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, обозначающей его название. Например, Лц40Мц3А содержит 40 % Zn; 3 % Mn; 1 % Al.

Алюминий, никель, олово, кремний повышают прочность, коррозионную стойкость латуни, марганец повышает ее жаростойкость.

Латуни подразделяют на деформируемые (обработываемые давлением) и литейные (таблица 2.35). Все двойные латуни хорошо обрабатываются давлением, как в холодном, так и горячем состоянии (за исключением Л60, которая обрабатывается в горячем состоянии). Многокомпонентные латуни обрабатываются давлением. Алюминиевые латуни (ЛАН59-3-2, ЛА77-2) обладают повышенными механическими свойствами и коррозионной стойкостью. Они хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии (за исключением латуни ЛАН59-3-2, которая обрабатывается давлением только в горячем состоянии).

Таблица 2.35 – Латуни

Сплавы	Дополнительные легирующие элементы	Механические свойства			Назначение
		σ_b , МПа	δ , %	НВ	
Обрабатываемые давлением в холодном и горячем состоянии пластичные (двойные латуни)					
Л96 (томпак): мягкая твердая	- -	216-255 392-470	45-55 1-3	49-59 127-142	Трубки, радиаторные листы, ленты
Л80 (полутомак): мягкая твердая	- -	290-340 550-670	45-55 2-10	52-64 137-147	Тонкостенные трубы, ленты, проволочная сетка для целлюлозно-бумажной пром. и др.
Л68: мягкая твердая	- -	290-340 510-725	50-60 3-12	54-64 142-152	Полосы, листы, ленты, прутки, трубы, проволока, фольга, профили различных размеров
1 С высокими антифрикционными свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием					
ЛС59-1: мягкая твердая	Pb-0,8-1,9	290-412 590-690	36-50 4-6	68-79 147-157	Крепежные изделия, зубчатые колеса, втулки
2 Повышенной прочности и коррозионной стойкости					
ЛАН59-3-2 мягкая твердая	Al-2,5-3,5 Ni-2-3	440-540 635-735	40-50 7-11	108-118 172-182	Морское судостроение, химическое машиностроение, в электромашинах
Литейные латуни					
ЛЦ40С	Pb-1	345-390	-	78	Арматура, втулки, сепараторы для подшипников качения. Литье под давлением.
Примечание - Полуфабрикаты латуней поставляются в мягком (отожженном) состоянии; полутвердом состоянии (степень обжатия 10 – 30 %); твердом состоянии (степень обжатия 30 – 50 %)					

Марганцевые латуни (ЛМц58-2, ЛМцА5-3-1), кроме хороших механических и технологических свойств (обрабатываются в холодном и горячем состоянии), обладают высокой коррозионной стойкостью в морской воде, хлоридах и перегретом паре.

Оловянные латуни (ЛО90-1, ЛО70-1), кроме латуни ЛО62-1, хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии, обладают высокой коррозионной стойкостью в пресной и морской воде.

Свинцовые латуни (ЛС74-3, ЛС63-3, ЛС64-2, ЛС59-1) отлично обрабатываются резанием и обладают высокими антифрикционными свойствами.

Кремневые латуни (ЛК80-3) обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии, применяются для коррозионно-стойких деталей машин.

Литейные латуни (ЛЦ40С, ЛЦ30А3, ЛЦ40АЖ) содержат те же элементы, что и латуни обрабатываемые давлением: от последних литейные латуни отличаются, как правило, большим легированием цинком и другими металлами.

2.12.3.2 Бронзы

Бронзами называют сплавы меди, в которых цинк или никель не являются основными легирующими элементами. Бронзы, по сравнению с латунями, обладают лучшими механическими свойствами и коррозионной стойкостью. Бронзы являются сложными сплавами: в их состав кроме основного компонента меди, могут входить несколько других элементов. В качестве легирующих элементов в бронзе используют олово, алюминий, никель, марганец, кремний, свинец, фосфор и другие.

Названия бронзам дают по основным элементам: оловянные, алюминиевые, бериллиевые, кремниевые и др.

По химическому составу бронзы подразделяются на две группы: оловянные, в которых основным легирующим элементом является олово и безоловянные, не содержащие олово в качестве легирующего компонента.

По технологическому признаку бронзы делятся на деформируемые (БрОФ6,5-0,4, БрОФ7-0,2, БрОФ8-0,3, БрОФ4-25, БрОЦ4-3, БрОЦ4-4) и литейные (БрОЗЦ7С5Н1, БрО4Ц4С17, БрО10, Бр08С12).

Деформируемые бронзы маркируются буквами Бр, за которыми следуют буквы, а затем цифры, обозначающие название и содержание в процентах легирующих элементов. Например, бронза БрОЦСА4-4-2,5 содержит 4 % Zn; 2,5 % Pb. В марках литейных бронз содержание каждого легирующего элемента ставится сразу же после буквы, обозначающей его название. Например, Бр08Ц6С3 содержит 6 % Sn; 6 % Zn; 3 % Pb.

Оловянные бронзы. Деформируемые бронзы изготавливают в виде прутков, лент и проволоки в нагартованном (твердом) и отожженном (мягком) состоянии (таблица 2.36). Деформируемые бронзы содержат до 6 – 7 % олова. Деформируемые оловянные бронзы в равновесном состоянии имеют однофазную структуру α -твердого раствора. Деформируемые бронзы характеризуются хорошей пластичностью и более высокой прочностью, чем литейные.

Литейные бронзы, содержат большое количество цинка, фосфора, свинца, имеют двухфазную структуру. Оловянные бронзы обладают хорошими литейными свойствами и применяются для литья деталей сложной формы. Бронзы, особенно двухфазные обладают высокими антифрикционными свойствами.

Оловянные бронзы слабо чувствительны к перегреву, газам, хорошо

Таблица 2.36– Механические свойства и назначение деформируемых и литейных оловянных бронз

Бронза	Механические свойства			Назначение
	σ_B , МПа	δ , %	НВ	
Деформируемые бронзы				
Бр0Ф6,5-4 мягкая	295-440	60-70	68,5-82	Пружины, детали машин и подшипников, сетки для целлюлозно-бумажной промышленности
твердая	685-785	7-12		
Бр0Ц 4-3 мягкая	295-390	35-45	59-68,5	Ленты, полосы, прутки, применяемые в электротехнике, для токоведущих пружин, контактов, пружинной проволоки в химической промышленности, точной механике
твердая	490-590	3-6	157-167	
Бр0Ц-4-2,5 мягкая	295-345	35-45	48-68,5	Для втулок и подшипников в автотракторной и автомобильной промышленности
	540-640	2-4	147-176	
Литейные бронзы (*)				
Бр03Ц12С5	175(205)	8(5)	59(59)	Для литья антифрикционных деталей, для арматуры, работающей в воде и водяном пару
Бр05Ц5С5	145(175)	6(4)	59(59)	Для литья антифрикционных деталей
БрО10Ф1	215 (245)	3 (3)	80 (90)	Венцы червячных шестерён, шестерни, гайки ходовых винтов, узлы трения арматуры
БрО10С10	176 (196)	7 (6)	65 (78)	Подшипники скольжения, работающие при высоких давлениях
БрО5С25	137 (147)	5 (6)	45 (60)	Подшипники и втулки, работающие при малых давлениях и высоких скоростях, биметаллические подшипники скольжения
БрО5Ц5С5	176 (206)	8 (5)	60 (60)	Арматура, работающая в морской и пресной воде, маслах и других слабокоррозионных средах, антифрикционные детали
* В скобках указаны свойства литейных оловянных бронз при литье в кокиль, а без скобок – свойства при литье в песчаную форму				

обрабатываются резанием, паяются, хуже свариваются, не дают искр при ударах, не магнитны. Механические свойства оловянных бронз достаточно высоки. С увеличением содержания олова возрастает твердость и прочность сплавов, но при этом снижается пластичность. Оловянные бронзы легируют цинком, свинцом, никелем, фосфором. Цинк улучшает жидкотекучесть и плотность отливом, способность к сварке и пайке. Свинец повышает антифрикционные свойства и улучшает обрабатываемость резанием оловянных бронз. Добавки фосфора к оловянным бронзам значительно улучшают их механические и литейные характеристики, улучшают износостойкость. Никель при его содержании до 1 % повышает механические свойства, коррозионную стойкость и измельчает зерно.

Безоловянные бронзы.

Алюминиевые бронзы (двух- и многокомпонентные) имеют большое распространение в машиностроении. Алюминиевые бронзы при содержании до 9,9 % алюминия после деформации и отжига имеют однофазную структуру, при большем содержании алюминия бронзы имеют двухфазную структуру. Двухфазовые алюминиевые бронзы могут подвергаться закалке и отпуску. Алюминиевые однофазовые бронзы (БрА5, БрА7) отличаются высокой прочностью и пластичностью. Они хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии. Предназначены для упругих элементов деталей, работающих в морской воде. По коррозионной стойкости превосходят латуни и оловянные бронзы. Вместе с тем сплавы трудно поддаются пайке, не устойчивы в условиях перегретого пара. Недостатки двойных алюминиевых бронз существенно устраняются при легировании железом, никелем, марганцем.

Железо значительно улучшает механические свойства алюминиевых бронз измельчая зерно, оно способствует задержке рекристаллизации. Алюминиевые бронзы (БрАЖ9-4) для улучшения прочностных характеристик подвергают старению при 250-300 °С 2 – 3 ч, после закалки при 950 °С. Они применяются для шестерен, червяков, втулок, седел клапанов и др., в основном в авиационной промышленности.

Добавки никеля повышают механические свойства, жаростойкость, температуру рекристаллизации и коррозионную стойкость алюминиеважелезных бронз. Это вызывает у бронз, легированных железом и никелем (БрАЖН10-4-4) способность к дополнительному упрочнению после закалки в следствии старения.

Марганец в алюминиевых бронзах повышает технологические и коррозионные свойства. Эти бронзы хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии.

Кремниевые бронзы содержат до 3 % кремния, никель и марганец (БрКН1-3, БрКМц3-1) . эти сплавы отличаются высокими механическими, упругими и антифрикционными свойствами, при этом не теряют своей пластичности при низких и высоких температурах, немагнитны, хорошо паяются, обрабатываются давлением при низких и высоких температурах. Применяются для антифрикционных деталей, пружин, подшипников, в морском судостроении и т.п. выпускаются в виде ленты, полос, прутков, проволоки.

Бериллиевые бронзы (БрВ2, БрБНТ1,9), являясь дисперсионно-твердеющими сплавами, обладают высокими механическими упругими и физическими свойствами. Отличаются высокой коррозионной стойкостью, жаропрочностью, циклической прочностью, они устойчивы при низких температурах, немагнитны. Закалку бериллиевых бронз осуществляют с температуры

750 - 790 °С, старение – при 300 - 250 °С. Добавки никеля, кобальта или железа способствуют замедлению скорости фазовых превращений при термической обработке, что значительно облегчает технологию закалки и старения. Бериллиевые бронзы применяются для пружин, мембран, в часовой промышленности.

Литейные безоловянные бронзы (БрАЖЗМц2, БрА10Ж4Н4Л, БрА9Ж4, БрА11Ж6Н6 и др.) характеризуются высокой прочностью и хорошими антифрикционными и коррозионными свойствами. Они применяются для изготовления деталей, работающих в особо тяжелых условиях (зубчатые колеса, втулки, клапаны, шестерни для мощных кранов и турбин, подшипники, работающие при высоких давлениях и ударных нагрузках).

Сплавы меди широко применяют для изделий, обладающих высокой теплопроводностью (различная теплообменная аппаратура, например, сплавы Л62, Л68), электрической проводимостью (контакты, детали реле, токопроводящая арматура и др.), коррозионной стойкостью (паровая и водяная арматура, например, морская латунь ЛО70-2, бронзы БрО5Ц5С5, БрО3Ц7С5Н). Оловянистые, оловянистоцинково-свинцовистые, алюминиевые, свинцовистые бронзы, кремнистые и марганцовистые латуни, например, БрО10Ф1, БрС30, ЛЦ16К4 применяют для изготовления вкладышей подшипников скольжения. Бериллиевые бронзы, например БрБ2, применяют для изготовления ответственных пружин, мембран, пружинящих контактов.

2.12.4 Титановые сплавы

Титан существует в двух аллотропических модификациях. Ниже 882 °С существует α -титан, обладающий ГПУ кристаллической решеткой. При более высоких температурах вплоть до температуры плавления (1665 °С) Тi существует в модификации бета с ОЦК решеткой. Титан может быть отнесен как к тугоплавким металлам (температура плавления выше, чем у Fe), так и к легким (плотность Тi \sim 4500 кг/м³). По химической стойкости он не уступает нержавеющей сталям, а в ряде случаев превосходит их.

Достоинством титановых сплавов, по сравнению с титаном, является их более высокая прочность и жаропрочность при достаточно хорошей пластичности, высокой коррозионной стойкости и малой плотности.

Для повышения прочности титановые сплавы легируют марганцем, железом, алюминием, молибденом, хромом, ванадием, оловом и другими элементами. Элементы, расширяющие область существования α -модификации титана и повышающие температуру $\alpha \rightarrow \beta$ перехода, называют альфа-стабилизаторами. Важнейшим элементом этой группы является Al. Элементы, расширяющие область существования β -модификации титана и снижающие температуру полиморфного превращения, называют β -стабилизаторами. Важнейшими из них являются Mo, V, Cr, Mn, Fe, Ni и др. Способность β -фазы к переохлаждению лежит в основе термической обработки титановых сплавов. Элементы, практически не влияющие на температуру полиморфного превращения, называют нейтральными. Наибольшее практическое значение из них имеют Sn и Zr.

Элементы, используемые для легирования титановых сплавов, характеризуют по их влиянию на температуру полиморфного превращения и устойчивость альфа- и бета- модификаций титана. Все легирующие элементы подразделяют на три группы: альфа-стабилизаторы, бета-стабилизаторы, нейтральные элементы.

α -стабилизаторы, повышают температуру полиморфного превращения и расширяют область существования α -модификаций титана: Al, C, O, N. Алюминий является основным легирующим элементом и входит практически во все титановые сплавы. Алюминий повышает прочность и жаропрочность, модуль упругости, уменьшает плотность и склонность к водородной хрупкости. Однако вместе с повышением прочности алюминий снижает пластичность титановых сплавов.

β -стабилизаторы; снижают температуру полиморфного превращения и расширяют область существования β -модификаций титана: изоморфные – Mo, V, Ta, Nb, и эвтектидообразующие Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Si и другие элементы. Большинство β -стабилизаторов повышают прочность, жаропрочность и термическую стабильность титановых сплавов.

Нейтральные элементы Zr, Sn, Hf мало влияют на температуру полиморфного превращения. Олово упрочняет сплавы без заметного снижения пластичности, повышает жаропрочность. Цирконий увеличивает предел ползучести и длительную прочность.

По структуре в отожженном состоянии титановые сплавы подразделяются на α -сплавы; псевдо- α -сплавы; $\alpha+\beta$ -сплавы; β -сплавы; псевдо- β -сплавы.

α -сплавы (технический титан ВТ1-0, ВТ1-00, сплавы ВТ5, ВТ5-1) характеризуются однофазной структурой. Хорошо свариваются всеми видами сварки. Сплавы нормальной прочности при 20 °С обладают высоким сопротивлением разрушению при повышенных (350-500 °С) и криогенных температурах. α -сплавы не упрочняются термической обработкой. Применяется стабилизирующий отжиг для снятия напряжений и рекристаллизационный отжиг.

Псевдо- α -сплавы содержат небольшое количество β -стабилизаторов. В них образуется 1-5 % β -фазы. Псевдо- α -сплавы, легированные алюминием и марганцем – ОТ4-1; ОТ4; легированные алюминием, молибденом, вольфрамом, цирконием – ВТ20 и др. благодаря наличию β -фазы они обладают хорошей технологической пластичностью при сохранении достоинств α -сплавов. Сплавы с содержанием алюминия обрабатываются давлением в холодном состоянии и только при изготовлении деталей сложной формы подогревают до 500-700 °С. Сплавы с большим содержанием алюминия требуют подогрева до 600-800 °С.

Однофазные β -сплавы не имеют промышленного значения, так как для получения устойчивой β -структуры сплавы должны быть легированы большим количеством изоморфных β -стабилизаторов, дорогих и дефицитных.

Псевдо- β -сплавы- высоколегированные, в основном β -стабилизаторами, (сплавы ВТ15, ВТ30). Суммарное количество легирующих элементов, как правило, превышает 20 %. Наиболее часто их легируют алюминием, молибденом, вольфрамом, хромом, реже железом, цирконием, оловом. Получение сплавов с высоким уровнем требуемых свойств достигается совместным легированием α -, β -стабилизаторами и нейтральными элементами. В двухфазных $\alpha+\beta$ -сплавах (ВТ3-1, ВТ6, ВТ9, ВТ14, ВТ16, ВТ22) образуется до 30-50 % β -фазы, $\alpha+\beta$ -сплавы могут подвергаться отжигу и упрочняющей термической обработке, состоящей из закалки и старения. В отожженном и закаленном состоянии они имеют хорошую пластичность, а после старения – высокую прочность и жаропрочность. Двухфазные сплавы удовлетворительно обрабатываются резанием и свариваются. После сварки требуется отжиг для повышения пластичности сварного шва. Они менее склонны к водородной хрупкости, чем α - и псевдо α -сплавы. Двухсплавные сплавы куется, штампуются и прокатываются легче, чем сплавы

с α -структурой. Они поставляются в виде поковок, прутков, листов ленты.

По технологии изготовления титановых сплавов их подразделяют на деформируемые, литейные и порошковые.

По механическим свойствам титановые сплавы подразделяются: на малопрочные высокопластичные: ВТ1-00, ВТ-0, ОТ4-0, ОТ4-1 деформируемые в холодном состоянии - среднепрочные сплавы: ОТ4, ВТ5, ВТ5-1, ВТ20, ПТ7М и др., деформируемые в горячем состоянии - высокопрочные сплавы: ВТ3-1, ВТ6, ВТ9, ВТ14, ВТ16 и др.: - жаропрочные сплавы: ВТ18, ВТ20, ВТ3-1, ВТ8 ВТ9.

Состав и механические свойства наиболее распространенных титановых сплавов, приведены в таблице 2.37.

Литейные титановые сплавы – ВТ1Л, ВТ5Л, ВТ6Л, ВТ9Л, ВТ14Л и т.д. сплавы имеют хорошие литейные свойства. Небольшой температурный интервал кристаллизации обеспечивает им высокую жидкотекучесть и хорошую плотность отливки. Обладают малой склонностью к образованию горячих трещин. Небольшая литейная усадка – 1 %; объемная усадка составляет около 3 %. Плавку и заливку сплавов на основе титана осуществляют в среде нейтральных газов или в вакууме в связи с их высокой химической активностью при нагреве.

Литейные титановые сплавы обладают более низкими механическими свойствами, чем соответствующие деформируемые. Упрочняющая термическая обработка не применяется, так как резко снижается пластичность сплавов.

Применение титановых сплавов: в авиастроении, ракетостроении (каркасные детали, обшивка, топливные баки, детали реактивных двигателей, диски и лопатки компрессоров, детали воздухозаборника): в судостроении, в химической промышленности, в газовой промышленности, в криогенной технике, в пищевой промышленности и в медицинской промышленности.

2.13 Порошковые материалы конструкционного назначения

Порошковыми называют материалы, изготовленные путем прессования металлических порошков в изделия необходимой формы и размеров и последующего спекания сформованных изделий в вакууме или защитной атмосфере при температуре $0,75 - 0,8 T_{пл}$.

Область применения порошковых материалов приведена в таблице 2.38.

Простыми называют материалы, в которых после окончательной обработки сохраняется 10 - 30 % остаточной прочности изготовления антифрикционных деталей (подшипников, втулок) и фильтров. Антифрикционные порошковые сплавы имеют низкий коэффициент трения, легко прирабатывается, выдерживает значительные нагрузки, обладает хорошей износостойкостью.

Коэффициент трения железного графита по стали при смазке 0,07 - 0,09. Подшипники из железного графита применяются при допустимой нагрузке не более 1000 - 1500 МПа и максимальной температуре 100 - 200 °С. Коэффициент трения бронзового графита по стали без смазывания - 0,04 - 0,07 со смазыванием - 0,05 - 0,07. допустимая нагрузка – 400 - 500 МПа при рабочей температуре – не выше 200 - 250 °С.

Среди номенклатуры порошковых материалов наибольшее применение имеют порошковые стали на основе железа-графита. Порошковые стали могут быть классифицированы по пластичности, составу, структуре, качеству и методу производства. В зависимости от химического состава эти стали подразделяются на углеродистые и легированные. В равновесном состоянии, как и литые, стали

Таблица 2.37 - Химический состав механические свойства и область применения некоторых титановых сплавов

Сплавы	Содержание элементов, % (основа Ti)				Механические свойства после отжига					Область применения
	Al	V	Mo	Другие элементы	σ_B , МПа	δ , %	KCU, МДж/м ²	σ_{-1} , МПа	НВ	
α -сплавы *										
BT5	4,3-6,2	$\leq 1,2$	$\leq 0,8$	-	750-950	10-14	0,3-0,5	450	229-321	Сварные детали, работающие при температуре от -253 до 400 °С
BT5-1	4,3-6,0	≤ 1	-	Sn-2-3	800-1000	10-15	0,45	420	241-321	Штамповарные детали и узлы, работающие до 450 °С
OT4 (псевдосплав)	3,5-5,0	-	-	Mn-0,8-2,0	700-900	10-12	0,5	380-420	205-207	Детали, длительно работающие до 350-400 °С
BT6	5,3-6,8	3,5-5,3	-	-	950-1100	10-13	0,4-0,8	300	255-341	Штамповарные детали, длительно работающие до 400-450 °С
$\alpha+\beta$ -сплавы **										
BT9	5,8-7,0	-	2,8	SI-0,2-0,35 Zr-0,8-2.0	1100-1300	8-14	0,2-0,5	540	255-341	Детали работающие до 500 °С
BT14	3,5-6,3	0,9-1,9	2,5-3,8	-	850-900	10-15	0,5-0,9	400		Детали длительно работающие до 400 °С
* Механические свойства для α -сплавов приведены для штамповок, поковок, прутков.										
** Механические свойства для $\alpha+\beta$ -сплавов - для штамповок.										

порошковые бывают доэвтектоидными, эвтектоидными и заэвтектоидными: в зависимости от состава и скорости охлаждения они могут иметь ферритную, перлитную, аустенитную или мартенситную структуру.

Таблица 2.38 - Область применения порошковых материалов

Тип порошкового материала	Назначение	Исходные материалы
Антифрикционные	Подшипники скольжения	Порошки железа и графита, легирующие элементы
Фрикционные	Тормозные колодки	Порошки меди, железа, кремния, фосфора, графита, асбеста.
Плотные	Детали машин	Порошки железа, меди, хрома, никеля, вольфрама, молибдена
Пористые	Фильтры	Порошки бронзы, нержавеющей стали, сплавы титана
Тугоплавкие	Проволока и электроды для ламп, детали машин	Порошки вольфрама, молибдена, ниобия, титана, тантала, хрома
Электротехнические	Контакты, сердечники электрических машин, магниты	Порошки меди, железа, кобальта, никеля, оксидов металла
Твердые сплавы	Режущий инструмент, волокни, буры	Карбиды вольфрама, титана, тантала (связка – кобальт)

Марки порошковых сталей обозначаются сочетанием букв и цифр. Первые две буквы указывают на то, что сталь получается методом порошковой металлургии – СП. Число после букв СП показывает среднее содержание общего углерода в сотых долях процента. Следующие за первым числом буквы, как и в литых сталях, обозначают легирующие элементы (Д - медь, Н - никель, Х - хром и т.д.). Цифры после символов элементов отражают среднее содержание легирующего элемента. Цифра после дефиса указывает плотность материала данной группы: 1 - пористость 25 – 16 %, плотность 6,0 - 6,6 г/см³; 2 - пористость 15 – 10 %, плотность 6,7 - 7,1 г/см³; 3-пористость 9 – 2 %, плотность 7,2 - 7,7 г/см³; 4 - пористость не более 2 %.

Порошковые конструкционные материалы и изделия из них являются наиболее массовым видом продукции порошковой металлургии. Изготавливают большое количество порошковых конструкционных (СП10-1...СП10-4, СП30-4, СП30ДЗ-2, СП60Н2Д2-2, СП30НЗМ, СП40Х-2, СП45Х3-3 и др.) мартенситно-старееющих (СПН12К5М5Г4ТЮ, СПН12ХМЗТ), коррозионно-стойких (СПХ17Н2, СПХ18Н15, СПХ23Н28 и др.) и других сталей. В маркировке стали буква С указывает класс материала – сталь, буква П – порошковая (таблица 2.39).

Стали подвергаются термической обработке. Механические свойства порошковых сталей зависят от плотности, содержания легирующих элементов, а также от режимов термической обработки (таблица 2.40)

Таблица 2.39 - Свойства некоторых порошковых конструкционных сталей

Марка стали	σ_B , МПа, не менее	δ , %, не менее	a_n , КДж/м ² , не менее	Твердость, НВ
СП10-2	100	6	200	50-70
СП10-4	250	18	700	90-130
СП70-2	200	8	300	70-90
СП70-4	350	15	600	110-150
СП30ДЗ-2	220	4	300	70-90
СП30ДЗ-3	280	6	400	90-100
СП60Н2Д2-2	300	3	350	90-110

Таблица 2.40 - Состав и свойства конструкционных порошковых сталей после спекания и после термической обработки (числитель – подгруппа 2, знаменатель – подгруппа 4)

Марка стали	Содержание элементов, %			Механические свойства								
				После спекания				После термической обработки				
	С	Cr	прочие	σ_B , МПа	δ , %	a_n , КДж/м ²	НВ	Температура закалки, °С	σ_B , МПа	δ , %	a_n , КДж/м ²	HRC
СП10	Не более 0,2	-		<u>120</u> 250	<u>8</u> 18	<u>350</u> 700	<u>70-80</u> 90-130	-	-	-	-	-
СП70	0,5-0,8	-	-	<u>200</u> 360	<u>8</u> 15	<u>300</u> 600	<u>70-90</u> 100-150	<u>820-840</u> 820-840	<u>350</u> 650	<u>2</u> 10	<u>100</u> 450	<u>31-37</u> 46-53
СП90	0,8-1,1	-	-	<u>200</u> 450	<u>4</u> 10	<u>220</u> 450	<u>80-100</u> 120-188	<u>820-840</u> 820-840	<u>450</u> 1000	<u>1</u> 3	<u>50</u> 350	<u>34-42</u> 50-58
СП90Д3	0,6-0,9	-	Cu-2-3	<u>280</u> 540	<u>3</u> 8	<u>200</u> 450	<u>80-100</u> 120-170	<u>820-840</u> 820-840	<u>550</u> 900	<u>1</u> 6	<u>500</u> 200	<u>33-42</u> 47-52
СП60Н2Д2	0,6-0,7	-	Ni-1,5-2,5 Cu-1,5-2,5	<u>300</u> 450	<u>3</u> 8	<u>350</u> 650	<u>90-110</u> 140-180	<u>800-830</u> 800-830	<u>650</u> 1050	<u>1</u> 10	<u>100</u> 350	<u>34-42</u> 45-52
СП60Н3	0,55-0,65	-	Ni-2,5-3,5	<u>180</u> 400	<u>4</u> 12	<u>500</u> 1000	<u>110-130</u> 150-200	<u>800-830</u> 800-830	<u>480</u> 750	<u>3</u> 10	<u>200</u> 650	<u>34-42</u> 52-57
СП50Х	0,45-0,55	0,68-1,1	-	<u>400</u> 700	<u>5</u> 12	<u>100</u> 300	<u>180-210</u> 240-280	840-860	<u>630</u> 1050	<u>1</u> 4	<u>100</u> 250	<u>30-42</u> 50-56
СП60ХН2	0,55-0,65	0,8	Ni-1,8-2,1 2,1	<u>1450</u> 700	<u>3</u> 10	<u>250</u> 600	<u>150-180</u> 220-250	840-860	<u>650</u> 1250	<u>1</u> 3	<u>100</u> 250	<u>36-44</u> 50-55
СП20Х2Н2Д4	Не более 0,20	1 -1,5	Ni-1-1,5 Cu-3,5-4,5	<u>400</u> 700	<u>4</u> 10.	<u>200</u> 500	<u>150-170</u> 190-220	-	-	-	-	-

3 Улучшение физико-механических свойств материалов и деталей машин

Легированные и углеродистые стали без термической обработки (в состоянии поставки – отожженные) имеют лишь мало различающиеся между собой прочностные характеристики. В то же время, правильно проведенное упрочнение их (например, термической обработкой) позволяет реализовать значительно более высокие свойства легированных сталей. Именно поэтому использование легированных сталей без проведения специальной технологической обработки оказывается нецелесообразным. Основные методы улучшающей обработки следующие:

- 1) наклеп (механическое упрочнение);
- 2) термическая обработка;
- 3) химико – термическая обработка;
- 4) термомеханическая обработка;
- 5) нанесение на детали машин износостойких покрытий;
- 6) термомагнитная обработка.

Наклеп. С увеличением степени холодной ($0,15 - 0,2 T_{пл}$) деформации свойства, характеризующие сопротивление деформации (σ_b , $\sigma_{0,2}$, HV и др.), повышается, а способность к пластической деформации (пластичность δ) уменьшается. Это явление получило название наклепа.

Металлы с ГЦК решеткой упрочняются сильнее, чем металлы с ОЦК решеткой. В результате холодной деформации уменьшается плотность, сопротивление коррозии и повышается электросопротивление. Холодная деформация ферромагнитных металлов (например железа) повышает коэрцитивную силу и уменьшает магнитную проницаемость.

Термической обработкой – называется процесс нагрева стали до определенной температуры, его при данной температуре и последующее охлаждение с заданной скоростью с целью изменения структуры и получения необходимых свойств.

Основными методами термической обработки, изменяющими структуру и свойства стали и назначаемыми в зависимости от требований, предъявляемых к полуфабрикатам и готовым изделиям, являются отжиг, нормализация, закалка, отпуск (таблицы 3.1, 3.2, 3.3).

Различают два способа термомеханической обработки: высокотемпературный и низкотемпературный.

При высокотемпературной термомеханической обработке (ВТМО) сталь деформируют при температуре выше $A_{с3}$, при которой она имеет аустенитную структуру. Степень деформации развивается рекристаллизация, снижающая механические свойства. После деформации следует немедленная закалка во избежание развития рекристаллизации.

При низкотемпературной термомеханической обработке (НТМС) сталь деформируют в температурной зоне существования переохлажденного аустенита в области его относительной устойчивости ($400 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$): температура деформации должна быть выше точки M_n , но ниже температуры рекристаллизации. Степень деформации обычно составляет $75 - 95 \%$. Закалку осуществляют сразу после деформации.

Таблица 3.1 - Термическая обработка и механические свойства улучшаемых легированных сталей

Сталь	Температура закали, °С	Отпуск		$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа			δ , %	Ψ , %	КСИ, МДж/м	t^B , °С	t_H , °С
		Температура, °С	Среда охлаждения		Не менее							
40	860	500	Вода, масло	1000	800	10	45	0,6	0	-100		
50	830	520	-«-	1100	900	9	40	0,4	20	-60		
30ХГСА	880	540	-«-	1100	850	10	45	0,5	20	-60		
40ХН	820	500	-«-	1000	800	11	45	0,7	-30	-100		
40ХНМА	850	620	-«-	1100	950	12	50	0,8	-40	-120		
38ХНЗМА	850	600	воздух	1200	1100	12	50	0,8	-60	-140		

Таблица 3.2 - Обобщенные параметры типовых методов улучшения сталей

Метод улучшения	Дополнительные требования к методу улучшения	Эффективность применения метода	Типовые изделия, подвергаемые данному виду обработки
закалка объемная, отпуск средний, твердость по всему сечению 40-45 HRC	необходимость обеспечения требуемой прокаливаемости по сечению	повышение сопротивления хрупкому разрушению	пружины, рессоры
закалка объемная, отпуск высокий, твердость по всему сечению 25-40 HRC		повышение предела выносливости на 30-40 %, долговечности в 2-5 раз, предела контактной выносливости на 20-50 %, сопротивление фреттинг-коррозии в 2-5раз.	валы, оси, шатуны, детали ходовой части автомобилей, тракторов.
поверхностная закалка стали ТВЧ (глубина слоя 2-5 мм), низкий отпуск, твердость поверхностного закаленного слоя HRC 56-61, твердость сердцевины 20-25 HRC	расстояние между окончанием закаленной зоны и концентратором напряжений должно быть 5 мм.	повышение предела выносливости на 40-60 %, долговечности в 2-5 раз.	коленчатые валы, полуоси, распредвалы, зубчатые колеса, карданные валы.

Таблица 3.3 - Материалы и методы упрочнения, применяемых при изготовлении ответственных деталей металлорежущих станков

Наименование деталей и условия их работы	Материал	Метод упрочнения	Толщина упрочненного слоя, h, мм	Твердость поверхности, HRC
валы гладкие, ступенчатые шлицевые, испытывающие циклические нагрузки, а также контактные нагрузки	45, 40X, 40XГТР, 40X2НМА	объемная закалка с высоким, средним и низким отпуском	сквозная прокаливаемость	32-38 46-52
	45, 40X, 50XФА	поверхностная закалка с индукционным нагревом	1,0-1,6	48-56
	20X, 18XГТ	цементация с последующей закалкой	0,8-1,6	56-60
втулки, направляющие, гайки передач винт-гайка качения, кольца подшипников	ШХ15, ШХ15СГ	объемная закалка	—	58-62
винты передач винт-гайка качения, работающих в условиях трения качения	8XФ	поверхностная закалка с индукционным нагревом	2-8 в зависимости от шага резьбы	58-62
	7XГ2ВМ	объемная закалка	сквозная прокаливаемость	58-60
	20X3МВФ	азотирование	0,4-0,5	60-64
пиноли и гильзы	40X	поверхностная закалка индукционным нагревом	1,2-1,6	50-56
червяки: делительных пар, силовых вспомогательных передач	18XГТ, 12XН3А	цементация с последующей закалкой	1,0-1,4	58-62
	8X2МЮА	азотирование	0,35-0,45	64-68

К механическим методам упрочнения относятся следующие методы:

- дробеструйный;
- выглаживание;
- дорнование;
- обработка роликом или шариком.

Дробеструйная обработка производится при помощи направленного однородного потока дроби из высокопрочных материалов на поверхность изделия.

Выглаживание – это обработка тел вращения при помощи овализованного индентора (шарика, параболоида и т.п.).

Дорнование - процесс подобный протягиванию специальным калиброванным инструментом, не имеющим режущих кромок.

Обработка роликом производится для упрочнения тел вращения.

Анодно-механический метод основан на обработке роликом или другим видом механического воздействия с предварительным нагревом электротоком.

Отжиг - фазовая перекристаллизация, заключающаяся в нагреве выше A_{c3} с последующим медленным охлаждением. Отжиг обычно является предварительной операцией в процессе производства изделий и применяется для улучшения обрабатываемости стали давлением или резанием, а также в качестве подготовительной операции перед закалкой. При отжиге в результате распада аустенита обеспечивается равновесная ферритно-перлитная структура.

Неполный отжиг - это нагрев стали выше A_{c1} , но ниже A_{c3} с последующим медленным охлаждением. При неполном отжиге происходит только частичная фазовая перекристаллизация. Неполный отжиг проводится с целью снятия внутренних напряжений, снижения твердости, когда не требуется исправление структуры.

Разновидностью полного отжига является нормализация - нагрев стали выше A_{c3} выдержка для завершения фазовых превращений и последующее быстрое охлаждение на воздухе. После нормализации твердость и прочность стали выше, чем после отжига. Нормализация более экономичная операция, чем отжиг. Применима лишь для углеродистых и низколегированных сталей.

Изотермический отжиг – нагрев легированных сталей, как для полного отжига, сравнительно быстрое охлаждение до температуры лежащей ниже точки A_1 (обычно 660 - 680 °С). При этой температуре назначают изотермическую выдержку (3 - 6 часов) необходимую для полного распада аустенита, после чего следует охлаждение на воздухе.

Диффузионный отжиг или гомогенизация – нагрев стали выше критической точки A_{c3} на 150 - 300 °С, длительная выдержка при данной температуре и последующее медленное охлаждение с заданной скоростью. Проводится с целью выравнивания химического состава литой стали, которая обычно имеет сильную дендритную ликвацию. При диффузном отжиге сильно растет зерно поэтому для исправления структуры проводят дополнительно отжиг или нормализацию.

Закалка – нагрев стали выше температур фазовых превращений, выдержка при этой температуре и охлаждение со скоростью выше критической.

Дозвтектоидные стали подвергаются полной закалке, при этом оптимальной температурой нагрева является температура $A_{c3} + (30 - 50 \text{ }^\circ\text{C})$, заэвтектоидные стали подвергаются неполной закалке, при этом оптимальная температура нагрева $A_{c1} + (30 - 50 \text{ }^\circ\text{C})$. После закалки структура дозвтектоидной и эвтектоидной стали – мартенсит, заэвтектоидной – мартенсит и цементит повышающий твердость стали.

Отпуск – нагрев закаленной стали до температуры ниже A_{c1} , выдержка при заданной температуре и последующее охлаждение, обычно на воздухе. Цель отпуска - получение более устойчивого состояния стали, уменьшение внутренних напряжений; снижение твердости и хрупкости, повышение пластичности и ударной вязкости и придание окончательных свойств. Напряжение снимаются тем полнее, чем выше температура отпуска. Так, например, осевые напряжения в цилиндрическом образце из стали, содержащей 0,3 % С, в результате отпуска при $550 \text{ }^\circ\text{C}$ уменьшается с 600 МПа до 80 МПа.

Низкотемпературный (низкий) отпуск проводят в интервале температур $150 - 250 \text{ }^\circ\text{C}$. Среднетемпературный (средний) отпуск выполняют при температурах $350 - 500 \text{ }^\circ\text{C}$ и применяют главным образом для пружин и рессор, а также для штампов. Высокотемпературный (высокий) отпуск проводят при $500 - 680 \text{ }^\circ\text{C}$.

Хромистые стали относятся к дешевым конструкционным материалам. С увеличением содержания углерода в них повышается прочность, но снижается пластичность и вязкость, повышается порог хладноломкости. Хромистые стали склонны к отпускной хрупкости, устранение которой требует быстрого охлаждения от температуры высокого отпуска. Стали прокаливаются на глубину и применяются для деталей небольшого сечения $15 - 25 \text{ мм}$.

Улучшением называют термическую обработку конструкционных сталей, состоящую из закалки и высокого отпуска. Среднеуглеродистые конструкционные стали (35, 40, ... 50), в зависимости от требуемых свойств, применяются как в нормализованном состоянии, так и после других видов термической обработки, в том числе и после улучшения. При конкретном назначении марок стали необходимо учитывать их прокаливаемость. Из сталей этой группы изготавливают зубчатые колеса, валы, шатуны, другие детали.

Старение относится к разновидности термической обработки, при которой в закаленном без полиморфного превращения сплаве происходит распад пересыщенного твердого раствора. При старении закаленного сплава с течением времени его свойства изменяются без заметного изменения микроструктуры. Старения подразделяются на естественное, протекающее без воздействия температуры, и искусственное, протекающее при воздействии температуры. Деформационное (механическое) старение – это процесс протекания после пластической деформации, если она происходит при температуре рекристаллизации, и особенно при $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Деформационное старение развивается в течение $15 - 16$ суток при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и в течение нескольких минут при $200 - 250 \text{ }^\circ\text{C}$.

Обработка холодом заключается в охлаждении закаленной стали до температуры ниже нуля. Для уменьшения количества остаточного аустенита в закаленной стали применяют обработку холодом. Глубокому охлаждению под-

вергают инструментальные стали.

Патентирование - разновидность изотермической закалки. Для патентирования проволоку подвергают высокотемпературной аустенизации, для получения однородного аустенита, а затем пропускают через расплавленную сталь с температурой 450-550 °С. В результате аустенитного распада образуется тонко пластинчатый троостит или сорбит. Такая структура позволяет при холодной протяжке давать большие обжатия (более 75 %) без обрывов и после заключительного холодного волочения получить высокую прочность ($\sigma_b = 2000 - 2500$ МПа).

При нагартованном состоянии свойства будут сильно зависеть от степени наклепа (степени обжатия). При максимальном наклепе (обжатие 96 – 97 %) высокоуглеродистой стали (1,2 % С) достигается прочность, превышающая 4000 МПа. Очевидно, что после такой степени обжатия проволока получается очень тонкой. Действительно, рекордные значения прочности $\sigma_b = 4000 - 5000$ МПа получены были лишь на проволоке 0,1 мм из высокоуглеродистой стали после значительных обжатий (98 %).

Нагартованную проволоку тонких сечений после значительного обжатия используют для изготовления канатов и тросов. Обычно для этой цели применяют сталь с 0,6 - 0,8 % С, которая после обжатия до 80 – 90 % получает прочность 1800 - 3000 МПа.

Электротермическая обработка - метод термической обработки, при которой нагрев осуществляется электрическим током (индукционный нагрев, контактный). Она позволяет нагревать только поверхность изделия (например, при поверхностной закалке) или отдельные ее участки, является высокопроизводительным процессом. Химико-термической обработкой (поверхностным легированием) называют обработку, заключающейся в сочетании термического воздействия изменения химического состава, структуры и свойств в поверхностных слоях. Химико-термическая обработка сводится к диффузионному насыщению поверхностного слоя стали неметаллами (С, N, Si и др) или металлами Cu, Al и др. в процессе выдержки при определенной температуре в активной жидкой или газовой среде.

Химико-термическую обработку применяют для повышения твердости, износостойкости, сопротивления усталости и контактной выносливости, а также для защиты от электрохимической и газовой коррозии.

Цементацией называется химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали углеродом при нагреве. Различают два вида цементации: твердую и газовую. Для цементации обычно используют низкоуглеродистые (0,1 - 0,18 % С), чаще легированные стали. Для цементации крупногабаритных деталей применяют стали с более высоким содержанием углерода (0,2 - 0,3 %). Выбор таких сталей необходим для того чтобы сердцевина изделия, не насыщаясь углеродом при цементации, сохраняла высокую вязкость после закалки (таблица 3.4).

На цементацию детали поступают после механической обработки с припуском на шлифовании (50 – 100 мкм). Во многих случаях цементации подвергаются только части детали; тогда участки, не подлежащие упрочнению,

Таблица 3.4 – Влияние цементации на механические свойства сталей разного сечения

Марка стали	Сечение (толщина), мм	Режим термической обработки (t, °С)	σ_T	σ_y	δ	ψ	КСЦ Дж/см	НВ сердцевины
			МПа		%			
			не менее					
20ХН	50	Ц.920-950+3,880-820,в+Он,180-200	640	835	14	60	79	250
12ХН2	100	Ц.920-850,790-810,м+Он,180-200	590	785	12	45	69	249
12ХН3А	60	Ц.920-950+3,800-820,м+Он,160-200, воздух	830	980	12	55	118	302
12ХН3А	100	то же	685	832	10	50	78	250
20ХН3А	100	Ц.920-950+Н,870-890, воздух+Ов, 630-660+3,790-810,м+Он,180-200, возд	685	885	11	50	69	240
12Х2Н4А	40	отж,880-900	300	490	20	60	138	255
	60	Ц.920-950+3,780-800,м+Он,180-200	935	1180	10	50	9	302
	30	Ц.900-920+3,780-820,м+Он,180	1130	1180	10	55	9	288
Примечание - Твердость поверхности всех сталей 62 – 63 НРС								

защищают тонким слоем меди (20 – 40 мкм). Например, для автомобильных зубчатых колес с модулем 4 мм при увеличении толщины слоя с твердостью HV 750 от 0,2 до 0,5 мм на боковой поверхности зуба предел контактной выносливости цементованной стали повышается от 2200 до 2650 МПа.

Нитроцементацией называется процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали одновременно углеродом и азотом при температуре 840 - 850 °С в газовой среде, состоящей из науглероживающего газа и аммиака.

Азотированием называется процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом. Процесс азотирования весьма длительная операция. Так при обычном азотировании стали 38Х2МЮА диффузионную зону толщиной около 0,5 мм получают при 500-520 °С за 55 ч выдержки. Такую же толщину зоны можно получить за 40 ч, если применять двухступенчатый режим азотирования: 510 °С - 15 ч, 550 °С – 25 ч.

По сравнению с цементованными азотированные слои легированных сталей имеют более высокие твердость и износостойкость.

Цианированием называется процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом и углеродом одновременно при температуре 500 - 950 °С. Цианирование разделяют на высокотемпературное 800-950 °С и низкотемпературное при 500-600 °С. Низкотемпературное цианирование применяют для инструмента из быстрорежущей стали, а также и для среднеуглеродистых сталей.

Роль цементации, нитроцементации, азотирования и цианирования сводится к получению высоких значений твердости, прочности (контактной) и износостойкости, поверхностных слоев детали.

Борированием – называют химико-термическую обработку, заключающуюся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали бором при нагреве в соответствующей среде. Борирование чаще всего выполняют при электролизе расплавленной буры ($\text{Na}_2\text{B}_7\text{O}_{14}$). Изделие служат катодом. Температура насыщения 930-950 °С, выдержка 2 - 6 часов.

Диффузионный слой состоит из боридов FeB (на поверхности) и Fe_2B . Толщина слоев 0,1 - 0,2 мм. Борированный слой обладает высокой твердостью (1800-2000 HV), износостойкостью (главным образом абразивной), коррозионной стойкостью, окалиностойкостью (до 800 °С.) и теплостойкостью.

Борирование применяют для повышения износостойкости втулок грязевых нефтяных насосов дисков пяты турбобура, вытяжных, гибочных и формовочных штампов, деталей пресс-форм. Стойкость указанных деталей после борирования возрастает в 2 - 10 раз.

Силицирование – насыщение поверхностного слоя кремнием. Силицирование проводят для повышения стойкости изделий в морской воде, различных кислотах (серной, соляной, азотной), в порошковых смесях (70 % ферросилиция, 20 % шамота, 5 % HCl), но чаще в газообразной среде (SiCl_4) при 950 – 1000 °С. Силицированный слой представляет собой твердый раствор кремния в α -железе. Он отличается повышенной прочностью, глубина его 0,3 – 1 мм. Твердость силицированного слоя невысока (200-300 HV), но после предварительной пропитки маслом при 170-200 °С он обладает высокой износостойко-

стью. Силицированию подвергают детали оборудования для химической, нефтеперерабатывающей промышленности и т.п.

Алитирование – насыщение поверхностного слоя алюминием. В результате алитирования сталь приобретает окалиностойкость (до 850-900 °С), так как в процессе нагрева на поверхности алитированных изделий образуется плотная пленка окиси алюминия Al_2O_3 , предохраняющая металл от окисления. Алитированный слой обладает также хорошим сопротивлением коррозии в атмосфере и морской воде.

Структура алитированного слоя представляет собой твердый раствор алюминия в α -железе. Концентрация алюминия в поверхностной части слоя составляет 30 %. Толщина слоя 200 – 1000 мкм. Твердость алитированного слоя (на поверхности) до 500 HV, износостойкость низкая. Алитированию подвергаются топливники газогенераторных машин, чехлы термопар, детали различных ковшей, клапаны, а так же детали, работающие при высоких температурах.

Хромирование это насыщение поверхностного слоя стали хромом. Этот процесс обеспечивает повышенную устойчивость стали к газовой коррозии (окалиностойкость) при температурах до 800 °С, высокую коррозионную стойкость в таких средах, как вода, морская вода и азотная кислота. Хромирование сталей, содержащих свыше 0,3 – 0,4 % С, повышает также твердость и износостойкость. Твердость слоя хромированного железа 250 – 300 HV, а хромированной стали 1200 – 1300 HV.

Хромирование используется для деталей паросилового оборудования, пароводяной арматуры, клапанов, вентилях, патрубков, а также деталей, работающих на износ в агрессивных средах.

Термомеханическая обработка (ТМО) заключается в сочетании пластической деформации сталей в аустенитном состоянии с закалкой. Формирование структуры закаленной стали при ТМО происходит в условиях повышенной плотности, оптимального распределения дислокаций, обусловленных условиями горячей (тепловой) деформации.

4 Особенности использования сталей и сплавов при производстве деталей машин и аппаратов по отраслям

Развитие современного машиностроения в значительной степени зависит от прогресса и состояния технологии. Совершенствование технологических процессов определяет рост эффективности производства: повышение производительности труда, экономию материальных и энергетических ресурсов, а также качество продукции.

Для дальнейшего прогресса технологии машиностроения необходимо чтобы инженерно-технические работники промышленности научно обосновали подход к решению технологических проблем и достаточно хорошо знали достижения промышленности в области наиболее перспективных технологических процессов.

4.1 Особенности термической обработки деталей редукторов ведущих мостов, коробок перемены передач и мелких деталей шасси в условиях высокомеханизированного и автоматизированного производства

Высокие пределы выносливости при изгибе до 1000 МПа, контактной выносливости до 2000 МПа и износостойкости цементированных и нитроцементированных деталей, делает процессы термической обработки наиболее эффективными для тяжело нагруженных деталей автомобилей (таблицы 4.1, 4.2, 4.3). К этой группе деталей в первую очередь относятся шестерни, зубчатые колеса и валы коробок переменных передач, раздаточных коробок, редукторов ведущих мостов, а также остальные детали рулевого управления (рейка, поршень, вал, сошки руля и др.). Практика отечественных и зарубежных автозаводов показала, что удовлетворение всех возрастающих требований к прочности деталей из-за резкого роста скоростей и нагрузок связано с совершенствованием технологии химико-термической обработки, а не с повышением степени легированности стали.

При оценке пригодности любого варианта технологического процесса в условиях крупносерийного и массового производства решающее значение приобретает стабильность результатов его выполнения и свойств материала.

4.1.1 Особенности термической обработки крепежных деталей

Стандартные крепежные и мелкие стержневые или ступенчато-стержневые детали для автостроения изготавливаются на специализированных заводах или в крупных специализированных цехах автозаводов. С точки зрения формирования свойств таких изделий можно назвать два основных направления: изготовление деталей холодной высадкой или холодной объемной штамповкой из предварительно термически обработанной стали с упрочнением ее в процессе холодной деформации и изготовление деталей на токарных автоматах из неупрочненной стали с последующей окончательной термической обработкой. В каждом из названных направлений изготовления изделий важны

Таблица 4.1 – Рекомендации по режимам и применению ТВЧ

Детали	Рекомендуемый материал	Глубина закалики, мм	Твердость поверхности, HRC	Рекомендуемые частоты, кГц	Примечание
Валы	40	$\geq 2,5$	≥ 56	10	Возможна закалка отдельных зон
Рабочие части защелок, коромысел, клапанов храповиков		2 - 3	50 – 55	8	
Валы раздаточных коробок и коробок отбора мощностей		0,8 – 1,7	52 – 55	10	
Тонкие оси (штоки) амортизаторов	45	$\leq 4,0$	56 – 58	10	Закалка только в вертикальном положении Обязательный отпуск
Червяки рулевого управления		1,0 – 1,2 (по зубу)	58 – 60	Высокие частоты 100 – 700	
Оси коромысел клапанов		1,2 – 2,7	54 - 62	70	
поршневые пальцы	55	-	60-62 на глубине 1 мм 48-50	высокие частоты 100-700	закаливается только поверхность
шаровые пальцы	55 40X	5 % от диаметра на сторону	≥ 56	то же	контурная закалка сферы
зубчатые муфты и венцы (закалка зубьев)	50XM	$\leq 1,5$	58-62	высокие частоты 100-700	возможное предварительное улучшение
валы водяных насосов	ШХ15	≥ 1 (по впадинам)	≥ 58	10	
гильзы цилиндров	легированный серый чугун	1,8-2,5	44-46	8	закалка внутренней поверхности
шкивы коленчатого вала	серый чугун	1,3-2,7	≥ 40	-	закаливается цилиндрическая поверхность диаметром 62-63 мм

Таблица 4.2. - Режимы термической обработки деталей трансмиссии и двигателя, подвергаемых химико-термической обработке

Детали	Марка стали	Режимы термической обработки			Толщина слоя, мм	Твердость, HRC	
		Способ химико-термической обработки,	Температура диффузионного насыщения, °С	Температура нагрева под закалку, °С		поверхности	сердцевины
1	2	3	4	5	6	7	8
мелкие детали тормозной аппаратуры	08	нитроцементация	850 860 870	800 770 820	0,15-0,3 0,15-0,3 0,15-0,3	50-60 56-62 56-62	не оговаривается
мелкие детали кузовной арматуры и коробки перемены передач	10 10кп	то же	860	770	0,15-0,3	56-62 52-58	
мелкие детали силовых агрегатов (червяки, шестерни)	20	то же	860	770	0,15-0,3 0,8—0,5	56-62	
детали силовых агрегатов, работающие на износ (кольца, вкладыши, золотники)	35	нитроцементация цементация	860	860	0,5-0,7	<56	
	15X		850	850	0,3-0,5	56-62	
			940	850	0,7-0,9 0,9-1,3	56-62	
детали передней подвески	15X	цементация	940	810	0,6-1,0	56-62	
зубчатые колеса ведущих мостов легковых автомобилей	19ХГН	нитроцементация	870	800	0,8-1,1	58-63	32-45
шестерни ведущих мостов легковых автомобилей					0,8-1,1	59-64	32-45

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Шестерни ведущих мостов и раздаточных коробок грузовых автомобилей (модуль шестерни 5, 6, 10)	15ХГН2ТА 20ХГН2ТА	цементация	920	-	1,2-1,5	-	-
	12Х2Н4А	цементация	940	850	1,2-1,6	58-65	30-40
детали дифференциала (крестовины, сателлиты) детали главной передачи	18ХГТ	то же	940	850	1,2-1,6	56-62	-
	25ХГТ	нитроцементация	860	860	0,8-1,1	58-65	35-45
Материал основных деталей подвески отечественных автомобилей							
Наименование детали	ГАЗ-24 24,02	Москвич-412 ИЭ,-2140 и его модификация	ГАЗ-52-04-53А	ЗИЛ-130 ЗИЛ-ММЗ-555 и их модификация	МАЗ- 5335 533352, 5048, 5429, 5549	КАМАЗ -5320, 53212-5410, 54112, 5511-55102	
рессорные листы	сталь 50ХГА	сталь 50ХГА	сталь 50ХГ	сталь 60С2	сталь 60С2	передние сталь 60С2, задние 60С2ХГ	
Материал основных деталей подвески рам отечественных грузовых автомобилей							
Наименование детали	ЗИЛ-130-76,-13-80 ЗИЛ-ММЗ-555 и их модификация		ГАЗ-53А		МАЗ- 5335 533352, 5048, 5549		КАМАЗ -5320, 53212-5410, 54112, 5511-55102
лонжероны	сталь 14Г2АФ		сталь 25		сталь 19ХГС (ТУ 14-1-1640-76)		сталь 12ГЮТ, 15ГБТ, 22Г2ТЮ
поперечины передний бампер	сталь 14Г2 сталь 20		сталь 12ГС, 08ГСЮТ сталь 25		сталь 19ХГС сталь 20		сталь 15ГЮТ, 20ЮА сталь 20

Таблица 4.3 - Примеры использования и режимы изотермической закалки мелких автомобильных деталей

Марка стали	Детали	Режимы изотермической закалки			Твердость, HRC
		Температура аустенизации, °С	Температура изотермической выдержки, °С	Время изотермической выдержки, мин	
45	детали мелких цепей	880	330	10	40-42
50	специальные шайбы	820	350	10	43-45
	сложного профиля, мелкие штуцеры,	820	350	10	43-45
	пружинные шайбы	810	340	10	44-46
55	мелкие стремянки диаметром, мм; до 7 8-12 скобы, зажимы	880	340	10	42
				15	40
				10	40-45
60	Мелкие детали карбюратора, тормозной аппаратуры	820	320	10	4-50
У7				15	50-53
У8	стальные иглы топливной системы, спецарматура	820	230	20	60-62
65Г	тарельчатые пружины	820	370	10	46-48
	мелкие детали тормозной аппаратуры:				
	шайбы	820	340	10	40-50
	кольца стопорные	820	340	10	45-50
	кольца упорные	820	340	10	43-48
40Х	втулки	850	280	20	53-56
	мелкие кольца	850	270	20	53-56
50С2	защелки замков	850	310	12	50-52

компоновка термических отделений, их назначение, размещение и тип агрегатов, порядок операций различны. Следует, однако, отметить, что в ряде случаев, особенно для ответственных тяжело нагруженных нормалей (болты, крышки шатуна, моторные шпильки, гайки сцепления, затяжки стремянок редукторов ведущих мостов и др.) их, несмотря на упрочнение в процессе объемной холодной штамповки, необходимо подвергать окончательной термической обработке (таблица 4.4), а особенно сильно изнашиваемые - нитроцементации или цианированию.

Окончательная термическая обработка нормалей обычно включает улучшение, цианирование или нитроцементацию с последующим отпуском на требуемую твердость, либо изотермическую закалку с отпуском. Последнюю используют обычно для мелких малосимметричных деталей и деталей

Таблица 4.4 – Технология термической обработки стандартных крепежных деталей

Детали	Марка стали	Режимы термической обработки			Толщина слоя после химико-термической обработки, мм	Твердость	
		Цианирование или нитроцементация		Закалка, t °C			
		Температура, °C	Среда охлаждения				
Болты	10, 15, 20, 30, 35	-	-	-	550-600	-	
Заклепки, болты, штифты, шпонки	10, 15, 35	-	-	-	680-700	-	
Шурупы, винты, болты	15, A12	860±10	B	-	210±10	0,05-0,20	≥HRC 56
Валики, оси, втулки, штифты	10, A12	860±10	B	-	210±10	0,15-0,3	≥HRC 56
Втулки распорные	10	870±10	-	850±10	160±10	0,15-9,3	HRC 56-62
Гайки крепления колеса	A12, 20	860±10	-	770±10	160±10	0,15-0,3	HRC 56-62
Шайбы упорные					200±10	0,3-0,5	
Втулки рычага	A12	860±10	B	-	210±10	0,4-0,6	≥HRC 56
Втулки, болты, гайки, шпильки	35	-	-	850-860	440±20 660±20 640±40	-	HRC 35-42 HB 267-313 HB 187-241
Штифты, гайки, втулки	45	-	-	850+10	565±15 625±25 440±20	-	HB 214-269 HB 207-241 HB 313-347
Болты, шпильки	4X, 40XH2MA	-	-	840-850	550-600	-	HB 298-337
Болты, Болты, винты Шпильки, Гайки	40 ХН	-	-	840+10	520±20 630-680 600-650 600-650	-	HB 347-406 HB 241-285 HB 267-313 HB 267-313
Гайки, болты шатуна	40ХН	-	-	840+10	600±20	-	HB 267-298
Гайки					640±10		HB 279-313
Болты, крышки шатуна	40ХН	-	-	860+10	590-640		HB 291-337

автомобильной арматуры из-за повышенной склонности их к короблению при закалке или повышенных требованиях к их конфигурации и размерам.

Следует отметить, что для получения требуемых свойств указанных деталей в достаточно узком интервале необходима тщательная отработка технологического процесса термической обработки и соблюдения специфических требований к оборудованию.

4.1.2 Термическая обработка в потоке механосборочного производства

Развитие высокоскоростных методов нагрева металлов и сплавов и разработка кратковременных процессов с использованием электроимпульсной, взрывной энергии или энергии лазерного нагрева создали возможность местного упрочнения практически любых автодеталей в потоке механосборочного производства на уровне производительности современных автоматических линий холодной обработки металлов.

Локальное упрочнение чугунных или алюминиевых деталей (корпусов коробок перемены передач, рулевого механизма и насосов блоков и др.) в зоне интенсивного износа, в том числе и в труднодоступных внутренних полостях, открывает новые пути существенного снижения массы литых деталей и изменения их конструкции.

Создаваемое лучом лазера поверхностное упрочнение формирует износостойкую поверхность, успешно работающую в абразивной, кислой и щелочных средах, что особенно важно для некоторых деталей ходовой части, шасси, кузовных приспособлений, специальных строительных и дорожных машин.

Названные методы имеют значительные перспективы, однако в настоящее время основными операциями термической обработки, включенными в поток механосборочного производства, являются различные способы индукционного нагрева с частотами от 2,5 до 400 кГц.

В условиях современного производства, когда индукционному нагреву подвергают десятки тысяч деталей (до 30 % по массе от всех производимых моделей), качество термической обработки в этих условиях может быть обеспечено лишь при строгой технологической схеме и соответствующем оборудовании. Поэтому технология термической обработки с использованием нагрева ТВЧ должна быть строго индивидуальна даже на идентичных по назначению деталях, а в ряде случаев, различна и для отдельных частей одной и той же детали.

Разработка методов поверхностной закалки при глубинном индукционном нагреве позволила использовать закалку при индуктивном нагреве, как комплексный способ упрочнения, одновременно повышающий сопротивление статическим и усталостным нагрузкам при изгибе, при высоком уровне контактной усталости и сопротивление износу. В этом случае при соответствующем выборе стали, и режима обработки обеспечивается получение мартенситной структуры в поверхностном слое и улучшение свойств сердцевины.

4.1.3 Динамическое старение

Динамическое старение – это новый технологический процесс, существенно улучшающий свойства пружинных сталей.

Процесс динамического старения, как вид релаксационной обработки, включает следующие операции, проводимые после обычной закалки:

1) низкотемпературный предварительный отпуск при 150 - 170 °С (пружины из кремнистой стали, стали 50ХФА) или при 300 °С (пружины из стали У8А);

2) нагружение пружин обычно в том же направлении, или точнее по той же схеме, что в процессе их службы до напряжений, примерно равных пределу упругости с допуском на остаточную деформацию $5 \cdot 10^{-3} \% (\sigma_{0,005})$ при температуре последующего отпуска (старения);

3) окончательный отпуск при температуре, зависящей, от состава стали и условий эксплуатации так, для 50ХФА эта температура соответствует 250 - 380 °С, для стали 60С2 200-360 °С, для стали У8А – 400 – 420 °С.

Динамическое старение используют для упрочнения таких упругих элементов, как, например, трубка Бурдона для манометров из стали 50ХФА, измерительные витые пружины из стали 50ХФА для испытания машин и др., что позволяет повысить надежность и класс точности приборов.

4.1.4 Сельскохозяйственное машиностроение. Термическая обработка мелких деталей

В тракторном и сельскохозяйственном машиностроении к массовым мелким деталям относятся детали роликовых цепей (ролики, втулки, пластины), корпуса пресмасленок консистентной смазки, ниппели рукавов высокого давления, самонарезающий и самоконтрящийся крепеж, нормали, пружинные шайбы, оси, фланцы и др.

Мелкие детали изготавливают из сталей 08кп, 10, 15, 10ХВГ и др. Широкое распространение получают новые способы изготовления мелких деталей методом листовой штамповки и холодного выдавливания.

Решающее влияние на качество термической обработки мелких деталей оказывают размещение деталей в рабочем пространстве печи во время нагрева, способ погружения в них в закалочную жидкость, интенсивность охлаждения всей закаливаемой массы деталей.

На термическую обработку мелкие детали должны поступать в готовом виде без последующей термической обработки, поэтому технический процесс и выбранное оборудование должны предохранять детали, в частности детали с наружными резьбами, от окисления, обезуглероживания, забоин и других повреждений.

В условиях массового производства мелкие детали в печах не рекомендуется располагать «навалом» (в подвижном состоянии), так как при этом не обеспечивается равномерный нагрев, равномерное смывание технологическим газом наружных и внутренних поверхностей деталей. За время перемещения из

рабочей зоны печи до закалочной жидкости мелкие детали не должны чрезмерно подстуживаться во избежание неполной закалки. Особенно хорошо при термической обработке валов использовать нагрев ТВЧ. Твердость после закалки 55 - 64 HRC, глубина закаленного слоя от 3 до 9 мм (таблица. 4.5).

Основными видами термической обработки мелких деталей является: нитроцементация, цементация, светлая закалка, безокислительный отжиг с применением контролируемых атмосфер и отпуск.

Таблица 4.5 – Марки стали, применяемые для высококачественной, высокочастотной поверхностной закалки

Марка стали	Содержание С, %	Твердость закаленного слоя после отпуска, HRC	Максимально достижимая глубина закаленного слоя, мм
Углеродистые стали			
35	0,32 - 0,40	50 - 55	3
40	0,37 - 0,45	53 - 58	
45	0,42 - 0,50	55 - 60	4
50	0,47 - 0,55	57 - 62	
60	0,55 - 0,65	59 - 63	
70	0,65 - 0,75	60 - 64	
35Г2	0,30 - 0,40	53 - 58	5
40Г2	0,35 - 0,45	54 - 59	
45Г2	0,40 - 0,50	56 - 61	
50Г	0,45 - 0,55	57 - 62	
65	0,60 - 0,70	59 - 63	
У7-У2	0,65 - 1,24	60 - 64	2
Легированные стали			
40Х	0,35 - 0,45	54 - 59	6
40ХС	0,37 - 0,45	54 - 59	
40ХНМ	0,36 - 0,44	55 - 60	
9Х	0,80 - 0,95	63 - 67	8
ШХ15	0,95 - 1,10	62 - 64	

4.1.5 Химико-термическая обработка шестерен

В отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения изготавливаются около 50 млн. шестерен в год, в том числе цилиндрических шестерен коробок перемены передач, трансмиссии и шестерен газораспределения двигателей. Основным методом обеспечения долговечности зубчатых колес является химико-термическая обработка (таблица 4.6)

Основное направление развития и совершенствования процессов нитроцементации и цементации – проведение этих процессов в комплексных автоматических линиях (безмуфельных агрегатах) с зональным регулированием состава атмосферы и полной автоматизации управления технологическим процессами.

Таблица 4.6 - Примеры упрочнения деталей сельхозмашин

Наименование машин и рабочего органа	Допустимый радиус закругления, мм	Толщина слоя, мм		Твердость слоя	
		упрочненного	основного	HRC, упрочненного	HV, основного
Лемехи плугов различного назначения:					
П7702	1,1	1,4-2,0	1,5-2,1	48-54	180-250
ПО1702	1,2	1,2-2,0	3,0-3,5	58-62	180-250
П7702Б	1,1	1,4-2,0	3,0-3,5	48-54	180-250
Лемехи предплужника	1,0	1,2-2,0	2,5-3,0	58-62	180-250
глубокорыхлителя	0,7	0,8-1,2	-	48-62	190-280
гузоуборочной машины	0,7	0,6-1,2	1,2-2,0	58-62	190-280
Лапы культиваторов:					
стрельчатая	0,3	0,3-0,65	1,0-1,4	58-62	190-280
односторонняя (бритва)	0,3	0,3-0,65	1,0-1,4	58-62	190-280
Ножи:					
силосорубочного комбайна СК-2,6	0,5	0,3-0,45	0,4-0,8	48-54	190-280
скирдореза СНТ-7	0,25	0,3-0,8	0,6-1,2	58-62	150-220
измельчителя КИР	0,25	0,3-0,5	0,6-1,2	58-62	190-280
погрузчика силоса ПСМ-1М	0,25	0,3-0,5	0,6-1,2	58-62	190-280
свеклоуборочного комбайна	1,2	1,4-2,0	2,0-3,5	48-54	150-220
кукурузоуборочного комбайна ККХ	0,3	0,3-0,6	0,6-1,2	58-62	90-280

В настоящее время разработаны и внедрены высокопроизводительные безмуфельные агрегаты, предназначенные для выполнения различных вариантов химико-термической обработки шестерен и других деталей из различных легированных сталей.

В тракторном машиностроении имеется группа зубчатых колес сложной конфигурации (ведомые шестерни главных передач, задних мостов и бортовых передач тракторов и самоходных шасси и некоторые шестерни коробки перемены передач), закалку которых с целью повышения точности изготовления необходимо повышать в фиксированном состоянии в штампах специальных прессов.

Закалочные процессы позволяют регулировать передаваемое на деталь

усилие в широких пределах, как в осевом, так и в радикальном направлении, осуществлять пульсацию нагрузки, регулировать подачу масла в процессе охлаждения деталей. В некоторых конструкциях прессов автоматическое устройство передает деталь со стола на нижнюю матрицу штампа: после закалки деталь автоматически передается в бак для окончательного охлаждения, а затем выдается на разгрузочные позиции.

На Челябинском тракторном заводе агрегатов внедрен технологический процесс малодеформационной закалки цементованных шестерен коробки перемены передач с модулем зуба 6-7 из стали 20ХГНР на автоматической линии.

4.1.6 Термическая обработка коленчатых валов

Многими исследованиями доказано отрицательное влияние правки валов на их усталостную прочность. В связи с этим предварительная и окончательная термическая обработка должна обеспечивать минимальное коробление валов при их изготовлении, что наиболее легко достигается при нагреве в вертикальном положении. Необходимо также обеспечивать высокую усталостную прочность валов, высокую износостойкость коренных и шатунных шеек. Это осуществляется путем выбора состава стали и технологии упрочняющей обработки (термической и химико-термической обработки, поверхностью - пластической деформации).

Установлено что основным критерием при выборе марки стали для коленчатого вала должна быть прокаливаемость, что оптимальной является сталь критическая скорость охлаждения которой позволяет достигать выбранных температур переохлаждения аустенита на глубине припуска на механическую обработку. Применение стали более высокой прокаливаемости, т.е. увеличение легирующих элементов в стали не целесообразно и может привести к увеличению деформации и понижению усталостной прочности (сравнивались стали 45 45Ф, 45ХФ, 40ХГФ). Применение стали более высокой прокаливаемости 45РП при изготовлении коленчатых валов двигателей ЯМЗ-236 с последующей закалкой шеек и галтелей позволяет повысить их предел выносливости на 93 % против 46 % у стали 50Г. Однако при этом колебание (против средней коренной шейки) достигает 0,4 мм.

Для литых коленчатых валов рекомендуется применять чугун, легированный медью (0,5-0,7 %), что позволяет заменить технологический процесс изотермической закалки нормализацией, повысить усталостную прочность валов и уменьшить склонность к задирам.

Для упрочнения коленчатых валов широкое применение нашли два метода: поверхностная закалка ТВЧ коренных и шатунных шеек и химико-термическая обработка (азотированная и низкотемпературная нитроцентрация).

4.1.7 Термическая обработка деталей ходовой части тракторов

Ответственные детали ходовой системы гусеничных тракторов (опорные катки, ведущие и направляющие колеса, ролики, звенья гусениц, пальцы и

втулки звеньев гусениц) в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному образованному износу.

Износостойкость этих деталей зависит от материала, технологии термической обработки, твердости и глубины закаленного слоя. В связи с этим пути повышения долговечности деталей ходовой части заключаются в разработке более износостойких материалов и создании прогрессивных технологических процессов упрочнения.

Применение стали 35ГТРЛ (0,30 - 0,40 % С; 0,9 - 1,5 % Мn; 0,3 - 0,9 % Тi; 0,001-0,003 % В; $\leq 0,06$ % Р; $\leq 0,05$ % S) взамен стали 35ЛШ (ГОСТ 977-88) позволило повысить гарантийный срок службы опорных катков.

Легирование стали 45Л ванадием (0,06 - 0,16 %), осуществляемое с помощью ванадиевого шлака, позволило значительно повысить ее твердость, прокаливаемость, износостойкость. Закаливание ТВЧ опорные катки, ведущие и направляющие колеса из стали 45ФЛ удовлетворяют требованиям по твердости на поверхности (не менее 50 HRC) и на глубине 8 - 9 мм имеют долговечность на 25 – 30 % выше, чем из стали 45Л.

Литые звенья гусениц тракторов изготавливают из стали 110Г13Л или 35ГТРЛ, штампованные – из стали 40ГТР.

Сочетание высокой вязкости и способности к наклепу с отличной износостойкостью обеспечили стали 110Г13Л широкое применение.

Изменением марки стали пальца можно обеспечивать повышение долговечности гусениц, так применение сталей 60Г, 65Г (звено гусеницы из стали 110Г13Л) взамен стали 50 и 55 для изготовления пальцев позволяет повысить ресурс гусеницы на 10 – 15 %.

4.1.8 Применение термообработки в подшипниковой промышленности

В соответствии с условиями работы, характеризующейся сложным комплексом возникающих в металле напряжений, подшипниковая сталь должна обладать высокой твердостью, износостойкостью и контактной выносливостью, а также высокой вязкостью и прочностью, определяющими способность детали противостоять значительным статическим и динамическим нагрузкам.

Износостойкость является важной характеристикой стали, так как при работе подшипника имеет место трение от проскальзывания детали при наличии значительных контактных переменных нагрузок. С увеличением твердости возрастает сопротивление износу.

Среди множества фактов снижающих долговечность подшипниковой стали наиболее опасными считаются неметаллические включения, так как детали подшипников работают с точечным линейным контактом рабочих поверхностей.

Неблагоприятное воздействие включений на усталостные свойства деталей зависит от их количества, величины, природы и распределения их в металле (главным образом от доли оксидных включений). Контактная выносливость подшипниковой стали уменьшается с повышением в металле кислорода.

4.1.8.1 Термическая обработка деталей подшипников из сталей ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ

На поверхности колец перед закалкой не должно быть глубоких токарных рисок, вмятин, ожогов, ржавчин, а также галтели колец должны иметь плавные переходы. Кроме того, кольца, подвергающиеся нагреву в защитной атмосфере, должны быть чистыми и сухими без следов масла и эмульсии. Нагрев колец под закалку проводится в конвейерах, рольганговых, камерных электропечах сопротивления и печах с пульсирующим подом, в основном с применением эндотермической защитной атмосферы, а при нагреве крупногабаритных колец диаметром свыше 500 мм – в шахтных печах.

Температура нагрева под закалку устанавливается в зависимости от исходной структуры и закалочной среды, но она должна быть такой, чтобы концентрация углерода в твердом растворе после закалки была в пределах 0,55 - 0,65 % при общем содержании его в стали 1,0 - 1,2 %.

В качестве охлаждающей среды используется масло И12А, И20А с температурой 30-60 °С.

Отпуск закаленных и охлажденных до +20 °С колец проводится в электропечах сопротивления с циркуляцией воздуха, в калориферных печах или масляных ваннах (не позднее, чем через 3 ч, в случае применения печей периодического действия).

Температура отпуска для сталей ШХ15 должна быть 150-165 °С, сталей ШХ15СГ, ШХ20СГ – 160-175 °С с выдержкой в ваннах не менее 2 ч, и в печах не менее 3 ч. Выдержка при отпуске массивных и крупногабаритных деталей соответственно увеличивается.

5 Неметаллические материалы

5.1 Древесные материалы

Древесина представляет собой природный материал растительного происхождения, и это определяет ее свойства.

Древесина состоит из органических веществ: содержит от 43 до 54 % целлюлозы ($C_6H_{10}O_5$), 19-29 % лигнина, остальное - низкомолекулярные углеводы и другие компоненты. Свойства древесины обуславливаются ее строением.

Достоинствами древесины, как конструкционного материала, являются: достаточно высокая прочность и небольшой объемный вес, следовательно, высокая удельная прочность; древесина хорошо сопротивляется ударным и вибрационным нагрузкам. Теплофизические свойства древесины характеризуются малой теплопроводностью и в 2-3 раза меньшим, чем у стали, низким коэффициентом температурного расширения. Химическая стойкость древесины высокая к ряду кислот, солям, маслам, газам. Важными свойствами древесины являются ее способность к склеиванию, возможность быстрого соединения гвоздями, шурупами, легкость механической обработки и гнутья. Наряду с указанными достоинствами древесина имеет ряд недостатков: гигроскопичность; склонность к поражению грибковыми заболеваниями; отсутствие огнестойкости; низкий модуль упругости; анизотропия механических свойств; неоднородность строения, в результате которой свойства материала различны не только в пределах одной породы, но и в пределах одного ствола. Недостатки древесины преодолимы при правильном проектировании, эксплуатации и изготовлении с использованием современных средств защиты от гниения и возгорания.

Лесоматериалы – это материалы, получаемые путем поперечного и продольного пиления поваленных деревьев и их частей.

Лесоматериалы различаются между собой по внешнему виду и способу переработки. Лесоматериалы по способу обработки делятся на несколько видов: круглые, колотые и пиленые.

Круглые лесоматериалы представляют собой отпиленные от корневой части, очищенные от сучьев, часто и от коры отрезки ствола разной толщины, круглые в сечении, которые получают поперечным делением (распилком).

Пиленые лесоматериалы получают при продольной и последующей поперечной распиловке бревен. В зависимости от размеров поперечного сечения пиломатериалы делятся на брусья, бруски, доски, пластины, четвертины и горбыль (рисунок 5.1).

Брусья - пиломатериалы толщиной и шириной более 100 мм.

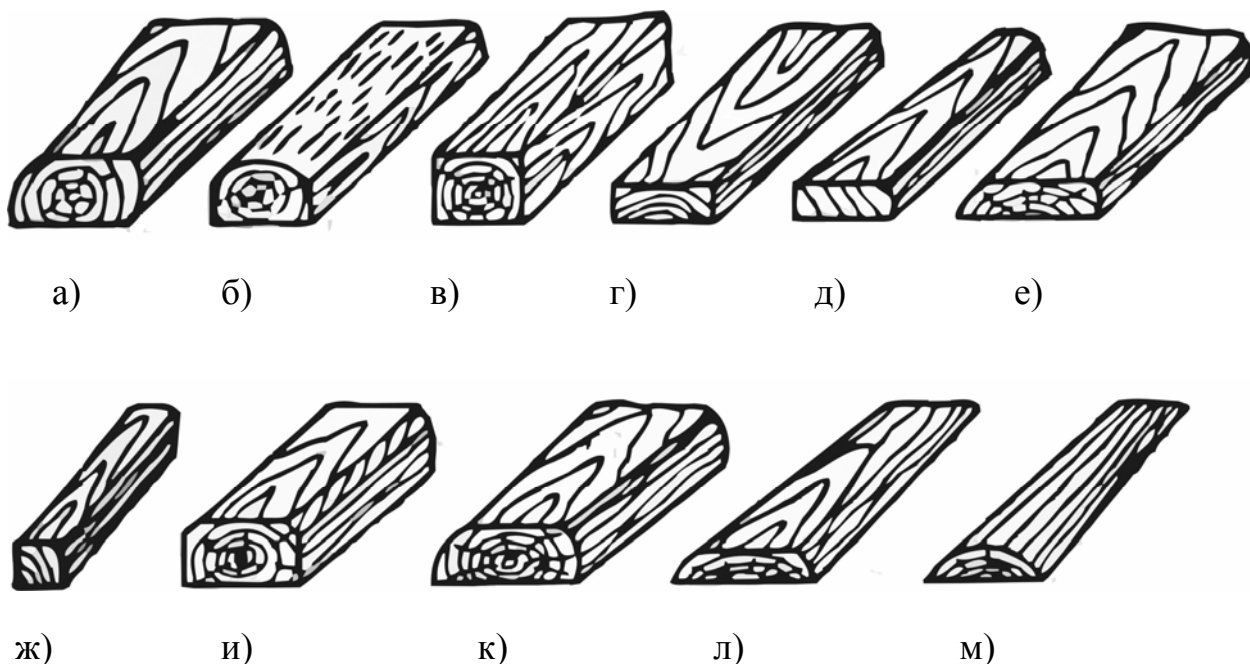
Бруски - обрезной пиломатериал толщиной до 100 мм, шириной не более двойной толщины.

Обапол - пилопродукция, получаемая из боковой части бревна и имеющая одну пропиленную, а другую непропиленную или частично пропиленную поверхности.

Шпалы - пиломатериалы в виде бруса, имеющие крупное поперечное сечение (предназначены для укладки под рельсы железных дорог).

Пластина - распиленное бревно по продольной оси ствола.

Четверть (четвертина) - распил бревна по двум взаимно перпендикулярным диаметрам на 4 части.



а – двухкантный брус, б – трехкантный брус, в – четырехкантный брус, г – доска обрезная, д – доска односторонняя обрезная, е – доска необрезная, ж – брусок, и – шпала обрезная, к- шпала необрезная, л – обапол дощатый, м – обапол горбыльный

Рисунок 5.1 - Виды пилопродукции

Горбыль - срезанная при распиловке боковая часть бревна.

Планки - пиломатериалы толщиной от 60 до 80 мм, шириной от 120 до 160 мм.

Рейки - плоские бруски, тонкие узкие доски.

Доски - обрезной пиломатериал толщиной до 100 мм и шириной более двойной толщины. Все доски, которые получают при распиловке даже одного бревна (ствола дерева) неодинаковы по структуре и отличаются по качеству.

К механическим свойствам древесины относятся: прочность, твердость, жесткость, ударная вязкость и другие. Прочность древесины зависит от направления действия нагрузки, породы дерева, плотности, влажности, наличия пороков.

Существенное влияние на прочность древесины оказывает только связанная влага, содержащаяся в клеточных оболочках. При увеличении количе-

ства связанной влаги прочность древесины уменьшается (особенно при влажности от 20 до 25 %). Дальнейшее повышение влажности за предел гигроскопичности (30 %) не оказывает влияния на показатели прочности древесины. Кроме влажности на показатели механических свойств древесины оказывает влияние и продолжительность действия нагрузок. Различают основные виды действий сил: растяжение, сжатие, изгиб, скалывание.

Предел прочности на растяжение. Средняя величина предела прочности при растяжении вдоль волокон при влажности 12 % составляет примерно 190 МПа. На прочность при растяжении вдоль волокон оказывает большое влияние строение древесины. Даже небольшое отклонение от правильного расположения волокон вызывает снижение прочности.

Прочность древесины при растяжении поперек волокон очень мала. Поэтому древесина почти не применяется в деталях, работающих на растяжение поперек волокон.

Предел прочности при сжатии. При сжатии вдоль волокон деформация выражается в небольшом укорочении образца. Разрушение при сжатии начинается с продольного изгиба отдельных волокон, которое во влажных образцах из мягких и вязких пород проявляется как смятие торцов и выпучивание боков, а в сухих образцах и в твердой древесине вызывает сдвиг одной части образца относительно другой.

Средняя величина предела прочности при сжатии вдоль волокон составила примерно 50 МПа.

Прочность древесины при сжатии поперек волокон ниже, чем вдоль волокон примерно в 8 раз. При сжатии поперек волокон не всегда можно точно установить момент разрушения древесины и определить величину разрушающего усилия.

Предел прочности при статическом изгибе. При изгибе, особенно при сосредоточенных нагрузках, верхние слои древесины испытывают напряжение сжатия, а нижние - растяжения вдоль волокон. Примерно посередине высоты элемента проходит плоскость, в которой нет ни напряжения сжатия, ни напряжения растяжения. Эту плоскость называют нейтральной; в ней возникают максимальные касательные напряжения. Предел прочности древесины зависит от породы и влажности. В среднем для всех пород прочность при изгибе составила 100 МПа, то есть в 2 раза больше предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Твердость - это свойство древесины сопротивляться внедрению твердого тела определенной формы. Твердость торцевой поверхности выше твердости боковой поверхности на 30 % у лиственных пород и на 40 % у хвойных. По степени твердости все древесные породы можно разделить на три группы:

- мягкие - торцевая твердость 40 МПа и менее (сосна, ель, кедр, пихта, можжевельник, тополь, липа, осина, ольха, каштан);

- твердые - торцевая твердость 40,1 - 80 МПа (лиственница, сибирская береза, бук, дуб, вяз, ильм, карагач, платан, рябина, клен, лещина, орех грецкий, хурма, яблоня, ясень);

- очень твердые - торцовая твердость более 80 МПа (акация белая, береза железная, граб, кизил, самшит, фисташки, тис).

Ударная вязкость характеризует способность древесины поглощать работу при ударе без разрушения, определяется при испытаниях на изгиб. Ударная вязкость у древесины лиственных пород в среднем в два раза больше, чем у древесины хвойных пород.

Износостойкость - способность древесины сопротивляться изнашиванию, т.е. постепенному разрушению её поверхностных зон при трении.

Основные физико-механические свойства древесины приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Основные физико-механические свойства древесины (при влажности 12 %)

Показатели	Породы					
	Хвойные			Лиственные		
	Лиственница	Сосна	Ель	Дуб	Берёза	Осина
Плотность ρ , г/см ³	0,66	0,50	0,445	0,69	0,63	0,495
Предел прочности вдоль волокон, МПа:						
при сжатии	64,5	48,5	44,5	57,5	55,0	42,5
при статическом изгибе	111,5	86,0	79,5	107,5	109,5	78,0
при растяжении	125,0	103,5	103,0	–	168,0	125,5
Предел прочности при скалывании вдоль волокон, МПа:						
радиальном	9,9	7,5	6,9	10,2	9,3	6,3
тангенциальном	9,4	7,3	6,8	12,2	11,2	8,6
Ударная вязкость, кДж/м ²	52	41	39	77	93	84
Твёрдость, МПа						
торцовая	43,5	28,0	26,0	67,5	46,5	26,5
боковая	29,0	24,0	18,0	52,5	35,0	20,0
Модуль упругости при изгибе, ГПа	14,3	12,1	9,6	–	14,2	11,2

К материалам, полученным путем специальной обработки древесины, можно отнести фанеру, прессованную и модифицированную древесину, древесностружечные и древесноволокнистые плиты и др.

Древесностружечные плиты изготавливают методом прессования древесных частиц, смешанных со связующим, используют для производства мебели,

в строительстве, машиностроении, радиоприборостроении и в производстве тары. Применение плит для конкретных видов продукции устанавливается по согласованию с органами санитарно-эпидемиологического надзора в соответствующих стандартах и технических условиях.

Плиты подразделяют:

- по конструкции - однослойные, трехслойные и многослойные;
- по физико-механическим показателям – на марки П-А и П-Б;
- по качеству поверхности – на I и II сорта;
- по виду поверхности – с обычной и мелкоструктурной (М) поверхностью;
- по степени обработки поверхности – на шлифованные (Ш) и нешлифованные;
- по гидрофобным свойствам – с обычной и повышенной (В) водостойкостью;
- по содержанию формальдегида – на классы эмиссии E1, E2.

К физическим свойствам древесины относятся: внешний вид, запах, показатели макроструктуры, влажность и связанные с ней изменения (усушка, разбухание, растрескивание, коробление), плотность, электро-, звуко- и теплопроводность.

Внешний вид древесины характеризуется следующими свойствами: цветом, блеском, текстурой и макроструктурой.

Средняя влажность в свежесрубленном состоянии составляет: для ели – 91 %, для лиственницы – 82 %, для березы – 78 %, для дуба – 50 %.

Древесину, полученную после сушки при температуре 105 °С с полным выделением всей гигроскопической влаги, называют абсолютно сухой древесиной.

По длине доски могут изгибаться при несоблюдении технологии сушки, принимая дугообразную форму или форму винтовой поверхности (крыловатость). Первый вид продольного коробления встречается у досок, содержащих ядро и заболонь (усушка ядра и заболони по длине волокон несколько различается).

Для защиты древесины от увлажнения, загнивания и воспламенения деревянные элементы с помощью гидроизоляционных прокладок изолируются от непосредственного соприкосновения с водой, бетоном и металлическими конструкциями, на которых может конденсироваться влага. Применяется защита лакокрасочными покрытиями, но они не обеспечивают 100 % предохранения древесины от увлажнения. Из химических мер защиты от загнивания применяется антисептирование.

Антисептирование производится после окончательной механической обработки древесины путем поверхностной промазки, опрыскивания, погружением в ванну с раствором антисептика, пропиткой под давлением.

Древесина легко воспламеняется от огня (точка воспламенения от 330 до 470 °С) и требует мер для повышения ее огнестойкости (хотя сделать древесину совсем несгораемой нельзя). Первый и наиболее эффективный способ защиты – пропитка химическими веществами – антипиренами, второй – окраска огнеза-

щитными красками. При нагревании эти вещества или плавятся, образуя на поверхности древесины огнезащитную пленку (препятствует доступу к древесине кислорода), или разлагаются, выделяя большое количество негорючих газов. Обработанная антипиренами древесина при действии огня только тлеет и после его удаления быстро гаснет. Огнестойкость такой древесины повышается в три-четыре раза.

Огнезащитные краски должны быть негорючими и нетеплопроводными. При нагревании краска плавится, пенится, покрывая поверхность древесины защитной пленкой. Примером таких красок являются силикатные краски на основе жидкого стекла. Однако такие краски имеют низкую атмосферостойкость. Из лакокрасочных покрытий хорошими защитными свойствами обладают перхлорвиниловые.

5.2 Пластмассы

Пластмассы (пластические массы, пластики). Большой класс полимерных органических легко формуемых материалов, из которых можно изготавливать легкие, жесткие, прочные, коррозионностойкие изделия.

Эти вещества состоят в основном из углерода (С), водорода (Н), кислорода (О) и азота (N). Все полимеры имеют высокую молекулярную массу, от 10 000 до 500 000 и более; для сравнения, кислород (O₂) имеет молекулярную массу 32. Таким образом, одна молекула полимера содержит очень большое число атомов.

Большинство пластмасс представляют собой сложную смесь различных компонентов, среди которых основное место занимают полимеры. Пластмассы, получаемые на основе синтетических смол или их композиций с различными наполнителями, легко перерабатываются в детали и изделия и удовлетворяют самым разнообразным требованиям в машиностроении и авиационной техники. Они могут быть широко использованы не только как замена металлов, но и как основные конструкционные материалы для изготовления ответственных деталей и узлов машин и летательных аппаратов.

Пластмассам присущи свойства, выгодно отличающие их от других материалов. К их числу относятся: простота изготовления сложных деталей и изделий с минимальными последующими доработками; малая плотность деталей и изделий, не превышающая 2500 кг/м³ (в большинстве случаев 1000 - 1300 кг/м³); высокие удельная прочность, виброустойчивость, фрикционные и антифрикционные свойства; высокая устойчивость против атмосферных воздействий и агрессивных сред; хорошие диэлектрические, звуко- и теплоизоляционные свойства; свето- и радиопрозрачность. Детали из пластмасс отличаются высоким коэффициентом использования материала (до 90-95 %). Применение одной тонны изделий из пластмасс сберегает 4-5 тонны стали и 3 тонны цветных металлов, снижая при этом трудоемкость производства в 7-8 раз.

К числу недостатков пластмасс следует отнести ограниченную теплоустойчивость (до 250-300 °С); относительно низкие значения модуля упругости и

ударной вязкости; старение, приводящее к изменению физико-механических свойств изделий в процессе длительного хранения и эксплуатации.

Пластическими массами, или пластмассами, называют материалы на основе природных или синтетических полимеров, способных при нагреве размягчаться и под давлением принимать заданную форму и устойчиво сохранять ее после охлаждения.

Детали из пластмасс менее трудоемки в изготовлении, имеют меньшую стоимость, поэтому ими часто заменяют изделия из металла.

Простые пластмассы состоят из одних полимеров (без добавок). Сложные пластмассы помимо полимеров включают добавки: наполнители, пластификаторы, красители, отвердители, катализаторы и т.д.

Наполнители в пластмассы вводят в количестве от 40 до 70 % для повышения твердости, прочности, жесткости, а также для придания особых специфических свойств, например, фрикционных, антифрикционных и снижения их стоимости. Наполнителями могут быть ткани, а также порошковые, волокнистые вещества.

Пластификаторы (стеарин, олеиновая кислота, дибутилфталат) повышают эластичность, пластичность и облегчают обработку пластмасс. Их содержание колеблется в пределах от 10 до 20 %.

Отвердители (амины) и катализаторы (перекисные соединения) в количестве нескольких процентов вводят в пластмассы для отверждения, т.е. создания межмолекулярных связей и встраивания молекул отвердителя в общую молекулярную сетку.

Красители (минеральные пигменты, спиртовые растворы органических красок) придают пластмассам определенную окраску.

Состав компонентов, их сочетание и количественное соотношение позволяют изменять свойства пластмасс в широких пределах.

Основным компонентом пластмасс, обеспечивающим работу всей композиции как единого целого, являются полимерные материалы или смолы, представляющие собой высокомолекулярные соединения, макромолекулы которых состоят из нескольких тысяч мономерных звеньев.

Полимеры получают синтезом низкомолекулярных веществ методами полимеризации или поликонденсации.

Полимеризация. Слово «полимер» - греческого происхождения. Буквально, полимер - это молекула, состоящая из многих (поли-) частей (мерос), каждая из которых представляет собой мономерное, т.е. состоящее из одной (монос) части, звено полимерной цепи. Реакция получения полимера из мономера называется полимеризацией. Полимерные молекулы обычно представляют собой очень длинные цепи, линейные или разветвленные. Образование этих молекул возможно благодаря тому, что атомы углерода легко и прочно соединяются друг с другом и со многими другими атомами.

Полимеры классифицируют по различным признакам, основными из которых являются: состав и структура макромолекул, полярность, отношение к нагреву (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Классификация полимеров

Классификационный признак групп полимеров	Наименование типов полимеров	Примеры
1 Состав	1.1 Органические	Полиолефины
	1.2 Элементоорганические	Полититаноксаны
	1.3 Неорганические	Керамика
2 Структура макромолекул	2.1 Линейные (цеповидные)	Полиамиды
	2.2 Разветвленные	Полиизобутилен
	2.3 Ленточные (лестничные)	Полисилоксаны
	2.4 Пространственные (сетчатые)	Резины (вулканизаты)
3 Надмолекулярная структура	3.1 Аморфные	Поливинилхлорид
	3.2 Кристаллические	Полиэтилен
4 Полярность	4.1 Полярные	Пентапласт
	4.2 Неполярные	Полистирол
5 По отношению к повторному нагреву	5.1 Термопластичные	Органическое стекло
	5.2 Терморреактивные	Фенолформальдегидная смола

Наибольшую группу соединений составляют органические полимеры. Если основная молекулярная цепь полимера состоит из одинаковых атомов, то такой полимер называют гомоцепным, если молекулярная цепь представлена только атомами углерода – карбоцепным. Например, карбоцепными являются полиэтилен, поливинилхлорид, фторопласты и др.

По структуре наполнители бывают порошкообразными, волокнистыми, листовыми, газообразными (таблица 5.3).

Пластмассы могут классифицироваться по виду наполнителя (таблица 5.3) и по назначению (таблица 5.4).

Таблица 5.3 – Классификация пластмасс по виду наполнителя

Структура наполнителя	Вид наполнителя по происхождению	Вид пластмасс
1	2	3
Без наполнителя	-	Ненаполненные (простые) пластмассы. Состоят из полимера и добавок. Например, фторопласт - 4, полиэтилен
Порошкообразный	Органические и неорганические вещества	Пресс-порошки и литьевые пластмассы
Волокнистый	Органические волокна	Волокниты
	Асбестовые волокна	Асбоволокниты
	Стекланные волокна	Стекловолокниты

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3
Листовой	Бумага	Гетинаксы
	Хлопчатобумажная ткань	Текстолиты
	Асбестовая ткань	Асботекстолиты
	Стеклоткань	Стеклотекстолиты
	Древесный шпон	Древесно-слоистые пластики (ДСП)
Газообразный	Воздух, CO ₂	Пенопласты
		Поропласты

К добавкам (наполнителям) относят, например, стабилизаторы - химические соединения, противодействующие старению пластмасс (так называется явление, сопровождающееся разрушением молекулярных цепей на отдельные фрагменты); пластификаторы - вещества, повышающие пластичность полимерных материалов при их переработке; красители – вещества придающие пластмассе желаемый цвет по всему объему; катализаторы - ускорители отверждения термореактивных смол и т.д.

В таблице 5.4 приведена классификация некоторых групп пластмасс по назначению с указанием наиболее характерных свойств. Классификация в значительной мере условна, так как одни и те же пластмассы могут входить в различные группы.

Таблица 5.4 – Классификация некоторых групп пластмасс по назначению

Пластмассы		
1	2	3
Назначение	Характерные свойства	Примеры
Конструкционные (нагруженные узлы и детали конструкций)	Высокие механические свойства	Стеклопластики, этролы, фенопласты
Электроизоляционные (электроизолирующие детали, пленки, шланги)	Высокие диэлектрические свойства	Полиэтилен, полистирол, фторопласты
Химически стойкие (химическая аппаратура, емкости, трубы)	Высокое сопротивление действию влаги и химических соединений	Фторопласт – 4, полиэтилен, поливинилхлорид
Тепло- и звукоизоляционные (тепло- и звукоизолирующие наполнители)	Низкий коэффициент теплопроводности, высокая звукопоглощающая способность	Пенополистирол, поролон, пенополисилоксан

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3
Светотехнические и оптические (оптические детали, арматура осветителей)	Стойкие к воздействию света, высокие оптические свойства	Полиметилметакрилат, полистирол, дакрил – 2М
Фрикционные (детали тормозов, муфт сцепления)	Высокий коэффициент трения	Асбополимерные материалы (асбосмоляные, асбокаучуковые, асбофрикционные)
Антифрикционные (подшипники скольжения, покрытия направляющих)	Низкий коэффициент трения	Капрон, фторопласт – 4, лавсан

К наиболее распространенным синтетическим материалам относятся: полиэтилен, полипропилен, полистирол, фторопласт-4, фторопласт-3, полиметилметакрилат, поливинилхлорид, полиамиды, поликарбонаты, полиимиды и другие..

Полиэтилен $(-CH_2-CH_2-)_n$ – продукт полимеризации бесцветного газа этилена. Полиэтилен представляет собой воскообразную массу и относится к кристаллизующимся полимерам.

По плотности полиэтилен разделяют на полиэтилен низкой плотности, получаемый в процессе полимеризации при высоком давлении, содержащий от 55 % до 65 % кристаллической фазы, и высокой плотности, получаемый при низком давлении, имеющий степень кристалличности до 95 %.

Высокая упругость и эластичность полиэтилена позволяет получать тонкие прозрачные пленки, способные пропускать ультрафиолетовые лучи.

Полиэтилен химически стоек и при комнатной температуре нерастворим ни в одном из известных растворителей; устойчив к кислотам, щелочам и растворам солей до температуры 60 °С.

Недостатком полиэтилена является его подверженность старению. Для защиты от окисления в полиэтилен вводят стабилизаторы и ингибиторы. Часто в полиэтилен добавляют до 3 % сажи, поглощающей солнечные лучи и замедляющей процессы старения в 30 раз. Под действием радиоактивного облучения полиэтилена он твердеет, приобретает большую прочность и теплостойкость.

Из него изготавливают защитные оболочки кабелей проводов, детали высокочастотных установок и коррозионностойкие детали – трубы, прокладки, шланги. Его выпускают в виде пленки, листов, труб, блоков.

Полипропилен является производной этилена. Жесткий нетоксичный материал с высокими физико-механическими свойствами. По сравнению с полиэтиленом этот пластик более теплостоек: сохраняет форму до температуры 150 °С. Полипропиленовые пленки прочны и более газонепроницаемы, чем полиэтиленовые, а волокна эластичны, прочны и химически стойки.

Недостатками полипропилена является его невысокая морозостойкость (до минус 20 °С).

Полипропилен применяют для изготовления труб, конструкционных деталей автомобилей, холодильников, текстильных машин, корпусов насосов и различных емкостей.

Полистирол - Это аморфный, твердый, жесткий, прозрачный полимер, имеющий преимущественно линейное строение.

Полистиролу присущи высокие диэлектрические свойства, удовлетворительная механическая прочность, невысокая рабочая температура (до 100 °С), химическая стойкость в щелочах, минеральных и органических кислотах, маслах. Набухает в 65 %-ной азотной и ледяной уксусной кислотах, бензине и керосине. При температуре выше 200 °С разлагается, образуя стирол.

Недостатками полистирола является его хрупкость при пониженных температурах, склонность к постепенному образованию поверхностных трещин.

Выпускается полистирол в виде прозрачных листов, стержней (блочный полистирол) или порошка.

Из полистирола изготавливают детали для радиотехнических и телевизионных приборов и машин, пленки стирофлекс для электроизоляции, как основа магнитофонных лент.

Фторопласт-4 (политетрафторэтилен) является термически и химически стойким материалом.

Это насыщенный полимер, имеющий аморфно-кристаллическую структуру. Медленное охлаждение при температуре ниже 327 °С вызывает быструю кристаллизацию полимера. До температуры 250 °С скорость кристаллизации мала и не влияет на его механические свойства, поэтому длительно эксплуатировать фторопласт-4 можно до температуры 250 °С. При 415 °С фторопласт распадается, не переходя в вязкотекучее состояние, и выделяет при этом ядовитый фтор.

Высокая термостойкость фторопласта-4 обусловлена высокой энергией связи С – F. Кроме того, небольшой размер атомов фтора образует из него плотную оболочку вокруг цепи С – С и защищает последнюю от химических реагентов: фторопласт-4 стоек к действию растворителей, кислот, щелочей, окислителей.

Недостатками фторопласта-4 является его токсичность вследствие выделения фтора при высоких температурах, хладотекучесть и трудность переработки из-за отсутствия пластичности.

Применяют для изготовления труб для химикатов, деталей (вентили, краны, насосы, мембраны), работающих в сильно коррозионных средах, антифрикционных покрытий на металлах (подшипники, втулки).

Физико-механические свойства неполярных термопластичных пластмасс приведены в таблице 5.5.

К полярным пластикам относятся: фторопласт-3, органическое стекло, поливинилхлорид, полиамиды, поликарбонаты и другие.

Фторопласт-3 (политрифторхлорэтилен) представляет собой линейный аморфно-кристаллический полимер белого цвета.

Присутствие атома хлора нарушает симметрию звеньев макромолекулы, и в результате полимер становится полярным.

Таблица 5.5 - Свойства неполярных термопластов

Материал	Плотность, кг/м ³	Рабочая температура, °С		Предел прочности, МПа, при		Модуль упругости при изгибе, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Ударная вязкость, кДж/м ²	Диэлектрическая проницаемость при частоте тока 10 ⁶ Гц	Удельное объемное сопротивление, Ом · м	Тангенс угла диэлектрических потерь × 10 ⁻⁴ при частоте тока 10 ⁶ Гц
		максимальная	минимальная	растяжении	изгибе						
Полиэтилен: ПЭВД	913-929	105	-70 и ниже	12-17	12-17	120-260	15-20	Не ломается	2,2-2,3	10 ¹⁵	2-3
ПЭНД	949-953	125	-70 и ниже	20-38	20-38	650-750	10-12	2-150	2,1-2,4	10 ¹⁵	2-5
Полипропилен	900-910	150	-15	25	70-80	-	100-400	33-800	2,2	до 10 ¹⁷	2-5
Полистирол	1050-1080	90	35	65-105	65-105	2700	1,5	16-20	2,5-2,7	10 ¹⁵	3-4
Фторопласт-4	2150-2240	250	14-35	11-14	11-14	470-850	250-500	10-100	1,9-2,2	до 10 ¹⁸	2-2,5

Фторопласт-3 имеет диапазон рабочих температур от минус 105 до 70 °С. Нагрев выше 300 °С вызывает его деструкцию с образованием токсичного газообразного фтора.

Фторопласт-3 по химической стойкости несколько уступает фторопласту-4, но легко перерабатывается в изделия методами прессования, литья под давлением и др. Применяют для изготовления труб, клапанов, насосов, шлангов, а также применяют в качестве низкочастотного диэлектрика.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) – аморфный, бесцветный, прозрачный термопласт на основе сложных эфиров акриловой и метакриловой кислот. Материал более чем в 2 раза легче минеральных стекол, отличается высокой атмосферостойкостью, оптически прозрачен. При нагреве до 80 °С начинает размягчаться, а при температурах от 105 до 150 °С становится пластичным. Основным критерием, определяющим его пригодность, является прочность. Повышение механических свойств органических стекол осуществляют путем двухосного растяжения при нагреве до температуры, превышающей температуру размягчения.

Органическое стекло не подвержено действию разбавленных кислот, щелочей, углеродных топлив и смазок, растворяется в органических кислотах и хлорированных углеводородах. Недостатком является невысокая поверхностная твердость.

Органическое стекло выпускается в виде листов толщиной от 0,8 до 24 мм. Из оргстекла изготавливают оптические линзы, детали светотехнических устройств.

Поливинилхлорид (ПВХ) – стоек во многих средах: воде, щелочах, разбавленных кислотах, маслах, бензине. Размягчается при температуре, близкой к 70 °С.

Поливинилхлорид используют в виде винипласта и пластиката. Винипласт содержит стабилизаторы (карбонаты металлов) и представляет собой непрозрачное твердое вещество.

Винипласт хорошо поддается механической обработке, легко сваривается, склеивается различными клеями. Материал применяют для облицовки гальванических ванн и в качестве защитного покрытия металлических емкостей.

Винипласт склонен к хладотекучести, чувствителен к надразам, отличается низкой теплостойкостью и хрупкостью при низких температурах.

Пластикаты получают, вводя в ПВХ пластификаторы – труднорастворимые органические жидкости. Пластифицированный ПВХ отличается повышенной эластичностью и морозостойкостью и более низкими электроизоляционными свойствами. Пластикат выпускается промышленностью в виде листов, лент, трубок. Его часто используют в качестве уплотнителя воздушных и гидравлических систем, изолятора проводов и защитных оболочек кабелей, аккумуляторных банок.

Полиамиды (торговые названия капрон, анид, нейлон, и др.) - это полимеры, содержащие в основной цепи макромолекулы повторяющиеся амидные группы - CO – NH₂ -, а также метиленовые группы - CH₂ -.

Применяют полиамиды для изготовления шестерен, втулок, уплотнений; в качестве антифрикционных покрытий. Полиамиды ударопрочны, способны по-

глощать вибрации, хорошо сопротивляются истиранию, обладают в паре с закаленными сталями низким коэффициентом трения и низкой плотностью.

Поликарбонаты - это сложные полиэфиры угольной кислоты с общей формулой $[-O-R-O-CO-O-R-]_n$, где R - радикал двухатомного (с двумя группами -ОН) фенола. Выпускаются промышленностью под торговым названием дифлон.

Поликарбонат обладает высокой ударной прочностью, не склонен к ползучести, имеет высокую коррозионную стойкость. Работоспособен при низких температурах (до минус 253 °С). К недостаткам относится плохая сопротивляемость циклическим воздействиям и низкая усталостная прочность.

Антифрикционный поликарбонат ДАК (дифлон, модифицированный тетрафторэтиленом) используется для изготовления втулок, зубчатых колес, клапанов и др. деталей, работающих в узлах трения без смазочных материалов.

Полиимиды - продукты поликонденсации тетракарбоновых кислот и их производных. Цепь макромолекулы содержит имидные циклы $-N\begin{matrix} \text{CO} \\ \diagup \\ \diagdown \\ \text{CO} \end{matrix}$ и ароматические ядра, соединенные гибкими связями $-O-$, $-CO-$. В зависимости от структуры полиимиды могут быть термопластичными и термореактивными.

Полиимиды обладают высоким комплексом механических свойств, высокой теплостойкостью, хорошо сопротивляются действию органических растворителей, масел, разбавленных кислот. Неустойчивы в щелочах и концентрированных кислотах.

Антифрикционный самосмазывающийся полиимид ПАМ-15 (композиция на основе полиимида с сухим смазочным материалом) используют для изготовления шестерен быстроходных ступеней редукторов, подшипников скольжения и качания, способных работать при значительных вибрационных нагрузках, в условиях глубокого вакуума, при температурах от минус 196 до плюс 250 °С.

Свойства полярных термопластов приведены в таблице 5.6.

Термореактивные пластмассы производят на основе термореактивных смол: фенолформальдегидных, аминокальциевых, эпоксидных, полиимидных, кремний-органических, ненасыщенных полиэфиров. Пластмассы на основе этих смол отличаются повышенной прочностью, не склонны к ползучести и способны работать при повышенных температурах. Смолы в пластмассах являются связкой и должны обладать высокой клеящей способностью, теплостойкостью, химической стойкостью в агрессивных средах, электроизоляционными свойствами, доступной технологией переработки, малой усадкой при затвердевании.

Пресс-порошки и литые пластмассы на основе фурановых и эпоксидных смол с наполнителями из графита и дисульфида молибдена используют для изготовления подшипников скольжения. Минеральные наполнители придают пластмассе водостойкость, химическую стойкость, повышенные электроизоляционные свойства. При использовании в качестве связующего вещества кремнийорганических полимеров, и наполнителей в виде кварцевого порошка или асбеста теплостойкость пластмасс достигает 300 °С.

Таблица 5.6 - Свойства полярных термопластов

Материал	Плотность, кг/м ³	Рабочая температура, °С		Предел прочности, МПа, при		Модуль упругости при изгибе, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Ударная вязкость, кДж/м ²	Диэлектрическая проницаемость при частоте тока 10 ⁶ Гц	Удельное объемное сопротивление, Ом · м	Тангенс угла диэлектрических потерь × 10 ⁻⁴ при частоте тока 10 ⁶ Гц
		максимальная	минимальная	растяжении	изгибе						
Фторопласт-3	2090 – 2160	150	-195	30-45	60-80	1450	20-200	20-160	2,5-2,7	1,2×10 ¹⁶	0,01
Поливинилхлорид	1350 – 1430	90	до -40	40-120	80-120	3000	5-100	80-125	3,1-3,4	10 ¹⁵	0,018
Полиметилкрилат	1200	60	-60	63-100	90-120	-	2,5-20	8-18	3,5-4,5	10 ¹²	0,02-0,08
Полиамиды	1100 – 1140	60 - 110	до -60	38 - 60	35 - 70	1500	70 - 280	80 - 125	-	-	-
Поликарбонат (дифлон)	1200	130-140	до -135	70	24 - 120	-	-	150	-	-	-

Композиции на основе эпоксидных смол широко применяют в машиностроении для изготовления различной инструментальной оснастки, вытяжных и формовочных штампов и другой оснастки, а так же для восстановления изношенных деталей, устранения дефектов металлических отливок.

Слоистые пластмассы являются силовыми конструкционными и подделочными материалами.

Листовые наполнители, уложенные слоями придают пластику анизотропность. Материалы выпускаются в виде листов, плит, труб, заготовок, из которых механической обработкой получают различные детали.

Гетинакс – изготавливают на основе модифицированных фенольных, анилино-формальдегидных и карбамидных смол и различных сортов бумаги.

По назначению гетинакс делится на электротехнический и декоративный различных цветов и текстуры, имитирующей древесные породы. Применяют для внутренней облицовки пассажирских кабин самолетов, железнодорожных вагонов и т.д.

Текстолиты - изготавливают на основе фенолформальдегидных смол с наполнителем из листов хлопчатобумажной ткани (шифон, бязь и др.). Среди слоистых пластиков текстолит обладает наибольшей способностью поглощать вибрационные нагрузки. Текстолит обладает низким коэффициентом трения (от 0,2 до 0,3 без смазочных материалов и от 0,06 до 0,1 со смазочным материалом), высокой износостойкостью (текстолитовые подшипники до 15 раз долговечнее бронзовых).

Зубчатые колеса, изготовленные из текстолита, работают бесшумно при частотах вращения до 30 000 мин⁻¹. Недостатком текстолита является низкая рабочая температура (до 90 °С).

Асботекстолиты изготавливают на основе кремнийорганических смол с наполнителем из асбестовых тканей. Коэффициент трения асботекстолитов при отсутствии смазочных материалов - от 0,3 до 0,38, со смазочным материалом - от 0,05 до 0,07.

Асботекстолит выдерживает кратковременно высокие температуры и поэтому применяется в качестве теплозащитного и теплоизоляционного материала (в течение четырех часов выдерживает температуру до 500 °С и кратковременно 3000 °С и выше). Из асботекстолитов изготавливают лопатки ротационных бензонасосов, фрикционные диски, накладки, тормозные колодки и др.

Древеснослоистые пластики (ДСП) изготавливают из древесного шпона, пропитанного терморезистивным связующим. ДСП имеют низкий коэффициент трения (со смазочным материалом до 0,04) и применяют в узлах трения вместо деталей из цветных металлов. Вкладыши подшипников из древесно-слоистых пластиков интенсивно снижают шум узла трения, не образуют задиров на поверхности вала. Недостатком ДСП является гигроскопичность.

В *стеклотекстолитах* применяют в качестве наполнителя стеклянные ткани, которые по виду ткацкого переплетения подразделяются на: полотняные или гарнитуровые, сатиновые или атласные и кордовые ткани. Продольные нити ткани называют основой, поперечные – утком.

Ткани полотняного переплетения имеют на поверхности максимально

частое чередование основных и уточных нитей, что придает ткани жесткость. Однако стекловолокна хрупки, и при их взаимном перетирании или под давлением может произойти разрушение ткани. В сатиновых тканях более редкое перекрестие нитей (через четыре и более), поэтому стеклотекстолит на их основе прочнее и лучше работает в конструкциях. Кордовые ткани имеют усиленные нити основы и тонкие, редко расположенные нити утка. При получении изделий усиленные нити основы укладываются в направлении, совпадающем с деформацией, и воспринимают растягивающие нагрузки. В поперечном направлении прочность значительно ниже, т.е. материал анизотропен. При многослойной перекрестной укладке пропитанных тканей можно получить равнопрочный стеклопластик.

Материал СВМ представляет собой стекловолокнистый анизотропный материал, в котором стеклянные нити сразу по выходе из фильер, склеиваются между собой в виде стеклянного шпона и затем укладываются как в фанере. Связующие могут быть различными. СВМ является конструкционным материалом с большой жесткостью и высокой ударной вязкостью.

Длительно стеклопластики могут работать при температурах до 400 °С, однако кратковременно в течение нескольких десятков секунд стеклопластики выдерживают несколько тысяч градусов. Стеклопластики обладают высокой демпфирующей способностью, хорошо работают при вибрационных нагрузках. Некоторые стеклопластики обладают выносливостью при изгибе до $1,5 \cdot 10^7$ циклов и высокой прочностью (больше чем у металлов).

Из стеклопластиков изготавливают: несущие детали летательных аппаратов, кузова и кабины автомашин, кожухи, контейнеры и т.д.

Волокниты представляют собой композиции из волокнистого наполнителя в виде очесов хлопка, пропитанного фенол-формальдегидным связующим.

Прессматериал волокнита является грубой и жесткой массой, из которой нельзя прессовать мелкогабаритные, тонкостенные детали. Волокниты применяют для деталей общего назначения с повышенной устойчивостью к ударным нагрузкам, работающим на изгиб и кручение (рукоятки, стойки, шкивы, маховики и т. д.)

Асбоволокниты содержат наполнитель - асбест – волокнистый минерал, расщепляющийся на тонкое волокно (диаметром 0,5 мкм). Состав хризотилового асбеста $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Связующим служит в основном фенольно-формальдегидная смола. Преимуществом асбоволокнитов является повышенная теплостойкость (свыше 200 °С), ударопрочность, устойчивость к кислым средам и фрикционные свойства; как диэлектрики их применяют для тока с низкими частотами. Асбоволокниты используются в качестве материала тормозных устройств (колодки, накладки, диски подъемных кранов, вагонов, автомобилей, экскаваторов, из них изготавливают фрикционные ролики, контактные панели, коллекторы электрических машин и т. д.).

Стекловолокниты – это композиция, состоящая из связующего - синтетической смолы и стекловолокнистого наполнителя. Стекловолокно получается путем продавливания расплавленной стекломассы через фильеры (отверстия в дне электропечи). Применяется непрерывное или короткое стекловолокно, причем

прочность непрерывного волокна выше в 3,5 раза, чем короткого. Прочность стекловолокна резко возрастает с уменьшением его диаметра (вследствие влияния неоднородностей и трещин, возникающих в толстых сечениях). Максимальное значение прочности наблюдается для волокна диаметром от 1 до 3 мкм. Для практических целей употребляется волокно диаметром от 5 до 20 мкм.

Стекловолокно негорюче, устойчиво к действию ультрафиолетовых лучей, химически стойко, стабильных размеров. Наполнитель является армирующим элементом и воспринимает основные нагрузки при работе стеклопластика.

Стекловолокниты содержат в качестве наполнителя короткое стекловолокно. Это позволяет прессовать детали сложной формы, с металлической арматурой. (Под давлением волокно раскалывается на мелкие отрезки и вместе со связующим легко заполняет все извилины формы). Материал получается с изотропными прочностными характеристиками, намного более высокими, чем у пресспорошков и даже волокнитов. Представителем такого стекловолокнита является материал АГ-4В, который применяется для изготовления силовых электротехнических деталей (каркасы катушек и т. п.), деталей машиностроения (золотники, уплотнения насосов, перекачивающих специальные агрессивные среды, и т. д.). При использовании в качестве связующего непредельных полиэфиров стекловолокниты можно применять для крупногабаритных изделий простых форм (кузова автомашин, лодки, корпуса приборов и т. п.).

Свойства термореактивных пластмасс приведены в таблице 5.7.

Газонаполненные пластмассы представляют собой гетерогенные дисперсные системы, состоящие из твердой и газообразной фаз. Структура таких пластмасс образована твердым, реже эластичным полимером – связующим, которое образует стенки элементарных ячеек или пор с распределенной в них газовой фазой – наполнителем. Газонаполненные пластмассы обладают чрезвычайно малым весом и высокими тепло- и звукоизоляционными характеристиками.

В зависимости от физической структуры газонаполненные пластмассы делятся на две группы: пенопласты – материалы с ячеистой структурой, в которых газообразные наполнители изолированы друг от друга и от окружающей среды тонкими слоями полимерного связующего; поропласты (губчатые материалы) с открытопористой структурой, вследствие чего присутствующие в них газообразные включения свободно сообщаются друг с другом и с окружающей атмосферой.

Образование пенистой структуры достигается введением специальных газообразователей (порофоров), разлагающихся при нагревании; вспениванием жидкой смолы (эмульсии) путем продувки воздухом (азотом); самовспениванием жидких компонентов, при взаимодействии которых образуется твердая фаза и одновременно выделяются газы, вызывающие ее вспенивание.

Пенопласты применяют для теплоизоляции кабин, контейнеров, холодильников, рефрижераторов и т.д.

Получение поропластов основано на введении в композицию веществ, которые способны выкипать при нагревании или вымываться водой, образуя поры.

Поропласт обладает повышенной звукопоглощаемостью на технических частотах (до 80 %).

Таблица 5.7 – Физико-механические свойства термореактивных пластмасс

Пластмассы	Плотность, кг/м ³	Пределные температуры длительной работы, °С	Предел прочности, МПа, при			Относительное удлинение при разрыве, %	Ударная вязкость, кДж/м ²	Модуль упругости при растяжении, МПа	Твердость НВ
			растяжении	сжатии	изгибе				
Порошковые									
Фенопласты (карболиты)	1400	110	30 - 60	150 - 190	50 - 72	0,3 - 0,5	4 - 6	7000 - 9000	300
Аминопласты	1400 - 1550	300	40 - 50	120 - 190	60 - 80	0,4 - 0,7	5 - 6	-	400
Волокнистые									
Волокнит	1350 - 1450	110	30 - 60	80 - 150	50 - 80	1 - 3	9 - 104	8500	250 - 270
Асбоволокнит	1950	200	-	110	70	3 - 4	20	18000	300
Стекловолокнит	1700 - 1900	280	80 - 500	130	120 - 250	1 - 3	25 - 150	-	-
Слоистые									
Гетинакс	1300 - 1400	150	80 - 100	160 - 290	80 - 100	1 - 3	12 - 25	10000	-
Текстолит	1400	125	65 - 100	120 - 150	120 - 160	1 - 3	30	До 10000	-
Асботекстолит	1600	190	55	-	-	-	20 - 25	20000	-
ДСП	1350	140 - 200	180 - 300	100 - 180	140 - 280	-	80 - 90	До 30000	-
СВАМ	1800 - 2000	200	350 - 1000	350 - 450	500 - 700	-	180 - 200	35000	-
Стеклотекстолит	1600 - 1900	200 - 300	250 - 600	210 - 260	150 - 420	-	50 - 100	До 30000	-

Свойства газонаполненных пластмасс представлены в таблице 5.8.

Пластмассы представляют собой многокомпонентные материалы. Они состоят из связующего вещества, наполнителя, стабилизатора, пластификатора, специальных добавок: красителя, смазывающего вещества, катализатора, ингибитора и других добавок. Подбором отдельных компонентов и соотношений материалов придается желаемая совокупность свойств. В качестве связующего вещества применяют искусственные смолы термопластичные (обратимые) и терморезистивные (необратимые), смеси этих смол между собой или с каучуками и эфиры целлюлозы.

По характеру наполнителя пластмассы делят на порошкообразные (пресс-порошки или литьевые массы), волокнистые и слоистые материалы. Правильный выбор наполнителя позволяет повысить качество пластмасс и значительно расширить область их применения.

Пластмассы с порошковым наполнителем представляют собой в основном терморезистивные композиции. Наполнителем служит древесная мука, молотый кварц, тальк, молотый шлак, графит, окись алюминия, карбид кремния и другие вещества. Для деталей общего назначения (корпусы, маховички, колпачки, ручки) используют пресс-порошки из феноло-формальдегидных смол К18-2, К21-22, К17-36 и др.; пресс-порошки типа К17-36 - водо- и химически стойкие, типа К21-22 - электроизоляционные, К18-56 - теплостойкие.

Пресс-порошки всех видов перерабатывают в изделия методом горячего прессования и литьевым прессованием. Крупные изделия получают в формах с виброуплотнением. Специальными технологическими методами удается изменять стандартные свойства пластмасс. Так, быстрое охлаждение отпрессованных изделий повышает поверхностную твердость и общую прочность материала; выдержка их в термостате повышает стабильность размеров.

Терморезистивные пластмассы с листовым наполнителем (текстолиты, стеклотекстолиты) поставляются в виде листов и труб. Заготовки зубчатых колес, подшипниковых вкладышей и других деталей получают прессованием пакета вырезок из хлопчатобумажной или стеклоткани, пропитанных синтетическими смолами. Фрикционные свойства, твердость, ударо- и вибростойкость, жаропрочность и технология обработки зависят от свойств наполнителей. Так, средняя прочность на разрыв терморезистивных пластмасс на основе эпоксидных смол до 100 МПа. Этот же показатель в пластмассах с листовым и ориентированным волокнистым наполнителем достигает 300-950 МПа. Наполнитель в виде стеклянных чешуек толщиной до 1 мкм повышает прочность стеклопластиков до 1200-1500 МПа. Изготовление деталей машин из данных пластмасс включает выполнение, заготовки и последующую более или менее сложную механическую обработку.

Терморезистивные пластмассы с волокнистым наполнителем называются волокнистыми. В качестве наполнителя используют хлопковую целлюлозу, асбестовое и стеклянное волокно, шерстяные очесы.

Таблица 5.8 – Физико-механические свойства газонаполненных пластмасс

Пенопласт	Кажущаяся плотность, кг/м ³	Рабочая температура, °С	Предел прочности, МПа,			Удлинение при разрыве, %	Ударная вязкость, кДж/м ²	Водопоглощение за 30 суток, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
			при растяжении	при сжатии	при изгибе				
Пенополистирол (ПС)	25 - 200	От –60 до 70	0,18 - 3	0,13 - 3	0,13 – 1,4	2 - 8	0,1 – 1,8	0,05 - 2	0,044
Пенополивинилхлорид (ПХВ)	50 – 200	От –60 до 70	1,5 – 4,5	0,4 – 2	1,8 – 4	2 – 7	1,0 – 1,5	0,3	0,045
Пенополиуретан (ПУ)	60 – 200	От –60 до 200	1,8	0,2 – 3	-	-	0,4 – 1,5	-	0,05
Поролон	30 – 70	От –40 до 100	1,0 – 1,2	-	-	-	-	-	0,05
Пенофенопласт	200	От –60 до 160	2,0	4	-	-	0,2	-	0,05
Фенольно-каучуковые:									
ФК–20	200	До 120	1,2 – 1,5	3	-	6 – 8	0,8	-	0,052
ФК-20-А-20	200	До 200	0,8	2,0 – 2,3	-	1,5 – 2	0,5 – 0,7	-	0,063
Пенополисилоксан (К- 40)	25 – 300	До 250	-	0,5 – 2	-	-	0,2 – 0,3	-	0,045
Пенополиэпоксидный (ПЭ)	100 – 200	До 110	-	0,8 – 1,2	-	-	0,5 – 1,3	0,1 за 24 ч	0,032
Пенокарбамид (мипора)	20	До 130	-	0,05	-	-	-	До 500 за 24 ч	0,03

По прочностным показателям пластмассы этого вида уступают слоистым материалам, но значительно превосходят их по технологичности и экономичности методов изготовления деталей машин. Из пластмасс с волокнистым наполнителем детали любой сложной формы можно изготовить высокопроизводительными методами обычного и литьевого прессования (шкивы, крыльчатки центробежных насосов и т. п.) или склеиванием синтетическими клеями. Волокниты могут применяться и в качестве поделочных пластмасс в виде листов, труб, прутков.

К пластмассам без наполнителя относятся все полимеры. Они в основном термопластичны и допускают многократную переработку. Детали из поливинилхлорида, полиамида (капрон, капролон), полистирола, полиэтилена, полипропилена, полиметилметакрилата изготавливают прессованием и литьевым методом. На экструдерах из полимеров изготавливают поделочные материалы, пригодные для выполнения разнообразных деталей методом механической обработки.

Пластмассы с газовойдушным наполнителем имеют малую плотность. В зависимости от структуры, приобретаемой ими в процессе производства, разделяются на пенопласты, поропласты и сотопласты. Они изготавливаются на основе поливинилхлорида, полистирола, эпоксидных смол и их модификаций. Образование пустотелой структуры материала достигается химическими, физическими и механическими методами или их сочетанием. Пеноропласты применяют для определенных изделий (герметизирующие колпаки, полировальные круги и т.д.), и в качестве амортизирующих средств в авто- и авиастроении.

Доля терморезистивных пластмасс в мировом производстве пластмасс составляет примерно 25 %. Среди важнейших областей применения пластмасс ведущее положение занимает строительная промышленность, электротехническая, промышленность предметов широкого потребления, общее машиностроение и производство упаковки.

5.3 Клеящие материалы и герметики

Клеи. По пленкообразующему веществу они делятся на смоляные и резиновые. Основой смоляных клеев могут быть термопластичные или терморезистивные полимеры. Терморезистивные дают прочные, теплостойкие пленки, они применяются в несущих конструкциях. Клеи на основе терморезистивных смол отверждаются и присутствию катализаторов и отвердителей при нормальной или повышенной температуре. Клеи холодного склеивания менее прочны, особенно при повышенных температурах. Термопластичные имеют низкие прочностные характеристики, которые к тому же заметно снижаются при нагреве. Основа резиновых клеев — каучук, что обеспечивает высокую эластичность.

В качестве основы смоляных клеев могут быть использованы различные полимеры.

Клеи на основе фенолформальдегидных смол (марка КБ-3) обладают хорошей адгезией к различным материалам. Их используют для силовых клеевых соединений, металлических, из стеклопластика и т.п.

Фенолкаучуковые композиции (марки ВК-32-200, ВК-3, ВК-4) - высокоэластичные, теплостойкие пленки с хорошей адгезией к металлам.

Фенолполивинилацетатные композиции лежат в основе известных клеев БФ. Клеи марок БФ-2 и БФ-4 используют для склеивания разнообразных материалов.

Фенолкремнийорганические клеи (ВК-18, ВК-18М) являются термостойкими, температура эксплуатации до 500-600 °С, обладают хорошей виброустойчивостью и длительной прочностью. Клей ВК-18М используется в конструкциях клееного инструмента; Клеи на основе эпоксидных смол обладают высокими эксплуатационными и технологическими свойствами. Они обладают высокой адгезией ко всем материалам, хорошей прочностью (пределы прочности при сдвиге и на отрыв достигают соответственно 30 и 60 МПа), атмосферостойкостью, являются бензостойкими. Отверждение клеев происходит с помощью отвердителей без выделения побочных продуктов, поэтому усадка минимальна.

Отверждение может быть холодным (клеи марок Л-4, ВК-9, ЭПО и др.) или горячим (ВК-32-ЭМ, К-153, ВК-1 и др.). Клеи используют для соединения различных материалов, а также в ремонтных целях для «залечивания» раковин.

Резиновые клеи — это растворы каучуков или резиновых смесей в органических растворителях. Склеивание происходит при вулканизации. Различают клеи горячей вулканизации (температура вулканизации и склеивания 140 - 150 °С) и самовулканизирующиеся (в состав входят активаторы, и вулканизация проходит при нормальной температуре). Резиновые клеи применяются для склеивания резины с различными материалами — резиной, металлом, стеклом, керамикой. Клеи марок 9М-35Ф и ФЭН-1 являются масло-бензостойкими. Термостойкими являются клеи, содержащие в своем составе кремнийорганические смолы. Клеи марок КТ-15, КТ-30 сохраняют свои свойства до 200—300 °С.

Неорганические клеи — фосфатные, керамические, силикатные — являются высокотемпературными.

Фосфатные — растворы фосфатов с инертными или активными наполнителями. Клей АХФС (на алюмохромфосфатной связке) водо- и кислотостоек, обладает хорошей адгезией ко многим материалам, его огнеупорность до 1800 °С.

Керамические клеи — тонкие суспензии оксидов (MgO, Al₂O₃, SiO₂ и др.) в воде. Клеи наносятся на склеиваемые поверхности, подсушиваются, а затем нагреваются до температуры плавления компонентов и выдерживаются в течение 15—20 мин. Соединения сохраняют прочность до 500 - 1000 °С.

Силикатные клеи имеют основу в виде жидкого стекла. Алюмосиликатная связка (АСС) с различными наполнителями образует клеи, отверждающиеся при 120 °С. Клеи используют для соединения металлов, стекла, керамики.

Герметики. Это композиции на основе полимеров, обеспечивающие герметизацию (непроницаемость). Пленкообразующий полимер должен обладать достаточными прочностью, пластичностью, непроницаемостью к парам, газам, а также химической инертностью по отношению к контактируемым материалам.

Наибольшее применение получили герметики (У-30М, УТ-31) на основе

полисульфидного каучука, имеющие высокую адгезию к металлам, дереву, бетону и являющиеся маслобензостойкими.

Кремнийорганические герметики (виксинт и эластосил) обладают повышенной теплостойкостью до 200—250 °С. Это объясняется тем, что в основную цепь макромолекулы входит кремний. Атом и кремния соединяются с атомами кислорода, образуя связь (—Si—O—), обладающую высокой теплостойкостью. Эти герметики виброустойчивы, их применяют для герметизации металлических соединений (клепаных, сварных), стекла, бетона.

Эпоксидные герметики холодного отверждения могут длительно работать в диапазоне температур от $\text{—}60$ до 75 °С, горячего отверждения — от $\text{—}60$ до 140 °С. Их применяют для герметизации металлических и стеклопластиковых изделий.

Фторкаучуковые герметики (СКФ-260НМ, СКФ-260НМ-2 масло- и бензостойки, могут работать в агрессивных средах, при температурах до 300 °С. Их недостатки — низкая морозостойкость (минус 20 °С), недостаточная пластичность.

Анаэробные герметики на базе акриловых и метакриловых соединений имеют характерную особенность сохранять первоначальные свойства в течение длительного времени в присутствии кислорода и быстро полимеризоваться с образованием прочной пленки при отсутствии кислорода или малом его доступе. Эти герметики предотвращают утечки газов и жидкостей даже при больших давлениях. Анаэробные композиции под общим названием «Локтайды» выпускаются в США, Франции, Японии, в России — это «Унигермы».

Лакокрасочные покрытия — это материалы на основе пленкообразующих, в виде растворов с различными добавками. После нанесения на обрабатываемую поверхность и высушивания они образуют твердую пленку. Это наиболее распространенные материалы для защитных и декоративных покрытий.

Лаки состоят из нелетучих веществ — пленкообразователей (это растворимые термопластичные и термореактивные полимеры, а также растительные масла — олифы) и летучих веществ — растворителей (эфирные масла, спирт, бензин, скипидар и др.). Лаки прозрачны, они наносятся на поверхность, покрытую или непокрытую краской. Смеси лаков с нерастворимыми пигментами (окислы железа, марганца, горные породы), определяющими цвет, — это эмалевые краски. Пигменты придают композиции непрозрачность, повышают механическую прочность, снижают проницаемость, некоторые повышают антикоррозионные свойства. В эмалях содержится 100-150 % пигментов (в расчете на 100 % пленкообразующего). В зависимости от характера лака эмалевые краски делятся на масляные, их основа — масляный лак; нитроэмали, их основа — лаки из эфиров целлюлозы (природный полимер древесины); спиртовые эмали — на спиртовых лаках.

Масляные покрытия обладают высокой адгезией, эластичностью, виброустойчивостью. Их недостатки — низкая водостойкость и химическая стойкость, они медленно высыхают. Нитроэмали лишены недостатков масляных красок, но более хрупки. Спиртовые имеют высокую твердость и поэтому хорошо поли-

руются, но низкую эластичность, плохо противостоят воздействию воды.

При нанесении лакокрасочных покрытий помимо лаков и красок используются грунты и шпатлевки, также являющиеся композициями на базе полимеров. Грунты, содержащие 70-80 % пассивирующих пигментов, образуют первый слой покрытия, образуя надежное сцепление с обрабатываемой поверхностью и заполняя поры. Их роль также — защита от коррозии. Шпатлевка, содержащая до 200 % наполнителей и пигментов, служит для выравнивания поверхности, она наносится на грунты. На подготовленную таким образом поверхность наносится один или несколько слоев краски. Для окраски металлообрабатывающего оборудования применяют нитроцеллюлозные эмали и шпатлевки, обладающие стойкостью к воздействию минеральных масел и СОЖ. Рекомендуются к применению эмали марок НЦ-256, НЦ-2127, а также комплекс Материалов на основе ПХВ: эмаль ХВ-238, грунтовка ХВ-050, шпатлевка ХВ-0015.

5.4 Прокладочные материалы

При сборке автомобильных узлов возникает необходимость герметизации мест соприкосновения некоторых деталей друг с другом. Для этого используются различные виды прокладочных материалов, таких, как:

- химически обработанная бумага (пергамент, картон, фибра, предельная рабочая температура которых равна 150 °С);
- войлок (нагрев не выше 75 °С);
- асбест (работоспособен до 350 °С);
- различные марки паронитов (листы из вальцованных вулканизированных смесей асбеста, каучуков и наполнителей, допускающие нагрев до 150 °С);
- маслобензостойкий паронит МБП - 5 (обеспечивает надёжное уплотнение до 250 °С);
- ферронит 101 (армированный металлической сеткой паронит, работоспособный до 400 °С) и другие.

В последнее время стали применять в качестве прокладок в кузовах автомобилей новые синтетические материалы (например, пенополиэтилен ППЭ - 2); нетканые материалы из лубяных волокон (800Л, 920Р, 1200ЛР) и т.п.

При изготовлении сальниковых уплотнений используются как порознь, так и в сочетании друг с другом металлы, резина, пластмассы, ткани, волокна и войлок.

Металлические материалы изготавливают из антифрикционных сплавов в виде пластин, фольги или проволоки.

Полуметаллические материалы изготавливают из асбеста, джута или парусины в качестве мягкой середины, которая обматывается фольгой или оплетается проволокой.

Прорезиненные материалы получают из асбестовой ткани или парусины, пропитанной сырой резиной и провулканизированной. Волокнистые материалы представляют собой набивку из асбеста, джута, пеньки, войлока и т. п., пропи-

танную связующими веществами. Особенно широко применяют войлочные уплотнения.

Прокладочные листовые материалы, ленты, эластичные прокладки, спирально-навитые прокладки для уплотнения фланцев, крышек и разъемов представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9- Прокладочные листовые материалы

Марка	Описание	Предельные параметры			Назначение
		T, °C	P, Па (кгс/см ²)	pH	
МГ100	Листовой графит неармированный	от минус 200 до плюс 650	686,463·10 ⁴ (9,80665·10 ⁴)	0-14	Для фланцев и разъемов с горячими, агрессивными средами
МГ140	Листовой графит, армированный перфорированной нержавеющей сталью	от минус 200 до плюс 650	833,565·10 ⁴ (11,90808·10 ⁴)	0-14	Универсальный прокладочный материал для фланцев и разъемов с горячими, агрессивными средами
МТ100	Гофрированная самоклеящаяся лента из гибкого графита	от минус 200 до плюс 650	686,463·10 ⁴ (9,80665·10 ⁴)		Для уплотнения крупногабаритного оборудования
МЕ502	Самоклеящаяся уплотнительная лента из микроволоконистого ПТФЭ	от минус 200 до плюс 260	1470,996·10 ⁴ (21,01425·10 ⁴)	0-14	Универсальный, безотходный прокладочный материал для уплотнения химического, пищевого и др. оборудования
МГ140-1	эластичные прокладки, спирально-навитые прокладки из листа МГ140	от минус 200 до плюс 650	833,565·10 ⁴ (11,90808·10 ⁴)	0-14	Универсальный прокладочный материал для фланцев и разъемов с горячими, агрессивными средами

5.5 Изоляционные материалы

К изоляционным материалам относят материалы, практически не проводящие электрический ток. Они используются в качестве изоляции при производстве и ремонте автотракторного электрооборудования.

К ним предъявляются следующие требования: устойчивость против влаги, достаточная механическая прочность, высокая теплостойкость (к некоторым материалам). В качестве изоляционных материалов применяют слюду, изоляционную бумагу, прессшпан, изоляционную ленту, асбест, эбонит, фибру, кар-

болит, текстолит, бакелит и изоляционные лаки.

Слюда представляет собой тугоплавкий слоистый минерал, легко расщепляющийся на тонкие прозрачные листочки. Это диэлектрик, выдерживающий нагрев до 500 °С. Слюда обладает высокими электроизоляционными свойствами и применяется как диэлектрик в конденсаторах, коллекторах электрогенераторов и стартеров, в электронагревательных приборах. Тонкие листочки слюды, склеенные горячим прессованием, называют миканитом и употребляют как изоляционный материал между коллекторными пластинками генератора, стартера и других электромашин.

Изоляционные ленты — это полоски ткани, покрытые с одной или обеих сторон резиновым клеем, или поливинилхлоридные ленты, промазанные с одной стороны клейким составом. Изоляционную бумагу изготовляют из древесной массы обработкой содой и сульфатом натрия.

Прессшпан выпускается в виде листов твердого картона. Его получают из бумажной массы, пропитанной льняным маслом. Он применяется для изоляции в электрических машинах.

Изоляционные лаки (№ 458, 460, 447, 13, 1154 и др.) представляют собой смесь асфальта или битума, растительного масла, органического растворителя и сиккатива. Их применяют для изоляции обмоток полюсных катушек генераторов и стартеров, а также для защиты электродеталей от влаги и нефтепродуктов.

Электроизоляционные трубки марки ТЛВ, ТЛМ представляет собой пропитанные электроизоляционным лаком хлопчатобумажные шнур-чулки. Трубки применяются для изоляции проводов электротехнических изделий, работающих при постоянном и переменном напряжении до 660 В частоты 50 Гц. Температурный диапазон использования трубок от минус 50 °С до плюс 105 °С. Трубки изготавливаются диаметром от 0,75 мм до 10,0 мм длиной до 1000 мм. Допускается поставка трубок длинами от 100 до 950 мм кратными 50 мм в количестве не более 5 % от партии. Гарантийный срок хранения трубок 18 месяцев со дня изготовления).

Стекло - твердотельное состояние аморфных веществ. Термин также используется в названиях оптических материалов, имеющих свойства, характерные для стекла - светопропускание (прозрачность), светопреломление, анизотропность и др. Стеклом называются все аморфные тела, получаемые путем переохлаждения расплава, независимо от их химического состава и температурной области затвердевания, и обладающие в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твердых тел, причем процесс перехода из жидкого состояния в стеклообразное должен быть обратимым.

Классификация стекол производится следующим образом: например, С38-1, где С - стекло; 38 - среднее значение ТКЛР в интервале температуры от 20 до 300°С, умноженное на 10⁻⁷; 1,2 и т.д. - порядковый номер разработки. Рассмотрим некоторые марки стекол: С5-1 - кварцевое стекло, образует вакуумно-плотный спай с молибденом;

С37 - С40 - стекла вольфрамовые, образуют вакуумно-плотные спаи с вольфра-

мом и сплавом Н30К13Д (Ni - 30 %, Co - 13 %, Cu ~ 1 %, остальное Fe);

С47 - С52 - стекла молибденовые, образуют вакуумно-плотные спаи с молибденом и сплавом ковар Н29К18 (Ni - 29 %, Co - 18 %, остальное Fe);

С66-2 и С72-4 - стекла титановые, образуют вакуумно-плотные спаи с титаном;

С87 - С90 - стекла платинитовые, образуют вакуумно-плотные спаи с платинитом (сплав Н43: Ni - 43 %, Fe - 57 %) в виде стержней, покрытых медной оболочкой и феррохромникелевым сплавом;

С93 - С95 - стекла платинитовые, образуют вакуумно-плотные спаи со сплавом Н47ХР (Ni - 47 %, Cr ~ 1 %, В-1%, остальное Fe);

Стекло №1 Львовского завода образует вакуумно-плотный спай со сплавом Н47ХР.

Типы стекол. В зависимости от назначения различают несколько основных видов электротехнических стекол.

Электровакуумные стекла используют для изготовления баллонов и ножек осветительных ламп, различных электронных приборов и т.п. При этом необходимо выполнить одно из важных требований - значения ТКЛР у спаиваемых друг с другом стекла и металла должны быть примерно равными. Изоляторные стекла используют в производстве различных изоляторов: линейных, в том числе штыревых и подвесных, станционных - опорных и проходных (вводы), телеграфных, антенных и др. Электрическая емкость стеклянных изоляторов, и в частности подвесных, больше, чем фарфоровых. Изоляторные стекла широко используют также в качестве герметизированных вводов в некоторых типах конденсаторов, терморезисторов, в кремниевых и германиевых транзисторах и др. Некоторые марки этого вида стекла, например, боросиликатные (С37-1, С37-2, С38-1, С39-1 и др.) и алюмосиликатные (С39-2, С41-1, С48-3 и др.), используют для изготовления сплошных изоляционных подложек интегральных микросхем. Стекла марок С89-1, С8S-3, С48-2, С38-1 и другие применяют для изготовления стеклянной изоляции литых микропроводов диаметром от 5 до 200 мкм и толщиной изоляции от 1 до 35 мкм.

Конденсаторные стекла служат для изготовления электрических конденсаторов, используемых в импульсных генераторах и в качестве высоковольтных фильтров.

Стеклоэмали - это стекловидные покрытия (стекла), наносимые на поверхности металлических и керамических изделий с целью создания электрической изоляции, защиты от воздействия влаги, коррозии, а также для придания определенной окраски и улучшения внешнего вида. Например, стеклоэмаль для покрытия трубчатых резисторов представляет собой борно-свинцовое стекло, окрашенное двуокисью марганца в коричневый цвет. Ее состав: PbO - 27 %, H₃BO₃ - 70 %, MnO - 3 %; Тр = 600 °С, для повышения термо- и влагостойкости в эмаль добавляют кварцевый песок. Стеклоэмалевая изоляция наносится следующим образом: поверхность изделия, нагретого до определенной температуры, посыпают порошком стекло-эмали, которая оплавляется и покрывает поверхность тонким (0,1—0,2 мм) и прочным стекловидным слоем. Покрытие можно наносить несколько раз до получения требуемой толщины. Для стой-

кости стеклоэмали к термоударам необходимо, чтобы ее ТКЛР и ТКЛР материала, на поверхность которого наносят стеклоэмаль, были примерно равны. Стеклоэмаль для керамических изделий называют глазурью.

6 Использование ЭВМ при выборе материалов

Выбор материалов для изделий, работающих в конкретных условиях, связан с целым рядом трудностей, в которых сложнейшей проблемой является переработка большого объема информации.

Авторами разработан программно-методический комплекс для ЭВМ, позволяющий облегчить поиск материалов для конкретных условий применения.

Данный комплекс может применяться в условиях промышленных предприятий в конструкторских разработках, в учебном процессе, в курсовом и дипломном проектировании.

База комплекса открыта для модификации и дополнений.

6.1 Программно-методический комплекс «Выбор требуемых материалов»

6.1.1 Общие сведения

Программно-методический комплекс предназначен для подбора требуемых материалов, используемых в машиностроительных конструкциях, по их механическим характеристикам или их функциональному назначению.

Данный комплекс включает в себя программу для заполнения базы данных, программу для поиска материалов, базы данных и данное руководство.

При создании данной программы использовались следующие программно-аппаратные средства: IBM PC/AT 386 язык программирования TURBO PASCAL фирма Borland Int. При работе над комплексом использовалась новая технология Объектно-ориентированного программирования (ООП). Программа обладает развитым интерфейсом пользователя совместным с (CUI)/

Составляющие программного комплекса:

- программа создания базы данных (matved. exe);
- программа поиска материалов (matfind exe);
- исходные тексты программы на языке Turbo Pascal 7.0;
- базу данных (20 файлов с расширением *bz);
- описание и руководство (read. me).

База данных открыта для модификации, дополнений. Кроме того, некодированная структура файлов позволяет редактировать их непосредственно из текстового редактора при условии соблюдения соответственных полей:

- название раздела – 1 строка (не более 60 символов);
- характеристики, их размерность – 5 строк (в каждой не более 8 символов);
- каждый материал записывается отдельно;
- название – 1 строка (не более 20 символов);
- марки - 1 строка (не более 30 символов);
- детали машин и область применения – 8 строк (в каждой не более 80 символов);
- свойства. Основные критерии работоспособности – 8 строк (в каждой не более 80 символов).

Для нормальной работы программного комплекса необходимо IBM - совместный компьютер с любым монитором и объемом оперативной памяти не менее 512 КБ.

6.2 Порядок работы

6.2.1 Создание и обновление базы

Если вам требуется дополнить базу, запустите exe-модуль «matved». На экране высветится сообщение: «Имя файла-»

Если вам требуется добавить материал в существующий файл, укажите его имя, но имейте в виду, что характеристики, используемые в качестве критериев поиска, были определены ранее создателем этого файла. Если вам нужно создать новый файл, укажите его имя, затем введите характеристики (не более 5) и их размерность. В случае, когда используется менее 5 характеристик, после ввода требуемого количества, введите пустые строки.

Экран очистится, появится надпись: «Название-», «Марки», «---«Детали машин и область применения----», «---Свойства. Основные критерии работоспособности----». Внизу экрана появятся введенные ранее характеристики.

Ввод подобен работе в текстовом редакторе. При вводе следует следить, чтобы текст не входил за допустимые пределы. После ввода очередного параметра следует нажать клавишу «Enter», при этом курсор переместится на следующую позицию. Ввод пустой строки в разделе «Название» означает конец работы, после чего осуществляется выход в операционную систему.

6.2.2 Поиск требуемых материалов

Для поиска материала запустите файл «mat find. exe». После появления заставки необходимо нажать любую клавишу. Для выхода в меню нажмите клавишу F10. Используя курсорные клавиши, подведите зеленую строку на меню выбор материала и нажмите Enter. Затем выбрать по каким базам будет производиться поиск. Затем выберите метод поиска и его критерии. Если вы выбрали поиск по характеристикам, то введите требуемые значения и начинайте поиск. Для переключения между полями используйте клавишу TAB. Найдя подходящий материал, машина выведет информацию на дисплей. Если материал удовлетворяет требованиям, можно записать его в файл результатов нажатием клавиши F2.

Если выбран поиск по области применения, введите наименования детали, для изготовления которых требуется подобрать материал.

6.2.3 Пример

Требуется подобрать материал для изготовления пружины из немагнитного материала.

Отмечаем файлы “Cu.bz”, “bronzа.bz”, “ ”, “mg.bz” , “ ”, “al.bz”, затем выбираем поиск по области применения, вводим ключевое слово «пружина», указываем файл для вывода (по умолчанию «material.lst») и назначаем поиск.

Через некоторое время на экране выдается: «деформированные оловянные бронзы БрОЦС 4-4-2,5», нас это удовлетворяет, нажимаем клавишу F2, данные записываются на файл, продолжаем поиск, найдем еще один материал: «двухфазные латуни Л60», этот материал тоже подходит, нажимаем F2.

Больше подходящих материалов не найдено, высвечивается сообщение: «Поиск окончен. Нажмите любую клавишу для выхода в меню». На эк-

ране снова выводятся имена файлов с указанием разделов. Если нужно завершить работу, нажимает “ESC”, иначе см. пункт 6.2.2.

Далее приводится листинг файла с результатами поиска:

название - деформированные оловянные бронзы

Марки - БрОЦС 4-4-2,5.

Детали машин и область применения пружины, мембраны, антифрикционной детали.

Свойства. Основные критерии работоспособности. Состав: Sn, Zn – 4 %, Pb – 2,5 %, остальные Cu, для устранения дендритной ликвации, выравнивания химического состава и для улучшения обработки давлением применяются диффузионный отжиг, высокая пластичность, сопротивление усталости.

$$\sigma_B, \text{ МПа} = 400.0$$

$$\delta, \% = 75.0$$

$$\text{HB} = 600.0$$

Название – двухфазные латуни

Марка – Л60

Детали машин и область применения листы, трубы, пружины, токопроводящие детали электрооборудования.

Свойства. Основные критерии работоспособности.

Сплавы легируют Al, Fe, Ni, Pb. Это приводит к уменьшению растворимости Zn в Cu и способствует образованию бета – фазы. Сплавы имеют большую прочность и износостойкость, но меньшую пластичность

$$\sigma_B, \text{ МПа} = 300$$

$$\delta, \% = 38$$

7 База данных

7.1 Углеродистые и легированные конструкционные стали

ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.
ГОСТ 535-2005. Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия. ГОСТ 1050-88 Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия.

Название – *Углеродистая сталь обыкновенного качества*

Марки - СтЗсп, СтЗпс.

Массовая доля элементов: 0,14-0,22 % С; 0,3-0,65 % Мn; 0,12-0,30 % Si и 0,05-0,17 % Si, основа – Fe.

Детали машин и области применения: горячекатаный рядовой прокат (балки, швеллеры, уголки, прутки, листы, трубы); малонагруженные детали машин (валы, оси, зубчатые колеса). См. также раздел "Арматурные стали".

Термическая обработка закалка в воде с прокатного нагрева:

Механические свойства листового проката (толщина ≤ 20 мм):

$\sigma_b = 370-480$ МПа;

$\delta_5 = 25-26$ %;

твердость (после нормализации) 111-156 НВ.

Название - *Углеродистая сталь обыкновенного качества*

Марка - СтЗкп.

Массовая доля элементов: 0,14-0,25 % С; 0,3-0,65 % Мn; $< 0,07$ % Si.

Детали машин и области применения: горячекатаный рядовой прокат (балки, швеллеры, уголки, прутки, листы, трубы); малонагруженные детали машин (валы, оси, зубчатые колеса). См. также раздел "Арматурные стали".

Термическая обработка: закалка в воде с прокатного нагрева

Механические свойства листового проката (толщина ≤ 20 мм):

$\sigma_b = 360-460$ МПа;

$\delta_5 = 27$ %;

125 НВ.

Название - *Низкоуглеродистая качественная сталь*

Марка - 10.

Массовая доля элементов: 0,07-0,14 % С; 0,35-0,65 % Мn; 0,17-0,37 % Si; $< 0,15$ % Cr.

Детали машин и области применения: малонагруженные детали; шайбы, прокладки, кожухи и др. детали, изготавливаемые холодной деформацией и сваркой.

Термическая обработка: нормализация при 900 °С (воздух); закалка от 900 °С (вода) + отпуск при 200 °С.

Механические свойства проката нагартованного (отожженного или высоко-

коотпущенного:

$$\sigma_b = 410/290 \text{ МПа};$$

$$\delta_5 = 8/26 \text{ \%};$$

$$\psi = 50/55 \text{ \%};$$

187/143НВ.

7.1.1 Конструкционные цементуемые стали

ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия

ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия.

Цементации подвергают детали из низкоуглеродистой стали, содержащей не более 0,25 % С: стали марок 10, 15, 20, А12, низко-, среднелегированные стали 15Х, 15ХФ, 12ХН3А, 18ХГТ, 15ХН2ТА, 20ХГР.

Название - *Низкоуглеродистая хромистая сталь*

Марка - 15Х.

Массовая доля элементов: 0,12-0,18 % С; 0,17-0,37 %Si, 0,40-0,70 % Mn; 0,70-1,00 % Cr.

Детали машин и области применения: применяют для небольших деталей сечением не более 25 мм, работающих при средних нагрузках. Детали, работающие в условиях трения, с повышенной, по сравнению с углеродистой сталью, прочностью сердцевины (поршневые пальцы и кольца, распределительные и червячные валы, толкатели клапанов, копиры, ролики толкателей автотракторных двигателей, детали моторов сечением до 30 мм, подвергаемые цементации и цианированию).

Термическая обработка: 1-я закалка 880 °С (вода или масло) + 2-я закалка 770-820 °С (вода или масло) + низкий отпуск 180 °С (воздух или масло).

Механические свойства после термической обработки (без поверхностного упрочнения):

$$\sigma_b = 700 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 500 \text{ МПа};$$

$$\delta = 12 \text{ \%};$$

$$\psi = 45 \text{ \%}.$$

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 15Х не более 179НВ.

ХТО: цементация 900-920 °С (воздух) + закалка 760-780 °С (масло) + низкий отпуск 170-190 °С (воздух или масло).

Твердость после ХТО:

57-63 НРС (поверхность); ≤ 250 НВ (сердцевина).

Название - *Низкоуглеродистая хромованадиевая сталь*

Марка - 15ХФ.

Массовая доля элементов: 0,12-0,18 % С; 0,17-0,37 % Si; 0,40-0,70 % Mn; 0,80-1,10 % Cr; 0,06-0,12 % V.

Детали машин и области применения: некрупные детали (в связи с небольшой прокаливаемостью), подвергаемые цементации и закалке с низким отпуском (зубчатые колеса, поршневые пальцы, распределительные валики, плунжеры, копиры).

Сталь мало склонна к росту зерна при нагреве.

Термическая обработка: 1-я закалка 880 °С (вода или масло + 2-я закалка 760-810 °С (вода или масло) + низкий отпуск 180 °С (воздух или масло).

Механические свойства после термической обработки (без поверхностного упрочнения):

$\sigma_b = 750$ МПа;

$\sigma_T = 550$ МПа;

$\delta = 13$ %;

$\psi = 50$ %.

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 15ХФ не более 187НВ.

Твердость после ХТО (поверхность) 58-63 HRC.

Название – *Низкоуглеродистая хромоникелевая сталь*

Марка - 12ХНЗА.

Массовая доля элементов: 0,09-0,16 % С; 0,17-0,37 % Si; 0,60-0,90 % Cr; 2,75-3,15 % Ni; 0,30-0,60 Mn.

Детали машин и области применения: ведущие зубчатые колеса электровозов и моторных вагонов; поршневые пальцы двигателей, распределительные валики, оси и др. цементуемые и нитроцементуемые детали с высокой поверхностной твердостью; крупные детали ответственного назначения, испытывающие при эксплуатации значительные динамические нагрузки; детали крупных роликподшипников.

Термическая обработка: 1-я закалка 860 °С (вода или масло), 2-я закалка 760 - 810 °С (вода, масло) + отпуск 180 °С (воздух или масло).

Механические свойства после термической обработки (размеры сечения заготовок до 80 мм):

$\sigma_b = 930$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 685$ МПа;

$\delta = 11$ %;

$\psi = 55$ %.

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 12ХНЗА не более 217НВ.

ХТО: цементация 920-950 °С + закалка 800-820 °С (масло)+низкий отпуск 160-180 °С (воздух).

Твердость после ХТО: 302 НВ (сердцевина);

56-62 HRC (поверхность).

Название - *Хромомарганцовистая сталь*

Марка - 18ХГТ.

Массовая доля элементов: 0,17-0,23 % С; 0,17-0,37 % Si; 0,80-1,10 % Mn; 1,00 - 1,30 % Cr; 0,03-0,09 % Ti.

Детали машин и области применения: зубчатые колеса коробок передач автомобилей и тракторов и ведомое зубчатое колесо бортовой передачи трактора. Ходовые валики и винты станков (после азотирования) и др.

Термическая обработка: 1-я закалка 880-950 °С (воздух) + 2-я закалка 870 °С (масло) + низкий отпуск 200 °С (воздух или вода).

Механические свойства:

$\sigma_b = 980$ МПа;

$\delta = 9$ %;

$\psi = 50$ %.

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 18ХГТ не более 217 НВ.

Твердость после ХТО (поверхность) 57-63 HRC.

Название - *Хромомарганцевотитаноникелевая сталь*

Марка - Сталь 15ХГН2ТА.

Массовая доля элементов: 0,13-0,18 % С; ; 0,17-0,37 % Si; 1,40-1,80 % Ni; 0,70-1,00 % Mn; 0,70-1,10 % Cr; 0,03-0,09 % Ti.

Детали машин и области применения: применяют для крупных деталей ответственного назначения, зубчатые венцы, шатуны, пальцы, оси и др. детали станкостроения, автотракторостроения, горнорудного, угольного и др. отраслей машиностроения, тяжело нагруженные зубчатые колеса грузовых автомобилей.

Термическая обработка или нормализация: 1-я закалка – 960 °С (воздух), 2-я закалка – 840 °С (масло) + низкий отпуск 180 °С (воздух или масло).

Механические свойства после термической обработки (без поверхностного упрочнения):

$\sigma_b = 950$ МПа;

$\sigma_T = 700$ МПа;

$\delta = 11$ %;

$\psi = 55$ %.

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 15ХГН2ТА не более 269 НВ.

Название – *Экономно-легированная хромомарганцевая сталь*

Марка - 20ХГР.

Массовая доля элементов: 0,18-0,24 % С; 0,17-0,37 % Si; 0,70-1,00 % Mn; 0,75-1,05 % Cr; 0,001-0,005 % P.

Детали машин и области применения: зубчатые колеса, кулачковые муфты, вал - шестерни, червяки, пальцы и другие цементуемые детали, работающие в условиях ударных нагрузок.

Термическая обработка: закалка 880 °С (масло) + низкий отпуск 200 °С (воздух или масло).

Механические свойства после термической обработки:

$$\sigma_B = 1000 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 800 \text{ МПа};$$

$$\delta = 9 \%;$$

$$\psi = 50 \%.$$

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 20ХГР не более 197НВ, твердость после ХТО (поверхность) 56-63 HRC.

7.1.2 Конструкционные улучшаемые стали

ГОСТ 10702-78. Прокат из качественной конструкционной углеродистой и легированной стали для холодного выдавливания и высадки. Технические условия.

Название - *Среднеуглеродистая качественная сталь*

Марка – 45.

Массовая доля элементов: 0,42-0,50 % С; 0,17-0,37 % Si; 0,50-0,80 % Mn.

Детали машин и области применения: после улучшения - коленчатые валы, оси, шатуны, зубчатые колеса, распределительные валики, цилиндры, храповики, фрикционные диски, плунжеры, шпиндели, крепежные детали и другие детали.

После поверхностной закалки - длинные валы, ходовые валики и ходовые винты станков, зубчатые колеса и другие детали.

Нормализация: 850 °С (воздух) (сечение проката до ≤ 80мм):

$$\sigma_B = 600 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 355 \text{ МПа};$$

$$\delta = 16 \%;$$

$$\psi = 40 \%.$$

Твердость после отжига не более 197 НВ.

Термическая обработка: закалка 840 °С (вода) + отпуск 600 °С (воздух).

Механические свойства после термообработки (сечение до 16 мм).

$$\sigma_B = 700 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 490 \text{ МПа};$$

$$\delta_5 = 14 \%;$$

$$\psi = 45 \%.$$

Название - *Хромистая сталь*

Марка - 40Х.

Массовая доля элементов: 0,36-0,44 % С; 0,17-0,37 % Si; 0,50-0,80 % Mn; 0,80-1,10 % Cr.

Детали машин и области применения: применяют для производства деталей небольшого сечения, коленчатые валы, зубчатые колеса, неазотируемые гильзы цилиндров, впускные клапаны тихоходных дизелей, шатунные болты и гайки, силовые шпильки, коромысла клапанов и др. улучшаемые детали мото-

ров; турбинные диски, валы зубчатых передач турбин, детали соединительных муфт турбин, роторы турбокомпрессоров.

Термическая обработка: закалка 820 °С (масло) + отпуск 500 °С (вода или масло).

Механические свойства после термической обработки (сечение до 80 мм):

$$\sigma_b = 1000 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 800 \text{ МПа};$$

$$\delta = 10 \%;$$

$$\psi = 45 \%.$$

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 40Х не более 217 НВ, твердость после ХТО (поверхность) 52-56 НРС.

Название - *Хромкремнемарганцовая сталь (хромансиль)*

Марка - Сталь 30ХГСА.

Массовая доля элементов: 0,28-0,34 % С; 0,90-1,20 % Si; 0,80-1,10 % Mn; 0,80-1,10 % Cr.

Детали машин и области применения: широко применяют в автомобилестроении. Тормозные ленты моторов, фланцы, корпуса, обшивки, лопатки компрессорных машин, работающие при температурах до 150-200 °С в условиях значительных нагрузок, крепежные детали; детали, применяемые в условиях изнашивания (рычаги, толкатели), ответственные детали сварных конструкций, работающие при знакопеременных нагрузках.

Имеет хорошие технологические и механические свойства. Прокаливаемость стали 30-60 мм. Сталь склонна к отпускной хрупкости, имеет низкую коррозионную стойкость.

Термическая обработка: закалка 880 °С (масло) + отпуск 540 °С (вода или масло).

Механические свойства после термической обработки (сечение 25мм):

$$\sigma_b = 1100 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 850 \text{ МПа};$$

$$\delta = 10 \%;$$

$$\psi = 45 \%.$$

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 30ХГСА не более 229НВ.

Название - *Хромоникелевая сталь*

Марка - Сталь 40ХН.

Массовая доля элементов: 0,36-0,44 % С; 0,10-0,37 % Si; 0,50-0,80 % Mn; 0,45-0,75 % Cr; 1,00-1,40 % Ni.

Детали машин и области применения: шатуны, зубчатые колеса, валы экскаваторов, муфты, рычаги и др. ответственные детали, подвергающиеся вибрационным и динамическим нагрузкам.

Термическая обработка: закалка 820 °С (вода или масло) + отпуск 500 °С (вода или масло).

Механические свойства после термической обработки (сечение до 25 мм):

$\sigma_B = 1000$ МПа;

$\sigma_T = 800$ МПа;

$\delta = 11$ %;

$\psi = 45$ %.

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 40ХН не более 207НВ.

Название – *Хромоникельмолибденовая высокопрочная сталь*

Марка - 40ХН2МА.

Массовая доля элементов: 0,37-0,44 % С; 0,15-0,25 % Мо; 0,60-0,90 % Cr; 1,25-1,65 % Ni; 0,17-0,37 % Si; 0,50-0,80 % Mn.

Детали машин и области применения: коленчатые валы, клапаны, шатуны, крышки шатунов, ответственные болты, силовые шпильки, шестерни, кулачковые муфты, диски турбокомпрессоров и другие тяжело нагруженные детали сложной конфигурации, работающие при динамических нагрузках, к которым предъявляются требования высокой прочности при достаточной пластичности и вязкости.

Повышенное сопротивление изнашиванию, статическим, динамическим и циклическим нагрузкам, теплоустойчива до 450 °С.

Термическая обработка: закалка 850 °С (масло) + отпуск 620 °С (вода или масло).

Механические свойства после термообработки (сечение до 25 мм):

$\sigma_B = 1000$ МПа;

$\sigma_T = 850$ МПа;

$\delta = 12$ %;

$\psi = 55$ %.

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 40ХН2МА не более 269 НВ.

Название - *Хромоникельмолибденованадиевая сталь*

Марка - 38ХН3МФА.

Массовая доля элементов: 0,33-0,40 % С; 0,17-0,37 % Si; 0,25-0,50 % Mn; 1,20-1,50 % Cr; 3,00-3,50 % Ni; 0,35-0,45 % Мо; 0,1-0,18 % V

Детали машин и области применения: особо ответственные детали контейнеров с высокими требованиями по механическим свойствам при повышенных температурах, шевронные валы и т.д.

Термическая обработка: закалка 850 °С (масло) + отпуск 600 °С (воздух).

Механические свойства:

$\sigma_B = 1200$ МПа;

$\sigma_T = 1100$ МПа;

$\delta = 12$ %;

$\psi = 50$ %.

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 38ХН3МФА не более 269 НВ.

Название - *Хромомарганцовая сталь*

Марка - 40ХГТР.

Массовая доля элементов: 0,38-0,45 % С; 0,17-0,37 % Si; 0,80-1,10 % Cr; 0,80-1,00 % Mn; 0,03-0,09 % Ti.

Детали машин и области применения: шпиндели, гильзы, червяки, втулки, толкатели, рейки, валы, оси, вилки, штоки, зубчатые колеса точных кинематических передач.

Повышенное сопротивление изнашиванию, статическим, динамическим и циклическим нагрузкам.

Термическая обработка: закалка 840 °С (масло) + отпуск 550 °С (вода или масло).

Механические свойства:

$\sigma_b = 1000$ МПа;

$\sigma_T = 800$ МПа;

$\delta = 11$ %;

$\psi = 45$ %;

49 HRC.

Твердость отожженной или высокоотпущенной стали 40ХГТР не более 229НВ.

7.1.3 Строительные стали

ГОСТ 19281-89. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия.

Название - *Низколегированная высокопрочная сталь*

Марка – С440 (16Г2АФ).

Массовая доля элементов: 0,14-0,20 % С; 0,30-0,60 % Si; 1,30-1,70 % Mn; $\leq 0,40$ % Cr.

Детали машин и области применения: металлоконструкции промышленных зданий с пролетом до 120 м, сварные фермы из круглых труб, колонны большепролетных (54 м) сборочных цехов, кожух и основные металлоконструкции доменных печей, резервуары нефтехранилищ емкостью до 50000 м³, пояса трубчатых стропильных ферм.

Механические свойства (листовой прокат с карбонитридным упрочнением):

$\sigma_b = 540$ МПа;

$\sigma_T = 390$ МПа;

$\delta = 20$ %.

Название - *Низколегированная сталь повышенной прочности*

Марка - Сталь 15ХСНД.

Массовая доля элементов: 0,12-0,18 % С; 0,40-0,70 % Si; 0,40-0,70 % Mn; 0,60-0,90 % Cr; 0,30-0,60 % Ni; 0,20-0,40 % Cu.

Детали машин и области применения: сварные строительные фермы, кон-

струкции мостов и вагонов, рамы сельскохозяйственных машин; оси, тяги, болты и другие детали, к которым предъявляются требования повышенной прочности и устойчивости против коррозии в атмосферных условиях при одновременном воздействии истирания.

Механические свойства в горячекатаном или нормализованном состоянии (сечение 8-32 мм):

$$\sigma_B = 490-685 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 345 \text{ МПа};$$

$$\delta = 21 \text{ \%}.$$

7.1.4 Арматурные стали

ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армированных железобетонных конструкций. Технические условия.

Название - *Класс А-I*

Марки - Ст3кп3, Ст3пс3, Ст3сп3.

Детали машин и области применения: сварные строительные конструкции.

Механические свойства в горячекатаном состоянии:

$$\sigma_B = 373 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 235 \text{ МПа};$$

$$\delta = 25 \text{ \%}.$$

Название - *Класс А-II*

Марка - 18Г2С.

Массовая доля элементов: 0,14-0,23 % С; 0,60-0,90 % Si; 1,20-1,60 % Mn; $\leq 0,30$ % Cr.

Детали машин и области применения: для армирования ненапряженных железобетонных конструкций.

Механические свойства в горячекатаном состоянии:

$$\sigma_B = 490 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 294 \text{ МПа};$$

$$\delta = 19 \text{ \%}.$$

Название - *Класс А-III*

Марка - 35ГС.

Массовая доля элементов: 0,30-0,37 % С; 0,80-1,20 % Mn; 0,60-0,90 % Si; $\leq 0,30$ % Cr.

Детали машин и области применения: для армирования ненапряженных железобетонных конструкций.

Механические свойства в горячекатаном состоянии:

$$\sigma_B = 590 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T = 392 \text{ МПа};$$

$$\delta = 14 \text{ \%}.$$

Название - *Класс А-IV*

Марка - 80С.

Массовая доля элементов: 0,015-0,040 % Ti; 0,30 % Ni; 0,74-0,82 % С; 0,50-0,90 % Mn; 0,60-1,10 % Si; ≤ 0,30 % Cr.

Детали машин и области применения: для армирования предварительно напряженного железобетона.

Механические свойства в горячекатаном состоянии:

$\sigma_b = 883$ МПа;

$\sigma_T = 590$ МПа;

$\delta = 6$ %;

270 НВ.

Название - *Класс А-V*

Марка - 23Х2Г2Т.

Массовая доля элементов: 0,02-0,08 % Ti; 0,015-0,050 % Al; 0,30 % Ni; 0,19 - 0,26 % С; 1,40-1,70 % Mn; 1,35-1,70 % Cr; 0,40-0,70 % Si; ≤ 0,30 % Cr.

Детали машин и области применения: для армирования предварительно напряженного железобетона.

Механические свойства:

$\sigma_b = 1030$ МПа;

$\sigma_T = 785$ МПа;

$\delta_5 = 7$ %.

Название - *Класс А-VI*

Марка - 20Х2Г2СР.

Массовая доля элементов: 0,02-0,08 % Ti; 0,015-0,050 % Al; 0,30 % Ni; 0,16-0,26 % С; 1,40-1,80 % Mn; 0,75-1,55 % Si; 1,40-1,80 % Cr.

Детали машин и области применения: для армирования предварительно напряженного железобетона.

Механические свойства:

$\sigma_b = 1230$ МПа;

$\sigma_T = 980$ МПа;

$\delta = 6$ %.

7.1.5 Стали для холодной штамповки

ГОСТ 19281-89. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия. ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия.

Название - *Низкоуглеродистая качественная сталь*

Марка - 08Ю.

≤ 0,07 % С; 0,20-0,35 % Mn; 0,02-0,07 % Al; 0,06 % Ni; 0,01 % Si; не более 0,03 % Cr; 0,06 % Cu.

Детали машин и области применения: многие детали автомобилей, изготавливаемые методом холодной штамповки с разной степенью вытяжки.

Механические свойства прокатанных листов:

$$\sigma_B = \leq 360 \text{ МПа};$$

$$\delta_5 = 36 \%;$$

$$\leq 118\text{НВ (67 HRB)}.$$

Название - *Низкоуглеродистая кремниймарганцовистая сталь*

Марка - 09Г2С.

$\leq 0,12 \%$ С; $1,3-1,7 \%$ Мn; $\leq 0,03 \%$ Ni; $0,5-0,8 \%$ Si; $\leq 0,03 \%$ Cr; $\leq 0,03 \%$ Cu

Детали машин и области применения: фасонная сталь для сельхозмашиностроения. Корпуса аппаратов и воздухохраников в химическом и нефтяном машиностроении, работающие под давлением и при температурах от -70 до $+475$ °С.

Штампованные вытяжкой изделия с повышенной прочностью.

Сталь не склонна к тепловой хрупкости и не разупрочняется в результате длительного старения.

Механические свойства (проката горячекатаный):

$$\sigma_B = 440 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 305 \text{ МПа};$$

$$\delta = 21 \%.$$

7.1.6 Мартенситно-старяющие стали

Название - *Высокопрочная сталь*

Марка - Н18К9М5Т-ВД (сталь, выплавляемая методом вакуумно-дугового переплава).

Массовая доля элементов: не более $0,03 \%$ С; $\sim 18 \%$ Ni; $\sim 9 \%$ Co; $\sim 5 \%$ Mo; $\sim 0,9 \%$ Ti.

Детали машин и области применения: наиболее ответственные детали в авиации, ракетной технике, судостроении, в приборостроении для упругих элементов, в криогенной технике.

Термическая обработка: закалка 820 °С, 1-3 ч (вода) + старение 480 °С, 3 ч (воздух).

Механические свойства после термообработки:

$$\sigma_B = 1950-2100 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 1800-2000 \text{ МПа};$$

$$\delta = 6-9 \%;$$

$$\psi = 30-50 \%.$$

Название - *Высокопрочная сталь*

Марка - Н17К10В10М25Т

Массовая доля элементов: 17% Ni; 10% Co; 10% W; $1,5 \%$ Mo; $0,7 \%$ Ti.

Детали машин и области применения: то же, что сталь Н18К9М5Т-ВД.

Термическая обработка: старение 510-550 °С 3 ч (воздух).

Механические свойства:

$\sigma_B = 2350$ МПа;

$\sigma_T = 2300$ МПа;

$\delta = 8,5$ %;

$\psi = 48$ %.

7.1.7 Рессорно-пружинные стали

ГОСТ 14959-79. Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия.

Название - *Высокоуглеродистая качественная сталь*

Марка - 75.

Массовая доля элементов: 0,72-0,80 % С; 0,17-0,37 % Si; 0,50-0,80 % Mn.

Детали машин и области применения: крановые колеса, рессоры и пружины, пружины амортизаторов, круглые плоские пружины клапанов двигателей автомобилей и т.д.

Термическая обработка: закалка 820 °С (масло) + отпуск 470 °С (воздух).

Механические свойства:

$\sigma_B = 1080$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 885$ МПа;

$\delta = 6-9$ % (в зависимости от сечения).

Твердость в горячекатаном/термообработанном состоянии:

$\leq 285\text{HB}/241\text{HB}$

Название - *Высокоуглеродистая качественная сталь*

Марка – 85

Массовая доля элементов: 0,82-0,90 % С; 0,17-0,37 % Si; 0,50-0,80 % Mn.

Детали машин и области применения: пружины и фрикционные диски и другие детали, к которым предъявляются требования высоких прочностных и упругих свойств и износостойкости.

Термическая обработка: закалка 820 °С (масло) + отпуск 470 °С (воздух).

Механические свойства:

$\sigma_B = 1130$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 980$ МПа;

$\delta = 8$ %;

$\psi = 25$ %.

Твердость в горячекатаном / термообработанном состоянии:

$\leq 302\text{HB}/269\text{HB}$

Название - *Кремнистая сталь*

Марка - 55С2

Массовая доля элементов: 0,52-0,60 % С; 1,5-2,0 % Si; 0,6-0,9 % Mn.

Детали машин и области применения: пружины и рессоры, применяемые в автомобилестроении, тракторостроении, железнодорожном транспорте и других отраслях машиностроения.

Сталь склонна к обезуглероживанию. Максимально допустимый размер рессор и пружин из круглой или квадратной стали - 12 мм.

Термическая обработка (рессор): закалка 870 °С (масло, вода) + отпуск 480-500 °С, воздух.

Механические свойства:

$$\sigma_b = 1270 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 1175 \text{ МПа};$$

$$\delta = 6 \%;$$

$$\psi = 30 \%.$$

Твердость в состоянии поставки горячекатаное / термообработанное:
 $\leq 285\text{HV}/241 \text{ НВ}$

Название - *Хромкремнийванадиевая сталь*

Марка - 70С2ХА.

Массовая доля элементов: 0,65-0,75 % С; 1,40-1,70 % Si; 0,40-0,60 % Mn.

Детали машин и области применения: тяжело нагруженные плоские пружины ответственного назначения, пружины часовых механизмов и различных приборов.

Сталь склонна к обезуглероживанию, но не склонна к росту зерна.

Термическая обработка: закалка 870 °С (масло) + отпуск 470 °С (воздух).

Механические свойства:

$$\sigma_b = 1860 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 1670 \text{ МПа};$$

$$\delta = 5 \%;$$

$$\psi = 20 \%;$$

$$45-49 \text{ HRC}.$$

Название - *Кремнийвольфрамовая сталь*

Марка – 65С2ВА.

Массовая доля элементов: 0,61-0,69 % С; 1,50-2,00 % Si; 0,70-1,0 % Mn; 0,8-1,2 % W.

Детали машин и области применения: весьма ответственные и высоконагруженные пружины, изготавливаемые из тонкой пружинной ленты.

Сталь не склонна к обезуглероживанию.

Термическая обработка: закалка 850 °С (масло) + отпуск 420 °С (воздух).

Механические свойства:

$$\sigma_b = 1860 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 1665 \text{ МПа};$$

$$\delta = 5 \%;$$

$$\psi = 20 \%.$$

Твердость в состоянии поставки горячекатаная / термообработанная:
 $\leq 321\text{HB}/285\text{HB}$.

См. также стали Н18К9М5Т-ВД, Н17К10В10М2Т (мартенситно-старееющие стали); 30Х13, 40Х13 (коррозионно-стойкие и жаростойкие стали).

7.1.8 Подшипниковые стали

ГОСТ 801-78 Сталь подшипниковая. Технические условия.

Название – *Высокоуглеродистая хромомарганцевокремнистая сталь*

Марка - ШХ15СГ.

Массовая доля элементов: 0,95-1,05 % С; 0,40-0,65 % Si; 0,9-1,2 % Mn; 1,3-1,65 % Cr.

Детали машин и области применения: крупногабаритные кольца шарико- и роликоподшипников с толщиной стенки более 20-30 мм, кольца роторов буровых машин, шарики диаметром более 50 мм и ролики более 35 мм.

Сталь обладает наиболее высокой (среди подшипниковых сталей) прокаливаемостью, поэтому применяется для изготовления массивных изделий, в том числе для подшипников железнодорожного подвижного состава.

Термическая обработка: закалка 820-860 °С (масло) + низкий отпуск 150-160 °С, с выдержкой в течение 2-6 ч (в зависимости от размеров деталей).

Механические свойства:

$\sigma_b = 1960-2350$ МПа;

60-64 HRC.

Название - *Высокохромистая сталь мартенситного класса*

Марка - 95Х18.

Массовая доля элементов: 0,9-1,0 % С; 0,17-0,18 % Cr; $\leq 0,7$ % Mn; $\leq 0,8$ % Si; $\leq 0,3$ % Ni.

Детали машин и области применения: подшипники, эксплуатируемые в воде и агрессивных средах (морская вода, растворы кислот, щелочей и пр.), втулки, оси, стержни, ножи высшего качества и другие детали, подвергающиеся сильному изнашиванию и работающие при температуре до 500 °С.

Высокая коррозионная стойкость.

Термическая обработка: отжиг 850-870 °С нагрев в течение 12 ч, охлаждение с печью до 500 °С (25-50 °С/ч); предварительный нагрев под закалку до 800-850 °С, закалка 1000-1050 °С (масло) + отпуск при 150 °С.

Механические свойства проката в отожженном состоянии:

$\sigma_b = 750$ МПа;

$\delta = 14$ %;

$\psi = 28$ %;

179-217 HB.

Механические свойства после термической обработки:

$\sigma_b = 1980-2300$ МПа; 59 HRC

7.1.9 Износостойкие стали

ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия; ГОСТ 21357-87. Отливки из хладостойкой и износостойкой стали. Общие технические условия.

Название – *Высокомарганцовистая сталь аустенитного класса*

Марка - 110Г13Л.

Массовая доля элементов: 0,90-1,20 % С; 11,5-14,5 % Мn; 0,40-0,90 % Si; ≤ 1 % Cr, Ni, Cu

Детали машин и области применения: корпуса вихревых и шаровых мельниц, щеки дробилок; трамвайные и железнодорожные стрелки и крестовины; гусеничные траки; звездочки; зубья ковшей экскаваторов.

Благодаря сочетанию высокой износостойкости и ударной вязкости основная область применения стали там, где высокая способность к наклепу обеспечивает хорошее сопротивление изнашиванию рабочего поверхностного слоя, а повышенная ударная вязкость предотвращает разрушение под действием динамических нагрузок.

Термическая обработка: закалка 1050-1100 °С в проточной воде.

Механические свойства закаленных отливок:

$\sigma_B = 800$ МПа;

$\sigma_T = 400$ МПа;

$\delta = 25$ %;

$\psi = 35$ %;

190 НВ.

Название – *Хромоникелевая сталь мартенситного класса со специальными свойствами:*

Марка - 10Х12НДЛ.

Массовая доля элементов: $\leq 0,10$ % С; 12,0-13,0 % Cr; 0,17-0,40 % Si; 0,20-0,60 % Мn; 1,0-1,5 % Ni; 0,80-1,10 % Cu.

Детали машин и области применения:

Элементы сварных конструкций рабочих колес гидротурбин, детали гидротурбин (лопасти и др. детали), работающие в условиях кавитационного разрушения. Коррозионно- и эрозионностойкая в условиях проточной воды.

Сталь не склонна к отпускной хрупкости, нефлокеночувствительна.

Термическая обработка: нормализация 940-960 °С (воздух); закалка 950-1050 °С, охлаждение со скоростью 30 °С/ч + высокий отпуск 650-680 °С.

Механические свойства:

$\sigma_B = 638$ МПа;

$\sigma_T = 441$ МПа;

$\delta = 14$ %;

$\psi = 30$ %.

Твердость после отжига 179-217 НВ.

7.1.10 Коррозионно-стойкие стали

ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки и технические требования.

Название - *Хромистая сталь мартенсито-ферритного класса*

Марка - 12X13.

Массовая доля элементов: 0,09-0,15 % С; 12,0-14,0 % Cr; не более 0,8 % Si и Mn.

Детали машин и области применения: детали с повышенной пластичностью, подвергающиеся ударным нагрузкам (клапаны гидравлических прессов, предметы домашнего обихода), а также изделия, работающие в обычных атмосферных условиях, речной и водопроводной воде, влажном паре и водных растворах солей органических кислот при комнатной температуре.

Наибольшая коррозионная стойкость достигается после термообработки и полирования. Сталь жаропрочная. Может быть применена при температуре до 500 °С.

Термическая обработка: закалка 1000-1050 °С (масло или воздух) + отпуск 700-790 °С (воздух).

Механические свойства:

$\sigma_b = 590$ МПа;

$\delta = 20$ %;

$\psi = 60$ %.

Твердость после отжига 60 НВ.

Название - *Хромистая сталь мартенситного класса*

Марка - 30X13

Массовая доля элементов: 0,26-0,35 % С; 12,0-14,0 % Cr, $\leq 0,8\%$ Si и Mn.

Детали машин и области применения:

Режущий, мерительный и хирургический инструмент, пружины, карбюраторные иглы, предметы домашнего обихода, клапанные пластины компрессоров.

Хорошая коррозионная стойкость во влажном воздухе, пресной воде, паре, в некоторых органических кислотах, растворах многих солей и щелочей, азотной кислоте и хлористом натрии при 20 °С, удовлетворительная в морской воде.

Сталь сохраняет высокие прочностные и упругие свойства при повышенных температурах, что позволяет применять ее для пружин, работающих при повышенных температурах (до 400 °С) и в условиях коррозии.

Термическая обработка: закалка 950-1050 °С (масло) + отпуск 200-300 °С (воздух; масло).

Механические свойства после нормализации 1000 °С и высокого отпуска 650 °С:

$\sigma_b = 965$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 715$ МПа;

$\delta = 16$ %;

$\psi = 52$ %.

170 НВ (после отжига). После закалки и низкого отпуска твердость не менее 48 HRC.

Название - *Хромистая сталь мартенситного класса*

Марка - 40X13.

Массовая доля элементов: 0,36-0,45 % С; 12,0-14,0 % Cr, $\leq 0,8\%$ Si и Mn.

Детали машин и области применения: то же, что для стали 30X13.

Основные свойства те же, что у стали 30X13.

Термическая обработка: закалка 1000-1050 °С, масло (нормализация) + отпуск 200-300 °С (режим термообработки для обеспечения максимальной коррозионной стойкости).

Механические свойства после нормализации 1050 °С и высокого отпуска 600-650 °С:

$\sigma_B = 950$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 725$ МПа;

$\delta = 14$ %.

185 НВ (после отжига). После закалки и низкого отпуска твердость не менее 50 HRC.

Название - *Хромоникелевая сталь аустенитного класса*

Марка - 12X18Н9.

Массовая доля элементов: $\leq 0,12$ % С; 17,0-19,0 % Cr; 8,0-10,0 % Ni; $\leq 2,0$ % Mn, $\leq 0,8\%$ Si.

Детали машин и области применения: коррозионно-стойкие детали и конструкции из холоднокатаного листа или ленты, свариваемые точечной сваркой.

Сталь склонна к межкристаллитной коррозии при определенных условиях. Аустенитные хромоникелевые стали имеют уникальный комплекс свойств: высокая коррозионная стойкость, жаростойкость (до 750-780 °С), жаропрочность (до 650-750 °С), хладостойкость (до минус 269 °С), хорошие технологические свойства.

Термическая обработка: закалка 1050-1080 °С (вода, воздух – тонкостенные изделия).

Механические свойства закаленной тонколистовой стали:

$\sigma_B = 540$ МПа;

$\delta = 38$ %.

Название - *Хромоникелевая сталь аустенитного класса*

Марка - 10X17Н13М2Т.

Массовая доля элементов: $\leq 0,1$ % С; 16,0-18,0 % Cr; 12,0-14,0 % Ni; 2,0-3,0 % Mo; до 0,7 % Ti.

Детали машин и области применения: сварные конструкции, работающие в условиях действия кипящей фосфорной, серной, 10 %-ной уксусной кислоты и сернокислых средах. Лопатки газодувков, диски, заклепки и др. детали компрессорных машин и турбин.

Термическая обработка: закалка 1050-1100 °С (воздух, масло, вода).

Механические свойства:

$\sigma_B = 500$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 240$ МПа;

$\delta = 40-45$ %;

200-250 НВ.

См. также стали 95Х18 (подшипниковые стали); 40Х9С2 (жаропрочные стали и сплавы).

7.1.11 Хладостойкие стали

ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки и технические требования.

Название - *Низкоуглеродистая никелевая сталь*

Марка – ОН9.

Массовая доля элементов: $\leq 0,10$ % С; 8,5-10,0 % Ni; 0,3-0,6 % Mn; 0,15-0,35 % Si.

Детали машин и области применения: сварные цилиндрические и сферические резервуары для транспортирования и хранения сжиженных газов при температурах до минус 196 °С.

Имеет хорошие технологические свойства: удовлетворительно штампуется, хорошо сваривается и обрабатывается резанием.

Термическая обработка: 1-я нормализация до 900 °С + 2-я нормализация до 790 °С + отпуск 560-590 °С (воздух).

Механические свойства после закалки и отпуска при температуре - 196 °С:

КСУ = 70-80 Дж/см².

Название - *Коррозионно-стойкая сталь хромоникелевая аустенитного класса*

Марка - 12Х18Н10Т.

Массовая доля элементов: $\leq 0,12$ % С; $\leq 2,0$ % Mn; 17,0-19,0 % Cr; 8,0-9,5 % Ni; $\leq 0,8$ % Ti; $\leq 0,8$ % Si; $\leq 2,0$ Mn.

Детали машин и области применения: газораспределительные установки большой мощности для получения сжиженных газов, емкости для транспортирования и хранения сжиженных газов, а также детали выхлопных систем, работающие при температуре от минус 196 до плюс 600 °С. Детали арматуры, теплообменники, муфелы, реторты и т. п., работающие при температуре до 800 °С.

Термическая обработка: закалка 1070 °С (воздух).

Механические свойства при различных температурах:

при 20 °С: $\sigma_B = 660$ МПа; $\sigma_{0,2} = 250$ МПа; $\delta = 58$ %;
при -70 °С: $\sigma_B = 1000$ МПа; $\sigma_{0,2} = 380$ МПа; $\delta = 53$ %;
при -196 °С: $\sigma_B = 1520$ МПа; $\sigma_{0,2} = 450$ МПа; $\delta = 43$ %.

Название - *Коррозионно-стойкая сталь хромомарганцевая аустенитного класса*

Марка - 10X14Г14Н4Т.

Массовая доля элементов: $\leq 0,1$ % С; 13,0-15,0 % Мn; 13,0-15,0 % Cr; 2,8-4,5 % Ni; $\leq 0,6$ % Ti. $\leq 0,8$ % Si;

Детали машин и области применения: в криогенной технике для изготовления сварных элементов сосудов и трубопроводов, работающих при температуре от минус 196 °С до плюс 500 °С, для изготовления сосудов, работающих под давлением.

Термическая обработка: закалка 1000-1080 °С (воздух, масло, вода).

Механические свойства при различных температурах:

при 20 °С: $\sigma_B = 710$ МПа; $\sigma_{0,2} = 270$ МПа; $\delta = 61$ %;

при минус 196 °С: $\sigma_B = 1360$ МПа; $\sigma_{0,2} = 430$ МПа; $\delta = 40$ %.

См. также стали 03Н18К9М5Т-ВД, 01Н17К12М5Т-ИЛ (мартенситно-старяющие стали); 12Х18Н9 (коррозионно-стойкие и жаростойкие стали); 12Х18Н12Т (жаропрочные стали).

7.1.12 Жаропрочные стали и сплавы

ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки и технические требования; ГОСТ 24982-81 Прокат листовой из коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных сплавов. Технические условия.

Название – *Низколегированная сталь перлитного класса*

Марка - 12Х1МФ.

Массовая доля элементов: 0,08-0,15 % С; 0,9-1,2 % Cr; 0,4-0,7 % Мn; 0,17-0,37 % Si; 0,2-0,3 % Mo; 0,15-0,3 % V.

Детали машин и области применения: трубы пароперегревателей, паропроводы и др. детали паросиловых установок.

Рабочая температура не выше 570-580 °С.

Термическая обработка: нормализация 960-1030 °С + отпуск 680-760 °С.

Механические свойства при различных температурах:

при 20 °С: $\sigma_B = 520$ МПа; $\sigma_{0,2} = 330$ МПа; $\delta = 25$ %;

при 650 °С: $\sigma_B = 200$ МПа; $\sigma_{0,2} = 160$ МПа; $\delta = 34$ %.

Название - *Сталь хромистая мартенситного класса*

Марка - 15Х11МФ.

Массовая доля элементов: 0,12-0,19 % С; 10,0-11,5 % Cr; $\leq 0,5$ % Si; $\leq 0,7$ % Мn; 0,6-0,8 % Mo; 0,25-0,40 % V.

Детали машин и области применения: детали и узлы газовых турбин и

паросиловых установок.

Температура длительной эксплуатации 500 °С.

Термическая обработка: закалка 1030-1060 °С (масло) + отпуск 700-740 °С (масло).

Механические свойства:

$$\sigma_B = 690 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 490 \text{ МПа};$$

$$\delta = 15 \%;$$

$$\psi = 55 \%;$$

230 НВ (после отжига).

Название - *Сталь мартенсито-ферритного класса*

Марка - 15X12ВНМФ.

Массовая доля элементов: 0,12-0,18 % С; 11,0-13,0 % Cr; ≤ 0,40 % Si; 0,5-0,9 % Mn; 0,4-0,8 % Ni; 0,5-0,7 % Mo; 0,15-0,30 % V; 0,7-1,1 % W.

Детали машин и области применения: детали и узлы энергетических установок (роторы, диски, лопатки).

Обладает высокой деформационной способностью и коррозионной стойкостью.

Температура длительной эксплуатации 580 °С.

Термическая обработка: закалка 1000-1020 °С (масло) + отпуск 650-750 °С (воздух).

Механические свойства:

$$\sigma_B = 740 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 590 \text{ МПа};$$

$$\delta = 15 \%;$$

$$\psi = 45 \%;$$

230 НВ (после отжига).

Название – *Коррозионно-стойкая, жаростойкая, жаропрочная сталь аустенитного класса*

Марка - 12X18Н12Т.

Массовая доля элементов: ≤ 0,12 % С; ≤ 0,80 % Si; ≤ 2,0 % Mn; 17,0-19,0 % Cr; 11,0-13,0 % Ni; 0,70 % Ti.

Детали машин и области применения: детали и узлы основного оборудования трубопроводов АЭУ с водяным теплоносителем; трубы для перегревателей и коллекторов тепловых электростанций, работающие при температуре 610-640 °С. Сварные аппараты и сосуды, работающие в коррозионно-активных средах (разбавленные растворы азотной, уксусной, фосфорной кислот, растворы щелочей и солей).

Термическая обработка: закалка 1020-1100 °С (воздух, масло или вода).

Механические свойства:

$$\sigma_B = 540 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 196 \text{ МПа};$$

$\delta = 40 \%$;
 $\psi = 55 \%$;
180 НВ (после отжига).

Название - *Жаростойкая, жаропрочная сталь мартенситного класса.*

Сильхром

Марка - 40X9C2.

Массовая доля элементов: 0,35-0,45 % С; 2,0-3,0 % Si; $\leq 0,80$ % Mn; 8,0-10,0 % Cr.

Детали машин и области применения: клапаны впуска и выпуска автомобильных, тракторных и дизельных моторов, крепежные детали, колосники, элементы теплообменников.

Температура длительной эксплуатации 650 °С. Сталь является одновременно жаростойкой.

Термическая обработка: отжиг 850-870 °С (воздух)

Механические свойства:

$\sigma_B = 740$ МПа;
 $\sigma_{0,2} = 440$ МПа;
 $\delta = 15 \%$;
 $\psi = 35 \%$.

Название - *Жаропрочная сталь аустенитного класса с карбидным упрочнением*

Марка - 45X14H14B2M.

Массовая доля элементов: 0,40-0,50 % С; $\leq 0,8$ % Si; $\leq 0,7$ % Mn; 13,0-15,0 % Cr; 13,0-15,0 % Ni; 2,0-2,8 % W; 0,25-0,40 % Mo.

Детали машин и области применения: клапаны моторов, детали арматуры и трубопроводов, крепежные детали на длительные сроки для установок сверхвысокого давления при температуре до 600 °С.

Термическая обработка: отжиг 820 °С (печь).

Механические свойства:

$\sigma_B = 720$ МПа;
 $\sigma_{0,2} = 320$ МПа;
 $\delta = 20 \%$;
 $\psi = 35 \%$;
200 НВ.

Название – *Сплав на никелевой основе*

Марка - ХН77ТЮР.

Массовая доля элементов: $\leq 0,07$ % С; $\leq 0,6$ % Si; $\leq 0,40$ % Mn; 19,0-22,0 % Cr; 2,4-2,8 % Ti; 0,6-1,0 % Al; 4,00 % Fe; основа - Ni.

Детали машин и области применения: рабочие лопатки и диски газовых турбин при температуре до 750 °С.

Термическая обработка: закалка 1080 °С, (воздух или вода) + старение

750 °С, 5 ч (воздух).

Кратковременные свойства (лист $\geq 3,9$ мм):

При 20 °С: $\sigma_b = 930$ МПа, $\delta = 20$ %;

При 750 °С: $\sigma_b = 750$ МПа, $\delta = 8$ %.

Название – *Сплав на никелевой основе*

Марка - ХН67ВМТЮ.

Массовая доля элементов: $\leq 0,08$ % С; $\leq 0,6$ % Si; $\leq 0,5$ % Mn; 17,0-20,0 % Cr; 4,0-5,0 % W; 4,0-5,0 % Mo; 2,2-2,8 % Ti; 1,0-1,5 % Al; $\leq 4,00$ % Fe; основа - Ni.

Детали машин и области применения: диски, корпуса, рабочие и сопловые лопатки газовых турбин, листовые детали турбин при температуре до 750 °С.

Термическая обработка: закалка 1140-1160 °С, 5 ч (воздух или вода) + отпуск 800-850 °С, 5 ч (воздух).

Кратковременные свойства (лист $\geq 4,0$ мм):

$\sigma_b = 930$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 550$ МПа;

$\delta = 18$ %.

См. также стали 95Х18 (подшипниковые стали); 12Х13 (коррозионно-стойкие и жаростойкие стали); 12Х18Н10Т (криогенные стали).

7.2 Инструментальные стали

ГОСТ 19265-73 Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия.

Название - *Быстрорежущая сталь*

Марка - Р18.

Массовая доля элементов: 0,7-0,8 % С; $\leq 0,5$ % Si; $\leq 0,4$ % Mn; 3,8-4,4 % Cr; $\leq 0,60$ % Ni; $\leq 1,00$ % Mo; 1,0-1,4 % V; 17,0-18,5 % W.

Детали машин и области применения: все виды режущих инструментов при обработке обычных конструкционных материалов.

Термическая обработка: закалка 1270-1290 °С + 3-х кратный отпуск 560-570 °С по 1 ч.

Механические свойства:

$\sigma_{и} = 2600-3000$ МПа;

64-65 HRC;

красностойкость (59 HRC₃) - 620 °С.

Название - *Быстрорежущая сталь*

ГОСТ 19265-73.

Марка - Р12МФ5-МП.

Массовая доля элементов: 1,45-1,55 % С; $\leq 0,60$ % Si; $\leq 0,50$ % Mn; 3,80-4,30 % Cr; 11,50-12,50 % W; 4,00-4,60 % V; 1,00-1,50 % Mo; $\leq 0,50$ % Co.

Детали машин и области применения: фасонные резцы для обработки среднелегированных сталей. Метчики, протяжки, фрезы для чистовой обработки среднелегированных, легированных, коррозионностойких и высокопрочных сталей.

Термическая обработка: закалка 1210-1230 °С + 3-х кратный отпуск 560 °С по 1 часу.

Механические свойства:

$\sigma_{изг} = 2400-2800$ МПа;

65-67 HRC;

Высокая красностойкость (59 HRC) - 630 °С.

Название - *Быстрорежущая сталь*

Марка – P6M5K5.

Массовая доля элементов 0,8-0,88 % C; 0,20-0,50 % Si; ≤ 0,4 % Mn; 3,8-4,3 % Cr; 6,0-7,0 % W; 1,7-2,2 % V; 4,8-5,3 % Mo; ≤ 0,4 % Ni; 4,8-5,3 % Co.

Детали машин и области применения: черновые и полустойкие инструменты при обработке улучшенных легированных, а также нержавеющей сталей.

Термическая обработка: закалка 1220-1240 °С + 3-х кратный отпуск 560 °С по 1 ч.

Механические свойства:

$\sigma_{изг} = 2600-3000$ МПа;

65-66 HRC.

Красностойкость (59 HRC) - 630 °С.

Название - *Быстрорежущая сталь*

Марка - P6M5.

Массовая доля элементов: 0,8-0,88 % C; ≤ 0,50 % Si; ≤ 0,4 % Mn; 3,8-4,4 % Cr; 5,5-6,5 % W; 1,7-2,1 % V; 5,0-5,5 % Mo; 0,4 % Ni.

Детали машин и области применения: все виды режущего инструмента при обработке обычных конструкционных материалов, а также предпочтительно для изготовления резьбонарезного инструмента, работающего с ударными нагрузками.

Термическая обработка: закалка 1200-1230 °С + 3-кратный отпуск 550 °С по 1 ч (воздух).

Механические свойства:

$\sigma_{изг} = 3200-3600$ МПа;

65-66 HRC.

Красностойкость (59 HRC) - 620 °С.

Название - *Быстрорежущая сталь повышенной теплостойкости*

Марка - P9M4K8.

Массовая доля элементов: 1,0-1,1 % C; 0,5 % Si; ≤ 0,4 % Mn; 3,0-3,6 % Cr; 8,5-9,6 % W; 2,1-2,5 % V; 3,8-4,3 % Mo; 7,5-8,50 % Co; ≤ 0,4 % Ni.

Детали машин и области применения: все виды режущего инструмента при обработке высокопрочных, жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов, а также улучшенных легированных сталей.

Термическая обработка: закалка 1220-1240 °С + 3-кратный отпуск 550-570 °С по 1 ч (воздух).

Механические свойства:

$\sigma_{\text{изг}} = 2200-2600$ МПа;

67-69 HRC.

Красностойкость (59 HRC) - 635 °С.

7.3 Цветные металлы и сплавы

7.3.1 Алюминий и его сплавы

7.3.1.1 Деформируемые алюминиевые сплавы

ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки.

Название - *Алюминий технический*

Марка - АД0 (1011).

Алюминий характеризуется малой плотностью (2710 кг/м³), высокой пластичностью, высокими тепло- и электропроводностью, хорошей свариваемостью.

Массовая доля элементов: 99,5 % Al.

Детали машин и области применения: провода, жилы кабелей, шины, профили и трубы электротехнического назначения; цистерны для перевозки концентрированной азотной кислоты; цистерны для молока; химическая аппаратура и др.

Типичные механические свойства листов технического алюминия: в отожженном / нагартованном состоянии:

$\sigma_{\text{в}} = 80/150$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 30/100$ МПа;

25/32 НВ.

Название - *Магналий* (сплав на основе системы Al-Mg)

Марка АМг3 (1530).

Массовая доля элементов: 3,2-3,8 % Mg; 0,3-0,6 % Mn; 0,2 % Zn; 0,5 % Fe; 0,5-0,8 % Si; основа – Al.

Детали машин и области применения: авиационные бензо- и маслопроводы; сварные кузова автосамосвалов, автоцистерны; химическая аппаратура; железнодорожные цистерны для перевозки концентрированной азотной кислоты; сварные корпуса судов и др.

Термическая обработка: отжиг 450-470 °С.

Типичные механические свойства листов толщиной 2 мм в отожженном состоянии:

$\sigma_{\text{в}} = 230$ МПа;

$$\sigma_{0,2} = 120 \text{ МПа};$$

$$\delta = 23 \text{ \%}.$$

Название - *Дуралюмин* (сплав на основе системы Al-Cu-Mg с добавками Mn).

Марка - Д1 (1110).

Массовая доля элементов: 3,8-4,8 % Cu; 0,4-0,8 % Mg; 0,4-0,8 % Mn; основа - Al.

Детали машин и области применения: лопасти воздушных винтов, заклепки, конструкционный материал планеров самолетов; лонжероны автомобильных рам; прессованные профили для изготовления полов трейлеров; несущие строительные конструкции.

Термическая обработка (Т): закалка 495-510 °С (вода) + естественное старение при 20 °С, 96 ч.

Механические свойства при растяжении плит:

от 11 до 25 мм / св. 25 до 40 мм:

$$\sigma_{\text{в}} = 375/365 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 215/215 \text{ МПа};$$

$$\delta = 11/8 \text{ \%}.$$

Название - *Дуралюмин* (сплав на основе системы Al-Cu-Mg с добавками Mn).

Марка - Д16 (1160).

Массовая доля элементов: 3,8-4,9 % Cu; 1,2-1,8 % Mg; 0,3-0,9 % Mn, основа – Al.

Детали машин и области применения: шпангоуты, стрингеры и лонжероны самолетов, обшивки клепаных конструкций, длительно работающих при температуре 80 °С, ограниченное время при 150 °С; несущие строительные конструкции; корпуса судов; обшивка автофургонов и автобусов.

Термическая обработка (Т): закалка 490-498 °С (вода) + естественное старение 20 °С, 96 ч.

Механические свойства при растяжении плит:

от 11 до 25 мм / св. 25 до 40 мм

$$\sigma_{\text{в}} = 420/390 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 275/255 \text{ МПа};$$

$$\delta = 7/5 \text{ \%}.$$

Название - *Жаропрочный сплав* (сплав на основе системы Al-Cu-Mg с добавками Fe и Ni) (ГОСТ 9.913-90)

Марка - АК2.

Массовая доля элементов: 3,5-4,5 % Cu; 0,4-0,8 % Mg; 0,5-1,0 % Fe; 1,8-2,3 % Ni; основа – Al.

Детали машин и области применения: детали поршневых двигателей.

Термическая обработка (Т1): закалка 515-530 °С (горячая вода) + старение 165-180 °С, 6-16 ч.

Типичные механические свойства (штамповки, поковки):

$\sigma_B = 400$ МПа;
 $\sigma_{0,2} = 300$ МПа;
 $\delta = 9$ %.

Название - *Жаропрочный алюминиевый сплав* (сплав на основе системы Al-Cu-Mg с добавками Fe и Ni).

Марка - АК4 (1140).

Массовая доля элементов: 1,9-2,5 % Cu; 1,4-1,8 % Mg; 0,8-1,3 % Fe; 0,8-1,3 % Ni; основа – Al.

Детали машин и области применения: поршни двигателей внутреннего сгорания.

Термическая обработка (Т1): закалка 525-535 °С (кипящая или горячая вода 75-90 °С) + старение 165-180 °С, 10-16 ч.

Типичные механические свойства (штамповки, поковки):

$\sigma_B = 440$ МПа;
 $\sigma_{0,2} = 320$ МПа;
 $\delta = 7$ %.

Название - *Жаропрочный алюминиевый сплав* (сплав на основе системы Al-Cu-Mg с добавками Fe и Ni).

Марка - АК4-1 (1141).

Массовая доля элементов: 1,9-2,7 % Cu; 1,2-1,8 % Mg; 0,8-1,4 % Fe; 0,8-1,4 % Ni, основа – Al.

Детали машин и области применения: в виде поковок и штамповок используют для деталей реактивных двигателей (крыльчатки, колеса, компрессоры, воздухо-заборники, диски, лопадки); в виде плит, листов, поковок, штамповок, пресованных профилей применяют как основной конструкционный материал сверхзвуковых самолетов.

Термическая обработка (Т1): закалка 525-535 °С (кипящая или горячая вода 75-90 °С) + старение 190-200 °С, 24 ч.

Типичные механические свойства (штамповки, поковки):

$\sigma_B = 400$ МПа;
 $\sigma_{0,2} = 3000$ МПа;
 $\delta = 9$ %.

Механические свойства при 175 °С:

листы плакированные/плиты:

$\sigma_B = 330/360$ МПа;
 $\sigma_{0,2} = 290/330$ МПа;
 $\delta_5 = 11/9$ %.

Название - *Авиаль* (сплав системы Al-Mg-Si)

Марка – АВ (1340).

Массовая доля элементов: 0,1-0,5 % Cu; 0,45-0,9 % Mg; 0,5-1,2 % Si; 0,15-0,35 % Mn, 0,5 % Fe; основа – Al.

Детали машин и области применения: лонжероны лопастей вертолетов; декоративные детали самолетов.

Термическая обработка: закалка (холодная вода) 520-540 °С + старение 160-170 °С, 12-15 ч.

Типичные механические свойства (штамповки):

$$\sigma_b = 310 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 260 \text{ МПа};$$

$$\delta = 10 \text{ \%}.$$

Название - *Ковочный сплав* (сплав системы Al-Cu-Mg-Si)

Марка - АК6 (1360).

Массовая доля элементов: 1,8-2,6 % Cu; 0,4-0,8 % Mg; 0,7-1,2 % Si; 0,4-0,8 % Mn, основа – Al.

Детали машин и области применения: сложные штамповки: крыльчатки компрессора, крыльчатки вентилятора для компрессоров реактивных двигателей, корпусные детали агрегатов, крупногабаритные штамповки для несущих подмоторных рам, фитинги, стойки и другие силовые детали.

Термическая обработка (Т1): закалка 505-525 °С (вода) + старение 160 °С, 12 ч.

Типичные механические свойства поковок и штамповок (в числителе значения в долевом направлении, в знаменателе - в высотном):

$$\sigma_b = 420/390 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 330/310 \text{ МПа};$$

$$\delta = 13/7 \text{ \%}.$$

Название - *Ковочный сплав* (сплав системы Al-Cu-Mg-Si)

Марка - АК8 (1380).

Массовая доля элементов: 3,9-4,8 % Cu; 0,4-0,8 % Mg; 0,6-1,2 % Si; 0,4-1,0 % Mn; основа – Al.

Детали машин и области применения: высоконагруженные штампованные детали (рамы, стыковые узлы, пояса лонжеронов); криогенная техника.

Термическая обработка (Т1): закалка 495-505 °С (вода) + старение 160-170 °С.

Типичные механические свойства поковок и штамповок (в числителе значения в долевом направлении, в знаменателе - в высотном):

$$\sigma_b = 490/460 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 420/400 \text{ МПа};$$

$$\delta = 10/5 \text{ \%}.$$

Название - *Высокопрочный алюминиевый сплав* (сплав системы Al-Zn-Mg-Cu)

Марка - В95 (1950).

Массовая доля элементов: 5,0-7,0 % Zn; 1,8-2,8 % Mg; 1,4-2,0 % Cu; 0,2-0,6 % Mn; 0,1-0,25 % Cr; 0,5 % Si; основа – Al.

Детали машин и области применения: крупногабаритные штамповки и прессованные полуфабрикаты для высоконагруженных деталей самолетов (фитинги, кронштейны, рычаги и др.).

Термическая обработка (Т1): закалка 465-475 °С (вода) + старение 140 °С, 16 ч или двухступенчатое старение: I - 120 °С, 3 ч; II - 160 °С, 3 ч.

Типичные механические свойства штамповок (поковок): (в числителе значения в долевом направлении, в знаменателе - в высотном):

$$\sigma_B = 510(490)/410(390) \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 430(410)/410(390) \text{ МПа};$$

$$\delta = 6/2 \text{ \%}.$$

2.3.3.1.2 Литейные алюминиевые сплавы

ГОСТ 1583-93 Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия.
ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки.

Название - *Силумин* (сплав системы Al-Si)

Марка – АК12 (АЛ2).

Массовая доля элементов: 10-13 % Si; основа – Al.

Детали машин и области применения: небольшие по размерам герметичные детали, не несущие больших нагрузок.

Типичные механические свойства без термообработки:

$$\sigma_B = 170 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 80 \text{ МПа};$$

$$\delta = 6 \text{ \%};$$

$$55 \text{ НВ}.$$

Название - *Силумин* (сплав системы Al-Si)

Марка – АК9 (АЛ4).

Массовая доля элементов: 8,0-10,5 % Si; 0,17-0,30 % Mg; 0,20-0,5 % Mn; основа – Al.

Детали машин и области применения: картеры коробок передач и механизмов сцепления легковых и грузовых автомобилей, турбинные колеса турбохолодильников, вентиляторов; сложные крупногабаритные детали, несущие повышенные нагрузки.

Термическая обработка (Т6): закалка 535 °С, 2-6 ч (вода 20-100 °С) + старение 175 °С, 10-15 ч.

Типичные механические свойства (литье по выплавляемым моделям):

$$\sigma_B = 260 \text{ МПа};$$

$$\delta = 4 \text{ \%}.$$

Название - *Силумин* (сплав системы Al-Si)

Марка – АК5М (АЛ5).

Массовая доля элементов: 4,5-5,5 % Si; 1,0-1,5 % Cu; 0,35-0,60 % Mg; основа – Al.

Детали машин и области применения: головки цилиндров двигателей воздушного охлаждения; детали приборов и агрегатов, работающие при температурах до 250 °С.

Термическая обработка (Т5): закалка двухступенчатый нагрев I - 515 °С, 3-5 ч; II - 525 °С, 1-3 ч (вода 20-100 °С) + старение 175 °С, 5-10 ч.

Типичные механические свойства (литье по выплавляемым моделям):

$$\sigma_B = 310 \text{ МПа};$$

$$\delta = 1,9 \text{ \%}.$$

Название – *Коррозионно-стойкий сплав* (сплав системы Al-Mg – литейные магналии)

Марка - АЛ8.

Массовая доля элементов: 9,3-10,5 % Mg; основа – Al.

Детали машин и области применения: детали простой формы, работающие в агрессивных средах и несущие значительные нагрузки (арматура, корпуса приборов на морских судах).

Термическая обработка (Т4): гомогенизирующий отжиг и закалка 425 - 435 °С, 12-20 ч (масло 40-50 °С).

Типичные механические свойства:

$$\sigma_B = 285 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 165 \text{ МПа};$$

$$\delta = 9 \text{ \%};$$

$$60 \text{ НВ}.$$

Название – *Коррозионно-стойкий сплав* (сплав системы Al-Mg)

Марка – Амг10 (АЛ27).

Массовая доля элементов: 9,5-10,5 % Mg; 0,05-0,15 % Ti; 0,05-0,15 % Be; 0,05-0,20 % Zr; основа – Al.

Детали машин и области применения: силовые детали, работающие при температурах от -60 до +60 °С; могут использоваться взамен дефицитных бронз и латуней, нержавеющей сталей и деформируемых алюминиевых сплавов при эксплуатации с приложением больших (в том числе ударных и знакопеременных) нагрузок в различных условиях, включая воздействие морской воды и тумана.

Термическая обработка (Т4): гомогенизирующий отжиг и закалка 430-440 °С, 12-20 ч (масло 40-50 °С).

Типические механические свойства:

$$\sigma_B = 320 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 180 \text{ МПа};$$

$$\delta = 12 \text{ \%};$$

$$75 \text{ НВ}.$$

Название - *Жаропрочный алюминиевый сплав* (сплав системы Al-Cu)

Марка - АЛ1.

Массовая доля элементов: 3,75-4,5 % Cu; 1,25-1,75 % Mg; 1,75-2,25 % Ni; основа – Al.

Детали машин и области применения: детали средней нагруженности, работающие при температурах до 300 °С (поршни, головки цилиндров и др.).

Термическая обработка: закалка 510-520 °С 2-5 ч (вода) + старение 170-180 °С, 3-5 ч (воздух).

Механические свойства (литье в землю):

$$\sigma_b = 216 \text{ МПа};$$

$$\delta = 2 \%;$$

$$80 \text{ НВ}.$$

Название - *Высокопрочный и жаропрочный сплав* (сплав системы Al- Cu)

Марка – АМ5 (АЛ19).

Массовая доля элементов: 4,5-5,3 % Cu; 0,6-1,0 % Mn; 0,15-0,35 % Ti; основа – Al.

Детали машин и области применения: высоконагруженные детали, работающие в условиях вибрации при температурах от минус 170 до плюс 300 °С.

Термическая обработка (Т5): двухступенчатый нагрев под закалку I - 530 °С, 5-9 ч (вода 20-100 °С); II - 545 °С, 5-9 ч (вода 20-100 °С) + старение 175 °С, 3-6 ч (воздух).

Типичные механические свойства при 20 °С:

$$\sigma_b = 340-430 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 230-320 \text{ МПа};$$

$$\delta = 4-6 \%;$$

$$90-110 \text{ НВ};$$

Типичные механические свойства при 300 °С:

$$\sigma_b = 140-160 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 75-80 \text{ МПа};$$

$$\delta = 4,5-6 \%.$$

Название - *Жаропрочный сплав* (сплав системы Al-Cu)

Марка - АЛ21.

Массовая доля элементов: 4,6-6,0 % Cu; 0,8-1,3 % Mg; 0,15-0,25 % Mn; 0,1-0,2 % Cr; 2,6-3,6 % Ni; основа – Al.

Детали машин и области применения: детали сложной конфигурации (поршни, головки цилиндров и др.), работающие при температуре 300-350 °С.

Термическая обработка: закалка 520-530 °С, 2 ч (вода 80 – 100 °С) + старение 290-310 °С, 3-10 ч.

Механические свойства:

$$\sigma_b = 206 \text{ МПа};$$

$$\delta = 1 \%;$$

$$\text{НВ} = 635 \text{ МПа}.$$

7.3.2 Магний и его сплавы

ГОСТ 14957-76. Сплавы магниевые деформируемые. Марки;
ГОСТ 2856-79. Сплавы магниевые литейные. Марки.

Название - *Магний технический*

Марка - МГ90.

Магний является основой для наиболее легких конструкционных сплавов. Широкое применение магниевых сплавов в различных отраслях обусловлено самой низкой плотностью (плотность магния - 1740 кг/м^3) из конструкционных металлов, магниевые сплавы имеют высокую способность к поглощению ударных и вибрационных нагрузок, высокую удельную жесткость при изгибе и кручении, отличную обрабатываемость резанием, хорошую шлифуемость. Магниевые сплавы имеют пониженную коррозионную стойкость.

Детали машин и области применения: используется в качестве основы сплавов, широко применяемых в автомобильной и авиационной промышленности.

Механические свойства (литье):

$$\sigma_b = 115 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 25 \text{ МПа};$$

$$\delta = 8 \text{ \%}.$$

Название – *высокопрочный литейный сплав* (сплав системы Mg-Al-Zn)

Марка - МЛ5.

Массовая доля элементов: 7,5-9,0 % Al; 0,2-0,8 % Zn; 0,15-0,5 % Mn.

Детали машин и области применения: отливки высоконагруженных деталей сложной конфигурации (картеры, коробки передач, тормозные барабаны, кронштейны, штурвалы), детали, работающие в условиях морской атмосферы. Сплав универсального назначения.

Термическая обработка (Т6): 1-я закалка - $360 \text{ }^\circ\text{C}$, 3 ч; 2-я закалка – $420 \text{ }^\circ\text{C}$, 13-21 ч (воздух) + старение $175 \text{ }^\circ\text{C}$ или $200 \text{ }^\circ\text{C}$, 16 или 8 ч (воздух).

Механические свойства:

$$\sigma_b = 235 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 110 \text{ МПа};$$

$$\delta = 2 \text{ \%}.$$

Название - *Деформируемый сплав средней прочности* (сплав системы Mg-Mn)

Марка - МА1.

Массовая доля элементов: 1,3-2,5 % Mn, основа – Mg.

Детали машин и области применения: несложные сварные детали, работающие при температуре до $150 \text{ }^\circ\text{C}$; малонагруженные детали арматуры бензо- и маслосистем.

Высокая пластичность в горячем состоянии; хорошая свариваемость, обрабатываемость резанием; повышенная коррозионная стойкость. Термической

обработкой не упрочняется.

Термическая обработка: гомогенизирующий отжиг 340-400 °С, 3-5 ч (воздух).

Типичные механические свойства (листы):

$$\sigma_b = 220 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 140 \text{ МПа};$$

$$\delta = 8 \text{ \%}.$$

7.3.3 Медь и ее сплавы

ГОСТ 859-2001 Медь. Марки; ГОСТ 193-79 Слитки медные. Технические условия.

Название - *Медь*

Марки - М1.

Плотность меди при температуре 20 °С – 8890 кг/м³.

Высокая электро- и теплопроводность меди – основные свойства, обуславливающие ее широкое применение в технике. Хорошее сопротивление коррозии в атмосферных условиях, пресной и морской воде. Легкая обрабатываемость давлением, плохо - резанием. Невысокие литейные свойства, плохая свариваемость, но легко подвергается пайке.

Детали машин и области применения: проводники электрического тока (обмоточные провода, кабельные изделия, подвесные токонесущие и контактные провода, коллекторные пластины); теплообменники; водо-охлаждаемые поддоны, изложницы, кристаллизаторы.

Механические свойства в отожженном состоянии:

$$\sigma_b = 220-245 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 60-75 \text{ МПа};$$

$$\delta = 40-55 \text{ \%};$$

$$35-55 \text{ НВ}.$$

Механические свойства в деформированном состоянии:

$$\sigma_b = 340-450 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 280-420 \text{ МПа};$$

$$\delta = 4-10 \text{ \%};$$

$$90-110 \text{ НВ}.$$

7.3.4 Латунь

ГОСТ 15527-2004. Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки; ГОСТ 17711-93. Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки.

Название – *Двойная деформируемая латунь* (томпак)

Марка - Л96.

Массовая доля элементов: 95-97 % Cu; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: радиаторные и конденсаторные трубы, ленты, листы, полосы, прутки, проволока.

Высокая коррозионная стойкость; хорошая обрабатываемость давлением, как в горячем, так и в холодном состоянии.

Термическая обработка: полный отжиг 450-600 °С.

Механические свойства в мягком (отожженном) / твердом (деформированном) состоянии:

$$\sigma_b = 240/400 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 63/390 \text{ МПа};$$

$$\delta = 52/2 \text{ \%};$$

$$50/130 \text{ НВ}.$$

Название – *Двойная деформируемая латунь* (полутомпак)

Марка - Л80.

Массовая доля элементов: 79-81 % Cu; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: проволочные сетки в целлюлозно-бумажной и шиферной промышленности; сильфоны; ювелирные изделия; проволока, тонкостенные трубы, листы, ленты.

Термическая обработка: полный отжиг 650-720 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$$\sigma_b = 310/640 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 130/540 \text{ МПа};$$

$$\delta = 52/5 \text{ \%};$$

$$60/145 \text{ НВ}.$$

Название – *Двойная деформируемая латунь*

Марка - Л70.

Массовая доля элементов: 69,0-72,0 % Cu; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: детали химической аппаратуры; листы, прутки, проволока, полосы, ленты.

Хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии.

Термическая обработка: полный отжиг 650-720 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$$\sigma_b = 380/680 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 130/550 \text{ МПа};$$

$$\delta = 55/3 \text{ \%};$$

$$65/150 \text{ НВ}.$$

Название – *Двойная деформируемая латунь*

Марка - Л63.

Массовая доля элементов: 62,0-65,0 % Cu; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: крепежные изделия, детали автомобилей, конденсаторные трубы, волноводы, полосы, листы, ленты, прутки, проволока, фольга, профили.

Термическая обработка: полный отжиг 600-700 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$\sigma_B = 380/690$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 120/540$ МПа;

$\delta = 45/4$ %;

68/155 НВ.

Название – *Двойная деформируемая латунь*

Марка - Л60.

Массовая доля элементов: 59,0-62,0 % Cu; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: толстостенные патрубки, шайбы, детали машин.

Сплав устойчив к общей коррозии; хорошо обрабатывается в горячем состоянии.

Термическая обработка: полный отжиг 660-670 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$\sigma_B = 400/700$ МПа;

$\delta = 42/3$ %;

65/160 НВ.

Название – *Деформируемая оловянная латунь*

Марка - ЛО70-1.

Массовая доля элементов: 69,0-71,0 % Cu; 1,0-1,5 % Sn; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: конденсаторные трубки, детали теплотехнической аппаратуры, детали для морского судостроения.

Хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии; обладает высокой коррозионной стойкостью в пресной и морской воде.

Термическая обработка: полный отжиг 560-720 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$\sigma_B = 350/680$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 100/580$ МПа;

$\delta = 60/4$ %;

60/150 НВ.

Название - *Деформируемая свинцовая латунь*

Марка - ЛС59-1.

Массовая доля элементов: 57,0-60,0 % Cu; 0,8-1,9 % Pb; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: крепежные изделия, зубчатые колеса, втулки.

Хорошо обрабатывается резанием; обладает высокими антифрикционными свойствами.

Термическая обработка: полный отжиг 600-650 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$\sigma_B = 400/650$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 140/420$ МПа;
 $\delta = 45/5$ %;
85/150 НВ.

Название - *Деформируемая алюминиевая латунь*

Марка - ЛА77-2.

Массовая доля элементов: 76,0-79,0 % Cu; 1,75-2,50 % Al; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: конденсаторные трубы морского судостроения.

Коррозионноустойчива в атмосферных условиях; склонна к обесцинкованию и коррозионному растрескиванию.

Термическая обработка: полный отжиг 600-650 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$\sigma_b = 380/580$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 140/-$ МПа;

$\delta = 50/8$ %;

55/160 НВ.

Название - *Деформируемая алюминиевая латунь*

Марка - ЛАЖ60-1-1.

Массовая доля элементов: 58,0-61,0 % Cu; 0,75-1,50 % Al; 0,75-1,50 % Fe; 0,1-0,6 % Mn; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: высокопрочные детали, работающие в морской воде; прессованные прутки, трубы.

Хорошо обрабатывается давлением в горячем состоянии; обладает высокими коррозионными свойствами в атмосферных условиях, в пресной и морской воде.

Термическая обработка: полный отжиг 600-650 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$\sigma_b = 420/720$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 200/-$ МПа;

$\delta = 50/9$ %;

80/170 НВ.

Название - *Деформируемая многокомпонентная латунь*

Марка - ЛЖМц59-1-1.

Массовая доля элементов: 57,0-60,0 % Cu; 0,6-1,2 % Fe; 0,5-0,8 % Mn; 0,1-0,4 % Al; 0,3-0,7 % Sn; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: детали самолетов и морских судов; вкладыши подшипников; листы, прутки, профили.

Обладает повышенной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в морской воде; имеет хорошие антифрикционные свойства.

Термическая обработка: полный отжиг 600-650 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$\sigma_B = 450/700$ МПа;
 $\sigma_{0,2} = 170/450$ МПа;
 $\delta = 50/8$ %;
88/160 НВ.

Название - *Литейная свинцовая латунь*

Марка - ЛЦ40С.

Массовая доля элементов: 57,0-61,0 % Cu; 0,8-2,0 % Pb; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: арматура, втулки, сепараторы подшипников качения; детали, изготавливаемые литьем под давлением.

Механические свойства (литье в кокиль):

$\sigma_B = 250-350$ МПа;
 $\sigma_{0,2} = 150-180$ МПа;
 $\delta - 12$ %;
80-90 НВ.

Название - *Литейная латунь*

Марка - ЛЦ40МцЗЖ.

Массовая доля элементов: 55,0-58,5 % Cu; 2,5-3,5 % Pb; 0,5-1,5 % Al; остальное – Zn.

Детали машин и области применения: несложные по конфигурации детали ответственного назначения и арматура для морского судостроения, работающие при температуре до 300 °С, массивные детали (гребные винты, лопасти, сепараторы).

Механические свойства (литье в песчаные формы):

$\sigma_B = 450-550$ МПа;
 $\sigma_{0,2} = 170-240$ МПа;
 $\delta = 10$ %;
100-110 НВ.

7.3.5 Бронзы

ГОСТ 613-79. Бронзы оловянные, литейные. Марки; ГОСТ 5017-2006. Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением. Марки.

ГОСТ 18175-78. Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки.

Название - *Деформируемая оловянная бронза*

Марка - БрОЦС 4-4-2,5.

Массовая доля элементов: 3-5 % Sn; 3-5 % Zn; 1,5-3,5 Pb; основа – Cu.

Детали машин и области применения: втулки и подшипники в автомобильной и тракторной промышленности.

Хорошо обрабатывается давлением в холодном состоянии (прокатка, волочение), в горячем состоянии не обрабатывается. Высокая усталостная прочность в коррозионных средах.

Термическая обработка: полный отжиг 500-600 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$$\sigma_b = 320/550-650 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 135/- \text{ МПа};$$

$$\delta = 35-45/2-3 \text{ \%};$$

$$60/170 \text{ НВ.}$$

Название - *Деформируемая оловянная бронза*

Марка - БрОФ4-0,25.

Массовая доля элементов: 3,5-4,0 % Sn; 0,2-0,3 % P; основа – Cu.

Детали машин и области применения: полосы, листы, трубки для контрольно-измерительных и других приборов, для манометрических пружин.

Хорошо обрабатывается давлением в холодном и удовлетворительно - в горячем состоянии; имеет повышенные коррозионные и упругие свойства.

Термическая обработка: отжиг 600-650 °С.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$$\sigma_b = 300-380/500-700 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = -/540 \text{ МПа};$$

$$\delta = 40-58/6-10 \text{ \%};$$

$$55-70/160-170 \text{ НВ.}$$

Название - *Литейная оловянная бронза*

Марка - Бр010Ф1.

Массовая доля элементов: 9,0-11,0 % Sn; 0,4-1,1 % P; основа – Cu.

Обладает хорошими антифрикционными, коррозионными и литейными свойствами.

Детали машин и области применения: втулки для подшипников электродвигателей, узлы трения арматуры, высоконагруженные детали шнековых приводов, венцы червячных шестерен, шестерни.

Механические свойства (литье в песчаные формы):

$$\sigma_b = 215-300 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 140 \text{ МПа};$$

$$\delta = 3 \text{ \%};$$

$$80-100 \text{ НВ.}$$

Название - *Литейная оловянная бронза*

Марка - БрОЗЦ12С5.

Массовая доля элементов: 2,0-3,5 % Sn; 8,0-15,0 % Zn; 3,0-6,0 % Pb.

Детали машин и области применения: водяная и паровая арматура для давления до 245 МПа; антифрикционные детали.

Типичные механические свойства при литье в песчаные формы / в кокиль:

$$\sigma_b = -/200-230 \text{ МПа};$$

$$\delta = 8/5 \text{ \%};$$

60/- НВ.

Название - *Литейная оловянная бронза*

Марка - БрОЗЦ7С5Н1.

Массовая доля элементов: 2,5-4,0 % Sn; 3,0-6,0 % Pb; 6,0-9,5 % Zn; 0,5-2,0 % Ni.

Детали машин и области применения: арматура, работающая в морской и пресной воде, в маслах и других слабокоррозионных средах, антифрикционные детали

Типичные механические свойства при литье в песчаные формы / в кокиль

$\sigma_b = 180/210$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 70-80/-$ МПа;

$\delta = 8/5$ %;

60/60 НВ.

Название - *Деформируемая алюминиевая бронза*

Марка - БрА7.

Массовая доля элементов: 6,0-8,0 % Al; основа – Cu.

Детали машин и области применения: упругие элементы - пружины, мембраны, сильфоны; детали, работающие в морской среде.

Хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии, не дает искры при ударах, обладает высокой коррозионной стойкостью. Трудно поддается пайке, неустойчива в перегретом паре. Обрабатываемость резанием неудовлетворительная.

Термическая обработка: полный отжиг 600-700 °С; отжиг для уменьшения остаточных напряжений 275 °С (30 минут).

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$\sigma_b = 440-500/950-1000$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 250/-$ МПа;

$\delta = 65-75/2-4$ %;

65-75/200-220 НВ.

Название - *Деформируемая алюминиевая бронза*

Марка - БрАМц9-2.

Массовая доля элементов: 8,0-10,0 % Al; 1,5-2,5 % Mn; основа – Cu.

Детали машин и области применения: в морском судостроении для изготовления деталей (червячные винты, зубчатые колеса, втулки), арматуры, работающей при температуре до 250 °С. В машиностроительной и автотракторной промышленности - детали электрооборудования.

Хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии, обладает высокой коррозионной стойкостью; обрабатываемость резанием неудовлетворительная.

Термическая обработка: отжиг 650-750 °С.

Типичные механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$\sigma_b = 400-500/600-800$ МПа;

$\sigma_{0,2} = -/500$ МПа;

$\delta = 20-40/4-5$ %;

110-130/160-180 НВ.

Название - *Деформируемая алюминиевая бронза*

Марка - БрАЖН10-4-4.

Массовая доля элементов: 9,5-11,0 % Al; 3,5-5,5 % Fe; 3,5-5,5 % Ni; основа – Cu.

Детали машин и области применения: направляющие втулки выпускных клапанов, седла клапанов, шестерни и др. детали ответственного назначения в авиационной промышленности и в общем машиностроении.

Обладает хорошими антикоррозионными, удовлетворительными антифрикционными свойствами, отличается повышенной жаропрочностью. Сплав хорошо обрабатывается давлением в горячем состоянии; обрабатываемость резанием неудовлетворительная.

Термическая обработка: полный отжиг 700-750 °С.

Типичные механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$\sigma_b = 450-550/750-830$ МПа;

$\delta = 35-45/9-15$ %;

130-140/180-220 НВ.

Название - *Литейная алюминиевая бронза*

Марка - БрА10ЖЗМц2.

Массовая доля элементов: 9,0-11,0 % Al; 2,0-4,0 % Fe; 2,0 % Mn; основа – Cu.

Детали машин и области применения: фасонные отливки, арматура, антифрикционные детали.

Сплав обладает хорошей коррозионной стойкостью, антифрикционными свойствами; обрабатывается давлением в горячем состоянии.

Механические свойства (литье в кокиль):

$\sigma_b = 490-550$ МПа;

$\sigma_{0,2} = 220$ МПа;

$\delta = 12-14$ %;

120-135 НВ.

Название - *Деформируемая кремниевая бронза*

Марка - БрКМц3-1.

Массовая доля элементов: 2,75-3,5 % Si; 1-1,5 % Mn; основа – Cu.

Детали машин и области применения: антифрикционные детали, пружины и пружинящие детали, для изготовления сеток, решеток и труб для сточных вод, испарителей, дымовых фильтров. Применяется в приборостроении, моторостроении, химическом и общем машиностроении, морском судостроении.

Хорошо сваривается и паяется; удовлетворительно обрабатывается реза-

нием; обработка давлением может проводиться как при низких, так и при высоких температурах; не дает искры при ударах.

Термическая обработка: рекристаллизационный отжиг 600-700 °С; низкотемпературный отжиг для повышения упругих характеристик 275 °С, 1 ч.

Механические свойства в мягком / твердом состоянии:

$$\sigma_{\text{в}} = 400/750 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 160/420 \text{ МПа};$$

$$\delta = 60/5 \text{ \%};$$

$$105/200 \text{ НВ (НВ)}.$$

Название – *Деформируемая бериллиевая бронза*

Марка - БрБ2.

Массовая доля элементов: 1,8-2,1 % Be; 0,2-0,5 % Ni; основа – Cu.

Детали машин и области применения: пружины ответственного назначения, мембраны, пружинящие детали. Применяют в часовой промышленности, приборостроении, электронной технике, износостойкие детали всех видов.

Высокая коррозионная стойкость, жаропрочность, циклическая прочность; устойчива при низких температурах; не дает искры при ударах, высокие прочностные свойства, высокий предел упругости.

Термическая обработка: закалка 760-780 °С (вода) + старение 320 °С, 10 ч.

Механические свойства в закаленном / состаренном после закалки и деформации:

$$\sigma_{\text{в}} = 500/1350 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 250/1200 \text{ МПа};$$

$$\delta = 40/2 \text{ \%};$$

$$90/400 \text{ НВ (НВ)}.$$

Название – *Литейная свинцовая бронза*

Марка - БрС30.

Массовая доля элементов: 27,0-31,0 % Pb; основа – Cu.

Детали машин и области применения: антифрикционные детали, вкладыши подшипников, работающие при нагрузках до 15 МПа и скоростях скольжения 4-5 м/с.

Из-за низких механических свойств бронзу при изготовлении подшипников наплавливают тонким слоем на стальную ленту (биметаллические подшипники). Бронза склонна к ликвации.

Типичные механические свойства (литье в кокиль):

$$\sigma_{\text{в}} = 60-80 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{0,2} = 30-60 \text{ МПа};$$

$$\delta = 4-6 \text{ \%};$$

$$25-40 \text{ НВ}.$$

7.4 Неметаллические материалы

7.4.1 Пластические массы

7.4.1.1 Термопласты

Название - *Полиэтилен* (-CH₂-CH₂-)n.

Промышленность выпускает полиэтилен высокого давления ПЭВД (ГОСТ 16337-77), полиэтилен низкого давления ПЭНД (ГОСТ 16338-85).

Марка – ПЭНД.

Детали машин и области применения: трубы, шланги, литые и прессованные несилловые детали, стержни, пленки, листы, кабельные изделия и другие профили повышенной прочности, получаемые методом экструзии, изоляция и защитные покрытия на проводах, кабелях.

Неполярная термопластичная пластмасса. Обладает высокой химической стойкостью, высокими диэлектрическими свойствами, удовлетворительной механической прочностью.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 949-953 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 18-35 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 20-38 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 70 \text{ }^{\circ}\text{C до плюс } 125 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Полипропилен* (-CH₂-CHCH₃-)n

Выпускается по МРТУ 6-05-1105-67 девяти марок.

Детали машин и области применения: конструкционные детали автомобилей, мотоциклов, холодильников; корпуса насосов; емкости; трубы.

Неполярная термопластичная пластмасса. Химически стойкий материал. Изделия могут подвергаться стерилизации паром. Низкая морозостойкость.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 900-910 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 25-40 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 15 \text{ }^{\circ}\text{C до плюс } 150 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Полистирол* (-CH₂-CHC₆H₅-)n

Выпускается по ГОСТ 20282-86 ПСЭ-1 (для получения пенопластов), ПСЭ-2, ПСМ, ПСС, ПССП (общего назначения), ПСМД (для электроизоляционных и технических изделий).

Марка - ПСЭ-2.

Детали машин и области применения: полистирол общего назначения: детали радиоаппаратуры; предметы домашнего обихода, оргтехники; сосуды для воды и химикатов, облицовочная плитка и др.

Неполярная термопластичная пластмасса. Легко перерабатывается в из-

деляя обычными методами, применяемыми для термопластов. Стоек к воздействию ионизирующего излучения. Склонен к старению.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1050-1080 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 39 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 20 \text{ }^{\circ}\text{C до плюс } 90 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название – *Фторопласт-4* ($-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$)_n

Выпускается по ГОСТ 10007-80.

Детали машин и области применения: трубы, вентили, краны, насосы, мембраны, уплотнительные прокладки, манжеты, сильфоны, электрорадиотехнические детали, антифрикционные покрытия на металлах (подшипники, втулки).

Неполярная термопластичная пластмасса. Обладает высокой химической стойкостью, низким коэффициентом трения. Является высококачественным диэлектриком. Характеризуется трудностью переработки, хладотекучестью.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 2190-2200 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 14-35 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 10-12 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 14-18 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 269 \text{ }^{\circ}\text{C до плюс } 260 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Фторопласт-3* ($-\text{CF}_2-\text{CFCl}-$)_n

Выпускается по ГОСТ 13744-87 трех марок (А - для получения масел и смазочных материалов; Б - для тех же целей, что А, а также суспензий, изделий, получаемых экструзией, прессованием, литьем под давлением и для порошкового напыления; В - для получения изделий специального назначения прессованием).

Детали машин и области применения: трубы, шланги, клапаны, детали насосов, защитные покрытия металлов.

Полярный термопластичный материал. Обладает высокой химической стойкостью к действию кислот, окислителей, щелочей, органических растворителей. Низкочастотный диэлектрик. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией, прессованием.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 2090-2160 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 30-40 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 20-56 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 60-80 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 105 \text{ }^{\circ}\text{C до плюс } 70 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Поливинилхлорид* ($\text{CH}_2-\text{CHCl}-$)_n

Выпускается поливинилхлорид суспензионный (23 марки по ГОСТ

14332-78) и поливинилхлорид эмульсионный (15 марок по ГОСТ 14039-78). Путем введения наполнителя стабилизатора получают твердые пластмассы - винипласты. Например, по ГОСТ 9639-71 изготавливают винипласт листовой; по МН 1427-61 - трубы винипластовые. При введении в пластмассовую композицию пластификатора получают мягкие пластмассы - пластикаты, выпускаемые в виде пленок, трубок, конструкционных деталей, например по ТУ 6-05-1630-73 выпускают пластикат для обивки дверей и потолка салона автомобилей, для противосолнечного козырька, водонепроницаемых прокладок и т.п.

Марка - Винипласт листовой ВД.

Детали машин и области применения: трубы, детали вентиляционных установок, теплообменников, защитные покрытия для металлических емкостей, строительные и облицовочные плитки.

Термопластичная жесткая прозрачная или окрашенная пластмасса на основе суспензионного или эмульсионного винилхлорида с наполнителем из асбеста, талька, кварца, древесной муки и др. веществ. Обладает высокой химической стойкостью. Хорошо склеивается и сваривается.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1400 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 70 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 120 \text{ МПа};$$

$$\delta = 10\text{-}50 \text{ \%};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 50 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ до плюс } 60 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Органическое стекло*

Органическое стекло - обобщающее название прозрачных полимеров. Основным представителем группы является полиметилметакрилат. По ГОСТ 17662-72 выпускается стекло органическое техническое трех марок; по ГОСТ 10667-90 - стекло органическое листовое для остекления самолетов трех марок; по ГОСТ 9784-75 - стекло органическое светотехническое шести марок и по ГОСТ 14183-78 - стекло органическое часовое марок СОЛ-Ч и СТ-Ч.

Марка - стекло органическое светотехническое СЭП.

Детали машин и области применения: рассеиватели светильников и другие изделия светотехнического назначения.

Материал с высокой оптической прозрачностью (светопрозрачность 88 %), легко поддается механической обработке, температура начала размягчения 95 °С.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1180 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma = 60 \text{ МПа};$$

$$\delta = 2 \text{ \%};$$

$$10 \text{ НВ}.$$

Торговые названия полиамидов - амид, капрон, нейлон и др. Полиамид 610 литьевой поставляется по ГОСТ 10589-87; капрон (капроамид, полика-

проамид) выпускается по ТУ 6-06-309-70; поставляются по стандартам сополимеры литевых полиамидов АК-93/7, АК-85/15 и АК-80/20.

Марка - Полиамид 610 литевой.

Детали машин и области применения: шестерни, втулки, подшипники, шкивы, колеса центробежных насосов, уплотнители гидросистем, антифрикционные покрытия металлических поверхностей, детали электротехнического назначения.

Устойчив к действию углеводородов, органических растворителей, масел, щелочей. Способен воспринимать ударные нагрузки, поглощать вибрации.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1090-1110 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 449 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 444 \text{ МПа};$$

$$10 \text{ НВ};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 60 \text{ }^{\circ}\text{C до плюс } 70 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Поликарбонат*

Поликарбонат (дифлон) выпускается марок 1,2,...9 (ТУ 6-05-1668-74) и стеклонаполненный дифлон СТН-130 (ТУ 6-05-211-937-74).

Марка – Дифлон.

Детали машин и области применения: шестерни, кулачковые механизмы, детали воздуходувок и холодильных машин, кронштейны, трубы, вентили и др.

Для поликарбонатов характерны высокая ударная прочность, коррозионная стойкость, работоспособность при низких температурах (до минус 253 °С). Дифлон перерабатывается литьем под давлением, экструзией, прессованием. Детали легко поддаются механической обработке. Поликарбонат можно окрашивать, металлизировать, наполнять другими веществами (стекловолокно, тетрафторэтилен, асбест и др.).

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1200 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 60-70 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 80-90 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 100-110 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 135 \text{ }^{\circ}\text{C до плюс } 130-140 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Полиарилаты*

Сложные гетероцепные полярные полиэферы.

Детали машин и области применения: подшипники, работающие в глубоком вакууме, уплотнительные материалы в буровой технике.

Термостойкие пластики. Обладают высокой радиационной и химической стойкостью, хорошими антифрикционными свойствами.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1200 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 55-120 \text{ МПа};$$

$\sigma_{сж} = 105-145$ МПа;
 $\sigma_{из} = 100-125$ МПа;
 $t_{раб} =$ от минус 100 °С до плюс 155-250 °С.

Название - *Пентапласт*

Полярная термопластичная пластмасса выпускается по ТУ 6-05-1422-71.

Детали машин и области применения: трубы, клапаны, детали насосов, емкости, пленки, защитные покрытия на металлах.

Обладает высокой химической стойкостью, стойкостью к истиранию. Имеет удовлетворительные электроизоляционные свойства. Хорошо перерабатывается литьем под давлением и сваркой.

Физико-механические свойства:

$\rho = 1400$ кг/м³;
 $\sigma_{в} = 80-110$ МПа;
 $t_{раб} =$ до плюс 150 °С.

Название - *Полиформальдегид (-CH₂-O-)n*

Полярный линейный полимер.

Детали машин и области применения: втулки и вкладыши подшипников скольжения, сепараторы и кольца подшипников качения, тела качения, шестерни, корпуса и детали насосов, арматура трубопроводов горячей воды и горячих смазочных материалов, изделия бытового назначения.

Один из наиболее жестких полимерных материалов. Обладает высокой стойкостью к истиранию, высокими антифрикционными и диэлектрическими свойствами, высокой химической стойкостью. Хорошо обрабатывается на станках. Перерабатывается в изделия литьем под давлением.

Физико-механические свойства:

$\rho = 1400$ кг/м³;
 $\sigma_{в} = 64-69$ МПа;
 $\sigma_{сж} = 127$ МПа;
 $\sigma_{из} = 78-108$ МПа;
 $t_{раб} =$ от минус 60 °С до + 100 °С.

Название - *Ароматический полиамид (-NH-CO-)*

Ароматические полиамиды (фенилоны) выпускают марок П, С1 (ТУ 6-05-221-101-71) и С2 (ТУ 6-05-221-226-72).

Марка - Фенилон С2.

Детали машин и области применения: уплотнительные детали запорных устройств, седла клапанов, зубчатые колеса, подшипники, диэлектрические изделия.

Материал характеризуется высокой жесткостью, износостойкостью, морозостойкостью, химической и радиационной стойкостью. Способен длительно работать при температуре 250-260 °С.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1330 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 118-137 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 216-235 \text{ МПа}.$$

Название - *Полиимиды*

Полиимиды могут быть как термопластичными, так и терморезистивными материалами. Ненаполненные полиимиды выпускают марок ПМ-67 и ПМ-69.

Марка - ПМ-69.

Детали машин и области применения: изделия конструкционного, антифрикционного и электроизоляционного назначения.

Термостойкая пластмасса; обладает комплексом высоких механических свойств; негорюча; инертна к действию большинства органических растворителей, масел, разбавленных кислот; неустойчива в щелочах.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1380-1410 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 90-125 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 210-240 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 180-230 \text{ МПа};$$

$$20-26 \text{ НВ};$$

$$t_{\text{раб. макс.}} = 235-265 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Пенопласт*

Пенопласты выпускают на основе как термопластичных (пенополистирол, пенополивинилхлорид, пенополиуретан), так и терморезистивных (пенофенопласт, пенополисилоксан, пенополиэпоксид) полимерных материалов.

Марка - Пенополивинилхлорид ПВХ-1.

Детали машин и области применения: теплоизоляционный материал; легкий наполнитель конструкций.

Вспененный поливинилхлорид с замкнутой ячеистой структурой. Масло-стойк; грибо-стойк.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 70-130 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 0,4-0,7 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 1,5-4 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 60 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ до } + 60 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

7.4.1.2 Реактопласты

Название - *Пластмассы с порошковым наполнителем.*

В качестве порошковых наполнителей применяют древесную муку, графит, тальк, молотый кварц, слюдяную муку и др. материалы. В качестве связующих широко используют фенолформальдегидные (фенопласты), карбамидные (аминопласты), эпоксидные, кремнийорганические и др. смолы.

Детали машин и области применения: фенопласты, аминопласты исполь-

зуются для изготовления несилевых конструкционных и электроизоляционных деталей: корпусов приборов, панелей, ручек и др. Материалы на основе эпоксидных смол применяют для изготовления инструментальной оснастки, вытяжных и формовочных штампов, литейных моделей, копиров и др.; на основе фурановых и эпоксидных смол с наполнителями из графита и дисульфида молибдена - для изготовления подшипников скольжения.

Материалы изотропны. Обладают относительно низкими механическими свойствами. Изделия получают прессованием пресс-порошков или таблеток пластмассовых композиций. Теплостойкость материалов определяется сочетанием вида полимера и наполнителя, например, у пластмасс на основе кремний-органических смол с наполнителем из кварцевого порошка теплостойкость достигает 300 °С.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1400 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 30 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 50\text{-}150 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 60 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = 100\text{-}110 \text{ }^\circ\text{С (предельная, длительная эксплуатации)}.$$

Название - *Волокнит*

Марка - У1-301-07.

Детали машин и области применения: детали общетехнического назначения (рукоятки, стойки, направляющие втулки, фланцы, шкивы, маховики, шестерни).

Имеет повышенную, по сравнению с пресс-порошками, ударную вязкость. Работают на изгиб и кручение. Обладают хорошими антифрикционными свойствами.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1450 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 30\text{-}35 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 100\text{-}120 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 80 \text{ МПа};$$

$$25 \text{ НВ};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{до } 100 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Название - *Асбоволокниты*

Детали машин и области применения: материал тормозных устройств; кислотоупорные ванны, аппараты, трубы.

Наполнитель – асбест, связующее - в основном фенолформальдегидная смола. Характеризуются повышенной теплостойкостью, устойчивостью к кислым средам; высокими фрикционными свойствами.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1950 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 110 \text{ МПа};$$

$\sigma_{из} = 70$ МПа;
30 НВ;
 $t_{раб} = 200$ °С.

Название - *Стекловолокниты*

Детали машин и области применения: силовые электротехнические детали; детали машиностроения (золотники, уплотнения насосов, детали сложной формы с металлической арматурой). При полиэфирном связующем – крупногабаритные изделия простой формы (кузова автомашин, лодки, корпуса приборов).

Наполнитель - непрерывное или короткое стеклянное волокно. Связующее - синтетические смолы. Могут работать при температурах от минус 60 до плюс 200 °С. Выдерживают большие инерционные нагрузки.

Физико-механические свойства:

$\rho = 1700-1900$ кг/м³;
 $\sigma_{в} = 80-500$ МПа;
 $\sigma_{сж} = 130$ МПа;
 $\sigma_{из} = 120-250$ МПа.

Название - *Гетинаксы*

(Материалы на основе модифицированных фенолформальдегидных, анилиноформальдегидных, карбамидных смол и листовых наполнителей из различных сортов бумаги).

Детали машин и области применения: внутренняя облицовка пассажирских кабин самолетов, железнодорожных вагонов, кают судов, в строительстве. Электроизоляционные материалы.

По назначению подразделяют на электротехнические и декоративные. Устойчивы к действию химикатов, растворителей, пищевых продуктов.

Физико-механические свойства:

$\rho = 1300-1400$ кг/м³;
 $\sigma_{в} = 80-100$ МПа;
 $\sigma_{сж} = 160-290$ МПа;
 $\sigma_{из} = 80-100$ МПа;
 $t_{раб} = 150$ °С.

Название - *Текстолиты*

ГОСТ 5-78. Текстолит и асботекстолит конструкционные. Технические условия.

(Материалы на основе термореактивных смол с листовым наполнителем из хлопчатобумажных тканей).

Детали машин и области применения: электроизоляционные детали, прокладки, панели, зубчатые колеса, подшипники прокатных станков, центробежных насосов, турбин.

Обладают хорошей способностью поглощать вибрационные нагрузки.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1400 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 65\text{-}100 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 120\text{-}150 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 120\text{-}150 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = 125 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Название - *Древесно-слоистые пластики (ДСП)*

ГОСТ 20966-75 Пластик древесный слоистый марки ДСП-Б-а. Технические условия.

(Материалы на основе феноло- и крезольно-формальдегидных смол с наполнителем из древесного шпона).

Детали машин и области применения: шкивы, втулки, корпуса насосов, подшипники, матрицы штампов для вытяжки, детали текстильных машин, автомобилей, железнодорожных вагонов, судов.

Стойки к действию разбавленных минеральных кислот, сложных эфиров, некоторых органических кислот, к минеральному маслу. Чувствительны к влаге.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1350 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 180\text{-}300 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 100\text{-}180 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 140\text{-}280 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = 140\text{-}200 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Название – *Стеклотекстолиты*

ГОСТ 10292-74. Стеклотекстолит конструкционный. Технические условия.

(Материалы на основе фенолформальдегидных, кремнийорганических, эпоксидных, ненасыщенных полиэфирных смол с наполнителем из стеклянных тканей).

Детали машин и области применения: несущие детали летательных аппаратов, кузова и кабины автомашин, автоцистерны, железнодорожные вагоны, корпуса лодок, судов, корпуса машин, кожухи, защитные ограждения, вентиляционные трубы, контейнеры и др.

Обладают высокой демпфирующей способностью, хорошо работают при вибрационных нагрузках, имеют высокую удельную прочность и удельную жесткость.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1600\text{-}1900 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 250\text{-}600 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 210\text{-}260 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 150\text{-}420 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = 200\text{-}300 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Название - *Стеклотекстолит*

Марка – КАСТ.

Детали машин и области применения: конструкционный материал в самолетостроении, судостроении, радиотехнике. Термоизоляционный прокладочный материал.

Поддается всем основным видам механической обработки и склеиванию.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1900 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 265\text{-}294 \text{ МПа (на основе)};$$

$$t_{\text{раб}} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Стеклотекстолит*

Марка - ВФТ-С.

Детали машин и области применения: нагруженные детали конструкционного и радиотехнического назначения, способные работать кратковременно при температуре 300 °С и длительно при 200 °С.

Поддается всем основным видам механической обработки и склеиванию.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1840\text{-}1850 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 315 \text{ МПа (по основе)};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 77 \text{ МПа (вдоль слоев)};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 245 \text{ МПа (по основе)}.$$

Название - *Материал СВММ*

(Материал с наполнителем из стеклянного шпона на основе терморезистивного связующего материала).

Детали машин и области применения: конструкционный материал с высокой жесткостью и ударной вязкостью.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1800\text{-}2000 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 350\text{-}1000 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{сж}} = 350\text{-}450 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{из}} = 500\text{-}700 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

7.4.2 Резины

Название - *Резина листовая*

По ГОСТ 7338-90 листовая резина выпускается тепломорозокислотощелочестойкая (ТМКЩ), ограниченномаслобензостойкая (ОМБ) и повышенномаслобензостойкая (ПМБ), кроме того, они подразделяются на мягкие (М), средней твердости (С) и повышенной твердости (П).

Марка - ТМКЩ П.

Детали машин и области применения: уплотнение неподвижных соеди-

нений, детали машин, воспринимающих ударные нагрузки.

Обладает высокой химической стойкостью в кислотах и щелочах, повышенной твердостью, тепло- и морозостойкостью.

Физико-механические свойства:

$$\sigma_{\text{в}} = 6,4 \text{ МПа};$$

$$\delta = 200 \text{ \%};$$

$$\delta = 50 \text{ \% (остаточная деформация при сжатии)};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 60 \text{ до плюс } 80 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Резина пищевая*

По ГОСТ 17133-83 выпускается резина ПМ и ПТМ, контактирующая с молочными продуктами, ПЖ - с растительными маслами и животными жирами, ПВ - с алкогольными напитками, ПБ - с безалкогольными напитками и питьевой водой, ПК - с консервированными продуктами, ПС - с мукой, крупой и др. сыпучими продуктами. Резины могут быть мягкими (М), средней твердости (С) и повышенной твердости (П).

Марка - ПТМ М.

Детали машин и области применения: резина используется для деталей аппаратов, диафрагм, прокладок, гуммирования изделий, контактирующих с молоком и молочными продуктами.

Химически стойка в пищевых (молочных) продуктах в значительном интервале температур.

Физико-механические свойства:

$$\sigma_{\text{в}} = 4,4 \text{ МПа};$$

$$\delta = 350 \text{ \%};$$

$$t_{\text{раб}} = \text{от минус } 30 \text{ до плюс } 140 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Название - *Губчатая резина*

Детали машин и области применения: защитные амортизирующие подушки, защитные шлемы, сиденья в самолетах, автомобилях.

Резина с открытой пористостью (латексная губка, пенная резина) газо- и гидропроницаема, обладает низкой теплопроводностью, легко сжимается (для сжатия образца на 60 % требуется усилие 6-50 кПа); морозостойкость и набухаемость зависят от вида каучука.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 80-250 \text{ кг/м}^3;$$

$$\delta = 100-300 \text{ \%}.$$

Название - *Эбонит*

По ГОСТ 2748-77 выпускают эбонит марок А (для высокой электрической изоляции), Б (для общей электрической изоляции), В (в качестве подделочного материала в виде пластин, прутков и трубок). По ГОСТ 6980-76 и ГОСТ 9298-77 из эбонита изготавливают моноблоки и детали для аккумуляторов.

Марка – В.

Детали машин и области применения: трубы, сосуды, насосы, детали машин и аппаратов химического машиностроения, электроизоляционные детали.

Продукт вулканизации каучука большим количеством серы. Твердое вещество стойкое в кислотах, щелочах, органических растворителях, хорошо обрабатывается резанием. При повышенных температурах (65-100 °С) переходит в пластичное состояние, позволяющее осуществлять штамповку.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1100-1250 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma = 30-60 \text{ МПа};$$

$$\delta = 1-4 \text{ \%}.$$

7.4.3 Клеи

Название - *Фенольно-каучуковые композиции*

Клеи на основе резольной смолы, совмещенной с каучуком.

Выпускаются марок ВК-32-200, ВК-3, ВК-4, ВК-13 и др.

Детали машин и области применения: склеивание металлов, силикатных стекол.

Клеевые соединения теплостойки; хорошо выдерживают циклические нагрузки; устойчивы в маслах, жидком топливе; обладают отличной водостойкостью. Склеивание производится под давлением при температуре 150-200 °С.

Физико-механические свойства:

$$\sigma_{\text{в}} = 17-20 \text{ МПа (при равномерном отрыве)};$$

$$\sigma_{\text{в}} = 3-5 \text{ МПа (при неравномерном отрыве)};$$

$$\sigma_{\text{сд}} = 14-25 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{раб}} = 200-350 \text{ }^{\circ}\text{С}.$$

Название - *Фенолополивинилацетальные клеи*

Спиртовые растворы поливинилацеталей с резольными фенолформальдегидными смолами. В соответствии с ГОСТ 12172-74 выпускаются клеи семи марок: БФ-2, БФ-4, БФ-2Н, БФ-4Н, БФР-2, БФР-4, БФ-6.

Марка - БФ-2.

Детали машин и области применения: склеивание цветных металлов, коррозионностойких сталей, неметаллов и металлов с неметаллами.

Клеевое соединение обладает хорошей водостойкостью, длительно устойчиво в маслах, бензине, керосине, спиртоглицериновой смеси.

Физико-механические свойства:

$$\sigma_{\text{сд}} = 20 \text{ МПа (при } 20 \text{ }^{\circ}\text{С)};$$

Термостойкость клеевой пленки от минус 60 °С до +80 °С.

Название - *Клеи на основе эпоксидных смол*

Применяют клеи холодного отверждения (ВК-9, ВК-16, КЛН-1, Л-4, ЭПО) и горячего отверждения (ВК-32-ЭМ, К-153, ФЛ-4С, ВК-1).

Марка - ВК-32-ЭМ.

Детали машин и области применения: склеивание сталей, дуралюминов между собой и с пенопластами.

Клеевое соединение стойко в различных климатических условиях.

Физико-механические свойства:

$$\sigma_{сд} = 25 \text{ МПа.}$$

Название - *Резиновые клеи*

Представляют собой растворы каучуков и (или) резиновых смесей в органических растворителях часто с добавлением легирующих компонентов. По температуре отверждения подразделяют на клеи горячей вулканизации (100-150 °С) и холодного отверждения (15-20 °С). Резиновые клеи предназначены для склеивания резины с резиной, резины с металлами, древесиной и другими материалами.

Марка - 88-Н (МРТУ 38-5-880-66).

Детали машин и области применения: приклеивание холодным способом резины к металлам, стеклу и другим материалам, а также для склеивания резины с резиной.

Клей 88-Н представляет собой раствор резиновой смеси на основе наирита и бутилфенолформальдегидной или другой смолы в смеси этилацетата и бензина "галоша". Прочность клеевого соединения резины 56-В со сталью или дуралюмином при отрыве 1,1 МПа после 24-часового отверждения.

Название - *Фосфатные клеи*

Марка – АХФС.

Детали машин и область применения: склеивание различных металлов, графита.

Клей на алюмохромофосфатной связке. Отверждается при различных температурах (от 20 °С до 250 °С); водо- и кислотостоек; обладает хорошей адгезией.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1530 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{в} = 3-10 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{сд} = 0,9-1,4 \text{ МПа};$$

$$t_{раб} = \text{до } 1000-1800 \text{ } ^\circ\text{С}.$$

7.4.4 Герметики

Название - *Герметик тиоколовый*

Марка - У-30М.

Детали машин и области применения: предназначен для герметизации металлических (кроме латунных, медных, серебряных) и других соединений, работающих в среде разбавленных кислот, щелочей, жидкого топлива и на воздухе во всех климатических условиях при температурах от минус 60 до плюс 130 °С.

Применяют в авиационной и автомобильной промышленности, в судостроении, для строительной техники.

Обладает высокой газо- и паронепроницаемостью, высокой адгезией к металлам, древесине, бетону, стоек к топливу и маслам.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 1400 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 2,5-3,9 \text{ МПа.}$$

Название - *Герметик силоксановый*

Марка - ВИКСИНТ У-1-18.

Детали машин и области применения: предназначен для поверхностной герметизации металлических соединений, электро-, радиоаппаратуры, для внутришовных соединений клепанных и сварных конструкций.

Стойк в различных климатических условиях; может работать при температуре от минус 60 °С до + 300 °С; выдерживает вибрации и удары.

Физико-механические свойства:

$$\rho = 2250 \text{ кг/м}^3;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 2 \text{ МПа.}$$

Название - *Герметики эпоксидные*

Детали машин и области применения: герметизация металлических и стеклопластиковых изделий. Применяются в судовых конструкциях (марка УП-5-197С), в шахтной аппаратуре (марка УП-6-103), в электрорадиотехнических изделиях (марка УП-5-105-2).

Могут работать в условиях тропической влажности, при вибрационных и ударных нагрузках.

Физико-механические свойства:

$$\sigma_{\text{в}} = 6-55 \text{ МПа;}$$

$t_{\text{раб}} =$ от минус 60 °С до плюс 75 °С (герметики холодного отверждения), от минус 60 °С до плюс 140 °С (герметики горячего отверждения).

Список использованных источников

- 1 **Анурьев, В. И.** Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. – /В. И. Анурьев; под ред. И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. Т.1 – 920 с. - ISBN 5-217-02963-3.
- 2 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.
- 3 Марочник сталей и сплавов / М. М. Колосков [и др.]; под общ. редакцией А.С. Зубченко.– М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
- 4 Металловедение и термическая обработка стали / под ред. М.Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта. – М.: Metallurgia, 1991. – 451 с.
- 5 **Богодухов, С. И.** Курс материаловедения в вопросах и ответах: учебное пособие / С. И. Богодухов, В. Ф. Гребенюк, А. В. Синюхин.– 2-е изд. - М.: Машиностроение, 2005. – 288 с.
- 6 Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Г. П. Фетисов [и др.]; под ред. Г. П. Фетисова. – М.: Высшая школа, 2002. – 638 с.
- 7 Материаловедение: учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина.- 8-е изд., стер. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 648 с.
- 8 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – М.: Машиностроение-1, 2001. - Т. 1– 912 с.; т. 2 – 944 с.
- 9 **Гуляев, А. П.** Металловедение: учебник для втузов / А. П. Гуляев .- 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Metallurgia, 1986. - 541 с.: ил.
- 10 **Лахтин, Ю. М.** Материаловедение: учеб. для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева .- 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.
- 11 Технология обработки конструкционных материалов: учебник для вузов / П. Г. Петруха, А. И. Марков, П. Д. Беспяхотный. - М.: Высш. шк., 1991. - 512 с.: ил.
- 12 Термическая обработка в машиностроении: справочник / под ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта. - М.: Машиностроение, 1980. - 784 с.: ил.
- 13 Металловедение и термическая обработка стали: справочник в 3 т.: / под ред. М. Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта . - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Metallurgia, 1983. - Т. 1. Методы испытаний и исследования. - 352 с.: ил. - Т. 2. Основы термической обработки. – 367 с.: ил. - Т. 3. Термическая обработка металлопродукции. - 215 с.: ил.
- 14 Марочник сталей и сплавов. /В.Г. Сорокин, [и др.]; под общ. ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
- 15 Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / под ред. Ю. В. Левинского. - М.: Экомет, 2005. - 520 с.
- 16 **Мотовилин, Г.В.** Автомобильные материалы: справочник / Г.В. Мотовилин, М.А. Масино, О.М. Суворов.- 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1989. - 464 с.

17 Свойства машиностроительных материалов: учебное пособие / В.А. Бондаренко, С.И. Богодухов, П.С. Деревлев, А.П. Шевель; под ред. П.С. Деревлева. – Оренбург: Орен. гос. тех. ун-т., 1995. - 188 с.

18 **Богодухов, С.И.** Обработка упрочненных поверхностей в машиностроении и ремонтном производстве: учебное пособие. / С.И. Богодухов. - М.: Машиностроение, 2005. -256 с.

19 Технологические процессы в машиностроении: учебник для вузов / С.И. Богодухов, Е.В. Бондаренко, А.Г. Схиртладзе, Р.М. Сулейманов, А.Д. Проскурин; под общ. ред. С.И. Богодухова. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.: ил. ISBN 978-5-217-03408-6.