

Раздел 3. Краткие сведения о машиностроительных материалах и основах их выбора

Ресурсосбережение в промышленности подразумевает повышение мощности выпускаемых машин, качества, надежности, экономичности, конкурентоспособности и производительности оборудования и других изделий машиностроения. При этом предполагается уменьшение их габаритов, металлоёмкости, энергопотребления и снижение их себестоимости. Для этого должен быть решен вопрос о расширении и систематическом обновлении номенклатуры и ассортимента конструкционных материалов, внедрении высокоэффективных методов повышения их прочностных свойств; коррозионно- и износостойкости; об увеличении производства новых композитных конструкционных материалов; изделий на основе порошковой металлургии, порошков-сплавов, заменяющих черные и цветные металлы; широком применении малооперационной и безотходной технологии, а также прогрессивной технологии обработки, как электронно-лучевой, лазерной, электроэрозионной, плазменно-механической.

При выборе материала прежде всего учитывают эксплуатационные, технологические и экономические требования, предъявляемые к детали.

Эксплуатационные требования к материалу определяются условиями работы детали в механизме. Для выполнения этих требований учитываются следующие свойства материала: прочность – способность материала сопротивляться разрушению или появлению остаточных деформаций, характеризуется пределом прочности σ_b , пределом текучести σ_y , условным пределом текучести $\sigma_{0,2}$, пределом выносливости σ_R , твердостью по Бринеллю HB или Роквеллу HRC; **износостойкость** – способность материала сопротивляться износу, характеризуется твердостью HB, HRC, или допустимым удельным давлением q_{adm} ; **жесткость** – способность материала сопротивляться упругим деформациям, характеризуется при растяжении (сжатии) и изгибе модулем упругости E , при кручении – модулем упругости G ; **упругость** характеризуется пределом упругости σ_e и модулем упругости E ; **антифрикционность** характеризуется коэффициентом трения скольжения f ; **плотность**; **удельные характеристики** – характеристики, приходящиеся на единицу массы; **электропроводность**, **теплопроводность**, **коррозионная стойкость**, **жаропрочность** и др.

Технологические требования к материалу определяют возможность изготовления деталей с минимальными трудозатратами. При изготовлении деталей методами обработки давлением (штамповка, прессование и т.д.) учитывают **пластичность** – свойство материала получать без разрушения значительные остаточные деформации; при изготовлении литьем учитывают **легкоплавкость** и **жидкотекучесть** – заполняемость без пустот узких полостей различных форм; при изготовлении методами механической обработки учитывают **обрабатываемость резанием**. К технологическим требованиям относят также **термообрабатываемость** – способность материала изменять механические свойства при термической (закалка, отпуск, отжиг) и термохимической (цементация, азотирование и т.д.) обработках и **свариваемость** – способность материала образовывать прочные соединения при сварке.

Экономические требования к материалу определяются его стоимостью и дефицитностью. Более весомым экономическим требованием является себестоимость детали, которая включает как стоимость материала, так и производственные затраты на ее изготовление. Производственные затраты в значительной мере зависят от технологического процесса изготовления детали. Например, при массовом и крупносерийном производствах дешевле изготавливать детали штамповкой, прессованием, с помощью литья, а при единичном или мелкосерийном производстве эти технологии из-за большой стоимости оснастки (штампы, пресс-формы, литейные формы) очень дороги, здесь выгоднее применять детали, полученные с помощью механической обработки. Выбор технологии изготовления детали влияет и на выбор материала.

Стоимость материалов, из которых изготавливают машину, составляет 30...60% полной стоимости машины. Экономия на стоимости материалов можно получить как путем уменьшения количества потребного материала на машину, так и путем замены дорогостоящего материала более дешевым. Но не всегда дешевый материал оказывается выгоднее более дорогого. Например, чтобы изготовить небольшую шестерню из чугуна, необходимо сначала сделать модель, отформовать ее, залить чугуном и обточить полученную отливку; скорее, проще и дешевле будет отрезать диск нужной толщины от круглой стальной заготовки соответствующего диаметра и для получения шестерни обработать его на станке.

При применении литья необходимо иметь в виду, что если принять стоимость 1 т отливок из серого чугуна равной единице, то для стоимости различного вида литья ориентировочно принимают следующее соотношение: серый чугун — 1, стальное литье — 2, ковкий чугун — 2 и бронзовое литье — 8.

При проектировании деталей зубчатых передач наиболее ответственный момент в решении - правильный выбор материала для сопряженной пары зубчатых колес. В практике машиностроения зубчатые колеса для силовых передач, как правило, изготавливают из углеродистых и легированных сталей различных марок. Зубчатые колеса из чугуна находят применение только в слабонагруженных малоответственных передачах. Зубчатые колеса из цветных металлов (из бронзы) применяют главным образом при изготовлении червячных колес и в основной комбинированной конструкции: зубчатый венец изготавливают из бронзы, ступицу — из чугуна и стали. Пластмассы также применяются относительно редко и главным образом для передач, работающих в агрессивных средах. Зубчатые колеса из углеродистых конструкционных сталей

применяют в менее ответственных случаях, а из легированных сталей - в средненагруженных и тяжело нагруженных передачах, работающих с большими динамическими и ударными нагрузками. Следует заметить, что зубчатые колеса из углеродистых сталей, подвергнутых только нормализации и некоторому улучшению, обладают обычно невысокой контактной прочностью. Поэтому такие колеса используют лишь в единичном и мелкосерийном производстве. Высокую нагрузочную способность имеют зубчатые колеса с твердой поверхностью зубьев и вязкой их сердцевиной. Такими они получаются при изготовлении из углеродистых или легированных сталей после проведения соответствующей термической обработки, связанной с цементацией, азотированием или цианированием, и поверхностной закалкой зубьев. При объемной закалке зубья будут обладать пониженной вязкостью сердцевины, а потому плохо сопротивляться ударным нагрузкам.

Из технологических и экономических соображений колеса малых и средних размеров выполняют из поковок или проката. Колеса диаметром более 500 мм рекомендуется изготавливать из стального литья (35Л, 40Л, 50Л), применяя их в паре с кованой шестерней. Назначая материал, нужно стремиться получить одинаковую прочность зубьев шестерни и колеса. Зубья шестерни обычно имеют меньшее значение коэффициента формы зуба и работают в передаточное число раз интенсивнее, чем зубья колеса передачи. Поэтому для шестерни необходимо назначать материал с более высокими механическими характеристиками, твердость материала на поверхности зубьев шестерне рекомендуется принимать на 20...50 единиц НВ выше твердости поверхности зубьев колеса.

Выбирая тип заготовки и материал для изготовления деталей специалист должен идти по пути наименьших затрат на изготовление машины и отчетливо представлять технологический процесс её изготовления. Если, например, закладывается поверхностная термическая или химикотермическая обработка зубьев шестерни, то на предприятии-изготовителе должно быть оборудование для выполнения данной обработки (печь ТВЧ или печь газового азотирования ...), а также оборудование для шлифовки зубьев после закалки (зубошлифовальный станок). Это значительно удорожает процесс изготовления и, достигаемое уменьшение габаритов машины может оказаться несоизмеримым с произведенными затратами. Исходя из того, что по чертежам студента предполагается разовое изготовление машины, рекомендуется на начальном этапе проектирования выбирать для изготовления зубчатых передач и валов рядовые конструкционные стали (35; 45; 50) или малолегированные стали (40X; 40XH; 35XM;.....) и вводить щадящую термообработку (улучшение НВ 210-230 или НВ 260- 290). Зуборезный инструмент как правило изготавливается из быстрорежущей стали и способен обрабатывать стали с твердостью до НВ 300. Рамы под приводы рекомендуется выполнять в сварном варианте из стандартных профилей проката марки стали Ст3., которые обладают хорошей свариваемостью. Желательно и корпус редуктора выполнить в сварном варианте, но это потребует больших затрат времени на разработку чертежа и нужно не забыть ввести в требования чертежа пункт: «отпуск после сварки» - иначе после механической обработки размеры корпуса могут измениться из-за поводок от термических напряжений сварки.

При проектировании червячных передач трудно обойтись без использования бронзовых отливок для изготовления венцов червячных колёс, но и здесь желательно по возможности использовать стандартный прокат из цветных металлов.

В последние годы получено вязкое состояние совершенно хрупких тел. Материалом такого типа является гексанит Р, который намного превосходит карбидно-вольфрамовые твердые сплавы.

Широкое применение в машинах нашли пластмассы, которые изготавливаются без снятия стружки, где в 5 раз меньше трудоёмкость изготовления и количество отходов.

Алюминиевые порошки, распыленные плазмотроном на поверхности детали, увеличивают срок службы в 2-3 раза от коррозии.

Применение биметаллических материалов для деталей рациональной пустотелой формы увеличивает контактную прочность, при этом масса детали уменьшается в 2 раза.

Научно-технический прогресс в машиностроении тесно связан с созданием новых конструкционных материалов. Для повышения качества, надежности изделия с одновременным ресурсосбережением разрабатываются эффективные методы повышения прочности, коррозионной стойкости, тепло и хладостойкости сплавов. Расширено производство новых полимерных и композиционных материалов с заданным свойством.

Так, например, ионная имплантация снижает точечную коррозию, поверхностное легирование приводит к экономии дорогостоящих сталей. Если удельная прочность улучшенной стали 40X составляет 13км, то для титанового сплава составляет до 31км, а для композиционного материала на основе алюминия, армированного борным волокном до 43км.

Таким образом, повышение удельной прочности приводит к значительному сокращению металлоёмкости изделия.

Основные машиностроительные материалы

Конструкционными называют материалы, обладающие прочностью и применяемые для изготовления конструкций, воспринимающих силовую нагрузку. Конструкционные материалы подразделяют на: металлические, неметаллические и композиционные.

Материалы имеют решающее значение для качества и экономичности машин. Выбирая материал, необходимо учитывать следующие факторы:

- 1) соответствие свойств материала основным требованиям надежности деталей в течение заданного срока службы;
- 2) весовые и габаритные требования к детали и машине в целом;
- 3) соответствие технологических свойств материала конструктивной форме и намеченному способу обработки детали (штампруемость, обрабатываемость на станках и т.д.);
- 4) стоимость и дефицитность материала.

Таблица 1

Критерии оценки материалов				
Эксплуатационные требования	Производственные факторы	Экономические показатели	Механические свойства	Технологические свойства
1. Прочность 2. Жёсткость 3. Износостойкость 4. Теплостойкость 5. Виброустойчивость 6. Устойчивость 7. Коррозионная стойкость 8. Жаростойкость 9. Хладостойкость 10. Теплопроводность 11. Электропроводность 12. Магнитная проницаемость 13. Долговечность 14. Надежность	1. Серийность изделия 2. Требуемая точность изготовления деталей и сборки узлов 3. Наличие оборудования для получения заготовок передовой технологией 4. Наличие режущего инструмента и металлообрабатывающего оборудования 5. Наличие химико-термических и упрочняющих установок 6. Наличие исследовательской базы	1. Доступность и стоимость материала 2. Затраты на проектирование 3. Затраты на изготовление 4. Эксплуатационные затраты 5. Затраты на ведение НИР 6. Затраты на разработку перспективных конструкций 7. Затраты на приобретение лицензии на производство машин или наукоемкой технологии	1. Предел текучести 2. Предел прочности 3. Относительное удлинение 4. Модуль упругости 5. Модуль сдвига 6. Коэффициент Пуассона 7. Твёрдость HB, HRC, HV. 8. Модуль объемной упругости 9. Удельная прочность	1. Обрабатываемость резанием 2. Жидко текучесть 3. Литейные усадки 4. Деформируемость (пластичность) 5. Упрочняемость 6. Свариваемость 7. Пластичность 8. Флоксенчувствительность 9. Отпускная хрупкость

Для изготовления деталей в машиностроении применяют различные материалы: сталь, чугун, сплавы цветных металлов, пластмассы, резину. Свойства, методы получения, обозначения этих материалов рассмотрены в курсе «Технология металлов».

Металлы подразделяют на черные металлы (сталь, чугун) и сплавы цветных металлов (на основе меди, алюминия, титана и др.). К неметаллическим материалам относятся пластмассы (текстолит, волокнит, лигнофоль), резина, кожа, графит, минералокерамические материалы, древесина и др.

Черные металлы, подразделяемые на чугуны и стали, имеют наибольшее распространение. Это объясняется, прежде всего, их высокой прочностью и жесткостью, а также сравнительно невысокой стоимостью. Основные недостатки черных металлов - большая плотность и слабая коррозионная стойкость.

Железо и сплавы на его основе

Железо – это металл сероватого цвета, атомная масса которого равна 55,85, а атомный радиус – 0,127 нм. Температура плавления 1539 °С. В твердом состоянии железо имеет кристаллическую решетку, для которой характерно два возможных состояния, называемых полиморфной модификацией и обозначаемых как α -Fe и γ -Fe. Существование этих модификаций зависит от температуры нагрева.

Для α -Fe характерна объемноцентрированная кубическая решетка, которая существует при температурах менее $T \leq 910^\circ\text{C}$ и в диапазоне $T = 1392 \div 1539^\circ\text{C}$. В диапазоне температур $T = 910 \div 1392^\circ\text{C}$ железо существует в форме γ -Fe.

Углерод является неметаллическим элементом, который растворяется в железе как в жидком, так и в твердом состояниях. Чаще всего система Fe-C существует в виде жидкого сплава или твердого раствора. Твердыми растворами называют такие фазы, в которых один из компонентов сохраняет свою кристаллическую структуру, а атомы других компонентов присутствуют в решетке первого, изменяя ее размеры. Различают твердые растворы замещения и внедрения.

Твердый раствор углерода и других примесей в α -Fe называется **ферритом**. Углерод при этом располагается в центре грани куба, в котором может поместиться сфера радиусом, равным $0,29R$, где R – атомный радиус железа.

Раствор углерода и других примесей в γ -Fe называют **аустенитом**. Атом углерода при этом размещается в центре куба со вписанной сферой радиусом $0,41R$. Аустенит характеризуется высокой пластичностью и низкой прочностью.

Наиболее распространенными сплавами на основе железа являются сталь и чугун, которые представляют собой твердые растворы (сплавы) железа Fe с углеродом C. Если содержание углерода в растворе менее 2,14%, то такой сплав называется сталью, а если больше 2,14%, то чугуном. Граница разделения чугуна и стали соответствует предельной растворимости углерода в аустените. Стали после затвердевания не содержат хрупкой структурной составляющей и при высоком нагреве имеют только аустенитную структуру, обладающую высокой пластичностью. По этой причине стали легко деформируются при нормальных и повышенных температурах, т.е. являются ковкими материалами. В отличие от сталей чугуны характеризуются хрупкостью, но обладают хорошими литейными свойствами, в том числе более низкими температурами плавления.

Стали

Стали – это деформируемые сплавы железа с углеродом (до 2,14% углерода) и другими элементами. Конструкционная сталь должна иметь и хорошие технологические свойства: хорошо обрабатываться давлением и резанием, быть не склонной к шлифовочным трещинам, обладать высокой прокаливаемостью и малой склонностью к обезуглероживанию, деформациям и трещинообразованию при закалке.

По химическому составу стали делят на углеродистые и легированные. Углеродистые стали содержат кроме железа и углерода также марганец (до 1%) и кремний до (0,8%), а также примеси, от которых трудно избавиться в процессе выплавки – серу и фосфор. Сера и фосфор снижают механические свойства сталей: сера увеличивает хрупкость в горячем состоянии (красноломкость), а фосфор – при пониженных температурах (хладноломкость). В зависимости от содержания углерода различают низко- ($C \leq 0,25\%$), средне- ($0,25 < C \leq 0,6\%$) и высокоуглеродистые ($C > 0,6\%$) стали. С повышением содержания углерода повышается твердость и прочность, но уменьшается пластичность и ухудшается свариваемость стали.

В состав легированных сталей помимо указанных компонентов для улучшения технологических и эксплуатационных характеристик и придания особых свойств вводят легирующие элементы (хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий, титан, ниобий и др.). Легирующими элементами могут быть также марганец при содержании более 1% и кремний – более 0,8%.

В общем объеме продукции машиностроения, продукции из стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-94) и качественной (ГОСТ 1050-74), а также легированной (ГОСТ 4543-71) составляют почти 80%. Они дешевые и имеют удовлетворительные механические свойства в сочетании с хорошей обрабатываемостью резанием и давлением.

Углеродистые стали являются наиболее распространенными. Их производство доходит до 80% от общего объема производства всех сталей.

По назначению стали делят на конструкционные, инструментальные и с особыми свойствами. Наиболее широко применяют конструкционные стали. Они бывают как углеродистыми ($C \leq 0,7\%$), так и легированными. Инструментальные стали служат для изготовления режущего, ударно-штампового и мерительного инструментов. Они бывают углеродистыми ($C \geq 0,8 \dots 1,3\%$) и легированные хромом, марганцем, кремнием и другими элементами. К сталям с особыми свойствами относят нержавеющие, немагнитные, электротехнические стали, стали постоянных магнитов и др.

По качеству стали делят на обыкновенные, качественные, высоко и особо высококачественные. Различие между ними заключается в количестве вредных (сера и фосфор) примесей. Так, в сталях

обыкновенного качества допускается содержание серы до 0,06% и фосфора до 0,07%; в качественных – каждого элемента не более 0,035%; а в высококачественных – не более 0,025%.

По характеру застывания из жидкого состояния, **степени раскисления** различают спокойную, полуспокойную и кипящую стали. Чем полнее удален из расплава кислород, тем спокойнее протекает процесс затвердевания и меньше выделение пузырьков окиси углерода («кипение»). Выбор технологии раскисления определяется назначением и возможностями производства, но каждый способ имеет свои достоинства и недостатки.

Марки **углеродистой стали обыкновенного качества** обозначаются буквами Ст (сталь) и цифрами от 0 до 6, например Ст0 – Ст6. Цифры соответствуют условному номеру марки в зависимости от химического состава и механических свойств. Чем больше число, тем больше содержание углерода в стали, выше прочность и ниже пластичность. Эти стали делят на три группы – А, Б и В. Сталь группы А имеет гарантированные механические свойства и не подвергается термообработке, в марке стали группа А не указывается. Для стали группы Б гарантируется химический состав, для стали группы В – химический состав и механические свойства. Из углеродистых сталей обыкновенного качества (ГОСТ 380-94) изготавливают ответственные корпусные детали, крепежные детали, фасонный прокат (двутавры, швеллера, уголки) и др.

Степень раскисления обозначается индексами, стоящим справа от номера марки: кп – кипящая, пс – полуспокойная, сп – спокойная. Например, сталь Ст2кп – сталь группы А, кипящая; БСт3пс – сталь группы Б, полуспокойная; ВСт5сп – сталь группы В, спокойная.

Углеродистые качественные стали маркируются двузначными цифрами (08, 10, 15, ..., 70), показывающими среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Эти стали можно условно разделить на несколько групп. Стали 08, 10 обладают высокой пластичностью, хорошо штампуются и свариваются. Низкоуглеродистые стали 15, 20, 25 хорошо свариваются и обрабатываются резанием, после цементации и термообработки обладают повышенной износостойкостью. Наибольшее распространение получили среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45 и 50 благодаря хорошему сочетанию прочностных и пластических свойств, хорошей обрабатываемости резанием. Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70 обладают высокой прочностью, износостойкостью и упругостью, используются для изготовления деталей типа пружин. Прочность и твердость средне- и высокоуглеродистых сталей можно повысить с помощью термической обработки.

Легированными называют стали, в состав которых для придания им специальных свойств вводят легирующие элементы. В качестве легирующих элементов, как правило, используются: хром (Cr), кремний (Si), никель (Ni), ванадий (W), алюминий (Al), марганец (Mg) и др. Они по-разному влияют на свойства стали: марганец повышает прочность и износостойкость; кремний увеличивает упругие характеристики стали; хром повышает коррозионную стойкость, твердость, прочность, жаропрочность; никель снижает коэффициент линейного расширения, повышает прочность и износостойкость; вольфрам и молибден повышают прочность и твердость, улучшают режущие свойства при повышенной температуре.

Стали, в которых суммарное содержание легирующих элементов не превышает 2,5%, называются **низколегированными**; в том случае, если содержание легирующих элементов составляет 2,5...10% – это **легированные** стали, а если легирующих добавок больше 10%, то такие стали называют **высоколегированными**.

Маркируют легированные стали буквами и цифрами, указывающими ее химический состав. Первые цифры марок перед буквами указывают содержание углерода для конструкционных сталей в сотых долях процента (две цифры), а для инструментальных и специальных сталей – в десятых долях. Далее обозначение состоит из букв, указывающих, какие легирующие элементы входят в состав стали, и стоящих непосредственно за каждой буквой цифр, характеризующих среднее содержание легирующего элемента в процентах. Цифры за буквой не ставятся при содержании легирующего элемента менее 1,5%. Легирующие элементы обозначаются следующими буквами: Т – титан, С – кремний, Г – марганец, Х – хром, Н – никель, М – молибден, В – вольфрам и т.п. Например, нержавеющая сталь Х18Н10Т содержит 18% хрома, 10% никеля и до 1,5% титана; конструкционная легированная сталь 30ХГС содержит 0,30% углерода, а хрома, марганца и кремния до 1,5% каждого; инструментальная легированная сталь 9ХС содержит 0,9% углерода, а хрома и кремния до 1,5% каждого. В сталях 30ХГС и 9ХС кремния больше 0,8%, марганца в стали 30ХГС больше 1%.

Обозначения марок некоторых специальных сталей включают впереди букву, указывающую на назначение стали. Например, буква Ш – шарикоподшипниковая сталь (ШХ15 – с содержанием хрома \approx 1,5%), Э – электротехническая и т.д.

Углеродистые стали обыкновенного качества по ГОСТу 380-94 с обозначением Ст предназначены для изготовления горячекатаного проката: сортового, фасонного, толсто- и тонколистового, широкополосного (холодного тонколистового), а также слитков, блюмсов, слябов, сутунки, катаной и литой заготовок, труб, поковок и штамповок, ленты, проволоки, метизов, малонагруженных деталей, металлоконструкций, всевозможных корпусных деталей и т.п.

Марки зарубежных углеродистых сталей обыкновенного качества и международного стандарта, соответствующих российским сталям марки СТ по механическим свойствам приведены в табл. 2. При этом содержание основных элементов (C, Si, Mn, P, S) лежат в предусмотренных интервалах.

При сопоставлении пределов прочности и текучести разброс составляет в пределах ± 50 МПа.

Марки зарубежных аналогов углеродистой и низколегированной качественной конструкционной стали приведены для сравнения результатов исследования ученых различных стран мира (табл. 3 и 4).

Таблица 2

Россия (ГОСТ)	США (ASTM)	Германия (DIN)	Япония (JIS)	ИСО 630-80 1052-82
Ст.2кп, Ст.2пс		Ust 34-2	SS 34	-
Ст.3сп	A283/C	RSt 37-2	-	Fe 360C
Ст.3кп, Ст.3пс	A283/C	Ust 37-2	-	Fe 360A
Ст.3Гпс	A572/42	-	SM 41B	Fe 360B
Ст.3Гсп	A131/B	-	SM 41B	Fe 360D
Ст.4сп	A283/D	St 42-2	SM 41	Fe 430C
Ст.4сп	A131/A	St 44-2	SM 41A	Fe 430Д
Ст.5сп	-	St 50-2	SS 50	Fe 510C
Ст.6сп	-	St 60-2	-	Fe 590

Таблица 3

Россия ГОСТ 1050	США ASTM A29/A29M	Германия DIN 1629/3	Япония JIS G3445
35	1034	Ск 35 (2)	S 30 C
	1035	С 35 (2)	-
	1038	Ст 35 (2)	-
45	M1044	Ск 45	-
	1045	С 45	S 45 C
	1045H	Ст 45	S 48 C
55	1055	Ск 55 (2)	-
	-	М 55 (2)	S 55 C
60	1060	С 60 Ст 60	S 58 C

Таблица 4

Россия ГОСТ 4543	США ASTM		Германия DIN 17200	Япония JIS	
	A29/A29M	A304		G4104	G4052
15X	5115	-	15 Cr 3	SCr 415	SCr 415H
20X	5120	5120H	20 Cr 4	SCr 420	SCr 420H
35X	5132	-	-	-	-
40X	5140	-	-	SCr 440H	-
50X	5147	5147H	-	-	-

Механические свойства сталей можно характеризовать пределом прочности σ_b и пределом текучести σ_t , значения которых в сильной степени зависят от химического состава сталей и ее термообработки. Кроме того, для сталей характерно постоянные значения модуля упругости E и коэффициента Пуассона μ , которые независимо от марки можно полагать равными соответственно $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа, $\mu=0,3$. С увеличением процентного содержания углерода повышаются характеристики прочности и снижается пластичность.

Коррозионно-стойкие стали обладают стойкостью против коррозии. Это большая группа высоколегированных сталей. В качестве легирующего элемента здесь используется хром (13...25%), иногда никель.

Материалы с высокими упругими свойствами (**пружинные** стали) – это углеродистые либо легированные стали, с большим содержанием углерода (0,5...1,1%).

Качество стали определяется содержанием вредных примесей, однородностью химического состава и структуры. Вредными примесями являются сера, фосфор, мышьяк, кислород, азот и водород. Неметаллические включения в виде оксидов и сульфидов существенно уменьшают пластичность, способствуют хрупкому разрушению. Крупные их частицы с размерами от 20 мкм и выше снижают прочность, контактную выносливость, являются опасными концентраторами напряжений и при знакопеременных нагрузках уменьшают сопротивление усталости деталей. Здесь вакуумирование стали снижает содержание газов, выравнивает химический состав, а электрошлаковый переплав сталей обеспечивает одинаковые механические характеристики вдоль и поперек направления прокатки.

С увеличением количества углерода возрастает доля цементита в структуре, что затрудняет перемещение дислокации и, соответственно, развитие сдвиговых процессов. В результате повышается прочность, но снижается пластичность.

У низколегированной стали с содержанием углерода до 0,2% после закалки и отпуска происходит упрочнение, а также уменьшается чувствительность к концентраторам напряжений.

Низколегированные стали с карбонитридным упрочнением обладают высокой прочностью, вязкостью и хладостойкостью.

Резервом повышения качества стали является производство их металлизированных окатышей, отличающихся чистотой от вредных примесей. Для улучшения обрабатываемости резанием, в стали дополнительно вводят селен, свинец, кальций и теллур.

Прогрессивными методами винтовой и поперечной, продольно-винтовой, холодной прокатки изготавливаются детали в виде тел вращения: роторы компрессоров, шнеки мясорезательных машин, кольца и шарики подшипников, зубчатые колёса с накаткой зубьев, сверла, винты, звездочки цепной передачи, ступенчатые валы, втулки и заготовки других деталей. При этом наружные слои приобретают волокнистую структуру, ориентированную по профилю зуба, твёрдость повышается в 1,4 - 1,5 раза, прочность увеличивается до 25%, а усталостная выносливость повышается до 2,2 раза. Это намного эффективнее, чем точение и фрезерование круглой заготовки.

Разработаны процессы и оборудование для полугорячей и холодной объёмной штамповки, выдавливания, позволяющие получать точную заготовку. При этом направления волокон совпадают с направлениями нормальных напряжений.

Таблица 5. Область применения углеродистых сталей обыкновенного качества

Ст.0	Неответственные нерасчётываемые второстепенные элементы сварных конструкций, настилы, ограждения, перила, кожухи, обшивки.
Ст.1	Детали высокой вязкости и низкой твердости, анкерные болты, обшивки, неответственная арматура, заклепки.
Ст.2кп	Неответственные детали, требующие повышенной пластичности или глубокой вытяжки и работающие при положительных температурах.
Ст.2пс, Ст.2сп	Малонагруженные элементы сварных конструкций, работающие при постоянных нагрузках.
Ст.3пс, Ст.3сп	Несущие элементы сварных конструкций, фасонные металлопрокаты, детали, работающие при положительных температурах.
Ст.3пс5, Ст.3сп5, Ст.3Гпс5	Фасонный и листовой прокат толщиной до 25 мм для несущих элементов сварных конструкций, работающих при переменных нагрузках в интервале температур от -30 до +425 ⁰ С.
Ст.3пс2, Ст3кп2, Ст3пс4, Ст3сп4	Уголки равнополочные и не равнополочные, швеллеры и фасонные профили.
Ст5пс, Ст5сп	Детали клепанных конструкций, болты, гайки, ручки, тяги, рычаги, упоры, стержни, пальцы и другие детали, работающие при температуре 0...425 ⁰ С.

Низкоуглеродистые стали Сталь 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 15Г, 20Г, 25Г (ГОСТ 1050-74) применяются для изготовления шайб, заклепок, крышек, болтов, фланцев, вилок, муфт, втулок, косынок, штуцера теплообменных аппаратов. После цементации и цианирования применяют для изготовления втулок, осей звеньев цепи, болтов, гаек, винтов, шестерен, червяков, шпинделей, звездочек и других деталей с высокой твердостью и износостойкостью поверхностей.

Износостойкие цементируемые стали 15Х, 15ХА, 20Х, 15ХФ, 18ХГ, 20ХН, 12ХН2, 12ХН3А, 20ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 18Х2Н4МА, 14Х2Н3МА, 20ХН2М, 15Н2М, 20Н2М (ГОСТ 4543-71) применяются для изготовления червячных, шлицевых и распределительных валов, зубчатых колес, втулок, шпилек, осей, вал-шестерен, валов редукторов.

Углеродистые стали 5пс и 5сп (ГОСТ 380-88) применяются для изготовления болтов и гаек.

Стали с добавками титана 18ХГТ, 25ХГМ, 25ХГТ, 30ХГТ, 15ХГН2ТА, 15Х2ГН2ТА, 15Х2ГН2ТРА, 20ХГНТР, 25Х2ГНТА (ГОСТ 4543-71) применяются для изготовления зубчатых колес коробок передач, червячных валов, зубчатых венцов, осей, тяжело нагруженных зубчатых колес, трансмиссий транспортных машин. После азотирования – ходовых валиков и винтов станков и др. деталей, от которых требуется минимальная деформация.

Стали с микродобавками бора 20ХГР, 27ХГР, 20ХНР, 20ХГНР (ГОСТ 4543-71) применяются для изготовления зубчатых колес, кулачковых муфт, вал-шестерен, червяков, пальцев, валиков, втулок.

Углеродистые и легированные стали 30, 35, 30Г, 35Г, 40, 45, 40Г, 45Г, 50Г, 50, 55, 40Г2, 30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 50Х, 30ХРА, 33ХС, 38ХС, 40ХС, 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА (ГОСТ 1050-74) и 30ХН2МА, 38ХН2МА (ГОСТ 4543-71) с различной термической и химико-термической обработкой применяются для изготовления осей, валиков, винтов, штифтов, упоров, колец, шайб, втулок, тяг, траверс, шатунов, валов, шпинделей, вилок переключения передач, маховиков, гаек, болтов, зубчатых венцов, зубчатых колес, шпонок, храповиков, фрикционных дисков, плунжеров, муфт, зубчатых реек, шлицевых и шестеренных валов, анкерных болтов, муфт сцепления коробок скоростей, полуосей, деталей сварных соединений, ответственных деталей, подвергающихся вибрационным и динамическим нагрузкам. После закалки с отпуском – тяг, траверс, рычагов, цилиндров прессов, крепежных деталей, валов, шпинделей высокой прочности

Высокопрочные стали 38ХН3МФА, 30ХН2МФА, 38ХН3МА, 34ХН1М, 34ХН1МА, 34ХН3М, 34ХН3МА, 35ХН1М2ФА (ГОСТ 4543-71) применяются для изготовления деталей редукторов, болтов, шпилек, валов, осей, зубчатых колес, муфт, особо ответственных деталей компрессорных машин, роторов, полумуфт и др. особо ответственных тяжело нагруженных деталей.

Конструкционные углеродистые литейные стали 25Л, 30Л, 40Л, 45Л, 50Л, 55Л, 35ГЛ, 30ГСЛ, 40ХЛ, 35ХМЛ, 35ХГСЛ (ГОСТ 977-75) применяются для изготовления станин прокатных станков, шкивов, траверс, корпусов подшипников, зубчатых колес, корпусов редукторов, кронштейнов, балок, маховиков, тормозных дисков, шестерен, кожухов, вилок, звездочек, вилок компрессора, деталей лебедки, стяжных колец плавающих головок подогревателей и теплообменников, муфт подъемно-транспортных машин, ходовых колес, валиков крупно-, средне- и мелкосортных станков для прокатки мягкого металла, дисков, зубчатых венцов, крестовин, ступиц, валов, кулачковых муфт, цапф, щек дробилок, рычагов, ходовых колес, толкателей, осей и др. деталей общего машиностроения.

Высоколегированные коррозионно-стойкие литейные стали 20Х13Л, 15Х13Л, 09Х16Н4БЛ, 09Х17Н3СЛ, 40Х24Н12СЛ, 10Х18Н11БЛ, 12Х18Н12М3ТЛ, 15Х23Н18Л, 35Х18Н24С2Л (ГОСТ 2176-77) применяются для изготовления лопаток компрессоров, шнеков, крепежных деталей, деталей, подвергающихся действию слабых агрессивных сред (влажный пар, водные растворы солей органических кислот), деталей повышенной прочности для пищевой промышленности.

Коррозионно-стойкие стали 30Х13, 40Х13, 14Х17Н2, 12Х17, 15Х17АГ14, 10Х14Г14Н4Т, 08Х17Т, 08Х18Т1, 15Х25Т, 15Х28, 08Х22Н6Т, 08Х18Г8Н2Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т, 03Х17Н14М3, 03Х16Н15М3, 03Х16Н15М3Б, 08Х17Н13М2Т, 11Х11Н2В2МФ, 16Х11Н2В2МФ, 13Х11Н2В2МФ, 31Х9Н9МВБ (ГОСТ 5632-72) применяются для изготовления режущих инструментов, дисков, валов, втулок, оборудования заводов пищевой промышленности, консервных заводов, мясо - молочной промышленности, труб теплообменной аппаратуры, деталей компрессорных машин.

Жаростойкие стали 08Х18Н10, 12Х18Н9, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 40Х9С2, 12Х17, 08Х17Т, 08Х18Т1, 15Х18СЮ, 15Х25Т, 15Х28 (ГОСТ 5632-72) применяются для изготовления теплообменников, адсорбционных башен.

Азотируемая сталь 38Х2МЮА (ГОСТ 4543-71) применяется для изготовления втулок, зубчатых колес.

Улучшаемые стали 40, 50 (ГОСТ 8479-70) применяются для изготовления тяг, серьг, крюков, траверс, осей, муфт, звездочек, цилиндров, рычагов.

Низколегированная сталь 14Г2АФ (ГОСТ 19282-73) применяется для изготовления подкрановых ферм для мостовых кранов.

Таблица 6. Физико-механические характеристики углеродистой и легированной конструкционной стали

Марка стали	σ_b , МПа	σ_m , МПа	<i>НВ</i>
<i>Сталь углеродистая обыкновенного качества</i>			
Ст2	340	220	133
Ст3	380	240	132
Ст4	420	260	152
Ст5	500	280	160
Ст6	600	310	200
<i>Сталь углеродистая качественная конструкционная</i>			
10	333	206	137
15	373	226	143
20	412	245	156
25	451	275	170
30	490	294	179
35	490	260	187
40	530	265	190
45	580	290	200
50	590	310	210

<i>Отливки из углеродистой стали</i>			
35Л	490	274	>143
40Л	520	294	>147
45Л	540	314	>153
50Л	569	333	>174
55Л	589	343	155-217
<i>Сталь легированная конструкционная</i>			
30ХГС	981-795	835-637	229-215
35Х	934-686	736-441	241 — 190
40Х	981-686	785-441	241-190
40ХН	981-736	785-550	250-220

Чугуны

Чугун – сплав железа Fe и углерода C (свыше 2,14%), содержащие постоянные примеси марганца, кремния, фосфора и серы, а также при необходимости легирующие элементы. Повышенное содержание углерода улучшает его литейные свойства при одновременном увеличении хрупкости. Благодаря хорошим литейным свойствам и низкой стоимости чугун используется для изготовления конструкций сложных конфигураций. Из-за своей относительно низкой стоимости чугун применяется для изготовления массивных деталей, например, корпусных, и различного рода станин, а также для маховиков при окружной скорости не выше 30 м/с. Не рекомендуется применять серый чугун при действии на детали машин больших крутящих моментов. В случае ударов, больших усилий, необходимости экономии массы и т. п. при изготовлении деталей машин отливкой переходят от серого чугуна к высокопрочному чугуну или к стальному литью. Высокопрочный чугун значительно прочнее серого чугуна и с успехом может заменять стальное литье и поковки из углеродистой стали.

Чугун можно рассматривать как сталь, пронизанную графитом, который играет роль надрезов, ослабляющих металлическую основу структуры. В этом случае механические свойства чугуна зависят от характера распределений включений графита и от их величины. Чем меньше графитовых включений и чем они мельче, тем выше прочность чугуна. Таким образом, можно сказать, что для чугуна характерно нарушение сплошности, и это обстоятельство делает его мало чувствительным к всевозможным концентраторам.

В отличие от стали чугун не подвержен остаточному пластическому деформированию, следовательно, не имеет предела текучести. Для чугунов характерным является только предел прочности, причем предел прочности при сжатии σ_{bc} оказывается существенно выше, чем предел прочности при растяжении σ_{bt} .

Важной механической характеристикой любого материала является модуль упругости. Для чугунов его величина может быть рассчитана по формуле $E=(4,5\dots 5)100\sigma_b$, если предел прочности σ_b находится в границах $\sigma_b = 100\dots 300$ МПа.

Для этих материалов не в полной мере справедлив закон прямой пропорциональной зависимости деформации от нагрузки. По этой причине решения, полученные методами теории упругости, применительно к чугунам могут иметь значительно большие погрешности, чем при расчете других материалов.

В зависимости от структуры и состояния, в котором находится углерод (свободный или химически связанный), различают серые, белые и ковкие чугуны. Чугуны также классифицируют в зависимости от назначения – на конструкционные и со специальными свойствами; и от химсостава – на легированные и нелегированные.

Как конструкционный материал наиболее широко применяются серые чугуны, в которых весь углерод находится в свободном состоянии в виде включений графита пластинчатой формы. Они обладают средней прочностью, хорошими литейными и другими технологическими свойствами (жидкотекучестью, малой линейной усадкой, обрабатываемостью резанием), мало чувствительны к концентрации переменных напряжений, антифрикционны. Эти чугуны являются наиболее дешевыми (что определяет их широкое применение), однако имеют малую механическую прочность.

Созданы также чугуны, имеющие повышенную по отношению к другим маркам прочность. Эти марки в качестве легирующих добавок имеют Cr, Mg и некоторые другие компоненты. Такие чугуны допускают закалку поверхности и упрочнение ее наклепом.

Некоторые марки чугуна (при добавлении к ним легирующих элементов, таких как Mg, Cu, Si и т.д.) обладают антифрикционными свойствами, для которых характерно низкое значение коэффициента трения, и малая скорость износа поверхностного слоя. Эти чугуны рекомендуется использовать как материал для изготовления деталей, работающих в условиях относительного скольжения, трущиеся поверхности которых допускают процедуру закалки.

В белых чугунах избыточный углерод, не растворившийся в твердом растворе железа, присутствует в виде карбидов железа. Вследствие низких механических свойств – высокой хрупкости и твердости, плохой обрабатываемости резанием – белые чугуны не применяются в качестве конструкционных материалов.

Ковкий чугун получают из белого путем последующего отжига до распада графита в виде хлопьев. Детали из него могут подвергаться незначительным деформациям. Они обладают меньшей по сравнению с деталями из серого чугуна хрупкостью, но стоят на 30 ... 100% дороже.

Высокопрочный чугун характеризуется шаровидной или близкой к ней формой включений графита, которую получают модифицированием жидкого чугуна присадками магния. Шаровидный графит в наименьшей мере ослабляет металлическую основу, что приводит к высоким механическим свойствам. Высокопрочный чугун обладает хорошими литейными и эксплуатационными свойствами.

Для улучшения прочностных характеристик и получения особых эксплуатационных свойств: износостойкости, немагнитности, коррозионной стойкости и т.д., в состав чугунов вводят легирующие элементы (никель, хром, медь, алюминий, титан и др.). Легирующими элементами могут служить также марганец (при содержании более 2%) и кремний (более 4%).

Марки чугуна обозначаются буквами, показывающими назначение чугуна: СЧ – серый чугун, ВЧ – высокопрочный, КЧ – ковкий чугун; для антифрикционных чугунов в начале марки указывается буква А (АСЧ, АВЧ, АКЧ). Цифры в обозначении марки нелегированного чугуна указывают на его механические свойства. Для серых чугунов цифры указывают величину предела прочности (кгс/мм²) при растяжении. Например, марка СЧ18 показывает, что чугун имеет $\sigma_{\text{вт}} = 18 \text{ кгс/мм}^2 = 180 \text{ МПа}$. Для высокопрочного и ковкого чугуна цифры определяют предел прочности (кгс/мм²) и относительное удлинение при растяжении в процентах, например ВЧ60-2 – высокопрочный чугун с $\sigma_{\text{вт}} = 600 \text{ МПа}$ и $\delta = 2\%$.

Высокопрочный чугун широко применяется в машиностроении для изготовления станин, коленчатых валов, зубчатых колёс, цилиндров двигателей внутреннего сгорания, деталей, работающих при температуре до 1200 °С в окислительных средах, и др.

Серые чугуны по их применению можно разделить на группы:

1. Ферритные и ферритно-перлитные чугуны применяют для изготовления малоответственных деталей, испытывающих небольшие нагрузки в работе.

2. Перлитные чугуны применяют для отливки станин мощных станков и механизмов, поршней, цилиндров, деталей, работающих на износ в условиях больших давлений.

3. Антифрикционные чугуны применяют для изготовления подшипников скольжения, втулок и других деталей, работающих при трении о металл.

Чугуны: СЧ 30 применяются для изготовления станин ножниц и прессов, блоков и плит многошпиндельных станков, патронов токарных станков, зубчатых колес.

СЧ 20 применяются для изготовления станин долбежных станков, вертикальных стоек фрезерных, строгальных и расточных станков, зубчатых колес, маховиков, тормозных барабанов, дисков сцепления.

СЧ 18 применяются для изготовления корпусных деталей, крышек, кожухов.

СЧ15 применяются для изготовления оснований большинства станков, ступиц, салазок, столов, корпусов маточных гаек, зубчатых колес, кронштейнов, вилок переключения, шкивов.

СЧ 10 применяются для изготовления плит, стоек, подшипников, втулок.

Ковкий чугун применяют для деталей, требующих по своей форме литой заготовки, но допускающих при работе случайные ударные нагрузки. Из ферритных чугунов изготавливают картеры редукторов, ступицы, крюки, скобы, хомутики, муфты, фланцы. Из перлитных чугунов, характеризующихся высокой прочностью, достаточной пластичностью, изготавливают вилки карданных валов, звенья и ролики цепей конвейера, тормозные колодки.

Жаростойкие чугуны – ЖЧХ - применяются для изготовления деталей компрессоров, горелок, кокилей.

ЖЧХ30 применяются для изготовления деталей химической аппаратуры.

ЖЧХ2 применяются для изготовления деталей контактных аппаратов химического оборудования.

Таблица 7. Физико-механические характеристики отливок из серого чугуна

Марка чугуна	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{\text{м}}$, МПа	<i>НВ</i>
СЧ10	98	274	143-229
СЧ15	147	314	163-229
СЧ18	176	358	170-229
СЧ20	196	392	170-241
СЧ21	206	392	170-241
СЧ24	235	421	170-241
СЧ25	245	451	180-250
СЧ30	294	490	181-255
СЧ35	343	539	197-269
СЧ40	392	588	207-285

Цветные металлы

Цветные металлы входят в состав различных сплавов. Наибольшее применение получили медные сплавы (бронзы, латуни), обладающие антифрикционностью, антикоррозионностью, и алюминиевые сплавы (дюралюминий), обладающие легкостью. Однако эти металлы значительно дороже черных.

Медь и сплавы на ее основе

Медь – это металл красноватого цвета плотностью $8,94 \text{ г/см}^3$, имеющий гранцентрированную кристаллическую решетку с периодом $a=0,31607 \text{ нм}$.

Медь в чистом виде характеризуется высокой электро- и теплопроводностью, хорошей обрабатываемостью давлением, небольшой прочностью и применяется для изготовления токопроводящих деталей. На основе меди получают различные сплавы, которые широко используются в качестве материалов для изготовления различных деталей. Эти сплавы обладают хорошими механическими и антикоррозионными свойствами, они износостойки, имеют низкий коэффициент трения, высокую электро- и теплопроводность. Различают две основные группы медных сплавов: *латунь* и *бронза*. В латунях основным легирующим элементом является цинк, в бронзах – иные элементы.

Легирующие элементы в марках медных сплавов обозначают следующими буквами: А – алюминий, Н – никель, О – олово, Ц – цинк, С – свинец, Ж – железо, Мц – марганец, К – кремний, Ф – фосфор, Т – титан.

Латунь – сплав меди с цинком. Содержание цинка в сплаве достигает 40...45%. Латуни пластичны и обладают хорошими литейными свойствами. Их предел текучести равен $\sigma_T = 250...450 \text{ МПа}$. Прочность можно несколько повысить за счет использования обработки давлением при высокой температуре.

Латуни делят на двойные (простые) и многокомпонентные сплавы, в которых основным легирующим элементом является цинк. В двойных содержание цинка может достигать до 50%. Марки таких латуней обозначают буквой Л и цифрой, показывающей содержание меди в процентах, например Л59. Для улучшения механических, технологических и коррозионных свойств в латуни вводят кроме цинка в небольших количествах различные легирующие элементы (алюминий, кремний, марганец, олово, железо, свинец). Такие латуни называют специальными или многокомпонентными. Введение легирующих элементов (кроме никеля) уменьшает растворимость цинка в меди. Никель увеличивает растворимость цинка в меди. Легирующие элементы увеличивают прочность, но уменьшают пластичность латуни. Свинец облегчает обрабатываемость резанием и улучшает антифрикционные свойства. Соппротивление коррозии повышают алюминий, цинк, кремний, марганец и никель. Латуни в наклепанном состоянии или с высокими остаточными напряжениями и содержащие свыше 20% Zn склонны к коррозионному («сезонному») растрескиванию в присутствии влаги, кислорода, аммиака. Для предотвращения растрескивания полуфабрикаты из латуни указанных составов отжигают при 250 - 650°C, а изделия из латуни – при 250 - 270°C.

Все латуни по технологическому признаку подразделяют на две группы: деформированные и литейные. Деформируемые латуни обладают высокими коррозионными свойствами в атмосферных условиях, пресной и морской воде и применяются для деталей в судостроении. Более высокой устойчивостью в морской воде обладают латуни, легированные оловом, получившие название морских латуней.

Литейные латуни, предназначенные для фасонного литья, обладают хорошей текучестью, мало склонны к ликвации (неоднородность химического состава, возникающая при его кристаллизации) и обладают антифрикционными свойствами. От литейных латуней требуется повышенная прочность, поэтому к ним добавляется большое количество специальных присадок, улучшающих их литейные свойства. Эти латуни отличаются лучшей коррозионной стойкостью. Когда требуется высокая пластичность, повышенная теплопроводность и важно отсутствие склонности к коррозионному растрескиванию, применяют латуни с высоким содержанием меди. Латуни с большим содержанием цинка обладают более высокой прочностью, лучше обрабатываются резанием, но хуже сопротивляются коррозии.

В марках многокомпонентных латуней первые цифры указывают среднее содержание меди, а последующие – легирующих элементов. Например, латунь ЛКС80-3-3 содержит 80% меди, по 3% кремния и свинца, а остальное – цинк.

Для химического состава *бронзы* характерно наличие основного легирующего компонента в качестве которого применяют: олово, алюминий, железо, кремний, хром, бериллий и другие.

Бронзы классифицируют по основным легирующим элементам: оловянистые и безоловянистые (или специальные). К безоловянистым относят алюминиевые, бериллиевые, кремнистые, свинцовистые и т.д. Широко используются оловянистые бронзы, они характеризуются высокой стойкостью против истирания, низким коэффициентом трения скольжения, наилучшими антифрикционными свойствами. Оловянистые бронзы по технологическому признаку разделяют на литейные и деформируемые. Безоловянистые бронзы хорошо обрабатываются, в ряде случаев обладают более высокими механическими и антикоррозионными свойствами, чем оловянистые, поэтому они нашли широкое применение в промышленности. В зависимости от назначения и механических свойств специальные бронзы делятся на деформируемые и литейные. К деформируемым специальным бронзам относят бронзы с содержанием

основного легирующего элемента 5-10%. Эти бронзы хорошо обрабатываются в горячем и в ряде случаев в холодном состоянии, обладают высокой коррозионной стойкостью.

Сплав меди с оловом обычно содержит до 10...12%Sn. Если увеличить содержание олова, то сплав приобретает повышенную хрупкость. Обычно этот тип бронз дополнительно легируют Zn, Fe, P, Pb, Ni и другими элементами. При этом цинк Zn улучшает технологические свойства и снижает стоимость. Фосфор P улучшает литейные свойства бронзы, никель Ni положительно влияет на механические характеристики и улучшает коррозионную стойкость, железо повышает сопротивление коррозии.

Бронзы, легированные алюминием, представляют собой сплав с содержанием Al до 9%. Кроме этого, они часто содержат легирующие добавки, например, Fe, Ni, Mn и др. Такие бронзы хорошо сопротивляются коррозии, и их можно использовать для производства деталей, работающих в морской воде и других агрессивных средах. Кроме того, они имеют высокие механические и технологические свойства.

При легировании меди кремнием (до 3,5% Si) существенно повышаются прочность и пластичность. Кроме основного легирующего компонента, здесь используют и другие легирующие добавки, такие как Si, Mn и другие. Благодаря хорошим технологическим и механическим свойствам подобные бронзы применяют для изготовления пружин, работающих в агрессивных средах. Они более прочны и дешевы, чем оловянистые бронзы. Кремнистая бронза обладает высокой устойчивостью против коррозии в ряде агрессивных сред, в особенности в щелочах.

В результате легирования меди бериллием, предельная растворимость которого составляет 2,7%, получают бронзы, имеющие высокую прочность и пластичность. Достигаются такие механические характеристики в результате закалки и последующего старения. Эти бронзы имеют высокий предел выносливости и успешно работают в агрессивных средах. Они хорошо свариваются и обрабатываются резанием. Их можно с успехом использовать для выполнения пружин, мембран, различных подвижных контактов и деталей, работающих на износ. Бериллиевая бронза марки БрБ2 немагнитна, стойка к морозу, действию пресной и соленой воды, хорошо сваривается и обрабатывается резанием.

Бронзы, легированные свинцом (до 30% Pb), представляют собой сплавы, которые после затвердевания состоят из кристаллов меди и включений свинца. Это происходит потому, что свинец не растворяется. Тем не менее такой вид бронзы обладает хорошими антифрикционными свойствами и используется как материал для антифрикционных покрытий. Поскольку эти бронзы имеют низкую прочность, то их целесообразно применять в качестве покрытий, нанесенных на металлическую поверхность, чаще всего в подшипниках скольжения.

Марки бронз и медно-никелевых сплавов начинаются соответственно с букв Бр и М, а следующие буквы и цифры указывают на наличие легирующих элементов и соответственно их содержание в процентах. Например, бронза БрОЦС 5-5-5 содержит олова, цинка и свинца по 5% или медно-никелевый сплав мельхиор МН19 содержит 19% никеля.

Все медные сплавы отличаются хорошей стойкостью против атмосферной коррозии. Прочность медных сплавов, особенно латуней, ниже, чем сталей, а коррозионная стойкость много больше. Все латуни и большинство бронз, за исключением алюминиевых, хорошо паяются.

Бронзы и латуни используются как материалы для изготовления трущихся сопряжений (для гаек рабочих винтов, вкладышей подшипников, зубчатых венцов червячных колес и т.п.), так как обладают хорошими антифрикционными свойствами. Чем больше разница в твердости трущихся поверхностей, тем лучше; чем ближе их твердости, тем больше опасность заедания при малейшем недостатке смазки. Мелкие детали сложного очертания при опасности ржавления, например части насосов, арматура и т. п., изготавливают из латуни.

Правильный выбор материала может быть сделан на основе расчетов, а также сопоставления механических характеристик материалов нескольких вариантов деталей-аналогов. В дальнейшем при изучении конкретных деталей будет отмечаться, из каких материалов возможно их изготовление, а также будут даны рекомендации по выбору.

Латуни: ЛЦ14КЗСЗ, ЛЦ40АЖ применяются для изготовления подшипников, втулок.

ЛЦ23А6ЖЗМц2- гек винтов, червячных винтов.

ЛЦ40С – втулок, сепараторов для подшипников качения.

ЛЦ40Сд, ЛЦ36Мц202С2 – зубчатых колес.

Латунь Л63, отличающаяся высокой пластичностью, используется для изготовления токопроводящих и конструктивных деталей типа наконечники, втулки, шайбы, а латунь ЛК80-3Л – для изготовления литых деталей.

Бронзы: Бр.ОФ6,5-0,15, Бр.010ф1, Бр.010Ц2, Бр.05С25, Бр.01С22, Бр.С60Н2,5 Бр.С30 – применяются для деталей подшипников, втулок, Бр.0Ф7-0,2 – прутков, шестерен, зубчатых колес, втулок.

Деформируемые оловянистые бронзы используются для получения лент, полос, прутков, проволоки, пружин, трубок, подшипниковых деталей и т.д., к ним относят бронзы марок БрОФ4-0,25, БрОФ6,5-0,4, БрОЦ4-3, БрОЦ4-4-2,5 и др.

Свинцовистая бронза БрС-30 обладает высокими антифрикционными свойствами и применяется для сильно нагруженных подшипников с большими удельными давлениями (например, коренные подшипники турбин).

Особое место при изготовлении упругих элементов из-за высокой прочности и упругости занимает бериллиевая бронза марки БрБ2. Применяют ее для изготовления ответственных деталей типа токоведущих пружинящих контактов, пружин, мембран.

Безоловянистые бронзы БрАЖ9-4, БРАМц9-2 используются при изготовлении небольших зубчатых и червячных колес, втулок подшипников скольжения, ходовых гаек в винтовых механизмах.

Литейные специальные бронзы используют для фасонного литья в авиа- и машиностроении при получении шестерен, втулок, седел клапанов, пружин, ободов подшипников для различных массивных деталей, работающих в агрессивных средах и при больших давлениях, а также для антифрикционных деталей.

Медно-никелевые сплавы: МНЖМц30-1-1, МН19 – применяется в химической и пищевой промышленности.

МН95-5 – для изделий машиностроения

МНЖ5-1, МН10 – для конденсаторных труб.

Титановые сплавы

Титановые сплавы (с алюминием, медью и другими присадками) после термообработки обладают высокой прочностью ($\sigma_B = 900 \dots 1300$ МПа), коррозионной стойкостью, имеют невысокую плотность ($\rho = 4500$ кг/м³). Они используются для изготовления изделий в авиационно-космической технике, судостроении и др.

Титановые сплавы: ВТ22, ВТ9, ВТ14 - применяются для изготовления длительно работающих деталей.

ВТ16 - применяются для изготовления крепежных и резьбовых деталей диаметром 40 мм и более.

Магниевые сплавы

Магний — самый легкий из всех конструкционных металлов. В чистом виде магний относительно мягкий металл, поэтому в качестве конструкционных материалов используются сплавы магния, в которых легирующие добавки составляют около 10%.

Магниевые сплавы имеют малую плотность и прекрасную комбинацию механических свойств, выражающуюся в высоком отношении «прочность/вес». Магниевые сплавы характеризуются очень хорошей свариваемостью; имеют прекрасные литейные свойства, особенно литье под давлением; хорошо обрабатываются резанием. Эти сплавы имеют относительно низкий модуль упругости, поэтому они поглощают энергию с хорошим сопротивлением к выбоинам и высокой демпфирующей способностью. Достаточно высокая усталостная прочность, особенно при малонагруженном высокоциклическом режиме. Магниевые сплавы подвергаются упрочнению, и механические свойства могут быть улучшены тепловой обработкой и старением.

Коррозионная стойкость магневых сплавов в последнее время значительно повышена путем изготовления сплавов с очень низким загрязнением примесями тяжелых металлов.

Применение магневых сплавов. Магниевые сплавы имеют разнообразное применение в автомобилестроении, в авиакосмической технике, в промышленном оборудовании и бытовой технике. В промышленном оборудовании они применяются для деталей, работающих при высоких скоростях, которые должны иметь малый вес, чтобы обеспечить высокое ускорение и малые силы инерции. В автомобилестроении магниевые сплавы используются для колес, корпусов коробок передач и кожухов муфт сцепления, клапанных коробок, тормозных педалей и кронштейнов. Благодаря высокому отношению «прочность/вес» магниевые сплавы широко применяются в авиационной технике, особенно для вертолетов. В бытовой технике магниевые сплавы применяются для корпусов фотоаппаратов и проекторов, для теннисных ракеток, чемоданов и др. Из магневых сплавов изготавливаются очень сложные отливки, которые неэкономично отливать из других металлов.

Вольфрамовые сплавы

Вольфрамовые сплавы с содержанием свыше 90% вольфрама относятся к группе тяжелых вольфрамовых сплавов.

Эти сплавы имеют следующие свойства: высокая плотность (до 18,5 г/см³); высокая твердость и механическая прочность; высокая температура плавления; высокая стабильность размеров; стойкость к температурному растрескиванию; низкая пластичность. Благодаря своим уникальным физическим свойствам эти сплавы имеют следующее применение:

- защитные экраны и кожухи против рентгеновского и радиационного излучения в установках радиационной медицины; контейнеры для радиоактивных элементов;
- уравновешивающие элементы для коленчатых валов высококачественных двигателей, лопаток роторов турбин и других изделий; вращающиеся элементы маховиков, гироскопов и регуляторов Уатта; детали, поглощающие вибрацию;

- детали печей, сварочные электроды и наконечники; высокотемпературный инструментарий; высокотемпературные матрицы и формы;
- нагревательные элементы, нити накаливания электроламп, электрические контакты;
- наконечники артиллерийских снарядов.

Изделия из вольфрамовых сплавов обычно изготавливаются методами высокотемпературной порошковой металлургии. Вольфрамовые сплавы плохо поддаются обработке резанием и обрабатываются инструментом высокой твердости. При соединении элементов из вольфрамовых сплавов с другими металлами возможна сварка, однако предпочтительна пайка твердым припоем. Вольфрамовые сплавы относительно стойкие к коррозии, однако при работе в агрессивных средах рекомендуется применять гальванические покрытия, такие, как кадмирование, хромирование и никелирование.

Магнитно-твердые сплавы

Магнитно-твердые сплавы предназначены для изготовления постоянных магнитов. Наиболее распространены сплавы типа Алнико. Это сплав железа, никеля, алюминия и кобальта с добавками меди и кремния. Постоянные магниты из этих сплавов изготавливаются литьем или спеканием. Сплавы Алнико очень твердые, крупнозернистые и хрупкие; они не поддаются обработке резанием. Некоторая корректировка поверхности возможна с помощью шлифования.

Магнитно-мягкие сплавы

Магнитно-мягкие сплавы – это сплавы, которые имеют низкую коэрцитивную силу, высокую магнитную проницаемость и низкие потери на перемагничивание.

Магнитно-мягкие сплавы разделяются на две основные группы:

- техническое железо и электротехнические стали (ферритные стали с содержанием 0.8-2.5% Si). Эти материалы предназначены для изготовления сердечников трансформаторов, магнитопроводов электрических машин и аппаратов и др.;

- железоникелевые сплавы (пермаллои), содержащие около 78% Ni. Эти сплавы имеют исключительно высокую начальную магнитную проницаемость и предназначены для приборов, работающих в слабых магнитных полях (радио, телефон, телеграф).

Алюминий и сплавы на его основе

Алюминий – это металл серебристо-белого цвета с температурой плавления 600 °С. Он имеет гранцентрированную кристаллическую решетку с периодом $a=0,4041$ нм. Так как алюминий обладает низкой плотностью $\rho=2,7$ гр/см³, то сплавы на основе алюминия называются *легкими*. Алюминий, как и медь, имеет высокую электро- и теплопроводность. Модуль упругости $E=(7,0...7,5)\cdot 10^4$ МПа.

Алюминий является коррозионно-стойким материалом, так как на его поверхности появляется пленка окислов, защищающая основной металл от коррозии. Чистый алюминий имеет низкую прочность и применяется для производства деталей, не воспринимающих силового воздействия. Он хорошо деформируется пластически, успешно сваривается, но плохо обрабатывается механически. По этой причине из алюминия изготавливают трубопроводы, резервуары, палубные надстройки речных и морских судов и т.п. Из чистого алюминия изготавливают также металлическую фольгу, токопроводящие и кабельные материалы.

Чистый алюминий применяется редко, так как имеет низкую прочность. Чаще при изготовлении деталей применяют сплавы на основе алюминия. Они обладают малой плотностью, высокой электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью и удельной прочностью. Наибольшее распространение получили сплавы Al-Cu, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Si, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg-Si. По технологическим признакам алюминиевые сплавы подразделяются на *деформируемые*, т.е. получаемые пластическим деформированием, и *литейные*, предназначенные для получения фасонных деталей методом литья. Деформируемые сплавы по способности упрочняться термической обработкой подразделяют на сплавы, не упрочняемые термической обработкой, и сплавы, упрочняемые термической обработкой.

Наиболее известным представителем класса деформируемых сплавов является *дюралюминий* (Al-Cu-Mg), который получил распространение в авиационной технике и транспортном машиностроении (марки Д1, Д16). Марганец добавляется в состав сплава для повышения коррозионной стойкости. Часто в такие сплавы добавляют присадки в виде Cr, Zn, Fe, Si. Сплав хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях. А также удовлетворительно обрабатывается резанием в закаленном и состаренном состояниях и плохо – в отожженном состоянии, хорошо сваривается точечной сваркой и не сваривается сваркой плавлением вследствие склонности к образованию трещин. Дюралюминий широко используется в производстве листового и профильного проката. Для повышения прочности такие сплавы часто подвергаются закалке при температуре 500-520 °С с последующим охлаждением в воде и выдержкой при нормальной температуре в течение 75...100 часов (естественное старение). Кроме того, деформируемые сплавы подвергаются

обработкой давлением с последующей механической обработкой. Такую технологию применяют для изготовления деталей с высокой прочностью, например, дисков центробежных машин, деталей компрессоров и т.д.

К деформируемым сплавам, не упрочняемым термической обработкой, относятся алюминий-магниево-цинковые сплавы. Эти сплавы дополнительно легируют марганцем, который упрочняет сплав. Эффект от закалки и старения этих сплавов невелик, и их применяют в отожженном состоянии. Повышение прочности при некотором уменьшении пластичности изделий простой формы достигается нагартовкой. Упрочнение, создаваемое нагартовкой снимается в зоне сварки. Сплавы легко обрабатываются давлением. Хорошо свариваются и обладают высокой коррозионной стойкостью. Обработка резанием затруднена. Сплавы применяются для сварных и клепаных элементов конструкций, испытывающих небольшие нагрузки и требующие высокого сопротивления коррозии. Из алюминий-магниево-цинковых сплавов наиболее часто применяется сплав марки АМг6. К деформируемым сплавам относится высокопрочный алюминий-магниево-цинковый сплав В95.

Деформируемыми являются так называемые спеченные алюминиевые сплавы, отличающиеся очень высокими прочностными свойствами. Они бывают двух видов: САП (спеченная алюминиевая пудра) и САС (спеченный алюминиевый сплав). САП упрочняется дисперсными частицами окиси алюминия Al_2O_3 , образуемой в процессе помола алюминиевой пудры в атмосфере азота с регулируемой подачей кислорода. Пудру брикетируют, спекают и подвергают деформации – прессованию, прокатке, ковке. В зависимости от содержания Al_2O_3 (прочность сплава возрастает при увеличении окиси алюминия до 20 – 22%) различают 4 марки САП (САП-1, САП-2, САП-3 и САП-4). Сплавы САС содержат до 25% кремния и 5% железа. Их получают распылением жидкого сплава, брикетированием полученных гранул и последующей деформацией.

Литейные сплавы на базе алюминия (Al-Cu, Al-Mg, Al-Si, Al-Zn-Mg-Si) благодаря низкой плотности и хорошей технологичности широко используются в самолетостроении, судостроении, автомобилестроении, строительстве и других областях.

Литейные сплавы применяются для фасонного литья. Такие сплавы должны обладать высокой жидкотекучестью, сравнительно небольшой усадкой, малой склонностью к образованию горячих трещин и пористости в сочетании с хорошими механическими свойствами, сопротивлением коррозии. Высокими литейными свойствами обладают сплавы, содержащие в своей структуре эвтектику. Эвтектика образуется во многих сплавах, в которых содержание легирующих элементов больше предельной растворимости в алюминии. Чаще применяют сплавы алюминия с: кремнием (Al – Si), медью (Al – Cu), магнием (Al – Mg), которые дополнительно легируют небольшим количеством меди и магния (Al – Si), кремния (Al – Mg), марганца, никеля, хрома (Al – Cu).

Сплавы Al – Si получили наибольшее распространение. Эти сплавы, получившие название силумины, близки по составу к эвтектическому и потому отличаются высокими литейными свойствами и средними механическими свойствами, а отливки – большей плотностью. Обладают высокой коррозионной стойкостью.

Сплавы Al – Si сравнительно легко обрабатываются резанием. Заварку дефектов можно производить газовой и аргонодуговой сваркой.

Сплавы Al – Cu. Эти сплавы после термической обработки имеют высокие механические свойства при комнатной и повышенных температурах и хорошо обрабатываются резанием. Литейные свойства сплавов низкие. Эти сплавы используют для отливки небольших деталей простой формы. Они склонны к хрупкому разрушению. Если отливок требуется повышенная прочность. То их после закалки подвергают искусственному старению при 150°C. Алюминий-медные сплавы малоустойчивы против коррозии, поэтому отливки обычно анодируют.

Сплавы Al – Mg. Сплавы алюминий с магнием имеют низкие литейные свойства, так как не содержат эвтектики. Характерной особенностью этих сплавов является хорошая коррозионная стойкость, повышенные механические свойства и обрабатываемость резанием. Добавление к сплавам модифицирующих присадок (титан, цирконий) улучшает механические свойства, а бериллия уменьшает окисляемость расплава, что позволяет вести плавку без защитных флюсов. Эти сплавы предназначены для отливок, работающих во влажной атмосфере, например в судостроении и авиации. Добавление к сплавам Al – Mg кремния улучшает литейные свойства в результате образования тройной эвтектики.

Сплавы алюминия широко применяют в тех случаях, когда важно снижение массы машины (конструкции). Алюминий и его сплавы трудно паяются.

Маркировка алюминиевых сплавов включает в себя начальные буквы, входящих в состав сплава компонентов и цифры, указывающие содержание легирующего элемента в процентах.

Дуралюмины маркируются буквой "Д" и порядковым номером, например: Д1, Д12, Д18.

Литейные алюминий-цинковые сплавы маркируются буквами "АЛ" с последующим порядковым номером: АЛ2, АЛ9, АЛ13, АЛ22, АЛ30.

Иногда маркируют по составу: АК7М2; АК21М2, 5Н2,5; АК4МЦ6. В этом случае "М" обозначает медь, "К" - кремний, "Ц" - цинк, "Н" - никель; цифра - среднее % содержание элемента.

Алюминий-медные сплавы маркируют буквой "А" и начальными буквами входящих в них элементов: А09-2, А06-1, АН-2,5, АСМТ. В первые два сплава входят указанное количество олова и меди (первая цифра-олово, вторая-медь в %), в третий 2,7-3,3% Ni и в четвертый медь сурьма и теллур.

Дуралюмин и алюминивно-магниевые сплавы применяют для средненагруженных деталей типа стоек, крышек, втулок и т.д. Сплавы марки В65, Д18 – для заклепок. Спеченные алюминиевые сплавы применяют для изготовления высоконагруженных деталей и различных профилей. Силумины марок АЛ-2, АЛ-4, АЛ-9 применяют для изготовления литьем корпусов, крышек, кронштейнов и других сложных средненагруженных деталей. Алюминивно-магниево-цинковый сплав В95 применяют для деталей с повышенными статическими нагрузками (валы, зубчатые колеса). Из алюминиевых антифрикционных сплавов изготавливают подшипники и вкладыши.

Помимо вышеперечисленных, в машиностроении используется ряд других металлических сплавов, как правило, предназначенных для изготовления деталей с особыми свойствами. Например, сплав олова и свинца – *бabbит* – обладает высокими антикоррозионными свойствами и применяется как материал при производстве вкладышей подшипников скольжения.

Термическая и термохимическая обработка металлических материалов

Термообработка металлов - процесс тепловой обработки металлов и сплавов с целью изменения их структуры, а, следовательно, и свойств, заключающийся в термической (совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения) или химико-термической обработке (процесс диффузии в поверхностный слой материала углерода, азота, кремния и др. элементов за счет воздействия среды на нагретую заготовку). Возможно также механическое упрочнение поверхностных слоев деталей. К основным видам термической обработки относятся: отжиг, нормализация, закалка, отпуск и улучшение. Данную обработку проводят для повышения механических свойств металлов (прочности, износостойкости, исправления структуры).

Отжиг – вид термообработки, устраняющий химическую и физическую неоднородности, полученные в результате предшествующей обработки. Отжиг бывает низкотемпературным и высокотемпературным. В первом случае температура нагрева не превышает температуру фазовых превращений, а во втором – выше этой температуры. Отжиг дает возможность уменьшить в заготовках остаточные внутренние напряжения (снятие остаточных напряжений в стальных деталях после литья, сварки, пластической деформации или механической обработки) и тем самым улучшить их структуру перед последующей механической обработкой. Отжиг достигается их нагревом (для углеродистых и легированных сталей до температуры 800... 900°С) и медленным охлаждением вместе с печью или на воздухе. В результате такой термообработки увеличивается пластичность и снижается твердость. Такая операция является необходимой для выполнения последующей операции механообработки.

Нормализация (отжиг нормализационный) отличается от отжига технологией охлаждения заготовок и обеспечивает несколько большую твердость и прочность материала. Нормализация достигается нагревом, выдержкой и последующим охлаждением на спокойном воздухе. Обеспечивает исправление структуры перегретой стали, снятие внутренних напряжений в деталях из конструкционных сталей и улучшение их обрабатываемости; увеличение глубины прокаливаемости инструментальных сталей перед закалкой.

Закалка представляет собой процесс нагрева стали до температуры выше температуры фазовых изменений, выдержке при этой температуре и последующего охлаждения с большой скоростью. При этом материал упрочняется, но остается хрупким. Закалка не является окончательной операцией термообработки. Чтобы уменьшить хрупкость, снять остаточные напряжения и получить требуемые механические свойства, закаленные детали подвергают *отпуску*.

Виды закалки:

Непрерывная - нагрев, выдержка и последующее резкое охлаждение. Назначение: Получение в сочетании с отпуском высокой твердости и износоустойчивости стальных деталей.

Прерывистая - нагрев, выдержка и последующее охлаждение в воде, а затем в масле. Назначение: Уменьшение остаточных напряжений и деформаций в деталях из высокоуглеродистой инструментальной стали.

Изотермическая - нагрев, выдержка и последующее охлаждение в расплавленных солях, а затем на воздухе. Назначение: Получение после закалки минимальной деформации изделий, повышение пластичности, предела выносливости и сопротивления изгибу деталей из легированной инструментальной стали.

Ступенчатая - то же (отличается от изотермической закалки меньшим временем пребывания изделия в охлаждающей среде). Назначение: Уменьшение напряжений, деформаций (коробления) и предупреждение образования трещин в мелком инструменте и углеродистой инструментальной стали, а также в более крупном инструменте и легированной инструментальной и быстрорежущей стали (Р18, Р12, Р9 и др.).

Поверхностная - нагрев поверхностного слоя и последующее быстрое охлаждение. Назначение: Для деталей, к которым предъявляют требования поверхностной твердости.

С самоотпуском - отличается от непрерывной закалки тем, что детали охлаждаются не полностью, вследствие чего под действием тепла, сохранившегося внутри детали, обеспечивается отпуск закаленного наружного слоя. Назначение: Для местной закалки ударного инструмента несложной конфигурации, изготовленного из углеродистой инструментальной стали, а также при индукционном нагреве.

С обработкой холодом - глубокое охлаждение после закалки до температуры $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Назначение: Повышение твердости и получение стабильности размеров деталей из высоколегированных сталей.

С подстуживанием - нагретые детали перед погружением в охлаждающую среду некоторое время охлаждаются на воздухе или выдерживаются в термостате с пониженной температурой. Назначение: Сокращение цикла термической обработки стали; применяется обычно после цементации.

Светлая - отличается от непрерывной закалки применением контролируемых сред при нагреве и охлаждении. Назначение: Защита от окисления и обезуглероживания сложных деталей пресс-форм, штампов и приспособлений, не подвергаемых шлифованию.

Закалка может быть выполнена по всему объему или по поверхности. Поверхностная закалка повышает твердость материала, его износостойкость и т.д. При таком виде закалки основная объемная часть материала остается пластичной, что благоприятным образом сказывается на конструкции в целом. По этой причине такой вид термообработки часто используется на практике. Нагрев поверхности детали производят с большой скоростью токами высокой частоты (ТВЧ), электронным лучом, газовой горелкой. При этом сердцевина детали не прогревается до температуры закалывания стали. Повышается твердость и прочность только поверхностных слоев, а сердцевина стали остается вязкой, что предохраняет деталь от поломок, уменьшает коробление. Так закалывают валы, кулачки, зубья крупномодульных колес из сталей 40, 45, 50, 40X, 40XH и др.

Малоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,25 % закалке не подлежат. Для повышения их механических свойств проводят химико-термическую обработку поверхностных слоев деталей на глубину 0,2...2 мм, что обеспечивает после закалки их высокую контактную прочность при сохранении вязкой сердцевины.

Отпуск заключается в нагреве металла до температуры ниже критической, выдержке при этой температуре и охлаждении с определенной скоростью.

Виды отпуска:

Низкотемпературный - нагрев в интервале температур $150^{\circ}\text{C} \dots 250^{\circ}\text{C}$ и последующее ускоренное охлаждение. Назначение: Снятие внутренних напряжений и уменьшение хрупкости режущего и мерительного инструмента после поверхностной закалки, после закалки цементуемых изделий.

Среднетемпературный - нагрев в интервале температур $350^{\circ}\text{C} \dots 500^{\circ}\text{C}$ и последующее медленное или ускоренное охлаждение. Назначение: Повышение предела упругости пружин рессор и других упругих элементов.

Высокотемпературный - нагрев в интервале температур $500^{\circ}\text{C} \dots 680^{\circ}\text{C}$ и последующее медленное или быстрое охлаждение. Назначение: Для деталей из конструкционных сталей как правило, при термическом улучшении.

Улучшение - термообработка, состоящая из закалки и высокотемпературного (нагрев до $500 \dots 670^{\circ}\text{C}$) отпуска. Его используют для повышения прочности деталей машин при сохранении или повышении вязкости материала. Улучшение обеспечивает большую твердость стали, чем нормализация. Например, нормализованная сталь 45 имеет твердость 170... 217 НВ, улучшенная - 269... 302 НВ. Назначение: обеспечение сочетания высокой прочности и пластичности при окончательной термообработке деталей из конструкционных сталей, испытывающих в работе ударные и вибрационные нагрузки.

Термомеханическая обработка - нагрев, быстрое охлаждение до $400^{\circ}\text{C} \dots 500^{\circ}\text{C}$. Многократное пластическое деформирование, закалка и отпуск. Назначение: Обеспечение для проката и простых деталей, не подвергаемых сварке, повышенной прочности по сравнению с прочностью, получаемой при обычной термической обработке.

Старение - нагрев и длительная выдержка при повышенной температуре. Назначение: Стабилизация размеров деталей и инструментов из различных сталей.

Кроме термической, металлы могут подвергаться **химико-термической** обработке (поверхностному легированию), т.е. термическому и химическому воздействию на поверхностный слой. При химико-термической обработке происходит, в основном, изменение структуры поверхностного слоя материала, в результате чего повышаются твердость, износостойчивость и устойчивость против коррозии. Наиболее распространенными видами химико-термической обработки являются цементация, азотирование, цианирование.

Цементация (науглероживание) – насыщение углеродом поверхностных слоев на заданную глубину (после цементации рекомендуется закалка и низкий отпуск). Назначение: Получение поверхностного слоя высокой твердости $500\text{HV} \dots 600\text{HV}$, износостойкости при наличии вязкой сердцевины деталей. При таком варианте термообработки цементируемый слой может наноситься только на отдельные участки детали. На цементацию поступают детали после механообработки, так как после нее допускается только операция шлифования. Для цементации чаще всего используют низкоуглеродистые легированные стали. В результате на их поверхности образуется диффузионный слой, химический состав которого сильно зависит от глубины. Это можно объяснить тем, что проникновение диффундирующего элемента в глубинные слои оказывается затрудненным. Цементируют детали из низкоуглеродистых сталей марок 15, 20, 20X, 12ХНЗА и других

Нитроцементация – процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя углеродом и азотом, протекающий при температуре $T=840...860\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Азотирование – термохимическая обработка, при которой поверхностный слой насыщается азотом на заданную глубину. Назначение: повышение поверхностной твердости $800\text{HV}-1200\text{HV}$, износостойкости, предела выносливости, коррозионной и эрозионной стойкости деталей. Азотирование сильно повышает твердость поверхности, ее износостойкость, предел выносливости и стойкость к коррозии, причем твердость сохраняется до температуры 500°C . Азотируют детали - из сталей марок 38Х2МЮА, 38Х20 и др.

Цианирование высокотемпературное (азотонауглероживание) – термохимическая обработка, при которой поверхностный слой одновременно насыщается углеродом и азотом. Назначение: Повышение поверхностной твердости $650\text{HV}-850\text{HV}$, износостойкости, предела выносливости при изгибе и контактной выносливости деталей из низкоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей (*например, 35, 40, 35Х, и др.*).

Борирование – термохимическая обработка, при которой поверхностный слой насыщается бором при нагревании в соответствующей среде. Глубина насыщения $0,2-1\text{ мм}$. После борирования целесообразно проводить закалку и отпуск для упрочнения сердцевины. Назначение: Повышение износостойкости, твердости $1500\text{HV}-1800\text{HV}$, окалиностойкости и коррозионной стойкости, теплостойкости.

Механическое упрочнение поверхностных слоев деталей методами пластического деформирования (наклепом) производят накаткой роликами или шариками, чеканкой, дробеструйным способом и др. При этом повышается предел выносливости сталей. Так упрочняют детали, работающие в ответственных узлах (гребные винты, канаты, валы, рессоры и др.).

Электротермическая обработка - термическая обработка, материалов с использованием электрического нагрева (индукционного, контактного и др.); позволяет применять большие скорости нагрева, а также нагревать отдельные участки изделия либо только его поверхностный слой.

Термомагнитная обработка - разновидность термической обработки, позволяющая улучшить некоторые магнитные свойства металлов и сплавов в результате охлаждения изделий в магнитном поле.

Патентирование - термическая обработка стальной проволоки - включает нагрев (до $870^{\circ}\text{C}...950^{\circ}\text{C}$), охлаждение (до $450^{\circ}\text{C}...550^{\circ}\text{C}$) обычно в солевом или свинцовом расплаве, выдержку и дальнейшее охлаждение на воздухе или в воде.

Цель патентирования - улучшение пластичности металла.

В последние годы широкое распространение получает обработка поверхностей деталей концентрированными потоками энергии (*лазерная, плазменная*), которые существенно повышают прочность и износостойкость поверхностных слоев деталей.

Требования к термообрабатываемым деталям

Детали должны иметь простейшие геометрические формы, без выступающих острых граней и резких переходов от одного сечения к другому.

Необходимо предусматривать **технологические припуски** на коробление, которые при последующей обработке позволяют исправить размеры и форму деталей.

В местах контроля твердости устанавливают более широкие допуски на размеры, так как это связано с последующей зачисткой поверхности детали.

Шероховатость поверхности деталей, подвергаемых окончательной термообработке, должна быть не менее R_z40 (при цементации и азотировании - не менее R_z20).

Шероховатость поверхности детали, на которой проводят контроль твердости, должна быть до проведения термообработки не менее R_z20 при задании твердости в единицах HRC_z и не менее $R_a2,5$ при задании твердости в единицах HV .

Для **цементированных** деталей рекомендуется применять конструкционные низкоуглеродистые стали, содержащие не более $0,25\%$ углерода.

Для деталей, в которых по условиям эксплуатации требуется **более прочная сердцевина**, допускается применение сталей с содержанием углерода до $0,35\%$.

Рекомендуемая **глубина цементованного слоя**: $0,3-0,6$; $0,5-0,8$; $0,9-1,2$; $1,2-1,5$; $1,6-2$; $2,1-2,5\text{ мм}$.

Для сохранения твердости закаленного цементованного слоя рекомендуется **припуск на шлифование** назначать в следующих пределах:

не более 20% глубины слоя при полной его глубине до 2 мм ,

не более 25% глубины слоя при полной его глубине свыше 2 мм .

Для деталей, работающих на изгиб и испытывающих динамические нагрузки, не рекомендуется применять азотирование.

Глубину слоя азотирования не должна превышать $(5-6)\%$ сечения (толщины) детали.

Детали простейшей формы постоянной толщины в основном подвергаются закалке с нагревом током высокой частоты.

Глубина h закаленного слоя, в зависимости от диаметра детали d , для диапазона диаметров $(10-100)\text{ мм}$ определяется по формуле:

$$h=2,91+0,28d-0,121d^2.$$

Полученное значение округлить до стандартного числа (округленное значение не должно отличаться от расчетного более, чем на 30%).

Перепад между соседними диаметрами в ступенчатых валиках желательно назначать в пределах $D_1/D_2=1,2-1,3$.

Термическая обработка сварных конструкций

Проведение термической обработки сварных конструкций преследует две основные цели: снятие остаточных напряжений, восстановление свойств металла в зоне термического воздействия сварочного источника тепла.

Снятие остаточных напряжений протекает наиболее интенсивно при температуре 580°C...620°C, при которой изделие выдерживается более 1 ч.

При неравномерном охлаждении изделий в процессе термической обработки могут образоваться дополнительные остаточные напряжения, не связанные с технологическим процессом сварки.

Наибольшую опасность представляет период охлаждения от 600°C до 300°C. Если в этот период в изделии возникают перепады температур более 50°C, то после охлаждения возможно образование значительных остаточных напряжений порядка $(0,4-0,6)\sigma_T$.

Ниже 300°C, когда материал обладает достаточными упругими свойствами, охлаждение изделия может протекать с большей скоростью.

Для сварных конструкций из низко- и среднелегированных сталей большое значение имеет устранение закаленных зон в области сварного шва, образующихся при сварке. Восстановление свойств металла в этих зонах происходит во время отпуска при 620°C...680°C.

Композиционные материалы

Композиционные материалы представляют собой композицию из легких металлов в качестве основы (матрицы) и прочных волокон как наполнителя. В качестве металлической основы используют Al, Mg, Ni и их сплавы. Металлическая матрица связывает волокна в единое целое. Волокна располагаются таким образом, что создают определенную композицию. Композиционные материалы по отношению к обычным сплавам обладают более высокой статической прочностью и прочностью при переменном режиме нагружения. Применение этих материалов повышает жесткость конструкции и снижает ее металлоемкость. При этом прочность композиционного материала определяется прежде всего свойствами волокон, а матрица выполняет роль связующего звена.

Для упрочнения алюминия и магния и их сплавов применяют борные и углеродистые волокна. Для армирования титана и его сплавов применяют молибденовую проволоку, проволоку карбида кремния и т.д. Повышения жаропрочности никелевых сплавов достигается за счет использования вольфрамовой и молибденовой проволок и т.д.

Для композиционных материалов характерно наличие анизотропии свойств по объему, что в конечном итоге можно эффективно использовать за счет соответствующего расположения детали.

Композиционные материалы обладают высокой статической прочностью, малой чувствительностью к концентраторам напряжений и имеют высокий предел прочности на сопротивление усталости.

Кроме металлической, иногда используют полимерную либо керамическую основы.

Порошковые материалы в последние годы находят всё более широкое применение в промышленности. Детали, изготовленные методом порошковой металлургии, не нуждаются в последующей механической обработке. Сущность метода состоит в прессовании и последующем спекании в пресс-формах композиций металлических порошков и специальных присадок. В зависимости от композиции порошков могут быть получены материалы с необходимыми прочностными, фрикционными, антикоррозионными и другими свойствами. Этот метод реализует принцип безотходной технологии. В машиностроении наибольшее распространение получили детали на основе железного порошка. Детали, изготовленные методом порошковой металлургии, не нуждаются в последующей обработке резанием. Порошковые материалы широко используют при изготовлении тормозных колодок, вкладышей подшипников скольжения, малонагруженных зубчатых колес, втулок, шайб и др.

Неметаллические материалы

Для изготовления деталей машин наряду с металлами и их сплавами широкое применение получают неметаллические материалы, полученные на основе:

1) неорганических веществ (например, минеральные стекла, силикаты, керамические материалы, асбестовые материалы);

2) органических веществ (например, пластические массы, древесные материалы, каучуки, технические резины, лакокрасочные материалы, бумага и др.).

Неметаллические материалы органического происхождения представляют собой в основном природные или синтетические высокомолекулярные соединения.

К природным высокомолекулярным соединениям относятся: целлюлоза, натуральный каучук, природные смолы.

Синтетические высокомолекулярные соединения получают, как правило, из низкомолекулярных соединений полимеризацией или поликонденсацией.

Керамика

Поликристаллический материал на основе соединений металлов. Если такой материал смешивается с металлами, то в результате получают металлокерамические материалы.

Металлокерамические материалы изготавливаются методами порошковой металлургии. В основе эти материалы представляют смесь керамики с металлами. Такое сочетание позволяет создавать материалы, имеющие высокие термическую прочность, износостойкость, коррозионную стойкость и стойкость к агрессивным химическим средам.

Технология изготовления таких изделий включает получения порошков металлов (а также их смесей с неметаллическими порошками), прессование и последующее спекание в пресс-формах. Полученные таким образом детали не требуют дальнейшей механической обработки. В результате такой технологии обработки материалы могут получаться пористыми, причем пористость достигает 10...30%. Такие материалы, имеющие низкий коэффициент трения который для контакта $f=0,05...0,09$, целесообразно использовать в качестве фильтров и антифрикционных материалов, а также вкладышей подшипников.

Металлокерамические материалы используются также и в других случаях, где их применение оправдано благодаря описанным выше свойствам.

Пластмассы (пластические массы)

Все более широкое применение получают *пластмассы*. **Пластмассами** называют материалы, получаемые на основе природных или синтетических смол (полимеров), которые при определенных температуре и давлении приобретают пластичность, а затем затвердевают, сохраняя форму при эксплуатации. Кроме связующего вещества (полимера) в состав пластмасс входят наполнители, пластификаторы, отвердители, красители. Наполнители вводят в смолы для повышения механической прочности, теплостойкости, уменьшения усадки и снижения стоимости пластмассы. Наполнители могут быть в газовой (пенопласты) и твердой фазе, иметь органическое (древесная мука, хлопковые очесы, целлюлоза, бумага, хлопчатобумажная ткань) и неорганическое (графитная, асбестовая и кварцевая мука; углеродное и стекловолокно; стеклоткань) происхождение. Механическая прочность пластмасс существенно зависит от наполнителя. Пластмассы с порошкообразными, коротковолокнистыми, длиной 2...4 мм, наполнителями по прочности приближаются к дуралюмину и некоторым сортам стали. Для деталей, работающих в узлах трения, широко применяют теплопроводящие наполнители, например, графит.

Пластификаторы увеличивают текучесть, эластичность и уменьшают хрупкость пластмасс. Отвердители ускоряют процесс затвердевания пластмасс, красители придают пластмассам нужный цвет.

Пластмассы обладают ценными свойствами: легкостью, прочностью, тепло- и электроизоляцией, стойкостью против действия агрессивных сред, фрикционностью или антифрикционностью, высоким коэффициентом линейного расширения (в 10...30 раз больше, чем у стали), возможностью получать изделия сложной формы высокопроизводительными методами (литьем под давлением, штамповкой). Отрицательными свойствами пластмасс является невысокая теплостойкость, низкий модуль упругости, склонность к так называемому старению, которое сопровождается постепенным изменением механических характеристик в процессе эксплуатации.

По поведению при нагреве полимеров пластмассы делят на термопластичные (термопласты) и терморезистивные (реактопласты).

Термопласты (полиэтилен, фторопласт, полистирол, полиамиды и др.) имеют свойства обратимости: при повторных нагреваниях они переходят в пластическое или вязкотекучее состояние и им можно придать необходимую форму, а затем они вновь затвердевают при охлаждении. Переход термопластов из одного физического состояния в другое может осуществляться неоднократно без изменения химического состава. Термопласты легко формуются и надежно свариваются в изделия сложных форм, устойчивы к ударным и вибрационным нагрузкам, обладают хорошими антифрикционными свойствами. Свойства термопластов сильно зависят от температуры.

Фторопласт – полимерный материал, получаемый химическим путём. Фторопласт содержит атомы фтора, благодаря чему имеет высокую химическую стойкость. Плохо растворяется или не растворяется во многих органических растворителях, не растворим в воде и не смачивается ею. Фторопласты характеризуются широким диапазоном механических свойств, хорошими диэлектрическими свойствами, высокой

электрической прочностью, низким коэффициентом трения, низкими значениями износа; стойки к действию различных агрессивных сред при комнатной и повышенной температуре, атмосферо-, коррозионно- и радиационностойки, слабо газопроницаемы, не горючи или самозатухают при возгорании. Очень высокая нагревостойкость (до 300°C). Материал обладает холодной текучестью.

Полиэтилен – продукт полимеризации бесцветного газа этилена, относящийся к кристаллизующимся полимерам. Теплостойкость полиэтилена невысока, поэтому длительно его можно применять при температурах до 60 - 100°C. Морозостойкость полиэтилена достигает - 70°C и ниже. Полиэтилен используют для изготовления труб, литых и прессованных несилловых деталей, полиэтиленовых пленок для изоляции проводов и кабелей, чехлов, облицовки водоемов; кроме того, полиэтилен служит покрытием на металлах для защиты от коррозии, влаги, электрического тока и др.

Полистирол – твердый, жесткий, прозрачный, аморфный полимер. По диэлектрическим характеристикам близок к полиэтилену, удобен для механической обработки, хорошо окрашивается. Недостатками полистирола являются его невысокая теплостойкость, склонность к старению, образование трещин. Из полистирола изготавливают детали для радиотехники, телевидения и приборов, детали машин, сосуды для воды и химикатов, пленки стирофлекса для электроизоляции.

Полиамиды – это кристаллизующиеся полимеры. У них низкая плотность. Полиамиды имеют низкий коэффициент трения, продолжительное время могут работать на истирание; кроме того, полиамиды ударопрочны и способны поглощать вибрацию. Они стойки к щелочам, бензину, спирту; устойчивы в тропических условиях. Из полиамидов изготавливают шестерни, втулки, подшипники, болты, гайки, шкивы, детали ткацких станков, уплотнители гидросистем, колеса центробежных насосов, турбин, турбобуров, буксирные канаты и т. д. Полиамиды используют в электротехнической промышленности, медицине и, кроме того, как антифрикционные покрытия металлов.

Реактопласты не переходят в пластическое состояние при повторном нагревании. Они имеют более высокие, чем термопласты, показатели по твердости, модулю упругости, теплостойкости, сопротивлению усталостной прочности. Их свойства не так резко зависят от температуры. В зависимости от наполнителя различают монолитные (карболит), слоистые (текстолит, гетинакс) и композиционные пластмассы, где наполнителем используются волокна. В терморезистивных пластмассах связующими являются эпоксидные, кремнийорганические и другие смолы.

Карболит, один из видов синтетических фенолоальдегидных смол, получаемый поликонденсацией фенола (крезолов) с формальдегидом в присутствии нефтяных сульфокислот.

Текстолиты (наполнитель – хлопчатобумажная ткань) широко используют в машиностроении как конструкционный и антифрикционный материал. В них выгодно сочетаются высокая механическая прочность с низкой плотностью, износостойкостью и хорошими диэлектрическими свойствами. Текстолит применяют для изготовления подшипников, зубчатых колес и различных силовых деталей общего и специального машиностроения.

Древолиты – древеснослоистые пластики (ДСП). Древолит представляет собой пластики, состоящие из правильно уложенных слоев тонкого (0,6...1 мм) древесного шпона, пропитанных фенольной смолой и термически обработанных под высоким давлением.

Гетинакс (в качестве наполнителя применяется бумага) обладает высокими диэлектрическими свойствами и удовлетворительной механической прочностью. Выпускается в виде листов, плит, труб и различных прессованных деталей. Широко применяется как электроизоляционный материал.

Алкиды. Это семейство литевых компаундов, изготавливаемых из ненасыщенных полиэфирных смол. Свойства алкидов: высокая твердость и жесткость, стабильность размеров при повышенных температурах; низкое влагопоглощение; высокая диэлектрическая прочность и стойкость к электрическим разрядам; сохранение электроизоляционных свойств в условиях влажности. Типичное применение: держатели щеток автомобильных электромоторов, электроизоляторы, элементы телевизоров, электрические выключатели, элементы систем зажигания в автомобилях; оболочки резисторов и конденсаторов.

Фенолы. Семейство литевых компаундов, получаемое в результате реакции фенола и формальдегида с добавлением волокнистых наполнителей. Свойства фенолов: высокая твердость и прочность, тепловая и химическая стойкость, хорошие электрические свойства. Применение: в автомобилях – крышки распределителей зажигания, корпуса электрооборудования; роторы и обкладки тормозов; в электронике – разъемы, выключатели; в домашнем хозяйстве – ручки кастрюль и утвари, подставки, корпуса электроинструмента и электроприборов.

Полиэфирные смолы. Эти смолы обычно используются с волокнистыми наполнителями при производстве слоистых стеклопластиков. Изделия из полиэфирных смол твердые, жесткие и температуростойкие; они нашли широкое применение в качестве корпусов и крышек узлов автомобилей, емкостей и труб для химикалий, строительных панелей.

Диаллилфталат (DAP) – широко используемая полимеризуемая смола. Изделия из DAP после прессования имеют прекрасную размерную стабильность, высокую электроизоляционную стойкость, сопротивление электрическим разрядам и химическую стойкость. Широко используется в электронике в качестве разъемов, выключателей, корпусов и других деталей.

Меламины. Хорошо окрашиваемые литьевые компаунды. Сохраняют температуростойкость и влагостойкость при температурах до 100 °С. Применение: домашняя посуда, ручки, кнопки, корпуса домашних приборов, электрические выключатели.

Мочевина. Смолы на основе мочевины применяются в качестве литьевых компаундов в случаях, когда требования к изделиям ниже, чем к меламинам. Сохраняют температуростойкость и влагостойкость при температурах до 75 °С. Смолы хорошо окрашиваются. Применение: домашние выключатели, розетки, другие стеновые панели.

Эпоксидные смолы. При отверждении приобретают высокую твердость и прочность, тепловую и электростойкость, химическую стойкость. При упрочнении стекловолокнами применяются в аэрокосмической технике и электронике для герметизации электронных компонентов; также применяются при изготовлении трубопроводов, резервуаров, сосудов под давлением; используются как защитное покрытие для промышленного оборудования и приборов, а также в качестве уплотнительного материала.

Пластмассы являются хорошими электроизоляционными материалами. Для них характерна высокая химическая и коррозионная стойкость, малая плотность и теплостойкость. Они отличаются достаточной прочностью и упругостью. Детали, изготовленные из пластмасс, имеют блестящую гладкую поверхность разных цветов. Пластмассы значительно хуже, чем металлы, сопротивляются переменным нагрузкам; они подвержены тепловому, световому и атмосферному старению – процессу самопроизвольного необратимого изменения свойств; многие из пластмасс гигроскопичны.

Большим достоинством пластмасс является их высокая технологичность, обеспечивающая значительное сокращение производственного цикла. Изготовление металлических деталей осуществляется за десятки операций механической обработки, а пластмассовых – часто за одну технологическую операцию по формообразованию (прессование, выдавливание, литье под давлением и др.). Поэтому трудоемкость изготовления пластмассовых деталей уменьшается в 5...6 раз и более, а себестоимость продукции снижается в 2...3 раза, при этом получают очень высокий коэффициент использования материала, равный 0,9...0,95. Это приводит к значительному снижению материалоемкости и из-за малой плотности пластмасс (1,2...1,9 Мг/м³), к уменьшению массы конструкции в 4...5 раз.

Из пластмасс изготавливают зубчатые и червячные колеса, шкивы, подшипники, ролики, корпуса, зубчатые ремни, ручки управления и другие детали. Производство пластмасс развивается интенсивнее, чем таких традиционных материалов, как металлы. Это объясняется удешевлением изготовления, улучшением ряда основных параметров механизмов: уменьшением веса и инерционности звеньев, потерь на трение, повышением быстродействия.

Таблица 8. Физико-механические характеристики пластмасс

Материал	ρ , кг/м ³	σ_p , МПа	σ_u , МПа	Применение
Волокнит	13,5-14,5	30-40	50-80	Вкладыши,
Текстолит Пт	13-14	85	145	детали фрикционных
Текстолит ПТК	13-14	100	160	передат, сепараторы
Древесно-слоистые пластинки	13-14	110-260	100-280	подшипников
Капрон	11,3	60-84	90	скольжения, зубчатые колеса

Резина

Материал, получаемый вулканизацией смеси натурального либо синтетического каучука с серой и другими добавками (ингредиентами). По степени вулканизации резины разделяются на мягкие (1-3% серы), полутвердые и твердые (30% серы) (эбонит). Резина применяется для уплотнительных изделий, диафрагм, гибких шлангов.

Резина отличается от других материалов высокими эластическими свойствами. Она обладает также высокой износостойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами и тем, что способна сопротивляться многим агрессивным средам. Резина может выдерживать большие деформации, которые, в свою очередь, полностью обратимы. Модуль упругости для резины лежит в пределах 1...10 МПа, что в тысячи и десятки тысяч раз больше, чем для других материалов. Высокая эластичность и определяет область применения деталей из резины. Резину применяют для изготовления шин (камер и покрышек) автомобилей, тракторов и самолетов, приводных ремней, лент транспортерных и элеваторных, напорных рукавов, соединительных шлангов, резиновых подвесок, буферов, амортизаторов частей подшипников; для прокладочных колец, шнуров, пластин и клапанов, деталей электротехнической и рентгеновской аппаратуры и т. п.

Серьезным недостатком является низкая прочность резиновых изделий. По этой причине для повышения прочности резину армируют текстильными материалами либо стальными элементами.

Таким образом, выбор конструкционных материалов отвечающих служебным свойствам деталей, обоснование методов получения заготовок, обеспечивающих геометрическую точность, структуру, качества поверхностного слоя детали есть важные составляющие качества машин. При этом обеспечение износостойкости химико-термическими и механическими методами, лазерной, ионно-плазменной и

финишной обработкой даёт стабильное качества во время сборки. Эти комплексные факторы существенно влияют на обеспечение качества машин и производства.

Смазочные материалы

Классификация смазок и их применение

В России выпускается более 100 видов смазок.

В бывшем СССР до 1979 года наименования смазок устанавливали произвольно. В результате одни смазки получили словесное название, другие номер, третьи - обозначение создавшего их учреждения. В 1979 году был введен ГОСТ 23258-78 (действующий в настоящее время в России), согласно которому наименование смазки должно состоять из одного слова и цифры.

Смазки классифицируют по **консистенции, составу и областям применения**:

По **консистенции** смазки разделяют на:

- полужидкие
- пластичные
- твердые

Пластичные и полужидкие смазки представляют собой коллоидные системы, состоящие из дисперсионной среды, дисперсной фазы, а также присадок и добавок. Наибольшее применение пластичные смазки получили в подшипниках качения и скольжения, шарнирах, зубчатых, винтовых и цепных передачах, многожильных тросах. Наиболее существенными, влияющими на эффективность применения пластичных смазок, являются следующие факторы:

- особенности узлов трения и условия и условия эксплуатации смазок - температура, нагрузка, скорость перемещения трущихся пар;
- совместимость смазок с конструктивными материалами;
- совместимость смазок друг с другом при их возможном смешивании.

Кинематическая вязкость – основная характеристика жидких смазок (масел).

Существует несколько систем измерения кинематической вязкости масел:

- ISO Grade – Система измерения вязкости в сантистоксах (сст) при 40°C.
- SAE Grade – Классификация вязкости моторных масел по системе SAE.
- AGMA Grade – Классификация вязкости трансмиссионных масел по AGMA (The American Gear Manufacturers Association).
- SUS@100°F – Метод измерения вязкости по Saybolt Universal Seconds.

Чем больше число единиц вязкости, тем выше вязкость масла.

Твердые смазки до отверждения являются суспензиями, дисперсионной средой которых служит смола или другое связующее вещество и растворитель, а загустителем - дисульфид молибдена, графит, технический углерод и т.п. После отверждения (испарения растворителя) твердые смазки представляют собой золи, обладающие всеми свойствами твердых тел и характеризующиеся низким коэффициентом сухого трения.

По составу смазки разделяют на четыре группы.

- *Мыльные* смазки, для получения которых в качестве загустителя применяют соли высших карбоновых кислот (мыла). В зависимости от аниона мыла смазки одного и того же катиона разделяют на обычные и комплексные (кальциевые, литиевые, бариевые, алюминиевые и натриевые). В отдельную группу выделяют смазки на смешанных мылах, в которых в качестве загустителя используют смесь мыл (литиево - кальциевые, натриево - кальциевые и др.: первым указан катион мыла, доля которого в загустителе большая).

Мыльные смазки в зависимости от применяемого для их получения жирового сырья называют условно синтетическими (анион мыла - радикал синтетических жирных кислот) или жировыми (анион мыла - радикал природных жирных кислот), например, синтетические или жировые солидолы.

- *Неорганические* смазки, для получения которых в качестве загустителя используют термостабильные с хорошо развитой удельной поверхностью высокодисперсные неорганические вещества. К ним относят силикагелевые, бентонитовые, графитные, асбестовые и другие смазки.

- *Органические* смазки, для получения которых используют термостабильные, высокодисперсные органические вещества. К ним относят полимерные, пигментные, полимочевинные, сажевые и другие смазки.

- *Углеводородные* смазки, для получения которых в качестве загустителей используют высокоплавкие углеводороды (петролатум, церезин, парафин, озокерит, различные природные и синтетические воски).

- *Консистентные* смазки.

Консистентные смазки (Grease) имеют следующие преимущества:

- лучшее, по сравнению с маслами, сцепление с металлическими поверхностями;
- отсутствует тенденция к утечкам, выработыванию или испарению;

- определенный тип смазки может предназначаться для специфических условий работы: высокие температуры, экстремальные давления, переменные скорости под нагрузкой;
- водоотталкивающие свойства, что помогает предотвращать ржавчину и коррозию металлических поверхностей.

Консистентные смазки состоят из базового масла, загустителя и добавок.

Базовое масло (base oil) выполняет роль смазки. Нефтяные масла (petroleum oil) характеризуются низкой стойкостью; синтетические масла (synthetic oil) имеют более продолжительный срок службы; полусинтетические масла (semi-synthetic oil) состоят из смеси нефтяных и синтетических масел и сочетают пониженную стоимость с повышенным сроком службы.

Загуститель (thickener) удерживает масло подобно тому, как губка удерживает воду. Обычно в качестве загустителей используется lithium, calcium, bentone, polyurea. Более современные комплексные загустители (lithium complex, aluminum complex) расширяют диапазон рабочих температур. В случае нефтяных масел тип загустителя определяет название смазки.

Присадки (additives) улучшают определенные свойства смазки: диапазон рабочих температур, коррозионную стойкость, износостойкость и т.д.; например молибден дисульфид (moly) добавляют для работы при экстремальных давлениях, Teflon улучшает антифрикционные свойства и износостойкость.

В США консистенция смазки характеризуется определенным номером NLGI (National Lubricating Grease Institute). Наиболее распространены смазки No.2. Более мягкие сорта (0 и 1) часто используются для улучшения прокатки и для работы при низких температурах.

NLGI No	Консистенция
0	Very Soft
1	Soft
2	Medium Soft
3	Medium

В зависимости от типа их дисперсионной среды различают смазки на нефтяных и синтетических маслах.

По области применения в соответствии с ГОСТ 23258-78 смазки разделяют на:

- Антифрикционные (снижение износа и трения сопряженных деталей);
- Консервационные (предотвращение коррозии металлических изделий и механизмов при хранении, транспортировании и эксплуатации)
- Уплотнительные (герметизация зазоров, облегчение сборки и разборки арматуры, сальниковых устройств, резьбовых, разъемных и подвижных соединений, в том числе вакуумных систем)
- Канатные (предотвращение износа и коррозии стальных канатов).

Антифрикционные смазки

К антифрикционным смазкам общего назначения относят солидолы - наиболее дешевые пластичные смазки. Они водостойкие, хорошо защищают металлы от коррозии, имеют достаточно хорошие противоизносные свойства. У них, однако, низкие температуры плавления и механическая стабильность. При температурах выше 60 - 70°C используются Na и Ca- смазки. В настоящее время их выпуск сокращается в связи с применением в большинстве узлов трения многоцелевых смазок.

Смазки общего назначения

Солидол С. Область применения; относительно грубые узлы трения механизмов и машин, транспортных средств, сельскохозяйственной техники; ручной и другой инструмент, шарниры, винтовые и цепные передачи, тихоходные шестеренчатые и т.п. Хорошие водостойкость, коллоидная стабильность, защитные свойства, узкий диапазон рабочих температур и низкая механическая стабильность (Тр= -30...+65°C)

Солидол Ж. Область применения; смазывание узлов трения, качения и скольжения различных машин и механизмов (Тр= -25...+65°C)

Графитин. Область применения; тяжело - нагруженные тихоходные механизмы-рессоры, подвески тракторов и гусеничных машин, открытые шестереночные передачи, резьбовые соединения и др. (Тр= -20...+60°C)

Графитная Ж. Предназначена для смазывания грубых тяжело - нагруженных механизмов (открытых шестеренчатых передач, резьбовых соединений, ходовых винтов, домкратов, рессор и др.). Допускается применять смазку при температуре ниже -20°C в рессорах и аналогичных устройствах. Смазка работоспособна при температурном интервале применения от -20 до 60°C.

Смазки общего назначения для повышенных температур

Смазка I-13. Смазывание узлов трения качения и скольжения механизмов и машин. Применяется для подшипников электродвигателей, ступиц колес автомобилей и др.

Консталин. Область применения; смазывание узлов терния вентиляторов литейных машин, доменных и цементных печей, подшипников качения на железнодорожном транспорте и др. Водостойкость низкая. Работоспособна при температуре -40...+120°C.

Литин-2. Применяется для смазывая игольчатых подшипников карданных шарнирах и других узлов автомобилей. Работоспособна при температуре -40...+120°C.

Многоцелевые смазки

Многоцелевые смазки можно применять в различных узлах трения (подшипниках качения и скольжения, шарнирах, зубчатых и цепных. передачах и т. п.), рассчитанных на использование пластичных смазок. Они во всех случаях могут служить заменой смазок общего назначения и в большинстве узлов трения - смазок общего назначения для повышенных температур. Эти смазки водостойки и работоспособны в широком интервале скоростей, температур и нагрузок, имеют хорошие защитные свойства. Многоцелевые смазки не предназначены для замены морозостойких, термостойких, приборных и других специализированных смазок. В шариковых и роликовых подшипниках допустимо использование пластичных однотипных многоцелевых антифрикционных смазок (Литол-24, ШРУС-4М). Применение указанных типов смазок позволяет сократить расход пластичных смазок, снизить износ оборудования и увеличить срок службы оборудования.

Литол - 24, Литол-24 РК. Антифрикционная многоцелевая водостойкая смазка представляет собой смесь нефтяных масел, литиевых мыл 12-оксистеариновой кислоты и пакета присадок. Смазка имеет хорошие консервационные свойства, хорошо защищает металлческие изделия от коррозии. Предназначена для применения в узлах трения колесных, гусеничных транспортных средств и промышленного оборудования, судовых механизмов различного назначения, работающих при температурах от -40 до 120°C (допускается кратковременный нагрев до 130°C).

Литол-24М. Область применения; узлы трения колесных и гусеничных транспортных средств, промышленного оборудования и судовые механизмы различного назначения (Тр= -40...+120°C). Она достаточно надежно защищает от коррозии, широко используется в качестве единой автомобильной смазки, успешно заменяет солидолы всех типов, Na- и Li-смазки общего назначения. Применение указанного типа смазки позволяет сократить расход пластичных смазок, снизить износ оборудования и увеличить срок службы оборудования.

Фиол-1. Предназначена для смазывания узлов трения под давлением (через пресс-масленку) и для тросов, имеющих оболочку с внутренним диаметром <5. Водостойкая. Работоспособна при температуре -40...+120°C.

Фиол-2. Область применения; подшипники качения и скольжения, зубчатые передачи промышленных машин и механизмов, передачи станков, конвейеров и других аналогичных устройств, работающих при малых и средних нагрузках и т.п. Водостойкая.

Фиол- 2М. Область применения; легконагруженные малогабаритные подшипники качения и скольжения автомобильного электрооборудования, высокооборотные подшипники электроверетен; оси октан-корректора прерывателя распределителя автомобилей. Водостойкая, улучшенные противоизносные и противозадирные свойства (по сравнению с ФИОЛ-2). Работоспособна при температуре -40...+120°C.

БНЗ-3. Область применения закрытые роликовые опоры конвейеров, механизмы экскаваторов, бурильных станков, бульдозеров и в горнорудной промышленности. По производным характеристикам уступает смазке Фиол-2М. Работоспособна при температуре -40...+120°C.

Герметин. Область применения; герметизация пробковых кранов бытовой газовой аппаратуры. Водостойкая, антифрикционная, многоцелевая. Работоспособна при температуре -40...+130°C.

Термостойкие смазки

В некоторых узлах трения температуры достигают 200 - 350°C и выше. Для таких условий выпускаются (в небольших количествах) термостойкие смазки, из которых наиболее перспективными и распространенными являются ЦИАТИМ-221, ВНИИНП-207, ВНИИНП-231, ВНИИНП-246.

ЦИАТИМ – 221. Пластичная смазка представляет собой синтетическое масло, загущенное комплексным кальциевым мылом с добавлением антиокислительной присадки. Предназначена для смазывания подшипников качения электромашин, систем управления и приборов с частотой вращения до 10 000 об/мин, агрегатных подшипников летательных аппаратов, узлов трения и сопряженных поверхностей металл-металл и металл-резина, работающих при температуре от -60 до 150°C.

Р – 402. Область применения; герметизация резьбовых соединений обсадных и насосно- компрессорных труб, подвергаемых не многократному или однократному свинчиванию (Тр= -50...+200°C).

Резьбол марки Б. Обеспечивает герметичность и многократность свинчивания и развинчивания деталей колонн, легкость соединения и разъединения часто свинчиваемых и развинчиваемых труб, составляющих буровую колонну, при роторном или ударном бурении нефтяных скважин. Применима для утяжеленных бурильных труб (У Б Т) и замковых соединений бурильных колонн. Обеспечивает гарантированную герметичность резьбовых соединений при давлениях до 30 МПа. (Тр= -50...+200°C).

Униол-2М/1. Область применения; узлы трения промышленного оборудования, горячих конвейеров, горнодобывающего оборудования, автотракторной, сельскохозяйственной техники, городского электротранспорта, керамического производства. (Тр= -40... +160°C).

ВНИИМП-207, ВНИИМП-219. Область применения; подшипники качения электрических машин и стартер - генераторов с частотой вращения до 10000 мин-1 (Тр= -60...+200°C).

ВНИИМП-210. Область применения; тяжело нагруженные тихоходные подшипники качения и скольжения с качательным движением поверхностей трения при малых углах качения. Работоспособна при остаточном давлении 666,5 Па и температуре -20... +250°C.

ВНИИМП-231. Область применения; закрытые червячно-винтовые механизмы, тихоходные подшипники качения и скольжения, резьбовые соединения. По свойствам занимает промежуточное положение между смазками и полутекучими пастами. Морозостойкая. Работоспособна при остаточном давлении 666,5 Па и температуре -60... +250°C.

ВНИИМП-233. Область применения; подшипники качения и скольжения с качательным движением, сопряженные поверхности "металл-резина" (Тр= -30...+250°C).

ВНИИМП-235. Область применения; подшипники качения. Работоспособна при остаточном давлении 666,5 Па и температуре -60... +250°C.

ВНИИМП-246. Область применения; подшипники качения и маломощные зубчатые передачи. Высокая термическая стабильность низкая испаряемость, хорошие противозадирные характеристики и морозостойкость. Работоспособна в вакууме до 1,3·10⁻⁴ Па и при температуре -60... +250°C.

Графитол. Область применения; высокотемпературные узлы трения, преимущественно скольжения; горячие вентиляторы, петли и замки дверей сушильных камер и других промышленных механизмов (Тр= -25...+160°C).

Аэрол. Область применения; подшипники тяговых цепей конвейеров в сушильных камерах, узлов трения раздаточных печей чугунолитейного и других механизмов, работающих при повышенных температурах и нагрузках (Тр= -25...+160°C).

Силикол. Область применения; малонагруженные подшипники качения горячих вентиляторов печей цементации и других промышленных механизмов. Низкая испаряемость и удовлетворительная водостойкость. Морозостойкость (Тр= -50...+160°C).

Поликол. Область применения; подшипники качения тяжело нагруженных узлов трения. Беззольная, высокая термическая, механическая стабильности и хорошая водостойкость (Тр= -50...+180°C).

БНЗ-4. Область применения; узлы трения, соприкасающиеся с парами воды и агрессивных веществ, вертикальные и наклонные узлы трения промышленных машин, подшипники конвейеров сушильных камер на машиностроительных заводах. Устойчива в присутствии паров воды и агрессивных сред (Тр= -40...+160°C).

ПФМС-4С. Область применения; авиационные узлы трения, тихоходные подшипники качения, винтовые шариковые передачи, резьбы. Работоспособна при Тр.-30...+300°C кратковременно до +400°C.

Морозостойкие смазки

При более низких температурах и в маломощных механизмах следует закладывать низкотемпературные антифрикционные смазки (ЦИАТИМ-201) или многоцелевые антифрикционные смазки. Эти смазки предназначены для механизмов, работающих при низких температурах (до - 60°C). Выпускается более 10 марок морозостойких смазок, из которых наибольшее распространение получили ЦИАТИМ-201, Лита, Зимол,МС-70, МУС-3А.

ЦИАТИМ-203. Область применения; зубчатые, червячные передачи редукторов, опоры скольжения и подшипники качения; различные силовые приводы, винтовые пары, нагруженные редукторы, механизмы, эксплуатируемые на открытых площадках, узлы трения автомобилей. Превосходит ЦИАТИМ-201 (Тр.-50...+100°C).

ГОИ-54п. Область применения; малонагруженные узлы трения, в том числе механизмы артиллерийских орудий, консервация механизмов и приборов. Не изменяет свойств при хранении в течение 10 лет. Защищает металлические изделия от коррозии до 5 лет. (Тр.-40...+50°C).

Лита. Область применения; узлы трения машин и механизмов, эксплуатируемых под открытым небом, механизмы переносного инструмента с электрическим или механическим приводом. Высокая водостойкость, хорошие консервационные свойства, низкая механическая стабильность (Тр.-50...+100°C).

Зимол. Область применения; узлы трения любых типов транспортных средств и инженерной техники, эксплуатируемых в районах с особо холодным климатом. Всесезонная (Тр.-50...+130°C).

Химически стойкие смазки

ЦИАТИМ-205. Область применения; резьбовые и контактные соединения и уплотнения, работающие в агрессивных средах. Устойчива к воздействию концентрированных неорганических кислот, щелочей, аминов, гидразинов. Высокая водостойкость и защитные свойства. (Тр.-60...+50°C).

ВНИИ НП-279. Подшипники качения и скольжения, резьбовые соединения, разъемы, клапаны и другие детали, работающие на воздухе и в агрессивных средах. Работоспособна на воздухе при температуре -50...+150°C, в агрессивных средах при температуре -50...+50°C.

ВНИИ НП-280 (Тр.-60...+150°C), ВНИИ НП-282 (Тр.-45...+150°C). Область применения; подшипники качения, резьбовые соединения, шпиндели, подвижные резиновые уплотнения, работающие в агрессивных средах, в том числе в газообразном кислороде.

ВНИИ НП-294, ВНИИ НП-295. Область применения; сопряженные поверхности "металл-металл" и "металл-резины" в среде спиртов, глицерина, уксусной кислоты, аминов и гидразинов. Работоспособна на воздухе при температуре -60...+150°C, в агрессивных средах -60...+50°C.

ВНИИ НП-298. Область применения; стеклянные и металлические подвижные соединения, работающие в вакуумных установках, термохимическая обработка металлов в агрессивных средах. Высокие адгезия и термостойкость, низкая испаряемость, хорошая влагостойкость и морозостойкость. Работоспособность в вакууме до 1,3·10⁻⁵ Па и при температуре -60...+250°C.

Криогель. Область применения; узлы трения арматуры, работающей в контакте с кислородом и другими газами, находящимися в жидком состоянии, а также работающей в парообразных агрессивных средах. Работоспособна в резьбовых и других неподвижных соединениях при температуре -200...+200°C, в узлах трения скольжения при температуре -60...+200°C.

Редукторные смазки (полужидкие)

ЦИАТИМ-208. Область применения; тяжело нагруженные редукторы червячные и зубчатые передачи гусеничной техники. Водостойкая (Тр.-40...+70°C).

Шахтол У, Шахтол-К. Область применения; зубчатые редукторы угледобывающих комбайнов. Высокая водостойкость, хорошие противоизносные и противозадирные свойства, удовлетворительная механическая стабильность (Тр.-40...+70°C).

СТП-Л, СТП-З. Область применения; зубчатые передачи тяговых редукторов тепловозов. СТП-Л-летняя (Тр.-5...+50°C); СТП-З-зимняя (Тр.-50...+50°C).

ОЗП-1. Область применения; открытые зубчатые передачи мощных приводов вращающихся печей, кузнечно-прессового оборудования. Высокие адгезионные, консервационные свойства и водостойкость (Тр.-5...+70°C).

Трансол-100, Трансол-200. Область применения; червячные редукторы и мотор-редукторы, работающие с максимальными удельными нагрузками в зацеплении (Тр.-30...+130°C).

Трансол-РОМ. Область применения; легко- и средненагруженные редукторы металлургического и другого промышленного оборудования. Работоспособна при температуре -30...+90°C, кратковременно до +110°C.

Редуктол М, Редуктол. Область применения; высоконагруженные редукторы промышленного (в том числе металлургического) оборудования, зубчатые зацепления тяговых редукторов локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава. Работоспособна при температуре -40...+150°C и контактной нагрузке в зубчатом зацеплении до 2,5 ГПа.

СКП-М. Область применения; средненагруженные зубчатые (цилиндрические и конические) редукторы с картерной системой смазки (Тр.-30...+100°C).

ЛЗ-ПЖЛ-00. Область применения; шарнир равных угловых скоростей промежуточного вала автомобиля ВАЗ-21213 (Тр.-40...+120°C).

Прирабочные пасты

ВНИИ НП-225. Область применения; подвижные и неподвижные резьбовые соединения, тяжело нагруженные тихоходные узлы трения. Работоспособна при температуре -60...+250°C (алюминиевые сплавы), -60...+350°C (легированные стали), -40...+300°C (малооборотные узлы трения).

ВНИИ НП-232, Лимол. Облегчение сборки, приработка и смазывание подшипников скольжения, шарниров зубчатых и винтовых передач, тяжело нагруженных тихоходных узлов трения, резьбовых соединений. Противозадирная. Работоспособна при температуре -50...+300°C.

Узкоспециализированные (отраслевые) смазки

Смазки для электрических машин

ВНИИ НП-242. Область применения; подшипники качения судовых электрических машин горизонтального использования. Работоспособна при температуре -30...+110°C и влажности до 98%.

ЛДС-1. Область применения; закрытые подшипники качения электродвигателей серии 4А, работающие при высоких средних нагрузках (Тр.-50...+120°C).

ЛДС-3. Область применения; закрытые подшипники качения узлов трения электродвигателей серии А1 малошумного исполнения. Снижает шум при работе электромашин (Тр.-50...+120°C).

ЭШ-176. Область применения; подшипники электрических машин горизонтального и вертикального исполнения, подшипники машин в целлюлозно-бумажной промышленности (Тр.-25...+100°C).

СВЭМ. Область применения; подшипники качения мощных судовых электрических машин. Высокие механическая, термическая и антиокислительная стабильности, хорошая морозостойкость и низкая испаряемость. Вызывает набухание резин и оказывает вредное воздействие на окраску металлических деталей (Тр.-50...+120°C).

Автомобильные смазки

ШРУС-4. Область применения; шарниры равных угловых скоростей полноприводных автомобилей и другие узлы трения. Низкая испаряемость (Тр.-40...+120°C).

Фиол-2У. Область применения; игольчатые подшипники крестовин карданного вала автомобилей и другой наземной техники. Высокие антиокислительная, механическая и коллоидная стабильности, хорошие противоизносные и противозадирные характеристики, водостойкая (Тр.-40...+120°C).

№ 158. Область применения; подшипники качения автотракторного оборудования, игольчатые подшипники карданных шарниров непостоянной угловой скорости (Тр.-30...+110°C).

ЛЗ-31, ЛЗ-62. Область применения; подшипники качения закрытого типа на весь срок службы. Хорошие антиокислительная стабильность и антикоррозионные свойства, низкая испаряемость, высокие противоизносные свойства, при контакте с водой дисперсионная среда гидролизует (Тр.-40...+120°C).

Железнодорожные смазки

ЖРО. Область применения; подшипники качения букс железнодорожных локомотивов, подшипники тяговых электродвигателей. Высокие водостойкость и противозадирные характеристики, обеспечивает без замены и пополнения 400000 км пробега электровозов и тепловозов. Работоспособна при температуре -40...+120°C.

Кулисная ЖК. Область применения; гнезда трения кулисного механизма, соединения рессорного подвешивания. Невысокая водостойкость, хорошие адгезионные свойства. (Тр.-30...+80°C).

ЖТ-72. Область применения; тормоза локомотивов при трении резины по металлу. Морозостойкая; не вызывает набухания резиновых уплотнений автотормозных приборов (Тр.-60...+120°C).

ЖР. Область применения; уменьшение бокового износа рельс на кривых участках пути и гребней бандажей колесных пар. Растворима в воде, низкая коллоидная стабильность (Тр.-30...+80°C).

Морские смазки

АМС-1, АМС-3. Область применения; предотвращение коррозии механизмов кораблей, подводных лодок, гидросамолетов. Работоспособны при температуре -15...+65°C (АМС-1), 0...+75°C (АМС-3).

МС-70. Область применения; подшипники качения и скольжения, непосредственно соприкасающиеся с морской водой. Высокие водостойкость, консервационные свойства и морозостойкость; обеспечивает периодическую работу механизмов в течение 10 лет. Работоспособна при температуре -45...+65°C, в мощных механизмах - от -50°C.

МУС-3А. Область применения; высоконагруженные узлы трения, работающие в контакте с морской водой. Морозостойкая (Тр.-50...+65°C).

МЗ. Область применения; узлы трения, работающие в контакте с морской водой. Хорошая коллоидная и удовлетворительная механическая стабильности; морозостойкая, рабоче-консервационная (Тр.-50...+80°C).

Авиационные смазки

Эра. Область применения; подшипники качения и скольжения, зубчатые передачи систем управления самолетов (Тр.-60...+120°C).

АТЛАНТА. Область применения; узлы трения скольжения, работающие при высоких знакопеременных нагрузках, игольчатые и винтовые механизмы. Морозостойкая, водостойкость; работоспособна при остаточном давлении 666,5 Па и при температуре -60...+150°C.

Сапфир. (ВНИИ НП-261) Область применения; конические роликовые подшипники ступиц колес шасси летательных аппаратов. Высокие термостойкость, механическая и антиокислительная стабильности (Тр.-40...+150°C, кратковременно до +200 °C).

СЭДА. Область применения; скоростные агрегатные слабонагруженные подшипники некоторых самолетов. Хорошие смазывающие и низкотемпературные свойства, низкая испаряемость, удовлетворительная водостойкость, вызывает набухание резины на основе нитрильных и силиконовых каучуков (Тр.-60...+120°C).

Свинцоль 01. Тяжелонагруженные Область применения; узлы трения некоторых самолетов и вертолетов. Нерастворима в воде, токсичная (Тр.-60...+90°C).

НК-50. Область применения; подшипники ступиц шасси самолетов. Низкие водо- и морозостойкость (Тр.-15...+120°C).

№9. Область применения; специфические узлы трения. Морозостойкая, консервационные свойства и водостойкость удовлетворительные антиокислительная и коллоидная стабильности низкие (Тр.-60...+80°C).

Индустриальные смазки

Униол-2М/2. Область применения; узлы трения металлургического и горнообогатительного оборудования с системами централизованной подачи смазки. Высокая термостойкость, хорошие противозадирные характеристики и прокачиваемость, влагупрочняется при хранении (Тр.-30...+160°C).

ИП-1 (Л, З). Область применения; подшипники металлургического оборудования с централизованной подачей смазки. Работоспособна при температуре 0...+70°C (Л) и -10...+70°C (З).

ЛКС-2. Область применения; подшипниковые узлы главных шпинделей металлорежущих станков, оснащенных шариковыми и роликовыми подшипниками (Тр.-40...+150°C).

ЛКС- металлургическая. Область применения; применяется в подшипниках качения металлургического оборудования. Работоспособна при температуре -30...+150°C, кратковременно до +170°C.

Прессол М. Область применения; для смазывания узлов трения кузнечно-прессового и другого средне- и тяжело нагруженного промышленного оборудования с централизованной системой подачи смазки (Тр.-20...+120°C).

Сиол. Область применения: скоростные подшипники электроверетен и нажимных валков прядильных машин, работающие при частотах до 16000 мин⁻¹ Высокие термо- и водостойкость; удовлетворительные консервационные свойства. Работоспособна при температуре -20...+120°C.

ВНИИ НП -273. Область применения; подшипники качения и скольжения, шариковинтовые передачи, реечные и винтовые приводы, резьбовые соединения, работающие в условиях воздействия радиации. Работоспособна при температуре -20...+120°C.

Ротационная ИР. Применяется в узлах трения ротационных машин. Работоспособна при температуре -15...+65°C.

Термолита. Область применения; подшипники букс чугуновозов, шлаковозов, стелевозов, подшипники агломашин и других узлов металлургического оборудования, работающих в условиях экстремальных температур. По реологическим свойствам занимает промежуточное положение между смазками и пастами. (Тр.0...+500°C).

Омметсупертерма-2. Омметсупертерма Применяется в подшипниках качения металлургического и другого промышленного оборудования. Стойкая к действию воды и водяного пара. Сохраняет работоспособность при температуре -20...+180°C, кратковременно до +200°C. Применяется как закладная.

Буровые смазки

Долотол Н. Область применения; шарошечные долота с негерметизированными опорами качения и скольжения. Высокие механическая, коллоидная и антиокислительная стабильности, водостойкость, противозадирные и консервационные характеристики. Работоспособна при температуре -20...+130°C.

Долотол АУ. Область применения; шарошечные долота с герметизированной опорой скольжения (Тр -30...+220°C).

Долотол НУ. Область применения; шарошечные долота с герметизированными опорами качения и скольжения (Тр -30...+110°C).

Геол-1. Область применения; нанесение на поверхность бурильных труб и керноприемных устройстве для высокооборотного геологоразведочного бурения. Водостойкая, консервационная и противозадирная (Тр -10...+60°C).

Пластол. Область применения; шарошечные долота высокооборотных бурильных механизмов с негерметизированными опорами качения и скольжения. Высокие механическая, коллоидная и антиокислительная стабильности, водостойкость, трибо - технические и консервационные характеристики. Работоспособна при температуре -20...+130°C.

Электроконтактные смазки

ВНИИ НП-248. Область применения; скользящие электрические контакты проволочных резисторов. Мягкая консистенция высокое удельное сопротивление, хорошие морозо-, термо- и водостойкости (Тр -60...+200°C).

ВНИИ НП-502. Область применения; слаботочные электрические контакты модульных переключателей. Электроконтактная, высокие водостойкость, адгезия, механическая стабильность и консервационные свойства. (Тр -40...+100°C).

Электра-1. Область применения; скользящие контакты типа "кольцо-щетка" коллекторного узла вращающихся трансформаторов. Высокая термическая стабильность, хорошие противоизносные характеристики и водостойкость, большой срок службы при переходном сопротивлении менее 0,1 Ом (Тр -40...+120°C).

Консервационные (защитные) смазки

Пушечная (ПВК). Область применения; защита от коррозии металлических изделий, предотвращение ржавления изделий из черных и цветных металлов, консервация металлических изделий и механизмов. Высокие адгезионные и консервационные свойства, водостойкость, удерживается на наклонных и вертикальных поверхностях. (Тр -50...+50°C).

ВНИИСТ-2. Область применения; изоляция наземных трубопроводов. Полужидкая, морозостойкая (Тр -60...+40°C).

ВТВ-1. Область применения; предотвращение окисления клемм аккумуляторов автомобилей, консервация металлических изделий и наружных поверхностей механизмов при транспортировании или длительном хранении. Высокие водостойкость, адгезионные и консервационные свойства, хорошая морозостойкость (Тр -40...+45°C).

ВТВ-1, аэрозольная упаковка. Область применения; консервация неокрашенных и декоративных металлических поверхностей, клемм аккумуляторов, замков автомобилей. (Тр -40...+50°C).

ЗЭС. Область применения; защита от коррозии грозозащитных тросов и арматуры высоковольтных линий электропередач, машин механизмов, хранящихся и эксплуатируемых на открытом воздухе. (Тр до +80°C).

ПН. Область применения; смазывание малокалиберных спортивных патронов (Тр -30...+50°C).

Канатные смазки и пропиточные составы

Канатная 39У. Область применения; рудничные и буровые канаты, тросы, подъемно-транспортные машины. Хорошие водостойкость, адгезия к металлу, консервационные свойства. (Тр -25...+50°C).

БОЗ-1. Область применения; стальные канаты при их изготовлении. Хорошие адгезия к металлу, водостойкость и консервационные свойства (Тр -20...+50°C).

Торсиол-35Э. Область применения; смазывание стальных канатов различного назначения при их эксплуатации. Водо- и морозостойкая (Тр -35...+50°C).

Ваерол. Область применения; стальные канаты промысловых и грузоподъемных устройств морских судов при их изготовлении. Высокие адгезия к металлам, водостойкость, защитные свойства и антифрикционные характеристики (Тр -30...+50°C).

Канатол. Область применения; стальные канаты в процессе их изготовления. Защищает от изнашивания и коррозии (Тр -35...+50°C).

Е-86. Область применения; пропитка органических сердечников стальных канатов общего назначения. Высокие адгезионные, консервационные и антифрикционные характеристики, водостойкость (Тр -35...+50°C).

ЛЗ-Е-91. Область применения; пропитка органических сердечников стальных канатов; смазывание контактирующих с сердечником проволок канатов (Тр -35...+50°C).

Уплотнительные (резьбовые) смазки

Р-2. Область применения; резьбовые соединения обсадных и насосно - компрессорных труб буровых скважин. Хорошие водо- и морозостойкость (Тр -30...+50°C).

Р-402. Область применения; резьбы обсадных труб газоконденсатных скважин и насосно-компрессорных труб любого диаметра. Водостойкая, токсичная (Тр -50...+200°C).

ВНИИ НП-291. Область применения; герметизация кранов, находящихся в системах подачи хозяйственно-питьевой воды. Хорошие водостойкость и коллоидная стабильность, нерастворима в нефтепродуктах (Тр -50...+200°C).

Замазка вакуумная. Область применения; уплотнение разборных, но неподвижных соединений вакуумных установок. Водостойкая (Тр -10...+40°C).

ЛЗ-162. Область применения; прямооточные задвижки и пробковые краны фонтанирующих нефтяных и газовых скважин при давлении в забое до 100 Мпа. Растворима в углеводородах и не растворима в воде (Тр -25...+130°C).

Насосная. Область применения; сальниковые уплотнения нефтяных и грязевых насосов высокого давления буровых установок. Водостойкая, нерастворима в углеводородах, спиртах, глицерине и т.п. (Тр -20...+120°C).

Кранол. Область применения; арматура газовых магистралей, газораспределительных и компрессорных станций при давлении до 7,5 Мпа.

Арматол -238. Область применения; герметизация запорных устройств устьевого нефтепромыслового оборудования нефтяных и газовых месторождений. Мало растворима в жидких и газообразных углеводородах, частично растворяется в бензине (Тр -50...+120°C).

Клеи и клеящие вещества

Промышленные клеящие вещества можно разделить на следующие группы:

- **Эпоксидные клеи с металлическими наполнителями (Metal-Filled Epoxies).**

Применение: склеивание, уплотнение, закупорка отверстий, герметизация, ремонтные работы, восстановление изношенных поверхностей до первоначальных размеров. Эти клеи представляют собой обычные эпоксидные клеи с добавкой наполнителей в виде металлической пудры. Металлы, которые используются в качестве наполнителей: серебро, алюминий, нержавеющая сталь. Эти клеи склеивают железо, алюминий, латунь, керамику, стекло и некоторые пластмассы. Они затвердевают и достигают максимальной прочности сравнительно медленно, но после этого они могут подвергаться обработке резанием. Эти клеи стойкие к коррозии, химически- и водостойкие и выдерживают повышенные температуры. Некоторые сорта этих клеев являются электропроводящими.

- Эпоксидные клеи (Epoxyes).

Применение: склеивание, заполнение полостей между поверхностями, ламинирование, заливка компаундами узлов электронной техники. Эпоксидные клеи обеспечивают высококачественное склеивание металлов, резины, уретана, фибerglassа, дерева, стекла, керамики и некоторых пластиков. Время для затвердевания и достижения максимальной прочности варьируется от нескольких минут до нескольких часов. Эпоксидные клеи стойкие к ударам, химикалиям и повышенным температурам. Эпоксидные клеи бывают одно- и двухкомпонентные. Двухкомпонентные клеи требуют смешивания, при этом сразу начинается процесс отвердевания и поэтому двухкомпонентная смесь должна использоваться немедленно после приготовления.

- Акриловые клеи (Acrylics).

Применение: склеивание. Эти клеи начинают затвердевать в течение нескольких минут (при использовании активаторов – в течение нескольких секунд) и обеспечивают высокопрочное склеивание. Они высокоэффективны при склеивании пластиков и при приклеивании резины и пластиков к металлам. Они также используются для заполнения полостей между поверхностями, но с меньшим эффектом, чем эпоксидные клеи. Акриловые клеи менее чувствительны к влаге, загрязнению и к качеству подготовки поверхностей, чем суперклеи. Двухкомпонентные акриловые клеи требуют смешивания. Двухступенчатые акриловые клеи не требуют смешивания, они используются с применением жидких активаторов, которые наносятся на подготовленные поверхности перед нанесением клея.

- Уретановые клеи (Urethanes).

Применение: склеивание. Уретановые клеи образуют более гибкое клеевое соединение, чем эпоксидные и акриловые клеи, и часто используются для склеивания пленок, фольги и эластомеров. Они хорошо подходят для склеивания металлов, резины, ПВХ, поликарбоната и особенно для дерева. Время затвердевания варьируется от нескольких минут до 48 часов.

- Быстродействующие клеи (Super Glues).

Применение: склеивание хорошо прилегающих поверхностей, которые не подвергаются воздействию погоды. Они применяются для склеивания различных материалов, включая резину, пластмассы и металлы; не рекомендуются для склеивания стекла. Эти однокомпонентные цианакриловые клеи очень быстро затвердевают. Они не подходят для заполнения полостей между поверхностями и обладают плохим сопротивлением влаге, химикалиям, ударам и повышенной температуре. На склеенных стыках иногда образуются белые остаточные пятна.

- Анаэробные клеи (Anaerobics).

Применение: фиксация резьбовых соединений, уплотнительных деталей и прокладок, фиксация подшипников, склеивание и фиксация цилиндрических соединений. Анаэробные клеи достигают расчетной прочности при сцеплении с металлами в отсутствие воздуха (так происходит в резьбовых соединениях «болт-гайка»). Склеивание может быть постоянным или временным, в зависимости от необходимости. Анаэробные клеи обладают высокой стойкостью к погодным условиям, к воде и химикалиям, выдерживают температуры до 200 °С. Они быстро достигают расчетной прочности при комнатной температуре. В комбинации с другими материалами анаэробные клеи могут использоваться как уплотнители трубной резьбы. Наиболее известна серия клеев фирмы «Loctite» для фиксации резьбы и подшипников. Анаэробные клеи редко используются для заполнения полостей между поверхностями.

- Силиконовые клеи (Silicones).

Применение: склеивание малой прочности, уплотнение, заполнение полостей между поверхностями, капсулирование изделий в корпусах, создание прокладок. В основном силиконовые клеи представляют собой однокомпонентную жидкую резину, которая вулканизируется при комнатной температуре и сохраняет резиновые свойства почти при любых условиях. Силиконовые клеи достигают расчетной прочности через 24 ± 72 часа при выдерживании на воздухе. Силиконовые клеи сцепляются с твердыми и гибкими поверхностями различных материалов, включая металлы, стекло, фибerglass, резину, пластмассы, керамику, дерево, холст, цемент. Силиконовые клеи обладают высокой стойкостью к химикалиям, озону, ультрафиолетовому излучению, плохим погодным условиям. Диапазон рабочих температур от -50 °С до +230 °С. Изделия, скрепленные силиконовыми клеями, могут работать в вертикальном положении и при закреплении на потолке.

- Строительные клеи (Construction Adhesives).

Применение в строительных работах: закрепление панелей, сухой штукатурки, плит тепловой и акустической изоляции, мягкое покрытие полов. Строительные клеи представляют собой раствор натурального или синтетического каучука в воде или другом растворителе. Эти клеи быстро затвердевают и

сохраняют гибкость в сухом состоянии. Строительные клеи прекрасно подходят для заполнения полостей между поверхностями.

- Контактные клеи (Contact Cements).

Применение: склеивание и ламинирование. Эти клеи изготовлены на основе синтетического каучука (обычно, неопрен), растворенного в воде. Клей наносится на соединяемые поверхности и выдерживается на воздухе до высыхания; затем поверхности соединяются друг с другом и сжимаются под нагрузкой, образуя постоянное клеевое соединение.

- Клей-расплав, термоклей (Hot Melts).

Применение: склеивание, уплотнение, заполнение полых полостей, законопачивание щелей, подклеивание изделий перед расклепыванием или при других сборочных работах. Этот клей представляет собой термопластичный материал, который расплавляется при нагреве и затвердевает при охлаждении. Он хорошо сцепляется с различными материалами, в особенности с пористыми материалами, такими как дерево, бумага и кожа. Термоклей прекрасно подходит для быстро твердеющих соединений невысокой прочности и для заполнения полых полостей. Этот клей имеет низкую стойкость к растворителям и малую температурную стойкость. Термоклей наносится на поверхности с помощью специальных разбрызгивающих пистолетов.

Другие материалы

Картон прокладочный служит для изготовления уплотняющих прокладок во фланцевых и других соединениях. Прессшпан представляет сильно уплотненный лощеный картон. Он применяется для изготовления прокладок повышенной плотности (по сравнению с картонными прокладками).

Паронит представляет собой листовую прокладочный материал, изготовленный из асбеста, каучука и наполнителей. Его применяют в виде прокладок для уплотнения мест соединений металлических поверхностей, подвергающихся воздействию воды, насыщенного перегретого пара, воздуха, инертных газов, бензина, керосина и масла.

Асбест применяют для изготовления тормозных лент, фрикционных колец, фильтров, в качестве термоизоляционного материала, а также для прокладок, уплотнения сальников и т. п. Кольца фрикционные асбестовые представляют собой пропитанную и прокаленную многослойную ткань, изготовленную из асбестовой нити с включением латунной или красномедной проволоки (диаметром не менее 0,16 мм); кольца применяют в качестве накладок тормозных механизмов. Войлок технический тонкошерстный (фетр), полугрубошерстный и грубошерстный применяют для сальников, прокладок и фильтров.

Покрытия

Общие сведения

Покрытия наносят на изделия из различных материалов для защиты от коррозии, придания изделиям декоративного вида, создания специальных поверхностных свойств (электро- и теплопроводности, электроизоляционных, магнитных и немагнитных свойств, светоотражающей или светопоглощающей способности и т.д.).

При выборе покрытий необходимо учитывать их назначение, условия эксплуатации, материал детали, свойства и характеристику покрытий, способ нанесения покрытий, допустимость и недопустимость контактов сопрягаемых материалов.

Покрытия могут быть металлическими, неметаллическими неорганическими (оксидными, фосфатными, фторидными и др.), пластмассовыми, резиновыми, лакокрасочными, пиролитическими (пирографит), керамическими (оксид циркония ZrO_2 , карбид кремния SiC , дисилицид молибдена $MoSi_2$).

Условия эксплуатации металлических и неметаллических неорганических покрытий делят на **группы**:

- легкие условия **Л** - группа 1;
- средние **С** - группы 2-4;
- жесткие **Ж** - группы 5, 6;
- очень жесткие **ОЖ** - группы 7, 8.

Характеристики условий эксплуатации приведены в ГОСТ 15150-69.

Коррозия металлов

Атмосферная коррозия - наиболее распространенный вид коррозионного разрушения металлов в результате химического или электрохимического воздействия внешней среды.

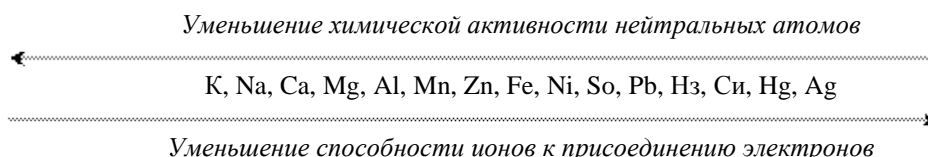
Все твердые тела адсорбируют на своей поверхности влагу из воздуха; поверхности этих тел покрыты тонкой пленкой влаги. В воде растворяются в большей или меньшей степени практически все неорганические и органические соединения, а также газы.

Оценку возможности протекания коррозии ведут по величине стандартного электродного потенциала (по водородной шкале). Элементы, расположенные в электрохимическом ряду потенциалов **слева** от водорода, подвергаются процессу **окисления**, справа - процессу **восстановления**.

Ионы металлов, стоящих в ряду слева от водорода, разряжаются труднее, чем ионы водорода, в зависимости от места положения.

Ионы металлов, стоящих в ряду справа от водорода, разряжаются труднее, чем ионы водорода, в зависимости от места положения.

Коррозия металлов, стоящих в ряду потенциалов слева от водорода, сводится к вытеснению ионов водорода из раствора и переходу ионов металла в раствор.



Характеристика атмосфер, агрессивных по отношению к металлическим покрытиям, и условия эксплуатации изделий приведены в таблице 9.

Таблица 9. Характеристики условий эксплуатации изделий с металлическими покрытиями

Содержание коррозионно-активных агентов в атмосфере	Условия размещения изделий	Условия эксплуатации и хранения для климатического района			
		умеренного	холодного	тропического	
				сухого	влажного
Сернистый газ до 0,025 мг/м ³ . Хлористые соли до 0,3 мг/(м ² /сут). Атмосфера условно-чистая (вдали от промышленных объектов)	Открытый воздух	С	С	С	Ж
	Под навесом	С	С	С	Ж
	Закрытое помещение	С	С	Л	Л
	Помещение с регулируемым климатом	Л	Л	Л	Л
Сернистый газ до 0,025-0,31 мг/м ³ . Хлористые соли до 0,3 мг/(м ² /сут). Промышленная атмосфера	Открытый воздух	Ж	Ж	С	ОЖ
	Под навесом	Ж	Ж	С	ОЖ
	Закрытое помещение	С	С	С	Ж
	Помещение с регулируемым климатом	Л	Л	Л	С
Сернистый газ до 0,025 мг/м ³ . Хлористые соли до 30-300 мг/(м ² /сут). Морская атмосфера	Открытый воздух	ОЖ	Ж	-	ОЖ
	Под навесом	ОЖ	Ж	-	ОЖ
	Закрытое помещение	Ж	Ж	-	Ж
	Помещение с регулируемым климатом	С	С	-	С

Способами защиты поверхностей от коррозии являются:

- покрытие поверхностей пассивирующими (защитными) пленками,
- покрытие одного металла другим,
- покрытие поверхностей красками, лаками.

Для большинства металлов пассивирующими агентами, способствующими возникновению на поверхности защитной пленки, являются сильные окислители O₂, H₂O₂, CrO₄²⁻, Cr₂O₇²⁻, MnO₄²⁻ (для железа пассивирующим агентом служат ионы OH⁻: Fe²⁺+2OH=Fe(OH)₂).

Активные металлы становятся пассивными после обработки концентрированной азотной кислотой HNO₃ (тончайшая пленка оксида препятствует дальнейшему окислению).

Вещества, разрушающие или ослабляющие защитную пленку металла и способствующие коррозии, называются активизирующими агентами, или активаторами. Наиболее сильные активаторы - ионы Cl⁻ и H⁺.

Гальванические покрытия

В зависимости от характера защиты основного металла различают анодное и катодное покрытия.

При нанесении **анодного покрытия** растворяется металл покрытия, а при нанесении **катодного покрытия** - основной металл.

В первом случае защищающий металл стоит в ряду потенциалов левее защищаемого, а во втором - защищающий металл стоит в ряду потенциалов правее защищаемого.

Катодными покрытиями являются также покрытия из Cu, Ni, Cr, Pb и благородных металлов.

Покрытия классифицируют по способу их нанесения, материалу, физико-механическим и декоративным свойствам (см. таблицы 10-16).

Таблица 10. Обозначения отдельных способов нанесения покрытий (ГОСТ 9.306-85)

Способ нанесения покрытия	Обозначение	Способ нанесения покрытия	Обозначение
Катодное восстановление	-	Контактно-механический	Км
Химический	Хим	Конденсационный	Кон
Анодное окисление	Ан	Контактный	Кт
Горячий	Гор	Вжигание	Вж
Диффузионный	Диф	Катодное распыление	Кр
Термическое напыление	По ГОСТ 9.307-84	Эмалирование	Эм
Термическое разложение	Тр	Плакирование	Пк

Таблица 11. Обозначения металлических покрытий

Способ нанесения покрытия	Обозначение*	Способ нанесения покрытия	Обозначение*
Железо	Ж	Олово-свинец	О-С
Золото	Зл	Олово-цинк	О-Ц
Золото-серебро	Зл-Ср	Олово-никель	О-Н
Кадмий	Кд	Серебро	Ср
Кобальт	Ко	Хром	Х
Медь	М	Цинк	Ц
Медь-олово	М-О	Свинец	С
Медь-цинк**	М-Ц	Титан	Ти
Медь-олово-цинк*	М-О-Ц	Никель-вольфрам	Н-В
Никель	Н	Цинк-никель	Ц-Н
Олово	О	Оксиды****	Окс
Олово-висмут	О-Ви	Фосфаты****	Фос

* В обозначение покрытий, состоящих из сплава, включается максимальное содержание (в %) первого или второго компонентов сплава (в случае трехкомпонентного сплава).
 Например, *медно-оловянно-свинцовое покрытие с массовой долей меди (70-78) %, олова 10-18% и свинца 4-20% обозначают М-О-С (78; 18).*

** **М-Ц (60)** – массовая доля меди 50-60%, цинка – (40-50) %.

*** Обозначение материалов покрытий сплавами из четырех и более компонентов указывают в технической документации в соответствии с ГОСТ 9.306-85.

**** Неметаллическое неорганическое покрытие

Таблица 12. Обозначения функциональных свойств покрытий

Свойство покрытия	Обозначение
Твердое	ТВ
Электропроводное	Э
Электроизоляционное	ЭИЗ

Таблица 13. Обозначение отдельных видов дополнительной обработки покрытий

Вид дополнительной обработки покрытия	Обозначение	Вид дополнительной обработки покрытия	Обозначение
Фосфатирование	фос	Гидрофобизирование	гфх
Хроматирование	хр	Пропитка маслом	прм
Оксидирование	окс	Наполнение в воде	нв
Оплавление	опл	Нанесение лакокрасочного покрытия	лкп
Пропитка (лаком, клеем, эмульсией и др.)	прп		

Лакокрасочные покрытия

Лакокрасочные материалы способны при нанесении тонким слоем на поверхность изделий высыхать с образованием тонкой пленки, удерживаемой силами адгезии.

Масляные краски, приготовленные на масле и олифе в пастообразном виде (густотертые), образуют покрытия со слабым глянецом.

Эмалевые краски на лаке образуют покрытия, отличающиеся атмосферостойкостью, хорошим блеском и повышенной твердостью.

Лакокрасочные покрытия классифицируют (ГОСТ 9.032-74) по наименованию материала покрытия, внешнему виду поверхности покрытия (класс покрытия) и по условиям эксплуатации (см. таблицы 16, 17, 20).

Обозначение лакокрасочных материалов

Обозначение красок, эмалей, грунтовок и шпатлевок (ГОСТ 9825-73) состоит из пяти групп знаков, а лаков - из четырех:

1) **наименование материала** - лак, краска, эмаль, грунтовка или шпатлевка;

2) **химический состав** (род пленкообразующих смол, эфиров, масел, целлюлозы):

АС - алкидно-акриловые,

БТ - битумные,

ГФ - глифталевые,

КО - кремнийорганические,

МА - масляные,

НЦ - нитроцеллюлозы,

ПФ - пентафталевые,

ХВ - перхлорвиниловые и поливинилхлоридные,

ЭП - эпоксидные и др.;

3) **группы преимущественного назначения**;

4) **порядковый номер, присвоенный материалу базовой организацией по стандартизации**.

Для **масляных** красок вместо номера ставится цифра, определяющая олифу, на которой изготовлена краска:

1 - олифа натуральная;

2 - олифа оксоль;

3 - олифа глифталевая;

4 - олифа пентафталевая;

5 - олифа комбинированная;

Буквенный индекс, характеризующий особенности материала, добавляется после порядкового номера:

ХС - холодная сушка,

М, ПМ - матовый и полуматовый,

ПГ - пониженной горючести и т.д.;

5) обозначение цвета.

Например:

грунтовка глифталевая горячей сушки, коричневая обозначается *Грунтовка ГФ-032 ГС коричневая*;

шпатлевка перхлорвиниловая естественной сушки – *Шпатлевка ХВ-005 серая*;

краска масляная для внутренних работ на олифе «оксоль» с наполнителем, готовая к применению – *Краска МА-22Н голубая*;

краска масляная для наружных работ на комбинированной олифе густотертая (цифра 0 в третьей

группе знаков обозначает густотертые краски) – *Краска МА-015 зеленая*;

эмаль перхлорвиниловая для наружных работ – *Эмаль ХВ-124 голубая*;

пентафталевый лак для наружных работ – *Лак ПФ-170*;

глифталевый электроизоляционный лак – *Лак ГФ-95*.

Таблица 14. Допустимость контактов металлов в изделиях, эксплуатируемых в атмосферных условиях

Металлы	Хромоникелевая сталь	Хром	Медь и ее сплавы	Никель	Олово и его сплавы	Свинец и его сплавы	Титан и его сплавы	Сталь		Кадмий	Алюминий и его сплавы оксидированные	Цинк	
	Условия эксплуатации Л, С, Ж, ОЖ												
Олово и его сплавы	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0011	0011	0011	0000
Свинец и его сплавы	0011	0011	0011	0011	0000	0000	0000	0011	0222	0011	0111	0011	0000
Титан и его сплавы	0000	0011	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0222	1122	1122	1122	0011

Ста ли	Хромистые	0000	000 0	0011	0000	0000	0000	0000	00 00	02 22	0222	0111	02 22	02 22
	Углеродистые низколегированные	0222	022 2	0222	0222	0222	0222	0222	02 22	00 00	0222	0222	12 22	00 22
Кадмий и кадмиевые покрытия хроматированные		0222	022 2	1222	0222	0011	0011	1122	02 22	02 22	0000	0000	00 00	00 00
Алюминий и его сплавы оксидированные		0222	001 1	1222	0222	0011	0111	1122	01 11	02 22	0000	0000	00 00	00 00
Цинк и цинковые покрытия, хроматированные		1222	022 2	2222	0222	0011	0011	1122	02 22	12 22	0000	0000	00 00	00 00
Цинк и цинковые покрытия, фосфатированные		1222	012 2	0011	0011	0000	0000	0011	02 22	00 22	0000	0000	00 00	00 00
Магний и его сплавы оксидированные		2222	222 2	2222	2222	2222	2222	2222	22 22	22 22	2222	2222	22 22	22 22
<p><i>Примечания:</i> 0 - при соприкосновении коррозии не происходит, 1 - при соприкосновении возможна незначительная коррозия, 2 - при соприкосновении возникает сильная коррозия. Цифры в строках соответствуют основным группам условий эксплуатации, обозначенных по ГОСТ 9.303-84 буквами Л, С, Ж, ОЖ</p>														

Таблица 15. Свойства и назначение металлических покрытий

Покрытие	Способ получения	Условное обозначение, ГОСТ 9.306-85	Свойства покрытий	Назначение
Цинковое	Диф, Гор, катодное восстановление	Ц ... хр Ц... хр/лп Ц фос. гфх	Микротвердость (490-1180) МПа; интервал рабочих температур -70 °С-250 °С; хорошее сцепление с деталью; выдерживает гибку, развальцовку; низкая износостойкость	Защита от коррозии стали, чугуна, меди и ее сплавов
Кадмиевое	Катодное восстановление	Кд.... хр Кд.... хр/лп	Микротвердость 340-490 МПа; интервал рабочих температур ±60 °С; высокая пластичность, хорошая паяемость, выдерживают запрессовку, развальцовку, вытяжку, хорошая притираемость; устойчивость к морской воде, щелочным растворам; неустойчивость в среде сернистых газов, масла, бензина	Защита от коррозии, в том числе в морских условиях; для обеспечения притирочных свойств деталей при сборке
Никелевое	Хим, катодное восстановление	Н... Хим. Н гфж 139-41 Хим. Н тв М ...	Микротвердость блестящего покрытия (4420-4900) МПа, полублестящего – (2940-3930) МПа хорошая полируемость;	Защита от коррозии пружин, корпусов и других деталей; декоративная отделка; придание поверхностной твердости; получение светоотражающей

		Н ...	коррозионно-стойкие при температуре до +650 °С	или светопоглощающей (черный никель) поверхности. Придание магнитных свойств (Н-Ко)
Хромовое	Диф, катодное восстановление	Х.тв... М Н Х.б Н Х.б	Микротвердость твердого покрытия (7350-10780) МПа; химическая стойкость, за исключением среды соляной кислоты, галогеноводородных соединений; устойчивость к условиям тропического климата	Защита от коррозии, декоративная отделка, увеличение твердости деталей, работающих на трение; получение светопоглощающей (черной) или светоотражающей поверхности
Медное	Хим, Вх, катодное восстановление	М...	Микротвердость (590-1470 МПа; рабочая температура до 300°С; электрическое сопротивление $1,682 \cdot 10^{-6}$ Ом см при 18°С	Обеспечение способности к пайке, электропроводности, экранирование от магнитного потока
Оловянное и его сплавами	Хим, Гор, катодное восстановление	О-Ви (99,5)... О-С (69)... Н ... О-С (69)... М ... О-С (69)...	Микротвердость (118-198) МПа; эластичны, устойчивы к сероводороду, органическим кислотам, воздействию тропического климата; выдерживают изгибы, вытяжку, развальцовку; при температуре ниже +13°С переход белого олова (β -Sn) в порошкообразное серое (α -Sn) («оловянная чума»)	Защита при азотировании, гуммировании
Серебряное и его сплавами	Хим, Вх, катодное восстановление	Ср ..., хр Хим. Н ... Ср ... хр Хим. Н ... М ... Ср... хр	Микротвердость (883-1370) МПа; электрическое сопротивление $1,6 \cdot 10^{-6}$ Ом см при 18°С; отражательная способность свежего покрытия (90-95)%; хорошая паяемость; пониженная износостойкость; тускнеют и темнеют в атмосфере серы, хлора, аммиака	Улучшение электропроводности, износостойкости (Ср-Су, Ср-Пд); обеспечение отражательной способности

Таблица 16. Свойства и назначение неметаллических неорганических покрытий

Покрытие	Материал деталей	Условное обозначение, ГОСТ 9.306-85	Свойства покрытий	Назначение
Оксидное	Сталь, медь и ее сплавы,	Хим. Окс. прм	Невысокие защитные свойства, повышающиеся при обработке покрытий	Межоперационное хранение; декоративная отделка и защита от коррозии (медь, магний и их сплавы)

	магние вые сплавы		маслами, лаками, гидрофобизирующими жидкостями	
Оксидн о- фторид ное; оксидн о- фосфат ное	Алюми ний и его сплавы	Хим. Окс. фтор Хим. Окс. фтор/лкп Хим . Фос/лкп	Хорошие эластичность, адгезия с металлом; плохая электропроводность оксидно-фосфатного покрытия	Декоративная отделка и защита от коррозии, грунт под окраску
Хроматн о- фторидно е	Алюми ний и его сплавы	Хим. Окс. фтор Хим. Окс. фтор/лкп Хим . Фос/лкп	Токопроводное; стабильное переходное сопротивление; являются хорошим грунтом под окраску; механическая непрочность	Обеспечение стабильного переходного сопротивления
Фосфатн ое	Стали	Хим. Фос. хр	Высокое электрическое сопротивление; термостойкость до +300 °С; не подвергаются пайке и сварке; защитные свойства появляются после дополнительной обработки маслами, лаками	Защита от коррозии, создание непроводящего поверхностного слоя
Пассивно е	Стали, медь и ее сплавы	Хим. Пас Хим. Пас. гфх 139-41	Коррозионно-стойки после пропитки маслами, лаками	Защита от коррозии
Анодно- окисное	Алюми ний и его сплавы; медь и ее сплавы; титан и его сплавы	Ан. Окс. красный Ан. Окс. хром Ан. Окс. хром/лкп Аноцвет. зеленый прм Ан. Окс. нхр Ан. Окс. тв. прп Ан. Окс. эиз. гфж 139- 41	Микротвердость дуралюминов (Д1, Д16) и ковочных сплавов (АК6, АК8) – (1960-2450) МПа; не упрочняемых термообработкой (АМц, АМг) – (2940-4900) МПа; злектрическая прочность возрастает при пропитке покрытия лаками; оксидные пленки на титане износостойки	Защита от коррозии, придание электроизоляционных свойств; получение светопоглощающей поверхности (медь), защита от задигов при трении (титан), грунты под окраску

Таблица 17. Группы и назначение лакокрасочных покрытий

Группа	Обозначение	Преимущественное назначение (условия эксплуатации покрытий)
Шпатлевки	00	Для выравнивания неровностей поверхностей перед окраской. Рекомендуемая толщина одного слоя - не более 0,2 мм, суммарная - до 0,4 мм
Атмосферостойкие	1	Стойкие к атмосферным воздействиям в различных климатических условиях, эксплуатируются на открытых площадках
Ограниченно- атмосферостойкие	2	Эксплуатируются под навесом и внутри неотапливаемых помещений
Водостойкие	4	Стойкие к действию пресной воды и ее паров, а также морской воды
Специальные	5	Обладающие специфическими свойствами: стойкие к рентгеновским и другим излучениям, светящиеся, терморегулирующие, противообрастающие, для пропитки тканей, окраски кожи, резины, пластмасс и т.д.
Маслобензостойкие	6	Стойкие к воздействию минеральных масел и консистентных смазок, бензина, керосина и других нефтяных продуктов, содержащих не более 20 % ароматических соединений

Химически стойкие	7	Стойкие к воздействию кислот, щелочей и других жидких химических реагентов и их паров
Термостойкие	8	Стойкие к воздействию повышенных температур
Электро-изоляционные	9	Подлежащие воздействию электрических напряжений, тока, электрической дуги и поверхностных разрядов
Консервационные	3	Применяемые для временной защиты окрашиваемой поверхности в процессе производства, транспортирования и хранения изделий

Разновидность лакокрасочных материалов (водоразбавляемые, вододисперсионные, порошковые и др.) обозначаются индексом, проставляемым между первой и второй группой знаков.

Например, порошковая эпоксидная краска для внутренних помещений обозначается, как

Краска П-ЭП-219 белая

Буквенные индексы в обозначениях:

Б - без активного растворителя,

В - водоразбавляемые,

ОД - органодисперсионные,

П - порошковые,

Э - вододисперсионные.

Обозначение условий эксплуатации

Применительно к условиям эксплуатации изделий территорию земного шара разделяют на семь макроклиматических районов, их характеристики по ГОСТ 15150-69, обозначения приведены в таблице 18.

Таблица 18. Обозначение районов эксплуатации

Макроклиматические районы	Русское	Латинское
С умеренным климатом	У	N
С умеренным и холодным климатом	УХЛ	NF
С сухим, а также с влажным тропическим климатом (тропическое исполнение)	Т	T
С умеренно-холодным морским климатом	М	M
С умеренно-холодным и тропическим морским климатом	ОМ	MU
Для всех макроклиматических районов суши, кроме очень холодного климата	О	U
Для всех макроклиматических районов, кроме очень холодного климата	В	W

Существенное влияние на долговечность лакокрасочного покрытия оказывает место размещения окрашенного изделия, что учитывается в обозначении покрытия категорией эксплуатации изделия (таблица 19).

Таблица 19. Укрупненные категории эксплуатации окрашенных изделий

Условия размещения изделий	Категория
Открытый воздух	1
Под навесом	2
Закрытое помещение	3
Помещение с регулируемым климатом	4
Помещение с повышенной влажностью	5

Специальные условия эксплуатации, например: очень низкая температура (ниже -60°C), рентгеновское излучение, воздействие пламени - указываются в обозначении покрытий изделий в соответствии с ГОСТ 9.032-74 (таблица 20).

Таблица 20. Группы покрытий и условия эксплуатации

Покрытие	Условия эксплуатации, климатические факторы	Обозначение ГОСТ 9.104-79
Водостойкое	Пресная вода и ее пары	4/1
	Морская вода	4/2
Специальное	Рентгеновское и другие виды излучений	5/1
	Глубокий холод (температура ниже -60°C)	5/2
	Открытое пламя	5/3
	Воздействие биологических факторов	5/4

Маслобензостойкое	Минеральные масла и смазки	6/1
	Бензин, керосин и другие нефтепродукты	6/2
Химически стойкое	Агрессивные газы, пары	7/1
	Растворы кислот и кислых солей	7/2
	Растворы щелочей и основных солей	7/3
	Растворы нейтральных солей	7/4
Термостойкое	Температура выше +60 °С	8
Электроизоляционное и электропроводное	Электроизоляционные	9/1
	Электропроводные	9/2
<p><i>Примечания:</i> В обозначение условий эксплуатации термостойких покрытий добавляют значение предельной температуры, например, 8/160°С. При необходимости значение предельной температуры добавляют к обозначению условий эксплуатации других покрытий, например: 4/160°С, 6/150°С, 9/1200°С</p>		

Обозначение покрытий

В обозначение покрытий входят:

- обозначение лакокрасочного материала внешнего слоя покрытия (ГОСТ 9825-73);
- класс покрытия (ГОСТ 9.032-74);
- обозначение условий эксплуатации (группа условий эксплуатации по ГОСТ 9.104-79, а также воздействие особых сред по ГОСТ 9.032-74).

Обозначения лакокрасочного материала, класса покрытия и условий эксплуатации отделяют точками (таблица 21).

Обозначение различных условий эксплуатации разделяют знаком «-», при этом на первом месте ставится основное условие эксплуатации.

Таблица 21. Примеры обозначений лакокрасочных покрытий

Обозначение покрытия	Характеристика покрытия
Эмаль МЛ-197 белая. II.УХЛ1	Белая эмаль МЛ-197 по II классу, эксплуатация на открытом воздухе в макроклиматическом районе с умеренным и холодным климатом (кузова легковых автомобилей)
Эмаль ПФ-223 красная. Лак ПФ-283. III.У4	Красная эмаль ПФ-223 с последующей лакировкой лаком ПФ-283 по III классу, эксплуатация в отапливаемом помещении макроклиматического района с умеренным климатом
Эмаль НЦ-11 черная. IV.УХЛ1-Т2	Черная эмаль НЦ-11 по IV классу, эксплуатация на открытом воздухе макроклиматического района с умеренным и холодным климатом и под навесом в районе с тропическим климатом
Грунтовка ГФ-032ГС коричневая. VI.6/100С-У3	Коричневая грунтовка ГФ-032 горячей сушки по VI классу, эксплуатация в закрытом помещении с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, при воздействии минеральных масел и смазок, нагретых до 100 °С, в условиях умеренного макроклиматического района

Если лакокрасочное покрытие наносится на металлическое или неметаллическое неорганическое покрытие, то их обозначения разделяются чертой дроби, причем на второе место ставится обозначение лакокрасочного покрытия.

Например, цинковое покрытие толщиной 9 мкм, хромированное с последующим окрашиванием светло-дымчатой эмалью МЛ-12 по классу III, при периодическом воздействии нефтепродуктов имеет следующее обозначение

Ц9.хр /Эмаль МЛ-12 светло-дымчатая. III. 6/2.

Таблица 22. Возможные сочетания грунтовок с эмалями (лаками) и материалами окрашиваемых поверхностей

Материал окрашиваемых поверхностей	Черный металл			Алюминий и его сплавы		Медь, латунь, бронза		Магнийевый сплав		Цинк		Сталь кадмированная
	ГФ	ФЛ	ФЛ	ФЛ	ГФ	ВЛ	ФЛ	АК-	ГФ-	ФЛ	ГФ	
Грунтовка	- 021	- 03к	-	- 03ж	- 031	-02	-	АК-070	ГФ-031	-	- 031	АК-070

		03 ж		03 ж		03 ж	
Эмаль и лак	ПФ, ГФ	+	+	КФ-030	+		
	МЛ						
	МЧ						
	ФЛ						
	ЭП	+ ЭП-09Т	- ЭП-09Т	+ ЭП-09Т красная	+ ВЛ-02	+ ЭП-09Т	
	МС	*2		*3	+		
	НЦ	+					
	ХВ	+ ХС-068	+ ВЛ-023	+ ХС-010			
	ХС	+ ХС-010	+	+ ХС-068			
	К, КО*1	*2	+ ГФ-0163	+		-	
	АС, АК	+ АК-070	+ АК-070 ВЛ-02	+ ГФ-032	+ АК-070	+ ЭП-09Т	
Эмаль и лак	ВЛ	*3			-		
	БТ	*3	-				
	КФ	+		*3	+		
<p>1. ПФ, ГФ - алкидные; МЛ - меламинные; МЧ - мочевиные; ФЛ - фенольные; МС - алкидно-стирольные; НЦ - нитроцеллюлозные; ХВ - перхлорвиниловые;</p> <p>ХС - на основе сополимеров винилхлорида; К, КО - кремнийорганические; АК - полиакриловые; ВЛ - поливинилацетальные; БТ - битумные;</p> <p>КФ - масляные эмали (канифольные).</p> <p>2. Знак "+" означает пригодность, знак "-" - непригодность для данных эмалей (лаков); марки грунтовок рядом со знаком являются дополнительно применимыми.</p> <p>*1 Для эксплуатации при высоких температурах.</p> <p>*2 Эмали (лаки) можно наносить без грунтовок.</p> <p>*3 Эмали (лаки) наносят без грунтовок</p>							