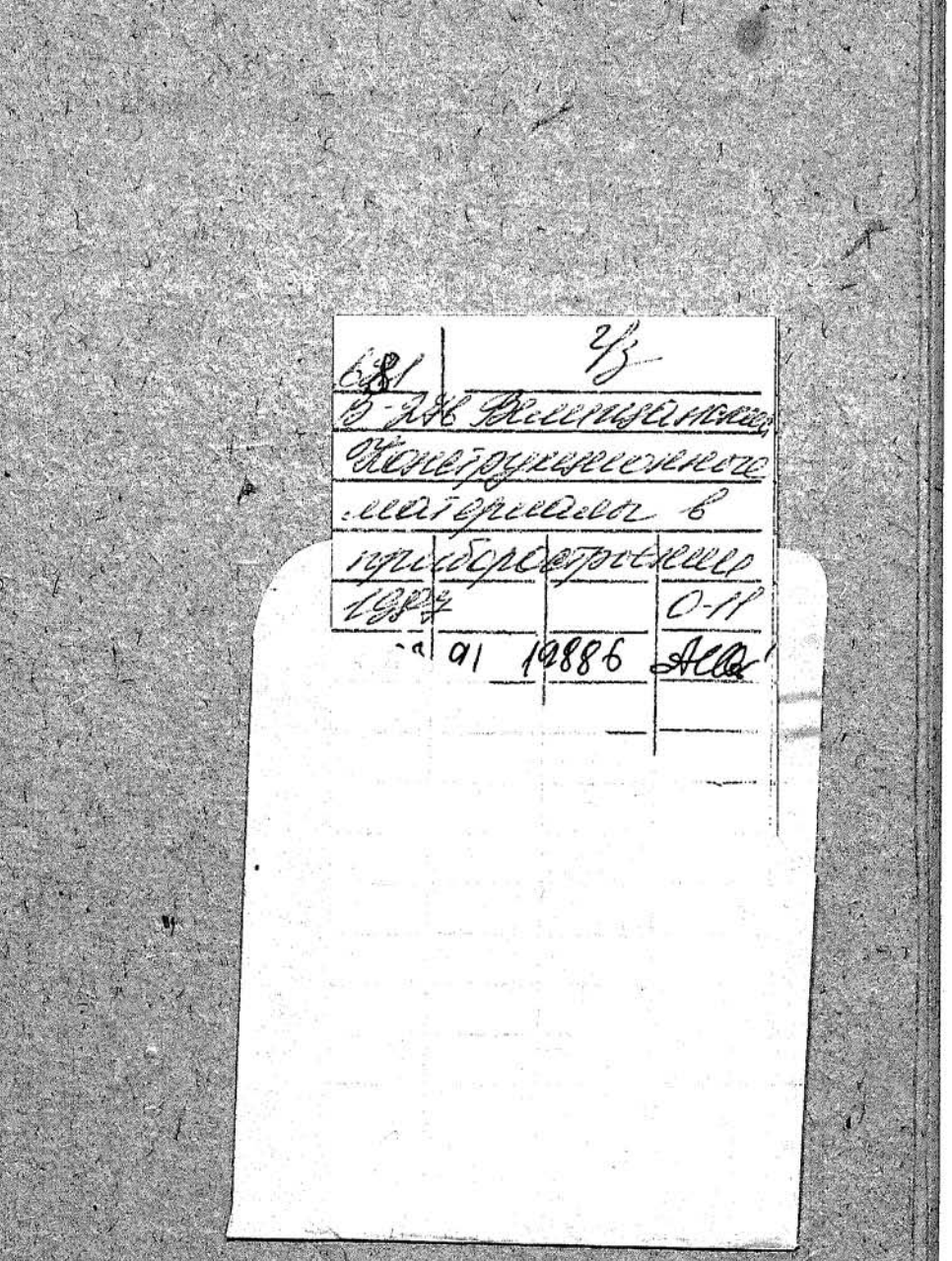


681
В-226 Конструкционные
материалы в
приборостроении
1987
О-11
91 19886 АСВ

681

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

А.В.Велищанский, В.Н.Климов, А.Н.Котов

Утверждено
редсоветом МВТУ
как учебное пособие

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Учебное пособие по курсовому проектированию
по курсу "Элементы приборных устройств"

Под редакцией О.Ф.Тищенко

Москва 1987

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

Данное учебное пособие издается в соответствии с учебным планом.

Рассмотрено и одобрено кафедрой П-II 04.I0.85г., методической комиссией ф-та П I8.I2.85г. и учебно-методическим управлением 06.0I.86г.

Рецензенты: к.т.н. доц. Фомин В.В.,
к.т.н. доц. Сагадеева Т.Г.

© Московское высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов дневного и вечернего отделения приборостроительных специальностей. Оно является кратким руководством по выбору материалов для деталей приборных устройств при выполнении проекта по курсу "Элементы приборных устройств".

Предполагается, что студенты усвоили курс "Материаловедение" и имеют представление о химическом составе и свойствах материалов. В связи с этим в пособии приводятся лишь те соображения по выбору материалов, которые имеют непосредственное отношение к конструированию.

В справочных таблицах, включенных в пособие, содержится ограниченная номенклатура конструкционных материалов, наиболее часто используемых в приборостроении. Ряд приведенных механических и технологических свойств материалов также определялся их практической ценностью.

Более подробно со свойствами тех или иных материалов можно познакомиться по источникам, указанным в списке литературы.

Редактор В.И.Шкарина Корректор Ю.Н.Хлебинский

Заказ 27 Объем 2,75 п.л.(2,5 уч.-изд.л.) Тираж I000 экз.

Л -59503 от 05.0I.87 г. Цена II коп. План I986г., № 2I.

Типография МВТУ. I07005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

ВВЕДЕНИЕ

В современном приборостроении нашли применение конструкционные материалы очень широкой номенклатуры; это связано с тем, что в каждом конкретном случае материалы проектируемых деталей и узлов приборных устройств должны обладать определенной гаммой механических, физических и технологических свойств (табл.I).

Таблица I

Основные критерии, определяющие выбор конструкционных материалов		
Конструкционные	Технологические	Экономические
I. Прочность: $\sigma_в$ – временное сопротивление (предел прочности при растяжении), МПа $\sigma_т$ – предел текучести при растяжении, МПа σ_{-1} – предел выносливости материала при симметричном цикле нагружения, МПа τ_{-1} – предел выносливости при кручении, МПа $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести (напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% длины образца), МПа HB – твердость по Бринеллю; $HRC_э$ – твердость по Роквеллу, единица твердости HV – твердость материала по Виккерсу $\sigma_в/\rho g$ – отношение временного сопротивления к произведению (ρg), км 2. Жесткость: E – модуль упругости при растяжении, МПа G – модуль сдвига, МПа $E/\rho g$ – отношение модуля упругости к произведению (ρg), км 3. Износостойкость: HB – твердость по Бринеллю; f – коэффициент трения 4. Коррозионная стойкость 5. Массогабаритные параметры: ρ – плотность, кг/м^3	I. Обрабатываемость давлением 2. Литейные свойства 3. Свариваемость 4. Обрабатываемость резанием 5. Шлифуемость 6. Поведение при термообработке: –прокаливаемость; –трещиностойкость; –коробление; 7. Обрабатываемость другими методами	I. Стоимость материала 2. Дефицитность

$\sigma_в/\rho g$ - отношение временного сопротивления к произведению ρg, км
6. Ударная вязкость KCV, Дж/м^2
7. Относительное удлинение δ, %
8. Другие критерии

Начинающему конструктору бывает трудно ориентироваться во всем разнообразии материалов, тем более что всегда существует многовариантность их выбора.

Поэтому можно рекомендовать вначале сформулировать основные требования, которым должен удовлетворять материал проектируемой детали или узла, выделить главные критерии его подбора, а затем уже назначать тип и марку.

Нередко выбранный материал требует изменения первоначального варианта конструкции детали или узла, если из-за ряда свойств этого материала затрудняется выполнение той или иной первоначально задуманной технологической операции изготовления и сборки.

Характер производства (единичное, серийное, массовое) определяет не только технологические операции изготовления деталей, но и марки назначаемых материалов.

При конструировании приборных устройств следует использовать наиболее перспективные высокопроизводительные технологические процессы. Например, при проектировании корпусных элементов в массовом и крупносерийном производстве целесообразно ориентироваться на технологию их изготовления методом литья под давлением, что определит выбор соответствующих марок материалов (силумины, литейные бронзы и латуни, цинкоалюминиевые сплавы, литейные пластмассы). Могут быть применены и штампованные корпусные детали, для которых также требуется подбор соответствующих материалов.

В приборостроении в стоимость изделий включается в основном стоимость труда, затраченного на изготовление, контроль, сборку и настройку приборов, поэтому при выборе материалов их стоимость не является главным критерием. Однако применение лимитируемых, дефицитных материалов, содержащих золото, платину, серебро, вольфрам, медь и другие, должно быть строго обоснованным, особенно в серийном, крупносерийном и массовом производстве.

I.I. Прочность

Значительная часть элементов приборных устройств подлежит расчету на прочность (статическую, усталостную, ударную), выполняемому по основным видам напряжений: нормальным, касательным, контактным. Размерность напряжения - Н/м^2. Эта величина называется паскалем и обозначается Па (I кгс/мм^2 $\approx$ 9,8IхI0^6 Па $\approx$ I0 МПа).

Допускаемые напряжения назначают исходя из основных механических характеристик конструкционных материалов (см.табл.I), приводимых в справочниках [I,2,3].

Механические характеристики материалов зависят не только от их химического состава, но и от технологических процессов изготовления детали или заготовки, а также от специальных технологических методов, регулирующих эти характеристики. К специальным методам относятся термическая, химико-термическая, механическая упрочняющая обработки (нагартовка, наклеп, заневоливание и т.п.).

Контроль механических характеристик готовой детали в большинстве случаев осуществляется только путем измерения твердости ее поверхности. Поэтому связь между твердостью и другими механическими характеристиками имеет большое значение. Однако такая корреляционная связь имеется не для всех сплавов. Кроме того, твердость не может однозначно определить состояние сплава (вид и качество термообработки, структуру сплава). Тем не менее, пользуясь табличными данными (табл.2), можно по твердости HB достаточно достоверно судить о механических характеристиках (например, о $\sigma_в$) каждой марки сплава и его конкретного состояния [4].

Твердость по Бринеллю (ГОСТ 90I2-59, СТ СЭВ 468-77) обозначается цифрами, характеризующими число твердости в кгс/мм^2, и буквами НВ. Например, I75 НВ, где I75 - число твердости (кгс/мм^2), НВ - твердость по Бринеллю. В некоторых справочниках твердость приводится в мегапаскалях, что оговаривается особо.

С 0I.07.80г. в СССР введен новый государственный специальный эталон и единая шкала твердости по Роквеллу (ГОСТ 8.064-79). Твердость по Роквеллу обозначается цифрами, характеризующими число твердости, и буквами $HRC_э$ с указанием шкалы твердости. Например: 60 $HRC_э$, где 60 - число твердости, HR - твердость по Роквеллу, $C_э$ - шкала твердости.

Таблица 2

Сплавы	Состояние*)	$\sigma_в$/HB
Медь	О	4,8
	ХК	3,5
Латунь	О	5,0
	Н	4,I
Деформируемые алюминиевые сплавы	О	3,6...3,7
	ОС	3,4...3,6
	ХК	3,7
	Н	3,6
Цинковые литейные сплавы	–	0,9
Литье стальное	–	3...4
Углеродистая сталь	–	3,2
Среднелегированная сталь	–	3,5
Высоколегированная сталь	–	3,3

Твердость по Виккерсу (ГОСТ 2999-75,СТ СЭВ 470-77) во всех случаях обозначается буквами HV без указания размерности и числом твердости. Например, HV 420, где HV – твердость по Виккерсу, 420 – число твердости.

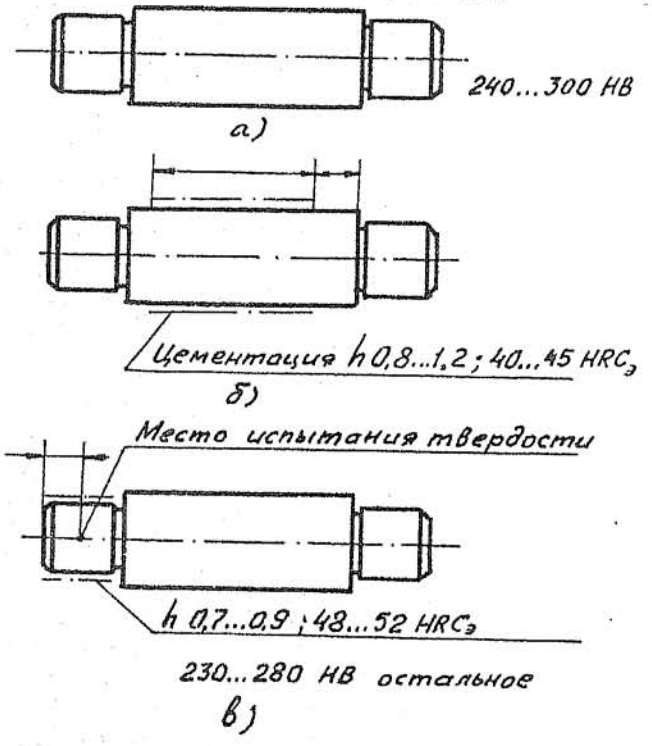
На чертежах деталей принято указывать твердость в состоянии готовности детали (рис.а). Обычно технологический процесс получения определенной твердости не задается за исключением условий, без которых не может быть получено желаемое качество детали (рис.б). При необходимости на чертежах указывают место испытания твердости и глубину обработки h (рис.б,в). Глубину обработки и твердость материалов на чертежах указывают интервалом предельных значений, например h 0,7...0,9 мм; 40...46 $HRC_э$.

Часто возникает необходимость получения различных механических характеристик на разных участках (или разных поверхностях) одной и той же детали, это достигается путем местной термической или химикотермической обработки (см.рис.б).

В технически обоснованных случаях допускается указывать номинальные значения этих величин с предельными отклонениями, например h 0,8±0,I мм; 43±3 $HRC_э$. Можно указывать значения показате-

*) Условные обозначения см. в прилож. I.

лей свойств материалов со знаками ≥ или ≤ , например $\sigma_в \geq$ I50 МПа; НВ ≤ 200 и т.п.



В ряде случаев в таблицах механических характеристик материалов отсутствуют данные по σ_{-1} и τ_{-1}. Для их расчета можно воспользоваться приближенными соотношениями [5]:

I) для углеродистых сталей $\sigma_{-1} = 0,43\ \sigma_в$, $\tau_{-1} = 0,6\ \sigma_{-1}$;

2) для легированных сталей $\sigma_{-1} = 0,5\ \sigma_в$, $\tau_{-1} = 0,58\ \sigma_{-1}$.

Ударная вязкость KCU (значок U указывает форму надреза стандартного образца при ударных испытаниях) характеризует способность материала воспринимать нагрузки: чем выше KCU , тем надежнее испытуемый материал. Высокая ударная вязкость особенно необходима для валов, осей шестерен, колес и менее важна для корпусных изделий и пружин. KCU следует учитывать главным образом для сталей. Ударная вязкость KCU введена по ГОСТ 9454-78 взамен

ГОСТ 9454-60, 9455-60, 9456-60, устанавливающих методику определения ударной вязкости $a_н$ ($a_к$). Следует иметь в виду, что в справочниках по материалам до настоящего времени широко применяют данные по ударной вязкости $a_н$ ($a_к$). Размерность ударной вязкости KCU – Дж/м^2 (1 кгс·м/см^2 ≈ 9,81 Дж/см^2 ≈ 10 Дж/см^2 = ≈ 10^2 кДж/м^2 = 0,1 МДж/м^2).

Малое относительное удлинение (δ = 1...5%) свидетельствует о значительной чувствительности к концентраторам напряжений (галтелям, выточкам, шлицам и т.д.), повышенной опасности разрушения при циклическом нагружении, малой пластичности материала. Малопластичные сплавы не поддаются операциям холодного деформирования. Однако медные и алюминиевые сплавы, имеющие такую пластичность, лучше обрабатываются резанием.

В некоторых материалах может проявляться значительная анизотропия механических характеристик (неодинаковость свойств в различных направлениях объема заготовки или детали). Это явление особенно характерно для проката деформируемых сплавов и слоистых материалов (армированных пластиков). При конструировании деталей из таких материалов необходимо правильно выбирать ориентацию осей анизотропии исходя из значения и направления напряжений, действующих в детали.

1.2. Жесткость

Жесткость (продольная, изгибная, крутильная, контактная) определяет способность деталей противостоять деформациям. Главной характеристикой материала, определяющей жесткость изготовленной из него детали, является модуль упругости: E – модуль упругости первого рода, МПа; G – модуль упругости второго рода, МПа. Чем больше модуль упругости, тем больше жесткость детали.

Для изотропных материалов (большинство конструкционных материалов) существует следующая связь между модулями упругости:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)},$$

где μ – безразмерный коэффициент (коэффициент Пуассона).

Для металлических сплавов μ = 0,24...0,42. Значения модулей упругости первого E и второго рода G и также коэффициента Пуассона μ приведены в табл.3 [5].

Модули упругости металлических сплавов очень незначительно изменяются при различных видах термообработки. В связи с этим в инженерных расчетах можно принимать E и G константами, значения

их зависящими только от химического состава и главным образом от основного металла сплава (железо, медь, алюминий и т.п.).

Из табл.3 видно, что при выбранной конфигурации детали наибольшая жесткость будет достигнута при изготовлении ее из стали (практически любой марки).

Таблица 3

Материал	Модуль		Коэффициент Пуассона
	$E_{\times 10^5}$, МПа	$E_{\times 10^4}$, МПа	μ
Сталь углеродистая	2,0...2,1	8,1	0,24...0,28
Сталь легированная	2,1	8,1	0,25...0,3
Чугун серый модифицированный	1,2...1,6	5,2...7,0	0,23...0,27
Медь технически чистая	1,3...1,5	4,0...4,9	0,31...0,34
Бронза оловянистая	0,75...1,24	–	0,32...0,35
Бронза безоловянистая	1,05...1,2	–	–
Бронзовое литье	1,05	4,2	–
Бронза фосфористая катанная	1,15	4,2	0,32...0,35
Латунь марганцовистая катанная	1,1	4,0	0,36
Латунь алюминиевая	1,0...1,05	3,7...4,0	0,32...0,34
Дюралюминий катанный	0,71	3,7	0,34
Литейные алюминиевые сплавы	0,7...0,72	2,7	0,32
Магниевые сплавы	0,4...0,45	–	0,34
Титановые сплавы	1,05...1,15	–	–
Текстолит	0,06...0,1	–	–
Винипласт	0,04	–	–
Органическое стекло	0,029... 0,041	–	0,35...0,38
Капрон	0,014... 0,02	–	–
Фторопласт-4	0,0047... 0,0085	–	–

1.3. Износостойкость

Износостойкость деталей трущихся пар является в ряде случаев главным критерием работоспособности узлов приборных устройств (опор и направляющих, винтовых, зубчатых и червячных пар, кулачковых и других механизмов). Особенно опасен в приборных конструкциях абразивный износ.

Наибольшей износостойкостью обладают поверхности деталей, имеющие более высокую твердость. Однако при проектировании трущихся пар необходимо выбирать для одной из деталей более мягкий материал, способный прирабатываться (притираться) к более твердой детали. После процесса приработки (иногда предусматривается специальный технологический процесс прикатки, приработки, притирки) такая пара длительное время работает с незначительным износом.

Хорошо зарекомендовали себя пары: сталь-бронза, сталь-латунь, сталь-металлокерамика, сталь-текстолит и др. Эти пары обладают также малым коэффициентом трения, благодаря чему повышается точность и КПД приборных приводов и механизмов (табл.4).

Таблица 4

Пара трения	Коэффициенты трения скольжения		
	без смазки	с ограниченной смазкой	со смазкой
Сталь-сталь	0,I5	0,I2...0,I3	0,05...0,I
Сталь-антифрикционный чугун	0,I8	0,I2...0,I5	0,05...0,I5
Сталь-бронза	0,I2	0,I...0,I5	0,07...0,I
Сталь-текстолит	0,25	0,I...0,I5	0,02...0,06
Бронза-бронза	0,2	0,I...0,I5	0,07...0,I
Сталь-резина	0,8	0,3...0,5	0,02...0,06 (смазка водой)
Кожа-металл	0,6	-	0,I5
Сталь-нейлон	-	0,I...0,2	0,03...0;055
Сталь-полиамиды,капрон	-	0,I5...0,2	0,055...0,II
Сталь-фторопласт	0,04...0,06	-	-

Методика определения износостойкости для инженерных расчетов очень трудна, что объясняется весьма сложными процессами трения, механизм которых еще не вполне изучен. Для достоверного суждения об изнашивании трущихся деталей следует проводить испытания на изнашивание [2].

Во многих приборных устройствах, например во фрикционных передачах и предохранительных фрикционных муфтах, широко используются пары материалов, обеспечивающие максимальный и стабильный коэффициент трения. Износостойкость этих пар также должна быть

высокой. Для изготовления указанных элементов можно рекомендовать специальный материал - ретинакс (табл.5) [5]. Детали из ретинакса получают формовкой с последующей полимеризацией смолы.

Таблица 5

Характеристики ретинакса (ГОСТ I085I-73)	Размерность	Марки ретинакса	
		А	Б
Коэффициент трения:			
по чугуну СЧI5	-	0,32	0,33
по легированной стали	-	0,3	0,3I
Предел прочности при срезе	МПа	23	25,5
Допустимая температура	°С	II00	700
Допустимая скорость скольжения	м/с	50	I0
Допустимое давление	МПа	2,5	I,5

Пример обозначения детали (вкладыша), имеющей номер П-II.0I.0I.02, изготовленной из ретинакса марки Б:

Вкладыш Б П-II.0I.0I.02 ГОСТ I085I-73

I.4. Технологичность конструкционных материалов

Технологические свойства материалов определяют возможные методы обработки и получения деталей и узлов и оказывают большое (часто решающее) влияние на выбор материала (см.приложение 2).

Наиболее часто используются следующие основные виды технологических процессов изготовления деталей и сборки: обработка давлением (холодная и горячая), литье, сварка, обработка резанием, шлифование, термическая обработка.

Обрабатываемость давлением. Большинство деталей получают из горячекатаного сортового проката, прессованных профилей, холоднокатаных полуфабрикатов, поковок, штамповок. Деформированные металлы и сплавы составляют не менее 05% всех материалов, применяемых в приборостроении. Это объясняется тем, что при обработке давлением измельчается структура, в результате чего повышаются конструкционная прочность (примерно в I,5 раза по сравнению с прочностью материалов, полученных литьем) и надежность материала. Именно поэтому большинство сталей, сплавов на медной, алюминиевой, магниевой, титановой основах применяются в деформированном состоянии. Большая часть перечисленных сплавов обладает достаточно высокой технологической пластичностью в горячем состоянии,

что позволяет получать поковки, штамповки, прокат и т.п. без дефектов (трещин, надрывов и т.д.). При использовании деформированных сплавов следует всегда учитывать их анизотропию.

Способностью деформироваться в холодном состоянии обладают мягкие, малопрочные, как правило, однофазные стали и сплавы с малым содержанием второй фазы. Очень хорошую способность деформироваться в холодном состоянии имеют однофазные латуни, бронзы, сплавы на основе алюминия, малоуглеродистые стали (содержание углерода 0,05...0,15%). Эти сплавы используются при необходимости сборки способами развальцовки, гибки, склепывания и т.д. Все сплавы, детали из которых предполагается изготовлять или собирать методом холодной обработки давлением, должны находиться в мягком (отожженном) или (реже) в полунагартованном состоянии. Некоторые сплавы (коррозионно-стойкие аустенитные стали, некоторые алюминиевые сплавы) обладают наибольшей пластичностью в закаленном или только в свежезакаленном состоянии. Во всех случаях холодная обработка возможна, если относительное удлинение $\delta \geq 12...15\%$.

Литейные свойства. Применение литья в приборостроении целесообразно для получения корпусных фасонных деталей в случае, если путем рационального конструирования могут быть получены изделия той же массы, не уступающие по несущей способности кованным или штампованным, так как деформированием трудно получить в деталях тонкостенные ребра жесткости, резкие переходы по толщине, полости нужной формы и т.д. Использование отливок оправдано также в том случае, если требуется высокая жесткость деталей.

Для отливок используют специальные сплавы, отличающиеся, как правило, по составу от деформируемых, что отражается в их маркировке. Например, в марках сталей для отливок добавляется буква Л (20Л, 40ХЛ и т.д.), магниевые литейные обозначаются буквами МЛ (МЛ3, МЛ5) и т.д.), а деформируемые МА (МА5, МА9 и т.д.). Поэтому недопустимо назначать для отливок типичные деформируемые сплавы, например дюралюмины, однофазные бронзы типа БрА5 и т.д.

В приборостроении наиболее часто применяют такие методы получения отливок, как литье под давлением, центробежное литье, литье по выплавляемым моделям, литье в кокиль. Эти методы позволяют получить отливки точных размеров, требующие минимальной последующей обработки резанием, и используются главным образом для цветных сплавов.

Среди сплавов на основе железа лучшие свойства имеют чугуны,

которые используются, если необходимо гашение вибрации или обеспечение совместимости (исключение задирания) трущихся пар в условиях отсутствия или недостаточности смазки. Этими свойствами чугун обладает благодаря содержанию графита в его структуре. Стальное литье в приборостроении применяется редко.

Отличными литейными свойствами характеризуются алюминиевые литейные сплавы – силумины, обладающие дополнительным достоинством – свариваемостью, что позволяет устранять дефекты литья сваркой.

Хорошими литейными характеристиками обладают оловянистые и кремнистые бронзы, магниевые сплавы, некоторые цинковые сплавы (см.ниже). Многие литейные сплавы были специально разработаны для определенного вида (или видов) литья, поэтому при выборе сплава всегда следует уточнять по справочникам его соответствие данному виду отливки.

Обрабатываемость резанием. Обрабатываемость резанием определяется способностью получения чистой поверхности после обработки на металлорежущих станках при обеспечении износостойкости режущего инструмента.

Обрабатываемость резанием большинства сталей с твердостью 150...300 НВ удовлетворительна, и поэтому они могут применяться для изготовления деталей со значительным объемом обработки лезвийным инструментом (исключение составляют аустенитные коррозионно-стойкие стали). Хорошо обрабатываются резанием чугуны. Обрабатываемость резанием не является лимитирующим фактором при выборе литейных алюминиевых и магниевых сплавов.

Плохо обрабатываются резанием пластичные однофазные латуни, бронзы, мельхиоры, высокопластичные алюминиевые сплавы, т.е. именно те сплавы, которые хорошо деформируются в холодном состоянии, так как высокая пластичность препятствует получению чистой поверхности. Низкая обрабатываемость резанием характерна для титановых сплавов.

При выборе материала для изготовления деталей с большим объемом обработки резанием прежде всего следует проверить в этом отношении возможность специальных так называемых "автоматных" сплавов. Среди сталей автоматными являются марки А12, А30, АС14, АС20ХГНМ и др. Их использование наиболее целесообразно в условиях повышенных требований к качеству поверхности и точности размеров. Среди сплавов на основе меди хорошо обрабатывается реза-

нием автоматная латунь (ЛС59-I, ЛС60-3 и т.д.) и другие сплавы, содержащие свинец.

Шлифуемость. Шлифование – один из самых распространенных способов обеспечения точных размеров и высокого качества поверхности, поэтому при выборе материала для изготовления деталей, к которым предъявляются высокие требования по шероховатости поверхности и точности размеров, необходимо учитывать его шлифуемость.

Качество шлифованной поверхности сталей повышается с увеличением ее твердости. Поэтому поверхности деталей, подвергаемые шлифованию, следует упрочнять путем термической или химико-термической обработки.

Шлифование для цветных сплавов, как правило, не применяют.

Свариваемость. Под свариваемостью понимают способность материала свариваться так, чтобы полученное сварное соединение по прочности было одинаково с основным металлом.

Существует сварка плавлением, контактная сварка.

В принципе все сплавы могут быть сварены тем или иным способом при условии выполнения специальных приемов (выбор подходящего способа сварки, создание защитных атмосфер, предварительная и последующая термическая обработка и т.д.). Однако для многих материалов сварка оказывается нетехнологичной операцией и ее использование неоправданно.

Свариваемость сталей, как правило, тем лучше, чем меньше в них углерода и легирующих элементов. С увеличением их содержания уменьшается запас вязкости и повышается закаливаемость сталей, поэтому зона сварного соединения оказывается хрупкой, что способствует образованию сварочных трещин. Хорошо свариваются малоуглеродистые (до 0,3%С) низколегированные стали.

Хорошей свариваемостью обладают пластичные однофазные алюминиевые сплавы, латуни и бронзы. Все виды сварки применимы для титановых сплавов ВТI, ВТ5, ОТ4 .

Наблюдается следующая зависимость: увеличение прочности сплавов в большинстве случаев приводит к ухудшению свариваемости. Поэтому при выборе сплавов необходимо проверять по справочникам их свариваемость.

Поведение материалов при термической обработке. Многие стали и сплавы для обеспечения высоких прочностных характеристик подвергают упрочняющей термической и химико-термической обработ-

ке. Возможность проведения такой обработки очень часто определяет выбор материала. Для сталей упрочняющая термическая и химико-термическая обработка используется наиболее широко.

Закаливаемость – способность стали увеличивать свою твердость и прочность в результате закалки. Этой способностью определяется целесообразность применения закалки как упрочняющей обработки. Углеродистые (нелегированные) стали закаливаются, если содержание углерода в них более 0,35%, легированные стали – при содержании углерода более 0,2%.

Скорость закалки углеродистых сталей очень высока (достигается при охлаждении в холодной воде). Поэтому для деталей из углеродистых сталей закалка возможна лишь в том случае, если они имеют простую форму, без резких переходов от тонких участков к массивным. Однако и у таких деталей коробление значительно.

Легированные стали требуют меньшей скорости охлаждения при закалке (достигается в масле, нагретых соляных средах и т.д.). Поэтому коробление при закалке деталей из легированных сталей меньше, чем из углеродистых, что часто и определяет их выбор взамен углеродистых. Кроме того, легированные стали могут закаливаться в штампах, что сводит деформацию деталей к минимуму.

Коробление деталей при закалке часто определяет выбор операции поверхностной закалки ТВЧ, при этом нагреваются и закаливаются лишь поверхностные слои деталей, от которых требуется высокая износостойкость. Сердцевина остается холодной, и общая деформация детали уменьшается. Кроме того, при нагреве ТВЧ, например, мелкомодульных зубьев шестерен саму шестерню можно закрепить в оправку, что дополнительно уменьшает коробление и позволяет обойтись без последующего шлифования. Поверхностная закалка имеет дополнительное преимущество: сердцевина остается вязкой и деталь при твердой износостойкой поверхности способна воспринимать ударные нагрузки.

Во всех случаях при закалке детали следует предусматривать плавные переходы от сечения к сечению, избегать поднутрений, препятствующих выходу паровой фазы.

Наибольшая деформация (коробление) наблюдается при цементации и последующей закалке, поэтому шлифование после цементации обязательно. Для легированных (мелкозернистых) сталей цементацию можно заменить нитроцементацией, при которой деформация значительно меньше, что позволяет исключить шлифование или значительно уменьшить припуск на шлифование.

Наименьшее коробление наблюдается при азотировании. Однако

высокая твердость и износостойкость азотированных слоев наблюдается лишь у специальных сталей (содержащих Cr, V, Al, Mo), что и диктует выбор марки стали. Азотированные слои требуют лишь доводочных операций (например, чистовое шлифование), так как термическую обработку проводят до обработки резанием.

Глава 2. КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

2.1. Общая характеристика сталей

В конструкциях приборов и машин широко применяются стали благодаря их высоким механическим характеристикам, технологичности и низкой стоимости. Кроме того, механические характеристики сталей могут в значительной степени меняться в результате термической и химико-термической обработки.

Для изделий из стали разработаны системы защитных и декоративных покрытий, позволяющие применять их в различных коррозионных средах и придавать изделиям красивый внешний вид.

Для каждой конкретной марки стали существует одно или несколько состояний, в которых ее наиболее выгодно использовать в конструкциях. Поэтому в таблицах механических характеристик приводят лишь те данные, которые необходимы для описания свойств стали в состояниях и при которых она обычно применяется в готовом изделии, а также в состояниях, характерных для различных технологических процессов переработки в изделие. В последнем случае нормализуются те показатели, которые характеризуют технологичность стали при том или ином процессе обработки.

Так, например, для сталей 45Х и 50Х типичным является улучшение (закалка + высокий отпуск). Именно для этого состояния и приведены наиболее полно механические характеристики сталей. Отожженное состояние характеризуется одним параметром твердости (НВ 229), что говорит о возможности обработки сплава резанием и давлением. Значения $\sigma_т$, $\sigma_в$ и σ_{-1} для отожженного состояния не представляют интереса, так как в этом состоянии данные марки сталей не используются в конструкции.

Если при термической обработке используют нагрев ТВЧ, то таблицы могут содержать сведения о твердости и поверхностного слоя, и сердцевины детали. Однако следует помнить, что эти значения зависят от размеров сечения детали и прокаливаемости сплава.

Различают углеродистые, легированные, высоколегированные стали и стали со специальными свойствами. В свою очередь каждый тип стали делится на группы в зависимости от назначения и характеристик.

2.2. Стали углеродистые качественные по ГОСТ I050-74

Стали углеродистые качественные (усредненные механические характеристики приведены в табл.6) имеют более жесткие допуски на химический состав и механические характеристики, чем стали углеродистые общего назначения. Это позволяет получить тонкую градацию технологических свойств стали и гарантировать заданное качество изготовленных из нее деталей.

Низкоуглеродистые стали этой группы (05кп,08кп,08пс,08,10кп, 10пс,10,15кп,15пс,15,20кп,20пс,20,25) обладают высокой пластичностью и свариваемостью. Из листовой стали этих марок можно изготовлять штампованные и свариваемые кожухи, детали глубокой вытяжки, корпуса, детали, получаемые развальцовкой и гибкой, рычаги, кронштейны и т.п. При цементации и цианировании эти стали приобретают высокую твердость поверхности, что хорошо сохраняет детали из них при работе на истирание (различные пальцы шарнирных соединений, кулачки, зубчатые звездочки, детали неответственных направляющих и каретки).

Стали 30 и 35 обладают высокой прочностью и вязкостью сердцевины после закалки ТВЧ и низкого отпуска. Из них изготовляют валики, шлицевые, кулачковые и другие валики неответственного назначения, имеющие небольшой перепад размеров.

Стали 40 и 45 обычно применяют как улучшаемые стали, обеспечивающие высокую твердость поверхности деталей и высокие механические характеристики. Из этих сталей для приборов можно изготовлять зубчатые колеса, валы-шестерни и другие детали средних размеров.

По ГОСТ 4543-7I выпускаются стали качественные углеродистые с повышенным содержанием марганца (I5Г,20Г,25Г,I0Г2,30Г,35Г,40Г, 50Г,60Г,65Г,70Г,30Г2,35Г2,40Г2,45Г2,50Г2) при сохранении основного состава соответствующих номеров марки стали. Эти стали имеют несколько более высокие механические характеристики, чем нелегированные стали по ГОСТ I050-74 [3].

2.3. Легированные стали

Для изготовления самых ответственных деталей приборных конструкций применяют легированные стали, обладающие более высокими механическими и технологическими характеристиками. Эти стали обычно классифицируют по легирующим элементам (хромистые, хромоникелевые, хромованадиевые и т.п.). Однако внутри каждой группы сталей имеются технологические признаки классификации (улучшаемые

стали, цементируемые, азотируемые, стали для обработки давлением и т.п.).

Таблица 6

Марка стали	Состояние, термообработка	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	Твердость	σ_{-1}, МПа	τ_{-1}, МПа
08	Н	370	200	–	–	–
	О	330	–	131 НВ	–	–
10	Н	345	210	–	–	–
	О	325	–	143 НВ	–	–
	НГ	420	–	187 НВ	–	–
	ХВ	450	–	131 НВ	–	–
20	О	400	–	163 НВ	–	–
	НГ	500	–	207 НВ	–	–
	Н	480	250	127...167 НВ	210	130
	Ц	550	325	55...63* НВ	–	–
35	О	480	–	187 НВ	–	–
	НГ	600	–	229 НВ	–	–
	Н	540	320	207 НВ	250	130
	З.со	760	590	207 НВ	–	–
45	Н	610	360	241 НВ	280	140
	О	–	–	197 НВ	–	–
	З.но	1400	1350	335...492 НВ	–	–
	ГК	640	360	229 НВ	–	–
	У	490	476	–	338	–
	ТВЧ.о	–	–	51...61 $HRC_э$	–	–

* Твердость поверхности.

Пример обозначения марки стали на чертежах деталей:

Сталь 45 ГОСТ 1050-74.

Для изготовления деталей механизмов, работающих при нормальных условиях в некоррозионных средах, можно рекомендовать стали с повышенной и высокой обрабатываемостью резанием (так называемые автоматные стали) по ГОСТ 1414-75 и низколегированные хромистые стали по ГОСТ 4543-71 (усредненные механические характеристики приведены в табл.7). Это недорогие и недефицитные стали, практически удовлетворяющие широкому диапазону требований конструктора и технолога.

Таблица 7

Марка стали	Состояние, термообработка	$\sigma_т$, МПа	$\sigma_в$, МПа	σ_{-1}, МПа	Твердость
15Х	З.но	500	700	320	–
	О	–	–	–	179 НВ
	Ц	–	–	–	57...63 $HRC_э$* 250** НВ
	НГ	–	–	—	217 НВ
20Х	З.но	650	800	–	–
	О	–	–	–	179 НВ
	Ц	630	850	590	55...63 $HRC_э$* 250** НВ
	Н	360	600	590	174...217 НВ
40Х	З.но	800	1000	–	36...44 $HRC_э$* 235...255** НВ
	О	–	–	–	217 НВ
	ТВЧ.о	–	–	560	более 46 $HRC_э$*
	Н	620	840	–	235 НВ
	У	–	860	380	380 НВ
	НГ	–	–	–	269 НВ
45Х	У	850	1050	600	230...280 НВ
	О	–	–	–	229 НВ
	ТВЧ.о	–	–	–	более 46 $HRC_э$
50Х	У	900	1100	–	302...341 НВ
	О	–	–	–	229 НВ

* Твердость поверхности. ** Твердость сердцевины; сечение деталей 40...60.

Пример обозначения марки стали на чертежах деталей:

Сталь 40Х ГОСТ 4543-71.

Стали 15Х и 20Х хорошо свариваются, обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии. В цементированном состоянии дают высокую твердость и износостойкость. Применяются для изготовления цапф, валиков, кулачков, направляющих.

Стали 40Х,45Х и 50Х плохо свариваются, хорошо обрабатываются резанием. Используются в улучшенном и нормализованном состоянии для изготовления валиков, осей, зубчатых колес, деталей кулачковых валиков, стяжных шпилек, болтов и других деталей ответственного назначения.

Стали конструкционные повышенной и высокой обрабатываемости резанием (автоматные стали) по ГОСТ 1414-75. Стали предназначены для обработки резанием на станках и автоматах и для обработки давлением в горячем состоянии с последующей обработкой резанием. Сталь поставляется в одном из трех состояний: без термической обработки, термически обработанная (Т), нагартованная (Н) - калиброванная сталь и серебрянка. По химическому составу эти стали могут быть углеродистыми сернистыми (А11,А12,А20,А30,А35,А40Г) и легированными (легирующие элементы: свинец, селен, хром-селен, марганец-свинец) [3]. Усредненные механические характеристики сталей приведены в табл.8.

Указанные стали характеризуются возможностью получения поверхности высокого качества при лезвийной обработке, обеспечивают высокие скорость резания и стойкость инструмента. Изготовленные из них детали могут применяться как без термической обработки, так и с последующей термической обработкой для получения необходимых механических свойств (закалка с низким отпуском, улучшение, цементация, цианирование, нитроцементация).

Из таких сталей изготовляют детали сложной конфигурации, к которым предъявляются высокие требования по точности и шероховатости поверхности (ходовые винты, зубчатые колеса, оси, валики, направляющие, рычаги, детали счетных машин и т.п.). Однако у этих сталей низкое значение предела усталости σ_{-1}, особенно при наличии концентраторов напряжений в детали, и отсутствует коррозионная стойкость.

Стали повышенной прочности, вязкости и прокаливаемости по ГОСТ 4543-71. К таким сталям относятся: 20ХН,12ХН2,12ХН3А,20ХН3А, 12Х2Н4А,20Х2Н4А,14Х2Н3МА,18Х2Н4МА,20ХН2М,15Н2М,20Н2М,15ХМ,20ХМ. Указанные марки обладают более высокой прокаливаемостью, чем углеродистые и хромистые стали, и применяются для изготовления деталей больших сечений (толщин, диаметров). Основной вид их термической обработки - улучшение или закалка с низким отпуском (с цементацией или без нее), при этом они имеют малое коробление.

Таблица 8

Марка стали	Состояние, термообработка	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	σ_{-1}, МПа	Твердость НВ
А11	ГК	420	-	-	160
	НГ	500	-	-	207
А20	ГК	460	-	-	166
	НГ	540	-	-	217
А40Г	ГК	600	-	-	207
АС40	ГК	-	-	-	217
	НК	-	-	-	241
	Н	580	340	210* 130**	180
	У	-	-	320* 230**	241
АС35Г2	НГ	-	-	-	229
	У	750	600	-	277
АС45Г2	НГ	-	-	-	241
	Н	650	450	300	229
	У	-	-	350* 190**	229
АС12ХН	З.но	800	600	-	-
АС20ХГНМ	З.но	1200	950	-	-
АС30ХМ	У	900	750	350* 190**	248
АС40ХГНМ	У	1000	850	340* 190**	269
АЦ20ХГНМ	У	1400	1200	-	-
АСЦ30ХМ	У	900	750	-	-

Пример обозначения на чертежах деталей: Сталь АС40ХГНМ ГОСТ 1414-75.

* Гладкий образец; ** Надрезанный образец.

Цементированный слой характеризуется очень высокой твердостью и износостойкостью поверхности, что позволяет применять эти стали в ответственных узлах трения приборов (кулачковые механизмы, направляющие, червяки червячных передач, цапфы опор скольжения и т.п.). Особенностью этих сталей является отсутствие хладно-

ломкости, поэтому их применяют в условиях большого перепада рабочих температур (I2ХН2 и I2ХН3А до -80°С, 20ХН3А и I2Х2Н4А до -70°С).

Стали указанных марок имеют ограниченную свариваемость (при этом необходима специальная технология) и применяются в основном для изготовления деталей резанием (лезвийным и абразивным инструментом). Усредненные механические характеристики некоторых марок сталей представлены в табл.9.

Таблица 9

Марка стали	Состояние, термообработка	$\sigma_т$, МПа	$\sigma_в$, МПа	σ_{-1}, МПа	Твердость	
					HRC$_э$ поверхности	HB сердцевины
20ХН	З.но	600	800	–	–	–
	Ц	650	850	–	62	250
I2ХН2	З.но	600	800	–	–	–
	Ц	600	800	–	62	249
	У	–	760	330	–	–
	О	–	–	–	–	207
I2ХН3А	З.но	700	950	390	–	–
	Ц	950	I000	–	63	302
	О	–	–	–	–	2I7
20ХН3А	У	750	950	340	–	–
	Ц	700	900	–	62	240
I2Х2Н4А	З.но	950	II50	530	–	–
	О	300	500	–	–	255
	Ц	950	I200	–	62	302

Пример обозначения на чертежах деталей:
Сталь 20ХН3А ГОСТ 4543-7I

Улучшаемые хромоникелевые конструкционные стали с пониженным содержанием никеля. Эта группа сталей обладает более высокими пластичностью и вязкостью, чем хромистые стали, при высокой механической прочности. Из них можно изготовлять детали (зубчатые колеса, сложные валики, кулачки и т.п.) значительных размеров (толщина стенки до I00 мм) без существенного снижения прочности. Эти стали менее чувствительны к надрезам, чем хромистые, хорошо выдерживают динамические нагрузки. Коррозионная стойкость у них низкая. Они предназначены для обработки резанием (из готового

проката или поковок). Их следует применять в тех случаях, когда обработку деталей производят в улучшенном состоянии (нарезание зубчатого венца, обработка отверстий под установку штифтов и т.п.) без последующей термической обработки.

Усредненные механические характеристики некоторых марок сталей представлены в табл.I0.

Таблица I0

Марка стали	Состояние, термообработка	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	σ_{-1}, МПа	$a_н$, $\frac{Дж}{см^2}$
40ХН	У	II00	800	394	70
45ХН	У	II50	850	–	70
50ХН	У	I200	900	–	50

2.4.Стали для силовых упругих элементов приборов. В приборных устройствах силовые упругие элементы имеют разнообразную конструкцию (плоские, лепестковые, дисковые, сферические, стержневые плоские и пространственные) и подвергаются различным по характеру нагрузкам (статическим, знакопеременным и знакопостоянным динамическим). Для изготовления упругих элементов применяются углеродистые и легированные рессорно-пружинные стали, а также некоторые инструментальные. Они имеют высокий предел упругости и текучести, высокую релаксационную стойкость. Пружины, работающие при тяжелых динамических нагрузках, изготовляют из сталей с высокими пределами усталости.

В приборных устройствах пружинные стали используют как конструкционные (неупругие) в тех случаях, когда требуется повышенная износостойкость, твердость деталей (измерительный инструмент, микровинты, плунжеры пневмо- и гидросистем, поршни успокоителей, кулачки и толкатели, иглы и седла клапанов пневмосистем управления, керны, центра, цапфы опор и т.п.).

Сталь 65Г (ГОСТ I4959-79) применяется для изготовления пружин, работающих при нормальной температуре. Выпускается в виде круглой проволоки, ленты и листа для изготовления плоских, спиральных и винтовых пружин. Винтовые пружины навиваются в холодном состоянии без последующей термической обработки. Свариваемость плохая. Применяется также для изготовления пробивных пуансонов перфораторов и отрезных ножей, цанг, стопорных колец и т.п.

Стали У7...У13, У7А...У13А (ГОСТ 1435-74) выпускаются в виде отожженной и нагартованной ленты толщиной 0,08...3,0 мм и проволоки круглого сечения ϕ 0,14...8 мм. Из этих сталей изготавливаются пружины, навиваемые в холодном состоянии и не подвергаемые закалке ($\sigma_в$ = 1000...3100 МПа), а также детали измерительных инструментов, калибров, микровинтов, шаблонов и копиров.

Стали 60С2, 60С2А (ГОСТ 14959-79) применяются в тех же случаях, что и стали 65 и 65Г.

Стали 50ХГ, 50ХГА (ГОСТ 14959-79) служат материалом для ответственных пружин, работающих при циклических нагрузках. Стали хорошо закаливаются до 58...60 $HRC_э$. После изготовления пружин рекомендуется термическая обработка.

Стали 50ХФА, 50ХГФА (ГОСТ 14959-79) применяются для изготовления ответственных пружин, работающих при повышенных температурах (до 300°С) и высокочастотных циклических нагрузках. Рекомендуется термическая обработка.

Сталь 30Х13 (ГОСТ 5632-72) используется для изготовления пружин, работающих в агрессивных средах с рабочей температурой до 300°С, мерительного, медицинского инструмента, различных клапанов, плунжеров и т.п.

Сталь 40Х13 (ГОСТ 5632-72) применяется в тех же случаях, что и сталь 30Х13 при работе до 400°С.

Сталь 12Х18Н9Т (ГОСТ 5632-72) используют для работы в агрессивных средах и температуре до 600°С. Сталь применяют в наклепанном состоянии. Она имеет хорошие технологические свойства – штампуемость, свариваемость, допускает глубокую вытяжку.

Стали 40КХНМ, 40КНХМВТЮ (ГОСТ 10994-74) являются немагнитными сплавами, коррозионно-стойкими, дисперсионно-твердеющими. Из них изготавливаются спиральные пружины часовых и других механизмов, витые цилиндрические пружины, пружины амортизаторов, керны измерительных приборов. Сплавы высокопрочные, применяются в наклепанном состоянии.

Стали 36НХТЮ, 36НХТЮ5М (ГОСТ 10994-74) являются немагнитными сплавами со стабильными упругими свойствами. Применяются для чувствительных элементов приборов.

Стали 42НХТЮА, 43НКТЮ (ГОСТ 10994-74) представляют собой коррозионно-стойкие сплавы с малым температурным коэффициентом модуля упругости. Используются для изготовления упругих элементов точных колебательных систем (волосков, балансов часов и т.п.)

Рабочие температуры до 300°С.

Сталь 97НЛ представляет собой коррозионно-стойкий сплав с рабочей температурой до 300°С, с низким удельным электросопротивлением (0,95 Ом.м/мм^2). Применяется для изготовления токопроводящих упругих элементов.

Усредненные механические характеристики некоторых марок сталей и сплавов приведены в табл. II.

Таблица II

Марка стали или сплава	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	σ_{-1}, МПа	τ_{-1}, МПа	Твердость
65 (проволока)	НГ	1100	1100	–	350	–
	У	1000	800	350	–	48...51 $HRC_э$
	ГК-Н	820	430	–	–	255 НВ
65Г	О (лента)	650	–	–	–	–
	НГ	1000	–	–	–	–
	У	1000	800	660	–	–
	ГК	–	–	–	–	269 НВ
	Н	860	420	–	–	–
60С2А	У	1600	1400	500	300	388...477 НВ
						269 НВ
0	НГ (лента)	1200	–	–	–	–
50ХГА	У	1300	1200	520	–	400 НВ
				640*		
50ХФА	У	1300	1100	520	–	43...51 $HRC_э$
				670*		
30Х13	З.но	1700	1420	730	–	49 HRC
	У	950	770	–	–	44...51 $HRC_э$
	О	550	500	–	–	207 НВ
40Х13	З.но	1700	1420	710	–	50 HRC
	У	950	770	–	–	40...50 $HRC_э$
	НГ	–	110	–	–	–
	Н.во	1020	830	–	–	–
	О	560	500	–	–	–
12Х18Н9Т	З	550	300	240	–	–
40КНХМВТЮ	З.Н.С.	2100	1900	–	–	НУ550...600
36НХТЮ	З.С.	1200	900	–	–	340 НВ

* Полированный образец.

Глава 3. СПЛАВЫ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

3.1. Сплавы на основе меди

Конструкционные сплавы на основе меди имеют высокую теплопроводность, коррозионную стойкость, полируемость, свариваемость, паяемость. Среди них есть сплавы с исключительно высокой обрабатываемостью давлением в холодном или горячем состоянии и сплавы с хорошими литейными свойствами. Многие медные сплавы характеризуются высокими антифрикционными свойствами.

Для медных сплавов характерны следующие недостатки: значительная плотность (8,9 г/см^3), большой коэффициент линейного расширения (α = 16,4 x 10^{-6} 1/град), малый модуль упругости (E = 1,15 x10^5МПа). Большинство медных сплавов (за исключением специальных сплавов, см. ниже) плохо обрабатываются резанием, не шлифуются. Эти сплавы дороги и дефицитны.

В приборостроении наиболее широко применяются латуни и бронзы, реже в качестве конструкционного материала мельхиор, нейзильбер, медноникелевые сплавы.

Иногда использование медных сплавов диктуется их специальными свойствами: высокой электропроводностью, неферромагнитностью, способностью сохранять пластичность при криогенных температурах, декоративным внешним видом, создаваемым различными покрытиями. Медные сплавы упрочняются чаще всего наклепом. Упрочняющая термическая обработка применяется лишь для бериллиевых бронз типа БрБ2, алюминиевой бронзы Бр АЖН 10-4-4 и кремнистой бронзы Бр КН1-3.

Деформируемые латуни

Латуни, обрабатываемые давлением, особенно двойные, содержащие только медь и цинк, относятся к наиболее пластичным конструкционным материалам. Эти латуни прекрасно деформируются в холодном состоянии. Их выпускают в виде листов, лент, полос, проволоки, труб, прутков и используют для изготовления деталей всеми видами холодной обработки давлением, включая глубокую вытяжку (кожухи реле, экраны катушек, корпуса малогабаритных редукторов и т.п.). Достоинством двойных и сложных латуней являются их немагнитность (за исключением латуни с железом), хорошая паяемость, полируемость. На них легко наносятся защитные и декоративные покрытия. Большинство латуней хорошо свариваются. Однако эти латуни плохо обрабатываются резанием (кроме латуней, содержащих свинец) и шлифуются. Обрабатываемость резанием улучшается с повышением твердости.

Усредненные механические характеристики деформируемых двойных латуней по ГОСТ 15527-70 приведены в табл.12.

Таблица 12

Марка латуни	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	σ_{-1}, МПа	НВ	KCU, МДж/м^2	δ, %
Л96	Мягкое	240	80	90	50	2,2	50
	Твердое	450	–	–	110	–	2
Л85	Мягкое	280	–	–	55	1,6	45
	Твердое	550	–	–	130	–	4
Л68	Мягкое	320	100	120	55	1,7	55
	Твердое	660	–	150	150	–	3
Л62	Мягкое	330	110	130	56	1,6	49
	Твердое	600	500	–	164	–	3

Латуни холоднодеформированные подвержены коррозионному растрескиванию во влажных средах, поэтому после холодной обработки давлением латунные детали следует подвергнуть низкотемпературному отжигу, если предусматривается их работа во влажной среде без защитных покрытий. Чем выше содержание цинка в латунях, тем больше их склонность к растрескиванию. Прочность латуней повышается только нагартовкой.

Двойные латуни не рекомендуется использовать в узлах скольжения в условиях сухого трения, так как в этом случае коэффициенты трения весьма значительны (0,3..0,7).

Примеры применения двойных латуней: Л96 – прокладки, шайбы, заклепки, конденсаторные трубки; Л85 – сильфоны, пружинные шайбы; Л68 – детали, изготовляемые холодной штамповкой и глубокой вытяжкой; Л62 – шайбы, уплотнительные прокладки, заклепки, втулки, штифты, стопоры. Клепанные детали следует подвергать низкотемпературному отжигу (250..300^{0}C).

Сложные многокомпонентные деформируемые латуни более широко применяются в приборостроении, чем двойные, так как они прочнее (в среднем) и, кроме того, обладают специальными свойствами: большой коррозионной стойкостью, лучшей обрабатываемостью, хорошими антифрикционными свойствами, свариваемостью и т.д. Среди сложных латуней есть сплавы для поковок и горячих штамповок. Усредненные механические характеристики деформируемых специальных латуней по ГОСТ 15527-70 приведены в табл.13.

Ниже приведены характерные свойства и области применения специальных латуней в приборостроении.

Таблица I3

Марка латуни	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	НВ	σ_{-1}, МПа	δ, %	KCV, МДж/м^2
ЛС59-I	Мягкое	400	–	90	–	45	0,5
	Твердое	650	–	I40	–	I6	–
ЛК80-3	Мягкое	350	I60	90	–	50	I,0
ЛЖМц59-I-I	Мягкое	450	–	90	–	50	0,8
	Твердое	700	–	I50	–	I0	–
ЛМцА57-3-I	Мягкое	550	200	I00	–	30	–
	Твердое	750	350	–	200	5	–

Латунь ЛС59-I наиболее часто используется для изготовления деталей с большим объемом обработки резанием (сепараторы, втулки, крепежные детали, корпусные детали, платы приборных редукторов и т.п.).

Латунь ЛК80-3 предназначена для изготовления штампованных и прессованных изделий. Хорошо сваривается со сталью. Отличается повышенной коррозионной стойкостью.

Латунь ЛЖМц59-I-I – одна из наиболее прочных деформируемых латуней, сочетающая прочность и высокую пластичность. Из нее изготовляют полосы, прутки, проволоку, трубы.

Латунь ЛМцА57-3-I – прочная, коррозионно-стойкая. Хорошо деформируется в горячем состоянии, в нагартованном состоянии. Хорошо обрабатывается резанием. Используется для изготовления зубчатых и червячных колес, втулок подшипников скольжения и т.п.

Литейные латуни

Литейные латуни имеют хорошую жидкотекучесть, способность обеспечивать плотное литье, однородность химического состава и свойств по сечению отливки. Отливки из литейных латуней получают литьем в песчанные формы, в кокиль, под давлением, центробежным литьем. Свойства отливок зависят от способа литья. На поверхность латуней легко наносятся защитные и декоративные покрытия. Упрочняющая термическая обработка не применяется (и невозможна). Латуни хорошо паяются, некоторые (например, ЛЦI6К4) хорошо свариваются со сталью, не теряют пластичности при криогенных температурах. Усредненные механические характеристики литейных латуней по ГОСТ I77II-80 приведены в табл.I4.

К недостаткам литейных латуней относится плохая обрабатываемость резанием. Исключение составляют латуни, содержащие свинец

(например, ЛЦ40С, ЛЦ25С2), которые хорошо обрабатываются резанием, так как дают "сыпучую"стружку.

Таблица I4

Марка латуни	Способ литья	$\sigma_в$, МПа, не менее	δ, %, не менее	НВ, не менее	KCV, МДж/м^2, не менее
ЛЦ40С	ЛП	2I5	I2	70	I,0
	ЛК,ЛЦ	2I5	20	80	–
ЛЦ40МцI,5	ЛП	372	20	I00	–
	ЛК,ЛЦ	392	20	II0	–
ЛЦ40Мц3Ж	ЛП	44I	I8	90	–
	ЛК	490	I0	I00	–
	ЛД	392	I0	90	–
ЛЦ40Мц3А	ЛК,ЛЦ	44I	I5	II5	–
ЛЦ38Мц2С2	ЛП	245	I5	80	–
	ЛК	343	I0	85	0,7
ЛЦ30А3	ЛП	294	80	80	–
	ЛК	392	90	90	–
ЛЦ23А6Ж3Мц2	ЛП	689	I60	I60	–
	ЛК,ЛЦ	705	I65	I65	–
ЛЦI6К4	ЛП	294	I00	I00	–
	ЛК	343	II0	II0	I,2

Примечание: в таблице приведены минимальные гарантируемые механические свойства.

Детали, требующие наибольшей гидравлической плотности (до 30 МПа), следует отливать из латуни ЛЦI6К4.

Наибольшей коррозионной стойкостью отличаются латуни, содержащие алюминий, кремний (ЛЦ30А3, ЛЦI6К4). Наилучшее качество поверхности имеют отливки из алюминийсодержащих латуней.

Из литейных латуней обычно изготовляют детали сложной формы, втулки и сепараторы подшипников, зубчатые колеса, гайки ходовых винтов, каретки направляющих, сложные кронштейны, крепежную арматуру оптических приборов больших размеров и сложной конфигурации.

При пользовании справочниками издания до I982 года следует помнить об изменении системы маркировки литейных латуней по ГОСТ I980г.

Бронзы

В приборостроении широко используются оловянистые и безоловянистые бронзы. Усредненные механические характеристики деформируемых оловянистых (ГОСТ 5017-74) и безоловянистых (ГОСТ 18175-78) бронз приведены в табл.15.

Таблица 15

Марка бронзы	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	σ_{-1}, МПа	δ, %	НВ
БрОЦ4-3	0	350	–	–	40	60
	П	550	–	–	4	160
	НГ	650	–	–	2	–
БрОФ6,5-0,15	0	400	–	–	50	650
	П	750	–	–	5	160
	НГ	800	–	–	1	200
БрА7	0	420	–	–	70	170
	П	1000	–	200	8	150
БрАЖ9-4	0	600	220	–	40	110
	П	750	350	185	5	180
БрАЖ10-4-4	0	600	250	–	35	150
	П	770	380	–	9	220
БрБНГ1,9	З,О	1400	1000	500	–	390
БрКН1-3	З,О	750	600	300	8	300

Примечание. Характеристики материалов приведены для прутков, полос, лент. Данные могут быть использованы при ориентировочных расчетах. Точные данные приводятся для отдельных видов продукции и полуфабрикатов, выпускаемых по соответствующим ГОСТам и ТУ.

Усредненные механические характеристики литейных оловянистых (ГОСТ 613-79) и безоловянистых (ГОСТ 493-79) бронз приведены в табл.16.

Оловянистые бронзы отличаются превосходными антифрикционными и литейными свойствами, коррозионной стойкостью. Основной их недостаток – дефицитность и высокая стоимость. Поэтому использование высокооловянистых бронз может быть оправдано только при условии, если предъявляются особо высокие требования к антифрикционным и литейным характеристикам.

Алюминиевые бронзы – полноценные заменители оловянистых бронз,

превосходящие их по прочности, но уступающие по антифрикционным и литейным свойствам.

Таблица 16

Марка бронзы	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	σ_{-1}, МПа	δ, %	НВ
БрОЦ10-2	ЛЗ	250	150	–	10	90
	ЛК	280	180	–	8	100
БрОФ10-1	ЛЗ	300	150	–	5	90
	ЛК	350	200	–	8	110
БрОЦС5-5-5	ЛЗ	200	–	–	16	60
	ЛК	230	100	–	12	70
БрАЖ9-4Л	ЛЗ	450	180	150	10	110
	ЛК	550	200	180	12	120
БрАЖН10-4-4Л	ЛЗ	550	300	150	8	140
	ЛК	650	400	250	10	160

Примечания: 1) бронзы БрОЦ10-2 и БрОФ10-1 нестандартные; 2) бронза АЖН10-4-4Л может подвергаться упрочняющей термической обработке на твердость 350 НВ.

Кремнистые и бериллиевые бронзы занимают особое место: упрочняющая термическая обработка (закалка + старение) позволяет получить комплекс отличных механических свойств: высокий предел упругости, износостойкость, циклическую прочность. Поэтому они применяются для изготовления различных пружин и износостойких деталей. Из-за весьма высокой стоимости бериллиевые бронзы используются главным образом для изготовления упругих чувствительных элементов. Другие пружинные детали изготовляют из кремнистых бронз.

Примеры применения и свойства оловянистых и безоловянистых литейных бронз

БрОЦ10-2 (нестандартная) отличается высокими литейными и антифрикционными свойствами. Предназначена для получения сложных отливок с резкими переходами по толщине. Хорошо паяется, удовлетворительно сваривается.

БрОФ10-1 (нестандартная) имеет исключительно высокие антифрикционные и хорошие литейные свойства, хорошо обрабатывается резанием, удовлетворительно сваривается. Применяется для сложного фасонного литья, подшипников, шестерен, вкладышей, работающих при больших давлениях и скоростях.

Высокооловянистые бронзы дефицитны!

БрОЦС5-5-5 применяется для антифрикционных деталей. Хорошо обрабатывается резанием, плохо сваривается.

БрАЖ9-4Л используется для фасонных отливок, обеспечивает большую прочность.

БрАЖН10-4-4Л превосходит оловянистые по механическим характеристикам и коррозионной стойкости. Уступает им по литейным свойствам. Удовлетворительно обрабатываются резанием. Идет на изготовление корпусных деталей, шестерен, венцов зубчатых колес, червячных колес.

Примеры применения и свойства деформируемых оловянистых и безоловянистых бронз

БрОЦ4-3 имеет наилучшую обрабатываемость давлением. Поставляется в прутках, полосах, лентах, в виде проволоки. Предназначена для изготовления упругих деталей. Плохо обрабатывается резанием. Хорошо сваривается. Из нее изготовляют всевозможные штампованные детали.

БрОЦ6,5-0,15 обладает наиболее высокой прочностью среди оловянистых деформируемых бронз. Предназначена для изготовления износостойких антифрикционных деталей (небольшого размера) и пружин. Плохо обрабатывается резанием. Удовлетворительно сваривается. Имеет высокое сопротивление усталостному разрушению.

БрА7 -используется как заменитель оловянистых деформируемых бронз. Паяется хуже последних.

БрАЖ9-4 широко используется для изготовления нагруженных деталей, получаемых из прессованных полуфабрикатов или поковок (шестерни, венцы колес, валы и т.д.). Характеризуется повышенной прочностью.

БрАЖН10-4-4 применяется аналогично БрАЖ9-4, но превосходит ее по прочности. Отличительная особенность - упрочняется закалкой + старением (~НВ 400, что значительно больше, чем у остальных бронз). Хорошо обрабатывается резанием.

БрБНТ1,9 предназначена для изготовления упругих чувствительных элементов точных приборов. Обеспечивает очень высокие упругие характеристики.

БрКН1-3 в основном используется как заменитель оловянистых и бериллиевых бронз. Хорошо сверивается, паяется. Уступают бериллиевым бронзам по упругим характеристикам.

М е д н о н и к е л е в ы е с п л а в ы

Отличительная особенность медноникелевых сплавов - повышенная коррозионная стойкость, повышенный предел текучести в нагар-

товленном состоянии. Обрабатываемость давлением в горячем и холодном состоянии хорошая, резанием - плохая, степень обрабатываемости составляет 20% от обрабатываемости латуни ЛС59-1 или ЛС63-3.

Усредненные механические свойства медноникелевых сплавов (ГОСТ 492-73) приведены в табл.17.

Таблица 17

Сплав	Марка	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{с.д}$, МПа	НВ	δ,%
Мельхиор	МН19	О	350	100	70	35
		П	600	520	120	2
Нейзильбер	МНЦ 15-20	О	400	140	70	45
		П	670	600	165	2,5

Примечание. Характеристики материалов приведены для прутков, полос, лент и могут быть использованы при ориентировочных расчетах. Точные данные указываются для отдельных видов продукции и полуфабрикатов, выпускаемых по соответствующим ГОСТ и ТУ.

Область применения медноникелевых сплавов - производство приборов точной механики, пружинных деталей, конденсаторных трубок, сеток, радиодеталей, подвергаемых серебрению, и т.п.

Выпускаются в виде полос, лент, проволоки, прутков, труб.

3.2. Сплавы на основе алюминия

Применение алюминиевых сплавов в приборостроении определяется главным образом их малой плотностью (2,7 г/см^3) и хорошей коррозионной стойкостью в воздушной атмосфере, влажной среде, в пресной и морской воде.

Алюминиевые сплавы очень разнообразны по составу и свойствам (табл.18). Многие из них способны упрочняться при термической обработке по принципу закалка + старение. В отличие от сталей закаленные сплавы становятся весьма пластичными непосредственно после закалки, что позволяет проводить холодную обработку давлением, например ставить заклепки (сплав Д18П). Многие сплавы, например дюралюмины (Д1,Д16,Д18), упрочняются с течением времени при комнатной температуре (естественное старение), что дает им дополнительные технологические преимущества.

Самые высокопрочные алюминиевые сплавы типа В95 уступают по прочности сталям ($\sigma_в \approx 650$ МПа), однако по удельной прочности $\sigma_в/(\rho g)$, они находятся на уровне самых высокопрочных сталей с $\sigma_в$ = 2000...2500 МПа.

Поэтому использование алюминиевых сплавов позволяет при равной прочности уменьшить массу приборов и механизмов, что особенно важно для различных вращающихся деталей с целью уменьшения центробежных нагрузок. Эти сплавы неферромагнитны.

Таблица I8

Алюминиевые сплавы	Неупрочняемые термической обработкой	Упрочняемые термической обработкой
Деформируемые	Повышенной пластичности и коррозионной стойкости: АМц, АМг	Нормальной прочности: Д1, Д16 Высокопрочные: В95, В96, ВАД23 Жаропрочные: Д20, Д21 Повышенной пластичности: Д18–при 20°С, АК6 и АК8 при нагреве (ковочные)
Литейные	Низкой прочности: АЛ2 Антифрикционные: АО20–1, АО9–2	Нормальной прочности: АЛ3, АЛ4, АЛ9 Высокопрочные: АЛ27, АЛ23 Жаропрочные: АЛ19
Спечные	Жаропрочные: САП1, САП2 С низким коэффициентом линейного расширения и высоким модулем упругости Е: САС–1, САС–2	Нормальной прочности: Д16П Высокопрочные: В95П Жаропрочные: АК4П

К недостаткам алюминиевых сплавов следует отнести низкий модуль упругости ($E = 0{,}71 \times 10^5$ МПа), малую циклическую выносливость и значительный коэффициент линейного расширения ($23{,}8 \times 10^{-6}$ 1/град).

Алюминиевые сплавы подвергаются специальным видам термической обработки:

Т1 – старению без предварительной закалки (применяется для некоторого повышения прочности);

Т2 – отжигу (применяется для стабилизации размеров при эксплуатации и получения максимальной коррозионной стойкости);

Т4 – закалке без последующего искусственного старения (применяется для повышения прочности деталей, испытывающих ударные нагрузки);

Т6 – закалке и старению (применяется для получения максимальной твердости).

Химический состав алюминиевых сплавов (марки) устанавливается стандартом: деформируемые сплавы – по ГОСТ 4784–74, литейные сплавы – по ГОСТ 2685–75.

Механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов, зависящие от сортамента (прутки, листы, прессованные профили) и состояния их поставки, устанавливаются соответствующими ГОСТ на сортамент.

Деформируемые алюминиевые сплавы, неупрочняемые термической обработкой

Эта группа сплавов является наиболее пластичной, коррозионно-стойкой и свариваемой. Общая закономерность: с увеличением легированности (АМц–АМг6) повышается прочность, но понижаются коррозионная стойкость и свариваемость. Так, если для сплава АМц пригодны все виды сварки, при этом получается шов, равнопрочный основному металлу, то для сплава АМг6 – только водородная и контактная. Сплав АМц не уступает по коррозионной стойкости чистому алюминию, а сплав АМг6 склонен к коррозионному растрескиванию под напряжением и требует защиты лакокрасочными покрытиями или анодированием.

Поставляются в виде полуфабрикатов (лист, лента, проволока, трубы, прутки, плиты горячекатаные) в отожженном или полунагартованном состояниях; в нагартованном состоянии поставляется только сплав АМг.

Типичное применение: изготовление коррозионно-стойких легких деталей способами пластической деформации и сварки – плоских, гнутых и объемных тонкостенных (платы, кронштейны, корпуса, крышки, экраны, отражатели, детали, получаемые вырубкой, вытяжкой, высадкой). Усредненные механические характеристики деформируемых алюминиевых сплавов, не упрочняемых термической обработкой (ГОСТ 4784–74) приведены в табл.I9.

Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

По уровню прочности эти сплавы значительно превосходят сплавы типа АМг и АМц и применяются для изготовления средне- и тяжелонагруженных деталей приборов, однако уступают им прежде всего по коррозионной стойкости и свариваемости.

Дюралюмины Д1 и Д16 поставляются в виде листов (плакированных чистым алюминием с целью защиты от коррозии, в отожженном и термически упрочненном состоянии), профилей, прутков, труб, холоднотяну-

тых, в том числе фасонных, прессованных профилей, проволоки. Неплакированные детали требуют защиты от коррозии анодированием или лакокрасочными покрытиями. Нагрев сплавов выше 100°С вызывает появление склонности к коррозии под напряжением и коррозионному растрескиванию, поэтому нежелателен.

Таблица 19

Марка сплава	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	σ_{-1}, МПа	НВ	δ,%
АМц	М	130	50	55	30	23
	П	160	130	65	40	10
	НГ	220	180	70	55	5
АМг2	М	200	100	120	45	23
	П	250	210	130	60	8
АМг5	М	260	140	130	65	20
	П	300	200	140	80	8
АМг6	М	320	170	130	80	20
	П	370	250	135	95	8

Примечания: 1) условный предел выносливости σ_{-1} определен на базе 5×10^8 циклов;

2) для алюминиевых сплавов отожженное состояние обозначается буквой М.

Сплавы типа АК отличаются пластичностью при нагреве и используются для изготовления кованых и штампованных деталей.

Высокопрочные сплавы типа В95 очень чувствительны к концентраторам напряжений, имеют пониженный предел выносливости, что требует создания плавных переходов в деталях и тщательного их изготовления без забоин и царапин.

Жаропрочные сплавы АК4,Д20,Д21 надежны при нагреве до 250...300°С.

Применяются в отожженном состоянии для изготовления тех же деталей,что и из неупрочняемых сплавов,а в термически упрочненном состоянии – для деталей,получаемых резанием (в твердом состоянии): шкивов, ступиц, полумуфт, втулок, сложных кронштейнов, корпусов и т.п. Усредненные механические характеристики деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой, приведены в табл.20.

Таблица 20

Марка сплава	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	σ_{-1}, МПа	НВ	δ,%
Д1	Т2	210	110	–	45	18
	Т6	420	240	100	115	15
Д16	Т6	440	330	120	110	18
	Т6	500	390	–	120	–
В95	Т2	220	110	–	50	15
	Т6	520	440	150	120	12
	Т6	600	550	155	140	8
АК4		440	270		120	10
САП2		350	280	– –	–	5

Спечные алюминиевые сплавы (САП)

Такие сплавы получают путем спекания из соответствующих порошков, что придает им высокую степень однородности, а подбор соответствующих порошков позволяет получить комплекс превосходных свойств.

Наиболее широко применяются сплавы САП1, САП2. Они хорошо деформируются в холодном и горячем состоянии, легко обрабатываются резанием и удовлетворительно свариваются контактной и аргоно-дуговой сваркой плавлением.Их выпускают в виде различных полуфабрикатов: листов, штампованных заготовок, фольги. Наиболее характерное свойство САП – исключительно высокая жаропрочность: они надежны при температурах 300...500°С, в то время как другие, даже жаропрочные, сплавы не выдерживают температуру выше 300°С.

Сплавы САС1 и САС2 отличаются по сравнению с другими алюминиевыми сплавами более высоким модулем упругости ($E = 1 \times 10^5$ МПа) и меньшим коэффициентом линейного расширения ($\alpha = 15 \times 10^{-6}$ 1/град) и используются взамен более тяжелой стали для изготовления деталей приборов.

Литейные алюминиевые сплавы

Наиболее широко используются сплавы АЛ2,АЛ4,АЛ9,АЛ32 (МВТУ1).

АЛ2 – наименее прочный, не упрочняется термической обработкой. Применяется главным образом для изготовления фасонных и тонкостенных деталей и корпусов методами литья в землю, в кокиль и под давлением благодаря хорошим литейным характеристикам. Обладает хо-

рошей коррозионной стойкостью.

АЛ9 применяется преимущественно для получения деталей способом сварки и обработкой резанием. Отливки имеют повышенную герметичность.

АЛ32 применяется исключительно для литья под давлением при изготовлении тонкостенных деталей весьма сложной конфигурации (корпусных, кронштейнов). Усредненные механические характеристики литейных алюминиевых сплавов (ГОСТ 2625-75) приведены в табл.21).

Таблица 21

Марка сплава	Вид литья	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ	δ,%
АЛ2	ЛЗ	–	180	70	50	6
	ЛК	–	220	90	55	4
	ЛД	–	200	80	60	4
АЛ9	ЛЗ	Т6	240	210	75	2
	ЛК	Т6	250	190	90	5
	ЛД	Т1	220	120	50	2
АЛ32	ЛД	Т1	270	160	80	3

3.3. Сплавы на основе магния

Основное достоинство магниевых сплавов – малая плотность (1,8...2,0 г/см^3), что при прочности 300...400 МПа обеспечивает значительную удельную прочность $\sigma_в / \rho g$ (до 24 км). Высокая прочность достигается закалкой и старением. Сплавы парамагнитны. Недостатки – низкая коррозионная стойкость, малый модуль упругости (0,45х10^{5}МПа), большой коэффициент линейного расширения (26х10^{-6} 1/град) и низкая коррозионная стойкость, так как магниевые сплавы склонны к контактной коррозии. При соединении с другими деталями необходима изоляция грунтами или цинкование. Не допускается непосредственный контакт с алюминиевыми сплавами.

В приборостроении используются как деформируемые, так и литейные сплавы. Из них изготовляют те же детали, что и из алюминиевых сплавов.

Деформируемые сплавы магния

Деформируемые сплавы выпускаются в виде прутков, профилей, листов, а также в виде штамповок и поковок. Защита от коррозии – оксидирование и лакокрасочные покрытия.

МА1 отличается высокой (для магниевых сплавов) коррозионной стойкостью, свариваемостью. Упрочняющей термической обработке не подвергается.

МА8 кроме свариваемости и коррозионной стойкости имеет еще отличную обрабатываемость резанием.

МА5 и МА14 – наиболее прочные сплавы, подвергаются упрочняющей термической обработке. Свариваемость неудовлетворительная. Коррозионная стойкость низкая, склонны к коррозионному растрескиванию.

Усредненные механические свойства деформируемых магниевых сплавов по ГОСТ 14957-76 приведены в табл.22.

Таблица 22

Марка сплава	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	НВ	δ,%
МА1	–	250	180	35	9
МА8	Т2	250	200	55	20
МА5	Т6	320	220	65	14
МА14	Т6	350	300	68	8

Литейные магниевые сплавы

Магниевые отливки получают литьем в землю, кокиль, оболочковые формы, по выплавляемым моделям, под давлением, хотя в среднем их литейные свойства невысоки, хуже, чем у алюминиевых сплавов.

МЛ2 отличается повышенной герметичностью, свариваемостью и коррозионной стойкостью. Термической обработкой не упрочняется. Пригоден только для отливок несложной формы. Обрабатываемость резанием хорошая.

МЛ5 имеет лучшие литейные свойства по сравнению с другими магниевыми сплавами (отливки в землю, кокиль, под давлением), отлично обрабатывается резанием, свариваемость удовлетворительная. Упрочняется термической обработкой.

Усредненные механические характеристики литейных магниевых сплавов по ГОСТ 2856-79 приведены в табл.23.

3.4. Сплавы на основе титана

Исключительно высокая коррозионная стойкость, высокая прочность, малая плотность (4,5 г/см^3), очень высокая удельная прочность ($\sigma_в / \rho g$ до 80 км) титановых сплавов предопределяют их использование для изготовления прочных легких деталей, работающих в коррозионных средах, особенно при повышенных температурах

(300..600°С), когда сплавы на основе алюминия и магния уже неработоспособны. Прекрасно выдерживают титановые сплавы и криогенные температуры.

Таблица 23

Марка сплава	Вид литья	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ	δ,%
МЛ2	ЛЗ	–	120	35	30	4
МЛ5	ЛЗ	–	150	90	50	2
	ЛК	Т4	230	100	55	2
	ЛД	–	180	110	55	2
	ЛД	Т6	260	150	60	1
МЛ8	ЛК	Т6	260	170	65	4
МЛ10	ЛК	Т6	230	140	60	4

Недостатки титановых сплавов: малый модуль упругости (E = = $1,1 \times 10^5$ МПа), плохие антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием. Для устранения склонности к заеданию и уменьшения коэффициента трения титановые сплавы азотируют.

В приборостроении из титановых сплавов изготовляют немагнитные корпуса приборов, детали, работающие в коррозионных средах, крепежные детали, крыльчатки, валы, высокоскоростные шестерни и т.д.

Для титановых сплавов успешно применяют сварку в защитной атмосфере аргона, контактные методы сварки точками и встык, а также все виды механической обработки: ковку, холодную и горячую прокатку, штамповку вытяжкой, обтяжкой и т.д. Эти сплавы имеют хорошие литейные характеристики, однако в приборостроении отливки из них практически не применяются.

Усредненные механические характеристики титановых сплавов по ГОСТ 19807-74 приведены в табл.24.

Таблица 24

Марка сплава	Состояние	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ,%	KCU, МДж/м^2	НВ
I	2	3	4	5	6	7
ВТ5	0	725	725	12,5	0,45	240...300
ОТ4-I	0	675	560	30	0,75	210...250
ОТ4	0	800	600	16	0,45	210...250
ВТ4	0	950	750	18	0,45	210...250

Продолжение табл.24

I	2	3	4	5	6	7
ВТ6	З+С	1125	1025	15	–	–
ВТ14	З+С	1275	1200	8	0,3	340...370
ВТ15	З+С	1275	1200	8	0,3	340...370

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы в приборостроении и автоматике: Справочник / Под ред. Ю.М.Пятина. – М.: Машиностроение, 1982. – 528 с., ил.

2. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник / Под ред. М.Л.Бернштейна и А.Г.Рахштада, т.II. – М.: Металлургия, 1983. – 367 с., ил.

3. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник. – М.: Машиностроение, 1981. – 392 с., ил.

4. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: Справочник. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1983. – 464 с., ил.

5. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя, т.I. – М.: Машиностроение, 1982. – 728 с., ил.

Условные обозначения, принятые в пособии

I. Термообработка, состояние:

Н – нормализация;
О – отжиг;
М – мягкое состояние;
Т – твёрдое состояние;
П – полунагартованное состояние;
НГ – нагартованное состояние;
ХВ – холодная вытяжка;
ГК – горячекатанное состояние;
ХК – холоднокатанное состояние;
У – улучшение (закалка + высокий отпуск);
ТВЧ.о – закалка токами высокой частоты + отпуск;
З.но – закалка + низкий отпуск;
З.со – закалка + средний отпуск;
З.С – закалка + старение;
С – старение.

2. Способы литья:

ЛЗ – литьё в землю;
ЛП – литьё в песчаные формы;
ЛК – литьё в кокиль;
ЛВ – литьё по выплавляемым моделям;
ЛД – литьё под давлением;
ЛЦ – литьё центробежное.

Чистота поверхности и точность обработки деталей при различных технологических процессах (допустимые значения)

Вид обработки	Максимальная точность (квалитет)	Параметры шероховатости		Примечание
		R_z	R_a	
I	2	3	4	5
Литьё:				
под давлением по выполняемым моделям	I0...I5	80...I0	2,5...0,32	Параметры шероховатости и точности зависят от точности и качества форм, а также от типа и марки литейного сплава
	(9)I2...I4	–	2,5...I,25	
в кокиль	I2...I6	320...40	–	
в оболочковые формы	II...I6	320...40	–	
в стержнях	I5...I7	I60...40	–	
центробежное	I2...I6	I60...20	–	
в графитовые, гипсовые и другие формы	I2...I6	I60...I0		
Обработка давлением:				
резка	I2...I6	–	–	Точность зависит от толщины листа
вырубка чистовая	6...9	3,2...I,6 (поверхности среза)	–	
гибка	7...I5	–	–	
вытяжка	7...9	–	0,32...0,08	
Токарные работы обтачивание наружных поверхностей:				Параметры шероховатости зависят от материала заготовки, твердости её поверхности, типа резца и режимов резания
черновое	I3...I2	80	–	
чистовое	8...7	–	2,5	
тонкое	6...5	–	0,32...0,08	

I	2	3	4	5
растачивание внутренних поверхностей:				
черновое	I3...I2	80...40	–	
чистовое	9...7	–	2,5...0,63	
тонкое	6...5	–	0,32...0,08	
подрезка торца				
черновая	I2	40	–	
чистовая	II	20	–	
тонкая	8...7	–	2,5...I,25	
Сверление				
Зенкерование:				
черновое	I2...II	40	–	
чистовое	9...8	–	2,5	
Развертывание:				
черновое	9...8	–	2,5...I,25	
чистовое	7...6	–	0,63...0,32	
тонкое	6	–	0,I6	
Фрезерование:				
цилиндрической поверхностью фрезы:				
черновое	I2...I3	80...40	–	
чистовое	8...I2	20	I,25	
тонкое	6...5	–	2,5...0,63	
торцевой поверхностью фрезы:				
черновое	I2...I3	80...40	–	
чистовое	8...I2	20	I,25	
тонкое	6...7	–	I,25...0,63	

I	2	3	4	5
Абразивная обработка (чистовая):				
шлифование:				
наружное цилиндрическое	(3)4...6	–	0,I6...0,04	
внутреннее цилиндрическое	5...6	–	0,63...0,I6	
плоское				
а)чистовое	5...6	–	0,63...0,32	
б)предварительное	8...9	–	2,5...I,25	
хонингование	(2)5...6	–	0,I6...0,04	
Притирка	(2)5...6	–	0,I6...0,04	
Нарезание зубчатых колёс:				
зубофрезерование черновыми фрезами	Степень точности 4...7 по СТ СЭВ	–	I,25...2,5	28...30 $HRC_э$
шевингование зубьев (m =0,3)	5	–	0,32...0,I6	28...30 $HRC_э$
хонингование зубьев	4	–	0,I6	
притирка зубьев	4		0,63	Применяется вместо шлифования
зубошлифование	4	–	0,63	40 $HRC_э$
обкатывание зубчатых колес	4	–	0,08...0,32	30...32 $HRC_э$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
Глава I. Основные критерии выбора конструкционных материалов 5
I.I. Прочность 5
I.2. Жесткость 8
I.3. Износостойкость 9
I.4. Технологичность конструкционных материалов II
Глава 2. Конструкционные стали I6
2.I. Общая характеристика сталей I6
2.2. Стали углеродистые качественные I7
2.3. Легированные стали I7
2.4. Стали для силовых упругих элементов приборов . . . 23
Глава 3. Сплавы цветных металлов 26
3.I. Сплавы на основе меди 26
3.2. Сплавы на основе алюминия 33
3.3. Сплавы на основе магния 38
3.4. Сплавы на основе титана 39
Литература 4I