

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования «Самарский Государственный
Аэрокосмический Университет имени академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)»

Кафедра « Автоматические системы энергетических установок»

Подбор материалов для основных конструктивных элементов агрегатов, систем

Составил: Кондрашов Ю.И.

Методические указания к лабораторно-практическим занятиям по курсу:
Конструирование и проектирование агрегатов и систем ЛА и ДЛА

Самара 2014

Цель работы: Ознакомление с материалами и видами заготовок применяемых конструкторами при проектировании агрегатов систем, особенностями их применения.

Содержит сведения об основных предпосылках при выборе материала заготовок для деталей агрегатов. Требования к материалам основных элементов агрегатов, в том числе различных видов уплотнений, применяемых в агрегатах (резины, пластмасс, герметиков) широкого температурного диапазона эксплуатации.

Принятые основные обозначения:

σ_B - предел прочности при растяжении (кг/мм²)

E – модуль упругости (кг/см²)

σ_{02} - предел пропорциональности (кг/см²)

K – температура в градусах Кельвина

УН – уплотнения неподвижных соединений

УПС – уплотнения поступательно-возвратного движения

УВ – уплотнения вращательного движения

v – скорость (м/с)

РЖ – рабочая жидкость

1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МАТЕРИАЛАМ И ИХ ПРОЧНОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В развитии современного агрегатостроения за последние 20-25 лет трудно найти более быстрого прогресса, чем в области производства и применения различных материалов. Это объясняется не только появлением принципиально новых конструкций машин, но и тем, что в серийном и особенно в массовом производстве стоимость обработки в результате применения высокопроизводительных методов резко сокращается, а стоимость материалов достигает 30—60% общей стоимости изделия. Поэтому снижение веса деталей и одновременно применение материалов, имеющих повышенную обрабатываемость, является одной из основных тенденций в машиностроении. В ряде случаев уменьшение веса деталей может диктоваться стремлением не только уменьшить их стоимость, но и улучшить конструктивные параметры изделий. Поэтому при выборе материала заготовки исходят из следующих предпосылок:

- 1) конструктивной: материал должен удовлетворять техническим условиям;
- 2) технологической: материал должен удовлетворять требованиям минимальной трудоемкости на всех стадиях изготовления детали;
- 3) экономической: материал должен быть наиболее дешевым.

Выбор материала должен быть согласован не только с требованиями прочности, жесткости и облегчения веса деталей машин, но и с его технологическими особенностями — ковкостью, литейными качествами и обрабатываемостью.

Экономичность при выборе материалов не должна отождествляться только с низкой стоимостью самих материалов, так как в ряде случаев на окончательный выбор материала оказывает решающее влияние экономичность методов изготовления и обработки заготовок, зависящая от технологических свойств материала. Применение даже сравнительно дорогих высококачественных материалов во многих случаях обуславливает повышение срока службы деталей; снижение их веса и себестоимости.

Разнообразие требований, предъявляемых современным машиностроением, непрерывно вызывает к жизни применение принципиально новых материалов, например, жаропрочных, кислотоупорных, металлокерамических, пластмасс, стекла и других.

Сравнительно до недавнего прошлого в машиностроении преобладали «универсальные» материалы, каждый из которых применялся для самых различных условий работы.

По мере увеличения номенклатуры марок чугуна, стали и других металлов и их сплавов, а также неметаллических материалов их выбор начали производить все более дифференцированно, в соответствии со специфическими требованиями, предъявляемыми к работе не только каждой

детали машины, но даже отдельных элементов детали. Это предопределило возможность резкого повышения рабочих скоростей машин и снижение их веса.

Машиностроение на всех этапах своего развития стимулировало возникновение новых материалов с такими физико-механическими свойствами, которые, в свою очередь, обеспечивали его непрерывный прогресс. Так, например, непрерывное развитие авиационной промышленности вызвало появление огромного числа высокопрочных сплавов на алюминиевой и магниевой основах, а развитие реактивной техники — новых жаропрочных сплавов. Одновременно с этим происходит непрерывное повышение физико-механических свойств ранее появившихся материалов.

Чугуны

Чугун как конструкционный материал 50 лет назад обладал пределом прочности при растяжении не выше $10\text{--}15 \text{ кг/мм}^2$.

В настоящее время при шаровидной форме графита предел прочности чугуна определяется в $40\text{--}75 \text{ кг/мм}^2$, а при легировании достигает значений, превышающих 100 кг/мм^2 . Отдельные виды чугуна с шаровидным графитом имеют значительную пластичность. Деформация образца высокопрочного чугуна с шаровидным графитом при испытании на изгиб допускает при расстоянии между опорами 300 мм стрелу прогиба порядка 50 мм против $3\text{--}5 \text{ мм}$ для серого чугуна при аналогичных условиях испытания. Чугун с шаровидным графитом имеет отношение предела текучести к пределу прочности $0,1\text{--}0,8$ против $0,55\text{--}0,66$ для стального литья.

Снижение предела усталости под влиянием внешних надразов у стали доходит до $50\text{--}60\%$, в то время как у чугунов при благоприятных обстоятельствах сфероидальной форме графита оно не превосходит $20\text{--}30\%$.

Институтом машиноведения АН Украина были испытаны литые из модифицированного чугуна коленчатые валы двигателя 1-МА, проработавшие на тракторах СХТЗ-НАТИ № 1Т около 1600 ч . Испытания проводились в нормальных эксплуатационных условиях с пятикорпусными плугами. Средний износ шеек чугунных валов, не подвергавшихся термообработке, и стальных валов с закаленной поверхностью шеек оказался примерно одинаковым.

Результаты испытаний чугунных распределительных валов показали, что в равных условиях эксплуатации износ их на $38\text{--}50\%$ меньше, чем у стальных валов, а их стоимость примерно вдвое меньше стальных кованых. ЦНИИТМашем и заводом «Русский дизель» был отлит и испытан вал для шестицилиндрового мощного дизеля. Материалом служил сверхпрочный чугун с перлитной структурой металлической основы.

При испытаниях образцов, вырезанных из тела отливки вала после снятия напряжений при 550°C (толщина стенки отливки вала $80\text{--}100 \text{ мм}$), были получены следующие показатели:

Предел прочности при растяжении в кг/мм	59—65
Удлинение в %.....	5—6

Ударная вязкость (образцы без надреза, поперечное сечение 20 x 20 мм) в кГм/см^2 2,9—3,6
Твердость по Бринеллю..... 217

Такой вал из поковки потребовал бы отливки слитка весом 12 т и изготовления из него на мощном ковочном прессе поковки весом 6 т. После снятия свыше 4 т стружки получился бы, наконец, коленчатый вал весом около 2 т.

При изготовлении вала литьем расходуется всего около 4 т жидкого чугуна, снимается около 400 кг стружки, так как все поверхности, кроме рабочих поверхностей шеек, выполняются в черновом виде. Для облегчения вала шейки его выполняются полыми. В местах переходов шеек к щекам предусмотрены выемки, создающие более равномерное распределение напряжений.

При длительных стендовых (до 2000 ч) и эксплуатационных испытаниях двигателей на судовых установках на Волге и Каспийском море (до 1500 ч) износ коренных и шатунных шеек вала колебался в пределах 0,01—0,03 мм.

Горячая прокатка отожженного в течение непродолжительного времени белого чугуна, а также чугуна со сфероидальным графитом дает возможность получать сортовой материал с весьма высокими показателями механических свойств: $\sigma_b = 90-120 \text{ кГ/мм}^2$ при 2—5%. Такой чугун может найти широкую область применения, так как сочетает высокие механические свойства высокопрочных сталей с положительными свойствами чугунов.

К числу высокопрочных конструкционных чугунов относятся в основном низколегированные чугуны (т. е. с содержанием легирующих элементов 1-3%). Легированный чугун получается обычно путем применения присадок ферросплавов или природнолегированных чугунов, содержащих легирующий элемент.

Никель вводится в состав низколегированных высокопрочных чугунов обычно в сочетании с хромом с отношением $\text{Cr} : \text{Ni} = 3 : 1$. Такое сочетание при правильном выборе остальных элементов дает чугун с высокими механическими свойствами ($\sigma_b = 40-45 \text{ кГ/мм}^2$).

Перечисленные выше свойства чугунов и различные способы их модифицирования и легирования обеспечили расширение области применения чугунов как конструкционных материалов с широким диапазоном их механических свойств (табл. 1) и оказали решающее влияние не только на снижение веса конструкций машин, но и во многих случаях на вытеснение сварных и штамповых конструкций и, как следствие, на экономию проката.

Конструкционные стали

Конструкционные стали, которые до недавнего прошлого гарантировали предел прочности при растяжении не свыше 60 кГ/мм^2 , в настоящее время благодаря легированию и термической обработке обеспечивают предел прочности при растяжении до 240 кГ/мм^2 и выше.

Легированные стали в паровых турбинах высокого и сверхвысокого давления применяются для изготовления цилиндров, корпусов клапанов, рото-

ров, направляющих и рабочих лопаток диафрагм, крепежных и других деталей.

Высоколегированные материалы применяются во все возрастающем количестве и при изготовлении современных конструкций турбореактивных двигателей и газовых турбин.

Для сопоставления ниже приведены значения удельной прочности некоторых сплавов:

Хромоникелевая сталь с $\sigma_b = 120 \text{ кг/мм}^2$	15,4
Дуралюмин с $\sigma_b = 44 \text{ кг/мм}^2$	15,7
Магниевый сплав с $\sigma_b = 26 \text{ кг/мм}^2$	14,5
Титановый сплав с $\sigma_b = 100 \text{ кг/мм}^2$	22,0

Сочетание высокой прочности и легкости — наиболее важное свойство титана и его сплавов. В зависимости от выбранного допускаемого напряжения конструкция детали, Изготовленная из титана, будет иметь вес, равный лишь 0,3 веса стальной конструкции, несущей ту же нагрузку.

Применение низколегированной стали дает большие преимущества, так как уменьшение сечения полосы снижает прочность не более, чем на 20%, а замена марки стали приводит к увеличению прочности на 35%), при этом снижение конструктивной металлоемкости достигает 12,5%. , Сопоставление низколегированных сталей с углеродистыми показывает, что показатели механических свойств низколегированных сталей примерно

Таблица 1

Основные показатели механических свойств чугуна

Материал	Предел прочности при растяжении σ_b кг/мм ²	Предел упругости $\sigma_{0,002}$ в кг/мм ²	Предел Течучести $\sigma_{0,2}$ в кг/мм ²	Удлинение σ в %	Предел прочности ' при изгибе σ_u в кг/мм ²	Стр. Пр. F в мм
Серый чугун	15—20*	—	—	Практ. от	20—35	До 2,5
Перлитный чугун	20—30	—	—	сутствует	30—50	До 40
Модифицированный чугун				То же		
Ковкий чугун перлитный	28—40 *	—	—	—	50-65"	До 4,5
Ковкий чугун ферритный	До 50	—	21—30	4	—	
Сверхпрочный чугун (чугун со сфероидальной формой графита) перлитный: полученный в производственных условиях (при выплавке в вагранках	45—70 •	32—45	20—50	До 6	70—120 •*	4,6
полученный в лабораторных условиях (при выплавке в электропечах)	До 90*	До 50	До 55	До 6	До 150 •**	До 8
Сверхпрочный чугун ферритный	25—55 *	37—45	40—50	7—20	До 120 **	8-12.
Сверхпрочный чугун с	85—95*	—	18—83	2-5	150-165	6-8

игельчатой структурой металлической основы и сфероидальным, графитом (содержание $M=0,84-1,0\%$) Стальное литье (после отжига)	45—60		21—30	20-30	—	—
--	-------	--	-------	-------	---	---

* Испытаниям на растяжение подвергались образцы с $l=10d$

** Испытаниям на растяжение подвергались образцы с $l=300$ мм и $d=30$ мм

в 1,5 раза выше, чем у обычных углеродистых сталей: износостойчивости в 1,33 раза выше, показатели антикоррозийных свойств в 2—3 раза выше для стали толщиной до 4 мм и в 1,5 раза выше для стали толщиной более 4 мм. Например, для низколегированной стали 15ХСНД (НЛ2) по ГОСТу 5058-57 допускаемое напряжение при учете основных и дополнительны* нагрузок на растяжение, сжатие и изгиб составляет 2200 кг/см^2 вместо 1700 кг/см^2 , принимаемых при этих же условиях для стали Ст. 3.

Расчеты, проведенные на заводе «Сибтяжмаш» с целью подтверждения возможности и целесообразности применения стали 15ХСНД для металл»' конструкций мостов и рам тележек кранов, показали, что если бы из этой стали (вместо ныне применяемой стали Ст. 3) были изготовлены главные и концевые балки моста, то вес последних снизился бы в пределах 9,2-13,1%, а вес крана в целом — на 4,1—7,45%; при изготовлении же из указанной стали еще и рамы тележки, то вес крана грузоподъемностью, например, 200/30 т, пролетом 31 м снизился бы на 16,3 т, или на 7,45%.

Цветные сплавы

Сплавы алюминия как конструкционного материала в последние годы начали вытеснять ряд таких материалов, целесообразность которых до настоящего времени была бесспорной. В настоящее время у многих автомобильных двигателей все основные литые детали, включая блок-картер и головки цилиндров, выполняются из алюминиевых сплавов. Вес деталей двигателя из алюминиевых сплавов доходит до 47% его общего веса. Применение алюминия позволило снизить вес одного из двигателей с 206 до 140 кг, а его удельный вес (вес на единицу мощности) с 3,5 до 2,35 кг/л. с.

Увеличение прочности алюминиевых и магниевых сплавов и улучшение техники литья (литье под давлением, литье в кокиль) дали возможность изготавливать из этих сплавов заготовки деталей машин, сопоставимые по своим механическим свойствам со стальными коваными и штампованными заготовками при кратном снижении их веса. Так, например, литейные алюминиевые сплавы характеризуются пределом прочности при растяжении до $40—50 \text{ кг/мм}^2$, при удлинении до 10%,- сплавы типа дуралюмина — до 60

кГ/мм^2 при удлинении до 15—20%. Предел прочности при растяжении магниевых сплавов доходит до 30 кГ/мм^2 при удлинении до 8%. Наконец, сплавы на основе Al—Mg—Zn—Cu имеют предел прочности при растяжении $60—65 \text{ кГ/мм}^2$ при удлинении до 14%.

Хорошая обрабатываемость легких сплавов позволяет применять скорости резания, которые во много раз выше скоростей, применяемых при обработке черных металлов.

Пластмассы

За последние 25 лет особое развитие получило применение в машиностроении пластмасс, которое представляет не только указанную выше тенденцию к дифференциации применяемых материалов, но и в известной степени новое направление в конструировании машин.

Они обладают низким удельным весом, высокими механическими и диэлектрическими свойствами и плохой теплопроводимостью. Все это обеспечило их широкое распространение в различных областях машиностроения.

Заготовки деталей из пластмасс обладают наиболее совершенными конструктивными формами, тождественными с формами готовых деталей, и не нуждаются в дальнейшей механической обработке, кроме того, им легко придавать требуемый внешний вид (цвет, полированную поверхность и т. д.).

Применяемые в настоящее время пластмассы в зависимости от технологии изготовления и химического состава могут быть разделены на композиционные пластики, слоистые пластики, литые смолы, пластики на основе эфиров целлюлозы, прочие пластические материалы. В каждую из этих групп входит ряд пластиков.

Механические свойства пластмасс изменяются в довольно значительных пределах. Например, предел прочности при растяжении колеблется для композиционных пластиков от 175 до 550 кГ/см^2 , для слоистых — от 650 до 1000 кГ/см^2 , для литых смол и пластиков на основе эфиров целлюлозы — от 300 до 500 кГ/см^2 , для фибр — от 250 до 950 кГ/см^2 . Теплостойкость пластиков также весьма различна и для разных марок колеблется в пределах $40—200^\circ$.

В настоящее время из пластмасс изготавливают детали разнообразных конструктивных форм и размеров с различной толщиной стенок. Иногда применяют комбинированные заготовки, состоящие из металла и пластмассы, например, металлические втулки и шпильки с резьбой; запрессованные в пластмассу, и т. д.

Изготовление деталей из пластмасс должно получить широкое распространение в тех отраслях машиностроения, где до недавнего прошлого при изготовлении аппаратов и машин из-за физико-химических свойств перерабатываемых продуктов было технологически неизбежным применение цветных сплавов и кислотоустойчивых и нержавеющей сталей.

При частичном армировании деталей из винипластов металлическими бандажами они, как показали экспериментальные конструкции, могут работать при давлении *5 ат. и выше*

Неограниченность сырья для получения винипластов, простота его переработки, высокая химическая и достаточная температурная стойкость, возможность изготовления деталей теми же методами формо- и размерообразования, что и применяемые из металлов (штамповкой, прессованием и сваркой), при сравнительно высоких прочностных характеристиках делают возможным применение винипластов в широких масштабах вместо проката.

За последние годы пластмассы находят все большее применение в конструкциях легковых автомобилей. Так, например, в США вес деталей из пластмасс, приходящийся на один легковой автомобиль, увеличился с 4,5 до 111,3 кг. Это объясняется главным образом сравнительной простотой изготовления из пластмасс деталей сложных конструктивных форм при небольшом весе, а также рядом физико-механических свойств пластмасс: теплоизоляционной, звукопоглощающей способностью и др. Особое распространение получили армированные кислотостойкие и теплостойкие пластики. В частности, нейлон характеризуется высокой усталостной прочностью, стойкостью к абразивному износу и коррозии, а также небольшим коэффициентом трения. Особенно широкое применение получают прозрачные пластмассы типа полихлорвинила, из которых изготавливают внутреннюю прослойку безопасных стекол для автомобилей и другие детали.

Пластмассы типа органического стекла благодаря своей прозрачности и устойчивости цвета находят широкое применение для изготовления деталей. Эти пластмассы, подвергаемые металлизации, заменяют хромированные детали. Отдельные виды пластмасс используют для изготовления деталей кузова легковых автомобилей, придавая их конструктивным формам точность и законченность очертаний. Фенольные смолы с наполнителями применяют для изготовления распределительных зубчатых колес, крыльчаток водяного насоса. Полиэфирные пластмассы применяют для изготовления сальников, надежно работающих при высокой температуре.

В последнее время стали широко применять пластмассы при изготовлении контрольных приспособлений и других видов оснастки технологических процессов — кондукторов для сверления, фиксирующих приспособлений при сварочных операциях, штампов и т. п.

Металлокерамические материалы

К числу материалов, способствовавших появлению новых методов формо- и размерообразования в машиностроении, нужно отнести металлокерамические материалы, полученные методом порошковой металлургии и обладающие следующими основными преимуществами:

1) возможностью изготовления из них заготовок с физико-механическими свойствами, не присущими обычным материалам и достигаемыми при процессах легирования и модифицирования;

2) возможностью изготовления деталей, не требующих последующей механической обработки.

К достоинствам этого метода нужно отнести резкое сокращение расхода металла. При обычных способах производства деталей отходы металла составляют примерно 30%, а иногда и выше, в процессе же производства металлокерамических деталей отходы составляют не более 3—4% и, кроме того, плотность антифрикционных металлокерамических материалов вследствие их пористости на 25—35% меньше удельного веса компактных материалов.

К основным недостаткам рассматриваемого метода надо отнести сравнительно высокую стоимость металлических порошков, невозможность изготовления деталей больших габаритов и сложных конструктивных форм.

Металлические порошки первоначально получили распространение при изготовлении вкладышей для подшипников. В настоящее время изготовление металлокерамических деталей из порошковых материалов нашло широкое применение в различных отраслях машиностроения.

В последние годы широко применяются в машиностроении также и керамические материалы. Основными весьма ценными свойствами керамических материалов являются их высокое электросопротивление, а также их высокая химическая стойкость; последнее качество позволяет применять керамические материалы в химическом машиностроении, например, при изготовлении деталей насосов для перекачки кислот, растворов солей, щелочей и т. п. Решающее влияние на ряд показателей оказывает не только выбор вида материала, но и его профиля, так как этим достигается наибольшая прочность конструкции при минимальном ее весе (или при минимальном расходе металла). Так, например, сравнительный прочностной анализ сечения трубчатой, коробчатой и двутавровой форм показывает, что при равной толщине стенок и одинаковом весе они резко отличаются по прочности на изгиб и кручение. При сопоставимых результатах испытаний образец двутаврового сечения обнаружил примерно в 1,5 раза большую прочность при изгибе, чем образец трубчатого сечения,

а последний примерно в 12 раз превосходит двутавровый образец по прочности при кручении (табл. 1.2).

Так как многие детали машин работают одновременно на изгиб и кручение, то совершенно естественно, что применением соответствующих профилей можно добиться резкого снижения веса конструкций.

Изменение применяемых в настоящее время профилей проката и переход на более рациональные облегченные без снижения допускаемых нагрузок является одной из самых актуальных задач в области конструирования машин; они обеспечивают резкое снижение собственных весов конструкций машин, снижение их трудоемкости и себестоимости.

Сечение	Вес 1 пог. м в кг	Допускае- мый изги- бающий момент" в кг/см	Допускае- мый кру- тящий момент в кг/см.
Трубчатое	22	58	116
Коробчатое	22	67	113
Двутавровое	22	90	10 ⁴

Экономическая эффективность применения новых профилей проката наиболее наглядно выявляется на примерах использования полых профилей, широкополочных и тонкостенных балок.

Несколько особое место занимает прокат, имеющий профили периодического сечения; он не дает снижения веса металла в конструкциях машин, но применение этих профилей обуславливает значительную экономию расхода металла за счет уменьшения технологических потерь и, следовательно, повышение коэффициента использования проката.

Прокат, имеющий профили периодического сечения, должен найти широкое применение в ряде отраслей машиностроения: при изготовлении деталей с. х. машин — лап культиваторов, лемехов для плугов и др., в авто-тракторостроении — при изготовлении передних полуосей, распределительных валиков, в вагоностроении — при изготовлении осей, в горном машиностроении — при изготовлении средних звеньев тяговой цепи скребковых транспортеров и т. д.

2. ПРЕДПОСЫЛКИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПРИМЕНЯЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Анализ конструкций ряда агрегатов машин и наблюдение за их работой обнаруживают различную долговечность отдельных деталей одной и той же машины. Так, например, изучение работы ткацких станков на протяжении 10 лет показало, что ряд деталей был сменин несколько раз в то время как другие детали удовлетворительно работали без замены с момента монтажа станков. С учетом этого положения дифференциацией материалов достигается:

- 1) повышение долговечности неустойчивых, быстроизнашивающихся деталей;
- 2) снижение чрезмерного запаса прочности устойчивых деталей;
- 3) замена дефицитных материалов недефицитными.

Наличие большого разнообразия материалов, их профилей, методов изготовления заготовок и упрочнения деталей, возможность их дифференцированного применения облегчают задачу создания рациональных конструкций машин по сравнению с условиями, существовавшими до недавнего прошлого. Ранее противоречивые требования, которые вытекали из резко различных условий работы отдельных частей машин, вынуждали к поискам материалов совершенно необычных профилей и свойств. В ряде случаев это приводило к невозможности осуществить принципиально новые конструкции машин, что, например, имело место на протяжении десятилетий в конструкциях газовых турбин.

Изготовление деталей из нескольких материалов, соединяемых путем сварки или пайки, дало возможность привести условия работы каждой детали в отдельности и даже элементов детали в наиболее полное соответствие с характером и величиной передаваемых усилий. Этим не только были обеспечены большая надежность работы деталей, снижение их веса и себестоимости, но и ликвидировано применение дорогостоящих материалов для тех элементов деталей, где это не требуется условиями их работы и где, следовательно, высокие качества материала не используются.

Дифференциация материалов происходит не только применительно к различным условиям нагружения деталей машин, но и применительно к различным температурным условиям!

На рис. 1 показан продольный разрез автомобильного газотурбинного двигателя ТурбоНАМИ 053 и указаны температуры воздушно-газового потока. В скобках показаны температуры, которые можно ожидать в близком будущем. Автомобильные газотурбинные двигатели работают при температурах 850—925°. В табл. 3 приведены свойства некоторых жаростойких сплавов и сталей, применяемых для изготовления огневых камер газовых турбин. Дифференциация материалов приобретает нарастающее влияние на методы конструирования современных машин.

Характеристики жаростойких материалов

Марка сплава или стали	E кГ/мм ²		$\sigma_{в}$ кГ/мм'		$\sigma_{0.2}$ кГ/мм		δ %		Предел пол- Эуэчеств $\sigma_{пл}$ в кГ/мм' по общей деформации	
	20° С	800° С	20° С	800° С	20° С	800* С	20° С	800° С	700° С	800° С
ХН75МБТЮ(ЭИ602)	19 000	10 000	75	29,7	40	15 "	45	40	6.1	2,0
ХН78Т (ЭИ435) .	19 500	9 500	70	18	27	30	40	70	3,8	1,0
ХН38ВТ (ЭИ703)	20 320	15 260	60	25			40	58		$\sigma_{пл}$ 5/100 6.3
1Х25Р25ТР (ЭИ813)	19850	14 900	55-65	23-34	30—45		35—45	50—60		5
Х25Н16Г7АР (ЭИ835)	19315	—	80—94	30—34	39—45	—	47—57	15—20	—	-

Так, например, тарелка и стержень выхлопного клапана двигателя, как известно, работают при различных температурах и в различных условиях изнашивания, поэтому выбор для них различных материалов с последующей их сваркой вполне оправдывает введение лишней операции сварки в целях экономии дефицитных материалов. Конструкция червячного колеса с бронзовым венцом и чугуном корпусом также является одним из примеров дифференциации применения материалов в соответствии с эксплуатационными условиями.

К дифференцированию материалов прибегают также при изготовлении деталей с антикоррозионными свойствами. В этих случаях из антикоррозионного материала (например, нержавеющей стали) изготавливают только те элементы деталей, которые непосредственно работают в условиях корродирования.

Дифференцирование материалов применяется в производстве шпинделей, когда вместо шпиндельных головок, целиком изготовленных из легированной стали, последнюю используют только для вставных или насадных колец.

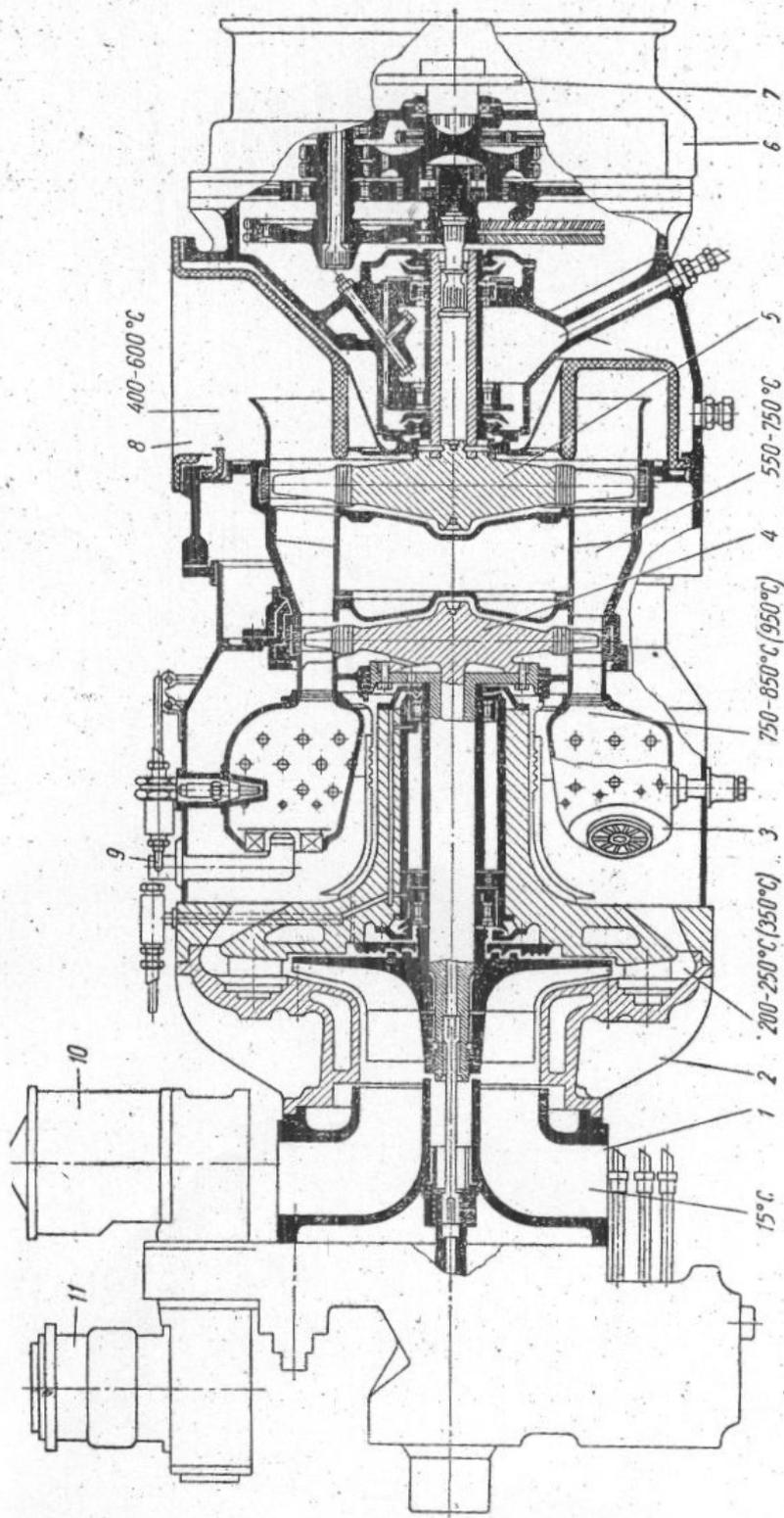
При местном износе деталей из легированной стали должны выполняться только изнашивающиеся элементы деталей.

Принцип максимальной дифференциации материалов как в применении к машине в целом, так и к каждой детали в отдельности и даже к отдельным элементам деталей обеспечивает функционально-конструктивное соответствие машин, т. е. соответствие между эксплуатационными требованиями и

физико-механическими свойствами и особенностями применяемых материалов в неизмеримо большей степени, чем это имело место до настоящего времени.

Влияние материала на себестоимость изготовления машин колеблется в широких пределах; для некоторых видов металлоемких машин стоимость основных материалов превышает приблизительно в 3 раза расходы по заработной плате, тогда как для других изделий, например для пишущих машин и приборов, затраты на материал по сравнению с расходами на заработную плату менее значительны. Поэтому выбор материалов должен основываться на сравнительном технико-экономическом анализе, так как только таким путем можно установить, какой именно материал и какой вид заготовки являются наиболее экономически целесообразными.

В ряде случаев может оказаться целесообразным применение более дорогого материала. Например, холодноотянутый металл и металл периодического проката, несмотря на их относительно высокую стоимость, получили широкое распространение потому, что стоимость изготовленных из них деталей значительно ниже по сравнению с деталями, изготовленными из обычного проката



Фиг. 133. Газотурбинный автомобильный двигатель ТурбоНАМИ 053:

1 — впускной канал; 2 — компрессор; 3 — камера сгорания; 4 — компрессорная турбина; 5 — тяговая турбина; 6 — редуктор (передаточное отношение 1/5; 3); 7 — фланец присоединения нагрузки; 8 — выпускной трубопровод; 9 — форсунка; 10 — насос гидроусилителя; 11 — тор-
мозный компрессор.

2. СУЩНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Для современных требований, предъявляемых к изготовлению заготовок деталей характерны следующие технологические тенденции:

- 1) максимально возможное снижение трудоемкости изготовления;
- 2) максимально возможное устранение механической обработки вплоть до ее полного вытеснения;
- 3) максимальная экономия металла.

Отсюда стремление к исключению ряда промежуточных стадий формообразования и размерообразования, к стиранию традиционных технологических границ между заготовительными цехами и цехами механической обработки. Предпосылками к этому послужило возникновение и развитие высокоточных способов обработки, например таких, как прецизионное литье, осуществляемое с точностью до 0,05 мм, или штамповка на механических прессах, когда предел точности изготовления заготовок деталей или отдельных элементов их совпадает в ряде случаев с пределами точности детали, заданными чертежом. Как общее правило, такая точность заготовок была достижима до недавнего прошлого только различными способами механической обработки. В настоящее время в ряде случаев понятия «заготовка детали» и «деталь» стали синонимами. Если ранее заготовка детали и деталь по своим конструкционным формам и размерам были подобны друг другу, то в настоящее время сходство заготовок и детали все более и более из стадии подобия переходит в стадию тождества, что и характеризует одну из основных тенденций развития современного машиностроения.

Заготовки деталей машин могут быть изготовлены из различных, материалов, различными методами и способами, каждый из которых предъявляет к их конструктивным формам и размерам свои специфические технологические требования, отличающие одну заготовку от другой при одном и том же целевом назначении детали.

Конструктивные формы деталей должны давать возможность в процессе изготовления заготовок получать в последних устойчивое постоянство форм и размеров. Соблюдение этого условия в особенности необходимо в серийном и массовом производстве, при котором неустойчивость размеров в заготовках делает затруднительным, а иногда и невозможным их правильное базирование в приспособлениях для последующей механической обработки. Преимущества того или иного способа изготовления заготовок следует, кроме того, оценивать под углом зрения исключения возможности таких отклонений в их конструктивных формах и размерах, которые на последующих стадиях формо- и размерообразования могут создавать значительные трудности в достижении точности, заданной чертежом готовой детали. Из сказанного вытекает необходимость при конструировании деталей исходить из вполне определенного способа изготовления и выбирать такие

конструктивные формы деталей, которые наиболее полно соответствовали бы выбранному способу изготовления заготовок, обеспечивая высокие показатели производительности и экономичности. Все это может быть достигнуто при соблюдении соответствующих технологических предпосылок конструирования.

Основными методами получения заготовок деталей являются метод литья, метод обработки давлением, из области применения которых можно выделить в качестве самостоятельного метод листовой штамповки, метод резки по копиру и метод сварки.

Выбор метода изготовления заготовок обычно не представляет особых затруднений, так как он в большей или меньшей степени регламентируется выбранным материалом. Однако каждый из основных методов включает в себе большое число возможных способов изготовления заготовок.

Это многообразие способов и возможность их комбинирования, а также границы применимости каждого способа в зависимости от масштабов производства, точности изготовления и особенностей конструктивных форм и размеров заготовок обуславливают такое число сочетаний различных факторов, что выбор способа изготовления заготовок становится все более и более сложной технико-экономической задачей. В ряде случаев разные методы и их способы и даже разные способы одного метода могут одинаково надежно обеспечить технические требования, предъявляемые к заготовке. Поэтому одновременно с расчетами на прочность необходимо путем сопоставления возможных методов и способов изготовления заготовок выбрать такие из них, которые в наибольшей степени отвечают конструктивным, технологическим и экономическим требованиям.

Это сопоставление может проводиться по одному из пяти основных вариантов:

1) выбор одного из основных указанных выше методов получения заготовок деталей машин;

2) комбинирование различных методов получения заготовок (литье — обработка давлением, литье — сварка, литье — обработка давлением — сварка, обработка давлением — резка);

3) выбор одного из способов получения заготовки внутри одного и того же метода (например, свободная ковка, молотовая штамповка, штамповка на прессе, штамповка на горизонтально-ковочной машине);

4) комбинирование различных способов внутри одного и того же метода получения заготовки (свободная ковка — штамповка, молотовая штамповка — высадка на горизонтально-ковочной машине, периодический прокат — штамповка);

5) комбинирование способов различных методов (штамповка на горизонтально-ковочной машине — стыковая сварка, листовая штамповка — точечная сварка).

При выборе одного из возможных способов изготовления заготовки нужно исходить не только из присущих им экономических показателей, но также из того, какое влияние они оказывают на снижение трудоемкости последующих

способов формо- и размерообразования. Например, сравнивая целесообразность применения различных способов получения литой заготовки без учета трудоемкости механической обработки, легко отдать предпочтение заготовке, отлитой в разовые формы, в то время как уменьшение трудоемкости механической обработки при отливке в постоянные формы делает выгодным применение этого способа отливки.

Таким образом, сравнительный анализ должен быть основан на одновременном анализе трудоемкости способов формо- и размерообразования заготовок и их механической обработки и выборе такого их сочетания, при котором обеспечивается наименьшая себестоимость готовой детали при прочих равных условиях.

Переход на более точные способы изготовления заготовок (от свободнойковки к точной штамповке, от литья в разовые формы к литью в постоянные формы и т. д.) нередко бывает связан с повышением стоимости заготовки, и основной экономический смысл данного перехода должен заключаться в таком снижении трудоемкости механической обработки, а в некоторых случаях и сборки, которое делало бы переход на эти более точные способы экономически целесообразным.

Даже при небольшом объеме производства в ряде случаев имеется возможность перехода на более точные и производительные способы изготовления заготовок, так как более дорогая заготовка, будучи получена с меньшими допусками и с большей точностью, может оказаться в конечном счете выгоднее дешевой; иными словами, более точная заготовка по своим конструктивным формам и размерам будет находиться в более близких границах подобия по отношению к готовой детали, в результате чего она будет менее трудоемкой при механической обработке. Поэтому способы изготовления заготовок деталей машин нужно рассматривать с точки зрения комплексной точности формо- и размерообразования — первичной, вторичной и третичной.

Каждая из указанных стадий формо- и размерообразования, осуществляемая тем или иным способом, по-своему влияет на конструктивные формы заготовок деталей и предопределяет часто совершенно специфические для них особенности конструирования. Первая стадия непосредственно связана с методом и способом изготовления заготовки, вторая стадия — с характером и трудоемкостью механической обработки и третья — с характером и трудоемкостью сборки. Все указанные стадии связаны друг с другом, так как чем выше точность предыдущей стадии, тем меньше трудоемкость последующей. Ряд современных способов первичного формо- и размерообразования (литье под давлением, прецизионное литье, штамповка на механических прессах) предопределяет снижение трудоемкости последующих стадий и в перспективе их вытеснение.

В ряде случаев может происходить стирание технологических границ различных стадий формо- и размерообразования, когда первичная его стадия

приобретает технологические особенности конечной (вторичной) и обеспечивает формы и размеры детали, заданные чертежами.

Таким образом, все указанные стадии формо- и размерообразования нужно рассматривать под углом зрения степени геометрического подобия форм и размеров заготовки детали по сравнению с формами и размерами детали, изготовленной из этой заготовки. Степень геометрического подобия является тем критерием, который отличает заготовку детали от самой детали, и такой критерий является часто основным при оценке того или иного способа изготовления заготовок. В этом отношении допуски на заготовку и допуски на ее конечную точность являются своеобразными показателями геометрического подобия. В тех случаях, когда допуски на заготовку совпадают с допусками на точность изготовления детали, понятия «заготовка» и «деталь» технологически совпадают; при этом имеет место максимальная экономия металла за счет устранения технологических отходов.

Экономичность изготовления заготовок деталей осуществляется:

- 1) при изготовлении заготовки детали — стадия первичного формо- и размерообразования;
- 2) при механической, обработке детали — стадия вторичного формо- и размерообразования.

При изготовлении заготовки экономия в основном достигается за счет:

- а) уменьшения расхода материала;
- б) применения материалов лучшей обрабатываемости;
- в) применения наиболее точного и производительного способа в пределах заданного масштаба производства;
- г) изменения конструкции заготовок;

При механической обработке экономия в основном достигается за счет:

- а) применения способа первичного формо- и размерообразования, дающего наибольшую возможность в пределах заданного масштаба производства получить наибольшее геометрическое подобие заготовки и детали;
- б) сокращения ряда операций;
- в) применения производственных способов обработки и их технологической оснастки в пределах заданного масштаба производства.

В течение последних двух десятилетий можно совершенно отчетливо наблюдать непрерывно растущую тенденцию, выражающуюся в стремлении к переносу наиболее трудоемких формо- и размерообразующих операций из сферы последующих стадий в область предыдущих, например из стадии механической обработки снятием стружки в стадию объемной штамповки, что предопределяет не только резкое сокращение технологических методов обработки металла, но и трудоемкости изготовления; наоборот, в более раннем периоде развития техники машиностроения прерогатива формо- и размерообразования принадлежала только последующим стадиям. Это наблюдается и в настоящее время в условиях индивидуального производства, когда из заготовок, имеющих весьма малое геометрическое подобие с готовой

деталью, путем того или иного способа обработки резанием как бы выкраивают ее окончательные формы и размеры, в то время как одно из основных направлений современного машиностроения состоит в достижении максимального геометрического подобия конструктивных форм и размеров заготовки детали и готовой детали, стремящегося в пределе к их тождеству.

В силу этого конструктором совместно с технологом на стадии проектирования выбор метода и способа изготовления на основе сравнительного технико-экономического анализа.

3. ОСНОВЫ ПОДБОРА МАТЕРИАЛОВ КОНСТРУКТОРОМ ДЛЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АГРЕГАТА

Наиболее важными узлами в устройствах агрегатов, обеспечивающих герметичность (непроницаемость) являются уплотнительные соединения, повреждение которых составляет до 70% всех повреждений, приводящих к отказам агрегатов. От правильного и обоснованного выбора материала уплотнительного элемента напрямую зависит надежность функционирование агрегата.

Особые требования предъявляются к высокотемпературным агрегатам. От качества материала уплотнительных поверхностей в большой степени зависит надежность затворов агрегатов. Обычные стали перлитного, мартенситного и аустенитного классов в большинстве случаев не пригодны для работы в условиях температуры до 873 К.

Основные требования, предъявляемые к материалам уплотнительных поверхностей;

- сопротивляемость к воздействию тепловых ударов и стабильность структуры при длительном воздействии высоких температур;

- пластичность, для устранения разрушения при ударных нагрузках;

- материалы для уплотнений подбираются так, чтобы коэффициенты линейного расширения были близки по значению;

- материалы уплотнительных поверхностей седел и тарелей клапанов должны иметь высокую жаростойкость и достаточную твердость при температуре до 873К, а также обеспечивать минимальный коэффициент трения.

Кроме того, исходя из эксплуатационной надежности с учетом долговечности работы затворов с наплавленными поверхностями, предъявляются специальные требования к материалам уплотнительных поверхностей:

- обеспечение постоянства структуры и твердости по всей высоте наплавленного слоя, постоянства химического состава и механических свойств наплавленного металла;

- хорошая обработка точением, шлифованием, притиркой наплавленного материала;

— необходимость минимального износа наплавленных материалов в процессе трения тарели клапана и седла относительно друг друга.

Указанным требованиям в достаточной мере могут отвечать лишь специальные сплавы, Называемые наплавочными материалами или материалами для уплотнительных поверхностей. Например, штоки вентилях зарубежных фирм выполнены из высокохромистых сталей (62% Cr) и имеют в ряде случаев дополнительное уплотнение цилиндрической части, находящейся в контакте с уплотнением для повышения ее коррозионно-эрозионных свойств и стойкости против задирання. Штоки вентилях фирмы «Бабкок» наплавляются кобальтовым стеллитом толщиной покрытия 3 мм.

3.1 Резина - наиболее широко применяемый материал в качестве уплотнителей.

Эластомеры, получаемые на основе каучуков, называют резинами. В результате вулканизации резиновой смеси термопластичный, липкий и малопрочный каучук превращается в высокоэластичную прочную и стойкую во многих средах резину. *Резина* — терморезистивный, пространственно сшитый сетчатый полимер с поперечными химическими связями между макромолекулами каучука. Комплекс механических и химических свойств резин уникален, поэтому они являются незаменимым материалом подавляющего большинства уплотнений и многих технических деталей.

Пространственная сетка резины нерегулярная, поэтому при деформации возникают перенапряжения отдельных участков. Возникающие в них разрывы связей приводят к появлению первичных очагов разрушения, разрастающихся далее в трещины. Для предотвращения этого опасного явления в резиновую смесь вводят активные наполнители (часто называемые усилителями), которые представляют собою твердые мелкодисперсные вещества с большой площадью поверхности и поверхностной активностью (чаще всего технический углерод — сажу). Такие резины называют наполненными. В них между цепными макромолекулами кроме химических возникают адсорбционного характера связи с наполнителем, которые компенсируют нерегулярность поперечных химических связей. В перенапряженных участках пространственной структуры происходит сначала разрыв адсорбционных связей, которые затем восстанавливаются без разрушения материала, участок цепи разгружается, а не разрывается. Усилители значительно повышают прочность при растяжении, твердость, сопротивление истиранию и раздиру резин на основе некристаллизующихся каучуков. Введение активных наполнителей в резины на основе кристаллизующихся каучуков существенно не влияет на прочность. При введении в резиновую смесь наполнителей уменьшается относительное содержание каучука в ней, т. е. снижается его расход и стоимость материала.

Так как набухание резины в жидкостях определяется в основном свойствами каучука, смесь с большим содержанием наполнителей меньше набухает в рабочих средах. С этой целью в резиновые смеси кроме активных наполнителей вводят инертные наполнители [мел, тальк и др.),

существенно не влияющие на свойства материала. Кроме рассмотренных ингредиентов в их состав входят: Противостарители и противоутомители, пластификаторы, ускорители вулканизации и другие компоненты, улучшающие эксплуатационные и технологические свойства. Подбором компонентов можно создавать резиновые смеси с заданными физико-механическими показателям.

Каучуки. *Каучук* является основным компонентом резины, определяющим ее эксплуатационные свойства и прежде всего совместимость с рабочими средами, температурный диапазон эксплуатации, прочность. Рассмотрим основные типы каучуков и их обозначения. Каучуки Общего назначения, применяемые преимущественно для производства шин и других массовых изделий: Натуральный (НК) и синтетические — бутадиен-стирольный (БСК, СКС), бутадиен-метил-стирольный (СКМС), изопреновый (СКИ), натрийбутадиеновый (ОКБ), бутадиеновый (СКД). *Каучуки специального назначения*, применяемые для производства резиновых, технических изделий (РТИ): хлоропреновые (ХП), бутадиен-нитрильные (СКН), этилен-пропиленовые (СКЭП, СКЭПТ), фторкаучуки (СКФ), уретановые (СКУ), силоксановые (СКТ, СКТВ, СКТЭ, СКТФТ), акрилатный, бутилкаучук (БК).

Уплотнения изготавливают преимущественно из резин на основе некристаллизующихся каучука: СКН, СКФ, комбинаций СКН и СКМС, СКН и ХП; СКТФ.ХП, СКЭП. Нижний температурный предел эксплуатации резины определяется главным образом температурами стеклования ν_c и хрупкости ν_p каучука, верхний — скоростью термостарения при высоких температурах. Совместимость резин с рабочей средой определяется химическим составом каучука и среды. Физико-механические показатели некоторых резин приведены в табл. 4.1, 4.2

Таблица 4.1

Основные физико-механические показатели резин.

Наименование	Обозначение	Единица	Метод определения . по ГОСТ
Плотность	ρ	г/см ³	267 - 73
Твердость в международных единицах	H	IRHD	20403-75
Твердость по Шору А	Ha	-	263-75
Температурный предел хрупкости	ν_p	°C	7912-74
Модуль эластичности при растяжении	ν	МПа	210-75
Коэффициент морозостойкости	E_σ	-	13808-79
Прочность при разрыве	K_σ	МПа	270-75
Относительное удлинение при разрыве	σ	%	270-75
Степень релаксации напряжения	ϵ_p	%	9982-76
Изменение массы	R_σ	%	9.030-74
Изменение объема	q	%	9.030-74
Время до разрыва образца в среде	T_p	мин	9.065-76
Скорость ползучести	V	%/мин	9.065-76
Относительная остаточная деформация сжатия	c	%	9.029-74

Таблица 4.2

Физико-механические показатели функциональных групп резин

Под-группа	Каучук	ρ г/см ³	E_{σ} МПа	H	σ_p МПа	E_p , %	$K_b(v, ^\circ C)$	V_{xp} $^\circ C$
1	СКН-18	1,2	2,5-4,5	50-60	6	180	0,2(-50)	-60
2	СКН-18 + наирит	1,24	3,5-5,5	55-65	9	250	0,2(-50)	-55
3	СКН-18	1,3	7-10	70-80	12	160	0,15(-45)	-50
4	СКН-26	1,4	8,3-13	75-85	12	150	0,1(-38)	-42
5	СКН-18 + СКМС	1,43	8,5-20	75-90	9	120	0,15(-50)	-55
6	СКНЛО	1,25	7-13	70-85	10	250		-35
7	СКФ-32	2,1	8,5-13	75-85	17	160		-35
	СКФ-26	2,1	8,5-13	75-85	16	130	0,5(-60)	-
8	СКТФ	1,65	8,5-20	75-90	5	100	0,2(-55)	-
9	СКЭП	1,25	8,5-20	75-90	10	120	0,6(-60)	-55...-65
10	СКТВ	1,2	2-4,5	45-60	2,5	200		-65

Выпускают СКН следующих марок: СКН-18, СКН-18М, СКН-26, СКН-26М, СКН-26МП, СКН-40, СКН-40М, СКН: 50М, СКН-26АС; СКН-26АСМ, СКН-40АС, СКН-40АСМ (буква М означает мягкий, буквы А и С — технологические особенности полимеризации). СКН-26СЦ1 и СКН-40СШ применяют как добавки к обычным СКН. Для повышения стойкости к действию теплоты, озона и погодных условий выпускают СКН, модифицированные поливинилхлоридом: СКН-26-ПВХ-30 и СКН-40-ПВХ-30. Эти каучуки имеют пониженную морозостойкость. СКН вулканизуют серой или ее соединениями. Для изготовления резин с повышенными прочностью и способностью к многократным деформациям выпускают СКН-26-1,25 и СКН-26-5 с содержанием соответственно 1,25 и 5 % метакриловой кислоты. СКН-26-1,25 применяют для изготовления клеев.

Бутадиен-стирольные (СКС) и бутадиен-метилстирольные (СКМС) каучуки (другие названия: дивинилстирольные, стирол, индекс ИСО — SBK) применяют в резинах повышенной морозостойкости и озоностойкости.

Применяемые в уплотнительной технике резина подразделяют на 10 подгрупп (см. табл. 4.2)

1. *Мягкие маслобензостойкие и морозостойкие резины на основе СКН-18*, например марки 98-1, предназначены для УН, УПС,, УВ, эксплуатируемых при ограниченных перепадах давлений Δp и скорости скольжения v в среде воздуха (от $v_1 = -45^\circ C$ до $v_2 = 100^\circ C$), нефтяных масел и рабочих жидкостей, с $AT > 80^\circ C$ (от -60 до $100^\circ C$).

2. Мягкие масло-, бензо-, морозо- и водостойкие резины на основе СКН-18 и наирита, например, марки 7-Н0-68-1 по ТУ 38 005204-71 предназначены для УН, УПС, УВ, эксплуатируемых при ограниченных значениях Δp и v в среде топлив и масел с $AT > 80$ °С, воды, слабых растворов кислот и щелочей при $v = -55...100$ °С

3. Среднетвердые маслостойкие резины на основе СКН-18, например 7В-14, 7В-144 по ТУ 38 005204 - 71, предназначены для уплотнений гидросистем мобильных машин: УН при статических $\Delta p < 50$ МПа; УПС при $v < 5$ м/с, $\Delta p < 40$ МПа; УВ для $v < 10$ м/с. Рабочая среда — нефтяные РЖ с $AT > 80$ °С при $v = -60$ (-50)...100°С. Выпускают резины специальных марок для диафрагм (обозначение марки дополнено буквой Д).

4. Среднетвердые маслостойкие резины на основе СКН-26, например, марок 7-8075, ИРП-1078А по ТУ 38 005204 - 71, предназначены для УН, УПС, УВ, эксплуатируемых при тех же режимах, что уплотнения из резин подгруппы 3 — в среде РЖ масел и топлив с $AT = 68... 80$ °С ($v = -40... 100$ °С, кратковременно 150 °С). На основе комбинации СКН-26 и СКН-18 изготавливают более морозостойкие резины (например, ИРП-1078), работоспособные в указанных условиях до $v = -50$ °С.

5. Морозостойкие резины на основе комбинации СКН-18 и СКМС-10, например, марки ИРП-1054 предназначены для УН и УВ, работающих при тех же режимах, что и уплотнения из резин подгруппы 3 - в среде нефтяных РЖ с $AT > 80$ °С при $v = -60...150$ °С

6. Маслобензостойкие резины на основе СКН-40, например 7-4004 по ТУ 38005204 — 71, отличаются значительно меньшим набуханием в среде нефтяных масел, РЖ, топлив, бензина, но худшей морозостойкостью, чем резины на основе СКН-18. Они предназначены в основном для УН и УВ оборудования, эксплуатируемого в производственных условиях при тех же режимах, что уплотнения из резины подгруппы 3 при $v = 30...100$ °С (манжеты УВ по ГОСТ 8752-78 до $v = 120$ °С. Более твердые резины, например 3825 (80-95 1КНЬ), применяют для клапанов и мембран.

7. Теплостойкие и стойкие в агрессивных средах резины на основе СКФ отличаются сочетанием теплостойкости с исключительно высокой стойкостью в средах синтетических масел и; РЖ, топлив; нефтяных масел, большинства растворителей, спиртов, щелочей, кислот, окислителей и других химических продуктов. Недостаточно морозостойки. Не рекомендуются для работы в среде сложных кетонов.

Резины на основе СКФ-32, например ИРП-1225 по ТУ 38 005204-71, предназначены для УН, УПС, эксплуатируемых в режимах, указанных для резин подгруппы 3 и УВ (манжеты) при $v < 20$ м/с. Температурный диапазон в средах: масла, топлива $v = -20...120$ °С длительно; воздух с парами $v = -30... 150$ °С; среды химической промышленности (бензол, толуол, этиленгликоль, хлор, стирол, дихлорэтан, фенол, нитробензол, спирты, кислоты, щелочи) - до $v = 200$ °С.

Резины на основе СКФ-26, например ИРП-1287 по ТУ 38 005204 - 71 отличаются от резин на основе СКФ-32 большими теплостойкостью ($v <$

250°С), допустимой скоростью скольжения манжет, худшей морозостойкостью ($v > -25$ °С), несколько меньшей степенью набухания в средах. Ресурс работы в УВ при 150°С в среде синтетических РЖ и масел до 1000 ч.

8. Тепло морозостойкий и стойкие, в синтетических РЖ резины на основе СКТФ предназначены для УН, УПС, УВ, работающих при ограниченных Δp , V и $v = -55...+150$ °С в среде синтетических РЖ (в том числе силиконовых); $v = -55...200$ °С в среде воздуха с озоном, $v = -70... +170$ °С для манжет УВ в среде нефтяных масел и топлив.

Прочность этих резин резко снижается при надрезах.

9. Тепломорозостойкие и стойкие в синтетических негорючих РЖ (НГЖ) резины на основе СКЭП предназначены для УН и ограниченно подвижных УПС в среде воздуха с повышенным содержанием озона ($\theta = -50...+150$ °С), для диафрагм в среде синтетических масел и РЖ ($\theta = -50... +150$ °С), для УВ в среде НГЖ ($\theta = -55... +125$ °С).

10. Тепло морозостойкие резины на основе СКТВ для среды воздуха, воздуха с озоном, электрических полей применяют для УН при ограниченных Δp и $v = -60...250$ °С.

Резинотканевые материалы. Их изготавливают из текстильных материалов и промазочных резиновых смесей. Ткань воспринимает основную нагрузку, резина придает упругость и герметичность. Ткани изготавливают из натуральных (хлопок) или синтетических (полиэфирных - лавсан, полиамидных - капрон) волокон. Материалом для шевронных манжет служат хлопчатобумажные ткани доместик или Р-2, пропитанные резиновой смесью. Наилучшую клейкость имеет наирит, на основе которого получают смесь 639. Однако такой материал недостаточно стоек в воде и маслах, поэтому для уплотнителей чаще применяют резину на основе смеси нитрильного каучука СКН-40М и наирита. Синтетические ткани обеспечивают большую прочность материала, однако их применение ограничено из-за плохой адгезии к резине. Поэтому синтетические волокна подвергают специальной обработке - модификации. Прочность связи между слоями резинотканевых материалов для уплотнителей должна быть не менее 10 Н/см. Технологическая схема производства уплотнений включает следующие стадии: приготовление заготовок тканей и резиновых смесей; изготовление резинотканевых заготовок; вулканизацию, обработку вулканизированных деталей.

Изменение массы резинотканевого материала в среде нефтепродуктов больше, чем для резин (10—20%), и еще больше в среде воды. Резинотканевые уплотнения не рекомендуется применять в среде водосодержащих жидкостей ПГВ и промгидрол. Модуль упругости при сжатии зависит от расположения волокон: при спиральной крутке $E = 55... 70$ МПа, при горизонтальных слоях $E = 78... 165$ МПа.

4. ПОЛИМЕРЫ В КАЧЕСТВЕ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В зависимости от температуры и механических воздействий полимеры могут находиться в жидком в твердом агрегатном состояниях, аморфном или кристаллическом фазовом состоянии.

Важнейшей характеристикой полимеров являются деформационные свойства, по которым их состояние подразделяют на вязкотягучее, высокоэластичное и аморфное (стеклообразное).

Примеры застеклованных полимеров (термопластов): полиметилметакрилат (ПММА) полистирол (ПС), ударопрочный полистирол, полиамид (ПИ), поливинилхлорид (ПВХ).

Примеры частично кристаллических полимеров (термопластов): полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полиамиды (ПА), полиформальдегид, политетрафторэтилен (ПТФЭ).

Пластмассой называют материал на основе полимера, способный формоваться (в вязкотекучем или высокоэластичном состоянии) и затем сохранить при эксплуатации приданную форму.

Пластмассы классифицируют по химическому составу основы и подразделяют на ненаполненные и наполненные (композитные). К ненаполненным пластмассам, применяемым в уплотнительной техники относят пластмассы на основе полиолефинов (полиэтилена, полипропилена и др.), ароматических полиамидов (фенилона), полиимидов (полиимида ПМ67), поликарбонатов (дифлона), а также фторопласты(на основе ПТФХЭ и ПТФЭ). К композиционным материалам относят: графитопласты (АТМ2, графелон - 20, АМС - 1. АМАН и др.), композиции на основе фторопласта. Особую группу составляют материалы на основе синтетических смол и наполнителей, например слоистых (текстолит, стеклотекстолит) и др..

Области применения пластмасс в уплотнительной технике, а также их основные физико - механические показатели приведены в табл. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6.

Таблица 5.1

Области применения пластмасс в уплотнительной технике

Пластмасса или ее основа	Рабочие среды ...		Диапазон рабочие температур, °С	Области применения (примеры)
	совместимые	несовместимые		
Полиэтилен	Серная и соляная кислоты, щелочи, спирты, масла, кислород, пищевые продукты	Азотная; кислота, ацетон, бензол	-60...+ 80	Пищевая промышленность и бытовая химия (клапаны пневмосистем, мембраны, транспортнорочные УН, пробки) .
Полипропилен	Разбавленные минеральные и органические кислоты и щелочи, растворы перекисей и спиртов, моющих веществ	Дымящая азотная кислота, олеум, галоиды	-5... +140	Пищевое машиностроение (прокладки, клапаны и манжеты) .
Поликарбонат	Разбавленные минеральные кислоты, алифатические	Ароматические и хлорированные углеводороды, щелочи, аммиак	-253*...+135*	Криогенная техника (уплотнения затворов) .

	углеводороды- и ;спирты, масла, жиры; кислород, вакуум	бензине и ацетоне набухает)		
Полиамид 610 Капрон Капролон В АТМ-2 - Фенилон Графелон	Керосин, бензин, бензол, минеральные и органические масла, спирты, растворы моющих веществ, РЖ. на водной основе .	Концентрированные кислоты (в воде до 10% набухает)	-60...+ 80 ' • - 50...+90 . - ,40...+ 100 - 60...+ 100 - 70... +250 - 70...+ 310/	Металлургия и компрессоростроение (Прокладки, клапаны, манжеты УПС, защитные кольца УН и УПС, поршневые кольца компрессоров, торцовые У В)
Полиимид АМАН	Синтетические масла, топливо Вакуум, радиация'	Концентрированные кислоты и щелочи, кипящая вода	-200...+ 220* - 50...+200	Авиация, атомная энергетика и вакуумная техника (клапаны)
Текстолит птк	Минеральные масла, слабые растворы кислот и щелочей	Концентрированные кислоты и щелочи	-40...+ 80	Компрессоростроение (клапаны, поршневые кольца УПС)
Графитопласт АМС-1	Кислород		-66... + 180	Компрессоростроение (клапаны)
Фторопласт-4 И композиции на его основе	Практически все жидкие и газообразные среды. Вакуум, Ограниченная доза радиации	Расплавленные щелочные металлы и их растворы в аммиаке; фтор, трехфтористый хлор.	-269...+260*	Все отрасли машиностроения (прокладки, защитные кольца УПС, грязесъемники, поршневые кольца компрессоров, клапаны, детали торцовых УВ)
Фторо-пласт-40 и композиции на его основе	То же, при большей стойкости к радиации	То же	-100...+ 200	Атомная энергетика (прокладки, клапаны, детали торцовых У В)
Фторопласт-3	Концентрированные кислоты и щелочи, окислители и растворители	Расплавленные щелочные металлы, фтор	-195*... + 70	Холодильная и криогенная техника (прокладки и клапаны)

• Температура по химической термостойкости материала, необходим анализ возможности применения

Таблица 5.2

Основные физико-химические показатели пластмасс

Наименование	Обозначение	Единица	Метод Определения по ГОСТ
Плотность	ρ	г/см ³	15139-69
Модуль упругости: при растяжении при сжатии при изгибе	E_p E_c $E_{изг}$	МПа	9550-81
Твердость	H	МПа	4670 - 77
Разрушающее напряжение: при растяжении при сжатии	$\sigma_{p.p}$ $\sigma_{p.c}$	МПа	11262-80 4651 -82
Относительное удлинение: при разрыве при сжатии	$\epsilon_{p.p.}$ $\epsilon_{p.c.}$	%	11262-80 4651 -82
Температуры: плавления кристаллизации стеклования текучести хрупкости химического разложения	$v_{пл}$ $v_{кр}$ v_c v_T $v_{xp} (T_{xp})$ v_z	°C	18995.4-73 18995.5-73 - 11645-73 16783-71 -

Температурный коэффициент линейного расширения	α_1	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	15173-70
Удельная теплоемкость	c	Дж/ (кг $^{\circ}\text{C}$)	23630.3-79
Теплопроводность	λ	Вт/ (м. $^{\circ}\text{C}$)	23630.2-79
Ударная вязкость по Шарпи образца с надрезом	a_k	кДж/м ²	4647-80
Водопоглощение по массе	q	%	4650-80
Коэффициент трения по стали	f	-	11629-75

Таблица 5.3

Антифрикционные характеристики пластмасс при трении без смазочного материала

Пластмасса или ее основа	f	$P_{\text{кmax}}$ МПа	v м/с	$(P_k v)_{\text{max}}$ МПа м/с
Полиамид 610	0,28	3,0	0,5	0,15
Капрон	0,34	2,0	0,2	0,10
Капролон В	0,40	5,0	0,5	2,5
Графитопласт АТМ-2	0,30	2,5	3,0	3,5
Графитопласт АМС-1	0,10	3,0	2,0	3,0
Текстолит ПТК	0,30	5,0	1,0	1,0
Полиимид ПМ-67	0,35	5,0	0,6	3,0
Дифлон	0,30	—	—	—
Фенилок С2	0,40	2,5	1,0	1,5
Графелон-20	0,20	10,0	2,0	5,0
Эстеран-1	0,05	20,0	—	-

Таблица 5.4

Физико-механические и теплофизические показатели фторопластов

Фторопласт	ρ г/см ³	E_p	H	$\sigma_{p.p}$	ϵ %	$v_{пл}$	v_c	$\alpha_1 10^5$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ при -10...100 $^{\circ}\text{C}$	λ Вт / м $^{\circ}\text{C}$
		МПа				$^{\circ}\text{C}$			
Фторопласт-4	2,18	410	35	20	470	327	-120	14	0,25
Фторопласт-40	1,7	1200	60	44	270	270	-100	11	0,2
Фторопласт-3	2,12	1460	120	38	70	210	50	8	0,1
Ф-4К20	2,16	800	39	12,7	120	-	-	14	0,5
Ф-4К15М5	2,19	800	39	15,2	150	-	-	14	0,5
Ф-4С15	2,21	500	49	13,7	300	-	-	14	0,5
АФГ-80ВС	2,0	750	60	6	—	-	-	10	0,6
АМИП-15М	2,35	640	45	1,2	100	-	-	11	0,6
АМИП-30М	2,35	—	-	5	15	-	-	10	0,5
Ф-4КГ5УВ5	2,05	—	50	18	60	-	-	11	0,5

Флубрн-20	2,05	1290	50	17	15	-	-	6,6	0,5
Ф-40С1,5М1,5	1,8	-	47	24	26	-	-	7,9	0,2

Таблица 5.5

Антифрикционные композиции и заготовки на основе фторопластов

Основа композиции	Марка	ТУ. ОСТ	Наполнители
Фторопласт-4	Ф-4К20	ТУ 6-05-1412-76	Нефтяной кокс КЛ-1 (20%)
	Ф-4К15М5		Кокс КЛ-1 (15%), молибденит (5%)
	Ф-4С15	ТУ 6-05-1412-76	Стекловолокно (15%)
	АФГ-80ВС	ОСТ 48-75-73	Графит АРВ-1 (20%)
	АМИП-15М	ТУ П-407 - 65	Ситалл (15%), молибденит (3%)
	АМИГЪЗОМ		Ситалл (30%), молибденит (3%)
	Ф-4К15УВ5	-	Кокс (15%), углеволокно (5%)
Флубон-20	ТУ 6-05-14-65-73	Углеволокно 20%	
Фторопласт-40	Ф-40С15М1.5'	ТУ 01-55-4-72	Ситалл (15%), молибденит (1,5%)

Таблица 5.6

Зависимость показателей фторопласта-4 (Ф-4), фторопласта-40 (Ф-40) и фторопласта-3 (Ф-3) от температуры

Температура, °С	$\sigma_{p.p.}$ МПа			$\epsilon_{p.p.}$ %			E_c %, МПа			$\alpha_1 10^5$ °С	
	Ф-4	Ф-40	Ф-3	Ф-4	Ф-40	Ф-3	Ф-4	Ф-40	Ф-3	Ф-4	Ф-3
-60	-	-	-	-	-	21	1800	-	1810	8	6
-50	-	-	-	-	158	-	-	-	-	8	6
-40	34	64	81	70	180	28	1700	-	1780	8	6
-20	32	51	75	100	203	28	1500	-	1710	8	6
-0	29	47	54	150	230	-	1100	-	1630	10	6
+20	20	44	38	470	270	70	700	700	1500	25	6
+40	-	41	28	650	279	65	450	550	1270	12	6
+60	-	40	20	-	400	430	330	-	880	11	8
+80	13	32	14	600	460	830	240	400	550	11	10
+100	11	27	8	540	535	840	170	275	280	11	10

5. Герметики.

Герметики широко применяют для герметизации УН баков, корпусов, резьбовых и фланцевых соединений, которые не предусмотрено разбирать во время эксплуатации. В УН, подлежащих периодической разборке (для регулирования или смены масла), их применяли нецелесообразно, так как возникает необходимость, удалять остатки герметиков, промывать

поверхности деталей и снова наносить на них герметик. По внешнему виду, физическим и технологическим свойствам герметики подразделяют на самовулканизирующиеся, высыхающие, не высыхающие и анаэробные. Принцип действия уплотнений с герметиками Основан на заполнении неплотностей между стыками деталей первоначально вязкотекучими составами, нанесенными на соприкасающиеся поверхности. В процессе сборки в промежуточном слое создается давление, под действием которого состав заполняет все неплотности, а его избыток вытесняется наружу. В самовулканизирующихся герметиках в течение некоторого времени происходит процесс вулканизации при нормальной или повышенной температуре, в результате чего они превращаются в резиноподобные эластичные материалы. В них сочетаются свойства очень тонких резиновых прокладок и клеев. Однако адгезия герметиков значительно меньше, чем у клеев, поэтому соединение сохраняет способность к разборке. Свойства уплотнений с не высыхающими герметиками (замазками) подобны свойствам жидких уплотнений, в которых благодаря очень высокой вязкости композиции ($5 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^3$ мПа) обеспечивается герметичность при действии перепада давлений. При некотором давлении возникает предельная деформация стыков, вызывающая разгерметизацию. Механизм разгерметизации аналогичен механизму разгерметизации уплотнений с прокладками (см. подразд. 3.4). Для оценочных расчетов можно использовать условия: $K_1 p_{кв} < \sigma_p$, $K_1 \epsilon_{max} < \epsilon_p$, Где K_1 - коэффициент запаса, учитывающий неоднородность стыка; $p_{кв}$ — условное контактное давление в стыке; σ_p - предел прочности герметика при растяжении; ϵ_p — относительное удлинение при разрыве.

Предельная деформация ϵ_{max} зависит от действующих на соединение нагрузок, температурных деформаций и вибрации, поэтому трудно поддается расчету.

Таблица 6.1

Области применения герметиков различных типов

Тип герметика	Рабочая среда		Температурный диапазон эксплуатации °С	Область применения
	совместимая	несовместимая		
Тиоколовые	Нефтепродукты, масла, бензин, топлива реактивные, слабые кислоты, глицерин, этиленгликоль	Синтетические, РЖ, бензол, стирол, толуол, анилин, ацетон и др.	-40...+ 100 (-60...+130)*	Машиностроение, авиация, судостроение
Фторкаучуковые	Синтетические РЖ, топлива, го-	-	-25...+ 200 (-25... + 300)*	Авиация, химическая

Фторсилоксановые	рячие газы и воздух	-	-60... + 200 (-60...+ 250)*	промышленность
Силоксановые	Воздух, газы, пары воды	Ароматические и хлорсодержащие углеводороды, нефтепродукты	-60...+ 250	Приборостроение (влагозащита)
Уретановые	Вода, минеральные масла		-70...+ 70	Горная промышленность, судостроение — пленка на деталях, подверженных гидроабразивному изнашиванию

* В скобках указан температурный диапазон кратковременной эксплуатации

Обычно разгерметизация жидких прокладок наступает при деформации 0,05 — 0,1 мм и давлении 0,05 — 0,15 МПа. Для самовулканизирующихся составов $\sigma_p=2$ МПа; $\epsilon_p \ll 250\%$.

Как правило, уплотнения с герметиками применяют в конструкциях без существенного избыточного давления.

Самовулканизирующиеся герметики состоят из двух (иногда трех) компонентов, смешиваемых перед употреблением. Основной компонент — один из жидких низкомолекулярных каучуков с ингредиентами, второй — вулканизирующий агент. Иногда в герметик вводят смолы для придания адгезионных свойств. Совместимость со средой и температурный диапазон эксплуатации обусловлены в основном свойствами каучука, поэтому герметики часто называют по типу каучука: тиokol (полисульфидные), силоксановые, каучуковые и т. д. Области прием и ориентировочные температурив диапазоны работоспособности герметиков указаны в табл. 6.1 Принцип составления рецептов герметиков и новых смесей аналогичны. Физико - механические свойства герметиков в табл. 6.2.

Тиokolовые герметики на основе жидких полисульфидных каучуков-тиokolов наиболее распространены в машиностроении для уплотнений, работающих в среде нефтепродуктов и кислот в диапазоне — 40...+100°C (ограничено-60...+ 130°C).

Таблица 6.2

Физико - механические свойства герметиков

Тип герметика	Марка герметика	Плотность, кг/м ³ *	σ_p , МПа	ϵ %	Твердость, IRHD
Тиokolовые	У-30М	1450	2,5-4,0	150-300	50-60
	У-30МЭС-5	1450	1,5-3,0	200 - 400	40-60
	у-зомэс-10	1450	1,2-2,0	220-500	25-40
	УТ-31	1950	2,0-3,5	1/5-300	50-65
	51УТ-37	1400-1550	2,0-4,0	150-350	40 - 55
Силоксановые	У-1-18	2200	2,0	160	50-60
	У-2-28	2200	1,8	200	40-50

	У-4-21	1350	1,5	100	40 - 50
	КЛ-4	1000	0.1-1,0	80-100	
	КЛТ-30	1150	0,8	120	60-70
	КЛВАЕ		1,0	130	50-65
Фторсилоксановые	ВГФ-1 и ВГФ-2		1,5	100- 120	
	51-Г-15	1450	0,8	100	
	51-Г-16	1400	1.0	70-100	—
Фторкаучуковые	51-Г-1	1900	3,0-5,0	200-300	—
	51-Г-2	1800	2.0-3,5	200-600	—
	51-Г-9	1900	2,0-6,0	200-350	-
Уретановые	УГ-2 >'	1140	11-15	350-450	53-55
	УГ-3	1100	10-12	400-450	71-76
	УГ-5		14-17	400-500	65-70
	УГ-6	950-770	18-28	300-400	90-95

Таблица 6.3

Характеристики тиоколовых и эпоксидно-тиоколовых герметиков

Марка (ГОСТ или ТУ)	Цвет	Область применения	Температурный диапазон эксплуатации, °С
У-30М (ГОСТ 13489-79)	Черный	Машиностроение, авиация, судостроение (эластичные соединения между деталями)	-60...+ 130
У-30МЭС-5 (ТУ 38-105462-72)	Черный		-60... + 150
51УТ-37 (ТУ 38-105507-76)	Коричневый	Судостроение	-40...+ 100
УТ-32 ТУ 38-105462-72	Серый	Авиация, судостроение (заклепочные соединения)	-60...+ 130
* С эпоксидной смолой.			

Тиоколовые составы наносят на стальные детали и алюминиевые сплавы; для меди и латуни они не пригодны. Степени набухания наиболее распространенного герметика У-30М за 250 ч при 20 °С, в % (по массе): в бензине —0,9; в топливе Т1 + 3,4; в масле СУ - 2,7; в скипидаре +11,8; в масле трансформатора —2,6; в глицерине - 0,8; в спирте этиловом —0,8; в спирте бутиловом +1.

Фторкаучуковые герметики (см. табл. 2.12 и 2.13) отличаются сочетанием высокой термостойкости (до 300 °С) с исключительной стойкостью к действию синтетических рабочих жидкостей и топлив, нефтепродуктов и воды.

Невысыхающие герметики (замазки) используют главным образом для разъемных соединений (фланцевых, резьбовых и т. п.). Наибольшее распространение получили полиизобутиленовые замазки У-20А, У-22, 51-Г-6, 51-Г-7, предназначенные для эксплуатации на воздухе (транспорт, авиация). Они химически стойки в кислотных щелочах, но не стойки в топливах и маслах. Замазки на основе полиизобутилен держат 5-15% полимера, 50-75% наполнителя (мела, асбеста, белил и т. п.) и 12 — 25% нефтяных масел для придания жидкой консистенции (для придания клейкости

добавляют канифоль и смолу). Температурный диапазон эксплуатации — 50...+70°С'

Анаэробные герметики системы на основе анаэробных смол, полимеризующихся в условиях отсутствия кислорода воздуха. Кроме основы (акрилового или метакрилового ряда) они содержат инициатор и ускоритель полимеризации, ингибитор, модифицирующие добавки, краситель. Эти композиции длительное время могут находиться в жидкотекучем состоянии в присутствии кислорода, что позволяет выпускать их готовыми для использования и хранить в стеклянной или пластмассовой таре, частично заполненной воздухом. В узких щелях с герметиком вследствие отсутствия кислорода и контакта с очищенными поверхностями активных металлов происходит полимеризация — отверждение состава. В случае инертных контактирующих материалов (кадмированных, оцинкованных, неметаллических), а также для сокращения времени полимеризации поверхности предварительно обрабатывают специальными активаторами — растворами солей металлов переменной валентности или аминов. Время отверждения: без активатора на стали — 48 ч; то же, на алюминии — 74 ч; с активатором на всех металлах и при температуре 20 °С - 6 ч; то же, при 80 °С - 1 ч. После отверждения образуется материал с хорошими механическими свойствами уплотнителя, стойкий к воздействию многих химически активных сред (воды, масел, топлив, кислот, щелочей, хладонов) и вибрации при большом перепаде давлений сред. Предел прочности анаэробных герметиков на сдвиг обычно составляет 3 — 10 МПа, адгезионная прочность $\sigma_a=2...5$ МПа. Благодаря малой вязкости жидких составов (10^2 — 310^3 мПа) они легко проникают в зазоры резьбовых и фланцевых соединений, трещины в отливках, и сварных швах, упрощая технологию герметизации. Анаэробные герметики широко применяют в соединениях различных трубопроводов, главным образом в судостроении. В резьбовых соединениях они резко повышают коэффициент трения (от 0,2 до 0,7), обеспечивая надежное стопорение в условиях вибрации при сохранении возможности демонтажа обычными ключами.

Порядок и объем выполнения:

- 1) Ознакомление с содержанием методических указаний.
- 2) Получить задание в виде конструкции агрегата.
- 3) Подобрать материалы для деталей, входящих в агрегат, с учетом рабочей среды, для которой предназначен агрегат, и температуры эксплуатации.
- 4) Составить спецификацию.