

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ

Утверждено редакционным
советом института
в качестве методических указаний
к курсовому и дипломному проектированию

КУЙБЫШЕВ 1994

УДК 621.452(075)

В методических указаниях ¹¹¹приведены рекомендации по выбору материалов для основных деталей ДДА, дана общая характеристика различных групп материалов и для некоторых из них в приложении приведены механические и физические свойства. Указания предназначены для студентов, изучающих дисциплину "Конструкция и проектирование двигателей летательных аппаратов".

Составитель - д-р.техн.наук В.И.Ц е й т л и н

Рецензент - канд.техн.наук Д.Ф.П и ч у г и н

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ρ	кг/м ³	- массовая плотность материала,
α	1/град	- коэффициент линейного расширения,
λ	вт/м.град	- коэффициент теплопроводности,
c	кдж/кг.град	- удельная теплоемкость,
σ_b	МПа	- предел прочности,
$\sigma_{0,2}$	МПа	- предел текучести с допуском остаточной деформации 0,2%,
δ	%	- относительное удлинение при разрыве,
ψ	%	- относительное сужение при разрыве,
E	МПа	- модуль упругости,
a_n	МДж/м ²	- ударная вязкость,
$a_{1,1}$	МДж/м ²	- ударная вязкость образца с трещиной,
$\sigma_{B/100}$	МПа	- предел длительной прочности за 100 час.,
$\sigma_{B/5}$	МПа	- предел длительной прочности за 5 мин.,
$\sigma_{0,2/100}$	МПа	- предел ползучести за 100 час. с допуском остаточной деформации 0,2% ,
$\sigma_{rel/100}$	МПа	- релаксация напряжений за 100 час.,
σ_{-1}	МПа	- предел усталости,
$(\sigma_{-1})^H$	МПа	- предел усталости образцов с надрезом,
σ_{-N}	МПа	- предел малоциклового усталости,
HB, HRC		- твердость материала.

Г. МАРКИРОВКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Марки легированных сталей и сплавов образуются из букв, обозначающих состав, и цифр, выражающих процентное содержание элементов. Принято следующее обозначение легирующих элементов:

Никель	- Н	Кобальт	- К	Титан	- Т
Хром	- Х	Кремний	- С	Алюминий	- Ю
Молибден	- М	Марганец	- Г	Медь	- Д
Вольфрам	- В	Бор	- Р	Фосфор	- П
Ванадий	- Ф	Ниобий	- Б		

Первые две цифры в начале марки показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Цифры, стоящие после букв, показывают примерное содержание легирующих элементов в процентах. Например, сталь 12Г2А в среднем содержит 0,12% углерода, 0,2% марганца. Буква А показывает, что сталь чиста по сере и фосфору, а также соблюдены все условия производства высококачественной стали.

Если содержание элемента меньше или около 1%, то цифра не ставится. Например, сталь 30ХГСА в среднем содержит: 0,3% углерода, 1,0% хрома, 1,0% марганца, 1,0% кремния. В ряде случаев для сокращения цифры вообще не пишутся. Например, сталь 18ХНВА в среднем содержит 0,16% углерода, 1,5% хрома, 4,5% никеля, 1,0% вольфрама.

Некоторые легированные стали выделены в особые группы и обозначаются следующими буквами:

- хромистые нержавеющие стали - К ;
- хромоникелевые нержавеющие стали - Я ;
- быстрорежущие стали - Р ;
- шарикоподшипниковые стали - Ш ;
- магнитные стали - Б .

Например, сталь 12Х18Н9Т обозначается Я1.

Стали, выплаваемые на заводе "Электросталь", имеют в начале марки буквы Э, ЭИ или ЭП. Буквы ЭИ и ЭП ставятся в случае опытных марок: ЭИ437Б, ЭП199 и т.д.

2. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ, ПРИМЕНЯЕМЫМ В ДЛА

2.1. Требования, обусловленные функцией детали, назначением конструкции, специальные требования

В этой группе, прежде всего, нужно выделить требования минимального веса. Конструкция будет иметь наименьший вес при изготовлении ее из материала с наибольшей удельной прочностью $\frac{\sigma}{\rho}$ для данной рабочей температуры. До 250°C более высокую удельную прочность имеют легкие алюминиевые и магниевые сплавы, а также пластмассы. Выше 250°C они резко теряют свои прочностные свойства и уступают прочности титановым сплавам и сталям. Титановые сплавы рационально использовать до 600°C. Выше 600°C преимущество будет за сталями и хромоникелевыми сплавами. Материалы стенок камер, форсунок, внутренних днищ головок и ряда других деталей должны иметь высокую теплопроводность. Самым теплопроводным материалом является медь и ее сплавы, затем в убывающем порядке — алюминий, углеродистые стали и титановые сплавы.

Нетрудно показать, что при одинаковых условиях медные стенки камер способны пропустить в 2-3 раза большие тепловые потоки, чем стальные. Такое преимущество меди и близких к ней по теплопроводности малолегированных бронз делает их незаменимыми материалами для стенок камер двигателей с большими давлениями и температурами в них.

В качестве примеров можно указать еще несколько типичных для ДЛА специальных требований:

материалы сопел, охлаждаемые только излучением, должны иметь высокие температуры плавления и достаточную прочность при температурах 1500...2000°C / ниобий, молибден, вольфрам и их сплавы, а также графит/;

материалы сопел, охлаждаемые абляцией, должны иметь низкую теплопроводность и высокую теплоту абляции;

материалы упругих элементов / пружин, упругих мембран, сильфонов/ должны иметь высокие упругие свойства /высокое значение E /;

материалы трущихся пар / уплотнения, шестерни, подшипники/ должны обладать высокими антифрикционными качествами, малым коэффициентом трения, повышенной теплопроводностью;

к материалам узлов, имеющих предварительную затяжку для обеспечения плотности стыков различных сопряжений деталей /фланцевые соединения корпусов, ротор/ , иногда предъявляются определенные требования по величине коэффициента линейного расширения.

Специальные требования являются руководящими при выборе материалов для тепловой защиты элементов конструкции, для электроагрегатов, электропроводки, демпферов и других специальных узлов.

2.2. Прочностные требования

Материалы всех деталей ДЛА, работающих под нагрузкой, должны иметь высокие прочностные свойства. Из-за короткого времени работы ракетного двигателя, в первую очередь, следует обращать внимание на характеристики кратковременной прочности. При прочих равных условиях нужно выбирать материалы с более высокими величинами σ_b и σ_{b2} . Но высокая прочность обязательно должна сопровождаться достаточно высокой пластичностью, т.е. высокими значениями δ , ψ , a_n . Это особенно важно для изделий, работающих в условиях низких температур / в космосе, в среде низкокипящего компонента, при хранении и запуске зимой/, повышенных вибраций и динамических нагрузок

/ при транспортировке, запуске двигателя, пульсации давления/, тепловых ударов и больших температурных градиентов. Нельзя использовать материалы с критической температурой хрупкости выше рабочей температуры. Такое требование часто заставляет отказываться от высокопрочных сталей мартенситного или переходного класса и использовать менее прочные аустенитные стали типа IX18N9T или хромоникелевые сплавы.

Если напряженная деталь в работе нагревается до высоких температур /выше 300°C/, то ее нужно изготавливать из жаропрочного материала. Однако, выбор жаропрочного материала должен быть рациональным: неразумно, например, применять никелевые сплавы для рабочих температур 300...500°C. Для этих условий подходят стали переходного класса типа: I3X11N2B2MF, нержавеющей стали типа I2X18N9T, а также титановые сплавы. Никелевые и кобальтовые сплавы рационально использовать при температурах 600...1000°C.

Уровень нагружения и нагрева некоторых элементов ТНА, камеры, газогенератора и газоведа бывает иногда так высок, что даже за короткое время, измеряемое всего минутами, в них появляются большие остаточные деформации вследствие ползучести. Ограничить эти деформации можно путем использования материалов с высокими пределами ползучести.

Важной задачей при создании ДДА является обеспечение усталостной прочности конструкции. Решению этой задачи во многом способствует правильный подбор материала и его обработка. Материалы деталей, подверженных сильной вибрации /трубы, оболочки/ или большим переменным рабочим напряжениям /валы, лопатки/, должны обладать высоким пределом усталости σ_s , в рабочих условиях и должны иметь оптимальную термическую обработку. Особое внимание следует обращать на усталостные качества сварных и паяных соединений, так как на практике в них чаще всего и появляются усталостные трещины.

К материалам сопел в связи с задачей устойчивости их формы всегда должно предъявляться требование высокой жесткости, то есть они должны иметь высокий модуль упругости E

2.3. Особые требования, обусловленные окружающей средой

Взаимодействие материалов с окружающей средой происходит двояко:

материал конструкции /баков, топливных магистралей/ может быть катализатором-ускорителем нежелательных процессов в окружающей его среде, например, может вызвать разложение компонентов топлива:

окружающая среда /агрессивные, химически активные компоненты топлива, горячие газы, имеющие высокие скорости, жидкий припой, вакуум, высокая радиация и другие излучения/ может вызвать коррозию, эрозию, возгорание, изменение механических свойств материала и т.д.

Детали, соприкасающиеся с горячими газами и подвергающиеся коррозии и эрозии, должны изготавливаться из жаростойких материалов или покрываться жаростойкими покрытиями. От жаростойких покрытий требуется высокая пластичность, чтобы они не растрескивались из-за больших температурных градиентов, низкая теплопроводность, чтобы на покрытии срабатывался большой температурный перепад, жаростойкость, твердость, хорошее сцепление с основным материалом.

Наносятся такие покрытия на внутреннюю стенку камеры, на диски, лопатки и корпуса турбин, на внутреннюю поверхность газосводов. Кроме жаростойких применяются и обычные для машиностроения покрытия, которые, например, улучшают работу резьбовых соединений, уплотнений, защищают поверхности деталей от коррозии при длительном хранении.

Сложные проблемы ставит перед конструктором условия космоса.

В космическом вакууме зубцы шестерен начинают свариваться, металлические сплошные стенки начинают пропускать газы, некоторые материалы сильно испаряются, исчезают окисные пленки, вследствие чего меняются коэффициенты трения. Под воздействием высокой радиации металлы упрочняются и охрупчиваются, пластмассы теряют многие свои важные качества. Нельзя упускать из внимания склонность некоторых материалов к возгоранию и взрыву в определенных средах. Эта склонность, как правило, усиливается, если материал напряжен. Примером может служить возгорание титана в кислороде, азоте, хлоре.

2.4. Технологические требования

Технологические требования к материалу определяются технологией изготовления детали. Наиболее характерные для ДДА технологические требования к материалам следующие:

- высокие литейные свойства (для литых сплавов),
- штампруемость,
- свариваемость,
- обрабатываемость лезвийным инструментом,
- низкая чувствительность к технологическим повреждениям и отклонениям,
- восприимчивость к упрочняющим методам обработки.

2.5. Экономические требования

Требования к экономичности общеприняты. Выбор материала детали должен быть сделан с учётом стоимости материала, наличия исходных составляющих в нашей стране, перечней-ограничителей ведомственных институтов.

Э. КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ

3.1. Углеродистые стали

Малоуглеродистые стали применяются в ДДА, главным образом, для сравнительно малонагруженных деталей и для деталей, технология изготовления которых требует значительной пластической деформации. Сравнительно широко применяется ст. 45 для изготовления болтов высадкой. Детали из ст. 45 иногда подвергают термической обработке для получения $\sigma_B = 700 \dots 900$ МПа. Малоуглеродистые стали хорошо свариваются.

3.2. Улучшаемые, цементируемые и азотируемые стали

В ДДА широко используется большая группа сталей, применяемых после закалки и последующего отпуска. Такая обработка обычно называется улучшением. Некоторые улучшаемые стали применяются после химико-термической обработки: цементации и азотирования.

Упрочнение поверхностных слоев деталей химико-термической обработкой является эффективным средством повышения их выносливости и износостойкости. Сталь 12Х2НВФА обеспечивает заданную твердость цементированного слоя при рабочих температурах до 250°C.

На поверхности цементируемых и азотируемых деталей не должно быть рисок, забоин, грубых следов механической обработки, которые являются концентраторами напряжений и могут привести к преждевременному разрушению. Следует также избегать острых кромок, малых радиусов. Переход от упрочненного химико-термической обработкой участка к остальной поверхности должен локализоваться в наименее напряженных участках. Дополнительное повышение предела выносливости при изгибе и контактной прочности цементированных поверхностей может быть достигнуто в результате поверхностного упрочнения дробеструйной обработкой, виброгалтовкой, алмазным выглаживанием и др.

Качество механической обработки имеет особое значение для азотируемых деталей, чистота обработки которых должна быть не ниже 2,5.

Коррозионная стойкость цементируемых и азотируемых сталей низкая. В коррозионных средах возможно растрескивание упрочненного поверхностного слоя, особенно при наличии прикогов. В связи с этим антикоррозионные покрытия должны наноситься по специальной технологии, предотвращающей растрескивание стали.

3.3. Высокопрочные стали

Высокопрочную конструкционную сталь, т.е. сталь термически обрабатываемую на предел выносливости более 1400 МПа, используют для высоконагруженных и ответственных деталей летательных аппаратов.

По сравнению со сталью средней прочности высокопрочная сталь имеет ряд особенностей /повышенная чувствительность к концентрации напряжений, действию коррозионных и поверхностно активных сред и т.п./, которые необходимо учитывать при конструировании, технологии изготовления и эксплуатации деталей.

Для эффективного использования потенциальных возможностей высокопрочной стали необходимо точно выполнять все требования, изложенные в соответствующих инструкциях и рекомендациях по конструированию, технологическому исполнению деталей и защите их от коррозии. Нарушение инструкций может привести к преждевременному разрушению деталей.

Для существенного повышения надежности работы деталей из стали высокой прочности, увеличения /в 3-5 раз/ долговечности при повторных нагрузках рекомендуется применение поверхностного упрочнения.

3.4. Жаростойкие и коррозионно-стойкие стали

Коррозионная стойкость сталей этого класса зависит от

содержании в них хрома и углерода: чем выше содержание хрома и ниже содержание углерода, тем выше коррозионная стойкость. Наиболее высокой коррозионной стойкостью характеризуются стали, содержащие 18% Cr и более /12X18H9T и т.п./, несколько меньшей - стали с 11...12% Cr /13X11H2E2MР и др./. Коррозионная стойкость нержавеющих сталей определяется наличием пассивной пленки, качество которой зависит от чистоты обработки поверхности. Улучшение коррозионной стойкости деталей достигается повышением чистоты механической обработки поверхности /рекомендуется обработка с чистотой 1,25 /.

Для повышения сопротивления коррозионному растрескиванию высокопрочных нержавеющих сталей и их сварных соединений рекомендуется применять методы поверхностной обработки, создающие в поверхностном слое сжимающие напряжения.

Разработанные в последнее время коррозионно - стойкие малоуглеродистые мартенситно-старенные стали относятся к наиболее перспективным материалам. В сталях этого типа /X16H6/ упрочнение достигается в два приема: получением мартенситной структуры с большой плотностью дислокаций и последующим старением мартенсита. При старении безуглеродистого мартенсита упрочнение происходит в результате выделения интерметаллидных частиц. Важным преимуществом этих сталей является их технологичность. Стали этого класса хорошо свариваются, легко деформируются в горячем и холодном состояниях и механически обрабатываются.

При упрочняющей термической обработке /старении/ снимается проблема обезуглероживания и коробления не происходит. Обладая малой чувствительностью к концентрации напряжений, в том числе и трещине, стали этого класса надежны в эксплуатации. В закаленном состоянии указанные стали и аналогичные им, но с более низким содержанием титана, сохраняют работоспособность при криогенных температурах /X12H10MT/.

3.5. Стали для пружин, упругих элементов и прецизионных пар трения

С повышением твердости и прочности повышается чувствительность стали к концентрации напряжений и склонность к самопроизвольному разрушению под действием постоянно приложенной нагрузки. Поэтому термическая обработка пружинных сталей на твердость $HRC > 48$ не рекомендуется. Пружины, работающие при комнатной и высоких температурах, следует подвергать закалке и отпуску на твердость порядка $HRC = 44...48$.

При термической обработке пружин, особенно работающих при высоких температурах, следует избегать обезуглероживания, так как оно приводит к снижению релаксационной стойкости и циклической выносливости пружинных сталей.

Для получения постоянных упругих характеристик пружины необходимо стабилизировать /"заволивать"/ при температуре несколько выше рабочей.

Пружинные стали: У8А, 60СГА, 50ХФА—некоррозионно-стойкие и требуют защиты. Для пружин, работающих при высоких температурах, /выше 250°C /, рекомендуется применять коррозионно-стойкие стали: 30Х13, 13Х1Н2В2М и др., работающие до 650°C .

3.6. Стали и сплавы для агрессивных сред

При выборе сталей и сплавов для работы в агрессивных средах, кроме общих требований, предъявляемых к коррозионно-стойким сталям и сплавам в условиях воздействия климатических атмосферных условий, необходимо учитывать конкретную рабочую среду при заданной температуре и продолжительности эксплуатации, а также характер воздействия агрессивной среды / постоянное, циклическое и т.д./.

Стали и сплавы, выбранные для работы в агрессивных средах, наряду с высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях должны обладать высокой коррозионной стойкостью в условиях воздействия агрессивных сред, не проявлять склонности к межкристаллитной коррозии и коррозии под напряжением.

Следует иметь в виду, что на коррозионную стойкость сталей и сплавов в некоторых агрессивных средах большое влияние оказывают конструкционные и технологические факторы, которые следует учитывать при конструировании изделий /чувствительность к щелевой и контактной коррозии, к длительным технологическим и эксплуатационным нагревам, к структурным изменениям/.

3.7. Коррозионно-стойкие литейные стали.

Широкое применение литья как эффективного и экономического способа изготовления деталей вызвало значительное расширение номенклатуры литейных марок сталей. В приложении приводятся свойства некоторых из них.

Детали, работающие при температуре -196°C , (корпуса, крыльчатки, роторы и т.п.) изготавливаются из сталей переходного аустенитно-мартенситного класса ВНД-6. Сталь ВНД-6 имеет прочность более 1400 МПа. Указанная сталь сочетает высокую прочность с высокими пластическими характеристиками и вязкостью. Стали выплаваются на заданный фазовый состав, имеют хорошие литейные свойства и хорошо свариваются.

Коррозионностойкая сталь Х18Н9Б1 применяется для малонагруженных деталей, работающих при температуре до 800°C в условиях повышенной влажности или в атмосферных условиях.

Сталь ЭИ-654Л обладает высокой коррозионной стойкостью в агрессивных средах, не склонна к коррозии под напряжением и межкристаллитной коррозии. Применяется для изготовления несварных деталей.

3.8. Жаропрочные сплавы

Развитие ракетной техники потребовало широкого применения жаропрочных, окалиностойких и нержавеющих сталей и сплавов.

В настоящее время имеется довольно широкий ассортимент жаропрочных сплавов на никелевой и железной основах.

Применение новых, более жаропрочных сплавов, позволяет существенно поднять тактико-технические данные двигателей.

В наиболее напряженных условиях как по температуре, так и по механическим нагрузкам, теплосменам и вибрациям работают лопатки турбин. Поэтому к материалам для лопаток предъявляются наиболее высокие требования.

Эти требования в основном следующие:

жаропрочность;

термостойкость;

высокое сопротивление окислению /жаростойкость/;

запас пластичности / при этом материал не должен чрезмерно охрупчиваться в процессе работы/;

высокий предел выносливости при рабочих температурах;

технологичность / способность удовлетворительно подвергаться горячей и холодной обработке, в ряде случаев свариваться и отливаться/;

однородность свойств;

сопротивление эрозии;

высокая теплопроводность, низкий коэффициент линейного расширения.

Высокопрочные сплавы ЭИ-220, ЖС-6К /литой/, применяемые в серийном производстве для лопаток турбины, сочетают высокую жаропрочность с достаточной пластичностью; мало чувствительны к надрезу при рабочих температурах и имеют удовлетворительное сопротивление усталости.

Турбинные диски работают при несколько пониженной температуре, но при более высоких напряжениях. К дискам предъявляются, в принципе, те же требования, что и к лопаткам, но особое значение для надежной работы дисков имеет сопротивление ползучести и повторно-статическому нагружению. Широкое применение для дисков турбины нашли сплавы: ХН77ТЮР /ЭИ-437Б/, ХН73МБТЮ /ЭИ-698/.

Корпуса турбин и кольцевые детали работают при меньших напряжениях, но при большем перепаде температур с частыми теплосменами. Основные требования, предъявляемые к этим деталям: сопротивление окислению, короблению и растрескиванию под влиянием термических напряжений наряду с хорошей технологичностью и низкой трудоемкостью. Для их изготовления применяются, главным образом, литейные /ВЖЛ-14/ и свариваемые /ВЖ101-ЭП-199/ сплавы.

Для листовых деталей горячей части двигателя применяют сплав ХН78Т /ЭИ-435/. Этот материал хорошо сваривается, обладает высоким сопротивлением газовой коррозии, имеет хорошую термостойкость и не склонен к растрескиванию под напряжением.

3.9. Магниеые сплавы

Основными преимуществами магниевых сплавов как конструкционного материала является малая плотность, высокая способность поглощения энергии удара и вибрационных нагрузок. Положительным свойством магниевых сплавов является также их высокая удельная теплоемкость. Важным технологическим свойством магниевых сплавов является их отличная обрабатываемость резанием.

К недостаткам магниевых сплавов относится их пониженная коррозионная стойкость. Однако при надлежащей защите детали и изделия из магниевых сплавов могут надежно работать во всех климатических условиях, а также в контакте с минеральными маслами, керосином, бензином, в щелочных средах, жидком и газообразном безводном кислороде и других не агрессивных по отношению к магнию средах.

Магниеые сплавы не рекомендуется использовать без специальной обработки поверхности в морской воде, среде кислот, их растворов и паров, в местах скопления конденсата, не имеющих дренажных отверстий, для деталей, подвергающихся в процессе эксплуатации эрозии.

Из деформируемых магниевых сплавов средней прочности применяют МА-II - до 250°C. Из литейных сплавов - МЛ-15 до 200°C.

3.10. Алюминиевые сплавы

Алюминиевые сплавы обладают высокой удельной прочностью и жесткостью, и применение их целесообразно во всех случаях, допустимых по условиям работы /по температуре и напряжениям/. Наиболее широкое применение находят листовые сплавы Д16, деформируемые АК-4, АК-8 и литейный АЛ-4.

Сплав Д16 системы $Al-Cu-Mg$ рекомендуется применять в искусственно состаренном состоянии, для которого характерны повышенные значения предела текучести, сниженное удлинение, повышенная чувствительность к трещине. Коррозионная стойкость сплава после искусственного старения удовлетворительная.

Сплав АК-4 системы $Al-Cu-Mg-Fe-Ni$ является хорошим ковочным сплавом. Поковки и штамповки из этого сплава имеют практически равную прочность во всех направлениях.

Для изготовления фасонных деталей применяют литейный сплав АЛ-4 системы $Al-Si$. Сплав предназначен для работы до температур 175°C, обеспечивает хорошую герметичность.

3.11. Титановые сплавы

Основным преимуществом титановых сплавов является их малая плотность, высокие механические свойства в интервале температур от криогенных /-250°C/ до умеренно высоких /300...600°C/ и отличная коррозионная стойкость в большинстве агрессивных сред. Сплавы с

α -структурой /например, ВТ-5/ при температуре жидкого водорода

имеют прочность вдвое большую, чем при комнатной, удовлетворительную пластичность и могут превосходить коррозионно-стойкую сталь не только по удельной, но и по абсолютной прочности. При комнатной и высокой температурах титановые сплавы успешно конкурируют с легкими сплавами, коррозионно-стойкими и конструкционными сталями, превосходя их либо по удельной прочности, либо по коррозионной и эрозионной стойкости.

Недостатками титановых сплавов являются низкие антифрикционные свойства и высокая химическая активность в некоторых условиях, низкая теплопроводность. При трении титан и его сплавы склонны к схватыванию и задираню, что необходимо учитывать при изготовлении деталей, длительно работающих при больших удельных давлениях. Для повышения износостойкости и уменьшения фрикционной коррозии деталей из титановых сплавов применяют гальванические покрытия / медью, серебром, хромом и др./, смазки, содержащие дисульфид молибдена, и покрытия твердыми веществами /карбидом вольфрама/, наносимые плазменным или детонационным методом.

При определенных сочетаниях концентрации и давления кислорода, а также при наличии свс этого излома возможно возгорание титана, чему способствует и повышенная температура. Кроме того, титановые сплавы склонны к коррозии под напряжением в некоторых средах, в частности, в дымящей азотной кислоте, метиловом спирте.

Максимальная допустимая температура зависит от состава сплава и продолжительности работы изделия. Жаропрочные титановые сплавы могут работать длительно до 500°C , кратковременно - до 600°C . Эти ограничения определяются термической стабильностью сплава.

Титан способен образовывать твердые растворы с кислородом. При повышенной температуре кислород диффундирует вглубь титана, образуя твердый хрупкий "альфированный слой".

Титановые сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью во всех климатических условиях при температурах до 300°C .

Титановые сплавы могут свариваться всеми видами сварки при условии

соблюдения надлежащих мер защиты. Наиболее хорошей свариваемостью обладают сплавы с α - структурой. Наиболее широко применяются деформируемый свариваемый сплав ВТ-20, жаропрочный титановый сплав ВТ-8, литейный - ВТ5Л.

3.12. Медные сплавы

Медь и сплавы на ее основе являются электропроводными, теплопроводными и коррозионно-стойкими материалами. Они отличаются высоким сопротивлением износу и низким коэффициентом трения. Высокие пластические свойства меди и ряда её сплавов позволяют получить полуфабрикаты в виде прутков, ленты, листов, труб и проволоки. Детали из меди можно изготавливать штамповкой и глубокой вытяжкой из листа.

Конструкционные медные сплавы обладают высокой технологичностью: они легко обрабатываются резанием, хорошо свариваются и паяются. При низких температурах / до -250° / прочность меди повышается как в нагартованном, так и в отожженном состоянии.

Для изготовления ряда деталей, требующих повышенной коррозионной стойкости, специальных физических свойств и высокой технологичности, применяются бронзы, представляющие сплав меди с каким-либо металлом, кроме цинка /с цинком - латунь/.

Жаропрочные бронзы БрХ0,5 и ВБрI представляют собой сплавы меди с элементами, увеличивающими ее прочность при высоких температурах благодаря повышению температуры плавления / действие хрома и никеля / или образованию высокодисперсной смеси фаз в результате закалки и отпуска.

Особую группу составляют сплавы, обладающие наряду с высокой жаропрочностью и высокой тепло-и электропроводностью. К их числу относятся бронзы- хромистая БрХ0,5 и кобальтоникелевая ВБрI. Так, теплопроводность бронзы БрХ0,5 при 500°C составляет 90%, а более

жаропрочной бронзы ВВrI - 80% от теплопроводности чистой меди, в то время как теплопроводность бронз, содержащих значительное количество никеля, алюминия и кремния - не более 25%.

Сочетание жаропрочности с высокой тепло-и электропроводностью обеспечивается минимальным содержанием компонентов в твердом растворе меди. Эти сплавы содержат весьма малое количество легирующих элементов, в сумме не превышающее 1%. Из сплавов данной группы особый интерес представляет бронза циркониевая BrCr0,4, обладающая высокой жаропрочностью и значительно большей крипоустойчивостью, чем бронза хромистая.

Сплавы, содержащие значительное количество никеля, обладают повышенной химической стойкостью.

3.13. Композиционные и термопластичные материалы

Композиционные материалы на основе термореактивных полимерных связующих с различными армирующими наполнителями относят к группе слоистых пластиков.

Свойства слоистых пластиков в значительной мере определяются структурой наполнителя и расположением волокон, а также природой связующего. Для этих материалов характерна анизотропия свойств /вдоль и поперек волокон, параллельно и перпендикулярно слоям армирующего наполнителя/, степень которой зависит от особенностей наполнителя и угла армирования, что необходимо учитывать при изготовлении изделий и их эксплуатации.

В таблицах (см.прил.) представлены данные слоистых пластиков двух видов: на основе стеклянных СК9-ФА /стеклопластики/ и на основе углеродных КМУ-1 /углепластики/ волокон. Слоистые пластики первого типа используются в основном в качестве материалов конструкционного, электро-и радиотехнического назначения, второго - для усиления металлических конструкций, увеличения продольной жесткости емкостей, работающих под давлением, и других целей.

Стабильность свойств стеклопластиков определяется монолитностью структуры и условиями эксплуатации. Большинство стеклопластиков являются коррозионно-пассивными материалами и могут работать в контакте с цветными и черными металлами и сплавами. Изделия из стеклопластиков в зависимости от типа связующего, габарита и назначения могут быть изготовлены различными методами: пропиткой под давлением, прямым прессованием, формованием /контактным, вакуумным, автоклавным/, намоткой и др. Некоторые материалы выпускаются в виде листов и плит, детали из которых получают методом механической обработки. Для изготовления монолитных изделий предпочтительнее использовать методы пропитки и формования под давлением, а также прямого прессования.

Композиционные материалы на основе углеродных и борных волокон обладают высокими модулем упругости, пределом динамической и статической выносливости, малой ползучестью и деформацией при нагружении в направлении выкладки волокон, повышенной тепло- и электропроводностью, низкой плотностью.

Изделия из угле- и боропластиков получают в основном методом автоклавного и прямого прессования, но в зависимости от типа связующего могут также применяться методы пресс-камерного формования, намотки, пропитки под давлением и др.

Термопластичные материалы представляют собой большую группу полимерных материалов, особенность которых состоит в том, что при изменении температуры они меняют свое физическое состояние /размягчаются при нагревании и затвердевают при охлаждении/, не претерпевая при этом химических превращений.

Термопластам свойственны следующие характерные особенности, которые следует учитывать при использовании этих материалов:

- зависимость механических свойств от температуры испытания и скорости деформаций;
- склонность к ползучести;

стойкость к действию агрессивных сред и химических агентов /фторопласт и др./;

хорошие антифрикционные свойства /фторопласт и др./;

стойкость к действию плесневых грибов.

В приложении даны свойства широко применяемого в ДЛА фторопласта 4, относящегося к группе термопластических материалов.

3.14. Припой для пайки металлов

Процесс пайки состоит в заполнении зазора между соединяемыми металлами жидким припоем под воздействием капиллярных сил и его кристаллизации при охлаждении. Металлы в месте соединения нагреваются до температуры более низкой, чем температура расплавления, и сохраняют твердость.

Различают высокотемпературную пайку, когда температура в месте контакта соединяемых металлов и припоя выше 450°C , и низкотемпературную, когда температура нагрева не превышает 450°C .

Низкотемпературная пайка применяется в тех случаях, когда от паяных соединений не требуется высокой прочности, а нужна герметичность соединения или хороший металлический контакт.

В качестве припоев используются металлы или сплавы более легкоплавкие, чем материал паяемых деталей, образующие достаточно прочные, плотные, пластичные и коррозионно-стойкие соединения. Припой применяются в виде проволоки, фольги, паяльных паст, порошка, стружки, гранулированных зерен.

Для удобства припой группируются по следующим признакам: низкотемпературные, содержащие олово, — для пайки меди, медных сплавов и сталей; низкотемпературные, содержащие серебро, — для пайки меди и ее сплавов; высокотемпературные, содержащие серебро, — для пайки различных сплавов; высокотемпературные на медной основе — для

пайки меди и сталей; особая группа припоев для пайки алюминиевых сплавов; припой для пайки жаропрочных сталей и сплавов.

Некоторые сведения по припоям, представляющим различные группы, даны в приложении.

4. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Т а б л и ц а I

Примеры применения материалов в конструкциях
агрегатов ДДА

Узел	Деталь	Применяемые материалы	
Камера	Рубашка корпуса	I2X18H9T; X16H6(CH2A); X12H10MT(ВНС-25); 2X18H12CЧ10(ЭИ-654); ЭИ-759; ОТ-4; ВТ-20;	
	Стенка корпуса и внутреннее днище головки	ЭИ-759, I2X18H9T; БрХ0,5(БрХ0,8); ВВрI; БрЦр0,4.	
	Наружное и среднее днища головки	I2X18H9T; X16H6(CH2A); X12H10MT(ВНС-25); 2X18H12CЧ10(ЭИ-654); ЭИ-759	
	Форсунки	I2X18H9T; БрХ0,5(БрХ0,8)	
	Газовод	ЭИ-199(ВЖ-101); ХН78Т; ВЖЛ-14	
Соединительные элементы	Трубопроводы	IX18H9T; X12H10MT; АМГМ; Д16Т	
	Рама, кронштейны	ЭИ-712; X12H10MT(ВНС-25); I2Г2А; ВТ-20, ВТ-8.	
	Корпус насоса окислителя	АЛ-4; X18H9БЛ; ЭИ-654Л; ВЖЛ-6	
	Корпус насоса горячего	АЛ-4; X18H9БЛ; ЭИ-654Л; ВЖЛ-6; ВТ5Л; МЛ-15	
	ТНА	Крыльчатка, шнеки насоса окислителя	АК4-ТТ; X16H6(CH2A); ВЖЛ-6; X12H10MT(ВНС-25)
		Крыльчатка, шнеки насоса горячего	АК4-ТТ; X16H6(CH2A); ВЖЛ-6; X12H10MT(ВНС-25); ВТ-8
		Вал насоса окислителя	X16H6(CH2A); ВЖЛ-6; X12H10MT(ВНС-25)
		Вал насоса горячего	ВТ-8; X16H6(CH2A); ВЖЛ-6; X12H10MT(ВНС-25)
		Шестерни	I2X2H4A; X12H10MT(ВНС-25)

Окончание табл. I

Узел	Деталь	Применяемые материалы
	Подшипники скольжения	Свинцовистая бронза, фторопласт 4
ТНА	Корпус турбины	XI8H9БЛ; ЭИ-654Л; ВЛЛ-6; 2XI8H12CЧТЮ; ХН77ТКР; АЛ-4
	Диски турбины	ХН77ТКР; ХН7ЗМБТЮ; ВЛЛ-14; АК-4; ВЛЛ-6
	Рабочие лопатки турбины	ХН77ТКР; ЭИ-220; ЭС-6К; ВЛЛ-14; АК-4; ВЛЛ-6
	Сопловой аппарат турбины	ЭИ-654Л; ВЛЛ-14; ЭС-6К; I2XI8H9Т
Крепек	Болты, гайки	СТ45; XI6H6(СВ2А); ХН77ТКР; ХН7ЗМБТЮ; ВТ-8
Баки, баллоны	Баки, баллоны	I2I2А; ЭИ-654; XI2H10MT(ВНС-25); ОТ-4; ВТ-20; I2XI8H9Т; КМУ-1у
Клапаны, регуляторы	Корпус	АЛ-4; XI8H9БЛ; ЭИ-654Л; ВЛЛ-6; ВТ5Л
	Штоки, мембраны	I2XI8H9Т; XI2H10MT; XI6H6; ОТ-4; ВТ-8

Материалы для деталей, соприкасающихся с жидкими
компонентами топлива

Компонент топлива	Для продолжительной работы (баки для хранения)	Для кратковрем. работы (трубы, клапаны и др)	Прокладки, уплотнения
Жидкий кислород	Медь, алюминий и их сплавы, аустенитная сталь, никелевые сплавы	Медь, алюминий и их сплавы, аустенитная сталь, никелевые сплавы	Асбест, отожженная медь, алюминий, фторопласт-4 и тефлон, политетрафторэтилен, свинец, коя обезжиренная, клингерит (паронит)
Жидкий фтор	Медь, алюминий и их сплавы, аустенитная сталь, никель, никелевые сплавы	Медь, алюминий и их сплавы, аустенитная сталь, никелевые сплавы	Фторопласт
Перекись водорода	Чистый алюминий	Чистый алюминий и некоторые его сплавы, нержавеющ. стали	Полихлорвинил, асбест, полиэтилен, политетрафторэтилен, полихлортрифторэтилен
Азотная кислота	Чистый алюминий, некоторые его сплавы, не содержащие цинка	Алюминий и его сплавы, аустенитная сталь (нерж.) высоколегированные хромоникелевые стали	Полиэтилен, полихлорвинил, асбест, политетрахлорэтилен, полихлортрифторэтилен
Четырехокись азота	Алюминиевые сплавы, при малом содержании воды - стали	Алюминиевые сплавы, при малом содержании воды стали	
Керосин	Все металлы	Все металлы	Асбест, фибра, любые нерастворимые пластинки
Этиловый спирт	Все металлы	Все металлы	Асбест, любые нерастворимые пластики

Окончание табл. 2

Компонент топлива	Для продолжительной работы (баки для хранения)	Для кратковрем. работы (трубы, клапаны и др.)	Прокладки, уплотнения
Гидразин	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь, алюминий, мягкая сталь	Асбест
Нитрометан	Нержавеющая сталь, алюминий	Алюминий Нержавеющая сталь, мягкая сталь	Асбест, политетрафторэтилен
Жидкий водород	Алюминий и его сплавы, аустенитные стали, никелевые сплавы	Алюминий и его сплавы, аустенитные стали, никелевые сплавы	

Материалы, применяемые в уплотнениях

Тип уплотнения	Деталь уплотнения	Материал
Щелевое или лабиринтное уплотнение с плавающим кольцом	Плавающее кольцо	Фторопласт
Уплотнение с упругими кольцами	Упругое кольцо	Бронза, антифрикционный чугун
Манжетное и воротниковое уплотнения	Манжета, воротник	Специальные резины, кожи, фторопласт, капрон
Сальниковое уплотнение	Сальник	Обычный, голубой или прогرافиченный асбест
Торцовые уплотнения	Вращающееся кольцо	Инструм. сталь, углеродистые закаленные стали, нержав. сталь, азотируемые стали, стеллит
То же	Невращающееся кольцо	Набивка из голубого асбеста, графит, меднографитовая смесь, сталь, антифрик. бронза, фторопласт, текстолит, стекло-текстолит
Контактные уплотнения с кольцевыми сегментами	Сегменты	Графит, антифрикционный чугун
Неподвижные уплотнения резьбовых и фланцевых соединений	Прокладки, кольца	Алюминий, медь, нержавеющая сталь, фторопласт, резина
Уплотнения клапанов	Уплотняющая вставка	Эбонит, фибра, свинец, отожженная красная медь, алюминий, клингерит, резина, кожа, асбест
Мембранные уплотнения	Мембраны	Нержавеющая сталь, фторопласт, алюминий
Сильфонное уплотнение	Сильфоны	Томпак, полутомпак, Л80, нержавеющая сталь, титановый сплав BT1, фторопласт

СОДЕРЖАНИЕ

Принятые обозначения	I
1. Маркировка легированных сталей	2
2. Требования к материалам, применяемым в ДЛА	3
2.1. Требования, обусловленные функцией детали, назначением конструкции, специальные требования	3
2.2. Прочностные требования	4
2.3. Особые требования, обусловленные окружающей средой	6
2.4. Технологические требования	7
2.5. Экономические требования	7
3. Классификация материалов	8
3.1. Углеродистые стали	8
3.2. Улучшаемые, цементуемые и азотируемые стали	8
3.3. Высопрочные стали	9
3.4. Хардстойкие и коррозионно-стойкие стали	9
3.5. Стали для пружин, упругих элементов и предельных пар трения	II
3.6. Стали и сплавы для агрессивных сред	II
3.7. Длительные стали	12
3.8. Хардпрочные сплавы	13
3.9. Магнелиевые сплавы	14
3.10. Алюминиевые сплавы	15
3.11. Титановые сплавы	16
3.12. Медные сплавы	17
3.13. Композиционные и термопластичные материалы	18
3.14. Припой для пайки металлов	20
4. Примеры применения материалов	22

Составитель - Вольф Исифович Цейтлин

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ДЛА

Редактор Е.Д.Антонова
Техн. редактор Н.М.Калевик

Подписано в печать 22.06.1984 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.

Оперативная печать. Усл.п.л. 1,62. Уч.-изд.л. 1,6.

Т. 150 экз. Заказ № 268 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Офсетный участок КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.