

УДК 629.735.33

В.Ю. СИЛЕВИЧ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

## МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И РЕСУРСА ПУВРД С МЕХАНИЧЕСКИМ КЛАПАНОМ

*Предложен системный подход к выбору конструкционных материалов для изготовления основных элементов конструкции пульсирующих воздушно-реактивных двигателей, исходя из требований к ресурсу. Проведено исследование материалов на предмет их пригодности для изготовления деталей двигателя. Выявлены условия совместимости в паре «клапан-решётка» на основе сопоставления механических свойств материалов. Обоснован выбор сортамента сталей, пригодных для изготовления камеры двигателя. Рассмотрены варианты применения низколегированных сталей для изготовления камеры сгорания малоресурсных моторов.*

**Ключевые слова:** пульсирующий воздушно-реактивный двигатель, ресурс, механический клапан, коэффициент ударной вязкости, прочность, окалинообразование, выносливость, коррозионная стойкость.

### Введение

Возрождение интереса к пульсирующим воздушно-реактивным двигателям (ПуВРД) [1] обусловлено развитием класса скоростных малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БЛА), в типоразмере которых проблема создания вполне удовлетворительной двигательной установки (ДУ) прямой реакции, позволяющей уверенно преодолевать ветровой снос, не получила разрешения [2]. Привлекательность ДУ с ПуВРД объясняется главным образом простотой конструкции и преимуществом в массовом совершенстве перед иными известными аналогами в классе БЛА с относительно коротким полетным циклом [3]. Наиболее существенным недостатком всех известных типов ПуВРД является невысокий уровень термодинамического совершенства, который менее заметно проявляется в подклассе двигателей с входным автоматическим механическим клапаном (МК) по сравнению с бесклапанными. В то же время, живучесть узла клапана является главным фактором, определяющим надежность и ресурс ПуВРД с МК. Помимо этого, от подбора материалов клапанного узла, толщины и формы клапанов, технологии и качества изготовления и их регулировки зависит тяга двигателя, а также устойчивость рабочего процесса. В качестве второго по критической значимости элемента конструкции ПуВРД, следует выделить камеру вследствие высокой тепловой напряженности в сочетании с циклическими нагрузками (рис. 1).

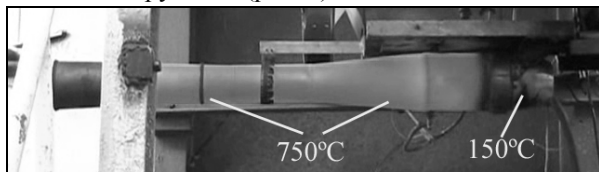


Рис. 1. Температурные зоны двигателя

Указанная проблематика рассматривается далее на примере ПуВРД в классе тяг 60..100 Н с лепестковым клапаном (рис. 2).

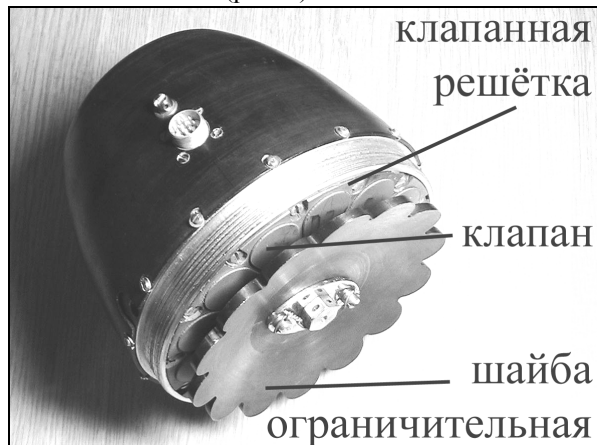


Рис. 2. Узел клапана ПуВРД малой тяги

### Постановка задачи

Ресурс двигателя определяется временем до накопления критического множества разрушений элементов конструкции. В связи с этим разрушения, определяющие износ ПуВРД, можно разделить на два типа: критические и некритические. Под некритическими стоит понимать такие разрушения, при которых двигатель работает без снижения основных удельных показателей. Это могут быть сколы на лепестках клапана, не выходящие за зону перекрытия решётки (рис. 3), образование небольших трещин на камере, через которые не проникают продукты сгорания. Тем не менее, такого рода разрушения при наличии концентраторов напряжений инициируют потерю работоспособности соответствующих элементов конструкции.

Критическим разрушением является образование прогаров в стенке камеры, образование трещин, через которые проходят продукты сгорания, потеря лепестка клапана (рис. 4). Практика показывает, что при образовании скола лепестка до половины площади перекрытия, двигатель может продолжать работу, но при этом существенно снижается удельная тяга и также будет затруднён последующий запуск двигателя.

Из вышесказанного следует вывод, что для невозвращаемого и многократного летательного аппарата понятие «ресурс» имеет различные значения. Для первого в ресурс входит время до критического разрушения элемента конструкции, для второго – до некритического, но не совместимого с установленным уровнем надежности для дальнейшей эксплуатации.

Выбор материала из доступного сортамента материалов весьма ограничен и решающим образом определяет ресурс либо осуществимость конструкции ПуВРД вообще. Автоматические клапаны ПуВРД изготавливаются из углеродистых сталей У7, У8, У9, У10, легированных холоднокатаных и титановых сплавов [5]. Указанный сортамент материалов наиболее адекватен условиями циклических нагрузок с частотой 150...210 Гц [6], сопровождающихся возникновением у корня лепестка значительных изгибных моментов, а на кромках – сильных ударов о клапанную решётку в момент закрытия.

Выбор материала автоматического клапана неразрывно связан с выбором материала клапанной решётки, потому как преимущество в каких либо механических свойствах одного из компонентов узла запирания может привести к быстрому выходу из строя другого. А поскольку ресурс определяется живучестью системы в целом, то анализ будет проводиться для пары «материал клапана – материал решётки».

Определяющими факторами при выборе материалов пары являются:

- предел прочности;
- рабочая температура клапана и решётки;
- ударная вязкость материалов;
- длительная прочность;
- выносливость.

В процессе доводки двигателя было установлено, что клапан из титанового сплава ОТ 4-1 работает при температуре не выше 249 °С. При нагреве титанового сплава свыше указанной температуры в воздушной среде происходит образование оксидной плёнки, сопровождающееся появлением цветов побежалости [7]. При этом также как и стенки камеры двигателя, до красного свечения нагревается ограничительная шайба клапана (рис. 2), при этом её температура достигает 750 °С [8]. Благодаря этому в

точке контакта на клапане возникает зональное покрытие материала оксидной плёнкой, влекущее за собой охрупчивание клапана.

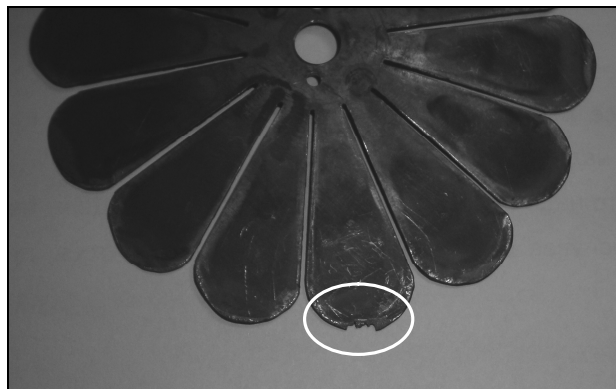


Рис. 3. Некритическое разрушение лепестка клапана

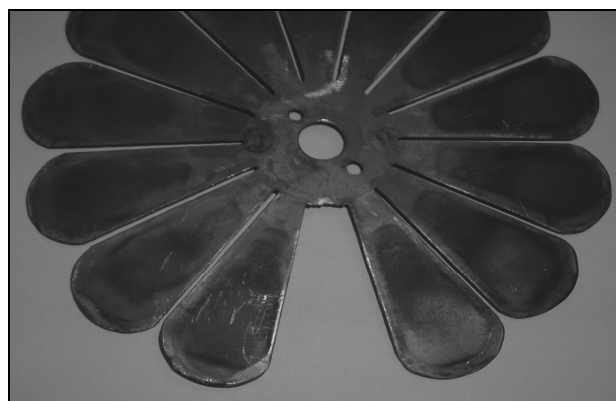


Рис. 4. Критическое разрушение клапана – потеря лепестка

## 1. Анализ сортамента материалов клапана

### 1.1. Стали

Стали марки У7, У8, У9 являются углеродистыми инструментальными нелегированными (ГОСТ 1435-90). Содержание легирующих элементов таково: хрома – не более 0,2%, никеля – 0,25% и меди – 0,25%. Стали этой группы обладают временным сопротивлением  $\sigma_B=650 \text{ Н/мм}^2$  [9]. Область применения распространяется на инструмент, работающий в условиях, не вызывающих разогрева рабочей кромки. Данная категория сталей не склонна к отпуску. Отличается низкой коррозионной стойкостью даже при небольшом нагреве и поэтому не пригодна для работы при температурах выше 100 °С [10].

Пружинная сталь 65Г является качественной углеродистой с повышенным содержанием марганца. Температура закалки 790-830 °С, отпуска 200–500 °С. Относится к той же группе прочности, что и стали У7, У8. Применяется в деталях, работающих

без ударных нагрузок. Как и инструментальные стали, сталь марки 65Г не является теплостойкой и не пригодна для использования в качестве материала автоматического клапана ПуВРД.

Из числа пружинных марок можно выделить железоникельхромовые стали 36НХТЮ, 36НХТЮ5М и 36НХТЮ8М (отличающиеся лишь режимом термической обработки с разбросом механических свойств в пределах 10%), которые являются коррозионно- и теплостойкими, выдерживают температуры 250–350 °С, а также сталь 50ХФА, с рабочей температурой до 300 °С. Эти материалы применяются в основном для изготовления элементов конструкций сложной формы методом холодной пластической деформации с большим обжатием и глубокой сложной вытяжкой. Возможно применение аустенитных коррозионно-стойких жаропрочных сталей 08Х18Н10Т и 12Х18Н9Т, сохраняющих упругие свойства до 450–500 °С [10]. Также для упругих элементов, у которых должна быть наиболее высокая коррозионная и тепловая стойкость, применяют сплавы на никельхромовой основе, например 70НХМБЮ, его можно использовать до температуры 500–550 °С [10]. Однако следует учитывать, что для вышеуказанных материалов необходимо, чтобы материал решётки обладал высокой ударной вязкостью.

### 1.2. Титановые сплавы

С позиций поставленной задачи исследований титановые сплавы представляют интерес, прежде всего, ввиду их превосходной коррозионной стойкости в различных условиях. Как и в случае нержавеющей стали или алюминия, эту особенность титана можно объяснить образованием на его поверхности пассивирующей окисной пленки, благодаря чему титан устойчив к воздействию большинства окислительных сред. Окисная пленка обладает защитными свойствами только при умеренном нагреве, поскольку при температурах до 249 °С титан окисляется очень медленно, но при дальнейшем повышении температуры скорость его окисления возрастает [7]. Ограничения в отношении продолжительности и степени нагревания титана в воздушной среде играют большую роль в тех случаях, когда металл подвергается термической обработке или обработке давлением. Использованию титана в качестве жаропрочного материала препятствует, прежде всего, ухудшение его механических свойств при повышенных температурах.

Наиболее целесообразно [5] использовать в качестве основного материала клапана сплавы на основе титана. Материал ОТ 4-1 принадлежит к группе титановых сплавов невысокой прочности и по-

вышенной пластичности. Материал ОТ 4-1 относится к псевдо  $\alpha$  сплавам. Обладает высокой термической стабильностью и не охрупчивается при температурах до 300 °С [14].

Из титановых сплавов только сплавы ВТ9, ВТ14, ВТ16 и ОТ4 имеют показатель коэффициента ударной вязкости (КУВ) того же порядка, что и сплав ОТ4-1 (рис. 4).

Из всех титановых сплавов только ВТ1-00 и ОТ4-1 обладают наименьшим содержанием водорода. Известно [7], что водород является особо вредной примесью, поскольку при его наличии в  $\alpha$ -сплаве по границам зёрен выделяются тонкие хрупкие пластины гидридной фазы, вызывая значительную хрупкость.

Сплав ВТ1-00 обладает наименьшей из перечисленных материалов предельной прочностью, а также низкой рекомендуемой температурой использования [14].

## 2. Клапанная решётка

Клапанная решётка ПуВРД не подвергается высоким температурным нагрузкам, так как штатное протекание рабочего процесса циклически сопровождается охлаждением топливовоздушной смесью (ТВС) и не связано с протеканием сквозь неё высокотемпературных продуктов сгорания. Такая параметризация рабочего процесса позволяет использовать в качестве конструкционного материала решетки дюралюминиевые сплавы.

Из алюминиевых сплавов следует отметить Д16, Д19 и ВД17, относящиеся к жаропрочным сплавам первой группы, а также Д20 и Д21, относящиеся ко второй группе, с рабочей температурой до 300 °С.

Сплав алюминия Д16 применяется в различных деталях конструкций, длительно работающих до температуры 80 °С и ограниченное время – при температуре 150 °С.

Элементы конструкции, выполненные из дюралюминиевых сплавов, предназначенные для использования при температурах 150 °С и выше, должны подвергаться искусственному старению, приводящему к более стабильному структурному состоянию, чем естественное старение.

Сплавы Д16, Д19, ВД17 и В95 относятся к высокопрочным алюминиевым сплавам ( $\sigma_B > 450$  МПа), а Д20 и Д21 к сплавам средней прочности.

Зависимость механических свойств полуфабрикатов из дюралюмина от направления вырезки образцов обусловлена особенностями внутреннего строения материалов. Анизотропия характеристик вязкости обусловлена анизотропией пластических и прочностных свойств материала. Согласно [13], вяз-

кость разрушения на образцах вырезанных вдоль, поперёк и по высоте полос из сплава Д16Т и Д16Т1, оцениваемая по отношению максимального значения к минимальному, существенно выше, чем анизотропия характеристик прочности  $\sigma_B$  и  $\sigma_{0,2}$ . Установлено, что отношение максимальной ударной вязкости к минимальной в сплавах Д16Т и В95Т в зависимости от направления волокон в образцах может изменяться втрое.

В действующем образце ПуВРД в качестве со-

пряженной пары материалов узла запираания используются ОТ4-1 и Д16Т. Разница между ударной вязкостью указанных материалов составляет  $0,3 \text{ МДж/м}^2$  с сохранением кратковременной прочности при напряжениях до 50 МПа. Время работы клапана при таких материалах – до 30 минут, решётки – 1,5ч.

Сопоставление основных механических свойств материалов решётки и клапана приведены на рис. 5 – 7.

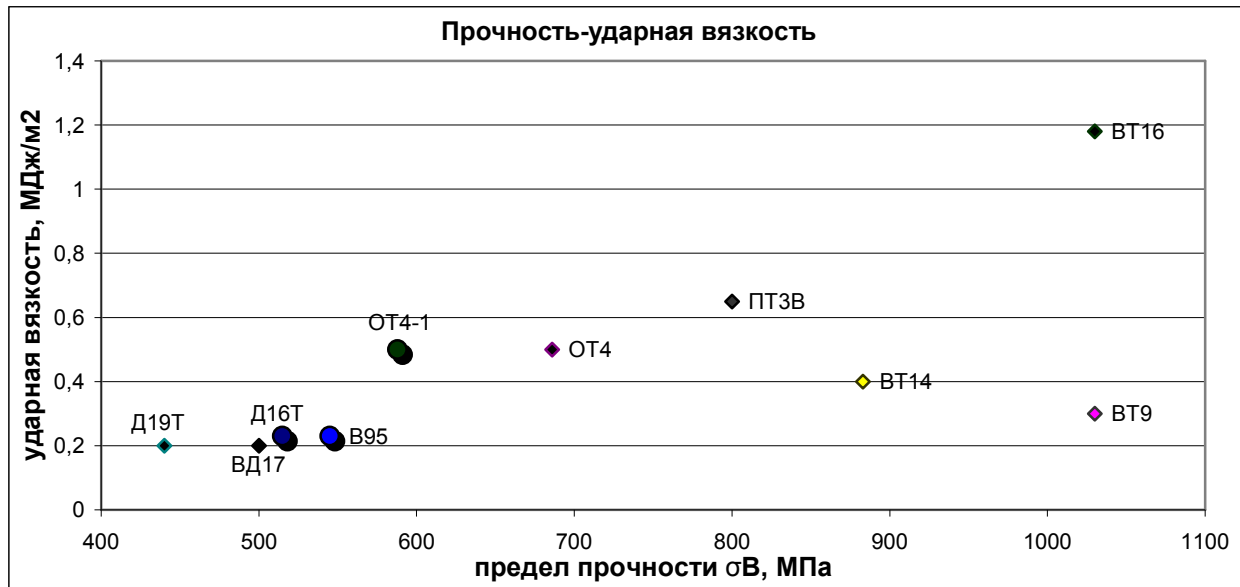


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости от предела прочности для материала клапана и решётки

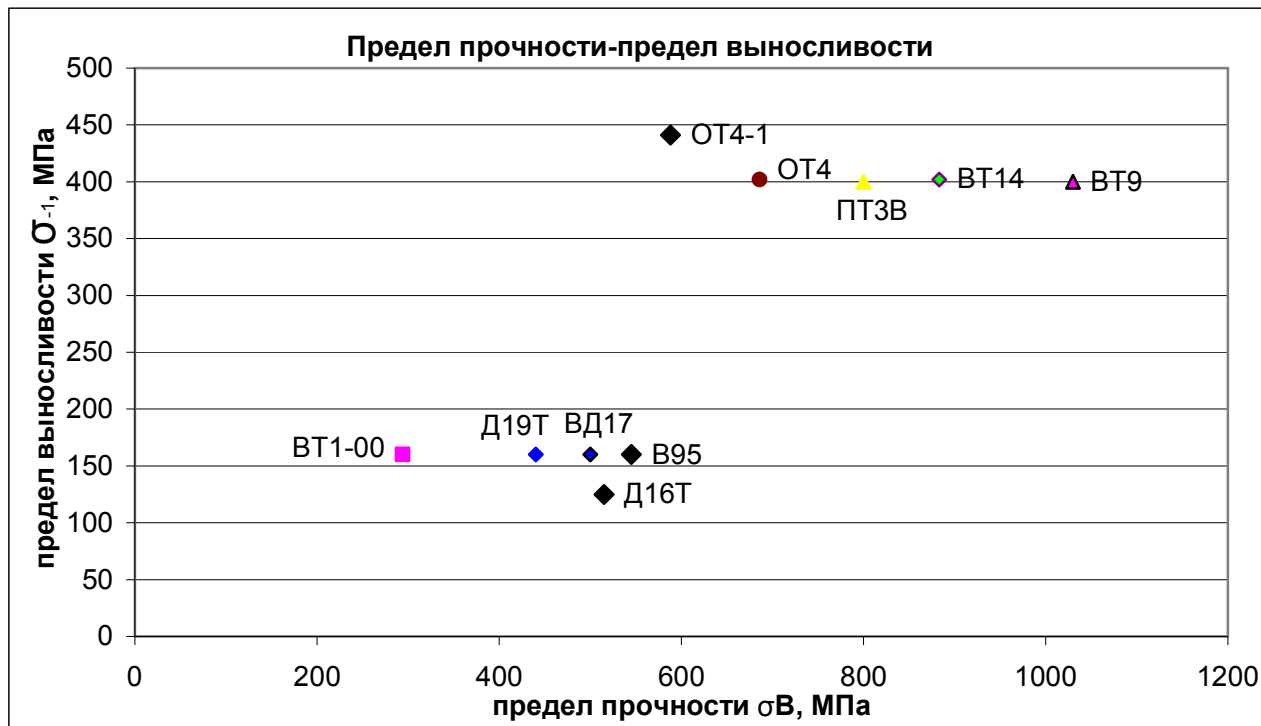


Рис. 6. Зависимость предела выносливости от предела прочности

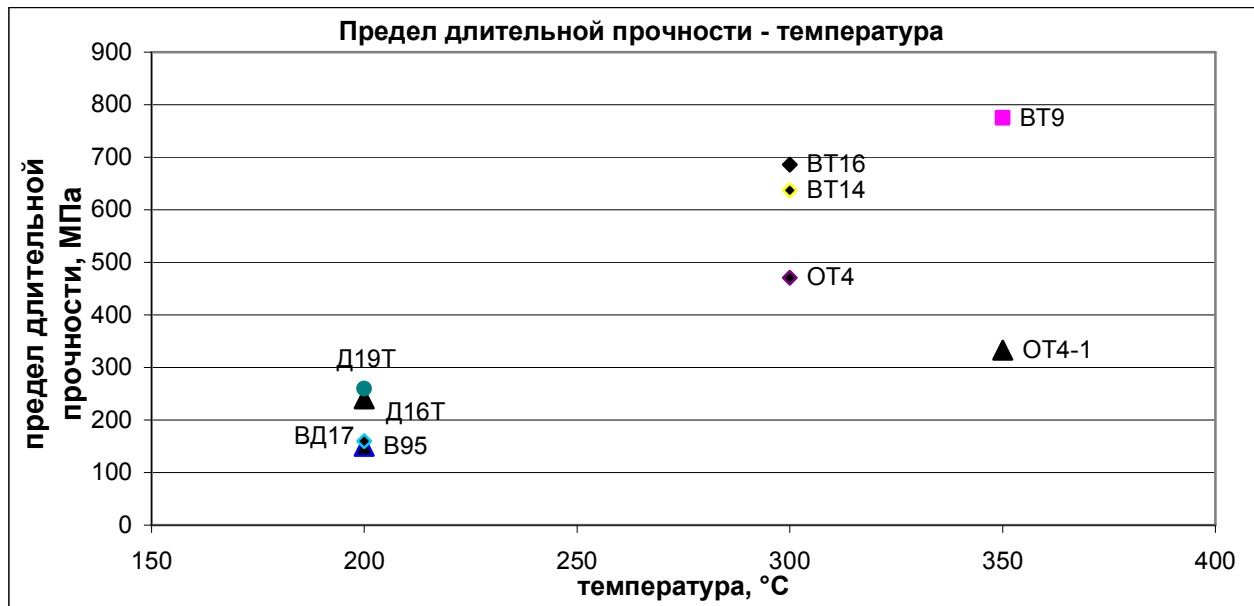


Рис. 7. Зависимость предела длительной прочности от температуры (для алюминиевых сплавов длительность испытаний 10 ч., титановых – 100 ч., сплав OT-4 – 10000 ч., ВД-17 – 1000 ч.)

### 3. Камера сгорания

Камера ПуВРД работает в высоконагруженном тепловом и силовом режимах. По цветам каления и соответствующим им температурам установлено, что температура стенки камеры, при выходе двигателя на рабочий режим, не ниже 750 °C [7].

Основными факторами, влияющими на выбор материала камеры сгорания ПуВРД, являются:

- значение предела прочности при повышенных температурах;
- предел длительной прочности;
- коэффициент ударной вязкости;

– стойкость к окислению в среде воздуха и продуктов сгорания.

Надёжность работы металла при высоких температурах для некоторого временного интервала оценивается в основном пределом длительной прочности, запасом пластичности, коэффициентом ударной вязкости, а также коррозионной стойкостью (рис. 8 – 10). Зависимость коррозионной стойкости сталей от температуры испытания в среде спокойного воздуха показана на рис. 10, где левый конец отрезка соответствует показателю скорости коррозии (мм/год) для заданной температуры, а правый – температуре начала интенсивного окисления.

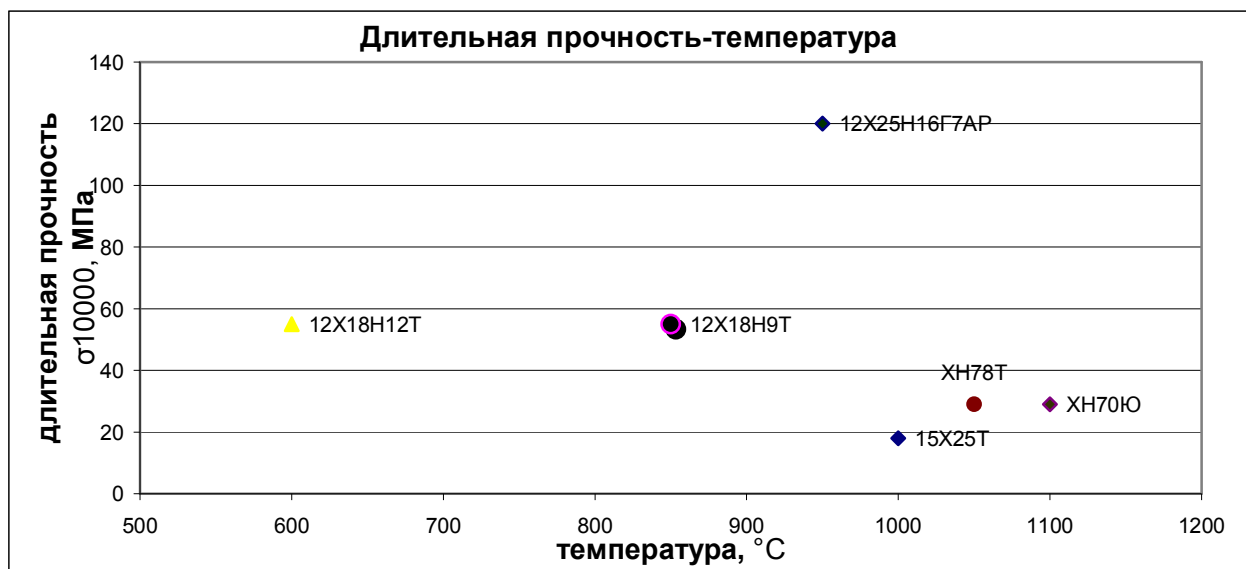


Рис. 8. Зависимость длительной прочности от температуры материала камеры сгорания

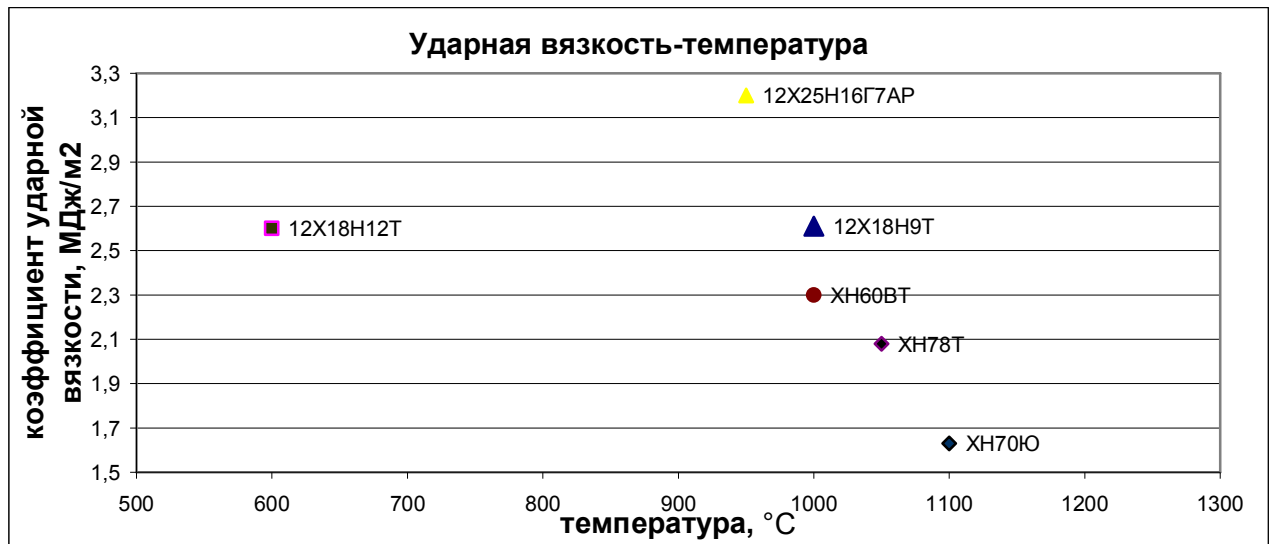


Рис. 9. Зависимость КУВ от температуры

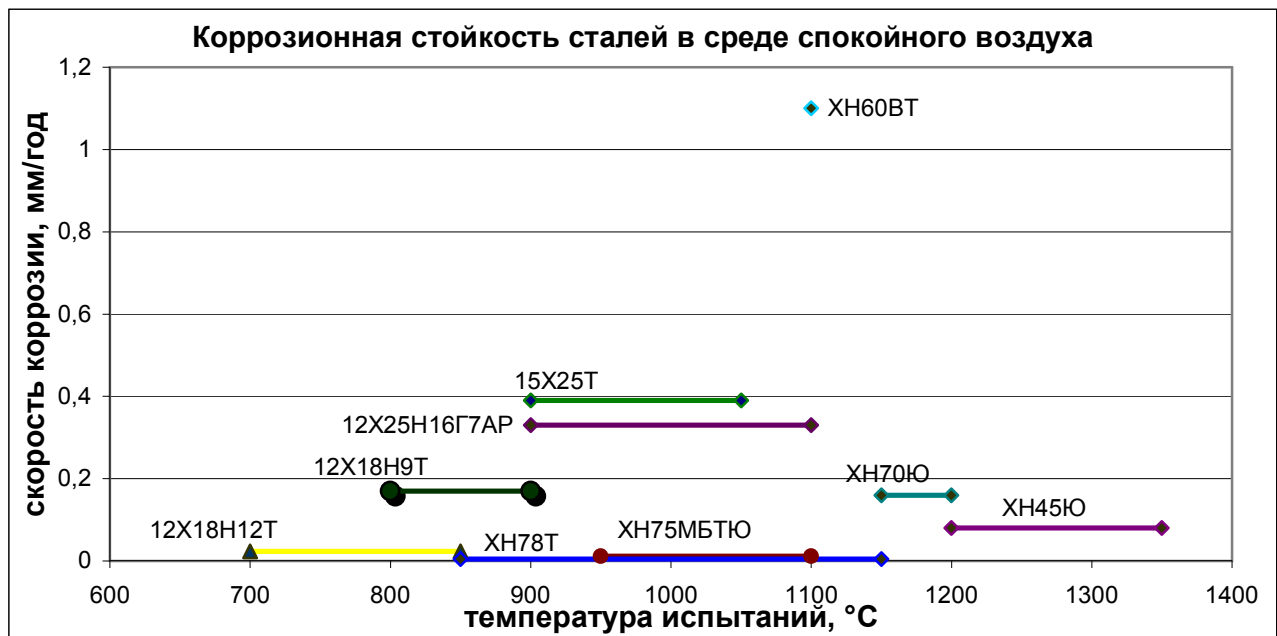


Рис. 10. Зависимость коррозионной стойкости от температуры в среде спокойного воздуха: Левый конец отрезка – показатель скорости коррозии (мм/год) для заданной температуры, правый конец – температура начала интенсивного окисления

Величина длительной прочности должна учитываться при выборе материала, поскольку разрушение материала камеры сгорания имеет место при продолжительных испытаниях двигателя (рис. 11). Стойкость поверхностных слоёв металлических сплавов при высоких температурах в коррозионно-активных средах также является одним из ключевых факторов выбора конструкционных материалов. Под способностью материалов сопротивляться газовой коррозии при высоких температурах в данном контексте следует понимать свойство жаростойкости.



Рис. 11. Разрушение камеры сгорания в результате суммарной наработки 60 минут в условиях горячих стендовых испытаний



Рис. 12. Окалина на стенках камеры сгорания ПуВРД

При работе ПуВРД материал стенки камеры взаимодействует с атмосферным кислородом и продуктами сгорания (рис. 12). При этом на всей поверхности металла образуется оксидная плёнка, от структуры, состава и свойств которой зависит скорость процесса коррозии. На рис. 13 видны вылетающие из двигателя искры – отделившаяся от стенок двигателя внутри камеры сгорания окалина.



Рис. 13. Регистрация траекторий светящихся частиц окалины при стендовых испытаниях двигателя

На высокотемпературных режимах работы целесообразно использовать жаропрочные стали с содержанием хрома не ниже 14%, которые обладают жаростойкостью не ниже 650 °С. Недостатком высокохромистых сталей является склонность к росту ферритного зерна, что ведёт к охрупчиванию материала при длительном нагреве, что в случае высоких вибрационных нагрузок не допустимо. Для предотвращения вышеуказанного эффекта сталь дополнительно легируют титаном, содержание которого не превышает 1% [11].

Легирующие никелем улучшает технологические и прочностные свойства аустенитных сталей, но приводит к значительному удорожанию их. Данное условие также является критичным при выборе конструкционных материалов для коротко-ресурсных объектов проектирования. Никель также обладает более высокой жаростойкостью в окислительных средах, чем железо, так как единственный его оксид NiO менее дефектный, чем FeO.

На основе проведенного анализа, из большого числа высоколегированных сталей был выбран ряд материалов, способных работать при высоких температурах в нагруженном состоянии.

Сталь марки 08X18H10T по структуре, технологическим свойствам, а также служебным и физическим характеристикам близка сталям 12X18H9T и 12X18H10T. От указанных марок она отличается несколько лучшей стойкостью сварных соединений к ножевой и межкристаллитной коррозии [12].

Сталь 12X18H12T обладает повышенной структурной стабильностью по сравнению со сталью 12X18H9T.

## Заключение

1. Сопоставительный анализ и натурные исследования свойств пар материалов указывают на практическую непригодность использования углеродистых и обычных пружинных сталей в качестве материала клапана ПуВРД.

2. В классе легированных сталей можно выделить ряд марок, физические характеристики которых позволяют использовать их в качестве материала автоматического клапана. В данную группу входят некоторые низколегированные стали (36НХТЮ), сталь специального назначения 50ХФА, а также некоторые жаростойкие стали (08X18H9T). Однако в случае их использования необходим подбор парного материала клапанной решётки. Алюминиевые сплавы здесь не пригодны, поскольку у дюралюминов коэффициент ударной вязкости существенно меньше – до 0,3 МДж/м<sup>2</sup> по сравнению с не менее 0,7 МДж/м<sup>2</sup> у сталей. Что касается использования жаростойких сталей, то здесь следует принимать во внимание низкий модуль упругости большинства из них.

3. Материалы на основе титана более пригодны для изготовления автоматического клапана, поскольку, обладая той же предельной прочностью, имеют коэффициент ударной вязкости, близкий к алюминиевым сплавам. Из рассмотренных титановых сплавов можно выделить ОТ4-1 и ОТ4, имеющие наиболее высокий предел выносливости, но наименьший предел длительной и кратковременной прочности. Остальные из числа рассмотренных титановых сплавов имеют КУВ не ниже 0,7 МДж/м<sup>2</sup> (подобно сталям). Свойственный температурный диапазон данных материалов перекрывает пределы температурного режима механического клапана. Материал ВТ1-00, имея большую ударную вязкость, обладает самыми низкими показателями длительной и кратковременной прочности и выносливости.

4. В качестве материала клапанной решётки целесообразно применять дюралюминиевые сплавы.

Выбор обусловлен лёгкостью материала (к примеру, такая же решётка из стали имела бы массу на 150 граммов выше; масса решётки из дюралюмина составляет 90 г), сопоставимой с титановыми сплавами ударной вязкостью и практически одинаковой длительной и кратковременной прочностью. Ещё одним преимуществом, которым обладают сплавы алюминия перед другими сплавами, является лёгкость обработки, что играет существенную роль при изготовлении детали сложной формы. Дюралюминий марки Д16Т отвечает всем требованиям, предъявляемым к материалу клапанной решётки. В качестве единственного недостатка можно указать невысокую жаропрочность материала, которая требуется при серии последовательных пусков-остановов двигателя, когда в момент выключения происходит сильный нагрев решётки от элементов конструкции, но при этом не обеспечивается надлежащий теплоотвод. В таком случае возможно применение жаропрочных алюминиевых сплавов второй группы Д20 и Д21, у которых рабочая температура достигает 300 °С (тогда как у Д16 – 150 °С).

5. Для материала камеры сгорания подходят практически все рассмотренные марки сталей (исключение могут составлять лишь сталь 15Х25Т, имеющая низкий предел длительной прочности, ХН60ВТ, обладающая низкой коррозионной стойкостью при высоких температурах и ХН70Ю – имеющая низкий КУВ при высоких температурах). Стали с содержанием хрома 18%, с их механическими свойствами и температурными режимами вполне допустимо использовать в качестве материала камеры сгорания ПуВРД. Также стоит обратить внимание на сталь 12Х25Н16Г7АР, которая по некоторым свойствам заметно превосходит прочие рассмотренные марки.

6. В целях удешевления короткоресурсных конструкций практически освоено использование обыкновенной легированной стали марки 09Х16Н4Б в качестве материала камеры сгорания. При этом заметно снижается ресурс двигателя. После первых пяти минут работы наблюдается деформация камеры, происходит сплющивание в направлении, перпендикулярном оси двигателя. Изменяется геометрия проточной части двигателя, появляются трещины, распространяющиеся от сварных швов, происходит сильное окалинообразование, заметно уменьшается толщина стенки камеры (в сравнении с жаростойкими материалами) за сравнительно короткое время работы. Однако, после наработки 20-ти минутного ресурса двигатель стабильно запускается и выходит на рабочий режим. Такой подход допустим, например, при проектировании ПуВРД для невозвращаемых беспилотных аппаратов, ресурс которых не превышает 30 минут.

7. Для контровки стяжного болта внутри камеры сгорания целесообразно использование никромовой проволоки, поскольку стальная не выдерживает больших температур в сочетании с интенсивными вибрационными нагрузками.

## Литература

1. *Live forum of all type pulse-jets [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.pulse-jets.com>.*
2. *Облик двигательных установок перспективных малоразмерных БЛА / А.В. Амброжевич, К.В. Беляков, А.С. Карташев, А.Н. Коровой, С.Н. Ларьков, А.Г. Сахно, В.Л. Симбирский, А.А. Цирюк // Авиационно-космическая техника и технология. – 2003. – Вып. 6(41). – С. 36-39.*
3. *Ларьков С.Н. Формирование облика воздушно-реактивных двигателей малоразмерных летательных аппаратов на основе комплексного моделирования: дисс. ... канд. техн. наук: 05.07.05; (Рукопись) / Ларьков Сергей Николаевич. – Х., 2005. – 159 с.*
4. *Бородин В. Пульсирующие воздушно-реактивные двигатели летающих моделей самолетов / В. Бородин. – Х.: Изд-во ДОСААФ, 1974. – 104 с.*
5. *Амброжевич А.В. Исследование взаимосвязи между частотными характеристиками и ресурсом клапана ПуВРД / А.В. Амброжевич, И.П. Бойчук, В.Ю. Силевич // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – №. 1(58). – С. 76-79.*
6. *Бойчук И.П. Сравнение механических моделей колебания лепесткового клапана / И.П. Бойчук, С.Н. Ларьков, В.Ю. Силевич // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. научн. статей Нац. аерокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2009. – Вып. 3(59). – С. 26-32.*
7. *Окисление титана [Электронный ресурс] // Справочник металлов. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.optimumrus.ru/titan/okislenie-titana.html>.*
8. *Макиенко Н.И. Слесарное дело с основами материаловедения / Н.И. Макиенко. – М.: Высш. школа, 1997. – 464 с.*
9. *Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев; под ред. И.Н. Жестковой. – 8-е изд. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.*
10. *Конструкционные материалы: справ. / Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др.; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.*
11. *Ульянин Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы: справ. / Е.А. Ульянин. – М.: Металлургия, 1980. – 208 с.*



12. Масленков С.Б. *Стали и сплавы для высоких температур: справ.* / С.Б. Масленков, Е.А. Масленкова. – М.: Металлургия, 1991. – 383 с.

13. Кудряшов В.Г. *Вязкость разрушения алюминиевых сплавов* / В.Г. Кудряшов, В.И. Смоленцев. – М.: Металлургия, 1976. – 296 с.

14. *Применение титана в народном хозяйстве* / С.Г. Глазунов, С.Ф. Важенин, Г.Д. Зюков-Богатырев и др.; – К.: Техника, 1975. – 200 с.

*Поступила в редакцию 14.01.2010*

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф., проф. каф. проектирования авиационных двигателей А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков.

### **МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА РЕСУРСА ПУПРД З МЕХАНІЧНИМ КЛАПАНОМ**

*В.Ю. Сілевич*

Запропоновано системний підхід до вибору конструкційних матеріалів для виготовлення головних елементів конструкції пульсуючих повітряно-реактивних двигунів виходячи з вимог по ресурсу. Проведено дослідження матеріалів щодо їх придатності для виготовлення деталей двигуна. Виявлено умови сумісності в парі «клапан-решітка», на основі зіставлення механічних властивостей матеріалів. Обґрунтовано вибір сортаменту сталей, придатних для виготовлення камери двигуна. Розглянуто варіанти застосування низьколегованих сталей для виготовлення камери згорання малоресурсних двигунів.

**Ключові слова:** пульсуючий повітряно-реактивний двигун, рушійна установка, ресурс, механічний клапан, коефіцієнт ударної в'язкості, міцність, окалиноутворення, витривалість, корозійна стійкість.

### **MATERIAL AUTHORITY ASPECTS OF MAINTENANCE OF RELIABILITY AND RESOURCE IN PULSE-JET WITH MECHANICAL VALVE**

*V.Y. Silevich*

The resource of the air pulse-jet engine is determined by resistance to destruction of basic elements of a design, to which concern: the mechanical valve, valve's lattice and combustion chamber. The research of materials intended for manufacturing of details of the engine is spent in the given article. The analysis of materials of the valve and valve lattice is executed, and also the comparison of mechanical properties in pair "valve - lattice" is made; the series of metals, suitable for manufacturing the chamber of the engine is selected. The variants of application low-alloyed steel for manufacturing the short-life motors combustion chamber are considered.

**Key words:** air pulse-jet engine, propulsion system, rupture life, mechanical valve, coefficient of impact elasticity, strength, scaling, endurance, corrosion stability.

**Сілевич Владимир Юрьевич** – аспирант кафедры ракетных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: bob4ik84@mail.ru.