
СЕКЦИЯ №2

МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

ПОВЫШЕНИЕ КПД РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Бир А.П.

Научный руководитель: Бурков М.В., к.т.н., доцент каф. ММС ИФВТ ТПУ
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение Лицей при ТПУ
Россия, г. Томск, ул. Аркадия Иванова, 4, 634028
E-mail: anabir7@gmail.com

IMPROVEMENT OF JET ENGINE EFFICIENCY

Bir A.P.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Burkov M.V.
Lyceum TPU
Russia, Tomsk, Arkadiya Ivanova str., 4, 634028
E-mail: anabir7@gmail.com

В работе рассмотрены перспективные материалы для повышения коэффициента полезного действия (КПД) реактивного двигателя. Изучены принципы работы реактивного двигателя. Проведен обзор материалов, применяющихся в производстве серийных реактивных двигателей, а также перспективных материалов для двигателей новых поколений. Проведено испытание на прочность образцов металлов и композитов. Сделан вывод, что двигателях будущего широкое применение найдут композиты на керамической матрице, позволяя существенно поднять рабочие температуры двигателя.

The paper considers the advanced materials to improve the jet engine efficiency. The jet engine operation principles are studied. The review of materials used in the manufacture of mass-produced jet engines and advanced materials for new generations of engines is carried out. A strength test of the metals and composites samples is done. It is concluded that the engines of the future will find wide application in the ceramic matrix composites, allowing to increase the engine operation temperature significantly.

Введение

В настоящее время существует острая необходимость человека свободно перемещаться по нашей планете, при этом максимально быстро, дешево и безопасно. Высокая скорость перемещения сразу выводит в лидеры авиацию.

Стоимость и безопасность – это прямо противоположные вещи. На одном этапе развития технологий снизить стоимость можно, только если потерять надежность деталей и узлов, а значит снизить безопасность. При этом одним из главных экономических факторов, обеспечивающих конкуренцию в самолетостроении и авиаперевозках, является топливная эффективность, которая в первую очередь зависит от коэффициента полезного действия двигателя, поэтому конструктора и авиатехники находятся под постоянным давлением эксплуатантов, требующих ее повышения.

В своей работе я хочу рассмотреть перспективные материалы для повышения коэффициента полезного действия реактивного двигателя.

КПД:

Различают несколько видов КПД реактивного двигателя:

- полный
- тепловой
- тяговый

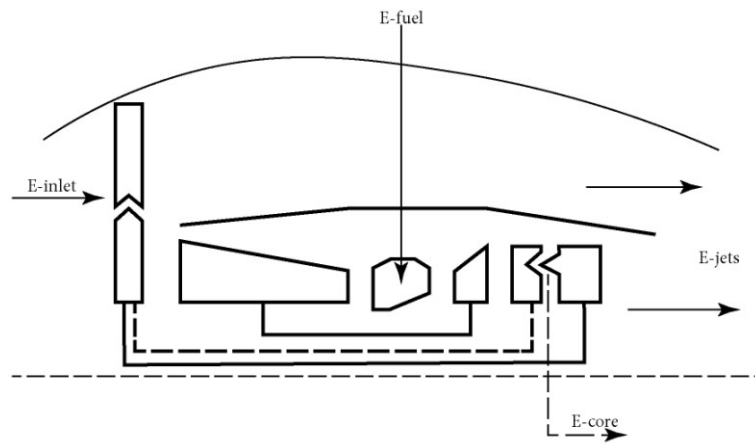


Рис. 1. Схематичное изображение ТРД

$$\eta = \frac{\xi_{core}}{\xi_{fuel}}, \quad (1)$$

$$\eta = \frac{(\xi_{jets} - \xi_{inlet})}{\xi_{core}}, \quad (2)$$

$$\eta = \frac{F_n \times v_0}{(\xi_{jets} - \xi_{inlet})}. \quad (3)$$

где ξ_{fuel} – теплота сгорания топлива, ξ_{core} – энергия вырабатываемая турбиной (механическая энергия), ξ_{jets} – энергия реактивной струи, ξ_{inlet} – энергия набегающего потока, v_0 – скорость самолета или набегающего потока, F_n — энергия реактивной тяги.

В общем случае, чем выше температура, тем выше КПД.

Тепловой КПД (1) определяет совершенство двигателя, как тепловой машины.

Трансмиссионный КПД (2) определяется совершенством механической части, обеспечивающей передачу крутящего момента от турбины к вентилятору и компрессору.

Тяговый КПД (3) описывает потери на превращение механической энергии в энергию реактивной струи.

Турбореактивный двухконтурный двигатель является сложным устройством, в котором к различным узлам и агрегатам применяются разные технические требования. Но самым сложным агрегатом является турбина, так как тепловой КПД определяется именно температурой на входе в турбину, чем она выше, тем выше КПД.

К турбине предъявляются следующие требования: вращательная прочность, устойчивость к высоким нагрузкам и температурам, устойчивость к ползучести и окислению, температурный диапазон: 530 – 1300 °С. Сейчас используются никелевые сплавы, иногда встречаются монокристаллические никелевые сплавы с защитным покрытием.

Испытание на прочность

В данном разделе будут представлены результаты механических испытаний различных материалов, применяющихся в авиастроении, в частности в двигателестроении. Цели данного исследования: изучить методы определения механических характеристик конструкционных материалов и произвести испытание

образцов алюминиевых, титанов сплавов и углепластика на растяжение, определив диаграмму нагружения, предел прочности и предельное удлинение.

Испытание провели на универсальной электромеханической испытательной машине Instron-5582. Образцы зажимались в кленовые захваты и нагружались со скоростью 1 мм/мин перемещением верхней подвижной траверсы. С помощью датчика нагрузки была записана диаграмма нагружения. После разрушения образца был определен предел прочности и предельное удлинение.

Для более детального изучения процесса деформации и разрушения была использована система оптического мониторинга VIC 3D, работающая по принципу корреляции цифровых изображений. Суть данного метода заключается в высокоточном измерении деформации на поверхности исследуемого материала. Для функционирования данного метода образцы были покрыты белой краской, а для освещения образца использован светодиодный источник.

Результаты

На рисунке 2 показан мониторинг деформации на поверхности алюминиевого сплава.

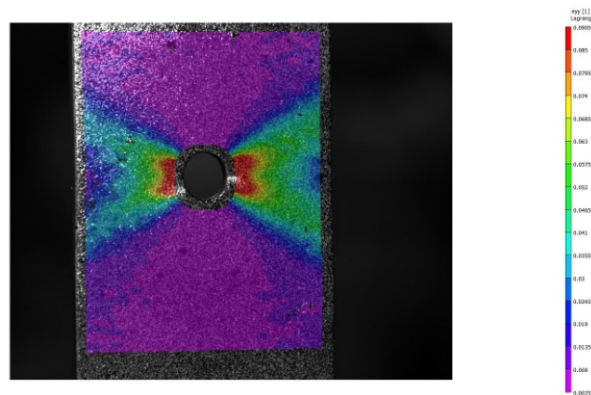


Рис. 2. Мониторинг деформации на поверхности алюминиевого сплава

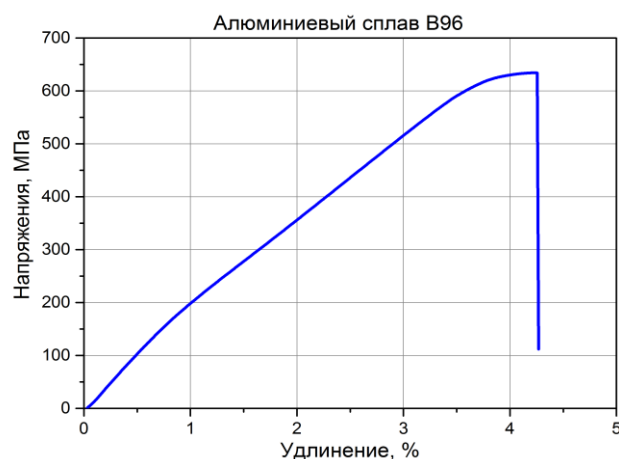


Рис. 3. График зависимости механического напряжения от относительного удлинения для алюминиевого сплава B96

Из графика, показанного на рисунке 3 видно, что алюминиевый сплав B96 обладает высоким пределом прочности, но низкой допустимой температурой эксплуатации, поэтому для двигателестроения он

интересен в качестве материала для различных кронштейнов, силовых элементов, обшивок в холодной зоне двигателя.

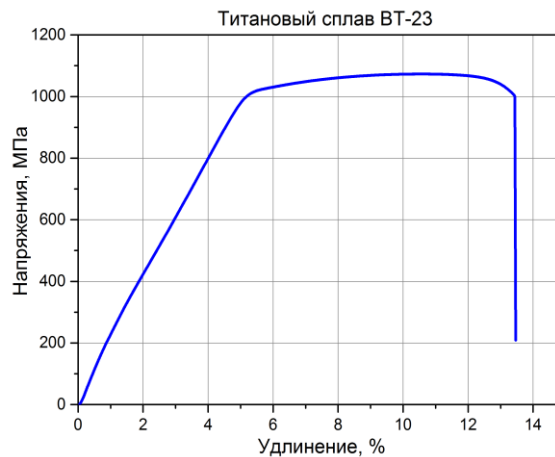


Рис. 4. График зависимости механического напряжения от относительного удлинения для титанового сплава BT-23

Из графика, показанного на рисунке 4 видно, что титановый сплав BT-23 обладает очень высокими механическими характеристиками, в частности пределом прочности, сравнимым с высокопрочными сталями, обладая при этом низкой плотностью ($4,54 \text{ г/см}^3$). Таким образом, удельная прочность этого сплава совместно с высокой допустимой температурой делают его незаменимым для изготовления лопаток вентилятора и компрессора, дисков вентилятора и компрессора, корпуса двигателя, в которых температура не превышает 650°C .

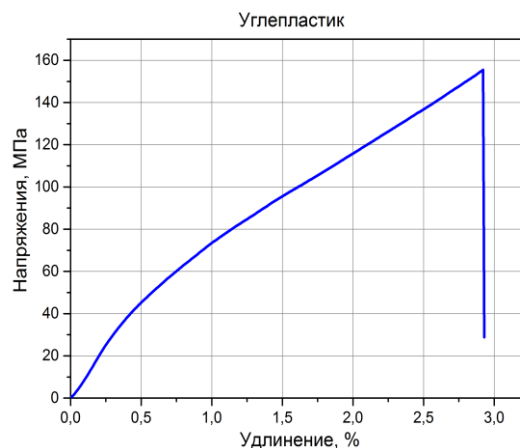


Рис. 5. График зависимости механического напряжения от относительного удлинения для углепластика

Из графика, показанного на рисунке 5 видно, что предел прочности данного углепластика является средним, однако его плотность составляет $1,5 \text{ г/см}^3$, что дает ему значения удельной прочности близким к высокопрочным сплавам. Одним из выдающихся характеристик данного материала является очень высокая температура эксплуатации, при таких температурах предел прочности не падает. Все это в совокупности позволяет применять этот материал в «теплых» и «горячих» зонах двигателя. Может выдерживать до 2000 градусов при наличии защитного покрытия.

Вывод

Изучены принципы работы реактивного двигателя. Установлено, что одним из самых сложных и тяжело нагруженных агрегатов, является турбина, из-за одновременного воздействия высокой температуры, коррозионной среды и больших механических нагрузок. Проведен обзор материалов, применяющихся в производстве серийных ТРД, а также перспективных материалов для двигателей новых поколений. Проведено испытание на прочность образцов металлов и композитов.

Установлено, что композиты, благодаря возможности комбинировать различные армирующие и связующие компоненты, все шире применяются в разных узлах. Так, в двигателях будущего широкое применение найдут композиты на керамической матрице, позволяя существенно поднять рабочие температуры ТРД. То есть решением проблемы повышения КПД является применение именно таких композитов. Однако данные материалы достаточно сложные в производстве, поэтому внимание инженеров и исследователей направлено на создание коммерчески доступных технологий производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климов А. К., Климов Д. А., Низовцев В. Е., Ухов П. А. Эффективность применения наноструктурных композиционных материалов и изделий из них в авиационной промышленности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: (<http://www.mai.ru/upload/iblock/57e/57e4cd1f09a45018e47f27cb108d52fc.pdf>), свободный.
2. Stuart Milne. Advanced Metal Alloys and Their Applications in Jet Engines. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=11454>, свободный.
3. Ujjwal K Saha. Jet propulsion engine materials. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_html/cd_cell/chapters/uk_saha_jet_propulsion/qip-jp-11-Engine%20Materials.pdf, свободный.
4. Manufacturing Processes for Engineering Materials. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www3.nd.edu/~manufact/MPEM_pdf_files/Ch03.pdf), свободный.
5. M.J. Benzakein. The Future of the Jet Engine. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.comblab.ae.gatech.edu/meyer.pdf>), свободный.
6. Propulsion Systems: Basic Concepts. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://adg.stanford.edu/aa241/propulsion/propulsionintro.html>), свободный.
7. Materials through the ages: materials for aeroplane engines. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iom3.org/materials-world-magazine/feature/2013/may/09/materials-through-ages-materials-aeroplane-engines>), свободный.
8. George Marsh. Composites get in deep with new-generation engine. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.materialstoday.com/composite-industry/features/composites-get-in-deep-with-new-generation-engine/>), свободный.
9. MTU develops new turbine blade material in record time. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://articles.sae.org/14023/>), свободный.
10. Pratt & Whitney's Geared Turbofan Growth Plan. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aviationweek.com/awin/pratt-whitney-s-geared-turbofan-growth-plan>), свободный.
11. John Whurr. Future Civil Aeroengine Architectures & Technologies. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.etc10.eu/mat/Whurr.pdf>), свободный.