**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД**

Ресурс и надежность авиационных двигателей в основном определяются несущей способностью лопаток компрессора (рис. 1), являющихся наиболее ответственными и высоконагруженными деталями, испытывающими в процессе эксплуатации значительные знакопеременные и циклические нагрузки, которые воздействуют на них с большими частотами. Лопатки компрессора самая массовая, высоконагруженная и ответственная деталь авиационного двигателя. Особенностью лопаток компрессора является то, что они первыми встречаются с инородным телом (птица, град и др.), попавшим в тракт двигателя.

Риски, забоины, эрозионные повреждения и др. дефекты значительно увеличивают уровень локальных вибронапряжений, что резко снижает прочностные характеристики лопаток. Поэтому создание бла­гоприятного сочетания свойств поверхностного слоя на финишных отделочно-упрочняющих операциях оказывает большое влияние на повышение несущей способности лопаток ГТД. Актуальной задачей является оценка влияния поверхностного деформационного упрочнения на ударную прочность лопаток при соударении с посторонними предметами.

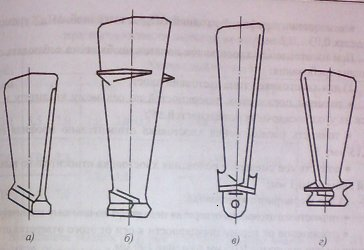


Рисунок 1 – Примеры конструкций лопаток компрессора: а) с хвостовиком типа ласточкин хвост; б) с антивибрационными полками; в) с шарнирным хвостовиком; г) с трапецеидальным хвостовиком

В настоящее время при изготовлении лопаток компрессора широкое применение получили методы пластического деформирования и механической обработки, а также комплексные технологии на финишных операциях технологического процесса (Виброабразивная обработка; Ультразвуковая обработка шариками; Пневмодробеструйная обработка; Магнитно-абразивное полирование).

Также на сегодняшний день актуальной проблемой является повышение износостойкости лопаток компрессора. В связи с этим все более широкое применение получили различные виды комплексных технологий — нанесение плазменных покрытий в сочетании с различными отделочно-упрочняющими методами.

Целью данной работы является повышение долговечности и качества лопаток компрессора ГТД за счет совершенствования структурного и технологического обеспечения процессов изготовления лопаток компрессора ГТД. В соответствии с поставленной целью в работе планируется решить следующую задачу: провести анализ современного состояния структурного и технологического обеспечения процессов изготовления лопаток компрессора ГТД.

Лопатки ГТД работают в условиях высоких температур, достигающих для турбины свыше 1200 °С, для компрессора свыше 600 °С. Многократное изменение тепловых режимов работы двигателя - быстрый нагрев в момент запуска и быстрое охлаждение при остановке двигателя - вызывает циклическое изменение термических напряжений, характеризуемое как тепловая усталость. Кроме этого, профильная часть пера и хвостовик лопатки, помимо растяжения и изгиба от центробежных сил, изгиба и крутящего момента от скоростного газового потока, испытывают знакопеременные напряжения от вибрационных нагрузок, амплитуда и частота которых изменяются в широких пределах.

Надежность работы рабочих лопаток компрессора и турбины зависит не только от их конструктивной прочности, сопротивления циклическим и длительным статическим нагрузкам, но и от технологии их изготовления, которая непосредственно влияет на качество поверхностного слоя хвостовика и пера лопаток. В поверхностном слое образуются конструктивные и технологические концентраторы напряжений, он испытывает влияние наклепа и внутренних остаточных напряжений от механической обработки. Кроме того, поверхностный слой подвергается воздействию внешних нагрузок, при основных видах напряженного состояния (изгибе, растяжении, кручении) внешней среды. Эти негативные факторы могут привести к разрушению лопатки, и, следовательно, к выходу из строя газотурбинного двигателя.

Производство лопаток ГТД занимает особое место в авиадвигателестроении, что обуславливается рядом факторов, главными из которых являются:

* сложная геометрическая форма пера и хвостовика лопаток;
* высокая точность изготовления;
* применение дорогостоящих материалов, таких, как легированные стали и титановые сплавы;
* массовость производства лопаток;
* оснащенность технологического процесса дорогостоящим специализированным оборудованием;
* высокая трудоемкость изготовления.

   Для производства лопаток ГТД на сегодняшний день характерны следующие виды механической обработки:

* протягивание;
* фрезерование;
* вальцевание;
* полирование;
* виброполирование или виброшлифование;
* термообработка.

Повышенные требования к точности исполнения отдельных элементов деталей и сборочных единиц, к качеству поверхностей и соединений определили следующие основные направления совер­шенствования технологических процессов производства.

**1. Создание новых и совершенствование традиционных методов получения заготовок:**

отливок из жаропрочных сплавов с направленной кристаллизацией или монокристаллических отливок в оболочковые формы по выплавляе­мым моделям для формирования бесприпусковых заготовок по перу для лопаток первых ступеней турбины; со сложными пространственными поверхностями из труднообрабатываемых материалов, полученных горячим деформированием материалов в условиях сверхпластичности; лопаток с высокой точностью профиля пера для различных ступеней компрессора с использованием высокоскоростной штамповки; лопаток горячей и холодной вальцовки; штамповкой в закрытых штампах; колец больших диаметров с малой толщиной стенки раскаткой при непрерывном нагреве зоны раскатки токами высокой частоты; близких к форме готовой детали с использованием эффекта сверхте­кучести материала; методами порошковой и гранульной технологий.

**2. Создание новых и совершенствование традиционных методов**  
**обработки заготовок:**

лазерной обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, имеющих ажурную тонкостенную конструкцию высокой точности; высокоточной сварки заготовок из тонколистовых материалов для крупногабаритных конструкций; электрохимической обработки (ЭХО) материалов при формировании сложных пространственных профилей заготовок; электроискровой (ЭИ) и электроимпульсной (ЭИМ) обработки для получения отверстий малого диаметра в жаропрочных титановых сплавах; ультразвуковой обработки для интенсификации процесса резания металлов при точении, шлифовании, нарезании резьб, а также в процессе сборки и контроля качества продукции; деформационно-упрочняющей обработки поверхностей деталей.

**3. Использование и создание нового оборудования и оснастки  
для производства деталей современных ГТД:**

многоцелевого оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ); гаммы станков для ЭХО-, ЭИ-, ЭИМ-методов обработки заготовок; универсально-сборных приспособлений (УСП) - установочных кассет для ориентирования заготовок в технологической системе.

**4. Создание и применение высокоточных методов контроля и  
устройств** геометрических параметров деталей, качества поверхностей,  
качества материала и элементов соединения сборочных единиц; оптико-электронных бесконтактных устройств с приборами с заряд­ной связью (ПЗС) для контроля и хранения в памяти ЭВМ фактических значений параметров деталей и сборочных единиц; лазерных установок для контроля труднодоступных и высокоточных элементов деталей и сборочных единиц; универсальных и специализированных координатно-измерительных машин (КИМ) с ЧПУ; неразрушающих методов контроля для оценки качества материала и соединений; контрольно-измерительных электронных головок для контроля качества заготовок и управления технологическим процессом и т.д.

**5. Развитие технологий по созданию термостойких и термобарьерных покрытий деталей высоконагруженного тракта ГТД:**

плазменного напыления многослойных покрытий; электронно-лучевой технологии при создании термостойких покрытий; вакуумно-плазменного напыления многослойных покрытий; термического упрочнения многослойного керамического покры­тия и т.д.

Таким образом, большое значение в решении проблемы обеспечения ресурса и надежности авиационных ГТД, а также создания двигателей новых поколений имеет разработка, совершенствование и создание новых технологических процессов, методов обработки деталей и оборудования, которые повышают не только производительность, но и качество изготовления.

Появление современных типов и модификаций авиационных двигателей непрерывно сопровождается новыми конструкторскими решениями, влекущими за собой технологические трудности. Для их своевременного преодоления и сокращения разрыва между «идеаль­ной», с точки зрения конструкции, и «реальной», с точки зрения тех­нологии изготовления детали, необходимо активно внедрять в произ­водство прогрессивные методы механической и отделочно-упрочняющей обработки.

Литература

1. Демин Ф. И., Проничев Н. Д., Шитарев И. Л. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей: Учеб. пособие. — М.: Машиностроение. 2002. — 328 с.; ил.

2. Богуслаев В. А., Яценко В.К., Притченко В.Ф. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД. -К.: Издательская фирма «Манускрипт»,1993.-332с.  
3. Богуслаев В.А., Яценко В.К., Жеманюк П.Д., Пухальская Г.В., Павленко Д.В., Бень В.П. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД – Запорожье, изд. ОАО «МоторСич», 2005 г. – 559 с.  
4. Скубачевский Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели: Учебник для студентов авиационных вузов. М.: Машиностроение, 1969—544 с.  
5. <http://www.nfmz.ru/lopatki.htm>   
ОАО «Наро-Фоминский машиностроительный завод» Компрессорные лопатки ГТД  
6. <http://www.nfmz.ru/lopatki.htm>  
Д.т.н. Юрий Елисеев, генеральный директор ФНПЦ ММПП "Салют", Перспективные технологии производства лопаток ГТД