

*Розглянуто особливості технологій виготовлення деталей і вузлів газотурбінного двигуна п'ятого покоління, які пов'язані з використанням «блиск» конструкцій компресора, щітчастих ущільнень, іонної хіміко-термічної обробкою робочих поверхонь зубчатих колес, виробництвом шліфових з'єднань*

*Ключові слова: двигун, технологія, напруга, лиття, шліфування*

*Rассмотрены особенности технологий изготовления основных деталей и узлов газотурбинного двигателя пятого поколения, связанных с применением «блиск» конструкций компрессора, щеточных уплотнений, ионной химико-термической обработкой рабочих поверхностей зубчатых колес, производством и контролем шлицевых соединений*

*Ключевые слова: двигатель, технология, напряжение, литье, шлифование*

*Habits of manufacturing methods of basic parts and units of the gas-turbine engine of the fifth generation, connected with application «blisk» designs of the compressor, of brush condensation, ionic chemistry-thermal processing of working surfaces of toothed wheels, manufacture and the control of splined joints are observed*

*Key words: engine, production engineering, pressure, casting, grinding*

Создание современного авиационного двигателя – комплексный процесс, базирующийся на новейших достижениях в области газовой динамики, горения и теплообмена, конструкционной прочности, теории интегрального управления и диагностики, материаловедения и технологии.

В двигателях пятого поколения предполагается использовать новые конструктивные решения. Так, например, улучшить газодинамические характеристики компрессора и турбины позволит применение в их конструкции моноколес – ступеней, изготовленных по технологии «блиск».

Главное преимущество «блисковой» конструкции – отсутствие трудозатратных замковых соединений лопаток с диском, а также отсутствием проблем, связанных с обеспечением прочности и долговечности машины (концентрация напряжений в замковых пазах дисков, фреттинг коррозия на контактных поверхностях и снижение вибропрочности лопаток и дисков).

При «блисковой» конструкции кромки лопаток работают в условиях сжатия с напряжением  $\sigma = -10 \dots -30$  кг/мм<sup>2</sup> (рис. 1), что создает предпосылки для увеличения ресурсных показателей компрессора ГТД, поскольку уменьшается риск отрицательного влияния неизбежных эрозий и забоин пера лопатки.

Повышение удельных показателей ( $P_{уд}$  и  $C_{уд}$ ) в двигателях нового поколения связывают с применением ламиллоидных лопаток, поскольку это мероприятие позволит увеличить температуру газа перед турбиной до уровня 2000 К.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**В. А. Гейкин**

Доктор технических наук, профессор, директор\*

**Н. И. Шаронова**

Кандидат технических наук, начальник отдела\*

\*Научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей (НИИД) ФГУП «ММПП «Салют»

пр-т Буденного, 16, г. Москва, 105118

Контактный тел./факс (499) 785-81-74, 785-84-00

E-mail: geikin@salut.ru

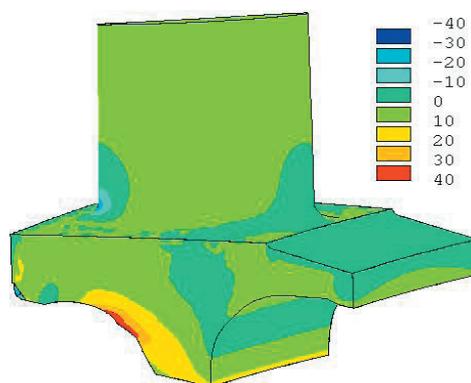


Рис. 1. Распределение напряжений в «блиск» конструкции, кг/мм<sup>2</sup>

Замена лабиринтных уплотнений на щеточные, также способствует существенному повышению КПД и тяги двигателя.

Исполнение этих требований «в металле» требует разработки новых технологий.

На ФГУП «ММПП «Салют» имеется большой парк высокоточных станков различного применения ведущих мировых производителей: BOEHRINGER, MAHO, AGIE, OLIVETTI, MAX MULLER, SIP, LIECHTI и т.д. На указанном оборудовании производится механическая обработка корпусных деталей, высокоточных зубчатых колес (4-5 класс точности), двигательных и самолетных агрегатов, дисков турбин и компрессоров, обработка моноколес и крыльчаток (пяти координат-

ные фрезерные станки), электроэрозионная обработка, вибрационная обработка глубоких отверстий в труднообрабатываемых материалах и др.

Разрабатывая новую технологию изготовления детали необходимо параллельно с ней разрабатывать и технологию ее ремонта. Например, наряду с технологией создания «блисков» на предприятии разработана технология и внедрено оборудование для ремонта лопаток моноколес методом электронно-лучевой сварки. Свойства материала после ремонта полностью восстанавливаются, что подтверждено стендовыми испытаниями четырех комплектов «блисков».

Ресурс моноколес должен составлять не менее 2000 часов. Без упрочнения входных и выходных кромок, одной лишь механической обработкой, такого ресурса не достичь. ФГУП «ММПП «Салют» совместно с ФГУП ЦИАМ, Институтом ядерной физики (г. Томск) ведет работы по следующим направлениям: упрочнение микрошариками в ультразвуковом поле (на установках SONATC); упрочнение с помощью высококонцентрированных импульсных потоков энергии (ионно-лучевое и ионно-плазменное воздействие).

На ФГУП «ММПП «Салют» производится литье деталей различного назначения, как для авиационных двигателей, так и для газоперекачивающих и энергетических установок наземного применения. Среди всего спектра деталей большая их часть применяется в высокотемпературных узлах двигателей: турбина, сопло и т.д.

Можно выделить несколько основных прогрессивных направлений литейного производства. Сюда следует отнести: монокристаллическое литье по выплавляемым моделям в керамические формы, обеспечивающее получение заданной кристаллографической ориентации отливок; литье по выплавляемым моделям в керамические формы различных жаропрочных сплавов с равноосной структурой, позволяющее получить регламентированный размер зерна по поверхности и объему отливки; литье корпусных и фасонных деталей из алюминия и специальных сталей.

Существующие технологии получения поковок дисков ГТД являются весьма затратными, т.к. требуют изготовления дорогостоящих штампов и наличия соответствующего штампового оборудования. Изотермическая раскатка дисков позволяет избежать этих проблем и повысить коэффициент использования металла (КИМ) минимум в 2 раза. При этом также улучшается точность получения заготовок (припуск 0,05...0,15 мм), повышается стабильность свойств заготовок за счет полной повторяемости процесса, снижается металлоемкость дисков на 20...30% и объем механической обработки на 30...40%, а также возникает возможность получать регламентируемые свойства материала диска от полотна к ступице.

Помимо известного технологического процесса газостатирования на ФГУП «ММПП «Салют» разрабатывается технология изготовления дисков турбины путем жидкофазного спекания жаропрочных порошков с последующим газостатированием и изотермической раскаткой. Преимущества данной технологии заключается в следующем: упрощается конструкция капсулы, возможность ее многократного применения; увеличивается ресурс дисков; возрастает КИМ до 40%. Предполагается, что применение этой техноло-

гии позволит изготавливать диски с ресурсом не менее 2000...2500 часов.

Лазерные технологии успешно развиваются и находят всё более широкое применение при производстве ГТД. В опытном производстве и на стадии внедрения новых технологий лазерный раскрой практически вытеснил операцию штамповки. С помощью лазера осуществляются сварка деталей авиадвигателей и наплавка изношенных поверхностей пресс-форм.

Специалистами НИИД была разработана технологическая операция лазерной зачистки керамических литевых стержней для рабочих лопаток ГТД. Ручная зачистка стержней не даёт возможности получить стабильное качество, поэтому уже при литье в лопатке могут закладываться дефекты, вызванные концентраторами напряжений, находящимися в керамических стержнях.

Для точного центрирования и соединения дисков компрессоров и турбин ГТД на ФГУП «ММПП «Салют» внедрены шлицевые соединения типа «CURVIC» и разработана технология их изготовления. Шлицы выполняются из цельной заготовки методом профильного глубинного шлифования высокопористыми шлифовальными кругами. Это обеспечивает гибкость технологического процесса и высокую точность обработки. Из технологического процесса исключаются операции нарезания шлицов, что исключает затраты, связанные с проектированием, изготовлением, контролем и заточкой сложного лезвийного инструмента. Методом глубинного шлифования изготавливаются также различные зубчатые колеса. Разработана технология и внедрено оборудование для ионной химико-термической обработки рабочих поверхностей зубчатых колес, повышающей ресурс деталей в 1,2...1,3 раза. Разработано собственное программное обеспечение для моделирования и расчета зубчатых зацеплений «Салют-Полигон», позволяющее определять глубины и величины напряжений в зубе и на основании этого производить выбор оптимального метода химико-термической обработки.

Вопрос создания щеточных уплотнений — один из основных для специалистов НИИД ФГУП «ММПП «Салют» при разработке технологий для двигателя пятого поколения. Новые уплотнения позволяют уменьшить утечки охлаждающего воздуха примерно в два раза, сохранять КПД и поддерживать другие параметры ГТД неизменными в процессе его работы.

Щёточное уплотнение имеет довольно простую конструкцию, но достаточно сложную технологию изготовления. Они находятся в постоянном контакте с ротором, поэтому для них отсутствует процесс приработки, как в случае лабиринтных или сотовых уплотнений. Поэтому ни частые запуски, ни режимы приёмности не могут привести к потере изолирующих свойств щёточных уплотнений. Отдельные конструкции щёточных уплотнений при эквивалентно циклических испытаниях подтвердили ресурс порядка 40 тыс. часов без проведения каких-либо доработок.

Технология изготовления щеточных уплотнений включает в себя несколько технологических процессов: намотку проволоки, их раскрой, крепление, обработку по контуру и т.д. С другой стороны, для каждого конкретного двигателя должны быть точно заданы параметры и отработан расчет щеточных уплотнений, показывающий: должны ли они быть однорядными

или двухрядными, каков допустимый перепад давлений. Но без этих уплотнений создание двигателя нового поколения будет проблематичным.

Помимо разработки новых технологий, необходимо иметь достоверные методы контроля технологических процессов, работоспособности и надежности изготавливаемых деталей. Контроль поверхностных остаточ-

ных напряжений является мероприятием, гарантирующим оптимальный выбор технологии. НИИД накопил богатый опыт в разработке средств контроля поверхностных остаточных напряжений. Создан первый в России сертифицированный комплекс МерКулОН – «Тензор» для измерения поверхностных остаточных напряжения разрушающим методом.

УДК 621.92: 621.135

## СОЗДАНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНО- ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Н. В. Сурду**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник\*  
Контактный тел.: (057) 754-55-47  
E-mail: surdu@ipmach.kharkov.ua

**А. А. Тарелин**

Заведующий отделом, член-корреспондент НАН Украины\*  
Контактный тел.: (0572) 95-96-09  
E-mail: tarelin@ipmach.kharkov.ua

**А. В. Телегин**

Кандидат технических наук, младший научный сотрудник\*  
\*Отдел общетехнических исследований в энергетике  
Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН  
Украины  
Контактный тел.: (057) 754-55-47  
E-mail: telegin@ipmach.kharkov.ua  
ул. Дм. Пожарского, 2/10, г. Харьков, 61046

**А. Г. Фистик**

Главный технолог  
ГП НПКГ «Зоря-Машпроект»  
пр. Октябрьский, 42А, г. Николаев, 54018  
Контактный тел.: (0512) 49-40-20  
E-mail: agf@zorya.com.ua

*Наведена послідовність розробки планетарної головки, яка дозволяє здійснювати високопродуктивне плоске шліфування важкооброблюваних матеріалів, на прикладі дослідно-промислового зразка для верстата 3E711. Розроблена конструкція чотирьохшпindelної планетарно-шліфувальної головки для кругів діаметром 80 мм*

*Ключові слова: планетарно-шліфувальний інструмент, адсорбційно-пластифікуючий ефект, важкооброблювані матеріали*

*Приведена последовательность разработки планетарной головки, позволяющей осуществлять высокопроизводительное плоское шлифование труднообрабатываемых материалов, на примере опытно-промышленного образца для станка 3E711. Разработана конструкция четырехшпindelной планетарной шлифовальной головки для кругов диаметром 80 мм*

*Ключевые слова: планетарно-шлифовальный инструмент, адсорбционно-пластифицирующий эффект, труднообрабатываемые материалы*

*Reduced order of working out of the epicyclic head, allowing to realise a flat grinding, hard-to-machine materials, on an example of the trial sample for the machine tool 3E711. Four-spindle an epicyclic grinding head the construction is developed for wheels in diameter of 80 mm*

*Keywords: epicyclic-grinding tool, adsorption-plasticization effect, hard-to-machine materials*

### 1. Введение

Одним из направлений, позволяющих значительно расширить технологические возможности процесса шлифования труднообрабатываемых материалов (ТОМ), является применение прогрессивного планетарного инструмента. Исследования [1, 2, 3], прово-

димые в этом направлении, показывают, что эффективность процесса стружкообразования во многом зависит от обеспечения условий для проявления адсорбционно-пластифицирующего эффекта (АПЭ), механизм которого рассмотрен в работах [4, 5]. В работе [6] разработаны критерийные требования, обеспечение которых необходимо для проявления