

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ МЕТАЛЛУРГИИ ГРАНУЛ К КОНСТРУКЦИИ РАБОЧИХ КОЛЕС ТУРБИН

Магеррамова Л.А., Петрова Д.А.
ЦИАМ им. П.И. Баранова, г. Москва

Рабочие колеса турбин работают в условиях неравномерного радиального нагрева и нагружения. Поэтому требования к материалам диска и лопаток различны. Материал диска должен обладать высоким сопротивлением малоциклового усталости и развитию трещин при умеренной температуре, а в ободной части, работающей при более высокой температуре, кроме того, и длительной прочности. Материалы лопаток работают при температурах до 1100°C и должны иметь высокое сопротивление ползучести и многоциклового усталости.

В конструкциях современных высокотемпературных авиационных газовых турбин применяются лопатки, отливаемые из жаропрочных «суперсплавов» на никелевой основе методом направленной кристаллизации или монокристаллического литья. Для дисков часто используют гранулируемые никелевые сплавы.

Традиционный подход к конструированию рабочих колес турбин, основанный на применении замковых соединений лопаток с диском, не дает возможности совершенствования конструкций в направлении повышения ресурса, уменьшения массы и эффективности двигателя в целом. Цельнолитые конструкции в большинстве случаев не пригодны из-за упомянутых выше различий к требованиям материалов лопаток и диска. Кроме того, наличие литейных пор в таких блисках не позволяют использовать их в качестве критических деталей, разрушение которых может привести к опасным последствиям.

Решение проблемы заключается в создании новой технологии соединения разнородных материалов в процессе горячего изостатического прессования (ГИП).

Применение в конструкции турбины биметаллических блисков, получаемых соединением монокристаллических лопаток с формируемым в процессе ГИП гранулируемым диском, позволяет:

- создать биметаллические конструкции с встроенными литыми лопатками, работающие в оптимальных для каждого из соединяемых материалов температурно-силовых условиях и обладающие достаточной прочностью и надежностью зоны соединения;
- устранить такие сложные конструктивные механические соединения, как замковые, фланцевые, а также сварные и паяные;

- увеличить густоту решетки, ведущую к повышению газодинамических параметров турбины (благодаря отсутствию замковых соединений и проблем размещения лопаток на колесе;
- добиться более высоких и стабильных свойств монокристаллических лопаток.

Биметаллические блиски начали использовать зарубежные фирмы Williams Int. и Allison на серийных двигателях. Несмотря на сложность технологического процесса, эффект от внедрения биметаллических блисков турбины оказывается значительным.

На базе высокооборотной турбины высокого давления малоразмерного двигателя разработан вариант биметаллического блиска с неохлаждаемыми лопатками.

На его примере с целью выявления преимуществ блиска был проведен сравнительный анализ прочности различных конструкций рабочих колес турбины той же размерности и назначения:

- блиск, изготовленный целиком из сплава ВЖЛ12У;
- замковое рабочее колесо с лопатками из монокристаллического сплава ЖС32<001> и диском из гранулируемого сплава ЭП741НП;
- биметаллический блиск с лопатками из ЖС32<001> и диском - из ЭП741НП;
- биметаллический блиск с лопатками из ЖС26ЗСНК и диском - из ЭП741НП.

Проведенные трехмерные расчеты теплового и напряженно-деформированного состояния и статической длительной прочности с учетом пластических деформаций показали преимущества применения конструкции биметаллических блисков. А именно: при сохранении того же веса возможность повышения температуры газа перед турбиной на 70 и выше градусов, увеличение ресурса в несколько раз, увеличение местных запасов статической прочности на 40-50 %, что позволяет, например, уменьшить вес колеса.

Таким образом, разработка новых технологий создания би- и триметаллических конструкций рабочих колес и роторов на основе процессов диффузии и сплавления разнородных сплавов дает возможность наиболее эффективно реализовать прочностные характеристики сплавов, увеличить надежность и повысить ресурс, снизить массу конструкций, уменьшить расход топлива и пр., а потому является перспективной для двигателей нового поколения.