

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ  
«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА  
СОПЛОВЫХ ЛОПАТОК БЛОЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ  
ИЗ РЕНИЙСОДЕРЖАЩЕГО СПЛАВА ЖС32-ВИ»

В связи со сложившейся практикой опережающего роста температуры газа перед турбиной по сравнению с жаропрочностью и жаростойкостью применяемых конструкционных материалов, на современных двигателях для обеспечения приемлемого теплового состояния сопловых лопаток первых ступеней затрачивается до 10-15% расхода воздуха, проходящего через внутренний контур двигателя, что неблагоприятно влияет на КПД и надёжности турбины. По этой причине одной из основных тенденций развития современных ГТД является применение новых жаропрочных сплавов для сопловых лопаток. В отечественном двигателестроении применение лопаток из сплавов ЖС-32, ВКНА1, ВКНА4 до настоящего времени было ограничено одиночными лопатками. Представляемая работа посвящена определению возможности применения блочных лопаток из реально доступных наиболее жаропрочных сплавов.

Автором работы выполнен системный анализ опыта применения новейших материалов рабочих и сопловых лопаток газовых турбин с учётом технологических особенностей их литья и пригодности для изготовления в блочном варианте с различными структурами отливок и определён сплав ЖС32-ВИ как наиболее подходящий для изготовления секционных сопловых лопаток. Этот сплав обладает высокими характеристиками жаростойкости и жаропрочности в сочетании с возможностью литья в поликристаллическом исполнении, что технологически применимо для секционных лопаток.

Для подтверждения возможности применения поликристаллических отливок из сплавов ЖС32-ВИ выполнено исследование влияния количества и расположения границ зёрен на механические свойства сплава (кратковременная и длительная прочность, пластичность) на стандартных образцах. Для поликристаллических образцов с продольным расположением границ зёрен преимущественной ориентации [001], отлитых по технологии направленной кристаллизации, свойства соответствуют паспорту на сплав (снижения свойств не зафиксировано). Для поликристаллических образцов с

множественными границами зёрен, отлитых по технологии равноосного литья, зафиксировано снижение длительной прочности на 20%, пластичности – в 3-5 раз. На основании полученных данных по механическим свойствам поликристаллических образцов различной макроструктуры автором разработаны нормы макроструктуры блочных сопловых лопаток.

Разработана и опытная промышленная технология литья секционных сопловых лопаток с поликристаллической структурой в вариантах равноосного литья и с направленной кристаллизацией. В процессе освоения технологии направленного литья сопловых секций из сплава ЖС32-ВИ проведены работы по определению оптимального состава и прочности керамических форм, расположения кристаллизаторов и режимов заливки на промышленной установке УВНК-9А. Изготовлен опытный комплект сопловых секций с направленной и равноосной структурой.

Сопловые секции из сплава ЖС32-ВИ с различной макроструктурой, изготовленные по новой технологии, были доработаны для экспериментальной проверки работоспособности сплава с различной структурой отливки в условиях предельно высоких температур материала – до 1250 °С – в составе газотурбинного двигателя. Для достижения такой температуры при испытании в экспериментальном газогенераторе изделия «РФ» секции выполнены с заведомо уменьшенным охлаждением. Секции были препарированы термопарами для прямого замера температуры неохлаждаемых стенок.

В процессе испытания газотурбинной двухвальной установки ГГРФ наработка секций составила 2 часа 55, из которых 36 минут температура материала входных кромок составила 1200-1250 °С для секций с направленной структурой и 1040-1156 °С для секций с равноосной структурой.

По результатам дефектации после испытаний все секции пригодны для продолжения испытаний. Секции с равноосной структурой имеют начальную стадию развития трещин от доработок под препарирования, секции с направленной структурой дефектов не имеют.

Таким образом, обоснована возможность и практическая достижимость требований к макроструктуре секционных сопловых лопаток из сплава ЖС32-ВИ, которые легли в основу технических условий ТУ01.2998 (для блочных и одиночных лопаток с направленной кристаллизацией) и ТУ01.3007 (для одиночных сопловых лопаток с структурой, близкой к монокристалльной), разработанных для изготовления

опытных партий лопаток изделия «РФ». Комплекс проделанных работ по технологическому освоению литья с направленной структурой блочных сопловых лопаток турбины и подтверждение их работоспособности в условия экстремально высоких рабочих температур (до 1250 °С) позволил создать **новую критическую технологию**. Эффект от её внедрения, заключается в:

- возможности дальнейшего форсирования двигателей по температуре газа перед турбиной с сохранением высокого уровня КПД;
- сокращении расхода охлаждающего воздуха для сопловых лопаток;
- снижении потерь в проточной части турбины благодаря резкому сокращению количества уступов (втрое для изделия «РФ»);
- уменьшении утечек воздуха по стыкам блоков;
- снижении веса благодаря меньшему числу соединительных элементов.