

Суть проблемы турбин с гибридными подвижными лопатками заключается в том, что при температуре на входе турбины  $>1200^\circ\text{C}$  становится крайне высокой и температура дисков из жаропрочных сплавов необходимо охлаждать эти диски, что одновременно с усложнением их конструкции снижает к. п. д. турбины.

Имеются также опасения, что возникнут трудности при поставках в условиях массового производства характерного для автомобильной промышленности, жаропрочных сплавов на основе никеля или кобальта, из которых выполняют диски. Что касается прочих аспектов, то, как показали испытания на долговечность керамических лопаток, подвижные гибридные лопатки по-видимому найдут ограниченное применение в масштабах мелкого производства: газовых турбин электрических генераторов или для мощных грузовиков.

*Неподвижные лопатки* формируют литьем под давлением методом впрыска и изготавливают керамическое изделие, имеющее конструкцию неподвижной лопатки в виде монолита, в котором лопатки выполнены из  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , подвергнутого впоследствии реакционному спеканию. Осуществляются работы по совершенствованию материала и технологии изготовления этих неподвижных лопаток; созданы не имеющие дефектов изделия плотностью  $2,25 \text{ г/см}^3$ . Кроме того, экспериментально получены неподвижные лопатки из  $\text{Si}_3\text{N}_4$  плотностью  $\sim 2,7 \text{ г/см}^3$ .

Эти неподвижные лопатки прошли испытания в двигателе при  $1054^\circ\text{C}$ . В ходе испытаний неподвижные лопатки из  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , выполненные литьем под давлением методом впрыска, плотностью  $2,55 \text{ г/см}^3$ , в статических условиях в установившемся режиме при  $1054^\circ\text{C}$  успешно проработали 175 ч. Были проведены также испытания при воздействии газов, нагретых до  $1371^\circ\text{C}$ . Кроме того, были осуществлены имитационные испытания двигателя с температурой на входе турбины  $1454^\circ\text{C}$ . В них неподвижные лопатки из  $\text{Si}_3\text{N}_4$  без поломок проработали более 9 ч. Результаты испытаний неподвижных лопаток из  $\text{Si}_3\text{N}_4$  плотностью  $2,55 \text{ г/см}^3$  при  $1054^\circ\text{C}$  показали, что по увеличению массы под влиянием окисления можно определить начало разрушения; совершенствуются неподвижные лопатки: их получают с небольшим количеством пор высокой плотности.

Также изготавливают неподвижные лопатки и из карбида кремния, полученного реакционным спеканием, которые затем подвергают аналогичным испытаниям.

*Керамические кожухи* для подвижных лопаток представляют собой кольцеобразные детали с прорезями; вначале их получали из  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , подвергнутого холодному прессованию с последующим реакционным спеканием. Однако при испытаниях двигателя в них образовывались трещины, и поэтому метод формования заменили с холодного прессования на литье, повысив в 2—3 раза плотность детали. При  $1054^\circ\text{C}$  эти керамические