

## УВЕЛИЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИМ УПРОЧНЕНИЕМ

Круцило В.Г., Кротинов Н.Б.

Самарский государственный технический университет

### FATIGUE RESISTANCE INCREASE OF TURBINE ENGINES BLADES BY THERMO-PLASTIC HARDENING

*Krutsilo V.G., Krotinov N.B. This paper is concerned with the technology, what make possible to restore operability of turbine engines blades and increase it fatigue resistance.*

Лопатки турбин современных турбомашин являются одними из наиболее ответственных деталей, в значительной степени определяющими надёжность, функционирование и ресурс изделия в целом. Условия работы лопаток турбины характеризуются интенсивными вибрационными нагрузками, вследствие чего становится возможным их усталостное разрушение.

Известно, что сопротивление усталости деталей существенно зависит от качества поверхностного слоя, формируемого финишными операциями технологии изготовления и ремонта. В связи с этим в работе отображены результаты усталостных испытаний лопаток первой ступени турбины газоперекачивающего агрегата ГТК-10-4, прошедшие восстановительный ремонт после эксплуатации по нескольким технологическим вариантам:

1 – исходные (не восстановленные) лопатки;

2 – лопатки, восстановленные по ремонтной технологии ПТП «Самарагазэнергоремонт», включающей устранение забоин путём их заплавки, подварку пластин на торце пера, термообработку (выдержка 5 часов при температуре печи 840...850<sup>o</sup>С, охлаждение с печью до температуры 500<sup>o</sup>С, затем охлаждение на воздухе), полировку и ультразвуковое упрочнение свободными шариками (время обработки  $\tau_{обр.}=4$  мин, диаметр шариков  $\varnothing_{ш}=1$  мм, частота колебаний  $f=20$  кГц, амплитуда колебаний  $\xi=0,012$  мм, масса шариков  $m=0,3$  кг);

3 - лопатки, восстановленные по ремонтной технологии, предложенной исследователями СамГТУ, отличающейся от предыдущей только тем, что использовалось не

ультразвуковое, а термопластическое упрочнение (температура нагрева  $T_{нагр.}=750^{\circ}\text{C}$ , давление охлаждающей жидкости  $P_{охл.}=0,5$  МПа).

Сущность термопластического упрочнения заключается в следующем [1]: деталь прогревается до температуры, не превышающей фазовых и структурных переходов (точка Ас3), затем подвергается резкому душевому охлаждению. За счет разности температур поверхности и внутреннего слоя возникают термические напряжения, превышающие предел текучести, и поверхность пластически деформируется в расширенном объеме, тогда как внутренний слой еще находится в разогретом состоянии и деформациям не подвержен. Далее, постепенно остывая, сжимается внутренний (основной) слой металла, сдавливая при этом поверхность. За счет различного удельного объема наружных и внутренних слоев формируются сжимающие остаточные напряжения, повышающие сопротивление усталости.

Усталостные испытания лопаток проводились в лаборатории Самарского научно-инженерного центра АПИДМ в соответствии с "Едиными техническими условиями на усталостные испытания лопаток газотурбинных установок" НД 631.301.0216-03-98 на электромагнитном вибростенде ЭМВС-1. База  $N=10^7$  циклов, температура 20 °С. Количество исследуемых лопаток – по семь штук на каждый вариант. Модуль упругости материала лопаток  $E=204000$  МПа. В результате получено следующее (см. рисунок) [2]:

- предел выносливости исходных (не восстановленные) лопаток составил 140 МПа;

- предел выносливости лопаток, восстановленных по технологии ПТП «Самарагазэнергоремонт» с использованием ультразвукового упрочнения свободными шариками (УЗУ) составил 220 МПа;

- предел выносливости лопаток, восстановленных по технологии с использованием термопластического упрочнения (ТПУ) составил 280 МПа.

Разрушение лопаток происходило по выходной кромке (в основном, по забоинам) на расстоянии 47...94 мм от основания хвостовика и входной кромке (по забоинам) на расстоянии 75...80 мм.

Таким образом, прирост предела выносливости лопаток, восстановленных с ис-

пользованием УЗУ по сравнению с невосстановленными составил 57%, а восстановленных с использованием ТПУ – 100%.

Если же сравнивать технологии восстановления между собой, то прирост предела выносливости лопаток, упрочнённых ТПУ по сравнению с лопатками, упрочнёнными УЗУ, составил 43 %, что говорит о несомненном преимуществе первого.

Опираясь на результаты исследований, руководством ПТП «Самарагазэнергоремонт» было принято решение о замене ультразвукового упрочнения лопаток термопластическим, что позволило увеличить надёжность газотурбинного двигателя в целом.

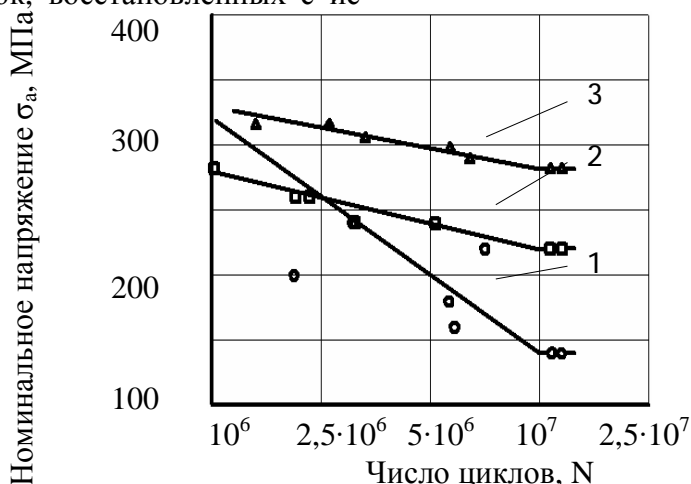


Рис.1. Результаты испытаний лопаток первой ступени (материал ЭИ893) на многоцикловую усталость:

- 1 – исходные (не восстановленные) лопатки;
- 2 – лопатки, восстановленные при помощи УЗУ;
- 3 – лопатки, восстановленные при помощи ТПУ

### Библиографический список

1. Пат. 2170272 РФ. Установка для термопластического упрочнения лопаток / Б.А. Кравченко, Н.И. Росеев, В.Г. Круцило [и др.] 10.07.2001.

2. Усталостные испытания лопаток турбины газоперекачивающего агрегата ГТК-10-4: Научно-техн. отчёт, вып. по договору №24-НИЦ от 24.04.92 г. / Д.С. Еленевский, А.В. Туровцев, С.Ю. Стрилец. - Самара: СНИЦ АПИДМ, 1992. -15 с.