

This paper is concerned with the technology, what make possible to increase fatigue resistance and reliability of turbine engines blades.

Основным элементом, во многом определяющим ресурс газотурбинного двигателя (ГТД) самолёта, является лопатка. От её долговечности и надёжности зависят не только межремонтные сроки эксплуатации, но и жизни людей.

С целью обеспечения усталостной прочности и долговечности, лопатки ГТД на финишной стадии производства упрочняются различными способами поверхностного пластического деформирования (ППД). Наряду с этими способами существует и термопластическое упрочнение (ТПУ) [1], характерной особенностью которого является формирование благоприятных сжимающих остаточных напряжений приблизительно той же величины, что и после ППД, но с гораздо большей релаксационной устойчивостью.

ТПУ воздействует на поверхность стрессом от резкого перепада температур, схожим с закалкой. Однако в отличие от последней, структура и фаза материала не изменяются. Кроме того, напряжения, возникающие при этом, являются не побочным, требующим операции отпуска, явлением, а положительным фактором, увеличивающим усталостную прочность.

Термопластическое упрочнение апробировано на лопатках ГТД различных типов и конструкций, обеспечив значительное преимущество по сравнению с самыми эффективными способами ППД. Например, ультразвуковое упрочнение свободными шариками (УЗУ) способно формировать сжимающие остаточные напряжения на уровне  $\sigma_z^{res}=600$  МПа, обеспечивая прирост предела усталостной прочности ремонтных лопаток первой

ступени ГТД (материал ЭИ893) на 57% по сравнению с неупрочнёнными, тогда как ТПУ при тех же  $\sigma_z^{res}=600$  МПа увеличило этот предел на 100%. Но более важным является не первоначальное значение остаточных напряжений и предела усталостной прочности, а их устойчивость в процессе эксплуатации двигателя: воздействие высоких температур и различного вида нагрузок приводят к ослаблению (релаксации) напряжённо-деформированного поля. Например, те же лопатки, обработанные УЗУ, через 10 тыс. часов эксплуатации показали снижение предела выносливости с 220 до 140 МПа, а обработанные ТПУ – с 270 до 260 МПа.

Следует отметить, что вышеприведённые данные были получены в процессе испытаний газотурбинных двигателей, используемых на газоперекачивающих станциях, то есть «на земле». Настороженное отношение к ТПУ, как к методу, достойному применения при производстве лопаток и для авиационных двигателей, вполне понятно. Однако перспективы для ТПУ и в этой области высоки. Производителям ГТД стоит внимательнее присмотреться и убедиться в высокой надёжности этого метода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Термопластическое упрочнение – резерв повышения прочности и надёжности деталей машин: Монография / Б.А. Кравченко и др. – Самара: Самарский ГТУ, 2000. – 216 с.

УДК 621.892

## ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЛОПАТОК ГТД СМЕСЬЮ ШАРИКОВ И МИКРОШАРИКОВ С ПОДОГРЕВОМ

© 2012 В.Г. Круцило

Самарский государственный технический университет, Самара

# SURFACE PLASTIC DEFORMATION OF GTE PADDLE MIXTURE BALLS AND MICROBALLS WITH HEATING

© 2012 V.G. Krutsilo SamGTU, Samara

In this paper we propose a method of increasing reliability and durability of parts TBG with a mixture of balls and microballs by using for heat and vacuum.

Surface plastic deformation details GTE, paddles, increase the reliability, longevity and resource

Ответственные детали ГТД, работающие в экстремальных условиях при повышенных температурах и знакопеременных нагрузках, как правило в конце технологического процесса изготовления подвергаются операции упрочнения различными технологическими методами с целью повышения надежности и долговечности.

Из большого разнообразия методов упрочнения наибольшее распространение получили методы поверхностного пластического деформирования (ППД): пневмо- и гидродробеструйное упрочнение, упрочнение микрошариками и другие.

При ППД в поверхностном слое упрочняемых деталей формируются благоприятные сжимающие остаточные напряжения, повышающие эксплуатационные характеристики упрочняемых деталей.

Однако практически при всех видах ППД формируется эпюра сжимающих остаточных напряжений, имеющая спад на поверхности детали. Это негативно сказывается на усталостной прочности деталей и других эксплуатационных характеристиках. Величина остаточных напряжений на поверхности деталей, глубина залегания максимальных остаточных напряжений и мощность эпюры зависит от различных технологических факторов, в частности от диаметра шариков. Чем меньше диаметр шарика, тем меньше мощность эпюры остаточных напряжений, величина и глубина максимальных сжимающих остаточных напряжений. На рисунках показаны эпюры остаточных напряжений в поверхностном слое при упрочнении микрошариками (рис. 1) и шариками (рис. 2).

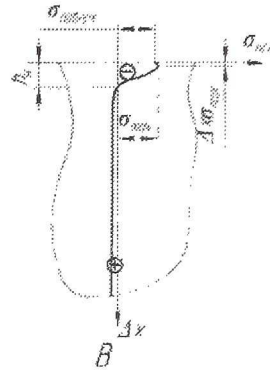


Рисунок 1

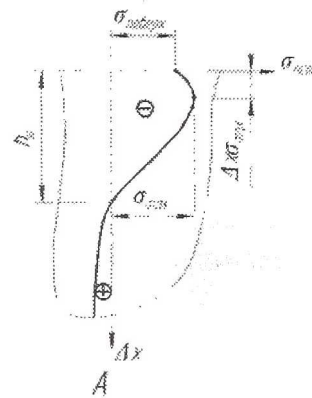


Рисунок 2

У каждого из этих методов есть свои достоинства и недостатки. Упрочнение микрошариками позволяет получить максимум остаточных напряжений практически на поверхности, но при этом формируется недостаточно мощная эпюра с небольшой глубиной остаточных напряжений (рис. 1.). Упрочнение шариками формирует более мощную эпюру и глубину остаточных напряжений, но максимум залегания остаточных напряжений лежит достаточно глубоко (Рис. 2).

Предлагаемый способ упрочнения смесью шариков и микрошариков позволяет реализовать преимущества каждого из способов и нивелировать их



недостатки. Сущность способа заключается в следующем: на имеющихся стандартных установках для упрочнения вместо инденторов одного размера используется смесь из микрошариков и шариков. Конкретные размеры составляющих и другие технологические факторы зависят от обрабатываемых материалов. На рисунке 3 показана эпюра остаточных напряжений после упрочнения смесью шариков и микрошариков. Из рисунка видно, что на поверхности существуют более высокие остаточные напряжения, чем при упрочнении шариками, большая мощность и глубина залегания остаточных напряжений (Рис.3).

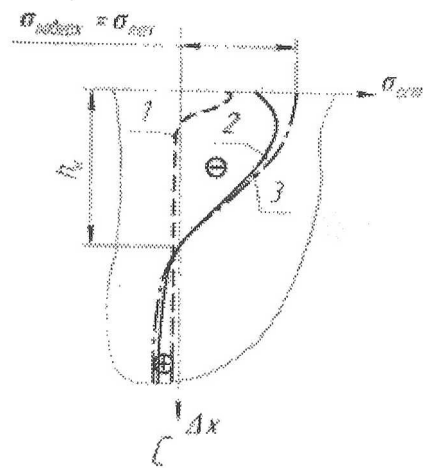


Рисунок 3

С целью усиления эффекта упрочнения камеры для упрочнения деталей могут быть оборудованы подогревом и устройством для вакуумирования. Нагрев деталей до температур, при которых не происходит структурно-фазовых превращений позволяет повысить пластические свойства обрабатываемых деталей. Вакуумирование необходимо в тех случаях, когда нагрев детали может сопровождать окислением поверхности, например, при упрочнении титановых сплавов.

УДК 621.892

## ПРОБЛЕМЫ УПРОЧНЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТД

© 2012 В.Г. Круцило, О.В. Никишов

Самарский государственный технический университет, Самара

### PROBLEMS OF HARDENING OF LARGE PARTS GTE

© 2012 V.G. Krutsilo, O.V. Nikishov SamGTU, Samara

This article is about the features of thermoplastic hardening of large parts GTE Durability, turbine disks, fatigue crack, thermoplastic hardening, automated installation, a fatigue test

Долговечность, турбинные диски, усталостная трещина, термопластическое упрочнение, автоматизированная установка, испытания на усталость

Детали газотурбинных двигателей (ГТД), такие например, как, лопатки, диски, дефлекторы и др., работают в условиях повышенных температурных и силовых знакопеременных нагрузок. Это предъявляет высокие требования к качеству

проектирования и изготовления. В настоящее время практически исчерпаны возможности повышения качественных показателей деталей ГТД методами конструкторского