

## СТАБИЛИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ ГТД ВИБРОУДАРНЫМ МЕТОДОМ

Букатый С.А.

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия,  
г. Рыбинск

В настоящее время для стабилизации размеров и формы деталей наряду с широко известными термическими получают распространение вибрационные методы. Однако термические методы стабилизации понижают прочностные свойства и коррозионную стойкость алюминиевых сплавов, а вибрационные, в силу малой интенсивности, требуют длительной обработки либо оказываются недостаточно эффективными. Поэтому для уменьшения коробления (технологических остаточных деформаций) лопаток ГТД нами предложен виброударный метод стабилизации [1].

В материале с внутренними напряжениями атомы находятся в неустойчивом равновесии и для их смещения требуются значительно меньшие напряжения, которые могут быть созданы, например, при колебаниях. Возникающие при этом напряжения суммируются с остаточными напряжениями и в поликристаллическом материале происходят сдвиги кристаллической решётки, которые сопровождаются перераспределением и уменьшением остаточных напряжений как в микро- так и в макрообъёмах. На практике детали подвергают преимущественно изгибным колебаниям [2] с относительно небольшой частотой и, следовательно, малыми виброускорениями. При этом напряжения в поперечном сечении распределяются от 0 до  $\sigma_{\max}$  по линейному закону, т.е. неоднородны. В сочетании с небольшой частотой это существенно снижает эффективность виброобработки. Для устранения указанного недостатка нами предложен ударный способ возбуждения продольных колебаний.

Рассмотрим процесс ударного воздействия на стержень. В первый момент ударяющая сила  $N$  создаёт сжатие бесконечно малого элемента, прилегающего непосредственно к ударяемому торцу стержня. Это сжатие передаётся следующему элементу и т.д. В любой момент процесса сжатой будет лишь некоторая часть длины стержня, т.е. процесс является волновым. Скорости движения фронта волны  $c$  и перемещений частиц сжатой зоны  $V$  можно определить выражениями [3]:

$$c = \sqrt{E/\rho}, \quad V = \frac{\sigma}{\sqrt{\rho E}},$$

где  $E$ ,  $\rho$  – модуль упругости и плотность материала стержня;

$\sigma$  – напряжение, возникающее в момент удара.

Положив  $\sigma = \sigma_n$ , ( $\sigma_n$  — предел пропорциональности материала), можно определить предельную скорость ударяющего (ударяемого) тела, при которой в материале начинают возникать неупругие деформации:

$$V_{пред} = \frac{\sigma_n}{\sqrt{\rho E}}.$$

После того, как волна сжатия охватит всю длину стержня, начинается постепенная разгрузка сечений. Общая продолжительность удара вдвое больше времени, необходимого для прохождения волной всей длины стержня  $l$ :

$$t = \frac{2l}{c} = 2l\sqrt{\rho/E}.$$

Поскольку ударяемый стержень является системой, обладающей массой и упругостью, то после одиночного удара в нём осуществляется, постепенно затухая, колебательный процесс. Если в это время производить другие удары, то образующиеся ударные волны напряжений, складываясь с предыдущими, могут существенно интенсифицировать процесс снятия остаточных напряжений. При этом волны напряжений охватывают всё сечение детали, что также повышает эффективность обработки.

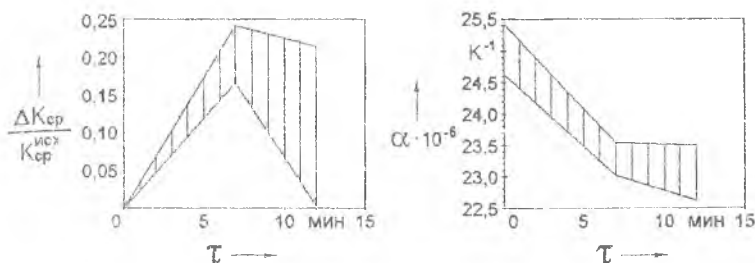
Наибольшая эффективность достигается в случае, когда частота ударных воздействий становится кратной частоте собственных продольных колебаний стержня

$$p = \frac{\pi}{2l\sqrt{\rho/E}},$$

а период ударных воздействий должен быть существенно меньше времени затухания продольных колебаний в стержне. Это время зависит от внешних и внутренних сил сопротивления и на практике определяется экспериментально.

Экспериментальные исследования проводили на заготовках направляющих лопаток второй ступени компрессора из сплава ВД17 длиной 360 – 420 мм. Виброобработка проводилась на модернизированной машине ВГМ-5А с амплитудой 4 – 6 мм и частотой 23 Гц. Деформации лопаток после механической обработки измеряли по величине отклонения свободного конца пера при консольной схеме крепления. При фиксированной амплитуде и частоте требовалось определить оптимальную длительность обработки. В качестве критериев оптимальности использовали величины температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) —  $\alpha$  и относительного критерия  $\Delta K_{cp} / K_{cp}^{ucx}$ , полученного на основе эффекта нелинейности температурных характеристик материалов [4]. Исследования проводили на образцах, вырезаемых из опытных заго-

товок лопаток до и после виброобработки. Результаты исследований представлены в виде графиков (см. рис.), где штриховкой выделены зоны рассеивания экспериментальных данных.



Исследования показали, что после виброобработки ТКЛР уменьшается, а величина  $\Delta K_{cp}/K_{cp}^{исх}$  растет. В области 5-7 минут виброобработки наблюдается стабилизация величины ТКЛР и снижение роста  $\Delta K_{cp}/K_{cp}^{исх}$ , а при дальнейшем увеличении длительности обработки происходит уменьшение  $\Delta K_{cp}/K_{cp}^{исх}$ . Это свидетельствует о снижении эффективности дальнейшей виброобработки. Для апробации в производственных условиях были выбраны два режима с длительностью 5 минут (оптимальный) и 10 минут (проверочный), на которых обрабатывались две партии заготовок по 30 шт. каждая. Третья партия из 75 шт. заготовок была контрольной и виброобработке не подвергалась. После механической обработки фрезерованием и шлифованием деформации всех лопаток из первой (оптимальной) партии были в пределах технологического допуска. Во второй и третьей партиях количество лопаток с короблением сверх допуска составило соответственно 4 и 17 штук. Испытания лопаток на выносливость и коррозионную стойкость показали, показали, что после виброобработки на оптимальном режиме циклическая прочность и коррозионная стойкость (общая и расслаивающая коррозия) остаются на том же уровне, что и у лопаток без виброобработки. Следовательно, виброударная обработка является эффективным средством снятия остаточных напряжений в деталях и заготовках и может использоваться для стабилизации размеров и формы ответственных деталей ГТД.

Аналогичные результаты были получены нами в 1992г. при исследовании коробления длинномерных валов на Рыбинском ПО "Полиграфмаш". При значительном превышении оптимального режима виброударной обработки заготовок после их механической обработки наблюдалось не снижение, а увеличение коробления валов. Это говорит о

том, что чрезмерная интенсивность виброударной обработки приводит к неблагоприятному перераспределению и наведению дополнительных остаточных напряжений.

Таким образом, полученные результаты не только подтверждают эффективность виброударной обработки и методики определения режимов, но и доказывают необходимость точного определения и контроля режимов снятия остаточных напряжений.

#### Список литературы

1. Способ стабилизации материалов и деталей / Заявка на изобретение № 94024286/ 02 (023711) от 29.06.94/ решение о выдаче патента на изобретение от 26.12.97.
2. Рагульскис К.М., Стульпинас Б.Б., Толутис К.Б. Вибрационное старение. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 72с.
3. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. 4-е изд. – Л.: Политехника, 1990. – 272с.
4. Букатый С.А. Физические основы неразрушающего метода прогнозирования стабильности размеров и формы деталей и его применение для совершенствования технологических процессов // Вестник Верхневолжского отд. Академии технологических наук РФ. Сер. Высокие технологии в машиностроении и приборостроении.– Вып. 2: Сб. науч. тр. /РГАТА.– Рыбинск, 1995.– С. 51–57.

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МР ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЯХ

Борисов В.А., Паровай Ф.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В изделиях из материала МР, работающих на сжатие, наблюдается усадка под нагрузкой и релаксация напряжений при постоянной степени сжатия. Релаксация напряжений рассматривалась в работах [1,2 и 3]. Настоящая работа посвящена исследованию усадки изделий из МР при нагружении их циклической сжимающей нагрузкой.

Ранее было установлено [3], что реологические явления в изделиях из МР вызваны большой неравномерностью в нагрузках, действующих на отдельные проволочные элементы, некоторые из которых нагружены до предела текучести, а также изменением со временем сил трения между этими элементами.