

## ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ОБРАЗЦАХ С ОТВЕРСТИЯМИ, ИМИТИРУЮЩИМИ ОТВЕРСТИЯ ПОД СТЯЖНЫЕ БОЛТЫ В ДИСКЕ ТУРБИНЫ ГТД

Павлов В.Ф., Вакулюк В.С., Лапин В.И., Перфильева М.О.

Самарский государственный аэрокосмический университет

### RESIDUAL STRESSES IN SPECIMENS WITH APERTURES IMITATING HOLES FOR TIE BOLTS IN TURBINE DISK OF GAS TURBINE ENGINE

*Pavlov V.F., Vakuljuk V.S., Lapin V.I., Perfiljeva M.O. Residual stresses in the ЭИ698ВД alloy specimens with hollows after manufacturing and after ultrasonic treatment is studied. It is established that ultrasonic treatment results in the creation of compressing residual stresses in the surface layer with maximum till 1300 MPa.*

Остаточные напряжения в плоских образцах с отверстиями из сплава ЭИ698ВД, имитирующими отверстия под стяжные болты в дисках турбины ГТД, определялись по результатам исследования колец, вырезанных из образцов на электроэрозионном станке. Расчёт остаточных напряжений проводился по методике работы [1], причём дополнительные остаточные напряжения за счёт отделения кольца от образца полагали равными нулю, так как они не превышали 0,4 МПа.

Определялись окружные  $S_q$  остаточные напряжения в зоне отверстий диаметром 10 мм плоских образцов толщиной 5 мм, обработанных по существующей технологии (без упрочнения) и на различных режимах ультразвукового упрочнения (УЗУ), приведённых в табл. 1, где  $d_{ш}$  – диаметр шариков,  $h$  – расстояние от образца до концентратора,  $t$  – время обработки.

Результаты определения остаточных напряжений в зоне отверстий, обработанных по существующей технологии (без упрочнения),

Таблица 1- Режимы ультразвукового упрочнения образцов

Вариант упрочнения	Режимы УЗУ		
	$d_{ш}$ , мм	$h$ , мм	$t$ , с
1	1,0	9,2	90
2	1,0	6,5	30
3	1,0	6,5	60
4	1,0	6,5	90
5	1,0	3,5	90

представлены на рис. 1, где показано поле рассеяния окружных  $S_q$  остаточных напряжений по толщине поверхностного

слоя  $a$  и средняя по восьми образцам эпюра напряжений. Можно видеть, что при обработке отверстий по существующей технологии в поверхностном слое создаются сжимающие остаточные напряжения величиной от -100 МПа до -300 МПа с глубиной залегания от 0,05 мм до 0,15 мм. Обращает на себя внимание значительное рассеяние остаточных напряжений, свойственное любой механической обработке, однако в этом случае обработки отверстий ни в одном из колец не наблюдалось растягивающих остаточных напряжений.

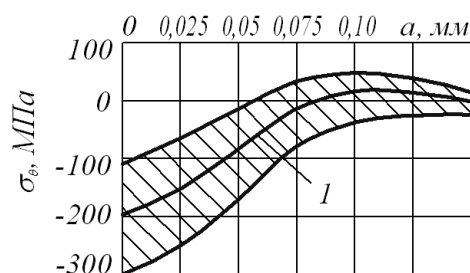


Рис. 1. Поле рассеяния окружных  $S_q$  остаточных напряжений в зоне отверстий образцов, обработанных по существующей технологии; 1 – средняя эпюра напряжений

На рис. 2 представлены осреднённые в каждом варианте по двум образцам эпюры остаточных напряжений в зоне отверстий образцов, обработанных УЗУ. Из данных рис. 2 следует, что УЗУ приводит к созданию в зоне отверстий значительных сжимающих остаточных напряжений (от -800 МПа до -1300 МПа), величина и глубина залегания которых зависит от времени обработки  $t$  и расстояния  $h$  между

концентратором-наконечником установки и плоскостью образца. С увеличением времени обработки от 30 с до 90 с при неизменном  $h = 6,5$  мм максимум остаточных напряжений увеличивается и смещается от поверхности отверстия. Одновременно увеличивается и толщина поверхностного слоя с сжимающими остаточными напряжениями от 0,15 мм до 0,2 мм, что может оказать существенное влияние на сопротивление усталости диска турбины ГТД [2]. Уменьшение расстояния  $h$  в рассмотренных пределах влечёт за собой снижение максимальных сжимающих остаточных напряжений.

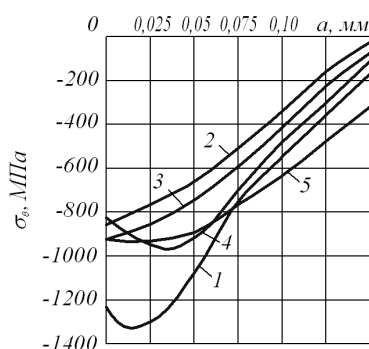


Рис. 2. Окружные  $S_q$  остаточные напряжения в зоне отверстий после УЗУ; номера эюр соответствуют вариантам упрочнения табл. 1

Следует обратить внимание на тот факт, что при обработке УЗУ образцов с отверстием из сплава ЭИ698ВД рассеяние остаточных напряжений в пределах каждого варианта режимов упрочнения было

наименьшим из всех исследованных случаев. Это обстоятельство можно объяснить относительно небольшим рассеянием остаточных напряжений и их постоянством по знаку в исходных образцах с отверстием (рис. 1).

Таким образом, проведённые эксперименты показали, что обработка ультразвуковым упрочнением отверстий под стяжные болты диска турбины ГТД из сплава ЭИ698ВД при исследованных режимах приводит к созданию в их поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений от -800 МПа до -1300 МПа с глубиной залегания от 0,15 мм до 0,2 мм.

### Библиографический список

1. Иванов, С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок / С.И. Иванов // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып.53. – С. 32-42.
2. Павлов, В.Ф. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.Б. Иванов. – Самара: Изд-во Самар. науч. центра РАН, 2008. – 64 с.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/13944).

УДК 621.787:539.319

## ВЛИЯНИЕ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ РАДИУСА НАДРЕЗА ПРИ ОПЕРЕЖАЮЩЕМ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ДЕТАЛИ

Павлов В.Ф., Чирков А.В., Семёнова О.Ю., Кузнецов А.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет

## INFLUENCE OF NOTCH RADIUS ON ENDURANCE LIMIT AT ADVANCING SURFACE PLASTIC DEFORMING OF DETAIL

*Pavlov V.F., Chirkov A.V., Semyonova O.Yu., Kuznetsov A.V. It is experimentally established that with notch size increase at advancing surface plastic forming, the increment of an endurance limit in connection with reduction of compressing residual stresses in the minimal section of detail decreases.*