

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.

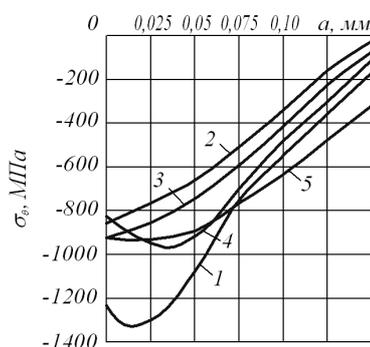


Рис. 2. Окружные S_q остаточные напряжения в зоне отверстий после УЗУ; номера эюр соответствуют вариантам упрочнения табл. 1

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.

Опережающее поверхностное пластическое деформирование (ОППД) как упрочняющая обработка деталей с концентраторами напряжений используется в тех случаях, когда непосредственное упрочнение концентратора затруднено. Положительный эффект от ОППД наблюдается и в том случае, когда упрочнённый поверхностный слой гладкой детали прорезается полностью [1].

В настоящем исследовании изучалось влияние радиуса надреза при ОППД образцов из стали 20 диаметром 10 мм на предел выносливости при изгибе. Гладкие образцы подвергались пневмодробеструйной обработке (ПДО), а также обкатке роликом (ОР) при усилии $P = 0,5$ кН и $P = 1,0$ кН. Затем на все упрочнённые и неупрочнённые гладкие образцы наносились круговые надрезы полукруглого профиля двух радиусов $R = 0,3$ мм и $R = 0,5$ мм.

Остаточные напряжения в гладких образцах определялись экспериментально методом колец и полосок. Распределение осевых S_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a гладких образцов приведено на рис. 1.

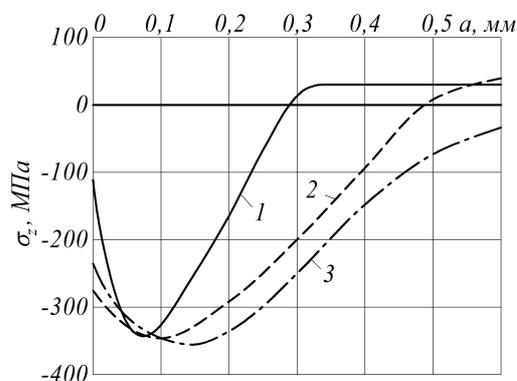


Рис.1. Осевые остаточные напряжения S_z в упрочнённых гладких образцах после: 1 – ПДО; 2 – ОР, $P = 0,5$ кН; 3 – ОР, $P = 1,0$ кН

Из данных рис. 1 следует, что после нанесения на упрочнённые ПДО образцы надрезов с радиусами $R = 0,3$ мм и $R = 0,5$ мм материал на дне надрезов находится в ненаклёпанном состоянии. Такое же состояние наблюдается после нанесения на упрочнённые обкаткой роликом образцы при $P = 0,5$ кН надрезов с радиусом $R = 0,5$ мм. В остальных случаях

обкатки роликом материал на дне надрезов находится в наклёпанном состоянии ($P = 0,5$ кН – $R = 0,3$ мм; $P = 1,0$ кН – $R = 0,3$ мм и $R = 0,5$ мм).

Остаточные напряжения в упрочнённых образцах с надрезами определялись расчётным методом – суммированием дополнительных остаточных напряжений и остаточных напряжений гладких образцов. Распределение осевых S_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a наименьшего сечения образцов с надрезами приведено на рис. 2.

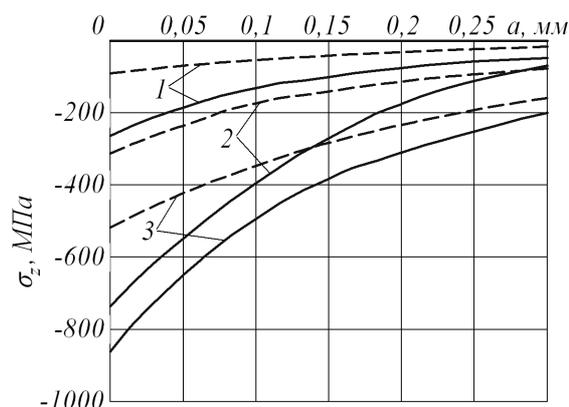


Рис. 2. Осевые остаточные напряжения S_z в упрочнённых образцах с надрезами (— $R = 0,3$ мм; ---- $R = 0,5$ мм) после: 1 – ПДО; 2 – ОР, $P = 0,5$ кН; 3 – ОР, $P = 1,0$ кН

Анализируя данные рис. 1 и рис. 2, можно видеть, что при практически одинаковых максимальных остаточных напряжениях гладких образцов, в образцах с надрезом одного радиуса остаточные напряжения тем выше, чем больше толщина поверхностного слоя гладких образцов с сжимающими остаточными напряжениями. Эта закономерность объясняется концентрацией остаточных напряжений в области дна надреза.

Испытания образцов с надрезами на усталость при изгибе в случае симметричного цикла проводились на машине МУИ-6000, база испытаний – $3 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Результаты определения предела выносливости S_{-1} представлены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что с увеличением радиуса надреза предел выносливости образцов снижается, так как уменьшаются сжимающие остаточные напряжения в их

опасном сечении. Поэтому для сохранения эффекта упрочнения при ОППД с увеличением радиуса надреза необходимо увеличивать толщину слоя гладкой детали сжимающимися остаточными напряжениями.

Таблица 1- Результаты испытаний на усталость

Надрез R, мм	Неупроч. образцы S_{-1} , МПа	Упрочнённые образцы			
		обработка	S_{-1} , МПа	$\bar{S}_{ост}$, МПа	\bar{y}_s
0,3	110	ПДО	155	-126	0,357
		ОР, P = 0,5 кН	230	-337	0,356
		ОР, P = 1,0 кН	267,5	-454	0,347
0,5	120	ПДО	137,5	-48	0,365
		ОР, P = 0,5 кН	187,5	-178	0,379
		ОР, P = 1,0 кН	250	-333	0,390

Для оценки приращения предела выносливости ΔS_{-1} за счёт упрочнения использовался критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{S}_{ост}$ [1]

$$\Delta S_{-1} = \bar{y}_s \cdot |\bar{S}_{ост}|,$$

где \bar{y}_s – коэффициент влияния упрочнения по критерию $\bar{S}_{ост}$.

Из данных табл. 1 следует, что среднее значение коэффициента \bar{y}_s составляет 0,366 и незначительно отличается от $\bar{y}_s = 0,36$, установленного в работе [1] для образцов и деталей из других материалов с такой же концентрацией напряжений.

Библиографический список

1. 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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В УПРОЧНЁННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ ПРИ ОПЕРЕЖАЮЩЕМ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Чирков А.В.¹, Сазанов В.П.², Самойлов В.А.¹, Шкатов А.А.¹

¹Самарский государственный аэрокосмический университет
²ЗАО ВКБ РКК «Энергия» имени С.П. Королёва, г. Самара

MODELING OF REDISTRIBUTION OF RESIDUAL STRESSES IN THE CYLINDRICAL SPECIMENS AFTER ADVANCING SURFACE PLASTIC FORMING

Chirkov A.V., Sazanov V.P., Samoylov V.A., Shkatov A.A. It is shown that for modeling of residual stresses redistribution in the strengthened cylindrical specimens after advancing surface plastic forming initial deformation method can be used.

Решалась задача о перераспределении остаточных напряжений в деталях после нанесения концентратора на поверхностно упрочнённую поверхность.

Распределение остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя гладкой детали находится экспериментально методом колец и полосок. Этот метод

достаточно обоснован и отработан для применения в лабораторных условиях. Применение расчётных комплексов типа MSC.Nastran\MSC.Patran при определении остаточных напряжений в зоне концентратора после опережающего поверхностного пластического деформирования по первоначальным деформациям основано на