

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

сведении задачи теории упругости к температурной задаче теории термоупругости.

В общем случае материал, находящийся внутри элемента, может получать первоначальные деформации, обусловленные различными факторами. Если обозначим, пропорциональную первоначальным деформациям матрицу через $\{e_0\}$, то напряжения $\{s\}$ в соответствии с законом Гука

$$\{s\} = [D](\{e\} - \{e_0\}), \quad (1)$$

где $[D]$ – матрица упругости, содержащая характеристики материала, $\{e\}$ – матрица полной деформации, E – модуль продольной упругости материала, m – коэффициент Пуассона.

В случае осесимметричной задачи, рассматриваемой в настоящем исследовании,

$$\{s\}^T = [s_r, s_z, s_q, t_{rz}]. \quad (2)$$

Если в качестве первоначальных рассматривать температурные деформации, то

$$\{e_0\} = aT \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} (1 + m). \quad (3)$$

В связи с тем, что температурный коэффициент линейного расширения a есть величина постоянная, то при отсутствии действия внешних сил на свободное тело в области, удалённой от краевых зон, существует прямая зависимость между температурным полем и напряжениями. Причём в свободном теле температурные деформации, вызывающие напряжения, возникают только при неравномерном температурном поле.

С точки зрения использования современных расчётных комплексов, реализующих метод конечных элементов для моделирования напряжённо-деформированного состояния деталей и образцов, которые имеют упрочнённый

поверхностный слой с известным распределением остаточных напряжений по его толщине a , возможно заменить зависимость $s = s(a)$ зависимостью $T = T(a)$ в виде математического выражения или в табличной форме.

Возможность использования материалов, изотропных по упругим свойствам, но с разными температурными коэффициентами линейного расширения по направлениям выбранной системы координат, позволяет моделировать любое заранее известное распределение остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя.

Исследовалось остаточное напряжённо-деформированное состояние цилиндрического образца диаметром $D = 15$ мм (рис. 1) из стали 45. Гладкий образец упрочнялся дробью, после упрочнения на него наносился концентратор в виде кругового надреза полукруглого профиля радиусом $R = 0,3$ мм (рис. 1). В результате нанесения надреза в образце происходит перераспределение остаточных напряжений. Методом колец и полосок была получена исходная эпюра осевых остаточных напряжений s_z для гладких образцов. Решение задачи получено по более ранним методикам аналитическим способом и методом конечных элементов.

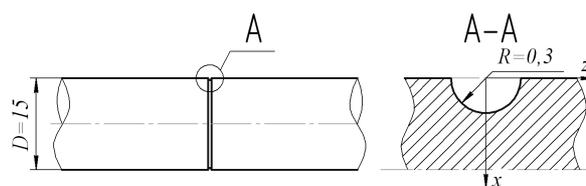


Рис. 1. Рабочая часть образца из стали 45 с надрезом полукруглого профиля $R = 0,3$ мм

Для оптимизации вычислительных ресурсов и процедуры расчётов была разработана схема разбиения образца на конечные элементы, представленная на рис. 2. Используемая модель позволяет сэкономить на количестве элементов, и, соответственно, на времени расчёта.

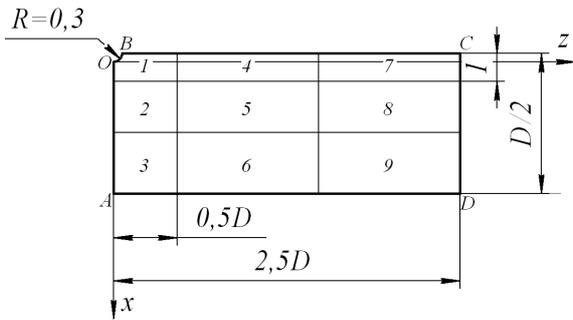


Рис. 2. Расчётная модель

Разработанная схема позволяет также с достаточной точностью рассчитать остаточные напряжения на дне надреза и по толщине наименьшего сечения, необходимые для прогнозирования предела

выносливости упрочнённых образцов и деталей.

По результатам расчётов получено значение осевых остаточных напряжений на дне надреза $\sigma_z = -704$ МПа, что хорошо согласуется с полученным в работе значением -712 МПа. Глубина смены знака остаточных напряжений составляет $a = 0,593$ мм, что опять согласуется с полученной ранее $a = 0,595$ мм.

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

УДК 621.01

АНАЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ БЕЗРЕЗОНАНСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, БЕЗКРИТИЧЕСКИХ РОТОРОВ И СТЕРЖНЕЙ, НЕ ТЕРЯЮЩИХ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ СЖАТИИ

Ройзман В. П.

Хмельницкий национальный университет, Украина

ANALOGY BY CREATING NON-RESONANCE STRUCTURES, NON-CRITICAL ROTORS, AND RODS STABLE UNDER COMPRESSION

Royzman V. P. The paper deals with analogy in processes of losing stability on compressing long rods and reaching critical rotation frequencies of flexible rotors, and also possibility for applying and mutual using practice preventing these dangerous conditions. Here are shown the ways for creating non-critical rotors and non-resonance structures and rods stable under compression.

Сравним в линейной постановке решения задач о нахождении критических сил продольно-сжатого упругого стержня-вала постоянного по длине круглого поперечного сечения, опирающегося по концам на шарнирные опоры и критических частот вращения этого же стержня-вала или равных им собственных частот поперечных (изгибных) колебаний. И в том и в другом случае используются интегро-дифференциальные зависимости теории изгиба [1, 2].

В обоих случаях мы имеем задачу о собственных значениях, в обоих случаях приходим к одинаковому условию

нахождения ряда критических сил и ряда критических частот вращения через одинаковые выражения $k_1 = k_2 = \frac{n\rho}{l}$.

Поэтому в общем виде

$$P_{кр}(w_{кр}) = \frac{n^2 p^2}{l^2} \cdot d_{1(2)},$$

где $d_{1(2)}$ - коэффициенты, зависящие от длины, жесткости и массы;

$$d_1 = EI_{oc}, \quad d_2 = \sqrt{\frac{EI_{oc}}{m}}.$$

Уравнение упругой линии стержня-вала и в том и в другом случае имеет вид