

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

В работе [1] приведены результаты аналитического решения задачи о распределении дополнительных остаточных напряжений в наименьшем сечении упрочнённой цилиндрической детали с концентратором напряжений в виде полукруглого надреза. При этом распределение остаточных напряжений в упрочнённом слое для гладкой детали в местах, значительно удалённых от краевых зон, задавалось в виде достаточно простых алгебраических выражений. В работе [2] было проведено исследование и сделан положительный вывод о возможности использования конечно-элементного моделирования и современных расчётных комплексов при решении подобных задач с использованием математического моделирования распределения остаточных напряжений в упрочнённом поверхностном слое гладкой детали в виде таких же алгебраических выражений.

В данном исследовании рассматривается пример использования математического моделирования первоначальных деформаций в виде упомянутых выше алгебраических функций при назначении геометрических параметров образцов-свидетелей в технологических процессах поверхностного упрочнения деталей типа полых цилиндрических валов и прогнозировании приращения предела выносливости [3, 4]. Применение такого моделирования обеспечивает практически все возможные варианты распределений остаточных напряжений в упрочнённом поверхностном слое деталей. Алгебраические выражения этих функций приведены в таблице 1, графики зависимостей представлены на рисунке 1.

Таблица 1 – Алгебраические выражения функций

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(\xi)$	$1 - \sqrt{1 - \xi^2}$	$\xi^2$	$\xi$	$1 - (1 - \xi)^2$	$2\xi\sqrt{1 - \xi^2}$	$(1 - \xi)^2$	$1 - \xi^2$	$1 - \xi$	$\sqrt{1 - \xi^2}$

Выражение для первоначальных деформаций записывается в виде:

$$\varepsilon(\xi) = \varepsilon_0 f(\xi), \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0$  – постоянная величина деформации;  $f(\xi)$  – алгебраическая функция;  $\xi = y/a$  – расстояние от поверхности гладкой детали до текущего слоя, выраженное в долях от

толщины упрочнённого слоя  $a$ . При этом ось  $y$  направлена от поверхности в сторону оси цилиндрической детали, а величина  $\xi$  изменяется в пределах от 0 до 1.

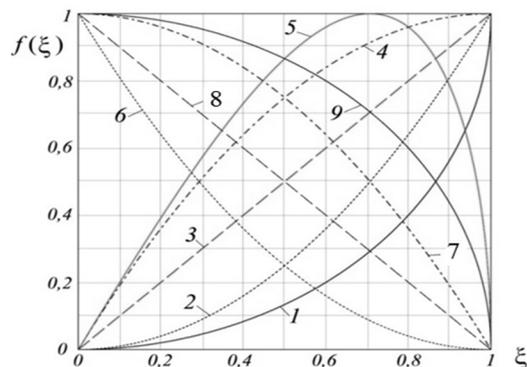


Рисунок 1 – Графики зависимостей функции  $f(\xi)$  (варианты табл. 1)

На основании проведённых исследований в работах [1, 2] были сделаны выводы о том, что для полых цилиндрических деталей с надрезом дополнительные остаточные напряжения, вызванные опережающим поверхностным пластическим деформированием, определяются толщиной стенки и не зависят от диаметра. Эти напряжения равны напряжениям сплошной детали, диаметр которой составляет удвоенную толщину стенки полый детали.

Необходимый объём расчётов был выполнен методом конечно-элементного моделирования с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN на цилиндрических деталях с размерами  $D \times d$  10x0 мм, 15x5 мм, 25x15 мм, 50x40 мм, где  $D$  – наружный диаметр,  $d$  – внутренний диаметр. Очевидно, что в качестве образца-свидетеля в данной партии рассматривается сплошная цилиндрическая деталь диаметром 10 мм, а остальные полые детали имеют одинаковую толщину стенки, равную 5 мм. Конечно-элементные модели деталей разработаны в осесимметричной постановке с наложением соответствующих граничных условий и с использованием треугольного шестиузлового конечного элемента типа 2d-solid. Моделирование первоначальных деформаций в упрочнённом поверхностном слое выполнено методом термоупругости [5], а их распределение задавалось в виде алгебраических выражений по вариантам 1-9 (таблица 1).

Результаты расчётов в виде графиков зависимостей осевых остаточных напряжений  $\sigma_z$  по толщине поверхностного слоя  $y$  для вариантов 1-9 приведены на рисунке 2.

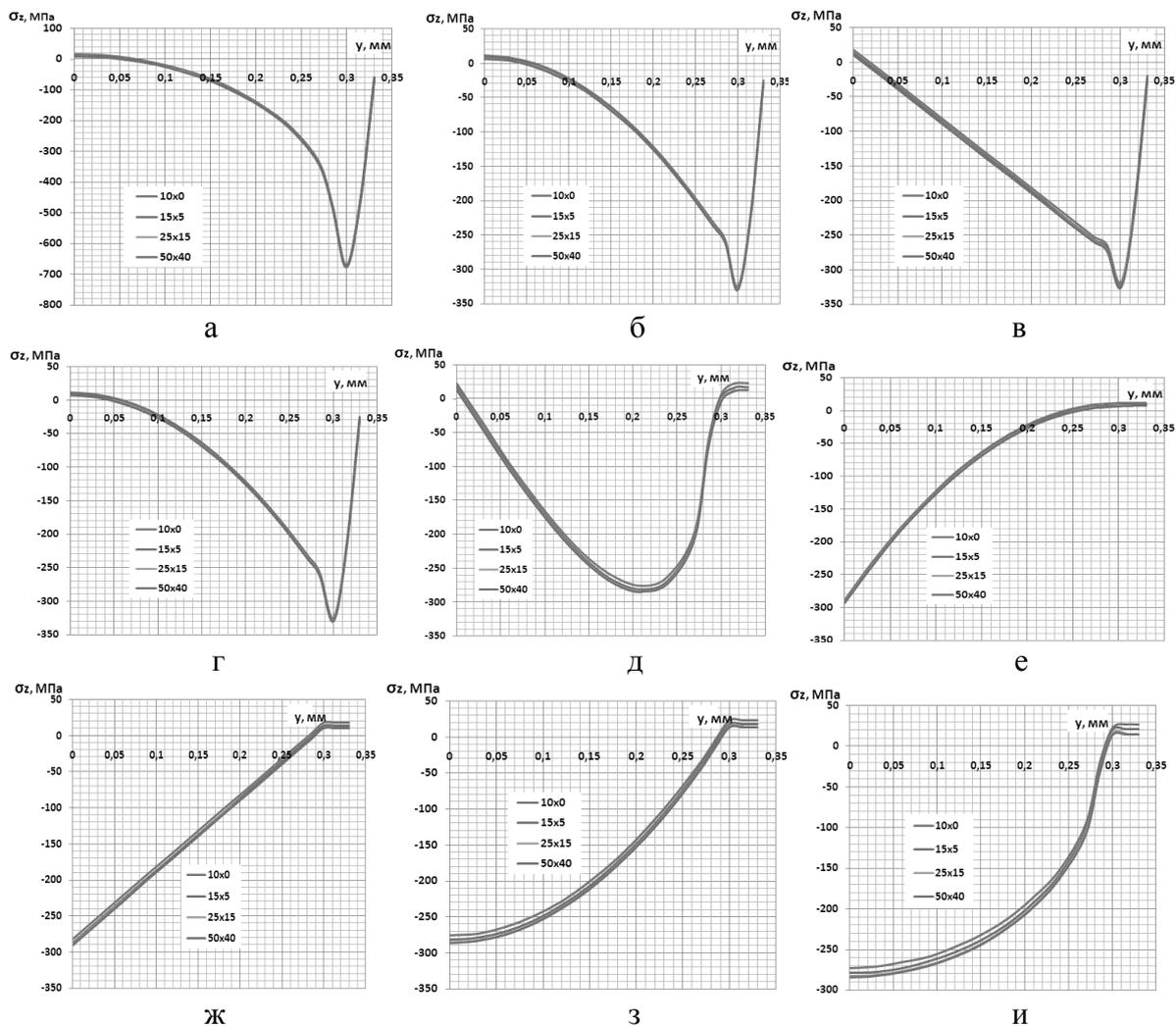


Рисунок 2 – Распределение осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине у поверхностного слоя: а - и – варианты 1-9

Анализ зависимостей осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя показывает, что для всех вариантов задания распределений первоначальных деформаций они достаточно близки по своим значениям для всех рассматриваемых деталей, в том числе и для образца-свидетеля. Установлено, что при увеличении диаметра полый детали значения сжимающих осевых остаточных напряжений несколько возрастают, а растягивающие (реактивные), наоборот, несколько уменьшаются. Разница между максимальными по модулю осевыми остаточными напряжениями для полый цилиндрической детали 50x40 мм и образца-свидетеля 10x0 мм в виде относительной погрешности приведена в таблице 2, из которой видно, что она находится в пределах 4%.

Таблица 2 – Погрешности осевых остаточных напряжений

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Погрешность, %	0,89	1,54	2,19	1,54	3,26	1,73	2,84	3,62	4,03

Таким образом, на основании проведённого исследования с использованием математического моделирования первоначальных деформаций по толщине упрочнённого поверхностного слоя и полученных результатов расчёта остаточных напряжений на конечно-элементных моделях с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN установлено, что при прогнозировании предела выносливости поверхностно упрочнённых полых цилиндрических деталей в качестве образца-свидетеля следует использовать сплошной цилиндрический образец, диаметр которого равен удвоенной толщине стенки полый детали.

#### **Библиографический список**

1. Павлов, В.Ф. Закономерности распределения остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических деталях с отверстиями различного диаметра [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичев, В.Б. Иванов, О.Ю. Семёнова, Е.А. Денискина // Математическое моделирование и краевые задачи: М33 Труды четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием. Ч. 1: Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций. – Самара: СамГТУ. – 2007. – С. 171–174.

2. Сазанов, В.П. Конечно-элементное моделирование закономерностей распределения остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах с полукруглым надрезом [Текст] / В.П. Сазанов, А.В. Чирков, О.Ю. Семёнова, В.А. Самойлов, Ю.С. Ларионова // Математическое моделирование и краевые задачи: М33 Труды восьмой Всероссийской научной конференции с международным участием. Ч. 1: Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций. – Самара: СамГТУ. – 2011. – С. 198–202.

3. Павлов, В.Ф. Влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя детали на сопротивление усталости [Текст] / В.Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1987. – №7. – С. 3–6.

4. Павлов, В.Ф. Влияние теплофизических характеристик материала на распределение остаточных напряжений у поверхности детали [Текст] / В.Ф. Павлов // Вестник машиностроения. – 1986. – №5. – С. 23–24.

5. Сазанов, В.П. Моделирование перераспределения остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при опережающем поверхностном пластическом деформировании [Текст] / В.П. Сазанов, А.В. Чирков, В.А. Самойлов, Ю.С. Ларионова // Вестник СГАУ. – 2011. – №3(27). Ч. 3. – С. 171-174.