

**НАЗНАЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА
ПНЕВМОДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ УПРОЧНЕНИИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЙ**

С целью повышения надёжности и долговечности деталей машин общепризнанным является использование поверхностного пластического деформирования (ППД) в качестве окончательной технологической операции при их изготовлении. Повышение сопротивления усталости после ППД обусловлено сжимающими остаточными напряжениями в поверхностном слое деталей. Эффективность ППД существенно возрастает для деталей с концентраторами напряжений, для которых невозможны другие варианты упрочняющих обработок.

Для контроля качества упрочнённых деталей методами поверхностного пластического деформирования на практике применяется способ, основанный на использовании образцов-свидетелей. В работе [1] описывается расчётный метод, основанный на известном в теории механики остаточных напряжений положении о том, что обрабатываемые ППД деталь и образец-свидетель, имеющие схожие по отношению к исходной детали геометрические размеры, получают одинаковые первоначальные деформации.

При конечно-элементном моделировании остаточного напряжённого состояния применяется метод термоупругости [1]. Использование метода термоупругости с применением конечно-элементного моделирования позволяет решать задачи о распределении остаточных напряжений в деталях сложной геометрической формы, которые подвергаются ППД совместно с образцами-свидетелями.

В работе [2] рассматривается пример использования математического моделирования первоначальных деформаций в образцах-свидетелях в виде алгебраических функций, соответствующих различным режимам упрочнения. Применение такого моделирования описывает практически все возможные случаи изменения остаточных напряжений в упрочнённом поверхностном слое деталей.

Алгебраические выражения различных функций распределения первоначальных деформаций $f(\xi)$ приведены в табл. 1, а их графики – на рис. 1.

Таблица 1 – Функции распределения первоначальных деформаций по толщине упрочнённого поверхностного слоя деталей

Вариант	1	2	3	4
$f(\xi)$	$1 - \sqrt{1 - \xi^2}$	ξ^2	ξ	$1 - (1 - \xi)^2$

Выражение для первоначальных деформаций записывается в виде

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

где ε_0 – постоянная величина деформации; $f(\xi)$ – алгебраическая функция; $\xi = y/a$ – расстояние от поверхности детали до текущего слоя, выраженное в долях от толщины a упрочнённого слоя. Величина ξ изменяется в пределах от 0 до 1.

Функции распределения первоначальных деформаций (рис. 1 и табл. 1) соответствуют обработке деталей с различными режимами упрочнения [2].

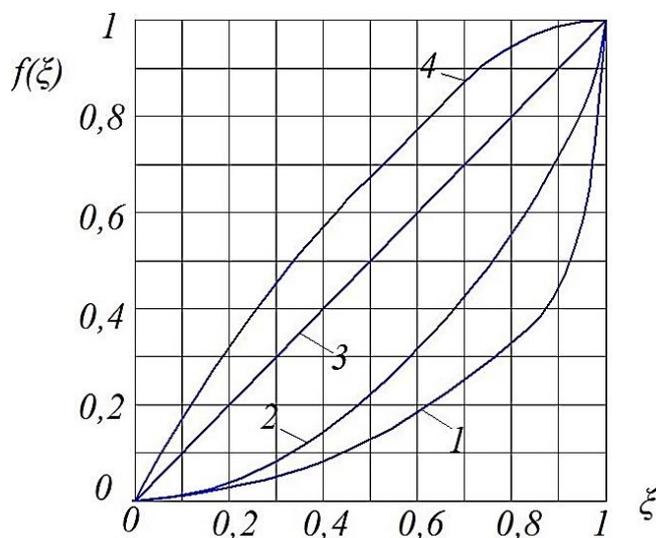


Рис. 1. Графики функции $f(\xi)$:

номера кривых соответствуют функциям таблицы 1

В данном исследовании для определения влияния режимов пневмодробеструйной обработки на развитие трещины усталости в цилиндрических деталях в качестве критерия оценки использовался коэффициент интенсивности напряжений (КИН) K_I [3].

Коэффициент интенсивности напряжений вычислялся для цилиндрических деталей, испытывающих деформацию растяжения, ослабленных круговым надрезом полукруглого профиля с $R = 0,5$ мм, (рис. 2).

Четверть цилиндрической детали представлена на рис. 3, где L – длина детали, D – диаметр, d – диаметр в наименьшем сечении, R – радиус полукруглого надреза, t – глубина трещины.

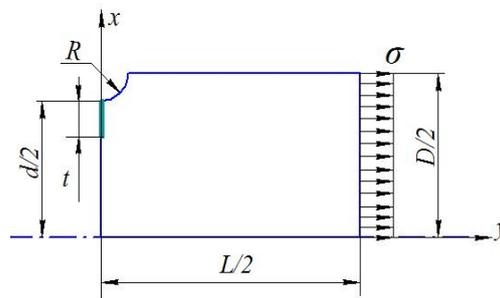
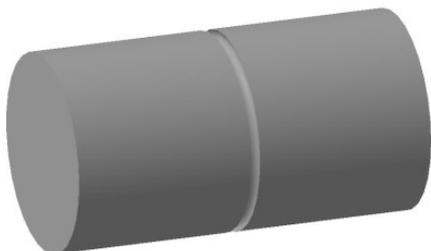


Рис. 2. Цилиндрическая деталь с круговым надрезом

Рис. 3. Четверть цилиндрической детали

полукруглого профиля

При помощи МКЭ-пакета ANSYS для детали с $D = 10$ мм, $d = 9$ мм и $R = 0,5$ мм с полем остаточных напряжений были определены закономерности изменения КИН, наблюдающиеся при увеличении глубины трещины усталости (рис. 4). Рассматривались функции распределения первоначальных деформаций по толщине упрочнённого поверхностного слоя деталей $f(\xi)$, приведённые в табл 1.

Из рис. 4 видно, что закономерность изменения КИН при увеличении глубины трещины t не зависит от вида распределения первоначальных деформаций по толщине упрочнённого слоя, изменяется лишь уровень КИН. Чем ниже уровень КИН, тем значительнее сжимающие остаточные напряжения влияют на остановку развития трещины усталости, и, следовательно, на сопротивление усталости цилиндрических деталей с концентраторами напряжений.

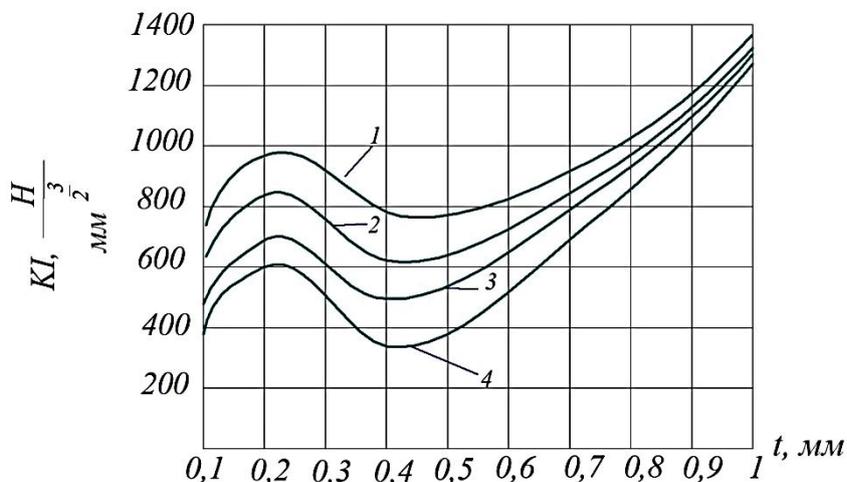


Рис. 4. Изменение КИН в детали с $D = 10$ мм, $d = 9$ мм, $R = 0,5$ мм для различных режимов упрочнения, соответствующих функциям 1 – 4 таблицы 1

Вывод

Анализируя графики изменения КИН при увеличении глубины трещины усталости в деталях, подверженных различным режимам пневмодробеструйной обработки, можно выбрать режим упрочнения деталей, работающих при циклическом нагружении.

Библиографический список

1. Вакулюк, В.С. Применение метода термоупругости при конечно-элементом моделировании остаточного напряжённого состояния в поверхностно упрочнённых деталях [Текст] / В.С. Вакулюк, В.П. Сазанов, В.К. Шадрин, Н.Н. Микушев, А.С. Злобин // Известия СНЦ РАН. – 2014. – Т.16. – № 4. – С.168 -174.
2. Сазанов, В.П. Математическое моделирование первоначальных деформаций в поверхностно упрочнённых деталях при выборе образца-свидетеля [Текст]/ В.П. Сазанов, О.Ю. Семёнова, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Вестник УГАТУ. –2014. – Т. 18. – № 3(63). – С. 1 – 7.
3. Кирпичёв, В.А. О связи коэффициента интенсивности напряжений и нераспространяющейся трещины усталости [Текст]/ В.А. Кирпичёв, В.П. Сазанов, Н.А. Сургутанов, В.К. Шадрин // Материалы X Всероссийской научной конференции по механике деформируемого твёрдого тела. СамГТУ. – 2017. – С. 23-26.