

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
В ОПАСНЫХ СЕЧЕНИЯХ ДЕТАЛЕЙ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ
ПО ПЕРВОНАЧАЛЬНЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ ОБРАЗЦА-СВИДЕТЕЛЯ**

Для оценки влияния поверхностного упрочнения на усталость необходимо знать распределение остаточных напряжений в поверхностном слое опасного сечения детали. Определение остаточных напряжений в деталях с концентраторами напряжений является сложной трудоёмкой задачей как в теоретическом, так и в практическом отношении.

Наиболее точно влияние остаточных напряжений на предел выносливости деталей с концентраторами напряжений оценивается по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [1]. Использование критерия $\bar{\sigma}_{ост}$ требует знания достаточно точного распределения остаточных напряжений по толщине упрочнённого поверхностного слоя опасного сечения деталей в пределах глубины нераспространяющейся трещины усталости $t_{кр}$, так как характер распределения остаточных напряжений оказывает существенное влияние на предел выносливости [2].

Для решения этой задачи предлагается использовать образец-свидетель, который проходит упрочняющую технологию одновременно с исследуемой деталью. Было сделано предположение, а затем и показано, что образец-свидетель и исследуемая деталь в процессе упрочнения получают одинаковые первоначальные деформации [3-6]. С помощью классического метода колец и полосок определяется распределение осевых σ_z остаточных напряжений по толщине a упрочнённого поверхностного слоя (рисунок 1).

Определение этого распределения производится на гладкой детали, что является достаточно простой задачей. Затем на конечно-элементной модели образца реальная эпюра остаточных напряжений заменяется эпюрой температурных напряжений. При такой замене возникает некоторое расхождение между эпюрой, полученной методом колец и полосок, и расчётной эпюрой, полученной методом термоупругости. Методом последовательных приближений итерационным способом добиваемся практического совпадения эпюр (рисунок 2). Обычно бывает достаточно двух-трёх итераций.

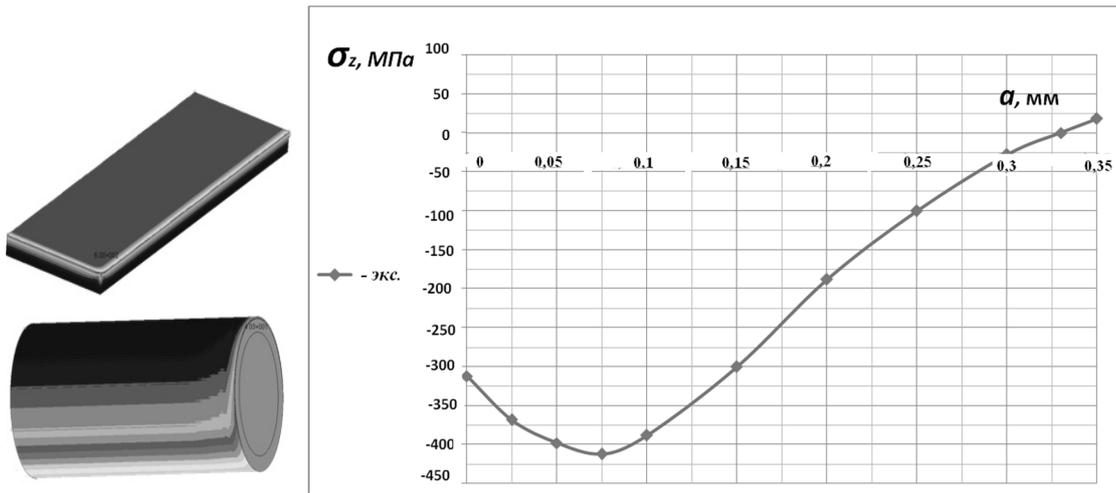
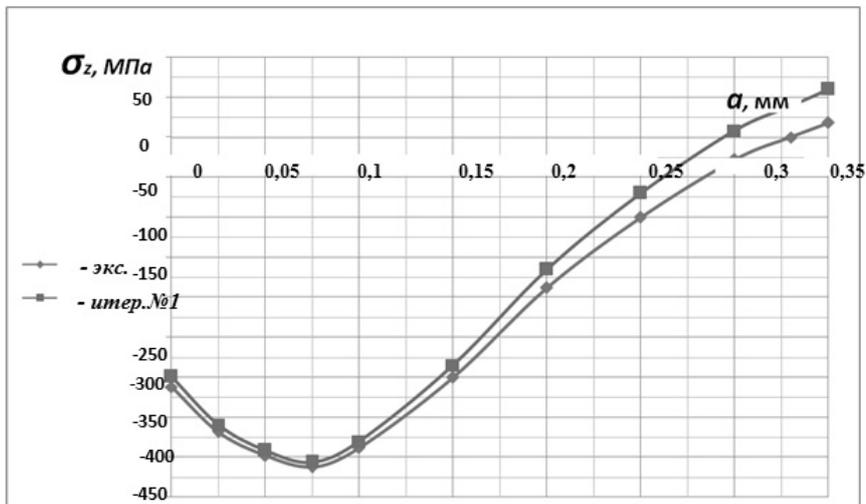
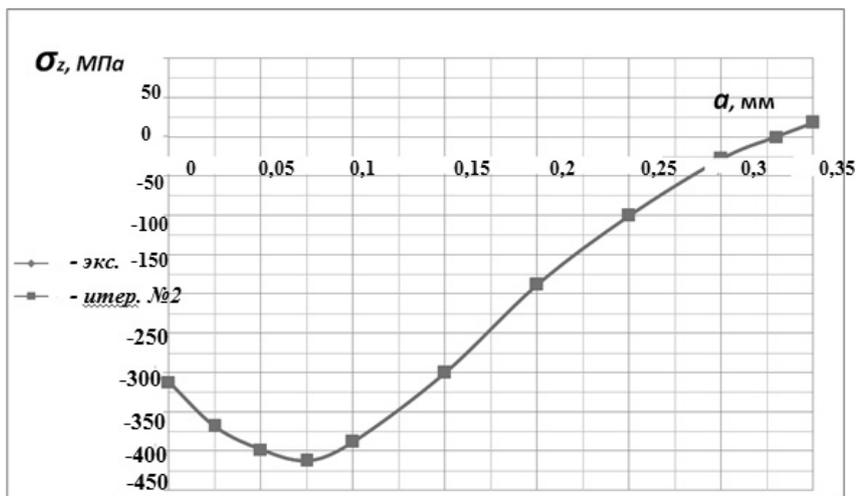


Рисунок 1 – Осевые σ_z остаточные напряжения в образце-свидетеле



а



б

Рисунок 2 – Экспериментальные и расчётные распределения остаточных напряжений:
а – итерац. №1; б – итерац. №2

Полученная зависимость первоначальных деформаций по толщине упрочнённого слоя образца-свидетеля (рисунок 3) используется для деформационного нагружения поверхностного слоя конечно-элементной модели исследуемой детали для получения распределения остаточных напряжений в любом сечении, в том числе и в опасном сечении реальной детали, и с целью прогнозирования её предела выносливости.

Для доказательства справедливости сделанных предположений были проведены эксперименты по определению остаточных напряжений в гладких деталях и деталях с надрезами радиусом 0,3 мм различных диаметров после гидродробеструйной обработки. Образцы изготавливались из стали 45 и алюминиевого сплава Д16Т. Остаточные напряжения определялись методом колец и полосок и разработанным обобщённым методом по первоначальным деформациям образца-свидетеля. В качестве образца-свидетеля использовалась втулка диаметром 51 мм x 45 мм. Проведённые расчёты и испытания на усталость показали, что расхождение между расчётными и экспериментальными значениями остаточных напряжений в гладких образцах диаметром 10 – 50 мм из стали 45 не превышает 6%, в образцах с надрезами – 5%.

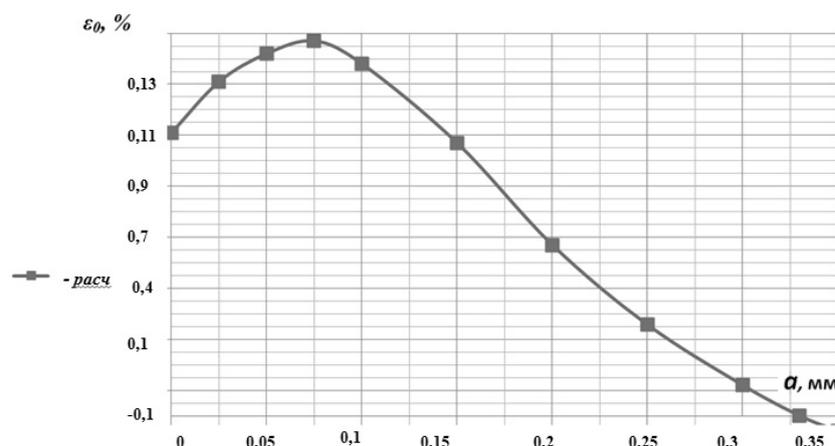


Рисунок 3 – Расчётная зависимость распределения первоначальных деформаций в упрочнённом слое

Для деталей диаметром 10 – 40 мм из сплава Д16Т после гидродробеструйной обработки расхождение между расчётными и экспериментальными значениями остаточных напряжений в гладких деталях не превышает 7%, а в деталях с концентраторами напряжений – 8%. Приращения предела выносливости, полученные расчётным путём, отличаются от экспериментальных значений максимально на 16% для диаметра 10 мм из стали 45 и на 17% для алюминиевого сплава Д16Т.

Таким образом, экспериментально доказана возможность использования эпюр остаточных напряжений образцов-свидетелей, прошедших весь технологический цикл упрочнения совместно с исследуемой деталью, для получения распределения остаточных напряжений в гладких деталях и деталях с концентраторами напряжений с применением конечно-элементного моделирования. В дальнейшем этот метод был апробирован на упрочнённых деталях с различными концентраторами напряжений: шлицы, галтельные переходы, резьба, корсетные образцы.

Библиографический список

1. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений [Текст] / В.Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.

2. Павлов, В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение 1. Сплошные детали [Текст] / В.Ф. Павлов // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 1988. – №8. – С. 22-26.

3. Иванов С.И. Определение остаточных напряжений в резьбе болтов методом колец и полосок [Текст] / С.И. Иванов, Н.Г. Трофимов, Э.И. Фрейдин, В.Г. Фокин, М.П. Шатунов // Вестник машиностроения. – 1980. – №5. – С. 37-39.

4. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям: монография [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.

5. Иванов С.И. Остаточные напряжения и сопротивление усталости шлицевых валов [Текст] / С.И. Иванов, Н.Г. Трофимов, В.С. Вакулюк, М.П. Шатунов, Э.И. Фрейдин // Вестник машиностроения. – 1985. – №7. – С. 12-14.

6. Иванов С.И. Остаточные напряжения во впадинах шестерён [Текст] / С.И. Иванов, Н.Г. Трофимов, В.М. Ермолаев, Ю.П. Ковалкин, Э.И. Фрейдин // Труды II Всесоюзного симпозиума «Остаточные технологические напряжения». Москва, АН СССР. – 1985. – С. 179-184.