

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В НАДРЕЗАХ ПОЛОГО ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЕННОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА

М. Н. Саушкин, А. Ю. Куров

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Самарский государственный технический университет”,
mikhail@saushkin.com, alexeykurov@gmail.com*

Поверхностно пластическое деформирование является одним из технологических способов увеличения ресурса конструкций. Однако для изделий (в частности – цилиндрических образцов) с концентраторами напряжений в виде надрезов малых геометрических размеров стандартные технологические процедуры (обработка микрошариками, обкатка роликами, алмазное выглаживание и другие) не могут быть применены. В этом случае поле сжимающих остаточных напряжений в зоне концентрации наводят при их изготовлении. Так, на практике изготовлению мелких концентраторов напряжений предшествует упрочнение гладкой детали (опережающее упрочнение поверхности детали). При таком подходе после упрочнения в детали возникает неоднородное поле остаточных пластических деформаций и неоднородное по глубине залегания поле остаточных напряжений, а после изготовления концентратора напряжений (фактически – удаления части объема) под действием остаточных пластических деформаций, играющих роль начальных деформаций, в упрочненном поверхностном слое происходит перераспределение остаточных напряжений. Следует отметить, что в случае сплошных цилиндрических деталей метод опережающего упрочнения поверхностей может приводить к большему эффекту, чем непосредственное упрочнение концентратора. В частности, величина среднеинтегральных осевых остаточных напряжений в наименьшем сечении цилиндрических изделий с концентраторами напряжений непосредственно связана с сопротивлением многоциклового усталости таких деталей, поэтому основной задачей является определение распределения остаточных напряжений в области концентратора.

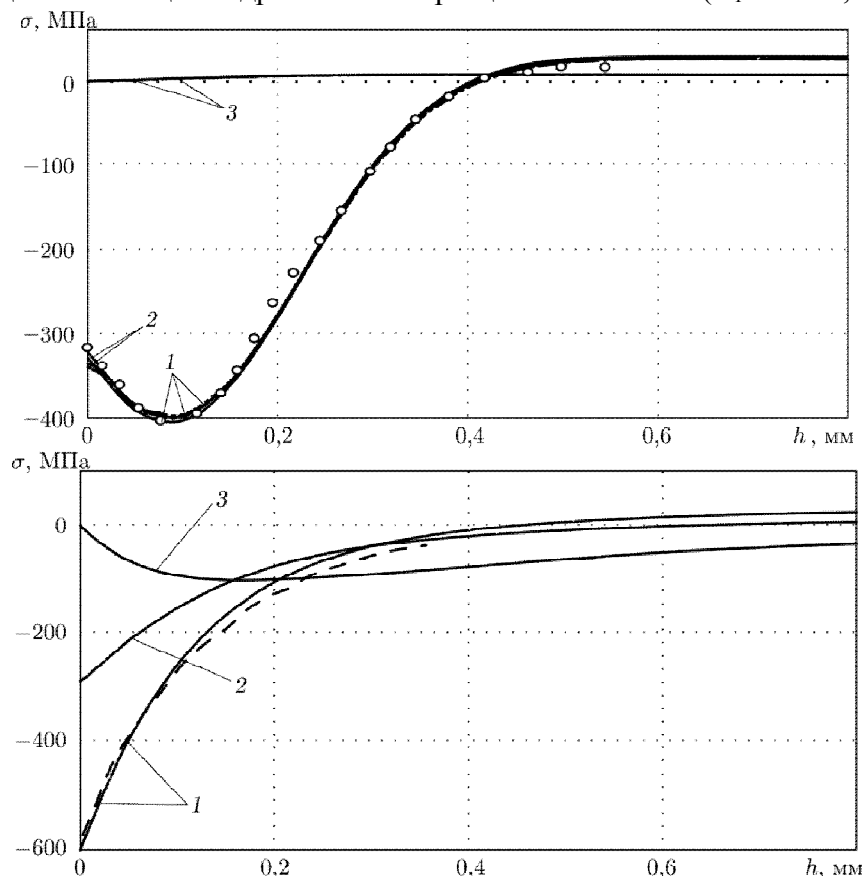
В настоящей работе разработан метод на основе МКЭ, позволяющий восстановить полную трёхмерную картину напряженно-деформированного состояния для упрочненного полого образца с надрезом полукруглого профиля. Данный метод учитывает реальное распределение полей остаточных напряжений и пластических деформаций для гладкого образца, полученных на основе аналитического решения по экспериментальной информации о распределении одной и/или двух компонент напряжений.

Схема решения состоит из трех этапов: 1) разбиение цилиндрического образца с надрезом на конечные элементы; 2) задание начальных остаточных пластических деформаций псевдотемпературными деформациями (на основании численно-аналитического решения для гладкого образца); 3) решение задачи фиктивной термоупругости относительно неизвестных остаточных напряжений.

Проведенный анализ 15-ти упрочненных цилиндрических образцов с различными внешними и внутренними диаметрами показал, что процедура опережающего пласти-

ческого деформирования наиболее эффективна в полых цилиндрических образцах для малых величин радиуса надреза, величина которого меньше толщины упрочненного слоя (область сжатия материала для напряжений σ_z и σ_θ), поскольку здесь происходит увеличение (по модулю) величины σ_z , которая входит, например в критерий влияния остаточных напряжений на предел выносливости деталей в условиях концентрации напряжений.

В качестве примера на рисунке приведены эпюры распределения остаточных напряжений для полого цилиндрического образца из стали 40X ($R_1 = 5$ мм, $R_2 = 12.5$ мм).



Эпюры остаточных напряжений по глубине упрочненного слоя h для гладких (а) полых образцов и образцов с надрезом 0.3 мм (б) из стали 40X: 1 – $\sigma_z = \sigma_z(h)$, 2 – $\sigma_\theta = \sigma_\theta(h)$, 3 – $\sigma_r = \sigma_r(h)$

Для сопоставления результатов выполнен сравнительный анализ расчетных значений для напряжения σ_z по методике настоящей работы с данными расчета этой компоненты по приближенной аналитической зависимости (штриховая линия на рисунке), методами теории функций комплексного переменного для плоской задачи, когда вместо цилиндрического образца рассматривалась тонкая пластина – осевое сечение цилиндра с концентратором напряжений [1]. Наблюдается соответствие данных расчета по разработанной методике с экспериментальными данными и данными расчетов других авторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов С.И., Шатунов М.П., Павлов В.Ф. Определение дополнительных остаточных напряжений в надрезах на цилиндрических деталях // Вопросы прочности элементов конструкций. Куйбышев: Куйбышев. авиац. ин-т, 1973. Вып. 60. С. 160–170.