

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МКЭ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТВЕРСТИЯ ДИСКА

© 2018 В.Г. Фокин

Самарский государственный технический университет

### FINITE ELEMENT MODELING THERMOPLASTIC HARDENING OF THE CYLINDRICAL SURFACE OF THE HOLE IN THE DISC

Fokin V.G. (Samara State Technical University, Samara, Russian Federation)

*The paper presents the results of computer modeling by the finite elements method of thermoplastic hardening of the cylindrical surface of the hole in the disk. The residual stresses are determined by first solving the problem of cooling the heated surface of the hole and then subsequently solving the elasto-plastic deformation problems.*

Для повышения сопротивления усталости деталей применяются различные технологические операции поверхностного пластического деформирования (ППД): обдувка дробью, обкатка роликом, термопластическое упрочнение (ТПУ) и др. При этих операциях в поверхностных слоях детали создаются благоприятные сжимающие остаточные напряжения [1, 2], которые препятствуют развитию трещин. Численно анализировать сложные процессы ППД возможно только современными методами компьютерного инженерного анализа, основанными на методе конечных элементов (МКЭ) и использовании программ типа ANSYS, NASTRAN, ABAQUS.

Данная работа посвящена компьютерному анализу МКЭ процесса образования остаточных напряжений на цилиндрической поверхности отверстия в диске при ТПУ. Технологически ТПУ состоит из двух операций: нагрева отверстия до нужной высокой температуры и затем интенсивного охлаждения с помощью воды. Компьютерное моделирование также состоит из двух этапов. Сначала рассматривается процесс охлаждения водой цилиндрической поверхности отверстия, предварительно нагретой до высокой температуры. Предполагается осевая симметрия термопластического деформирования вблизи отверстия. Такой подход допустим в силу короткого времени существования больших градиентов температуры около охлаждаемой поверхности. Эти градиенты и являются причиной образования значительных неоднородных пластических де-

формаций, которые порождают остаточные напряжения. Решается соответствующая осесимметричная нестационарная нелинейная задача теплопроводности с конвекцией на поверхности отверстия. Определяются температурные поля в разные моменты времени охлаждения детали. Эти поля температуры для разных моментов времени используются далее для решения (МКЭ) осесимметричных упругопластических деформационных задач, в результате чего определяются остаточные напряжения в зоне отверстия. Учитывается зависимость физических свойств материала и охлаждающей среды от температуры. Составленные компьютерные программы дают возможность исследовать процесс образования остаточных напряжений в поверхностных слоях отверстия после ТПУ при разных диаметрах отверстия, а также при разных физических свойствах материала и охлаждающей среды. С помощью этих программ можно анализировать разные режимы ТПУ и находить оптимальные варианты.

Ниже даны результаты моделирования ТПУ цилиндрической поверхности отверстия радиуса  $R = 5$  мм. На рис. 1 представлен фрагмент расчётной

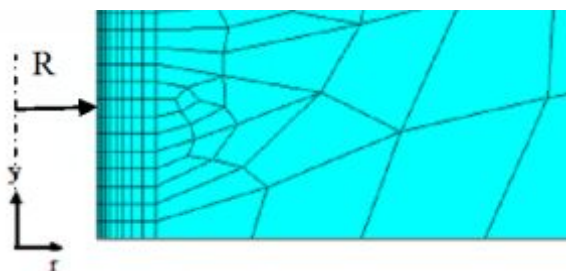


Рис.1. Фрагмент конечно-элементной модели

конечно-элементной осесимметричной модели с конечно-элементной сеткой. Материал модели – сплав ЭИ437Б. Физические и механические свойства сплава брались с учётом их температурной зависимости. При решении задачи нестационарной теплопроводности начальная температура детали принималась равной 700°C. Температура внешней среды считалась равной 20°C. На рис. 2, 3 представлены результаты теплового и деформационного анализов.

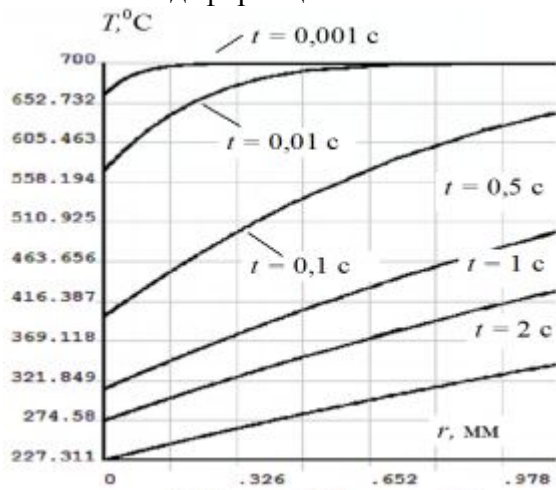


Рис. 2. Изменение температуры вдоль нормали к поверхности отверстия в разные моменты охлаждения

Вблизи цилиндрической поверхности отверстия создаются сжимающие остаточные напряжения: осевые  $\sigma_y = -569,1$  МПа, окружные  $\sigma_z = -440,8$  МПа.

На рис. 4 показано распределение пластических деформаций вдоль внешней нормали к поверхности отверстия. Вблизи цилиндрической поверхности отверстия из-за больших температурных градиентов создаются пластические деформации: осевые  $\epsilon_{py} = 0,0035$  и окружные  $\epsilon_{pz} = 0,00254$  растяжения, а также радиальные  $\epsilon_{px} = -0,0061$  сжатия. Толщина пластически деформированного поверхностного слоя и глубина залегания сжимающих остаточных напряжений были 0,5 – 0,4 мм.

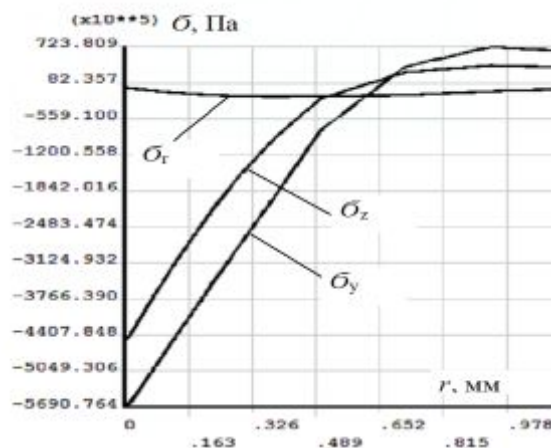


Рис.3. Распределение остаточных напряжений вдоль нормали к поверхности отверстия

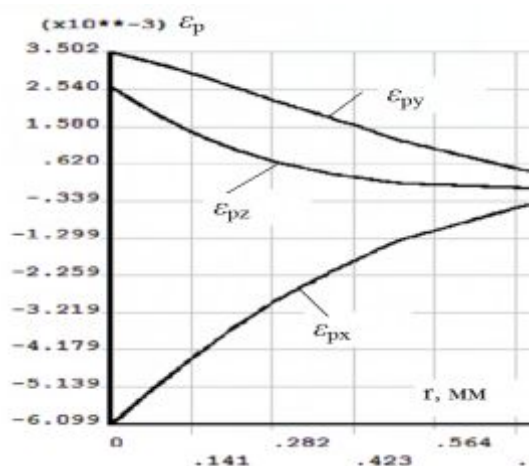


Рис.4. Распределение пластических деформаций вдоль нормали к поверхности отверстия

Выполненные расчёты показали эффективность технологии ТПУ для создания на поверхности детали благоприятных остаточных напряжений сжатия, повышающих прочность.

#### Библиографический список

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
2. Б.А. Кравченко, В.Г. Круцило, Г.Н Гутман. Термопластическое упрочнение – резерв повышения прочности и надёжности деталей машин. - Самара, СамГТУ, 2000. - 206 с.