

УДК 621.73.011

Сердюк О. В.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ОБКАТКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ РОЛИКОМ

Поверхностную пластическую деформацию используют для обработки разных поверхностей: цилиндрических, плоских, поверхностей коленчатых и шлицевых валов, зубчатых колес, резьбы и других [1]. Данный вид обработки обеспечивает увеличение прочности и микротвердости обработанных поверхностей, они более износостойкие, чем, например, поверхности, полученные при помощи лезвийной или абразивной обработки.

При рассмотрении процесса пластической деформации поверхностного слоя, в частности при деформировании роликом цилиндрической поверхности возникает целый ряд задач. Одной из них есть определение степени упрочнения в поверхностном слое металла в зависимости от параметров процесса пластической деформации. Качение со скольжением жесткого ролика вдоль плоской поверхности идеально-пластического полупространства рассмотрено в работах [1–6], по цилиндрической заготовке [1–7]. При этом считается, что пластическое состояние в зоне контакте есть стационарным. Начальное решение для скольжения цилиндра по пластическому полупространству рассмотрено Б. А. Друяновым и Н. М. Михиным [1, 2], качение гладкого цилиндра исследовалось Е. А. Маршалом [3], И. Ф. Коллинз рассматривал скольжение шероховатого цилиндра [4]. В. М. Сегалом предложено решение задачи [5] при произвольном трении между роликом и материалом. При этом исследовались усилия и момент, которые действуют на цилиндр и распределение контактных напряжений по поверхности материала, который обрабатывается.

Целью работы является моделирование процесса деформирования поверхностного слоя при упрочняющей поверхностной обработке обкатыванием роликом для определения пластических деформаций и напряжений в поверхностном слое цилиндрической заготовки.

Для достижения поставленной цели использовалось математическое моделирование с помощью программы LS-DYNA. Программа предназначена для расчетов быстротекущих, динамических задач и процессов, имеющих значительную нелинейность, и очень хорошо подходит для решения задач обработки давлением, поскольку течение материала в процессе пластической деформации в процессах ОМД обладает значительной нелинейностью. Программа позволяет смоделировать практически все процессы обработки металлов давлением. При этом нет ограничений по размерам и форме заготовок в отличии от теоретических расчетов. Связано это с тем, что при создании конечно-элементной модели выполняется разбиение заготовок любой сложности на элементарные конечные элементы.

Моделирование проходит в несколько этапов:

- строится геометрическая модель;
- задаются тип материалов и их свойства;
- присваиваются атрибуты (материал, тип конечного элемента) элементам геометрической модели;
- разбивается модель на конечные элементы (рис. 1);
- задаются граничные условия (закрепления модели и действующие силы);
- решается задача.

В данной модели рассматривается обкатка стального вала диаметром 50 мм (Сталь 45), роликом диаметром 50 мм, с профильным радиусом – 5 мм, а также роликом с винтовой рабочей поверхностью. Анализ полученных результатов показывает, что имеют место три зоны деформирования [5]: область опережения; область непосредственно контакта ролика и детали; область отставания. Формирования всех зон хорошо видны на рис. 2 и рис. 3.

В зоне пластической волны происходят значительные деформации при неблагоприятной схеме напряженного состояния (рис. 4). Показатель напряженного состояния  $\eta$  в этой зоне изменяется от  $\eta = 0,71$  до  $\eta = 1,6$ , а параметр Надаи-Лоде  $\mu_\sigma$  изменяется от  $\mu_\sigma = -0,3$  до  $\mu_\sigma = -0,4$ .

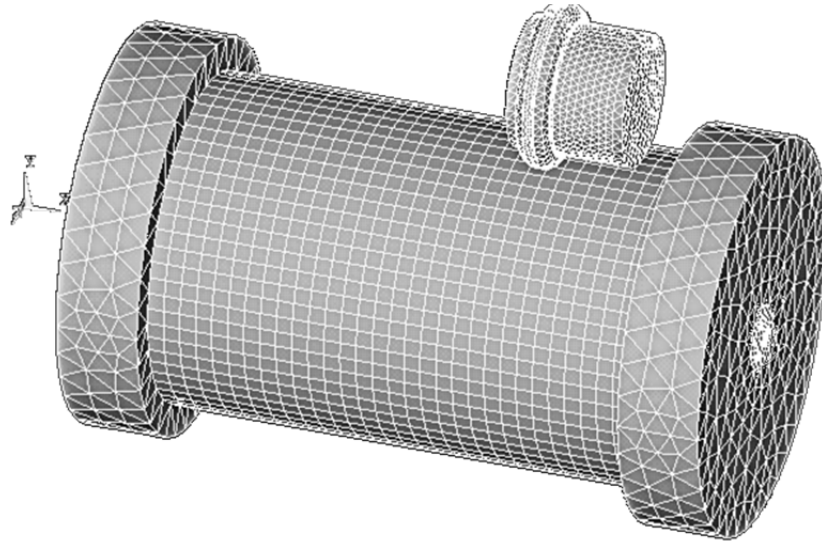


Рис. 1. Геометрическая модель, разбитая на конечные элементы

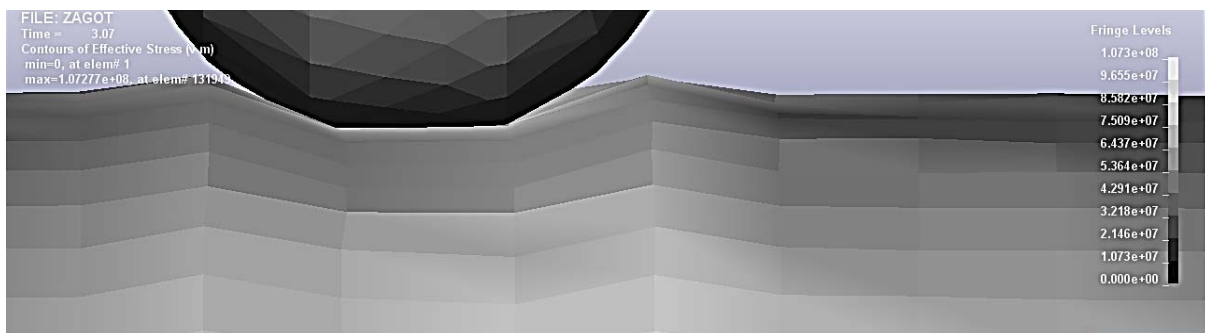


Рис. 2. Образование волны перед роликом и после него

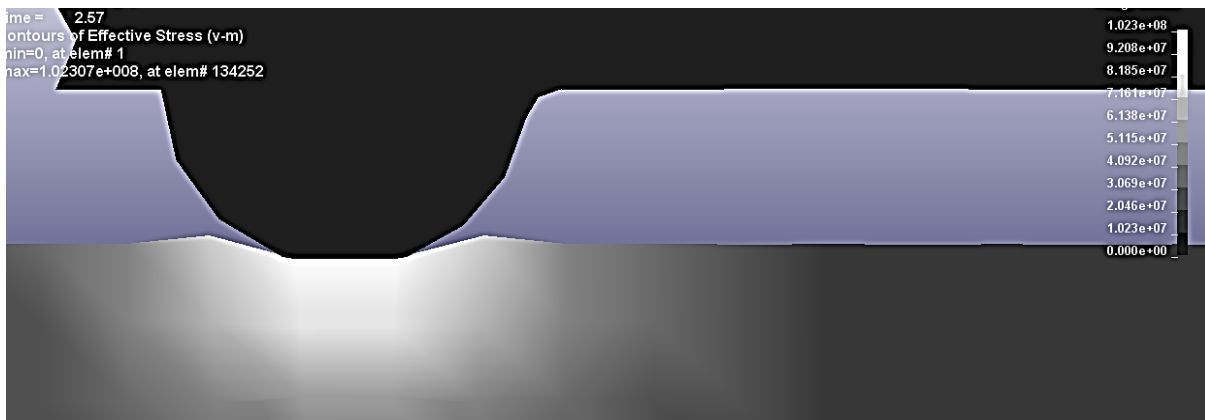


Рис. 3. Распределение интенсивности напряжений в меридиональном сечении

В зоне контакта детали и инструмента происходят основные деформации (рис. 4), однако увеличение использованного ресурса пластичности незначительно. В этой области показатели  $\eta = -0,75 \dots -0,7$ ,  $\mu_\sigma = 0,2 \dots 0,3$ , то есть имеет место схема всестороннего сжатия.

При переходе частицы из первой во вторую зону вследствие интенсивных деформаций в условиях гидростатического сжатия возможно залечивание некоторых дефектов. Таким образом, поврежденность металла поверхностного слоя детали при обкатывании происходит в основном, в зоне пластической волны, а именно в ее вершине. Эта поврежденность частично может залечиваться, а оставшаяся часть будет определять эксплуатационные характеристики поверхностного слоя детали.

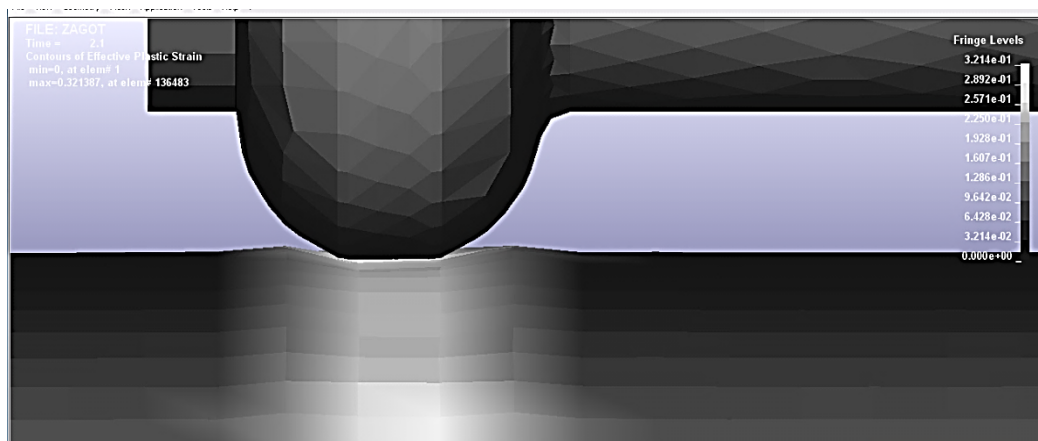


Рис. 4. Распределение интенсивности пластических деформаций по поверхности заготовки

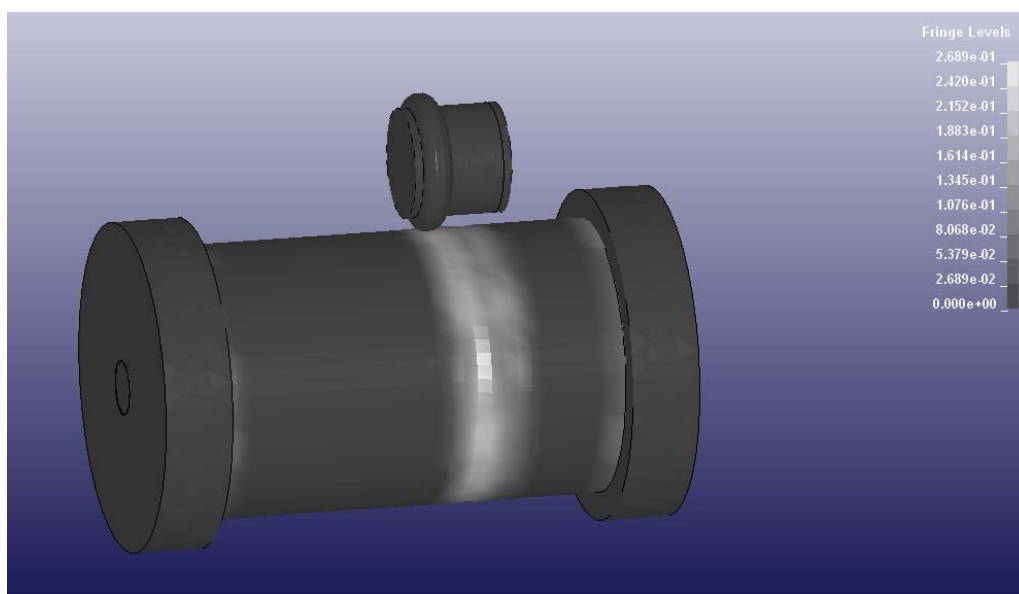


Рис. 5. Распределение интенсивности пластических деформаций

При моделировании рассматривались разные способы обкатки. Например, обкатка инструментом с двумя рабочими профилями. Такая схема деформирования позволяет уменьшить поврежденность металла в поверхностном слое, так как волна после первого ролика накладывается на волну перед вторым и соответственно смягчается схема напряженного состояния в зоне пластической волны перед вторым роликом.

Кроме того выполнено моделирование процесса ППД инструментом с рабочей поверхностью тороидальной формы, расположенной наклонно к оси вращения инструмента и образующей винтовую линию. Значительный интерес вызывает обкатывание роликами в двух направлениях

Для подтверждения результатов моделирования выполнены экспериментальные исследования. В табл. 1 приведены результаты измерения твердости поверхностного слоя для трех способов обкатывания тороидальным роликом с винтовой рабочей поверхностью.

Таблица 1

Твердость поверхностного слоя для разных способов обкатывания инструментом с винтовой рабочей поверхностью

Вид обработки	Твердость, НВ
Без обработки	92,3
Обкатка инструментом за один проход	131,3
Обкатка в прямом и обратном направлении	172,7
Обкатка в одном направлении за два прохода	112,67

Из анализа полученных результатов следует, что самым оптимальным является режим обработки, при котором используется инструмент с винтовой рабочей поверхностью и обкатывание выполняется в двух противоположных направлениях. При обкатывании тем же инструментом в два прохода, но в одном направлении, на поверхности детали имеет место разрушение. Что свидетельствует о преимуществе немонотонного нагружения, так при втором виде обработки твердость значительно выше, а разрушений поверхностного слоя нет.

### ВЫВОДЫ

Выполнено моделирование процесса деформирования поверхностного слоя при упрочняющей поверхностной обработке обкатыванием роликом и определены пластические деформации и напряжения в поверхностном слое заготовки. Установлено:

– что твердость поверхностного слоя значительно выше при немонотонном деформировании, то есть при обкатывании за два прохода, но в противоположных направлениях торoidalным роликом с винтовой рабочей поверхностью;

– в очаге деформации имеют место три зоны деформирования. В зоне пластической волны преобладают растягивающие напряжения, в средней зоне имеет место схема всестороннего сжатия, а в третьей зоне преобладают сжимающие напряжения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Друянов Б. А. О движении цилиндрического индентора по поверхности полупространства / Б. А. Друянов // Теория трения и износа. – 1965. – № 1. – С. 96–120.
2. Друянов Б. А. Исследование скольжения сферы по пластически деформируемому полупространству / Б. А. Друянов, Н. М. Михин // Склерометрия. – 1968. – № 1. – С. 130–168.
3. Marshall E. A. Rolling contact with plastic deformation / E. A. Marshall // J. Mechanic and Physical Solids. – 1968. – № 4. – P. 87–91.
4. Collis I. F. Analysis of the rolling of a cylinder a rigid-perfectly plastic half-space / I. F. Collis // Int. J. Mech. Sci. – 1972. – № 1. – P. 54–66.
5. Сегал В. М. Технологические задачи теории пластичности (методы исследования) / В. М. Сегал. – Минск : Наука и техника, 1977. – 256 с.
6. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников. – Киев : УМК ВО, 1989. – 151 с.
7. Афонин А. Н. Моделирование процесса поверхностного объемного пластического деформирования / А. Н. Афонин, А. В. Киричек, А. Г. Апальков, Д. А. Должиов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2007. – № 10. – С. 29–32.
8. Блюменштейн В. Ю. Расчетная модель остаточных напряжений упрочненного поверхностного слоя при размерном совмещенном обкатывании / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов // Вестник Кузбас. Гос. Техн. Ун-та. – 2008. – № 5. – С. 50–58.
9. Саушкин М. Н. Метод расчета полей остаточных напряжений и пластических деформаций в цилиндрических образцах с учетом анизотропии процесса поверхностного упрочнения / М. Н. Саушкин, В. П. Радченко, В. Ф. Павло // ПМТФ. – 2011. – Т 52, № 2. – С. 173–182.
10. Саушкин М. Н. Конечно-элементное моделирование распределения остаточных напряжений в сплошных упрочненных цилиндрических образцах и образцах с полукруглым надрезом / М. Н. Саушкин, А. Ю. Куров // Вест. СамГТУ. – 2011. – № 3. – С. 72–78. – (Серия «Физико-математические науки»).

Сердюк О. В. – инженер ВНТУ.

ВНТУ – Винницкий национальный технический университет, г. Винница.

E-mail: KarvatkoOlga@ukr.net

Статья поступила в редакцию 28.03.2012 г.