

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, резьб 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, динамичных 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 отличие 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 50мм (Сталь 45), роликом диаметром 50мм, 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 η в этой зо-

не изменяется от $\eta=0,71$ до $\eta=1,6$, а параметр Надаи –Лоде μ_σ изменяется от $\mu_\sigma = -0,3$ до $\mu_\sigma = -0,4$.

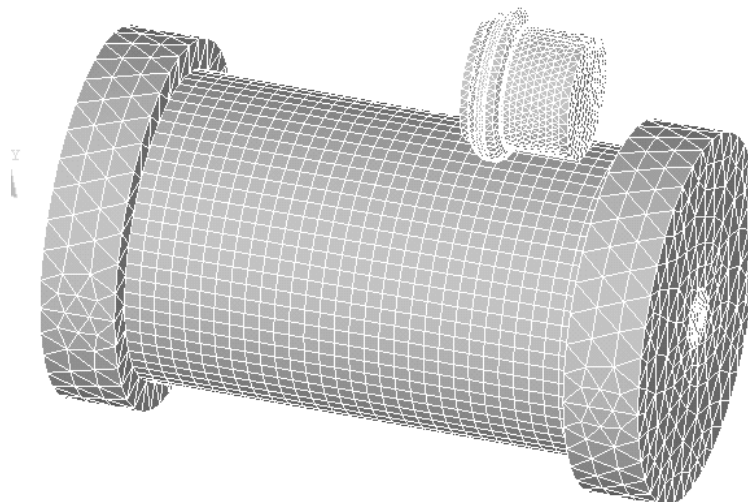


Рис.1 – Геометрическая модель разбитая на конечные элементы

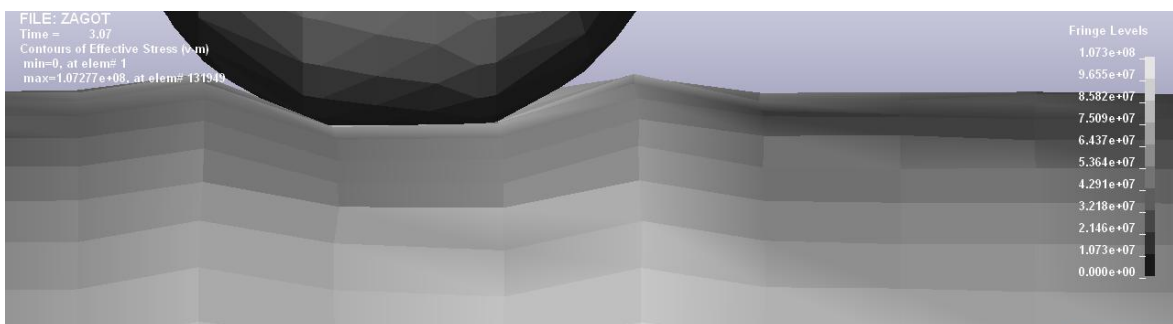


Рис. 2 – Образование волны перед роликом и после него

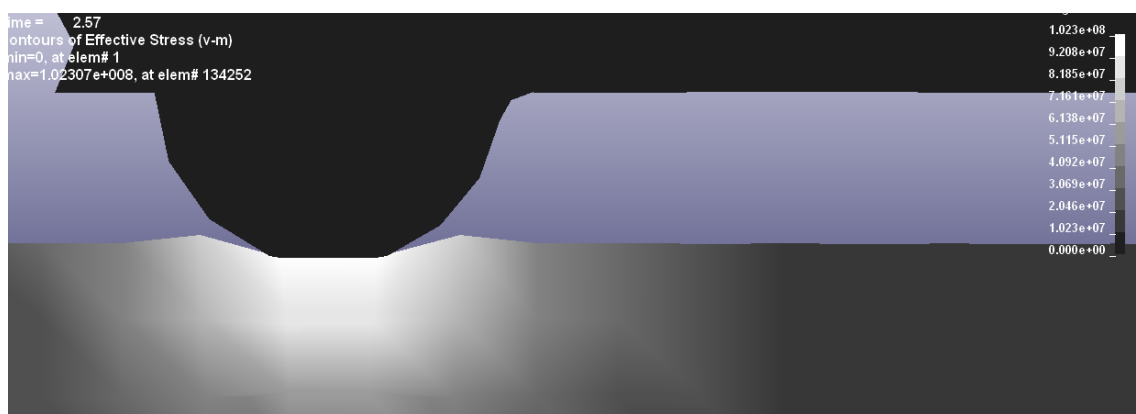


Рис.3 – Распределение интенсивности напряжений в меридиональном сечении

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 мо-

жет залечиваться, а оставшаяся часть будет определять эксплуатационные характеристики поверхностного слоя детали.

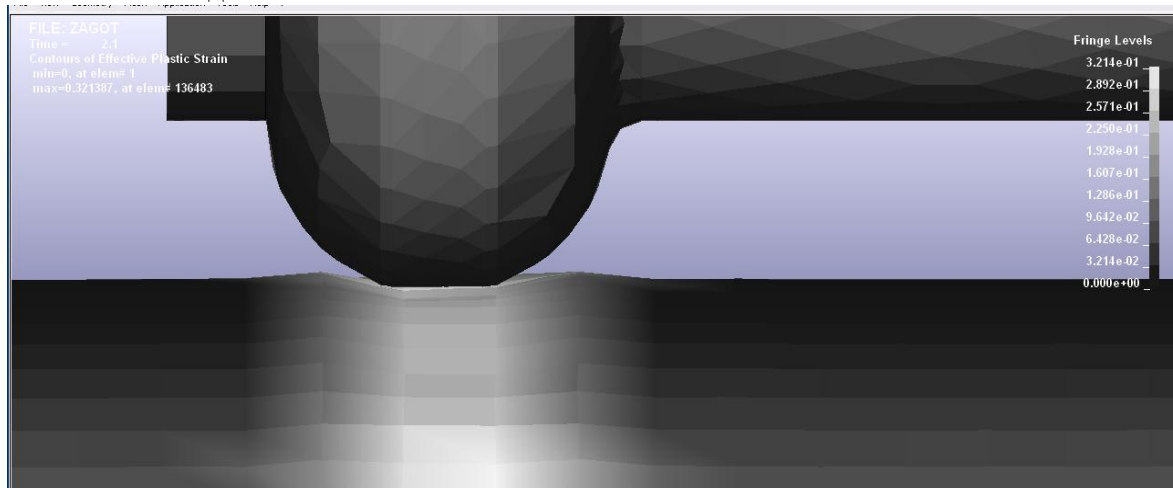


Рис.4 – Распределение интенсивности пластических деформации по поверхности заготовки

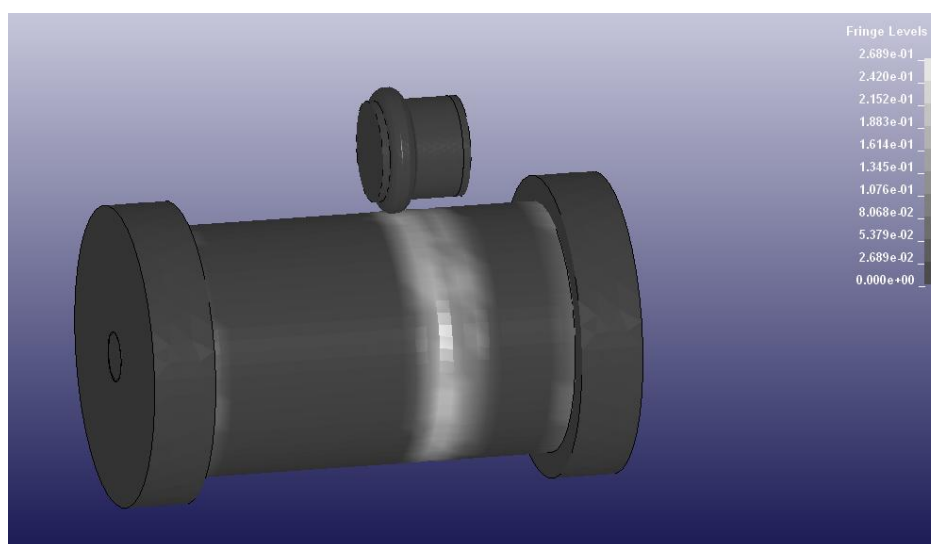


Рис. 5 - Распределение интенсивности пластических деформации

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 напряженно-го 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 таблице 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.

ЛИТЕРАТУРА

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 // J. Mechanic and Physical Solids.-1968.-№4 - P.87-91.
4. Collis I.F. Analysis of the rolling of a cylinder on 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.- Т52, №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 Серия Физико-математические науки.-2011.- №3.- С.72-78