

УДК 621.787.4

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИРАДИУСНЫМ РОЛИКОМ

Митрофанова Кристина Сергеевна,

Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

kirmeetzz@mail.ru

В рамках исследования проведена модификация поверхностного слоя детали поверхностным пластическим деформированием (ППД) сложнопрофильным инструментом.

Особенностью рассматриваемого способа обработки является создание большего гидростатического давления в очаге деформации за счет оригинальной конструкции мультирадиусного ролика (МР). Мультирадиусный ролик представляет собой комбинацию 4-х инденторов, расположенных относительно друг друга с определенным смещением в радиальном и осевом направлениях (патент РФ № 2530600).

Образцы из отожжённой стали 45 (ГОСТ 1050-88, 160-180 HV) обрабатывались мультирадиусным роликом в упругом режиме, с подачей $S=0,07$ мм/об, усилием $P=200$ Н, числом оборотов $n=630$ об/мин. По окончании обработки выполнялась пробоподготовка, включающая: вырезку сегментов, многократное шлифование и полирование, а также запрессовку в эпоксидную смолу.

Измерения микротвердости на приборе *DuraScan 20* позволили установить, что новая схема обработки мультирадиусным инструментом приводит к увеличению микротвердости поверхностного слоя с 190 HV до 350-360 HV. При этом распределение микротвердости и численные значения после обработки более равномерны и стабильны. Очаг пластической деформации (ОД) вытягивается в длину вдоль оси заготовки, уменьшается поперечное сечение. Большую степень упрочнения можно наблюдать на малой глубине поверхностного слоя под тремя малыми радиусами ролика ($R_1=1$ мм; $R_2=1$ мм; $R_3=1$ мм), а меньшую степень упрочнения, но увеличенную глубину упрочнения, можно наблюдать под наибольшим, четвертым радиусом ролика ($R_4=3$ мм) (рис. 1).

Ранее В.М. Смелянским и В.Ю. Блюменштейном было установлено, что максимальные пики деформации присутствуют на малой глубине поверхностного слоя (5-600 мкм) [1-2].

Отсюда следует, что наибольшая локализация очага деформации происходит в той зоне, где радиус инструмента наименьший.

По параметрам очага деформации сформировали начальные и граничные условия для решения контактной задачи в среде *Ansys*.

Моделирование и анализ задачи в *Ansys* проходили в несколько этапов [3].

1. Построение модели с заданными свойствами. Данный этап: постановку задачи для моделирования исходя из механики деформирования поверхностного слоя; построение геометрии заготовки; построение геометрии инструмента.

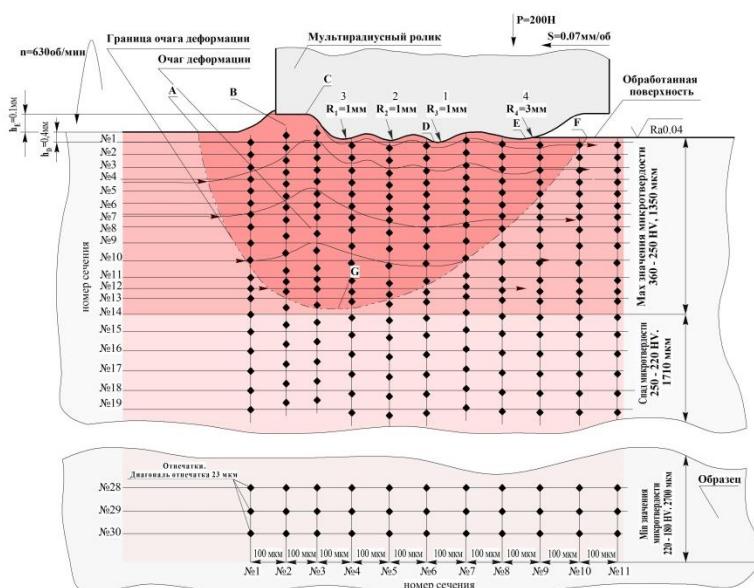


Рис. 1 – Схема распределения микротвердости

На поверхность жестко закрепленной по нижним и боковым границам цилиндрической детали (80×60 мм), со свойствами, приведенными в таблице 1.1, воздействует мультирадиусный ролик ($R_1=1$ мм; $R_2=1$ мм; $R_3=1$ мм; $R_4=3$ мм) с соответствующим натягом, режимом обработки и геометрическими размерами (рис. 2). При моделировании заготовки и индентора в *Ansys* был использован один размер сетки размерами 1×1 мм, что позволило получить более точные результаты.

Таблица 1.1 - Физические и механические свойства металла, параметры кривой течения (сталь 45, ГОСТ 1050-88, 160-180 HV)

Модуль Юнга	$E, \text{ МПа}$	2×10^{11}
Плотность	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	7800
Коэффициент Пуассона	ν	0,3
Коэффициент трения	η	0,21
Экстраполированный предел текучести	$\sigma_{\text{эксп}}, \text{ МПа}$	$3,66 \times 10^8$
Тангенциальный модуль	$T_{\text{тод}}, \text{ МПа}$	$2,596 \times 10^6$

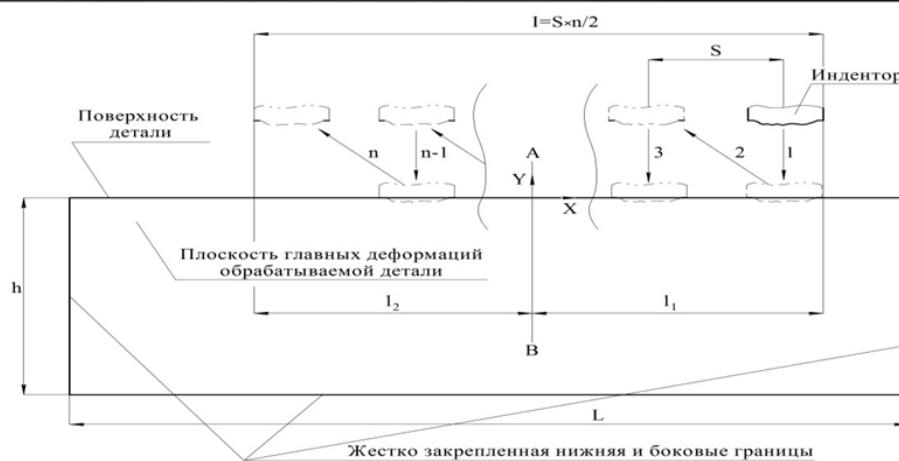


Рис. 2 – Постановка задачи моделирования процесса обкатывания

2. Решение задачи состояло из 399 шагов. Вначале индентор находится от поверхности с зазором 0,3 мм с целью «не задеть» пластическую волну. Поверхность заготовки при этом не имеет пластической зоны – очага деформации. Все перемещения осуществляются от исходного положения в системе координат XYZ. Каждый шаг выполнялся в несколько ходов:

- 1 ход - смещение индентора вниз по оси Y на 0,32 мм (создается внедрение с натягом 0,02 мм);
- 2 ход - смещение индентора влево по X на 0,1 мм (осуществляется отвод индентора и смещение на величину подачи 0,1 мм);
- 3 ход - смещение индентора вниз по оси Y на 0,32 мм (создается внедрение, т.е. натяг 0,02 мм);
- 4 ход - смещение индентора влево по X на 0,2 мм (осуществляется отвод индентора и смещение на величину подачи -0,1 мм) (рис. 3).

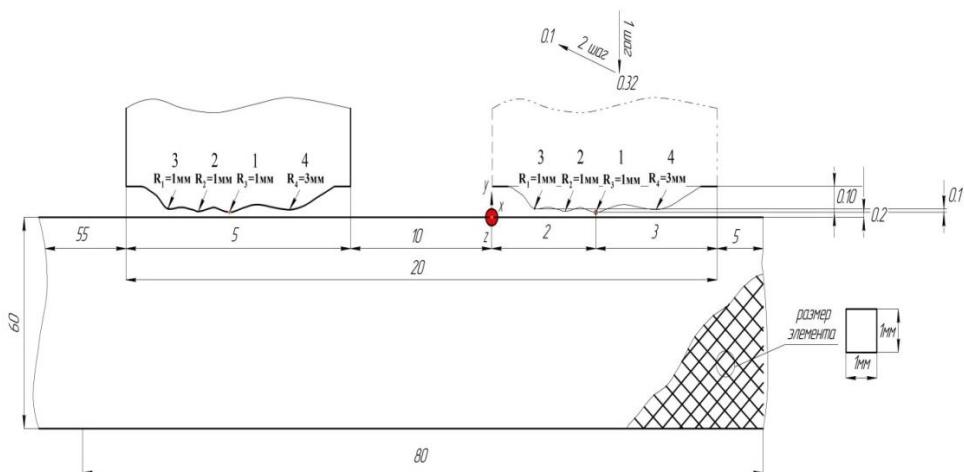


Рис. 3 – Схема обработки МР-роликом в Ansys

3. Постпроцессорная обработка заключалась в экспорте результатов в числовом и графическом виде.

Были получены распределения полных, упругих, пластических деформаций, главных напряжений, интенсивности напряжений.

Проведем анализ полученных результатов.

Напряжения распространяются равномерно по всем направлениям.

Наибольших сжимающих значений (до -900 МПа) достигает радиальный компонент (σ_y). Осевой (σ_x) компонент также характеризуются высокими значениями (-800...-900 МПа).

Установлено, что наибольшая концентрация деформаций и напряжений образуется в зоне пластического течения металла в очаге деформации. Видно, что ОД вытягивается в длину в направлении подачи, при этом максимальные деформации концентрируются на небольшой глубине 1-2 мм (рис.4). Это подтверждается высокими значениями микротвердости на данном участке (350-280 HV) (рис. 4). В наибольшей степени в процесс обработки вовлечены 2-й ($R_2=1$ мм) и 3-й инденторы ($R_3=1$ мм).

Максимальный перепад значений компонент деформации можно наблюдать впереди малых деформирующих элементов пластической деформации.

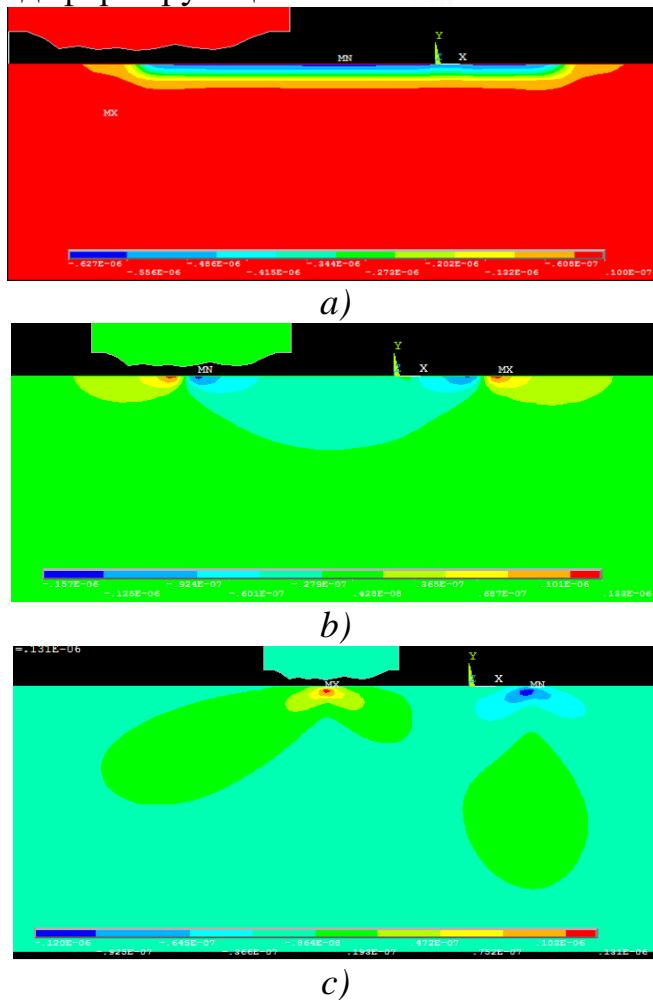


Рис. 4 – Распределение компонент полных деформаций, шаг 398:
a) ε_y ; b) ε_x ; c) ε_{xy}

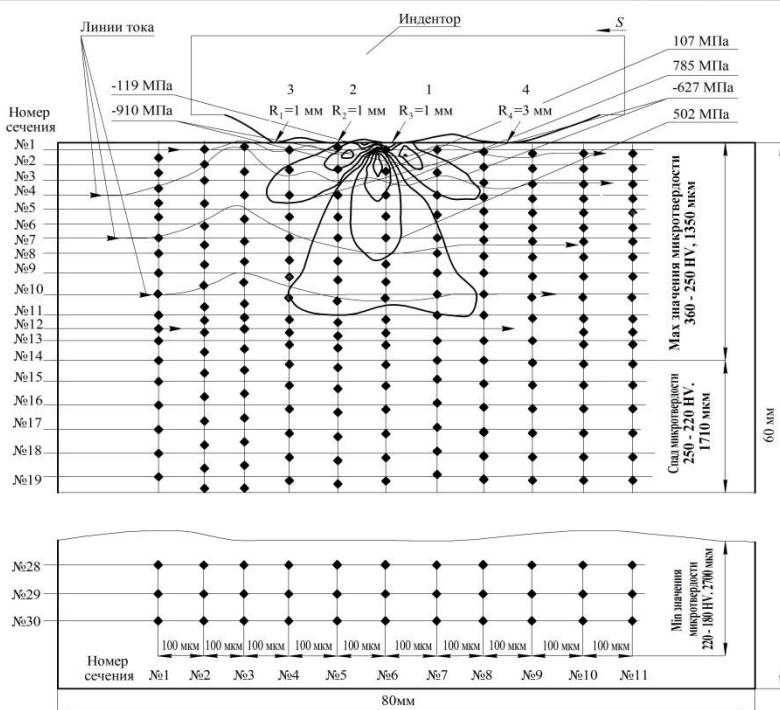


Рис. 5– Схема распределения микротвердости и упругих деформаций σ_x
 (шаг 399)

Выполненный анализ распределения микротвердости и деформаций показал, что наибольшая локализация деформации происходит на небольшой глубине $h=1350$ мкм, в сечениях, где радиус инструмента наименьший. Максимальные значения микротвердости преобладают в вертикальных сечениях № 5, 6, 7, что соответствует расположению малых деформирующих инденторов (2-й ($R_2=1$ мм) и 3-й инденторы ($R_3=1$ мм)), наиболее вовлеченных в процесс обработки (рис. 5).

Таким образом, получена высокая сходимость результатов, полученных с помощью МКЭ и экспериментально по распределению микротвердости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смелянский, В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
2. Блюменштейн, В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.
3. Махалов, М.С. Моделирование остаточных напряжений на стадиях жизненного цикла изделий / М. С. Махалов, В.Ю. Блюменштейн // Вестник машиностроения. – М: Машиностроение, 2014. – №12. – С. 21-25.