

УДК 621.787

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ППД ДЕТАЛЕЙ С ГАЛТЕЛЬНЫМИ ПЕРЕХОДАМИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

Учайкин С.Е., студент гр. КТм-171, II курс  
Научный руководитель: Блюменштейн В.Ю., д.т.н., проф.  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Повышение долговечности деталей машин методом поверхностного пластического деформирования (ППД) широко используется в промышленности для повышения сопротивляемости малоцикловой и многоцикловой усталости различных деталей машин. К ним относят в том числе валы, имеющие как простую геометрическую форму поверхности (цилиндрические валы), так и сложную (распределительные и коленчатые валы) и др.

Во время процесса ППД в зоне контакта между индентором и деталью образуется область пластического течения - очаг деформации (ОД), характеризующаяся определенным напряженно-деформированным состоянием (НДС). В ОД накапливаются напряжения вдоль линий тока, происходит исчерпание запаса пластичности и формируются свойства поверхностного слоя (ПС) детали (рис. 1).

При обкатывании галтельных переходов и любых сложнопрофильных поверхностей основной задачей является обеспечение стабильности очага пластической деформации, что в свою очередь обеспечивает стабильность свойств по всем сечениям детали [1-2].



Рисунок 1 – Профиль установившегося ОД

Процесс обкатывания галтелей отличается от процесса обкатывания цилиндрических поверхностей, гораздо сложнее получить такой картины стабильности ОД. При этом, используя универсальные станки, такой картины добиться практически невозможно.

Существует несколько способов обкатывания галтельных переходов на токарном станке с ЧПУ:

- роликом, радиус профиля которого соответствует радиусу кривизны галтельного перехода;
- роликом, радиус профиля которого во много раз меньше радиуса кривизны галтельного перехода;
- с использованием поворотных устройств;
- с использованием накатной головки с наклонным роликом [3].

Известно, что при обкатывании цилиндрической поверхности ролик, перпендикулярный поверхности образца или имеющий определенный наклон, но имеет неизменное положение на протяжении всей обработки, дает стационарный ОД после нескольких оборотов детали. Отсюда следует, что наиболее рациональной схемой для обкатывания галтельных переходов и сложнопрофильных поверхностей является схема, в которой инструмент (индентор) будет перпендикулярен касательной к обрабатываемому профилю. К сожалению, токарный станок с ЧПУ 16К20Ф3 не позволяет производить такую обработку ППД, из-за конструктивного отсутствия поворотного устройства. Однако схема, в которой ролик расположен перпендикулярно оси вращения детали, вполне осуществима.

Эффективным инструментарием для отработки основных схем обкатывания галтельных переходов на станке с ЧПУ является моделирование методом конечных элементов (МКЭ), который реализован в программном продукте ANSYS. Моделирование МКЭ проводилось в несколько этапов:

I. Постановка задачи [4].

II. Создание модели. Этот этап включал: 1) построение геометрии заготовки; 2) построение геометрии инструмента; 3) разбиение на конечные элементы.

В качестве обрабатываемой поверхности моделировался галтельный переход испытуемого образца (рис. 2). Нижняя и боковые части фрагмента жестко прикреплены вдоль обеих осей. Индентор был смоделирован как абсолютно твердое тело и представлял собой окружность, имитирующий ролик с заданным профильным радиусом.

На материал поверхности детали, со свойствами, приведенными в таблице 1, воздействовал ролик с профильным радиусом  $R_{пр} = 5$  мм.

Таблица 1 – Физические и механические свойства металла, параметры кривой течения (сталь 45, ГОСТ 1050-88)

Модуль Юнга	$E$ , МПа	$2 \times 10^{11}$
Плотность	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7800
Коэффициент Пуассона	$\nu$	0,3
Коэффициент трения	$\eta$	0,21
Экстраполированный предел текучести	$\sigma_{эт}$ , МПа	$3,66 \times 10^8$
Тангенциальный модуль	$T_{мод}$ , МПа	$2,596 \times 10^6$

В исходном положении индентор находится с определенным зазором относительно поверхности. На первом и всех других нечетных шагах моделирования выполнялось нагружение – осуществлялось перемещение на определенную величину к поверхности, что подразумевало внедрение и создание этим заданного при моделировании натяга.

На втором и каждом следующем четном шаге моделирования выполнялась разгрузка - перемещение индентора от поверхности в исходное положение с одновременным перемещением вдоль поверхности на величину, равную подаче. Получилось, что перемещение вдоль оси  $X$  равно 0,1 мм (аналогично подаче 0,1 мм/об), зазор между деталями и индентором 0,45 мм, и натяг (внедрение) 0,05 мм.

### III. Решение задачи.

Решение задачи состояло из 734 шагов – 367 шагов нагружения и 367 шагов разгрузки. Длина обработанной поверхности в представленной модели составила 5 мм до начала галтели, 26.4528 мм галтель и 5 мм после галтели. Общая длина 36.4528 мм. Каждый шаг выполнялся в несколько ходов:

- 1 ход – смещение индентора вниз по оси  $Y$  на 0,5 мм (создается натяг 0,05 мм);
- 2 ход – отвод индентора по  $Y$  в исходное положение и смещение вправо по  $X$  на 0,1 мм;
- 3 ход – смещение индентора вниз по оси  $Y$  на 0,5 мм (аналогично 1 шагу);
- 4 ход – отвод индентора по  $Y$  в исходное положение и смещение вправо по  $X$  на 0,2 мм.

Постановка задачи представлена на рис. 2.

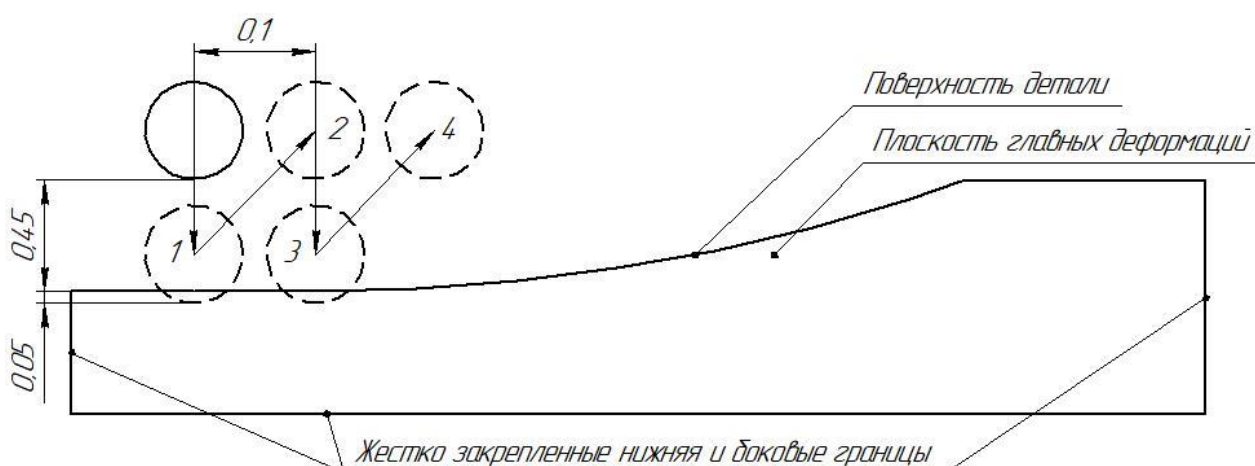


Рисунок 2 – Постановка задачи моделирования процесса обкатывания

На рис. 3 представлен компонент напряжения  $\sigma_x$  после 2-ого и 734-ого шагов нагружения.

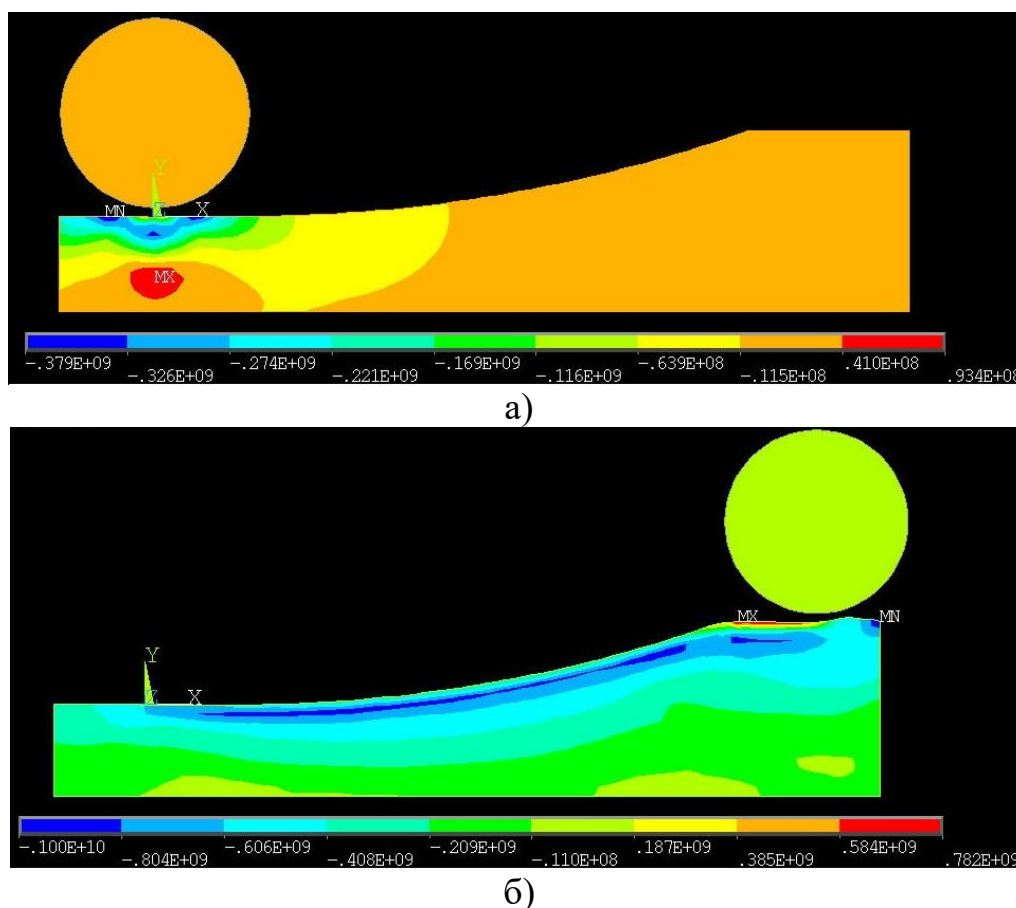


Рисунок 3 – Эпюра распределения компонента напряжения  $\sigma_x$ :  
а) после 2-ого шага; б) после 734-ого шага

Анализ результатов МКЭ-моделирования показал, что возникающие напряжения в поверхностном слое детали при ППД неоднородны, особенно это хорошо заметно при переходе с галтели на большой диаметр. Следовательно, стабильности ОД в такой ситуации достичь достаточно сложно. Это требует изменения схемы обкатывания, включая управление натягом ролика.

### Список литературы:

1. Суслов, А.Г. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т. 1 / А.Г. Суслов – М.: Машиностроение, 2014. — 480 с.
2. Смелянский, В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с., ил.
3. Одинцов, Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием.: справочник / М.: Машиностроение, 1987. - 328с.
4. Махалов, М.С., Блюменштейн, В.Ю. Моделирование остаточных напряжений на стадиях жизненного цикла изделий // Вестник машиностроения. – 2014. – №12. – С. 21-25.