

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ НА НАКОПЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ППД СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Митрофанова Кристина Сергеевна

Блюменштейн Валерий Юрьевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.

Горбачева,

Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

kirmeetzz@mail.ru

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) относится к высокопроизводительным методам финишной обработки ответственных изделий деталей машин. Преимущества метода заключаются в значительном упрочнении поверхностного слоя металла, повышении микротвердости, создании благоприятных сжимающих напряжений и образовании благоприятного микрорельефа [1-2].

Метод развивается в направлении создания новых схем и инструментов, ввиду того, что традиционные инструменты, используемые для ППД исчерпали возможности в части повышения долговечности. Так же, в данной области активно развивается направление, связанное с моделированием процессов ППД инструментами традиционного профиля [1-2].

Одним из ключевых подходов является метод конечных элементов (МКЭ), основанный на интегрировании систем дифференциальных уравнений механики деформирования с учетом принятой модели твердого тела.

На кафедре ТМС КузГТУ на основе МКЭ и проведения экспериментальных исследований, разработаны новые конструкции сложнопрофильных инструментов: мультирадиусный ролик (МР-ролик), патент РФ № 2530600; **combo**-ролик, патент РФ № 2530000; **hidro**-ролик, патент РФ № 2530000 [4-6].

Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния металла поверхностного слоя с использованием 3-х основных типов сложнопрофильных инструментов. Получены распределения компонент тензора напряженного состояния, относительных деформаций вдоль линий тока в очаге деформации, выполнен расчет параметров напряженно-деформированного состояния. Это позволило сформировать представления о закономерностях процессов, протекающих в очаге деформации [3]. При этом неясными являются такие вопросы как: оценка численного значения гидростатического напряжения в зоне очага деформации, роль гидростатики в накоплении деформаций и степени износа запаса пластичности, также влияние на долговечность и др.

В рамках данной работы, принята постановка двухмерной задачи и условия плоско-деформированного состояния, было проведено моделирование процесса ППД образца из стали 45 (табл.1). 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.

Первый этап включал в себя построение геометрической модели обрабатываемой детали и инструмента. На поверхность жестко закрепленной по нижним и боковым границам цилиндрической детали (80×60 мм), со свойствами, приведенными в таблице 1, воздействует мультирадиусный ролик с профильными радиусами: $R_1=1$ мм с натягом $h_{д1}=0,05$ мм; $R_2=1$ мм с натягом $h_{д2}=0,10$ мм; $R_3=1$ мм с натягом $h_{д3}=0,15$ мм; $R_4=3$ мм с натягом, $h_{д4}=0,05$ мм (рис.1-2) [6].

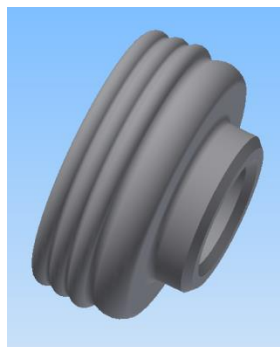


Рисунок 1 – 3D-схема мультирадиусного ролика

Таблица 1 - Физические и механические свойства металла и параметры кривой течения (сталь 45, ГОСТ 1050-88, 160-180 HV)

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

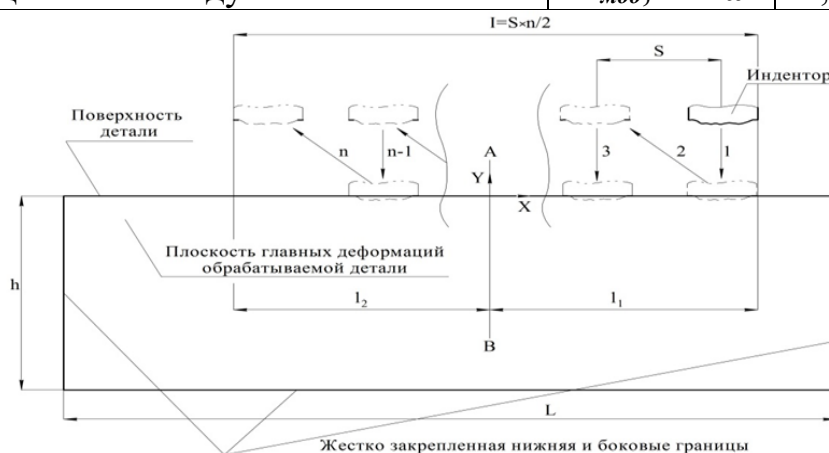


Рисунок 2 – Постановка задачи моделирования процесса обкатывания

Второй: 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).

Третий: постпроцессорная обработка заключалась в экспорте результатов в числовом и графическом виде.

После решения модели в выделенном сечении для каждого шага моделирования фиксировались следующие значения: координаты узлов, составляющие вектора смещений узлов, компоненты тензора напряжений, компоненты тензора упругой, пластической и суммарной упругопластической деформации.

Результаты исследований показали, что при обработке МР-роликом накопление деформации и исчерпание запаса пластичности происходит волнообразно, число и расположение «волн» соответствует числу ДЭ.

Анализ результатов МКЭ-моделирования показал, что в верхних зонах очага деформации металл находится в условиях сжатия.

Среднее нормальное напряжение повторяет тенденции изменения компонент напряженного состояния и показывает, что очаг деформации находится в условиях сжатия. При этом под вторым и третьим деформирующими элементами достигаются условия, при которых действуют максимальное гидростатическое давление, достигающее 1150 МПа (рис.3).

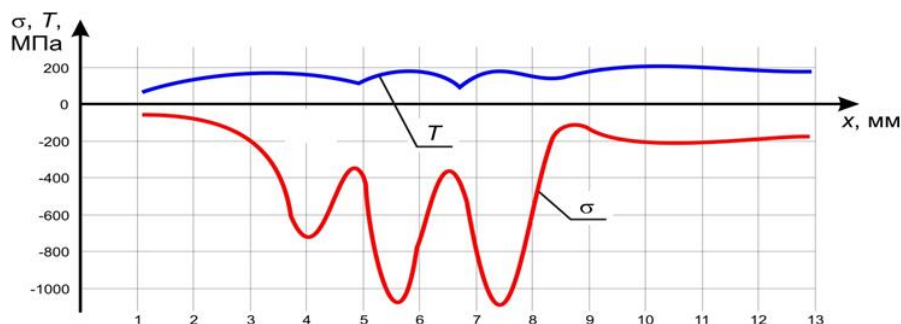


Рисунок 3 – График распределения среднего нормального напряжения и интенсивности касательных напряжений

Третий важный вывод заключается в том, что ввиду сложной картины течения металла в тех же характерных зонах в соответствии с теми же тенденциями скорости деформации неоднократно меняют величины и знак (рис.5).

Тем самым накопление степени деформации сдвига и исчерпания запаса пластичности металла происходят непрерывно при отрицательном значении показателя схемы напряженного состояния. При этом даже при существенной накопленной деформации $\Lambda \approx 7$ вследствие благоприятной схемы деформирования степень исчерпания запаса пластичности не превышает значений $\Psi \leq 0,62$ (рис. 4).

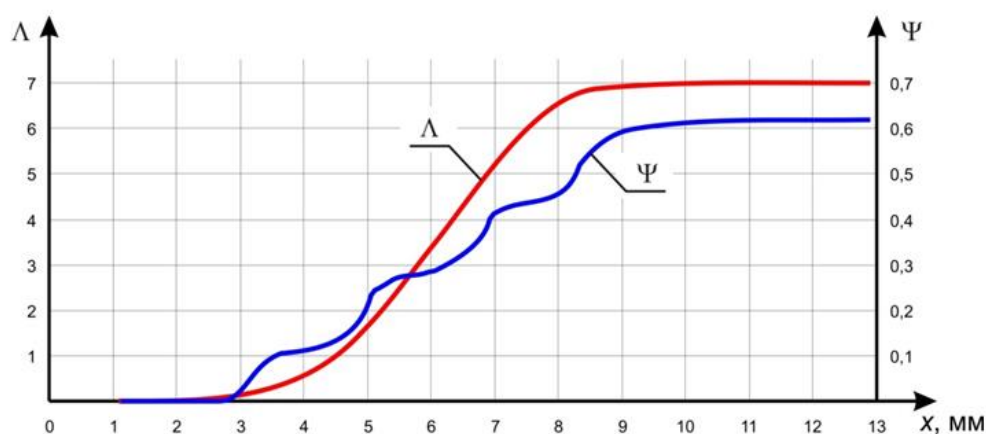


Рисунок 4 – График накопления степени деформации сдвига и изменение степени истощения запаса пластичности металла

Анализ результатов моделирования процесса упрочняющей обработки сложнопрофильным инструментом показал, что:

1. Разработка и применение сложнопрофильных инструментов, позволяет реализовывать схемы упрочнения с наличием высокого гидростатического давления в поверхностном слое.
2. Сложнопрофильный инструмент позволяет управлять такими технологическими параметрами, как степень деформации и степень сдвига, которые в свою очередь влияют на долговечность изделия.
3. Применение сложнопрофильных инструментов для ППД позволяет обеспечить новый более высокий уровень качества изготовления гидроцилиндров, штоков, валов, осей и т.п. деталей. Результаты исследований могут быть использованы для прогнозирования качества поверхностного слоя и эксплуатационных свойств деталей после упрочняющего обкатывания сложнопрофильными инструментами на стадии технологического проектирования.

Список литературы

1. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 2002. 300 с.
2. Блюменштейн В. Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. М.: Машиностроение-1, 2007. 400 с.
3. Махалов М. С., Блюменштейн В. Ю. Моделирование остаточных напряжений на стадиях жизненного цикла изделий // Вестник машиностроения, 2014. №12. С. 21-25.
4. Ролик обкатной комбинированный: пат. 2529335 Рос. Федерация. № 2013135796/02; заявл. 30.07.2013; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27 (II ч.). 6 с.
5. Ролик обкатной двухрадиусный : пат. 2530600 Рос. Федерация. № 2013135794/02; заявл. 30.07.2013; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 28 (II ч.). 7 с.
- Ролик обкатной мультирадиусный : пат. 2557377 Рос. Федерация. № 2013135797/02; заявл. 20.07.2013; опубл. 27.05.2016, Бюл. № 27 (II ч.). 8 с.