

УДК 621.787

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ШТОКА ГИДРОЦИЛИНДРА ПОСЛЕ ППД

Коротин В.О., аспирант гр. МТаз-181, II курс

Научный руководитель: Блюменштейн В.Ю., д.т.н., проф.

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Одним из наиболее развитых и информативных методов моделирования является метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод основан на интеграции системы дифференциальных уравнений механики деформации с учетом принятой твердотельной модели.

Программный компьютерный комплекс ANSYS, основанный на методе МКЭ, позволяет рассчитать параметры деформации поверхностного слоя детали, определить долговечность, оценить прочность и эффективность обработки [1-2].

В. М. Смелянский разработал механическую теорию процесса поверхностного пластического деформирования (ППД). Было проведено моделирование напряженного деформированного состояния очага деформации (ОД) и закономерности формирования поверхностного слоя (ПС). Таким образом, при обработке ППД образуется ОД, форма и размеры которого зависят от технологических факторов [3]. Движение металла осуществляется по линии тока, которая берется на определенной глубине, и определяется решением задач механики.

МКЭ моделирование проводилось в плоско-деформационной постановке. В соответствии с ней была создана конечно-элементная модель, состоящая из обрабатываемой детали и индентора. При построении геометрической модели было решено использовать двумерную идеализацию рассматриваемого объекта. Модель соответствовала геометрическим размерам фактической контактной пары. Постановка задачи показана на рисунке. 2.

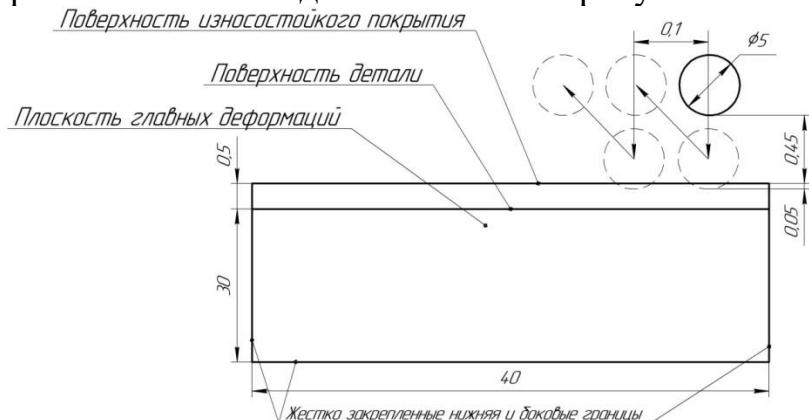
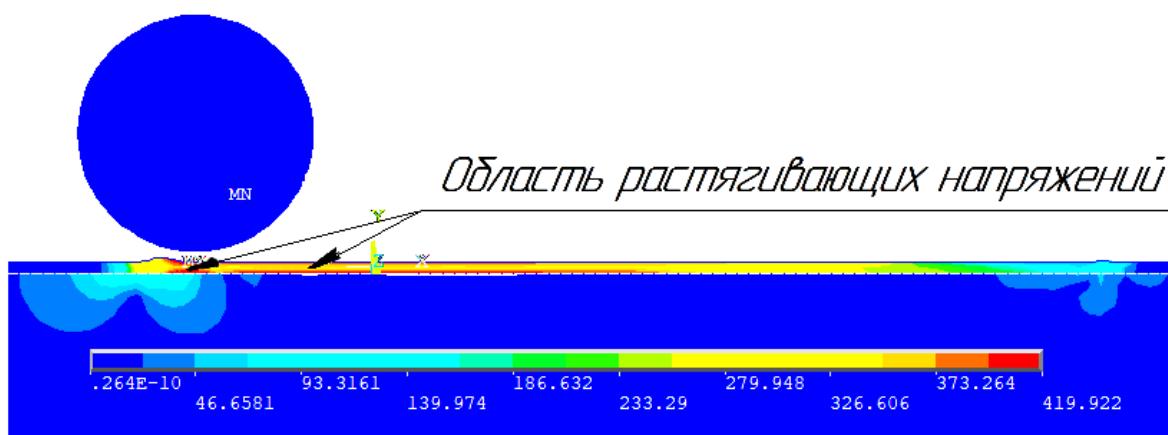


Рис. 2. Постановка задачи моделирования процесса обработки ППД

В процессе постановки задачи моделирования МКЭ было выявлено, что напряжения в поверхностном слое распределяются неравномерно, растягивающие напряжения осевого компонента  $\sigma_x$  составляют 400-500 МПа (рис. 1).



Основная идея моделирования заключалась в том, что часть **AB** смоделированного фрагмента устроена таким образом, что она не попадает в пространство ОД на первом шаге нагружения. В то же время это сечение уже покинуло пространство ОД на предпоследнем шаге нагружения (рис. 2) [4].

Если рассматривать плоскость основных деформаций, то движение ОД в сторону подачи будет дискретным: новый ОД появляется при смещении относительно предыдущего на величину подачи, которая обычно составляет 0,05-0,3 мм/об.

В исходном положении индентер находится на определенном расстоянии от поверхности образца.

На первом и каждом последующем нечетном шаге моделирования, выполнялось нагружение – индентор перемещался на 0,5 мм к поверхности, что подразумевает внедрение и создание натяга заданного при моделировании.

Разгрузка выполнялась во втором и каждом последующем четном шаге – индентор отводился с поверхности на начальное расстояние при перемещении на 0,1 мм вдоль поверхности.

При моделировании всех 750 шагов поперечное сечение **AB** проходит через ОД. Это сечение становится разделом глубины обработанного поверхностного слоя, в котором происходит накопление деформаций, частичное исчерпание пластичности и образование тензора остаточных напряжений с учетом изменяющихся свойств поверхностного слоя.

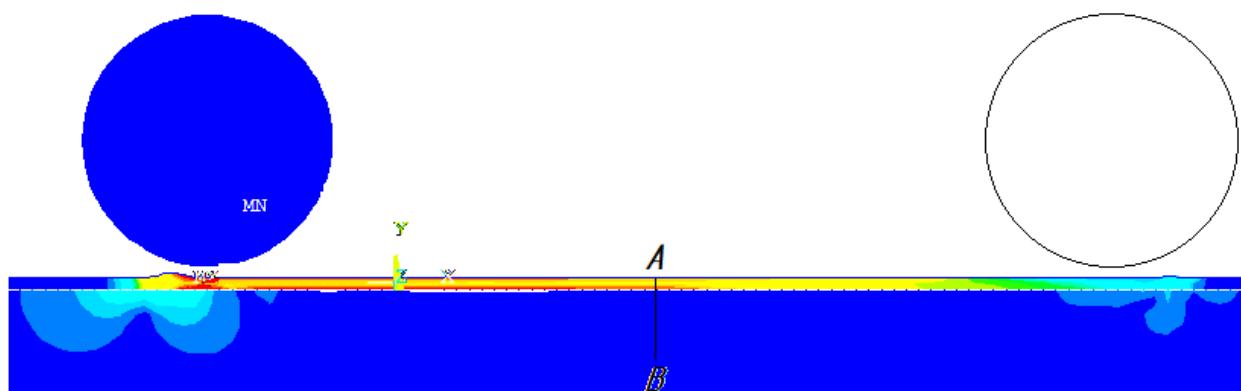


Рисунок 2 – Расположение выбранных сечений

После решения задачи МКЭ для всех 750 шагов были записаны координаты узла, векторные компоненты смещения узла, компоненты тензора напряжения, компоненты тензора упругих, пластических и общих деформаций.

На рис. 3 представлен профиль очага деформации, восстановленный по циклам нагружения и разгрузки. Из рисунка можно заметить, что, на которую распространилась пластическая волна составляет примерно 0,04 мм при теоретически заданном действительном натяге  $H\delta = 0,05$  мм по шагам нагружения и 0,042 по шагам разгрузки. Высота пластической волны составила примерно 0,16 мм по циклам нагружения и разгрузки, это говорит о том, что удалось добиться стационарности очага деформации.

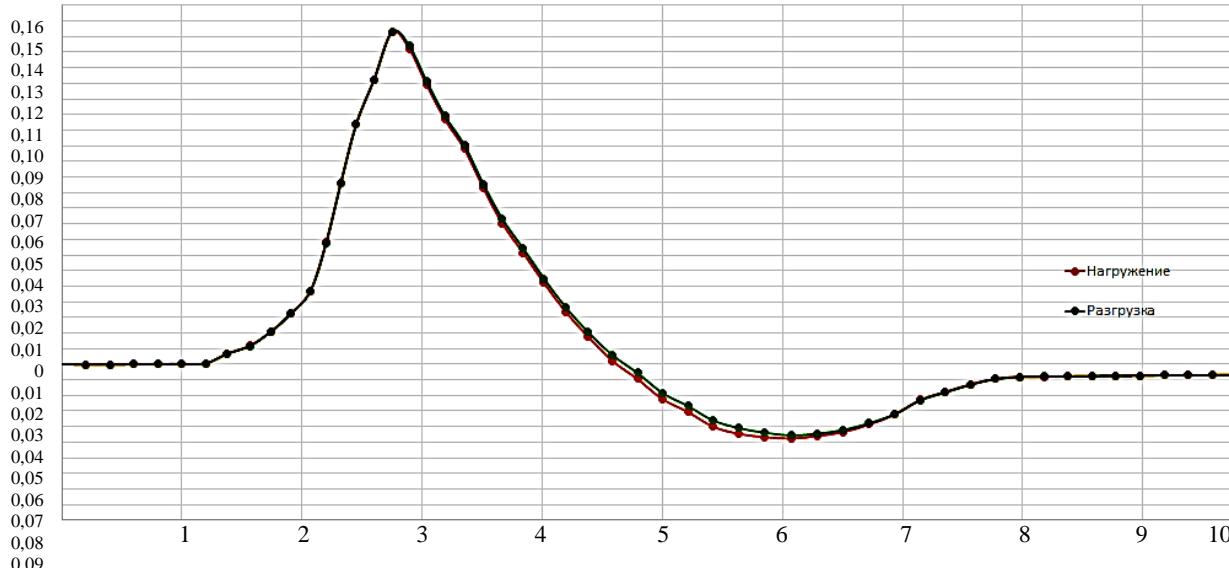


Рисунок 3 – Профиль очага деформации, восстановленный по циклам нагружения и разгрузки

На рис. 4 представлены результаты распределения компонент тензора остаточных напряжений по глубине ПС после 750 шага моделирования. На данном графике значение сжимающих остаточных напряжений осевого компонента  $\sigma_x$  составляет примерно 450 МПа, при этом экстремум располагается на поверхности детали. Радиальные остаточные напряжения  $\sigma_y$  составляют

примерно 50 МПа. Тангенциальные остаточные напряжения  $\sigma_z$  составляют 200 МПа. Касательные напряжения  $\sigma_{xy}$  составляют примерно 50 МПа.

Глубина распространения сжимающих остаточных напряжений составляет примерно 2 мм при общей глубине распространения существенных по величине напряжений 4-6 мм.

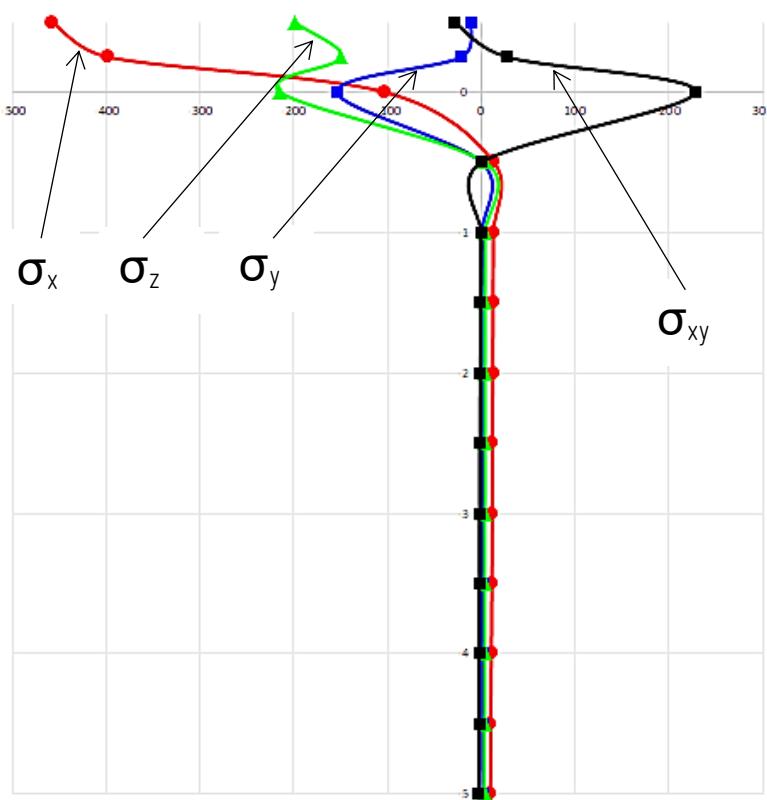


Рисунок 5 – Распределение компонент тензора остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя после 750-го шага моделирования:  
 $\sigma_x$  – осевая составляющая ОН,  $\sigma_y$  – радиальные,  $\sigma_z$  – тангенциальные ОН,  
 $\sigma_{xy}$  – касательные напряжения

Проанализировав полученные данные можно сделать следующие вывод, что максимальные напряжения наблюдаются в износостойком покрытии, а минимальные напряжения наблюдаются на поверхности детали. Также определено, что износостойкое покрытие выдерживает наибольшую нагрузку благодаря своим механическим свойствам из-за этого оно менее подвержено разрушению, в отличие от основной детали, это позволяет сделать вывод о том, что, при переходе от одного шага к другому происходит упрочнение материала, которое сопровождается интенсивными процессами деформаций в поверхностном слое.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00587»

### Список литературы:

1. 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.
2. 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.
3. В.М. Смелянский. Моделирование процесса упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием Текст. / В. М. Смелянский, А. А. Шапарин // Кузнечно-штамповочное производство. — 1998. № 7. - С. 17-22.
4. Блюменштейн В.Ю., Махалов М.С. Расчетная модель остаточных напряжений упрочненного поверхностного слоя при размерном совмещенном обкатывании// Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2008. –№. 5– С. 50-58.