

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛИ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЁТА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

©2016 В.А. Кирпичёв, В.Э. Костичев, В.В. Сазанов, Е.А. Денискина

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### THE INVESTIGATION OF THE PART'S MODELING HARDENING PARAMETERS INFLUENCE ON THE ACCURACY OF RESIDUAL STRESSES CALCULATION

Kirpichev V.A., Kostichev V.E., Sazanov V.V., Deniskina E.A. (Samara National Research University,  
Samara, Russian Federation)

*For residual stress - strain state modeling of the part's hardened surface layer it's necessary that the thickness of the layer will be nor less than double critical depth of non-propagating fatigue crack and no less than ten finite elements.*

Для изучения влияния остаточных напряжений (ОН), действующих в поверхностном слое детали после упрочнения различными методами поверхностного пластического деформирования (ППД), на напряжённо-деформированное состояние (НДС) в работе [1] представлен динамический метод исследования. В основе этого метода лежит моделирование процесса упрочнения в явной постановке с учётом временного фактора и изменений свойств материала в процессе обработки (наклёпа), средствами программного комплекса ANSYS/LS-DYNA.

В данной работе произведено исследование влияния точности получаемых значений остаточных напряжений от характера разбиения поверхностного слоя на конечные элементы. Для оценки влияния характера разбиения КЭ модели рассмотрен процесс обкатки роликом диаметром 60 мм и профильным радиусом 1,6 мм гладких образцов (валиков) диаметром  $D = 10$  мм при усилии обкатки 0,5 кН. Упрочнение методом обкатки выполнено при продольной подаче 0,11 мм/об и частоте вращения заготовки 400 об/мин. Материал образцов – сталь 12Х18Н10Т с механическими характеристиками, представленными в табл. 1.

Таблица 1 - Механические характеристики стали 12Х18Н10Т

| $\sigma_{0,2}$ , МПа | $\sigma_a$ , МПа | $\delta$ , % | $\psi$ , % |
|----------------------|------------------|--------------|------------|
| 281                  | 646              | 50,8         | 65,6       |

Средствами программного комплекса ANSYS/LS-DYNA создана КЭ модель валика с различными вариантами разбиения на конечные элементы поверхностного слоя. Модель материала – упруго-пластическая с кинематическим упрочнением. Обкатной ролик, а также опорные ролики приняты условно недеформируемыми для упрощения расчёта.

В результате расчётов получено НДС валика после упрочнения методом обкатки, на основе которого построена эпюра остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя (рис. 1).

В варианте конечно-элементной модели «разбиение 1» было создано 3 элемента по толщине поверхностного слоя  $a = 0,5$  мм, в варианте «разбиение 2» – 5 элементов и в варианте «разбиение 3» – 10 элементов. Разбиение поверхностного слоя более чем на 10 элементов по толщине не даёт существенных изменений в значениях остаточных напряжений.

Экспериментальное исследование упрочнения подобных образцов на аналогичных режимах выполнено в работе [2]. В результате исследования получена зависимость остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя, из которой следует, что наибольший уровень сжимающих ОН  $\sigma_{ост}^{наиб} = -450$  МПа и залегает на глубине  $a_{ОН}^{наиб} = 0,1$  мм.

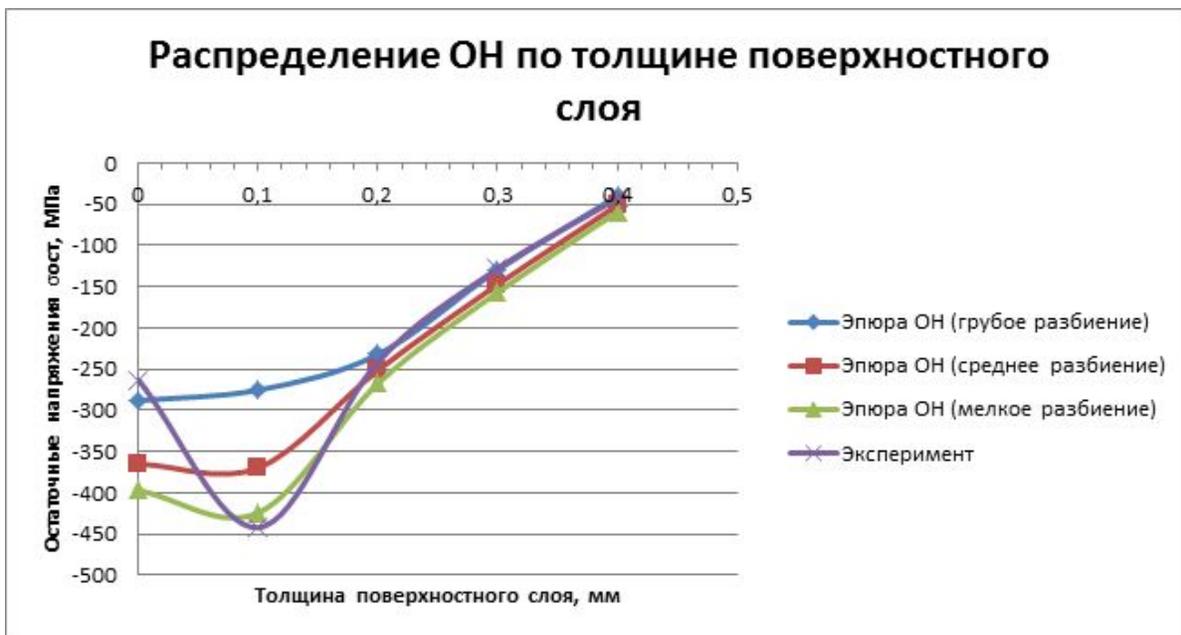


Рис. 1. Распределение ОН по толщине поверхностного слоя

По расчётной эпюре остаточных напряжений в варианте «разбиение 3» наибольший уровень сжимающих ОН  $\sigma_{ост}^{наиб} = -442$  МПа и залегает на глубине  $a_{ОН}^{наиб} = 0,095$  мм, что отличается от экспериментальных данных не более чем на 1,7 % по значению и на 5 % по глубине залегания (табл. 2). Разбиение на более мелкие конечные элементы даёт лучшую сходимость, но при этом существенно возрастает время расчёта, что в итоге сильно влияет на производительность, особенно при отладке модели.

Таблица 2 - Сравнение результатов расчёта и эксперимента

| Параметр                    | Расчёт | Эксперимент | Погрешность |
|-----------------------------|--------|-------------|-------------|
| $\sigma_{ост}^{наиб}$ , МПа | 442    | 450         | 1,7%        |
| $a_{ОН}^{наиб}$ , мм        | 0,095  | 0,1         | 5%          |

Для получения наилучшей сходимости расчётным методом установлено, что толщина поверхностного слоя модели должна быть не менее  $2t_{кр}$ , а количество элементов по толщине

– не менее 10, где  $t_{кр} = 0,0216D$  – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости [3].

#### Библиографический список

1. Букатый А.С., Костичев В.Э., Денискина Е.А. Повышение сопротивления усталости деталей технологическими методами с использованием динамического моделирования. / Проблемы и перспективы развития двигателестроения. 2014. Ч. 1. С. 231-232.
2. Кирпичёв В.А. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей с концентраторами при различных видах деформации. / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2008. № 3. С. 138-142.
3. Павлов В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали. / Известия вузов. Машиностроение. 1988. № 8. С. 22-25.