

УДК 621.73.06-52

Луценко В. А.  
Коваленко О. А.  
Боровик П. В.

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

Качество продукции листоштамповочного производства при выполнении разделительных операций во многом определяется стойкостью инструмента.

Одним из наиболее распространенных методов упрочнения рабочих поверхностей разделительных штампов (матрицы и пуансона) является метод электроискрового легирования (ЭИЛ), позволяющий получить на поверхности твердое износостойкое покрытие.

В качестве материала, наносимого на поверхность, применяют либо тугоплавкие металлы, либо твердые сплавы [1–4].

В процессе электроискрового легирования на поверхности металла образуется твердое тонкое покрытие, структурный состав которого представляет собой в основном карбиды и нитриды тугоплавких металлов [4, 5]. Кроме того, при проведении легирования в поверхностном слое происходят процессы пластического деформирования, а в переходной зоне между покрытием и основным металлом образуются мелкодисперсные закалочные структуры [6].

При этом на стойкость инструмента и качество полученных деталей оказывает влияние напряженное состояние инструмента в процессе штамповки.

Целью данной работы является оценка и сравнение методом конечных элементов величины напряжений, возникающих на поверхности режущих кромок инструмента, изготовленного из стали У8А, после термической обработки, а так же с последующим нанесением упрочняющего покрытия электроискровым легированием.

Разработанная конечно-элементная математическая модель представляет собой двумерную осесимметричную задачу вырубki круглой заготовки толщиной 1 мм и радиусом 10 мм. Моделирование осуществляли с использованием программного комплекса Abaqus [7].

В состав модели входят три компонента (рис. 1): обрабатываемая заготовка 1 и два инструмента – пуансон 2 и матрица 3.

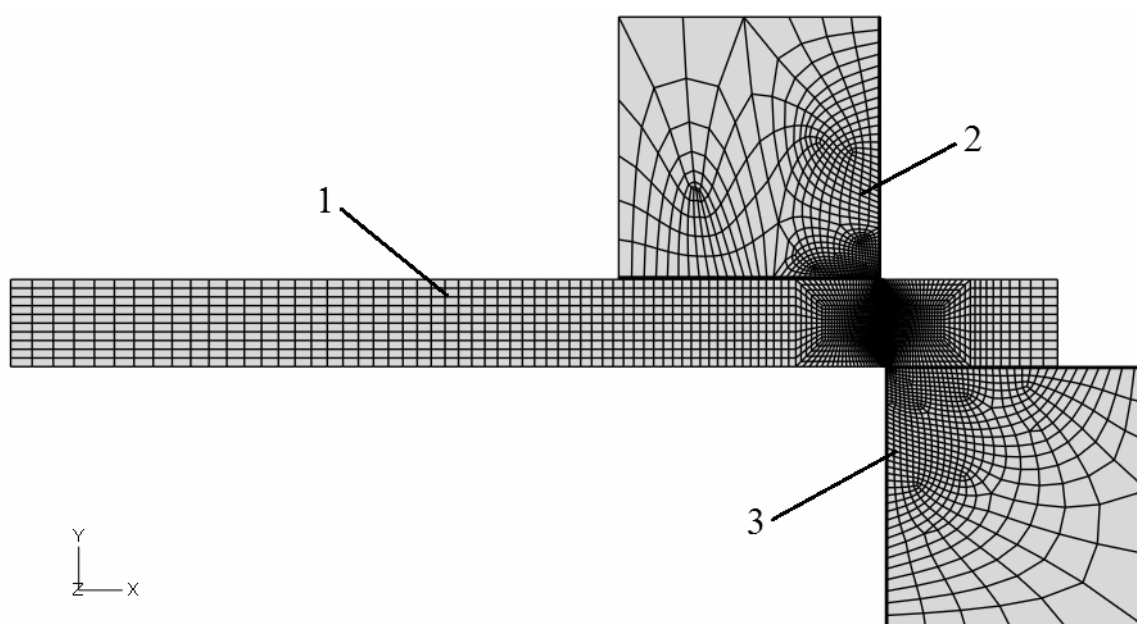


Рис. 1. Общий вид двумерной модели, описывающей осесимметричную задачу вырубki круглой заготовки

Тело заготовки представляет собой упругопластический деформируемый материал с возможностью разрушения, а тело пуансона и матрицы – упругопластический деформируемый материал. Исходя из допущения локальной деформации инструментов в зоне близкой к очагу резания, размер пуансона и матрицы в модели составил  $3 \times 3$  мм. Режущие кромки пуансона и матрицы имеют скругления радиусом, равным 1 % от толщины разрезаемого материала.

Механические свойства материала заготовки соответствуют марке стали Ст 2. Разрушение материала моделируется с помощью диаграмм пластичности. Механические свойства материала пуансона и матрицы соответствуют марке стали У8А после закалки и отпуска. В качестве механических свойств поверхностного слоя после электроискрового легирования, состоящего преимущественно из карбидов и нитридов тугоплавких металлов и железа, а также твердого раствора ванадия в железе приняты прочностные характеристики твердых сплавов типа ТК [8]. Тело заготовки и инструментов описывается двумерными осесимметричными линейными конечными элементами с редуцированной схемой интегрирования, моделирующих поведение упруго-пластического деформируемого материала. В процессе моделирования деформации и разрушения материала заготовки использовали адаптацию сетки в формулировке Лагранжа-Эйлера [9, 10].

Согласно поставленной задаче, разработанная модель должна учитывать возможность нанесения на поверхность инструмента покрытия, имеющего толщину порядка 20 мкм и отличные от основного металла механические свойства, изменяющиеся по толщине покрытия. С этой целью уплотняли сетку в области возможного покрытия, а для описания свойств покрытия задавали поле, позволяющее учесть изменение свойств упрочненного слоя (рис. 2).

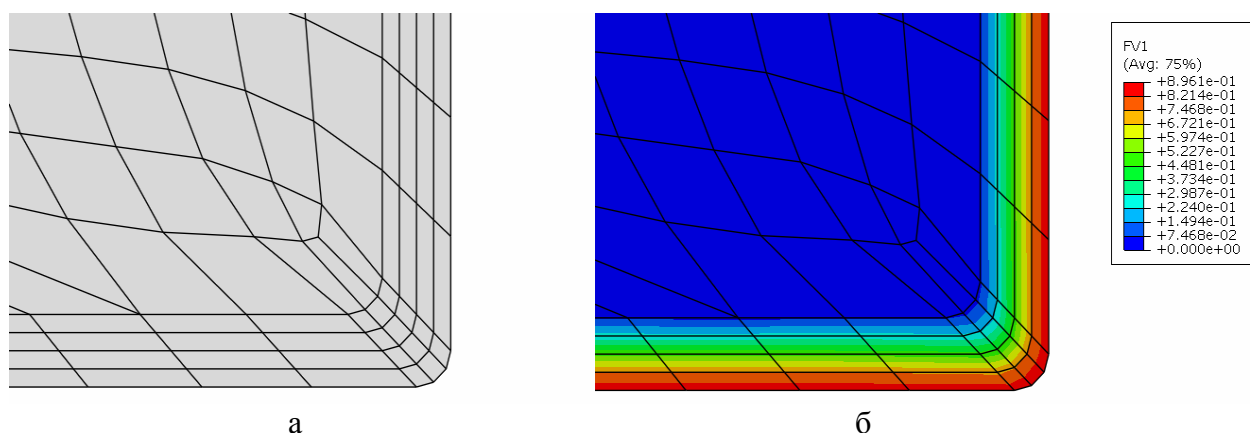


Рис. 2. Вершина пуансона с уплотненной сеткой в области возможного покрытия (а) и поле, позволяющее учесть изменение свойств упрочненного слоя (б)

Трение между контактными поверхностями пуансона и заготовки, а также матрицы и заготовки моделирует закон трения Кулона. При этом коэффициент трения является величиной постоянной, характеризующей связь между контактным давлением и эквивалентным касательным (контактным) напряжением.

Результаты моделирования напряженного состояния режущего инструмента на примере полей распределения эквивалентных по Мизесу напряжений в вершине пуансона с нанесением покрытия и без него при внедрении в материал заготовки на 0,1 мм представлены на рис. 3.

На рис. 4 для сравнения представлены поля распределения эквивалентных по Мизесу напряжений в заготовке при использовании инструментов без нанесения покрытия и с нанесением покрытия. Как можно видеть из представленных распределений напряженного состояние в заготовке несколько изменяется, что можно объяснить различиями в деформации инструментов.

Для сравнения напряженного состояния рабочей поверхности разделительных инструментов (пуансона и матрицы) в различных условиях использовали показатель напряженного состояния:

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_i}{\sigma_T}, \quad (1)$$

где  $\sigma_i$  – эквивалентное напряжение по Мизесу;

$\sigma_T$  – предел текучести материала.

При построении зависимости показателя напряженного состояния в поверхностном слое инструментов использовали следующий принцип:

– для пуансона за начальную точку брали левую нижнюю точку, а обход по контуру совершали вначале вправо, а затем вверх;

– для матрицы за начальную точку брали правую верхнюю точку, а обход по контуру совершали вначале влево, а затем вниз.

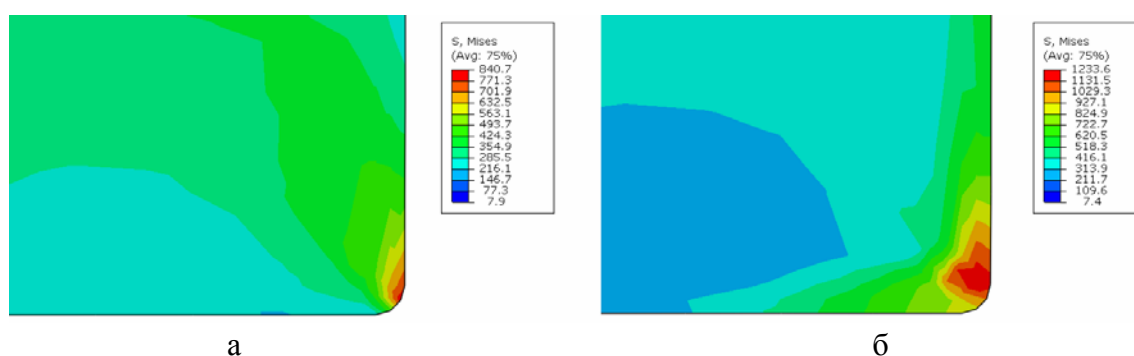


Рис. 3. Поле распределения эквивалентных напряжений по Мизесу (МПа) в вершине пуансона без нанесения покрытия (а) и с нанесением покрытия (б)

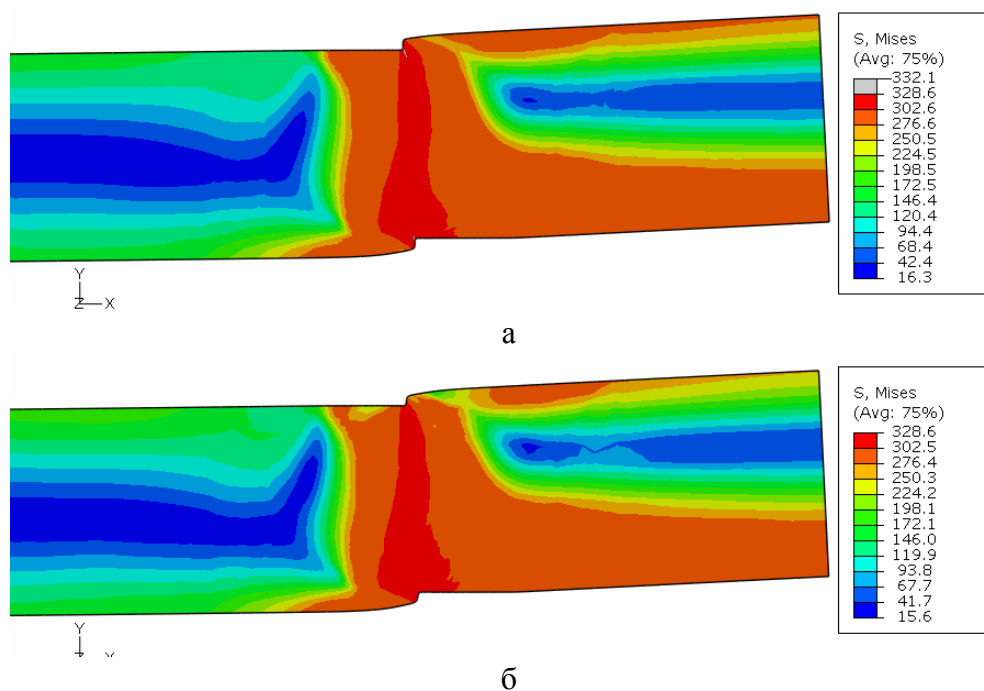
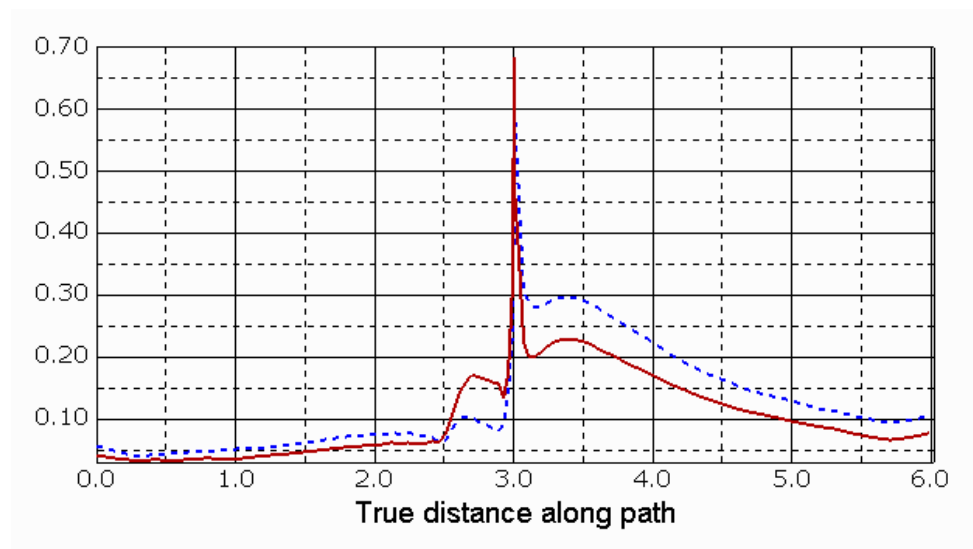


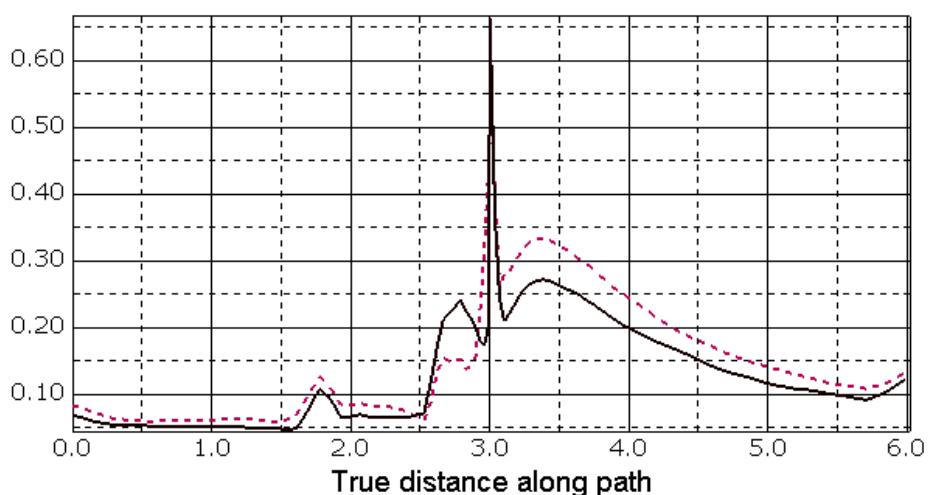
Рис. 4. Поле распределения эквивалентных напряжений по Мизесу (МПа) в заготовке при использовании инструментов без нанесения покрытия (а) и с нанесением покрытия (б)

Анализ полученных зависимостей (рис. 5) показывает, что при максимальном значении силы резания максимальное значение показателя напряженного состояния в поверхностном

слое инструментов достигается в их вершинах инструментов, где имеет место сингулярное состояние, однако в случае применения ЭИЛ  $k \approx 0,6$ , тогда как без упрочняющего слоя  $k \approx 0,7$ . В тоже время, напряженное состояние в поверхностном слое по контактной поверхности инструментов несколько изменяется в случае упрочнения электроискровым легированием, при этом:



а



б

Рис. 5. Зависимости изменения коэффициента напряженного состояния в матрице (а) и пуансоне (б) при использовании инструментов без нанесения покрытия (сплошная линия) и с нанесением покрытия (пунктирная линия)

– в непосредственной близости к вершине, на участке рабочей поверхности инструментов, характеризующейся наибольшими контактными напряжениями (диапазон 2,5...3,0 мм), в случае упрочнения электроискровым легированием наблюдается снижение показателя напряженного состояния порядка 30...50 %, что указывает на улучшение условий работы инструмента;

– на боковой поверхности инструментов (диапазон свыше 3,0 мм) наблюдается увеличение показателя напряженного состояния в поверхностном слое при упрочнении электроискровым легированием до 20 %, однако при этом предел прочности материала поверхностного слоя возрастает на величину порядка 30 %, что в совокупности не указывает на ухудшение условий работы инструмента.

Таким образом, можно утверждать, что при упрочнении поверхностного слоя инструментов электроискровым легированием, в процессе штамповки изменяется напряженное состояние их поверхностного слоя. Однако необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, с целью оценки влияния ЭИЛ на износостойкость инструментов, что при условии ее повышения позволит совершенствовать форму их рабочей поверхности и оптимизировать процесс по энергосиловым параметрам.

### ВЫВОДЫ

Упрочнение поверхностного слоя инструментов электроискровым легированием влияет на напряженное состояние их поверхностного слоя в процессе разделительной операции, а именно, наблюдается снижение максимального значения показателя напряженного состояния порядка 15 %.

Характер изменения значения показателя напряженного состояния на поверхности разделительного инструмента на разных участках различный, при чем в непосредственной близости к вершине, на участке рабочей поверхности инструментов, наблюдается снижение показателя напряженного состояния порядка 30...50 %; на боковой поверхности инструментов наблюдается увеличение показателя напряженного состояния в поверхностном слое до 20 %. Однако при этом предел прочности материала поверхностного слоя возрастает на величину порядка 30 %, что в целом указывает на улучшение условий работы инструмента.

Результаты работы могут быть использованы при совершенствовании формы рабочей поверхности инструментов, с целью оптимизации процесса листовой штамповки по энергосиловым параметрам, путем изменения формы профиля разделительного инструмента при одновременном повышении их износостойкости за счет нанесения упрочняющего покрытия электроискровым легированием.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М. : Машиностроение, 1985. – 239 с.
2. Рогов В. А. Основы высоких технологий / В. А. Рогов, Л. А. Ушомирская, А. Д. Чудаков. – М. : Вузовская книга, 2001. – 247 с.
3. Тарельник В. Б. Методика определения материала покрытия и способа упрочнения многозубого металлорежущего инструмента / В. Б. Тарельник, А. Л. Высоцкий // Тезисы докладов республиканской межвузовской конференции «Автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении и приборостроении». – Луганск, 1989. – 180 с.
4. Хижняк В. Г. Особливості будови і характеристики міцності карбідних покриттів на сталях / В. Г. Хижняк, В. И. Король // Наукові вісті НТТУ «КПІ». – Киев, 2003. – № 2. – С. 62.
5. Ершов В. М. Исследование процесса ванадирования стали У8А / В. М. Ершов, О. А. Коваленко // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск, 2005. – № 20. – С. 271.
6. Петров Ю. Н. Структурные изменения металла после электроискрового легирования / Ю. Н. Петров, И. И. Сафронов, Ю. П. Келоглу // Электронная обработка материалов. – 1965. – № 2. – С. 29.
7. Liu G. R. The Finite Element Method: A Practical Course / G. R. Liu, S. S. Quek. – 2003. – 348 с.
8. Киффер Р. Твердые сплавы / Р. Киффер, Ф. Бенезовский. – М. : Металлургия, 1971. – 388 с.
9. Rodriguez-Ferran A. Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) formulation for hyperelastoplasticity / A. Rodriguez-Ferran, A. Perez-Foguet, A. Huerta // Int. J. Numer. Methods Eng. – 2002. – № 53 (8). – P. 1831–1851.
10. Armero F. An arbitrary Lagrangian-Eulerian finite element method for finite strain plasticity / F. Armero, E. Love // Int. J. Numer. Methods Eng. – 2003. – № 57 (4). – P. 471–508.

**Луценко В. А.** – д-р техн. наук, проф. ДонГТУ;

Коваленко О. А. – ст. преп. ДонГТУ;

Боровик П. В. – канд. техн. наук, доц. ДонГТУ.

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск.

E-mail: borovikpv@mail.ru