

УДК 621.73.06-52

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

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Долговечность штампового инструмента и качество полученных деталей при разделительных операциях определяется стойкостью штампов, которая в первую очередь зависит от износостойкости режущих частей, находящихся в непосредственном контакте с обрабатываемым материалом.

Стойкость разделительных штампов определяется свойствами штампуемого материала, характером выполняемых операций, формой пуансона и матрицы, свойствами материала из которого изготовлены режущие части штампа. Перечисленные параметры обеспечивают соответствующее распределение напряжений при выполнении операций, как в штампуемом материале, так и в инструменте, которые в свою очередь и определяют стойкость разделительных штампов.

Изнашивание режущих частей штампа при вырубке и пробивке происходит в результате истирания контактных поверхностей инструмента с заготовкой, пластического деформирования и выкрашивания режущих кромок, протекания адгезионных процессов в зазоре между пуансоном и матрицей. Эти явления обусловлены значительными по величине удельными нагрузками, наличием сил трения и теплотой, выделяющейся в очаге деформации в условиях циклических знакопеременных нагрузок [1].

Согласно [1] при разделении листа преобладают три основные формы изнашивания торцов инструмента: лункообразное, наклонное и комбинированное. По мере увеличения числа резов глубина лунки увеличивается, и форма изнашивания меняется от лункообразной к наклонной или комбинированной.

Из описания процесса резания листового металла штампами, приведенной Романовским В. П. [2], следует, что износу подвергаются не только торцевые, но и боковые поверхности инструмента (особенно пуансона).

При разделении металла упругая деформация сменяется пластической, при которой в процессе вдавливания пуансона на заготовку действует круговой изгибающий момент, приводящий к тому, что нормальные и касательные напряжения будут воздействовать и на боковую поверхность пуансона.

Из вышесказанного очевидно, что боковые и торцевые поверхности пуансона и матрицы в процессе резания находятся под действием различного рода напряжений, которые оказывают непосредственное влияние на стойкость инструмента.

При рассмотрении эпюр нормальных и касательных напряжений на различных стадиях отделения одной части металла от другой (рис. 1, а и б) видно, что на стадии проталкивания эпюра нормальных напряжений изменяется ввиду снятия изгибающего момента, а следовательно, и упругой деформации. При разделении металла изменяется и направление течения металла по контактными поясам матрицы и пуансона, что приводит к изменению направления касательных напряжений. Нормальные напряжения оказывают действие на боковые поверхности пуансона и при обратном ходе инструмента (рис. 1, в). Таким образом, контактные поверхности пуансона и матрицы в процессе разделения работают в условиях знакопеременных нагрузок, что интенсифицирует их изнашивание в процессе эксплуатации [3].

В работе [4] установлены закономерности процесса изнашивания рабочих частей вырубных и пробивных штампов. Показана зависимость характера износа инструмента от вида процесса и свойств штампуемого материала.

Так у вырубных штампов в большей мере изнашиваются боковые поверхности матриц, торцевые или боковые поверхности пуансонов, у пробивных штампов боковые поверхности пуансонов и торцевые поверхности матриц. Высота и ширина зоны износа пуансона и матрицы зависит от толщины материала (рис. 2).

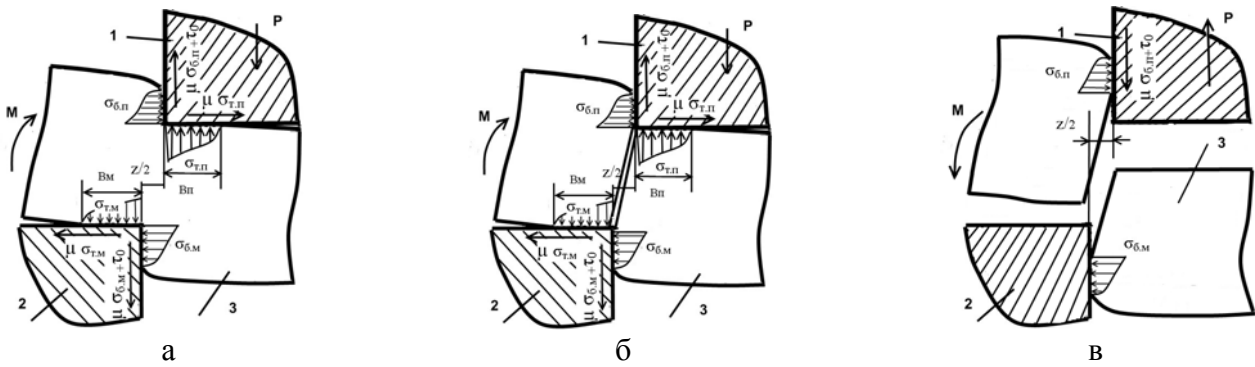


Рис. 1. Эпюры нормальных и касательных напряжений на стадии разделения металла: а – пластического среза; б – проталкивания отделяемой части заготовки; в – обратного хода пуансона

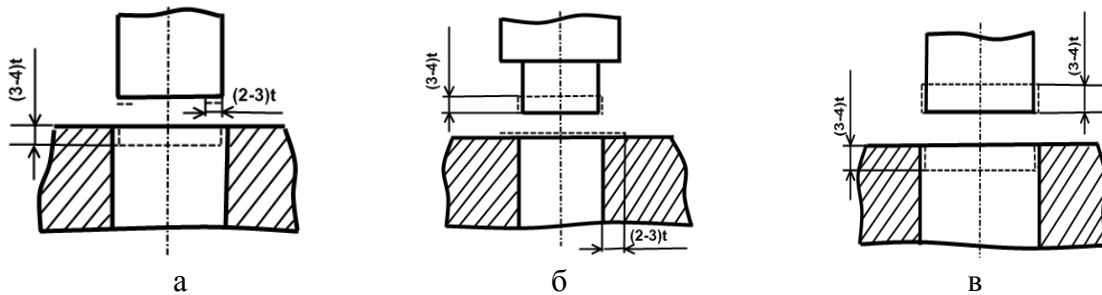


Рис. 2. Зоны износа и рекомендуемого упрочнения рабочих частей вырубных (а и б) и пробивных (в) штампов

С целью снижения износа и повышения стойкости разделительных штампов именно указанные зоны рекомендованы для проведения поверхностного упрочнения [4].

Известно, что для снижения усилий при проведении операций вырубки и пробивки, а, следовательно, и для повышения стойкости разделительных штампов применяют штампы со скошенными режущими кромками пуансона или матрицы [2, 5]. Так при вырубке деталей пуансон изготавливается плоским, а скос делается на матрице (рис. 3, а, б). При пробивке матрица изготавливается плоской, а скос делается на пуансоне (рис. 3, в, г). Высота скоса и угол скоса находятся в зависимости от толщины штампуемого материала [2].

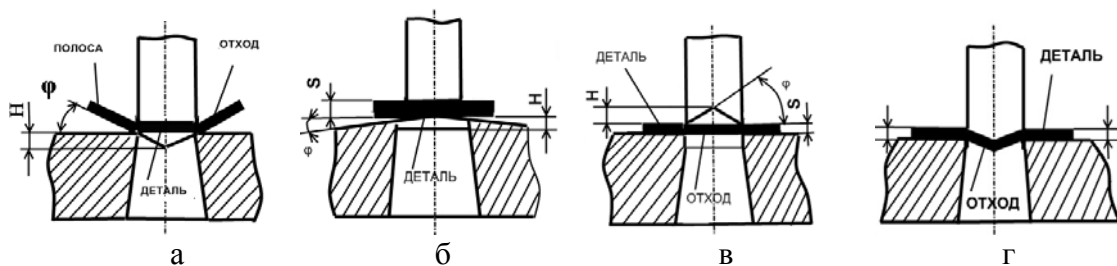


Рис. 3. Различные типы скоса режущих кромок: Н – глубина или высота скоса; ϕ – угол скоса

Приведенные данные не позволяют описать распределение напряжений на контакте инструмента с заготовкой при различных конфигурациях пуансона и матрицы и разработать рекомендации, обеспечивающие для конкретного процесса минимальную нагрузку на режущие части и, следовательно, минимальный износ.

Целью данной работы является разработка математической модели разделительных операций листовой штамповки, позволяющей на современном научно-техническом уровне оценить влияние формы инструмента на напряженное состояние контактирующих поверхностей и энергосиловые параметры процесса.

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 [6].

В состав модели входят три компонента: упругопластический деформируемый материал (1) и два абсолютно жестких недеформируемых инструмента – пуансон (2) и матрица (3).

Механические свойства материала соответствуют марке стали Ст 2. Разрушение материала моделируется с помощью диаграмм пластичности. Тело заготовки описывается двумерными осесимметричными линейными конечными элементами с редуцированной схемой интегрирования, моделирующей поведение упругопластического деформируемого материала – SAХ4R. В процессе моделирования использовали ALE адаптацию сетки [7, 8].

Учитывая поставленную задачу, форма матрицы оставалась неизменной, а форма пуансона претерпевала соответствующие модификации (рис. 4). Режущие кромки пуансона и матрицы имеют скругления радиусом равным 1 % от толщины разрезаемого материала.

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.

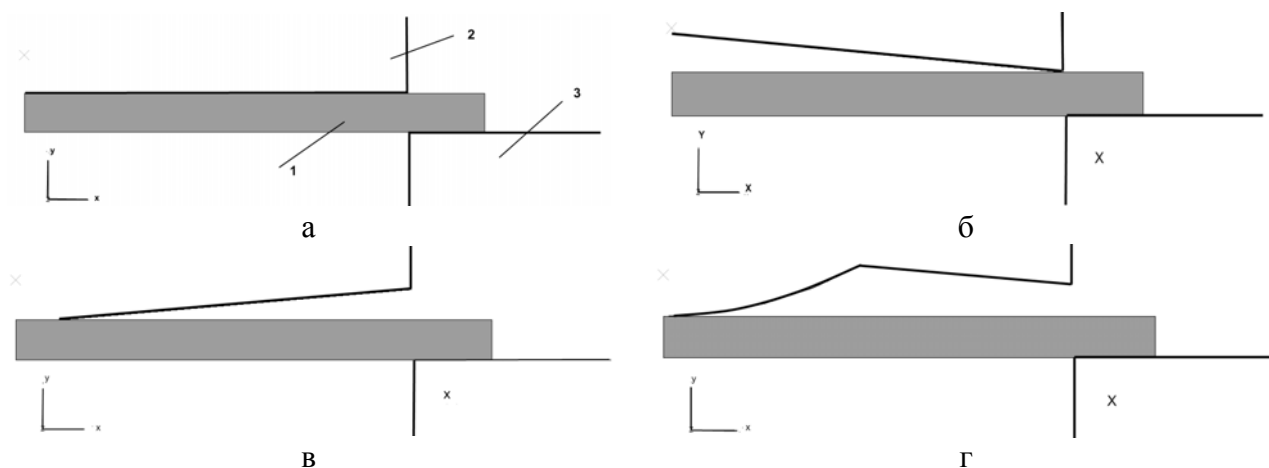


Рис. 4. Конфигурации пуансона

На рис. 5 представлен процесс разделения штампуемого материала в момент разрушения при различных конфигурациях пуансона.

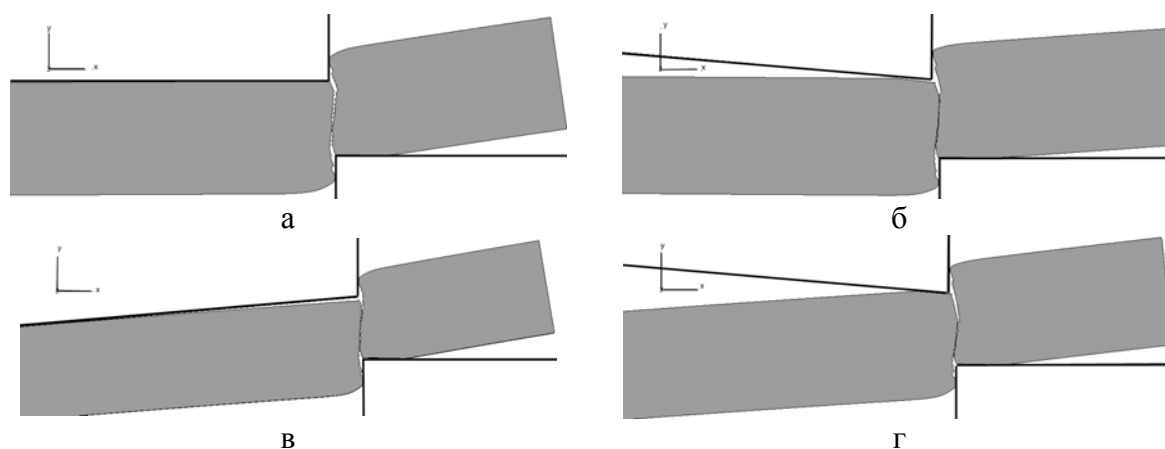


Рис. 5. Фронт разделения материала при различных конфигурациях пуансона

Анализ результатов моделирования показал, что форма пуансона существенно влияет на напряженное состояние металла в зоне контакта металла с пуансоном (рис. 6, табл. 1) и на энергосиловые параметры процесса (рис. 7 и 8).

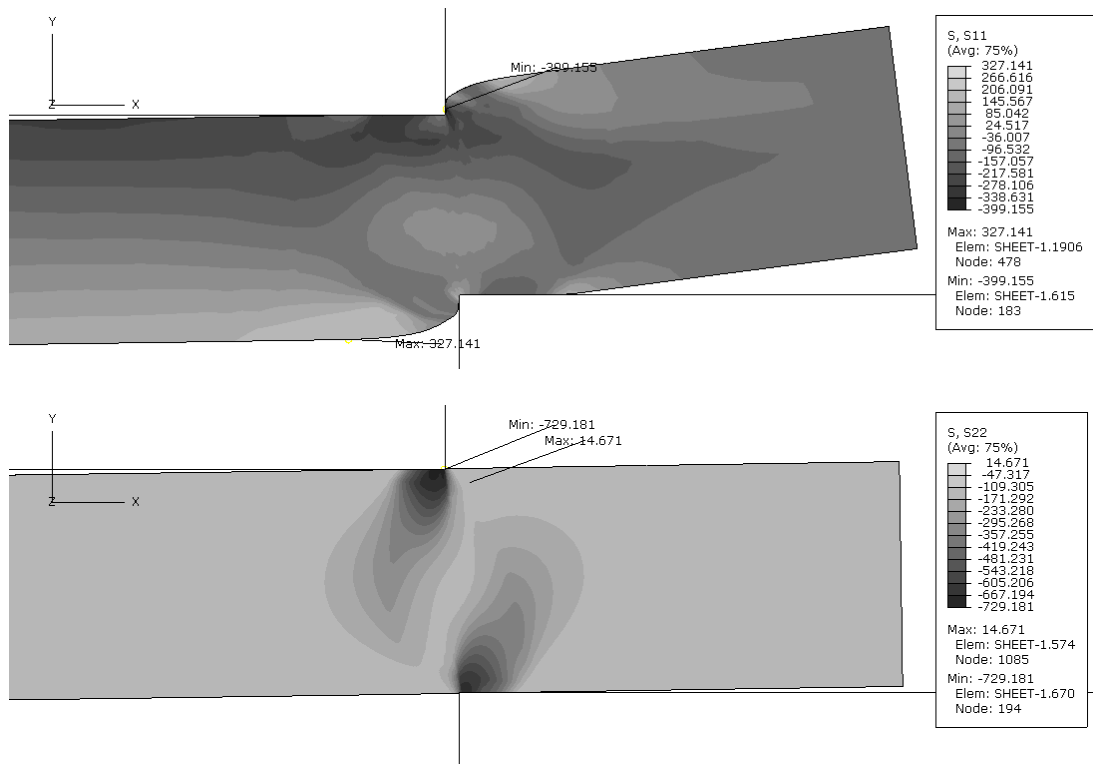


Рис. 6. Распределение напряжений при плоской форме пуансона

Таблица 1

Результаты моделирования

Форма пуансона				
Горизонтальные напряжения, σ_x , МПа	399	500	340	496
Вертикальные напряжения, σ_y , МПа	729	780	690	630

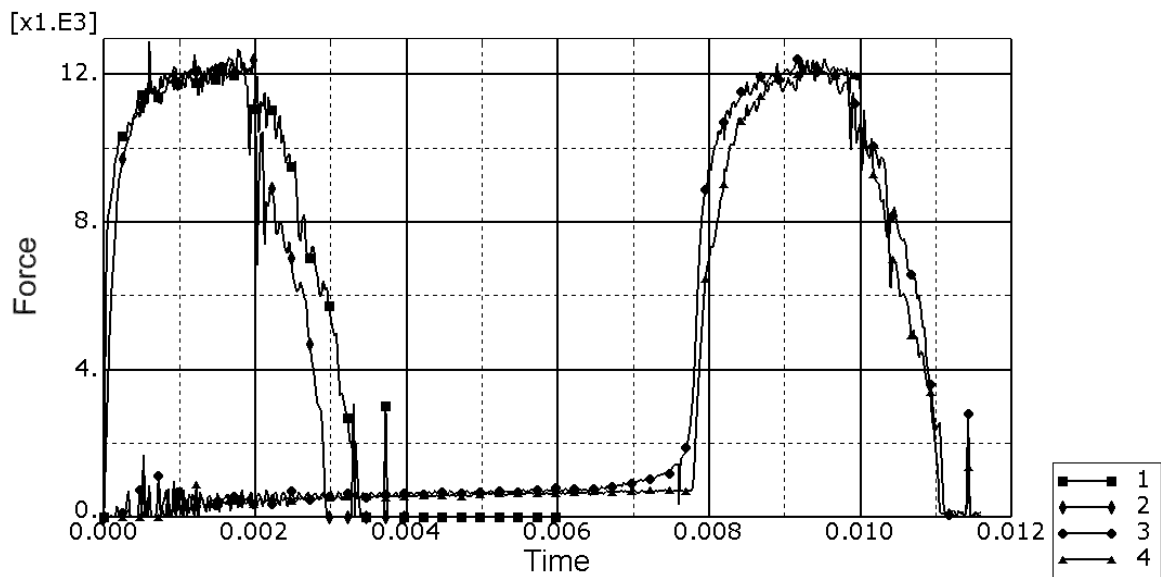


Рис. 7. Сила на пуансоне при различной конфигурации: время – с; сила – Н

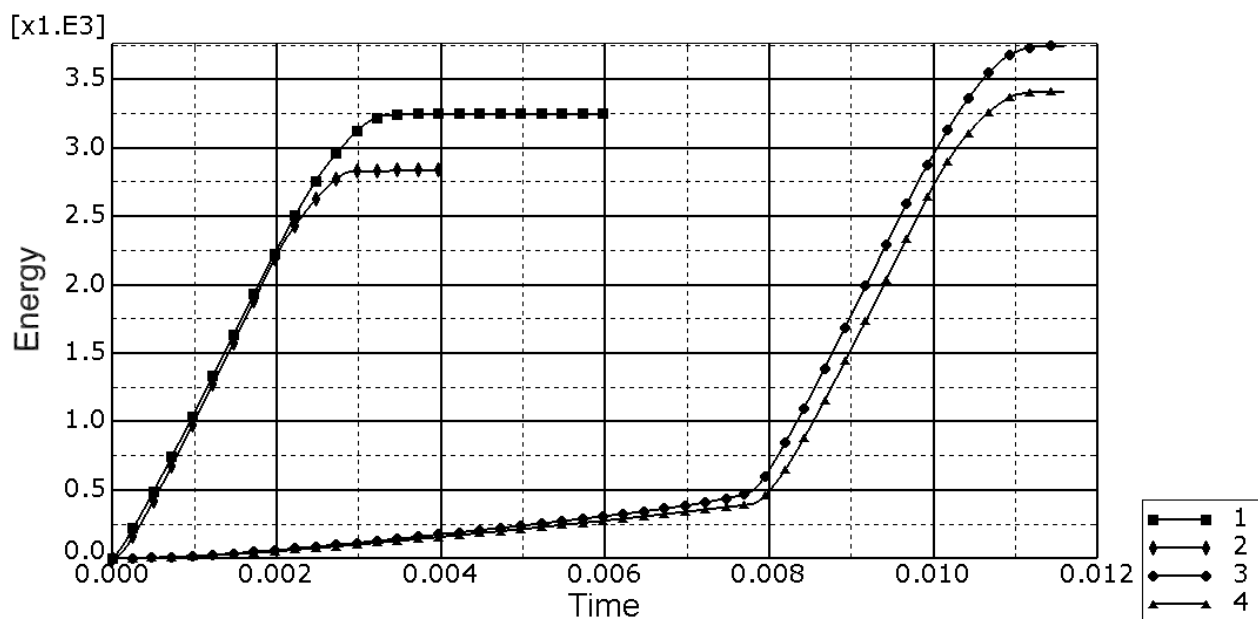


Рис. 8. Внешняя работа при различных конфигурациях пуансона: время – с; энергия мДж

ВЫВОДЫ

Разработанная модель позволяет оценить влияние параметров инструмента на характер процесса разделения и оптимизировать процесс по критериям стойкости инструмента и расходу энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишневский Н. С. Повышение стойкости разделительных штампов / Н. С. Вишневский, В. Ф. Константинов. – М., Машиностроение, 1984. – 118 с.
2. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / Н. С. Вишневский, В. Ф. Константинов. – Ленинград, Машиностроение, 1979. – 516 с.
3. Михайленко Ф. П. Стойкость разделительных штампов / Ф. П. Михайленко. – М., Машиностроение, 1986. – 222 с.
4. Тимощенко В. А. Повышение износостойкости разделительных штампов / В. А. Тимощенко // Кузнечно-штамповочное производство. – 2000. – № 12. – С. 22.
5. Справочник конструктора штампов / по ред. Л. И. Рудмана. – М., Машиностроение, 1988. – 496 с.
6. ABAQUS, Version 6.7 Documentation. – TESIS Ltd, 2007.
7. Rodriguez-Ferran A. Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) formulation for hyperelastoplasticity / A. Rodriguez-Ferran, A. Perez-Fogues, A. Huerta // Int. J. Numer. Methods Eng. – 2002. – № 53(8). – P. 1831–1851.
8. 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;

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

Коваленко О. А. – ст. преп. ДонГТУ.

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск.

E-mail: lutvikt@rambler.ru