

УДК 621.771

Алиев И. С.
Абхари П. Б.
Ерёмина А. А.
Лебедь В. Т.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ БОКОВОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ В РАЗЪЕМНЫХ МАТРИЦАХ

Холодное выдавливание отличается разнообразием выполняемых вариантов и широкими возможностями в формообразовании деталей с различными конфигурациями. Развитие технологий выдавливания демонстрирует устойчивую тенденцию к увеличению объемов производства точных заготовок, расширению номенклатуры штампуемых деталей и вида материалов, а также подкреплению новых процессов формоизменения разработками специализированного технологического оборудования и оснастки. Успешное решение поставленной задачи возможно на основе внедрения прогрессивных технологических процессов обработки металлов давлением, к которым относится и холодное выдавливание. Применение процессов холодного выдавливания позволяет резко сократить расход металла при обеспечении необходимого уровня качества. Эффективность таких современных процессов ХОШ, как поперечное (радиальное и боковое) выдавливание тем выше, чем сложнее форма штампуемой детали [1–3]. Холодное боковое выдавливание позволяет получить штамповкой детали сложных пространственных конфигураций с разными боковыми отрезками. При штамповке выдавливанием достигается максимальное приближение формы, размеров и качества поверхностей исходной заготовки к соответствующим параметрам готовой детали. Процессы бокового выдавливания являются сложными по технологическим параметрам, что вызывает необходимость проведения комплексных исследований причин и устранению дефектообразования [5].

Для моделирования процесса использовался программный комплекс DeForm 3D, в основе которого лежит метод конечных элементов. С помощью данной программы был изучен процесс бокового выдавливания детали с отрезком с различным углом наклона. Также были определены интенсивность напряжений, энергосиловые параметры и деформация на различных стадиях процесса. Предложенный технологический процесс позволяет снизить массу деталей, увеличить коэффициент использования материала, повысить производительность труда и сократить сроки подготовки производства и трудоемкость изготовления изделий [6].

Целью данной работы является исследование напряженно-деформированного состояния при боковом выдавливании детали с отрезком, а также поэтапного формоизменения заготовки.

Математическое моделирование процессов бокового выдавливания деталей с отрезками было выполнено с помощью конечно-элементного моделирования. Представлены схемы бокового выдавливания отрезков в разъемных матрицах, при различном смещении осей отрезков относительно центра поковки. Для этого были взяты отрезки под углом наклона 90°, 45° и 135°. Схемы исследуемых заготовок представлены на рис. 1.

Для моделирования процесса бокового выдавливания выбирали следующие параметры: – параметры механических свойств материала заготовки алюминиевого сплава АД1: кривая истинных напряжений описывается уравнением $\sigma_s(\varepsilon) = 199,55 \varepsilon^{0.202}$, модуль Юнга $E = 110\,000$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; коэффициент трения между материалом заготовки и инструментом $\mu = 0,08$ (закон Зибеля). Геометрические параметры процесса: R_s – радиус заготовки ($R_s = 11$ мм), L – высота заготовки ($L = 46$ мм), d – диаметр отрезка ($d = 9$ мм), l – длина отрезка ($l = 30$ мм) R – наружный радиус полости ($R = 40$ мм), r – радиус закругления кромки ($r = 2$ мм), α – угол наклона отрезка ($\alpha = 90^\circ$, $\alpha = 45^\circ$, $\alpha = 135^\circ$).

α	Схема	Деталь	Деформация
90°			
45°			
135°			

Рис. 1. Схема детали с отроском при разной геометрии процесса

В ходе моделирования были получены картины интенсивности напряжений, а также распределения деформации в процессе бокового выдавливания (рис. 2). На рис.1 представлены делительные сетки на конечной стадии деформирования. Наиболее деформированной областью заготовки является область в зоне перехода заготовки в отросок.

Картина распределения интенсивности напряжений показывает, что при выдавливании с $\alpha = 90^\circ$ максимальные значения σ_i сосредоточены в центральной части заготовки, на кромке перехода детали в отросок, а также вдоль оси выдавливаемого отростка. Минимальное значение находится в пределах $\sigma_i = 80$ МПа, а максимальное достигает значения $\sigma_i = 236$ МПа при ходе пуансона 12 мм.

Моделирование выдавливания под углом наклона отростка $\alpha = 45^\circ$ показывает, что максимальные значения интенсивности напряжений появляются уже при ходе пуансона равном 8 мм и равняются $\sigma_i = 236$ МПа. Минимальное значение σ_i равняется 90 МПа.

Выдавливание бокового отростка под углом $\alpha = 135^\circ$ показывает минимальное значение σ_i на кромке перехода металла в отросок достигает 110 МПа с ходом пуансона в 6 мм, а максимальное значение при ходе пуансона в 12 мм – 220 МПа. Также исследование пока-

зывает образование повреждения на начальном этапе выдавливания, которое находится в промежутке 1,90–3. Наличие повреждений в дальнейшем может привести к появлению зажимов на поверхности отростка.

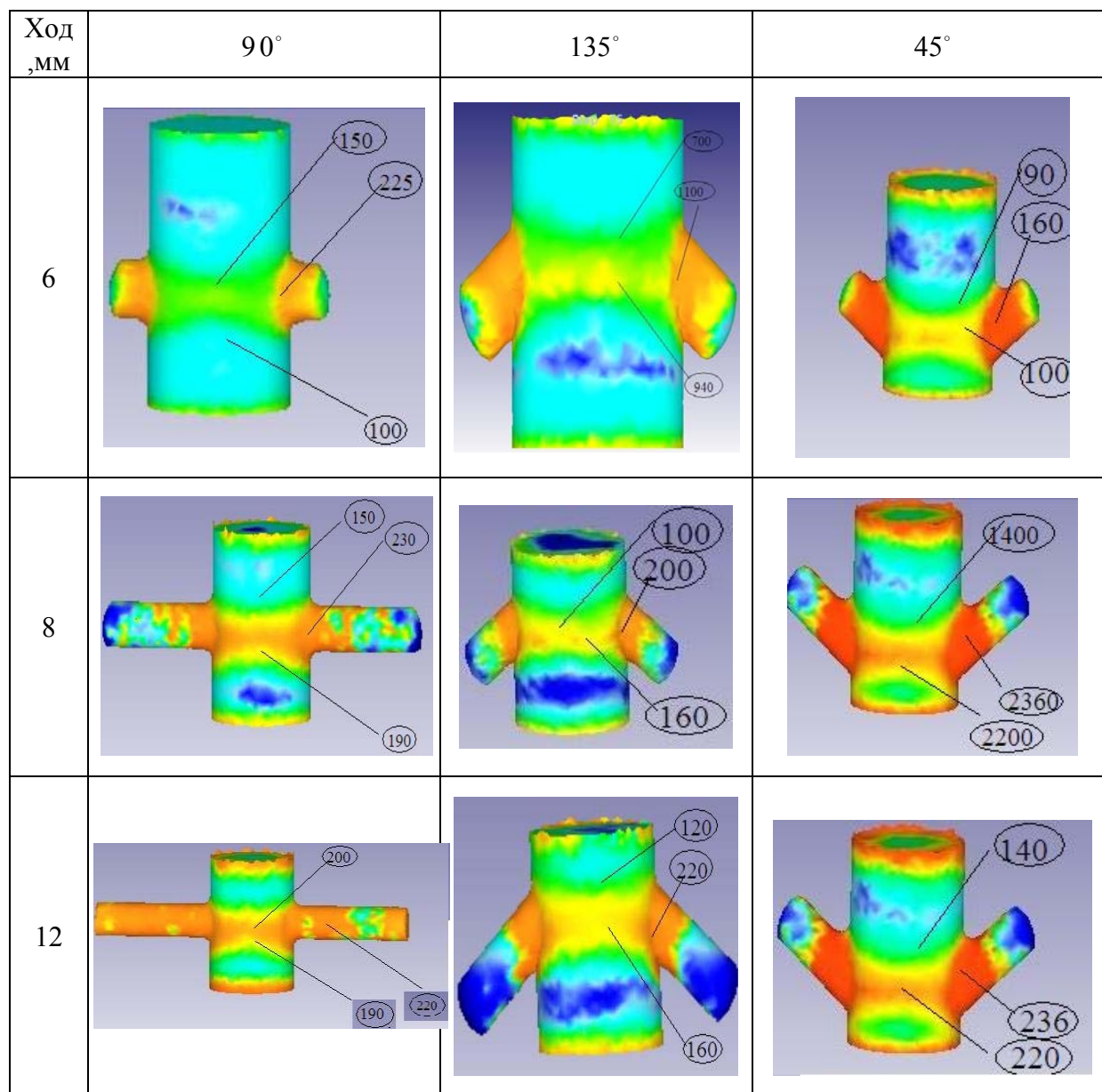


Рис. 2. Распределение интенсивности напряжений при боковом выдавливании

Наиболее благоприятной с точки зрения равномерности напряжений, является схема выдавливания под углом $\alpha = 315^\circ$. Это снижает вероятность образования трещин и позволяет прогнозировать более высокие эксплуатационные характеристики детали. При этом угле выдавливания также отмечалось наименьшее усилие выдавливания. Это связано с более благоприятными условиями течения материала, меньшей жесткостью системы. Для подтверждения полученных результатов было выдавлено ряд экспериментальных образцов с углом наклона отростка 90° и 45° (рис. 3). Эксперимент показал, что моделирование соответствует действительности, а также подтвердил картину распределения деформации.

Проведен сравнительный анализ энергосиловых параметров бокового выдавливания (рис. 4).

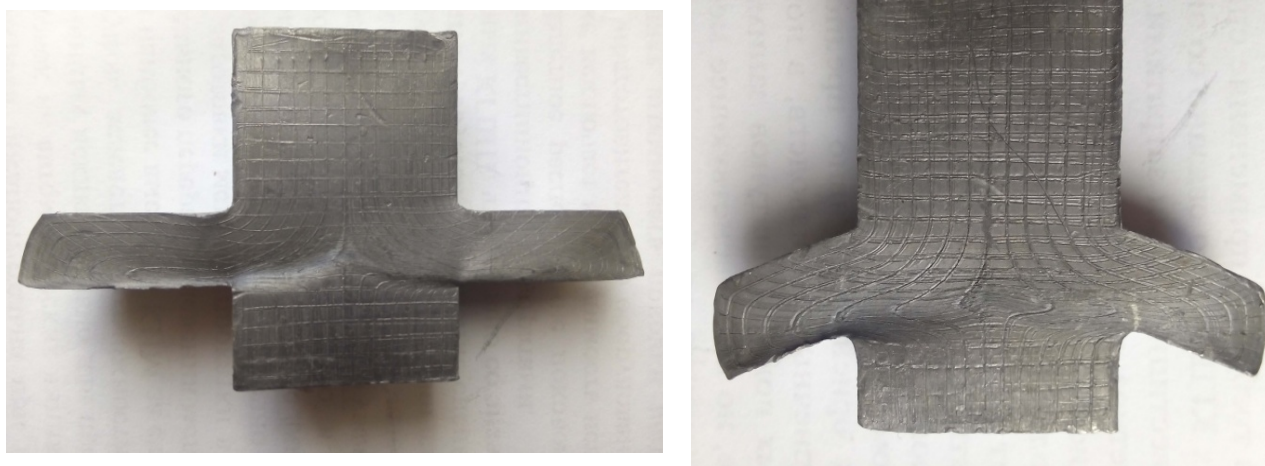


Рис. 3. Детали с нанесенной делительной сеткой после деформации

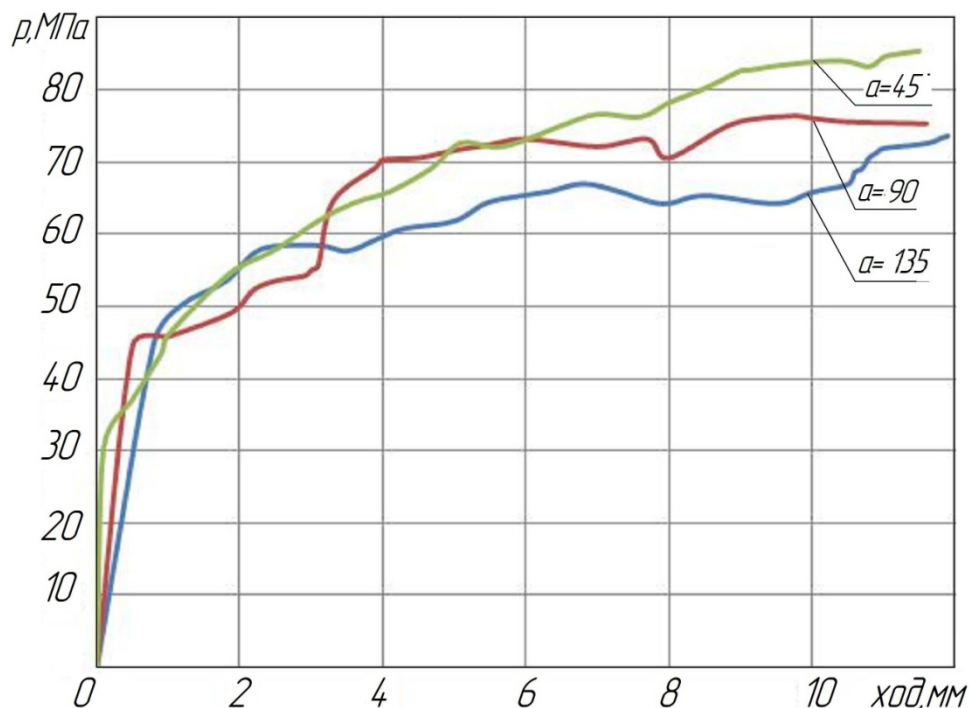


Рис. 4. График энергосиловых параметров при боковом выдавливании отрезка

На рис. 4 показано, что наименьшие значения давления были получены во время бокового выдавливания под углом наклона $\alpha = 135^\circ$. Это объясняется наиболее благоприятными условиями течения металла в полость матрицы, а также напряженным состоянием. Неравномерность кривой получается за счет перестроения координатной сетки в ходе деформации. Скачок усилия при ходе 4 мм (при выдавливании с $\alpha = 45^\circ$ и $\alpha = 90^\circ$) связан с изменением очага деформации за счет увеличения объема очага деформации.

ВЫВОДЫ

Методом конечных элементов исследованы энергосиловые параметры процесса бокового выдавливания отрезков на стержне, а также напряженно-деформированного состояния при односторонней подаче с различными углами наклона отрезка. Установлено, что максимальная интенсивность напряжений наблюдается в зонах, контактирующих с полостью

матрицы. Минимальные значения деформации наблюдаются в стержневой части поковки, вблизи контакта её торцов с инструментом. Выявлено, что наиболее благоприятное формирование отростка происходит при выдавливании отростка с углом $\alpha = 135^\circ$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников А. Г. Штамповка выдавливанием поковок с боковыми отростками / А. Г. Овчинников, О. Ф. Дрель, И. С. Поляков // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1979. – № 4. – С. 10–12.
2. Алиев И. С. Исследование формоизменения силового режима процесса бокового выдавливания методом конечных элементов / И. С. Алиев, П. Б. Абхари, О. А. Жукова // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях*. – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – № 42 (1015). – С. 7–13. Бібліогр. : 6 назв.
3. Алиев И. С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания / И. С. Алиев // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1988. – № 6. – С. 1–4. 2.
4. Савченко О. К. Боковое выдавливание корпусных деталей с отростком / О. К. Савченко, О. А. Жукова // *Обработка материалов давлением*. – 2013. – № 1 (34). – С. 96–99.
5. А.с. 821017 СССР. М. Кл. В 21 j 5/12. Способ изготовления деталей с боковыми отростками / К. А. Кирсанов, Г. С. Куклев (СССР). – №2727181/25-27: заявл. 21.02.79; опубл. 15.04.81. Бюл. № 14.
6. Иванов К. М. Метод конечных элементов в технологических задачах ОМД / К. М. Иванов, В. С. Шевченко, Э. Е. Юргенсон. – СПб. : Изд-во ПИМаш, 2000. – 224 с.

REFERENCES

1. Ovchinnikov A. G. Shtampovka vydavlivaniem pokovok s bokovymi otrostkami / A. G. Ovchinnikov, O. F. Drel', I. S. Poljakov // *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo*. – 1979. – № 4. – S. 10–12.
2. Aliev I. S. Issledovanie formoizmenenija silovogo rezhima processa bokovogo vydavlivanija metodom konechnyh jelementov / I. S. Aliev, P. B. Abhari, O. A. Zhukova // *Visnik NTU «HPI». Serija; Novi rishennja u suchasnih tehnologijah*. – Harkiv : NTU «HPI», 2013. – № 42 (1015). – S. 7–13. Bibliogr. : 6 nazv.
3. Aliev I. S. Tehnologicheskie processy holodnogo poperechnogo vydavlivanija / I. S. Aliev // *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo*. – 1988. – № 6. – S. 1–4. 2.
4. Savchenko O. K. Bokovoe vydavlivanie korpusnyh detalej s otrostkom / O. K. Savchenko, O. A. Zhukova // *Obrabotka materialov davleniem*. – 2013. – № 1 (34). – S. 96–99.
5. A.s. 821017 SSSR. M. Kl. V 21 j 5/12. Sposob izgotovlenija detalej s bokovymi otrostkami / K. A. Kirsanov, G. S. Kuklev (SSSR). – №2727181/25-27: zajavl. 21.02.79; opubl. 15.04.81. Bjul. № 14.
6. Ivanov K. M. Metod konechnyh jelementov v tehnologicheskix zadachah OMD / K. M. Ivanov, V. S. Shevchenko, Je. E. Jurgenson. – SPb. : Izd-vo PIMash, 2000. – 224 s.

Алиев И. С. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОМД ДГМА
Абхари П. Б. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД ДГМА
Ерёмина А. А. – аспирант каф. ОМД ДГМА
Лебедь В. Т. – д-р техн. наук каф. АПП ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua