

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБИНИРОВАННОГО ТРЕХСТОРОННЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Алиева Л. И., Шкира А. В., Гончарук К. В.

Ведущим направлением в развитии машиностроения и металлургии является освоение ресурсосберегающих технологий, в том числе комбинированное выдавливание. Проведено моделирование процесса комбинированного трехстороннего выдавливания детали методом конечных элементов при помощи программного продукта DEFORM 3D. Цель данного исследования – построение графических зависимостей энергосиловых характеристик комбинированного трехстороннего выдавливания деталей и рассмотрение формоизменения заготовки при разных геометрических параметрах. В соответствии с проведенным исследованием, было установлено, что очаг деформации сосредоточен на переходных кромках деформирующего инструмента. Методом планирования эксперимента были получены зависимости усилия комбинированного трехстороннего выдавливания детали и усилия раскрытия полуматриц от геометрии параметров получаемой детали. Также получено регрессионное уравнение и коэффициенты регрессии для определения энергосиловых характеристик процесса.

Провідним напрямком у розвитку машинобудування і металургії є освоєння ресурсозберігаючих технологій, у тому числі комбіноване видавлювання. Проведено моделювання процесу комбінованого тристороннього видавлювання деталі методом скінченних елементів за допомогою програмного продукту DEFORM 3D. Мета даного дослідження – побудова графічних залежностей енергосилових характеристик комбінованого тристороннього видавлювання деталей і розгляд формозміни заготовки при різних геометричних параметрах. Відповідно до проведених досліджень, було встановлено, що осередок деформації зосереджений на перехідних кромках деформуєчного інструменту. Методом планування експерименту були отримані залежності зусилля комбінованого тристороннього видавлювання деталі і зусилля розкриття напівматриць від геометрії параметрів одержуваної деталі. Так само отримано регресійне рівняння і коефіцієнти регресії для визначення енергосилових характеристик процесу.

The leading trend in the development of mechanical engineering and metallurgy is the development of resource-saving technologies, including combined extrusion. A simulation of a combined triangular extrusion parts finite element method using the software DEFORM 3D. The goal of this study – the construction of plots of combined energy and power characteristics of the tripartite review of extrusion parts and forming the blank with different geometrical parameters. According to the research, it was found that the deformation zone is centered on the transition edges of the deforming tool. Methods of planning the experiment were prepared according to the combined efforts of the tripartite squeezing parts and forces disclosure of half-matrix geometry parameters receive the items. Just received regression equation and regression coefficients for determining the energy and power characteristics of the process.

Алиева Л. И.

канд. техн. наук, доц. ДГМА
omd@dgma.donetsk.ua

Шкира А. В.

аспирант каф. ОМД ДГМА

Гончарук К. В.

аспирант каф. ОМД ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 611. 777. 01

Алиева Л. И., Шкира А. В., Гончарук К. В.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБИНИРОВАННОГО ТРЕХСТОРОННЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Ведущим направлением в развитии машиностроения и металлургия является освоение ресурсосберегающих технологий. Определяющим моментом в решении подобных задач является разработка новых технологических процессов, позволяющих получать изделия высокого качества с заданными эксплуатационными свойствами и с наименьшими затратами на их производство. Как следствие, возникает необходимость в улучшении традиционных процессов холодного выдавливания и в переходе от простых базовых процессов к более сложным – комбинированному выдавливанию [1].

Осесимметричные детали нашли широкое применение в разных областях тяжелого и легкого машиностроения, приборостроения и горной промышленности. Наиболее эффективными методами для получения подобных деталей с высокой точностью и минимальными затратами материала являются процессы обработки металлов давлением [2].

Анализ литературных источников показывает, что использование способов выдавливания деталей значительно сокращает количество технологических операций, снижает трудоемкость изготовления типичных деталей и повышает производительность технологического процесса. Однако, невзирая на преимущества применения комбинированного выдавливания, в частности трёхстороннего, на практике штамповочного производства, практическая разработка и изучение выдавливания требует значительных расходов на технологическую подготовку, так как поиск рациональных режимов проведения технологических операций требует значительных работ из отработки технологий и налаживания оснастки. Это связано с отсутствием технологических рекомендаций и методик проектирования и выбора технологических режимов.

Метод конечных элементов с применением математического аппарата планирования эксперимента позволяет не только получить коэффициенты уравнения регрессии, но и произвести статистическую обработку полученных экспериментальных данных [3–5].

Целью работы является построение графических зависимостей энергосиловых характеристик комбинированного трёхстороннего выдавливания деталей (рис. 1) и рассмотрение формоизменения заготовки при разных геометрических параметрах.

На основе программного продукта DEFORM 3D промоделировано ряд теоретических моделей согласно указанной схемы комбинированного трёхстороннего выдавливания (рис. 1). При анализе менялись параметры исследуемой схемы в некоторых диапазонах: относительная высота фланца $\bar{h}_\phi = 0.07...0.15$ ($h_\phi = 3; 5; 7$ мм), относительный диаметр отростка $\bar{d}_0 = 0.54...0.80$ ($d_0 = 24; 30; 36$ мм), относительный диаметр верхнего стакана $\bar{d}_n = 0.63...0.87$ ($d_n = 28, 2; 33, 6; 39$ мм). Все действительные размеры были отнесены к диаметру исходной заготовки $D_3 = 45$ мм.

Граничные условия для осесимметричной задачи при моделировании были заданы в следующем виде: упрочнение алюминиевого сплава АД31 описано кривой упрочнения $\sigma_s = 191.55 \cdot e^{0,202}$ МПа при скорости деформирования $0,25 \text{ с}^{-1}$, плотность материала 2800 кг/м^3 ; коэффициент трения по Зибелю $\mu_s = 0,08$; скорость перемещения инструмента 1 мм/с ; инструмент абсолютно жесткий.

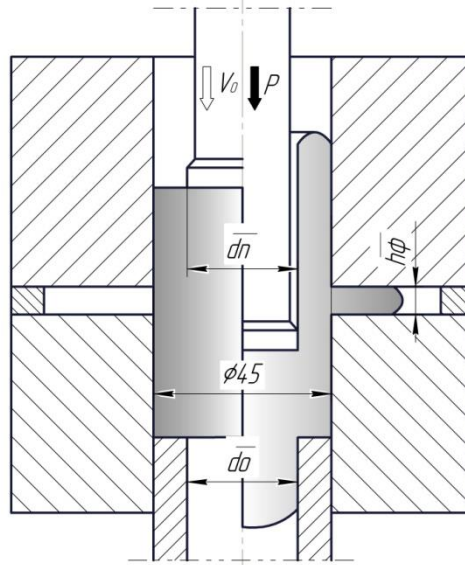


Рис. 1. Схема комбинированного трехстороннего выдавливания

В соответствии с проведенным моделированием было установлено (рис. 2), что очаг интенсивной деформации сосредоточен на переходных кромках деформирующего инструмента (полуматриц). Наблюдается разъединённый вид очага деформации. Логарифмическая степень деформации по поперечному сечению полуфабриката находится в среднем в диапазоне $e = 1...2.5$.

Обработка данных, полученных методом конечных элементов, с применением математического аппарата планирования эксперимента, позволяет не только получить коэффициенты уравнения регрессии (формула (1)), но и произвести статистическую обработку полученных расчетных данных [6, 7].

$$\begin{aligned}
 Y(\bar{d}_n, \bar{h}_\phi, \bar{d}_0) = & a_0 + a_1 \cdot \frac{\bar{d}_n - 0.75}{0.12} + a_2 \cdot \frac{\bar{h}_\phi - 0.11}{0.04} + a_3 \cdot \frac{\bar{d}_0 - 0.67}{0.13} + \left(a_{12} \cdot \frac{\bar{d}_n - 0.75}{0.12} \cdot \frac{\bar{h}_\phi - 0.11}{0.04} \right) + \\
 & + \left(a_{13} \cdot \frac{\bar{d}_n - 0.75}{0.12} \cdot \frac{\bar{d}_0 - 0.67}{0.13} \right) + \left(a_{23} \cdot \frac{\bar{h}_\phi - 0.11}{0.04} \cdot \frac{\bar{d}_0 - 0.67}{0.13} \right) + a_{11} \cdot \left(\frac{\bar{d}_n - 0.75}{0.12} \right)^2 + \\
 & + a_{22} \cdot \left(\frac{\bar{h}_\phi - 0.11}{0.04} \right)^2 + a_{33} \cdot \left(\frac{\bar{d}_0 - 0.67}{0.13} \right)^2, \quad (1)
 \end{aligned}$$

где a_1, a_2, \dots, a_{33} – коэффициенты регрессионного уравнения (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты регрессионного уравнения

Уси- лие	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Усилие выдавливания										
P	721,6	35,6	234,4	-127,7	37,1	-22,1	-111,9	-13,1	29,0	60,4
Усилие раскрытия полуматриц										
P_p	64,1	12,1	-4,1	-92,3	-26,5	-12,3	7,0	26,2	-56,5	52,4

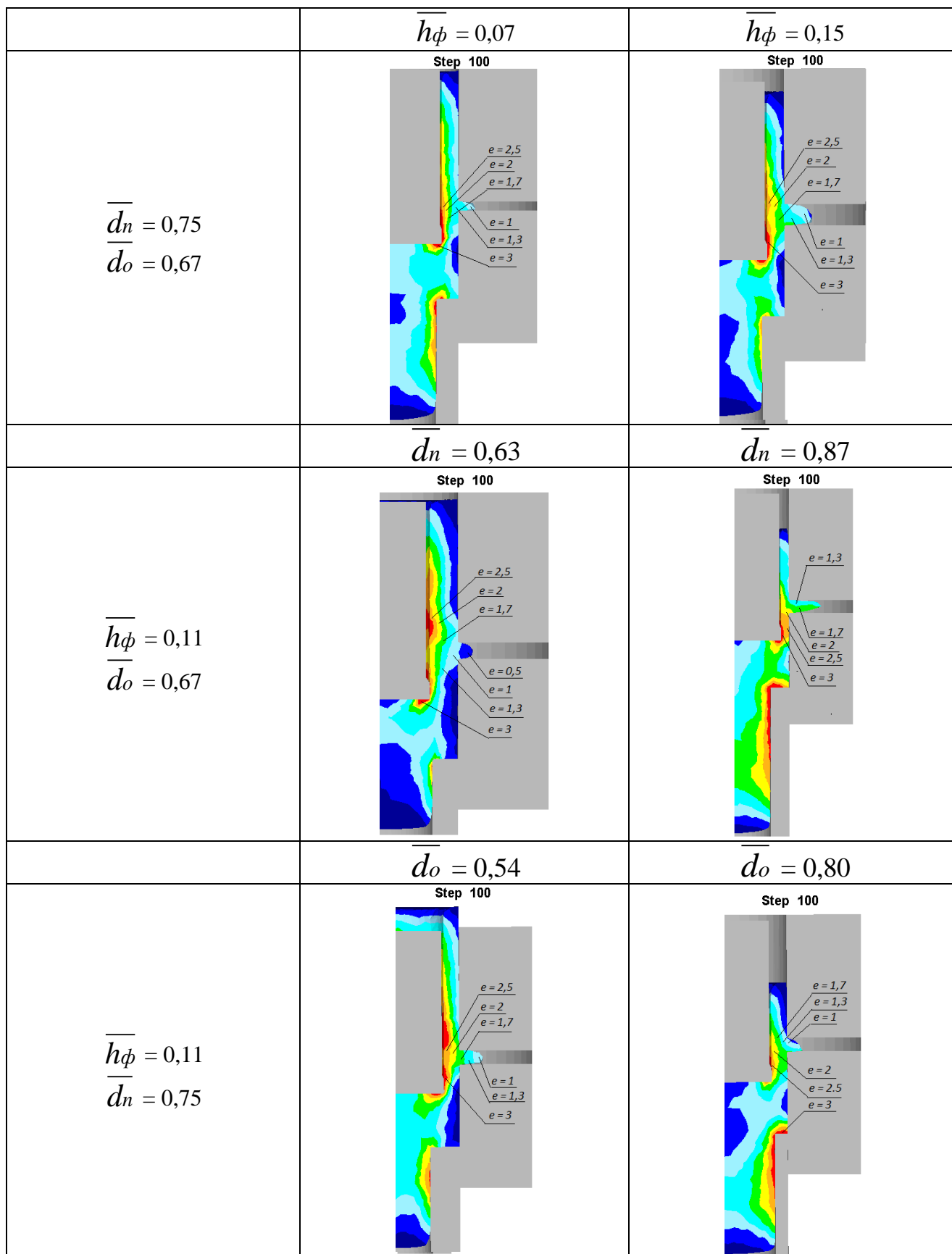


Рис. 2. Формоизменение заготовки при разных геометрических параметрах комбинированного трехстороннего выдавливания

С использованием методики, описанной ранее [6], при помощи программы MathCAD были получены зависимости усилия выдавливания детали и усилия раскрытия полуматрицы от варьируемых величин (рис. 3).

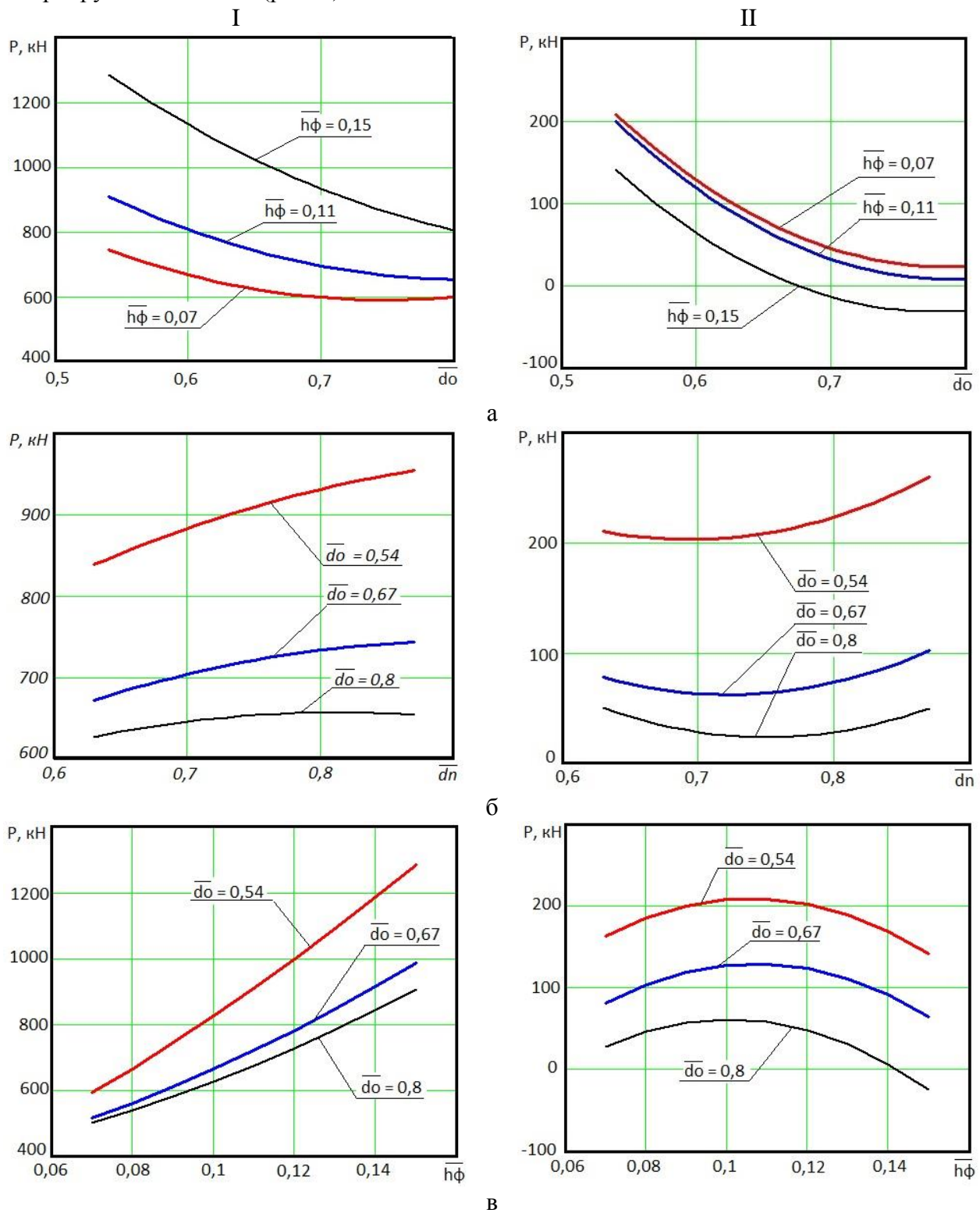


Рис. 3. Графики зависимости усилия выдавливания (I) и усилия раскрытия полуматрицы (II) от относительного диаметра отростка \bar{d}_0 (а), от относительного диаметра верхнего стакана \bar{d}_n (б), от относительной высоты фланца \bar{h}_ϕ (в) при разных геометрических параметрах процесса

Из графика, приведенного на рис. 3, а видно, что усилие выдавливания и усилие раскрытия полуматриц снижаются. Снижение усилия выдавливания при увеличении относительного диаметра отростка связано с увеличением составляющей прямого выдавливания, и, соответственно, благоприятного напряженно-деформированного состояния. Аналогичный характер снижения энергосиловых характеристик раскрытия полуматрицы связан со снижением радиального течения при данных геометрических параметрах.

Графики на рис. 3, б показывают рост усилия выдавливания при росте относительного диаметра верхнего стакана. Так, характер распределения характеристики связан с увеличением жесткости системы. Изменение усилия раскрытия полуматрицы показывает переменный характер. При $\bar{d}_n = 0.63...0.75$ кривая спадает. При данных параметрах наблюдается образование фланца с отклонением верхнего его торца от поверхности полуматрицы, а при $\bar{d}_n = 0.75...0.87$ – увеличение усилия раскрытия. При таких условия формируется фланец, близкий к идеальной форме.

Увеличение усилия выдавливания при росте относительной высоты фланца (рис. 3, в) связано с увеличением степени деформации в радиальном направлении течения материала. Неоднозначный характер распределения энергосиловых характеристик усилия раскрытия полуматриц связан с отклонением формы фланца.

ВЫВОДЫ

Моделирование процесса комбинированного трёхстороннего выдавливания детали методом конечных элементов позволило определить место образования очага деформации и величины степеней логарифмической деформации. Методом планирования эксперимента были получены зависимости приведенного давления выдавливания заготовки от геометрических параметров процесса. Установлено, что увеличение энергосиловых характеристик связано с ростом относительного диаметра верхнего стакана \bar{d}_n и относительной высоты фланца \bar{h}_ϕ , и снижение усилия выдавливания – с ростом относительного диаметра отростка \bar{d}_0 .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plancak M. Different possibilities of process analysis in cold extrusion / M. Plancak, B. Barisic, B. Grizelj (University of Rijeka, Faculty of Engineering, Croatia) // Key Eng. Mater. – 2008. – № 367. – P. 209–214.
2. Алиев И. С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания / И. С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. – № 2. – С. 7–9.
3. Stress-strain state of combined backward-radial extrusion process of can-franged part / Milutinovic Mladomir, Cupkovic Dorde, Vilotic Dragisa, Pepelnjak Tomaz, Plancak Miroslav (University of Novi Sad, Faculty of technical science, Serbia) // J. Technol. Plast. – 2006. – № 1–2. – P. 110–116.
4. Компьютерное моделирование силового режима при комбинированном выдавливании стержневых деталей / Л. И. Алиева, Г. П. Клименко, С. В. Мартынов, К. В. Гончарук // Научный Вестник ДГМА. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 2 (12E). – С. 44–51. – Режим доступа : http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962%2812%D0%95%29_2013/%E2%84%962%2812%D0%95%29_2013/article%5C9.pdf
5. Алиева Л. И. Силовые параметры комбинированного выдавливания стержневых деталей с фланцем / Л. И. Алиева, К. В. Гончарук // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2015. – № 1 (40). – С. 18–22.
6. Алиева Л. И. Планирование эксперимента для определения силового режима при комбинированном двухстороннем выдавливании / Л. И. Алиева, С. В. Мартынов, К. В. Гончарук // V научно-техническая конференция молодых специалистов «Энергомашспецсталь 2013». – Краматорск, 2013. – С. 25–26.
7. Новик Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методом планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. – М. : Машиностроение, 1980. – 304 с.