

УДК 611.777.01

Заблоцкий В. Н., Мартынов С. В., Гончарук К. В.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО РЕЖИМА ПРОЦЕССА ВЫСАДКИ ФЛАНЦЕВ

Осесимметричные детали с фланцем нашли широкое распространение в разных областях промышленности от приборостроения до тяжелого машиностроения. Наиболее эффективными методами для получения подобных деталей с высокой точностью и минимальными затратами материала являются процессы обработки металлов давлением [1].

В промышленности осесимметричные детали могут быть изготовлены радиальным выдавливанием, комбинированным радиально-обратным выдавливанием и высадкой.

Высадка является эффективным средством изготовления фасонных деталей с фланцем. Однако, несмотря на преимущества применения этого способа в практике штамповочного производства, его практическая разработка и освоение требует значительных затрат на технологическую подготовку, так как поиск рациональных режимов проведения технологических операций требует трудоемких экспериментальных работ по отработке технологий. Это связано с отсутствием технологических рекомендаций и методик проектирования технологических режимов. Особенно ощутим недостаток таких рекомендаций для разработки процессов получения полых деталей с внутренними фланцами из исходных трубчатых заготовок. Поэтому необходимость дальнейшего развития теоретических и экспериментальных исследований для восполнения существующего пробела и создания научно-обоснованных методик проектирования процессов высадки деталей типа втулок является весьма актуальной задачей [2–5].

Цель данного исследования – определение приведенного давления, давления и усилия при высадке одновременно двух фланцев (рис. 1).

Планирование эксперимента позволяет не только получить коэффициенты уравнения регрессии, но и произвести статистическую обработку полученных экспериментальных данных и их оптимизацию [6].

В результате планирования эксперимента ожидается получить зависимости приведенного давления, давления и усилия высадки от геометрических параметров получаемой детали (относительная высота фланца и относительный внутренний диаметр трубы) и величины контактного трения. Зависимой величиной (откликом), в данном случае, будут являться приведенное давление, давление и усилие высадки.

Факторами, влияющими на величину приведенного давления, давления и усилия выдавливания и раскрытия матрицы выбраны относительная высота фланца ( $\bar{h} = \frac{h}{R_1}$ ), относительный диаметр отростка ( $\bar{R} = \frac{R}{R_1}$ ) и контактное трение ( $\mu$ ). Таким образом, исследуется

трехфакторная модель. Изменение факторов будем вести на трех уровнях [7]. Первым этапом планирования является выбор центра плана  $X_{i_0}$  и определение шагов варьирования  $\Delta X_i$  по каждому фактору. Интервалы варьирования факторов и их значения в натуральном масштабе на основном, верхнем и нижнем уровнях указаны в таблице уровней факторов (табл.1).

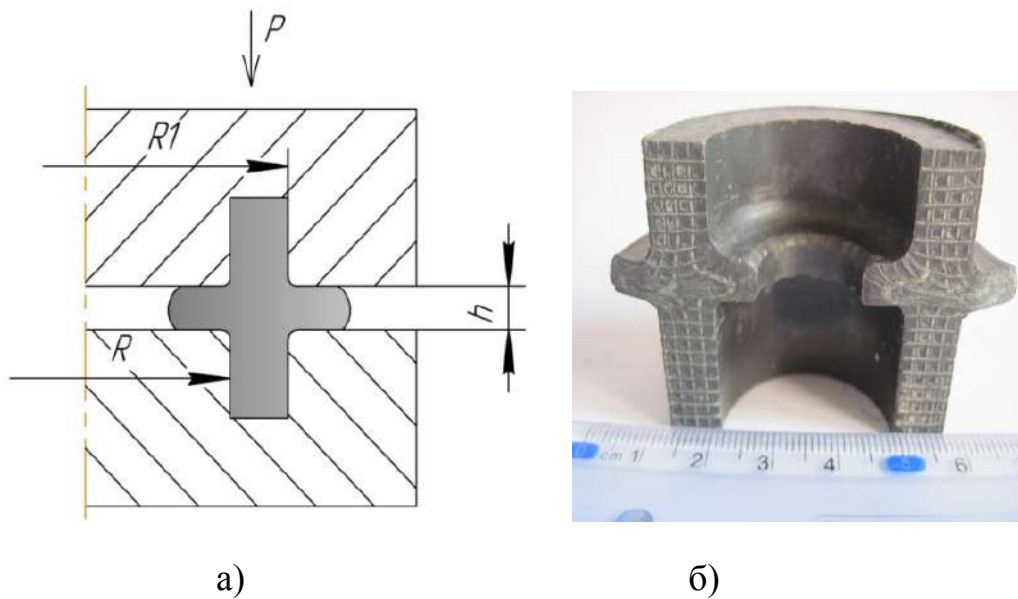


Рис.1. Схема высадки (а), полученная деталь типа втулка с фланцем (б)

Таблица 1

Уровни факторов

Факторы	$X_1$ ( $\bar{h}$ )	$X_2$ ( $\mu$ )	$X_3$ ( $\bar{R}$ )
Основной уровень ( $X_{i_0}$ )	0,30	0,2	0,64
Интервал варьирования ( $\Delta X_i$ )	0,15	0,2	0,19
Верхний уровень ( $x_i = 1$ )	0,45	0,4	0,83
Нижний уровень ( $x_i = -1$ )	0,15	0	0,45

Кодированные значения факторов ( $x_i$ ) связаны с натуральными значениями ( $X_i$ ) следующим соотношением (1):

$$x_i = (X_i - X_{i_0}) / \Delta X_i, \tag{1}$$

где  $X_{i_0}$  – натуральное значение основного уровня;

$\Delta X_i$  – интервал варьирования;

$i$  – номер фактора.

Для планов типа  $B_k$  коэффициенты регрессионного уравнения можно определить по следующим формулам (2):

$$\begin{aligned}
 b_0 &= C_1 \sum_{u=1}^N y_u - C_2 \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u & b_i &= C_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u \\
 b_{ij} &= C_4 \sum_{u=1}^N (x_i x_j)_u y_u & b_{ii} &= C_5 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u + C_6 \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u - C_2 \sum_{u=1}^N y_u
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_6$  – вспомогательные константы;

$y_u$  – значение отклика в  $u$ -ом опыте;

$x_{iu}$  – значение  $i$ -го фактора в  $u$ -м опыте.

Уравнение регрессии в общем виде может быть представлено формулой (3):

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{14} b_i x_i + \sum_{i=1}^{14} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{14} b_i x_i^2 = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \quad (3)$$

$$+ b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2$$

Согласно расширенной матрице плана производилось 14 экспериментов с различными параметрами процесса. Моделирование высадки производилось при помощи метода конечных элементов в программном продукте QForm 2D. Граничные условия для осесимметричной задачи были заданы в следующем виде: упрочнение алюминиевого материала АД31 описано кривой упрочнения  $\sigma_s = 191.55 \cdot e^{0,202} \text{ МПа}$  при скорости деформирования  $0,25 \text{ с}^{-1}$ , плотность материала  $2800 \text{ кг/м}^3$ ; модуль Юнга  $71000 \text{ МПа}$ ; коэффициент Пуассона  $0,3$ ; коэффициент трения по Леванову  $\mu_s = 0,16$ ; скорость перемещения инструмента  $1 \text{ мм/с}$ ; инструмент абсолютно жесткий.

Результаты поэтапного формоизменения представлены на рис. 2.

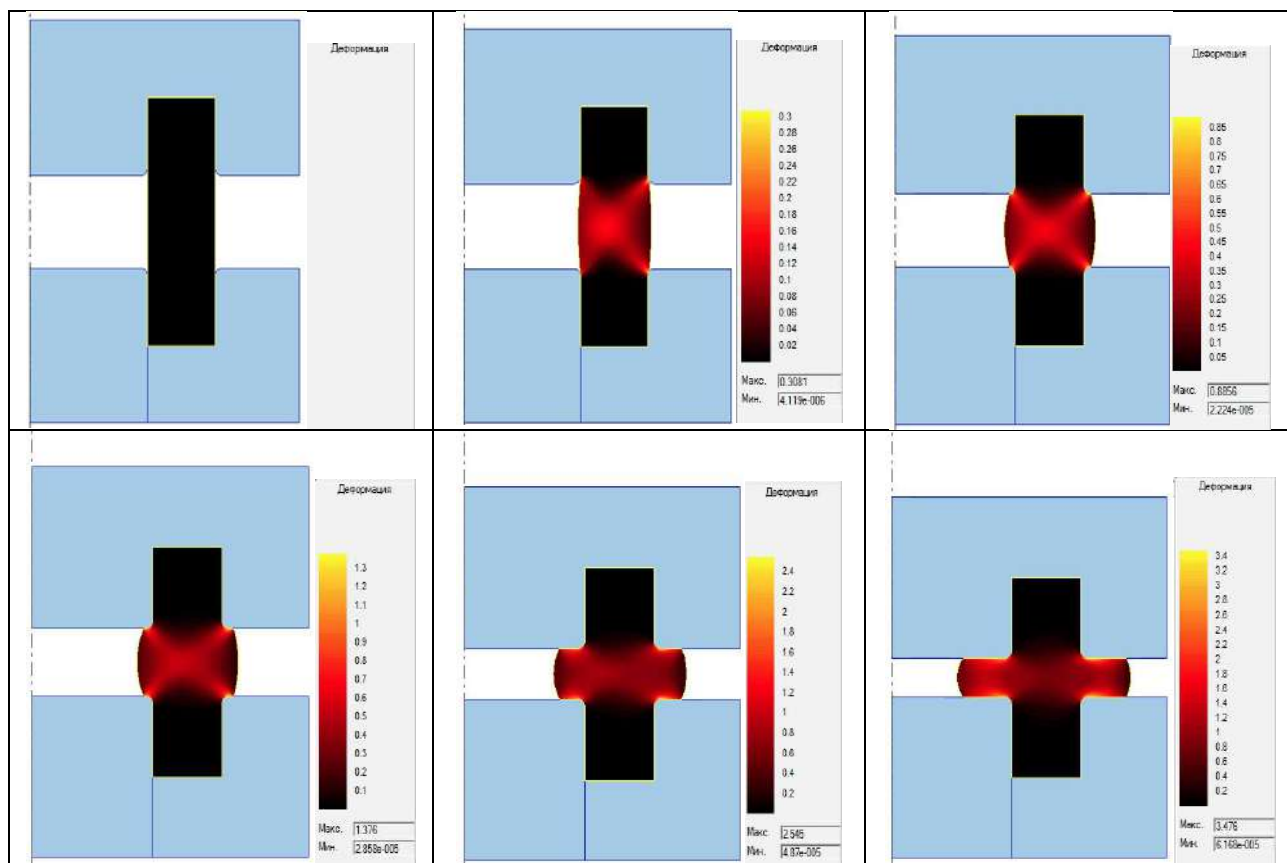


Рис. 2. Картины поэтапного формоизменения заготовки при высадке

В соответствии с проведенным моделированием в пакете QForm, было установлено, что очаг деформации сосредоточен в зоне формирования фланца; максимальные значения логарифмической деформации находятся в пределах  $1,8 - 1,6$  ( $83\% - 79\%$ ).

С использованием методики, описанной ранее, при помощи программы MathCAD были получены зависимости усилия, давления, приведенного давления высадки от варьируемых величин (рис. 3 – 5). Так же по результатам моделирования были построены графики, которые описывают формоизменение трубчатой заготовки при разных геометрических условиях процесса (рис. 6).

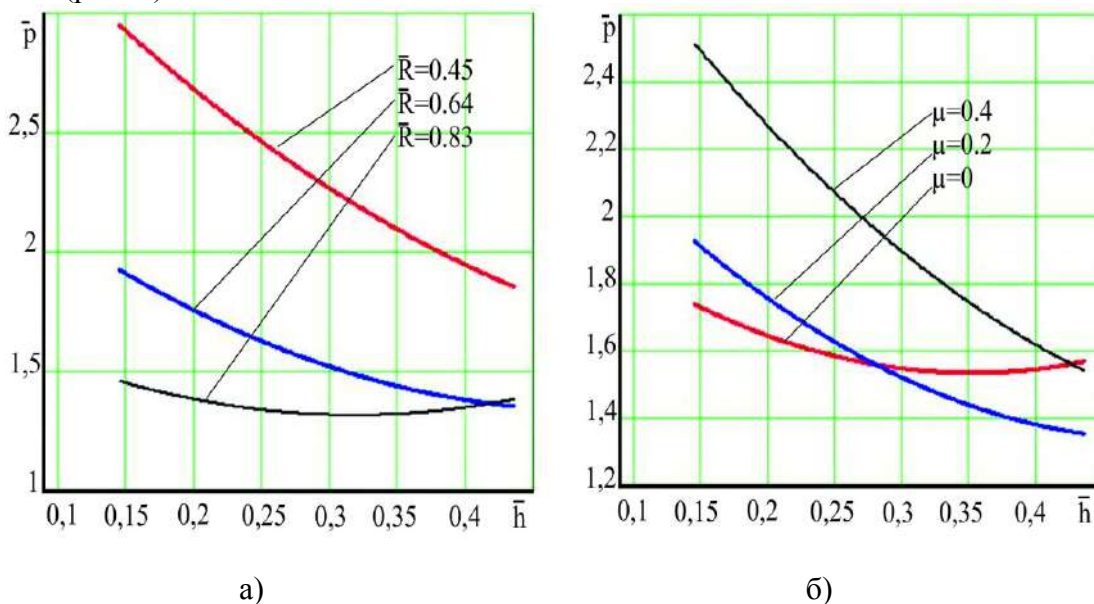


Рис. 3. Графики зависимости приведенного давления от относительной высоты фланца при разном относительном внутреннем радиусе (а) и при разном трении (б)

На рис. 3, а показаны графики, которые показывают спад силовых параметров с увеличением относительной высоты фланца. При этом, чем больше толщина трубы, тем большие значения силовых параметров необходимо приложить для ее деформации. Это объясняется тем, что объём металла, который упрочняется, возрастает. Графики на рис. 3, б показывает спад значений при разных коэффициентах трения. Видно, что с увеличением высоты фланца силовые параметры спадают. Причиной этому служит уменьшение контактной поверхности трения (за счет уменьшения радиусов внутреннего и наружного фланцев).

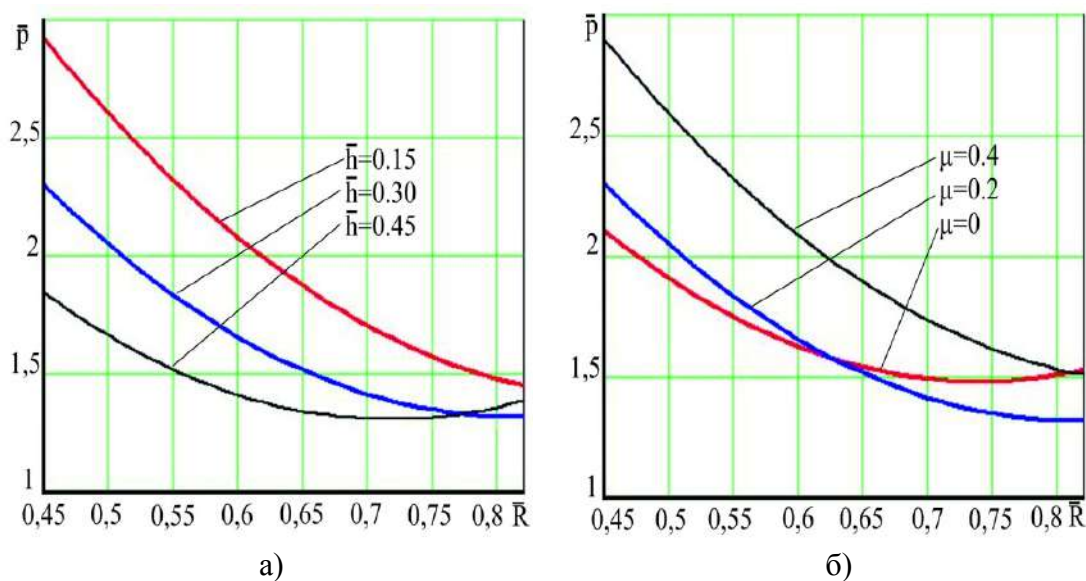


Рис. 4. Графики зависимости приведенного давления от относительного внутреннего радиуса при разном относительном высоте фланца (а) и при разном трении (б)

Графики на рис. 4 показывают снижение силовых параметров. Это объясняется уменьшением объёма очага деформации, который необходимо продеформировать.

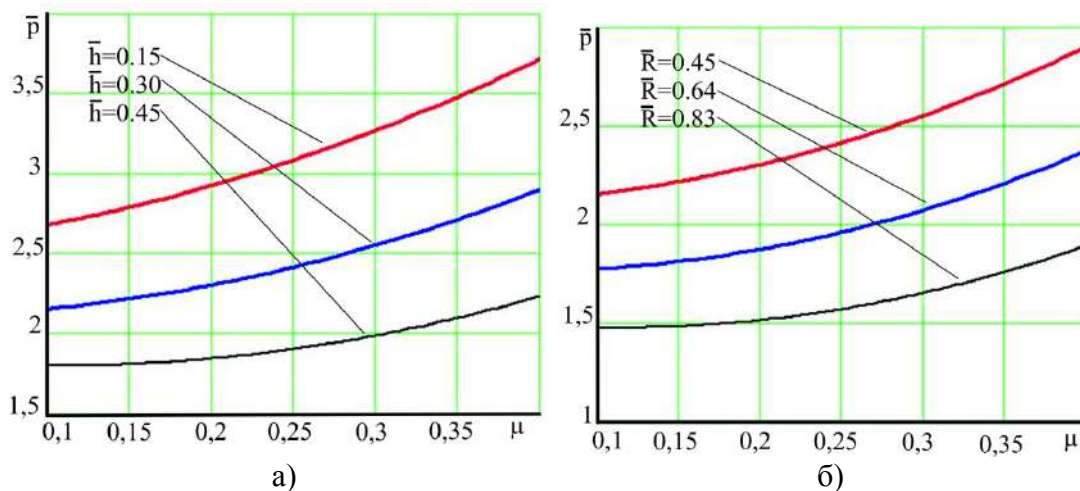


Рис. 5. Графики зависимости приведенного давления от трения при разном относительном высоте фланца (а) и при разном внутреннем радиусе (б)

На рис. 5 графики зависимости энергосиловых параметров от контактного трения. Для графиков характерно возрастание на протяжении всего технологического процесса. Это связано с увеличением поверхности контактного трения заготовки и инструмента, за счет увеличения фланцев.

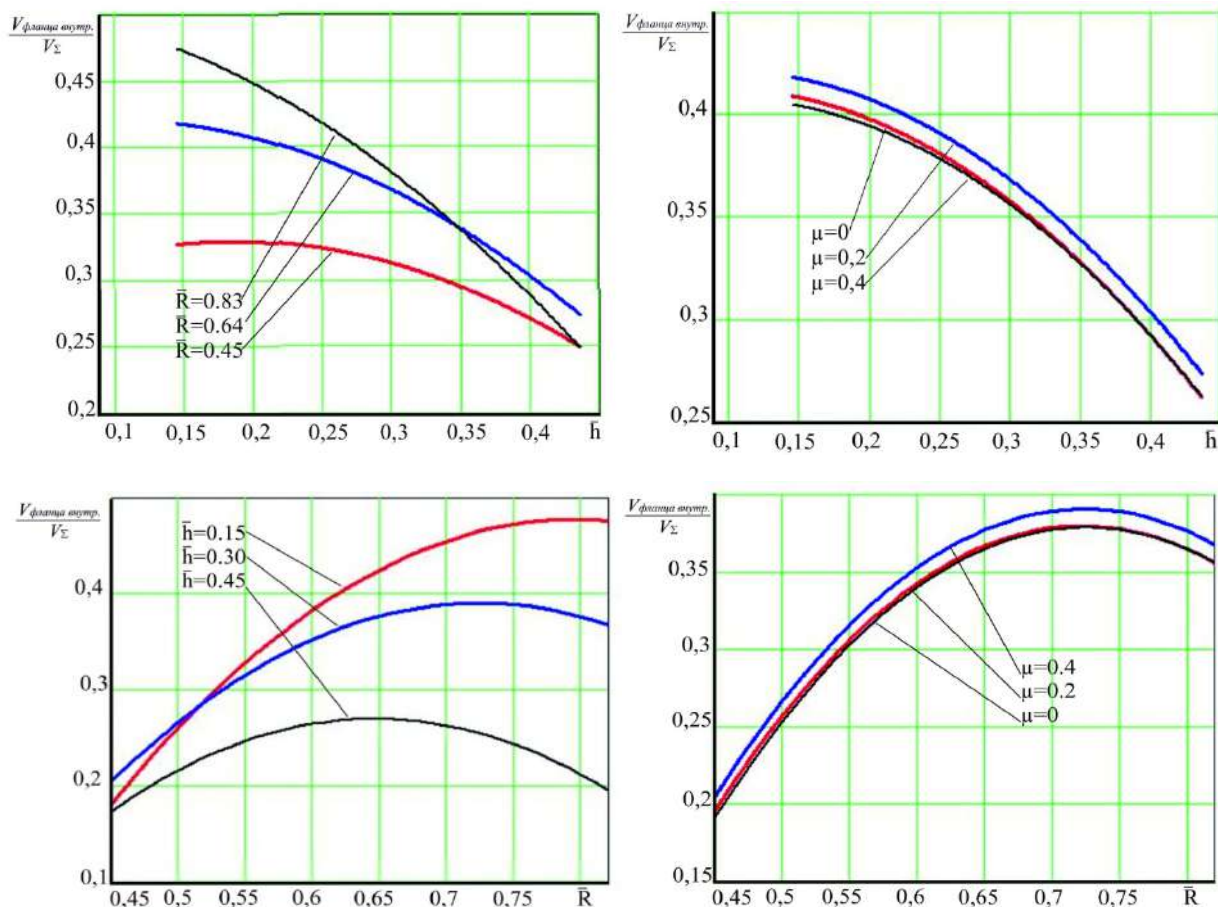


Рис. 6. Графики зависимости формоизменения от геометрии инструмента

На рис. 6 показано, что с увеличением относительной высоты фланца затекание металла в центростремительном направлении уменьшается. Это объясняется тем, что создаются более благоприятные условия для образования внешнего фланца, за счет больших растягивающих окружных напряжений и возрастающих сжимающих окружных напряжений для внутреннего фланца. При изменении характеристик трения с увеличением относительной высоты фланца наблюдается снижение течения металла во внутренний фланец. С уменьшением толщины трубы, при разных условиях трения, заполнения внутреннего фланца возрастает.

### ВЫВОДЫ

Проведено моделирование процесса высадки детали типа втулки с фланцем методом конечных элементов при помощи программного продукта QForm 2D. Была определена форма и место образования очага деформации. Методом планирования эксперимента были получены зависимости приведенного давления, давления и усилия высадки от геометрических параметров получаемой детали и величины контактного трения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиева Л. И. *Формообразование утолщений на полых и сплошных заготовках* / Л. И. Алиева, Р. С. Борисов // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні*, 2004. – С. 51–57.
2. Алиев И. С. *Исследование процесса выдавливания внутреннего фланца на трубной заготовке Исследования в области теории, технологии и оборудования штамповочного производства*. /И. С. Алиев. Тула. ТПИ, 1990. – С. 51–57.
3. Алиев И. С. *Исследование формоизменения при выдавливании полых деталей* /И. С. Алиев. Оптимизация энергосберегающих процессов при ОМД: Ростов н/Д. РИСХМ, 1989. – С. 127–132.
4. Алиева Л. И. *Характеристика формоизменения металла при выдавливании. Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні*. / Л. И. Алиева, Р. С. Борисов, Е. Л. Скрипниченко, 2003. – С. 340–345.
5. *Одностороннее и двустороннее выдавливание фланцевых деталей из трубных заготовок* / К. А. Кирсанов, В. А. Зимин, Е. А. Ревтова, В. Ю. Абраменко // *Кузнечно-штамповочное производство*, 1979. – № 9. – С. 7–9.
6. Новик Ф. С. *Оптимизация процессов технологии металлов методом планирования экспериментов* / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов // *Машиностроение*. – 1980. – 304 с.
7. Жбанков Я. Г. *Получение полых деталей с переменной толщиной стенки на базе использования способов радиально-прямого выдавливания: дис. ... кандидата тех. наук: 05.03.05 – Процессы и машины обработки давлением* / Жбанков Ярослав Геннадьевич. – Краматорск : ДГМА, 2010. – 284 с.