

УДК 621.777

Алиева Л. И.
Мартынов С. В.
Мясушкин Е. А.
Абашева А. Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ФЛАНЦЕВ НА ТРУБНЫХ ЗАГОТОВКАХ

В промышленности осесимметричные детали могут изготавливаться холодной высадкой или способами прямого и обратного выдавливания, а также совмещенным продольным выдавливанием, сочетающим эти два способа [1]. Штамповка большинства осесимметричных полых деталей типа втулок высадкой затруднено из-за возникновения опасности потери устойчивости тонкостенной заготовки, а прямым выдавливанием – из-за появления трещин на границе раздела течения металла.

Радиальное выдавливание и высадка являются наиболее эффективными способами изготовления пустотелых деталей с фланцем. Однако, применение этих способов в практике штамповочного производства, их практическая разработка и освоение требует значительных расходов на технологическую подготовку, так как поиск рациональных режимов проведения технологических операций требует трудоемких экспериментальных работ. Это связано с отсутствием технологических рекомендаций и методик проектирования и выбора технологических режимов. Особенно заметен недостаток таких рекомендаций для разработки процессов выдавливания пустотелых деталей с утолщениями или фланцами из выходных трубчатых заготовок. Именно поэтому необходимость последующего развития теоретических и экспериментальных исследований для заполнения существующего пробела и создания научно обоснованных методик проектирования процессов выдавливания деталей типа втулок является актуальной задачей.

Целью данной работы является исследование процессов холодной объемной штамповки полых деталей с фланцем из трубных заготовок, анализ закономерностей формоизменения, а также исследования формы и характера очага деформации.

В рамках данной работы были исследованы такие способы получения полых деталей с фланцем из трубных заготовок (рис. 1), как радиальное выдавливание и высадка.

При деформировании трубчатых заготовок радиальным выдавливанием с истечением металла в направлении к оси симметрии достигается формообразование на внутренней поверхности детали [2–3]. Расчетная схема процесса, построенная из простых модулей параллельного течения, показана на рис. 1, а. В силу осевой симметрии процесса рассматриваем одну половину трубчатой заготовки. Объем деформируемого металла условно разбит на ряд элементарных зон, из которых зону 1 принимаем «жесткой», а остальные – пластическими.

Для анализа силового режима деформирования при радиальном выдавливании используем энергетический метод.

Компоненты тензора скорости деформации таковы:

$$\text{1-я зона: } \dot{\varepsilon}_z = 0; \dot{\varepsilon}_r = 0; \dot{\varepsilon}_Q = 0;$$

$$\text{2-я зона: } \dot{\varepsilon}_z = -\frac{V_0}{h}; \dot{\varepsilon}_r = \frac{V_0}{2h} + \frac{V_0 R_1^2}{2hr^2}; \dot{\varepsilon}_Q = \frac{V_0}{2h} - \frac{V_0 R_1^2}{2hr^2};$$

$$\text{3-я зона: } \dot{\varepsilon}_z = 0; \dot{\varepsilon}_r = V_0 \frac{(R_1^2 - R^2)}{2hr^2}; \dot{\varepsilon}_\theta = -V_0 \frac{(R_1^2 - R^2)}{2hr^2}.$$

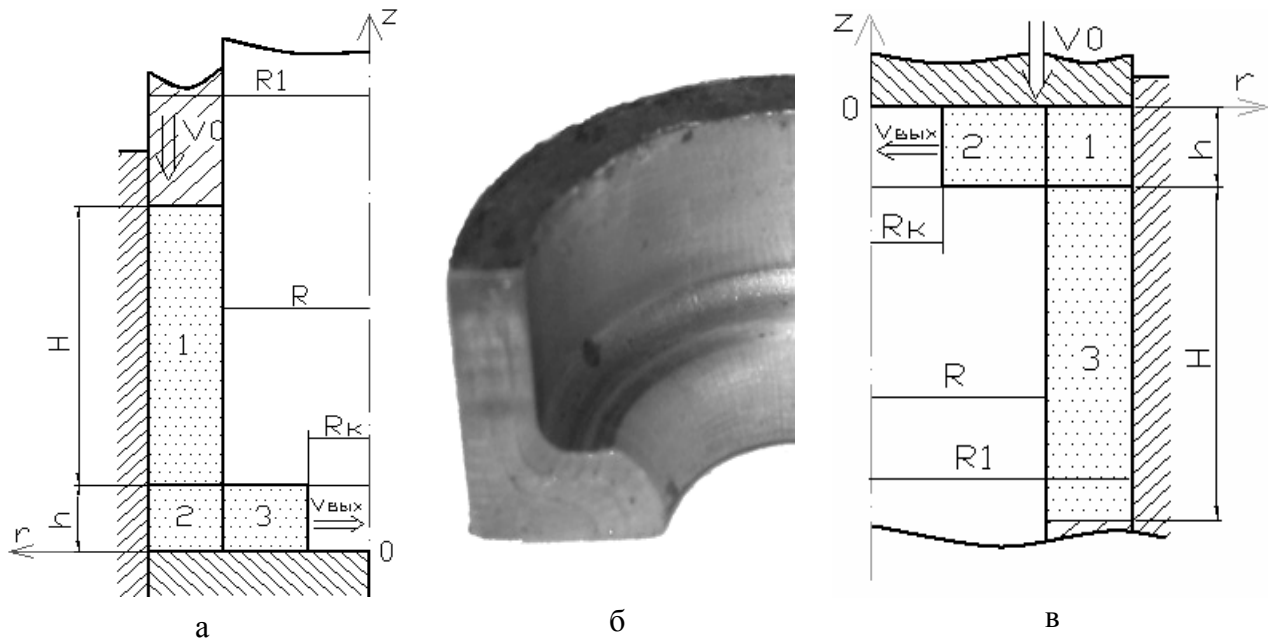


Рис. 1. Схемы и результаты процессов получения полых деталей с фланцем из трубных заготовок :

а – радиальное выдавливание; б – полученная деталь; в – высадка

Значения приведенного давления деформирования p определяем из условия равенства мощностей внешних и внутренних сил на кинематически возможных скоростях перемещений по формуле (1):

$$N_a = PV_0 = p\pi(R_0^2 - R^2)V_0 = N_d + N_c + N_t = N_{d2} + N_{d3} + N_{c2-1} + N_{c3-2} + N_{t2-м} + N_{t2-дно} + N_{t3-опр} + N_{t3-дно} + N_{t1-м} + N_{t1-опр}, \quad (1)$$

где N_{d2}, N_{d3} – мощности пластической деформации в зонах 2, 3;

N_{c2-1}, N_{c3-2} – мощности сил среза на поверхностях разрыва скоростей между зонами 1 и 2, 2 и 3;

$N_{t2-м}, N_{t2-дно}, N_{t3-опр}, N_{t3-дно}, N_{t1-м}, N_{t1-опр}$ – мощности сил контактного трения заготовки и инструмента.

Приведенное давление определяем по формуле (2):

$$\bar{p} = \frac{p}{\sigma_s} = \frac{N_a}{[\pi(R_1^2 - R^2)V_0\sigma_s]}. \quad (2)$$

Мощность сил пластической деформации рассчитывается по формуле (3):

$$N_d = \iiint_{V_d} \sigma_s \varepsilon_i dV_d, \quad (3)$$

где V_d – объем соответствующей зоны очага деформации.

Подставив в равенство (1) все найденные значения мощностей N_d , N_c , N_t и, сокращая на выражение $\sigma_s V_0 \pi (R_1^2 - R^2)$, после преобразований получим формулу (4) для определения относительного удельного усилия на пуансоне при радиальном выдавливании:

$$\bar{p} = \left[\frac{\beta - \sqrt{\bar{R}4 + \frac{1}{3}} + \frac{\beta}{4} \ln \left| \frac{\sqrt{\bar{R}^4 + \frac{1}{3}} + \frac{\beta}{2}}{3\sqrt{\bar{R}^4 + \frac{1}{3}} - \frac{\beta}{2}} \right|}{1 - \bar{R}^2} \right] + \left[\beta \ln \frac{\bar{R}}{R_k} \right] + \left[\frac{(1 - R)}{2h(1 - R^2)} \right] + \left[\frac{\beta h \bar{R}}{2(1 - \bar{R}^2)} \right] + \left[\frac{\beta \mu_s \bar{h}}{(1 - \bar{R}^2)} \right] + \left[\frac{\beta \mu_s}{(1 + \bar{R})} - \frac{\mu_s (1 - \bar{R})}{3\bar{h}} \right] + \left[\frac{\mu_s (\bar{R} - \bar{R}_k)}{\bar{h}} \right] + \left[\frac{\mu_s (\bar{R} - \bar{R}_k)}{\bar{h}} \right] + \left[\frac{2\mu_s (\bar{H} - \bar{h})}{(1 - \bar{R}^2)} \right] + \left[\frac{2\mu_s \bar{R} (\bar{H} - \bar{h})}{(1 - \bar{R}^2)} \right], \quad (4)$$

где β – коэффициент, равный $\frac{2}{\sqrt{3}}$; $\bar{R} = \frac{R}{R_1}$; $\bar{R}_k = \frac{R_k}{R_1}$; $\bar{h} = \frac{h}{R_1}$; $\bar{H} = \frac{H}{R_1}$.

Анализ кривых, приведенных на рис. 2, показывает, что увеличение толщины фланца до величины, равной 0,4 радиуса детали, приводит к снижению приведенного давления. Дальнейшее увеличение высоты фланца на величину давления влияния не оказывает.

Анализируя влияние радиуса фланца на величину усилия деформации можно заключить, что при величине отверстия, равной 0,7 радиуса детали, наблюдается минимум давления; уменьшение радиуса отверстия приводит к незначительному увеличению давления, а радиусы, превышающие 0,7 радиуса детали, значительно увеличивают величину приведенного давления.

Влияние радиуса отверстия на усилие деформации также имеет четко выраженный характер до величины, равной 0,6 радиуса детали приведенное давление уменьшается, затем наступает стабилизация.

Аналогичным образом получим аналитическую формулу расчета приведенного давления и совокупность кривых, описывающих зависимость давления от конструкторско-технологических параметров процесса получения высадкой полых деталей с фланцем (рис. 1, б). Величина приведенного давления определяется по формуле (5):

$$\bar{p} = \left[\frac{2 \int_{R_k}^1 \frac{1}{r} \sqrt{r^2 + \frac{1}{3}} dr}{1 - R_k^2} \right] + \left[-\frac{\beta(1 - \bar{R}^3)}{6\bar{h}(1 - \bar{R}_k^2)} + \frac{\beta(1 - \bar{R})}{2\bar{h}(1 - \bar{R}_k^2)} \right] + \left[-\frac{\beta \mu_s (1 - \bar{R}_k^3)}{3\bar{h}(1 - \bar{R}_k^2)} + \frac{\beta \mu_s (1 - \bar{R}_k)}{\bar{h}(1 - \bar{R}_k^2)} \right] + \left[-\frac{\beta \mu_s (\bar{R}^3 - \bar{R}_k^3)}{3\bar{h}(1 - \bar{R}_k^2)} + \frac{\mu_s (\bar{R} - \bar{R}_k)}{\bar{h}(1 - \bar{R}_k^2)} \right]. \quad (5)$$

Анализ кривых, приведенных на рис. 3, показывает, что увеличение толщины фланца до величины, равной 0,4 радиуса детали, приводит к снижению приведенного давления, дальнейшее увеличение высоты фланца на величину давления влияния не оказывает.

Анализируя влияние радиуса отверстия на величину приведенного давления можно сделать вывод, что увеличение радиуса отверстия приводит к нелинейному снижению давления.

Влияние радиуса фланца на приведенное давление также имеет четко выраженный характер нелинейного снижения приведенного давления.

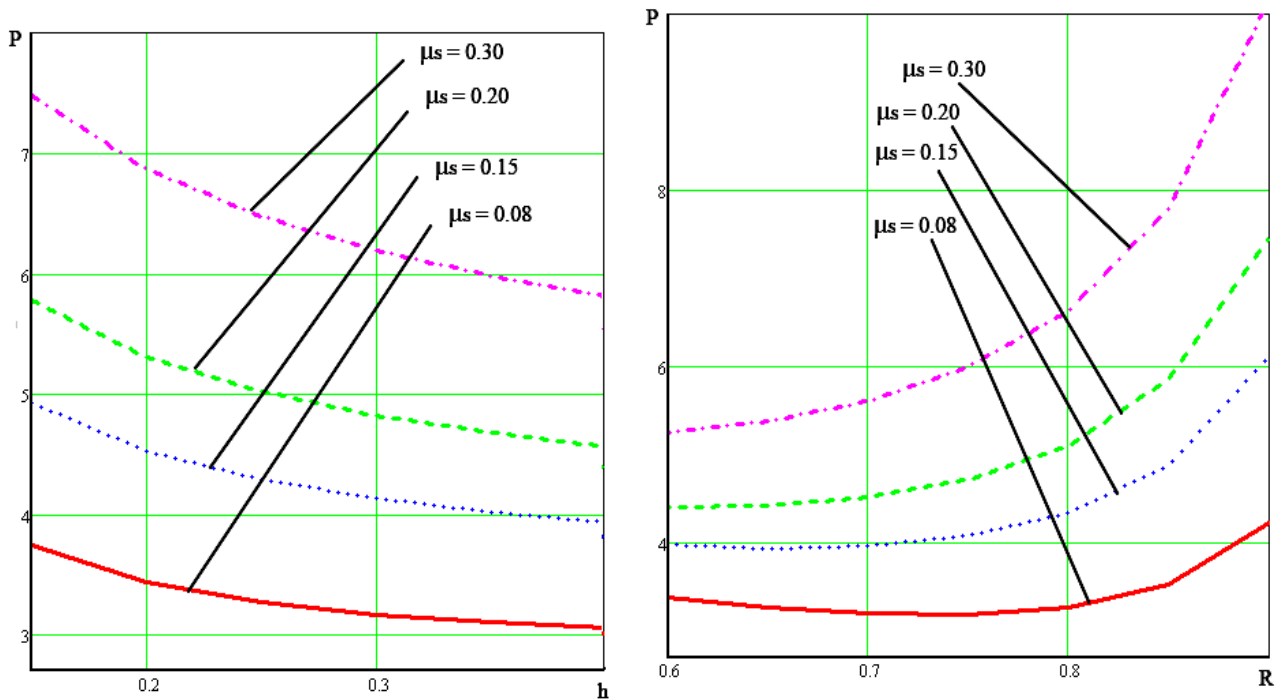


Рис. 2. Кривые, описывающие зависимости приведенного давления от конструкторско-технологических параметров процесса радиального выдавливания полых деталей с фланцем

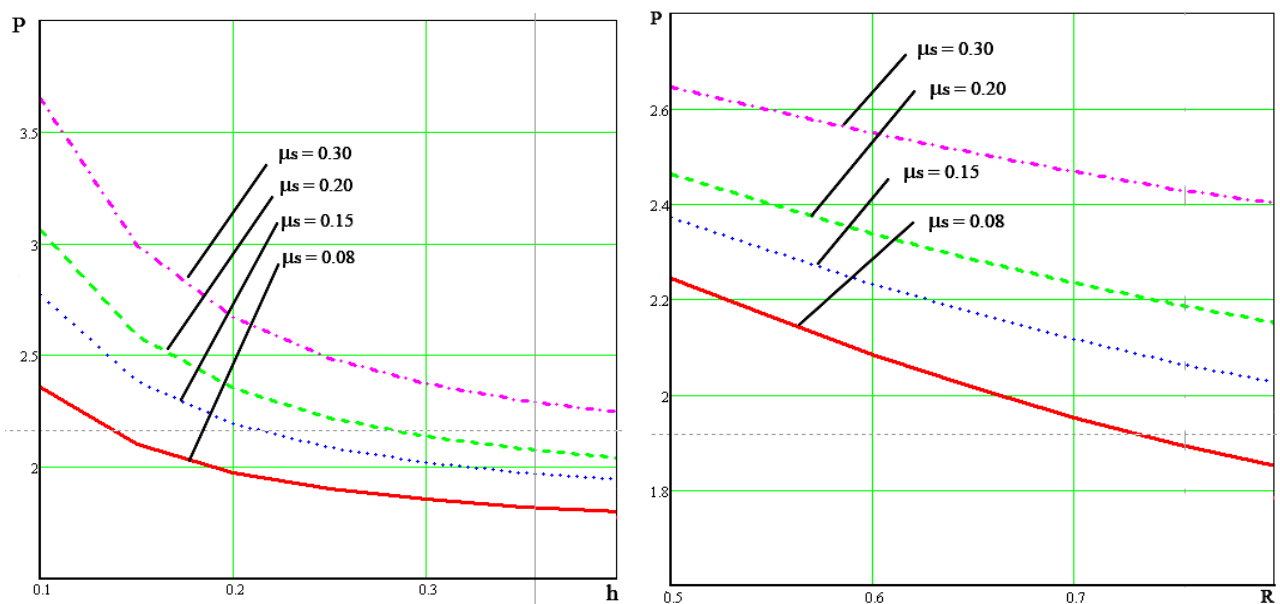
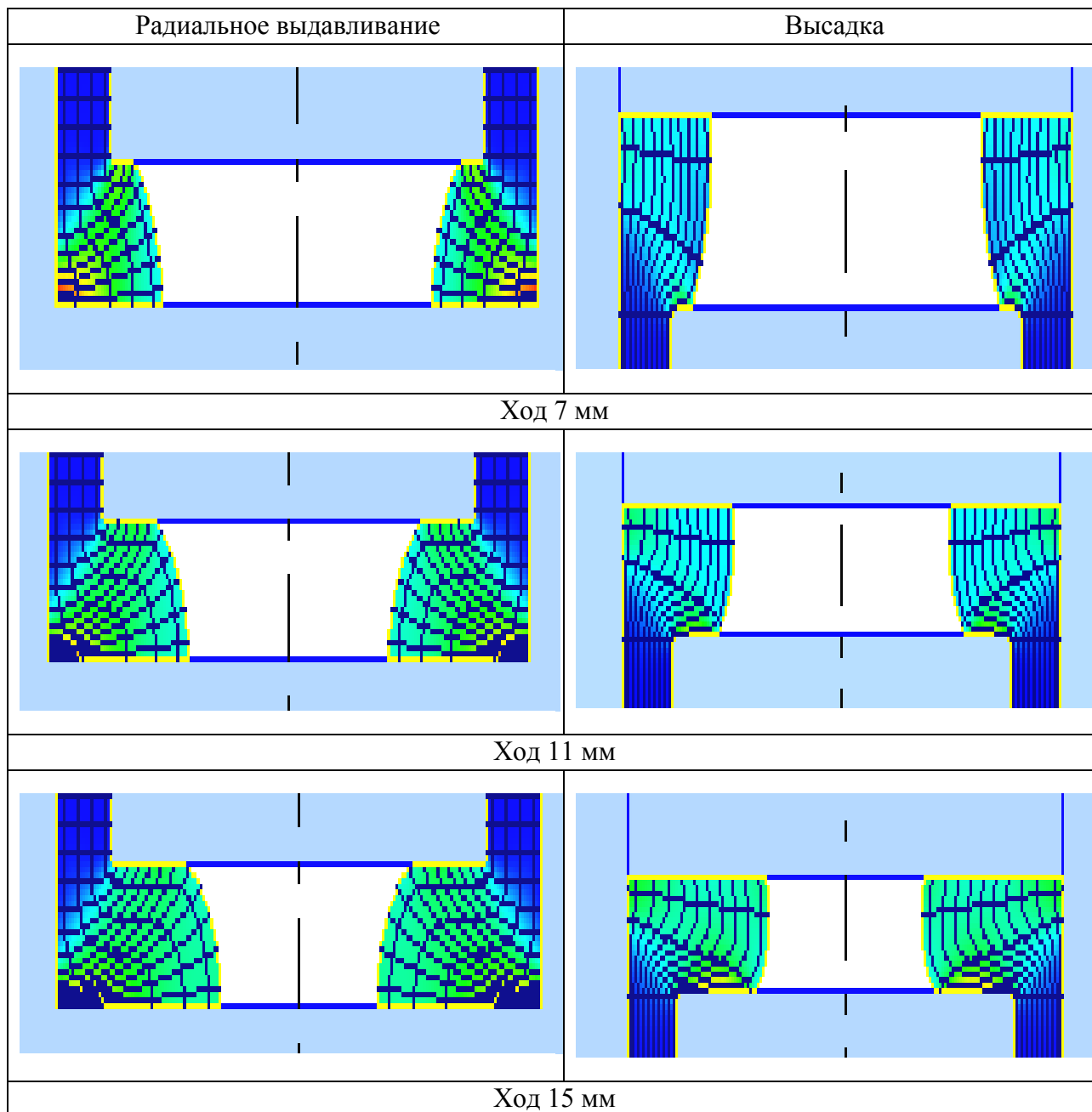


Рис. 3. Кривые, описывающие зависимости приведенного давления от конструкторско-технологических параметров процесса получения высадкой полых деталей с фланцем

При определении характера течения в очаге деформации было также выполнено моделирование процессов радиального выдавливания и высадки трубных заготовок в пакете QFORM [4–5], результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1
Сравнение процессов формообразования радиального выдавливания и высадки
в программном пакете QForm-2D



Анализируя напряженно-деформированное состояние процессов высадки и радиального выдавливания стакана с фланцем можно заключить, что очаг деформации имеет выраженный параболический характер, который распространен на высоту фланца и имеет максимальное значение деформации около кромки фланца.

Поэтому при дальнейших исследованиях энергетическим методом необходимо заменять прямоугольные блоки параболическими.

Сравнение результатов экспериментальных исследований с математическим моделированием процессов высадки и радиального выдавливания полых деталей с внутренним фланцем показывает, что результаты, полученные в пакете QFORM, дают величину давления, завышенную на 5 %, а энергетический метод дает погрешность 12 %, что обусловлено применением прямоугольных блоков.

ВЫВОДЫ

1. Разработана модель силового режима для процесса радиального выдавливания и высадки внутренних фланцев. Получены расчетные зависимости для приведенных давлений деформирования. Сопоставление расчетных выражений, полученных энергетическим методом для радиального выдавливания, показывает их хорошее совпадение с экспериментальными значениями. Расчетные выражения, полученные энергетическим методом для высадки и радиального выдавливания, дают значения, завышенные на 12–16 %, что вызвано несоответствием упрощенной формы очага деформации реальной картине течения.

2. Экспериментальное исследование силового режима подтверждает адекватность математических моделей для расчета давлений деформирования при радиальном выдавливании и высадке полых деталей с фланцами.

3. При помощи метода конечных элементов в пакете QFORM получена картина напряженно-деформированного состояния процессов высадки и радиального выдавливания полых деталей с фланцем, выполнен анализ формы очага деформации, сделаны выводы о параболическом характере распределения деформации в очаге.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиева Л. И. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки выдавливанием / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Вестник ДГМА. – 2008. – № 1 (11). – С. 13–19.
2. 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. 340–345.
3. Алиев И. С. Исследование процесса выдавливания внутреннего фланца трубной заготовки / И. С. Алиев // Исследования в области теории, технологии и оборудования штамповочного производства. – Тула. ТПИ, 1990. – С. 51–57.
4. Алиев И. С. Исследование формоизменения при выдавливании полых деталей / И. С. Алиев // Оптимизация металлосберегающих процессов при ОМД. – Ростов н/Д. : РИСХМ, 1989. – С. 127–132.
5. Алиева Л. И. Характеристика формоизменения металла при выдавливании / Л. И. Алиева, Р. С. Борисов, Е. Л. Скрипниченко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні, 2003. – С. 340–345.
6. Биба Н. В. Применение программы Qform 2D/3D для разработки малоотходной технологии штамповки / Н. В. Биба, С. А. Стебунов // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. – Том 5. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ : Системні технології, 2002. – С. 221–226.
7. Qform 2D/3D программа моделирования объемной штамповки // ООО «КванторФорм». – 1991–2008 – 152 с.

Алиева Л. И. – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры ОМД ДГМА;

Мартынов С. В. – ассистент кафедры ОМД ДГМА;

Мясушкин Е. А. – аспирант ДГМА;

Абашева А. Г. – студент ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

Email: jackmyasushkin@yandex.ru