

УДК 621.774.01

Алиев И. С.
Жбанков Я. Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО РЕЖИМА ПРОЦЕССА РАДИАЛЬНО-ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С ОБЖАТИЕМ

Все большее значение приобретают новые наукоемкие технологии в машиностроении, которые позволяют изготавливать дешевые качественные детали и как следствие повышать рентабельность машиностроительных предприятий [1].

К таким технологиям относятся процессы холодного выдавливания. Данные процессы позволяют изготавливать детали с минимальными припусками и напусками. К преимуществам также относятся и хорошая проработка металла, из которого изготавливается деталь [2]. Способы холодного выдавливания отличаются своим разнообразием схем и как следствие разнообразием форм деталей, которые возможно изготавливать.

При изготовлении машин и механизмов используются полые детали с переменной толщиной стенки. Методами выдавливания эффективно такие детали, возможно, изготавливать по схемам с дополнительно подвижным формующим инструментом [3]. К таким схемам относится схема радиально-прямого выдавливания на подвижной конусной оправке [4, 5].

По схеме, представленной на рис. 1, возможно получать полые детали со сложным контуром поверхности.

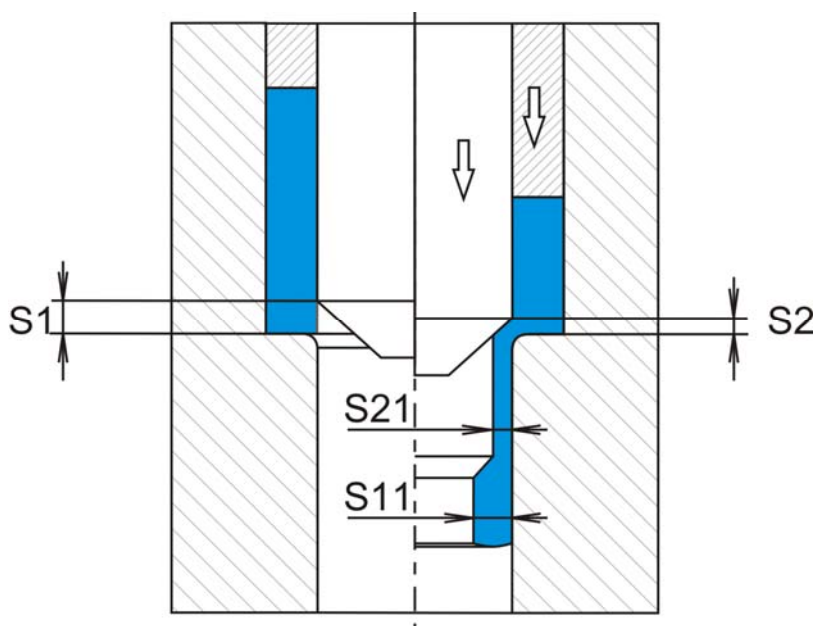


Рис. 1. Радиально-прямое выдавливание на подвижной оправке

Схема процесса радиально-прямого выдавливания на конусной оправке имеет три частных случая (рис. 2). В первом (см. рис. 2, а) диаметр оправки равен меньшему диаметру матрицы, во втором (см. рис. 2, б) диаметр оправки меньше меньшего диаметра матрицы и в третьем (см. рис. 2, в) диаметр оправки больше меньшего диаметра матрицы.

Рассмотрим схему представленную на рис. 2, в, когда диаметр оправки больше меньшего диаметра матрицы.

При проектировании технологического процесса выдавливания важным является знать усилие деформирования, для выбора оборудования и расчета деформирующего инструмента.

Целью данной работы является исследование силового режима процесса радиально-прямого выдавливания на конусной оправке.

Исследования проводились методом верхней оценки и методом конечных элементов в программе QForm-2D. Адекватность решений проверялась экспериментально.

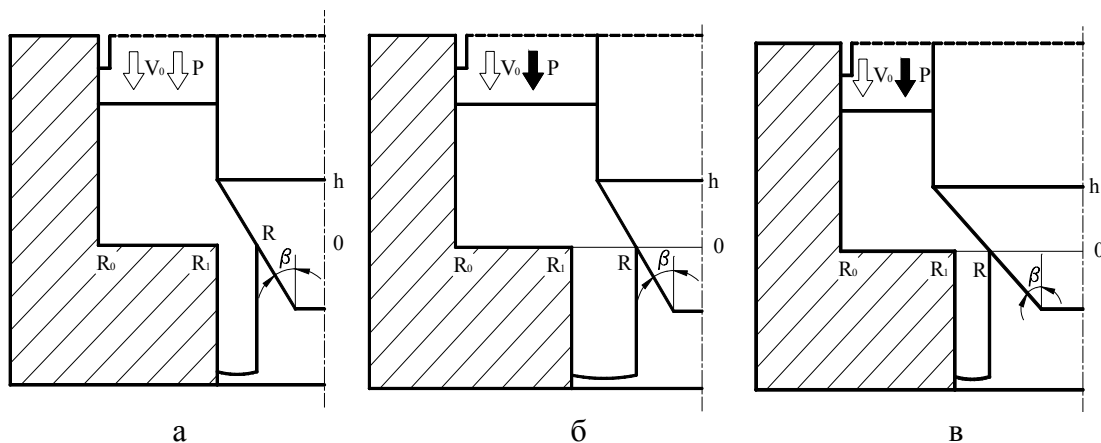


Рис. 2. Схемы радиально-прямого выдавливания на подвижной конусной оправке: а – нулевой зазор; б – положительный зазор; в – отрицательный зазор

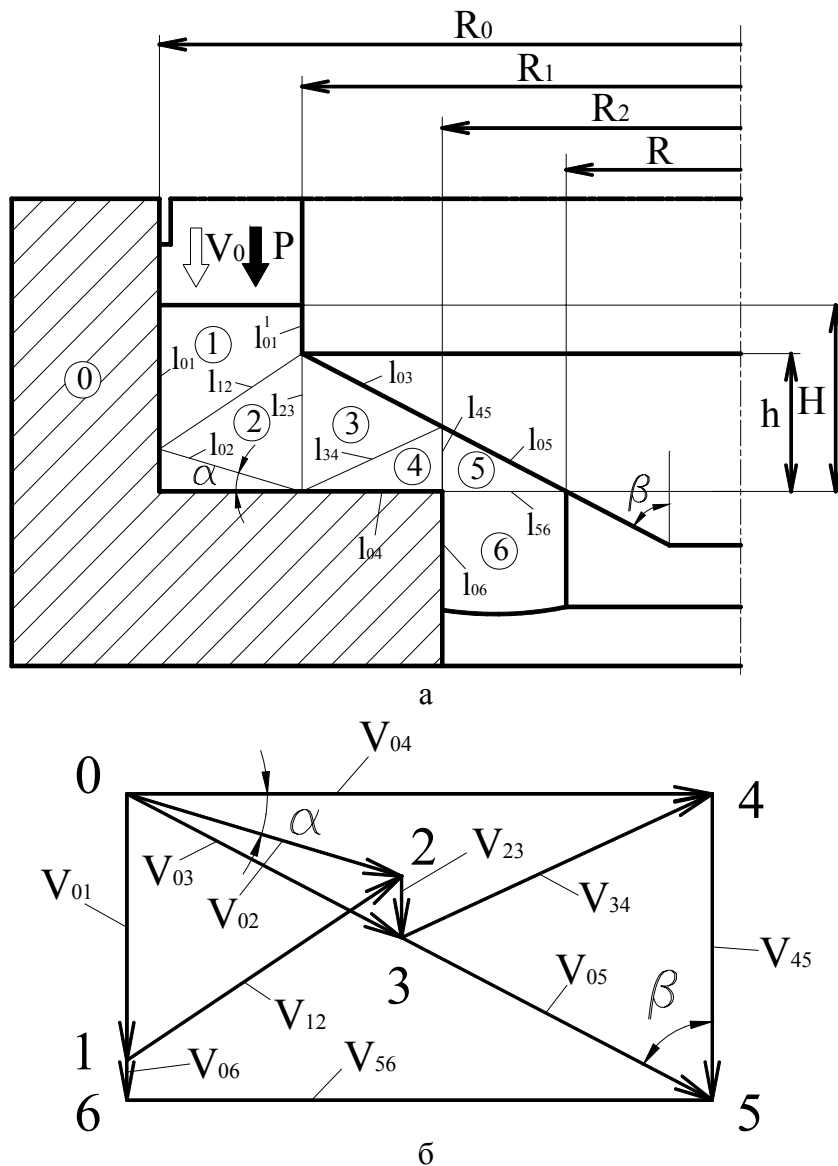


Рис. 3. Расчетная схема процесса радиально-прямого выдавливания на оправке: а – схема разбивки очага деформации; б – годограф скоростей

При исследовании процесса методом верхней оценки очаг деформации разбивался на ряд жестких треугольных блоков и строился годограф скоростей перемещений треугольных блоков рис. 3. По известной методике определялось приведенное давление процесса (1) [6]:

$$\bar{p} = \frac{1}{2 \cdot (R_0 - R_1)} \cdot \left(\begin{aligned} & \left(\frac{(R_0 - R_1)^2 + (h - (R_0 - R_1) \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2}{h} + \left(\frac{R_0 - R_1}{\cos(\alpha)} \right)^2 \cdot \frac{1}{h} + \right. \\ & \left. (ctg \beta - \operatorname{tg} \alpha) \cdot (R_0 - R_1) + \right. \\ & \left. \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + \left(\frac{R_2 - R}{\operatorname{tg} \beta} \right)^2} \cdot \sqrt{(R_0 - R_1)^2 + (h - (R_0 - R_1) \operatorname{tg} \alpha)^2} \cdot \frac{R_0 - R_1}{(R_2 - R) \cdot h} \right. \\ & \left. + \frac{R_0 - R_1}{\operatorname{tg} \beta} + (R_0 - R_1) \cdot \operatorname{tg} \beta + 2 \cdot \mu \cdot ((2H - (R_0 - R_1) \cdot \operatorname{tg}(\alpha)) + \right. \\ & \left. \frac{(R_0 - R_1) \cdot (R_1 - R_2)}{R_2 - R} \cdot \operatorname{tg} \beta + \right. \\ & \left. + \frac{(R_0 - R_1)(R_1 - R_2)}{h} \cdot \frac{1}{\sin^2 \beta} + \frac{R_0 - R_1}{\sin \beta \cdot \cos \alpha} + \frac{R_0 - R_1}{R_2 - R} \cdot h \right) \end{aligned} \right), \quad (1)$$

где $S = R_1 - R$.

В формуле приведенного давления величины β и α являются варьируемыми величинами. Критерием, по которому подбираются наилучшие значения варьируемых параметров, является минимум приведенного давления. Подбор значений параметров производился с помощью ЭВМ в среде MathCAD путем перебора численных значений варьируемых параметров от минимально до максимально возможных с некоторым заданным шагом. Результаты подбора по параметру β представляется в виде графиков (рис. 4). Наилучшее значение параметра α подбирается автоматически в теле программы, т. е. каждому значению параметра β отвечает значение параметра, α при котором приведенное давление минимально.

Анализ графиков (см. рис. 4) позволил установить, что существуют значения параметра, β при которых приведенное давление процесса минимально этим значениям соответствуют нижние точки кривых. Как видно наилучшее с точки зрения минимума приведенного давления значение угла наклона образующей оправки лежит в пределах 30...45 °.

Также из графиков видно, что чем меньше толщина выдавливаемой стенки, $\bar{S}_2 = (R_2 - R)/(R_0 - R_1)$ тем выше приведенное давление процесса, это объясняется тем, что при меньше толщине стенки выдавливаемый металл получает большую степень деформации. Так при уменьшении относительной толщины стенки от 1 до 0,16 ($R_2/R_0 = 0,6$) приведенное давление деформирования увеличивается с 2,6 до 4,1 единиц (на 57 %) (см. рис. 4). Таким образом, чем меньше значение внутреннего диаметра выдавливаемой детали, при постоянном размере матрицы, тем меньше приведенное давление процесса выдавливания.

Но при одинаковой толщине стенки при увеличении меньшего диаметра матрицы R_2/R_0 с 0,4 до 0,6 приведенное давление процесса уменьшается с 4,1 до 3,9 единиц на 5 % (см. рис. 4). Таким образом, чем больше внутренний диаметр матрицы, тем меньше приведенное давление процесса.

При исследовании процесса радиально-прямого выдавливания на конусной оправке в программе QForm-2D моделировалось выдавливание заготовок из сплавов АД1 С1.

По результатам математических экспериментов, проведенных в пакете QForm-2D, были построены графики зависимостей давления выдавливания от хода ползуна прессы и от величины относительной толщины выдавливаемой стенки (рис. 5–6).

Анализ теоретических зависимостей давление – ход ползуна прессы при радиально-прямом выдавливании позволяет выделить три стадии процесса (см. рис. 5). На первой происходит вначале радиальное течение металла (до соприкосновения с оправкой), а затем разворот металла и прямое течение. Течение металла нестационарное и происходит рост давления выдавливания на деформирующем пуансоне. На второй стадии течение металла является установившемся, и давление выдавливания немного уменьшается из-за уменьшения поверхности трения между заготовкой и инструментом. На заключительном этапе процесса деформирующий пуансон доходит до очага деформации, вследствие чего начинается рост давления выдавливания. На кривой давление-ход (см. рис. 5) эта стадия выглядит как рост давления выдавливания.

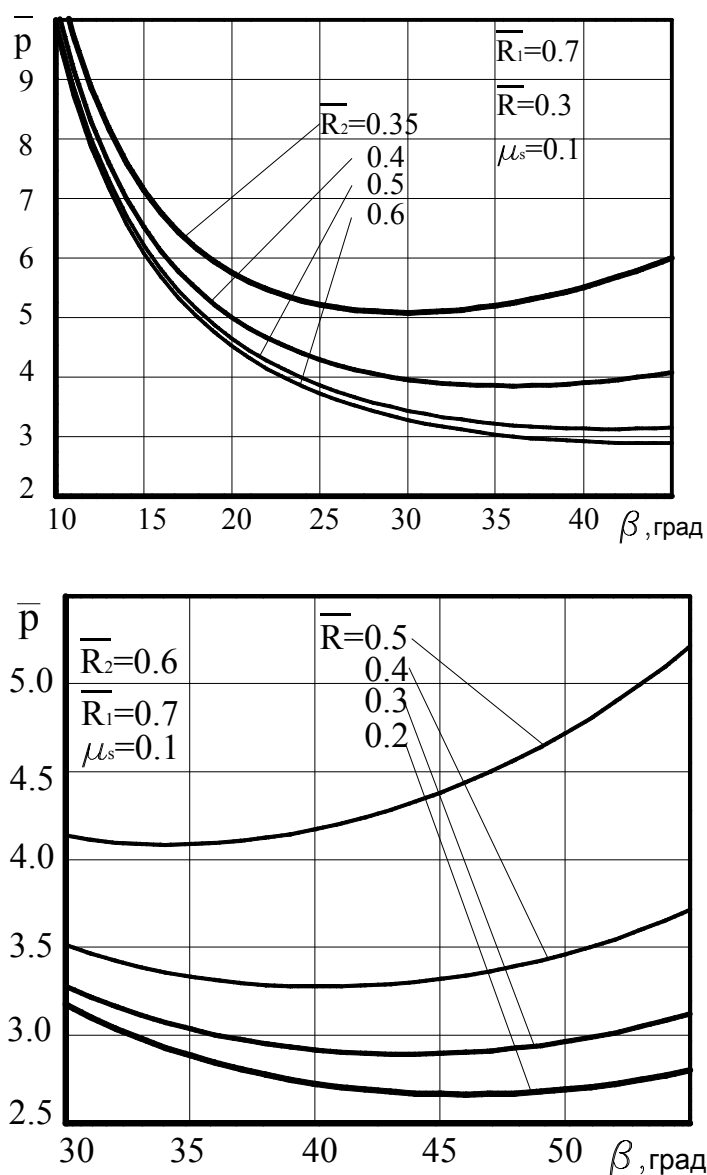


Рис. 4. Графики зависимости приведенного давления выдавливания от геометрических параметров процесса

Были проведены математические эксперименты по выдавливанию заготовки с различными величинами относительной толщины стенки \bar{S}_2 от 0,16 до 1.

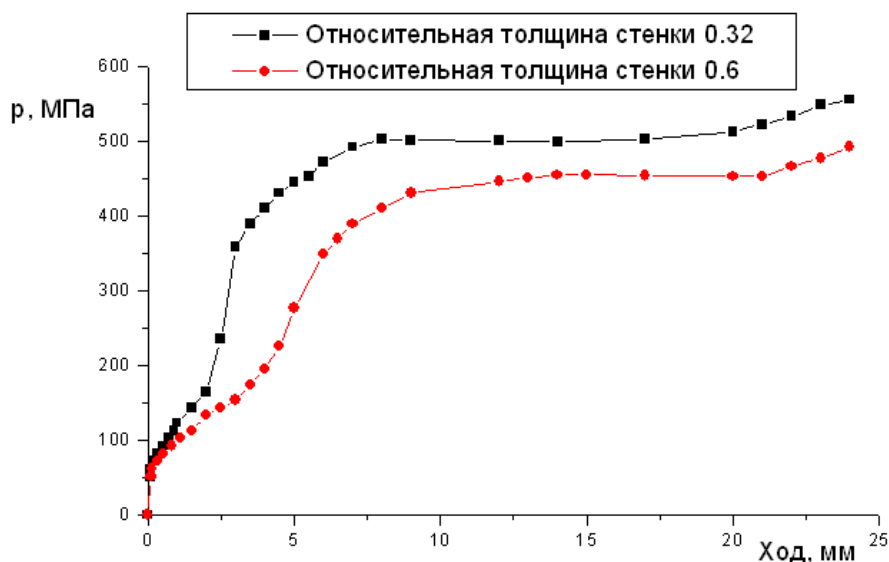


Рис. 5. График зависимости давления деформирования от хода ползуна прессы (материал АД1)

Анализ зависимостей давления выдавливания от величины относительной толщины выдавливаемой стенки (см. рис. 6) позволил установить, что при уменьшении относительной толщины стенки давление выдавливания увеличивается. Это связано с увеличением степени деформации, которую получает выдавливаемый металл.

Для проверки адекватности разработанных математических моделей процесса радиально-прямого выдавливания были проведены экспериментальные исследования по выдавливанию заготовок из материала С1.

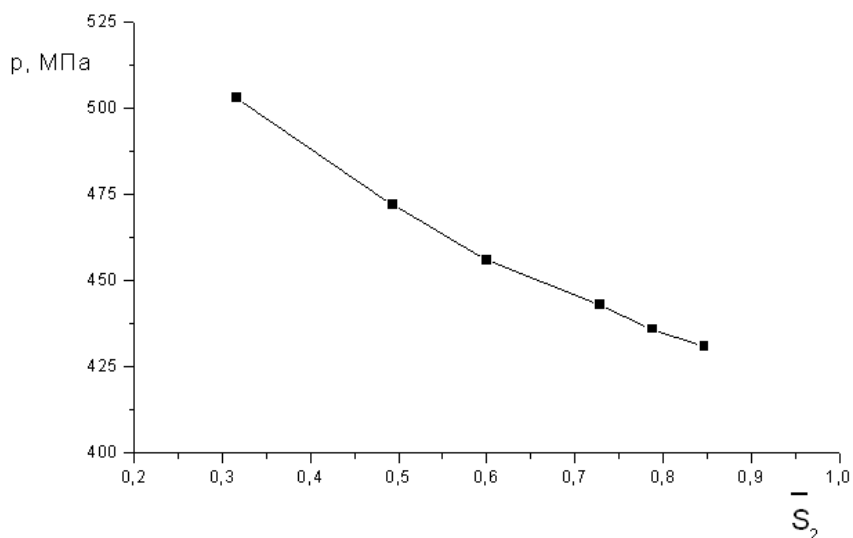


Рис. 6. График зависимости давления деформирования от относительной толщины выдавливаемой стенки (материал АД1)

На рис. 7 представлен график, с нанесенными экспериментальными и теоретическими значениями, показывающий зависимость давления выдавливания при радиально-прямом выдавливании на конической оправке от величины относительной толщины выдавливаемой стенки. Из графика видно, что завышение теоретического решения полученного МВО находится в пределах 19 %. Данная величина отклонения теоретического решения от экспериментального достаточно велика. Была проведена поправка теоретически полученной формулы приведенного давления выдавливания при помощи поправочного коэффициента A . Данный коэффициент находился подбором функций.

Поправка формулы (1) осуществляется умножением на коэффициент (2):

$$A = 0,3293 \cdot ((R_2 - R)/(R_0 - R_1))^2 - 0,7317 \cdot (R_2 - R)/(R_0 - R_1) + 1,2023. \quad (2)$$

Адаптированная формула, полученная МВО, дает отклонение от экспериментальных данных в пределах 5 %. Данные, полученные МКЭ, в пакете QForm-2D, несколько отличаются от экспериментально полученных давлений выдавливания. Отклонение находится в пределах 5 %.

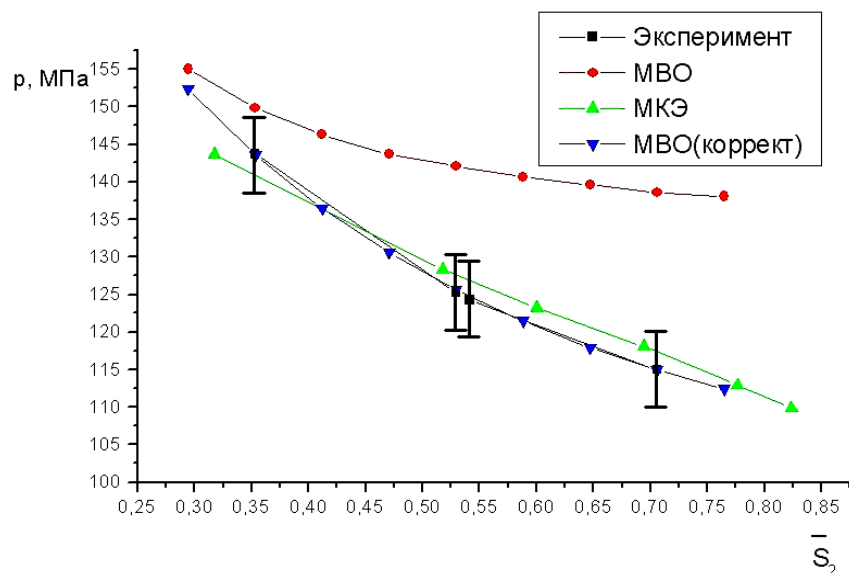


Рис. 7. График зависимости усилия деформирования от толщины выдавливаемой стенки (материал С1)

Некоторые детали, полученные радиально-прямым выдавливанием на конусной оправке, представлены на рис. 8.



Рис. 8. Детали, полученные радиально-прямым выдавливанием на конусной оправке

ВЫВОДЫ

Способы радиально-прямого выдавливания обладают большими возможностями по формоизменению. При помощи данного способа возможно получать полые сложнопрофилированные детали.

Исследован силовой режим процесса радиально-прямого выдавливания на конусной оправке по схеме, когда диаметр оправки больше меньшего диаметра матрицы.

Методом верхней оценки разработана математическая модель силового режима процесса выдавливания. Установлено, что наилучшее с точки зрения минимума приведенного давления значение угла наклона образующей оправки лежит в пределах 30... 45 °. Также определили, что чем меньше толщина выдавливаемой стенки, тем выше приведенное давление процесса.

Моделированием в программе QForm-2D был исследован силовой режим процесса радиально-прямого выдавливания на конусной оправке. Установлено, что весь процесс выдавливания можно разделить на три стадии по силовому режиму. Первая стадия характеризуется резким ростом усилия. На этой стадии происходит радиальное выдавливание в коническую полость и разворот металла. На второй стадии течение металла является установившемся, и давление деформирования немного уменьшается из-за уменьшения поверхности трения между заготовкой и инструментом. На заключительном этапе процесса деформирующий пуансон доходит до очага деформации, вследствие чего начинается рост давления деформирования. Эта стадия сопровождается ростом давления выдавливания.

Произведена экспериментальная проверка результатов, полученных МВО и МКЭ. Завышение теоретического решения, полученного МВО, над экспериментом находится в пределах 19 %, что говорит об адекватности разработанной математической модели в определенном диапазоне размеров. Отклонение значений давления деформирования, полученных моделированием в пакете QForm-2D, от экспериментально полученных, находится в пределах 10 %. Данные, полученные по адаптированной формуле, полученной МВО, также дают отклонение от эксперимента в пределах 10 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артес А. Э. Холодная объемная штамповка в мелкосерийном и серийном производстве / А. Э. Артес. – М. : НИИМАШ, 1982. – 58 с.
2. Алиев И. С. Решение проблемы формоизменения математическим моделированием в процессе радиально-прямого выдавливания на оправке / И. С. Алиев, Я. Г. Жбанков, П. Абхари // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематичний зб. наук. пр. – Краматорськ, 2008. – С. 26–30.
3. Алиев И. С. Формоизменение при радиально-прямом выдавливании на оправке / И. С. Алиев, Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Обработка металлов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск, 2008 – С. 171–176.
4. Алиев И. С. Формоизменение заготовки при радиально-прямом выдавливании на оправке / И. С. Алиев, Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков / Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет». – 2008. – № 10 (141). – С. 201–205.
5. Алиева Л. И. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки выдавливанием / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА. – 2008. – № 1(11). – С. 13–19.
6. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением / В. А. Евстратов. – Харьков : Вища школа, 1981. – 248 с.

Алиев И. С. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ОМД ДГМА;
Жбанков Я. Г. – аспирант ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua