

УДК 621.774

Л. И. АЛИЕВА, канд. техн. наук, доц., ДГМА, Краматорск
Н. С. ГРУДКИНА, ассистент, ДГМА, Краматорск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЛЬНО-ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА СТАКАН С ФЛАНЦЕМ

Предложена математическая модель процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания деталей типа стакан с фланцем, позволяющая определять энергосиловые параметры процесса, а также исследовать поэтапное и конечное формоизменение заготовки. Проведен сравнительный анализ картин поэтапного формоизменения на основе предложенной расчетной схемы, конечно-элементного моделирования и экспериментальных данных.

Ключевые слова: штамповка, фланец, выдавливание, энергосиловые параметры, формоизменение.

Введение. На машиностроительных предприятиях полые детали типа стаканов и втулок с фланцами (используются в качестве корпусов, креплений и т.д.) в основном изготавливаются механической обработкой резанием. Однако получаемые данным способом детали характеризуется пониженными эксплуатационными характеристиками, а процессу изготовления подобных деталей присущи повышенная трудоемкость и низкий коэффициент использования металла за счет удалений излишков металла в стружку. Альтернативой способам механической обработки являются способы ОМД, особое место среди которых занимает холодная объемная штамповка (ХОШ) [1, 2]. К достоинствам данного вида обработки можно отнести благоприятную макроструктуру металла после деформаций за счет его проработки (появляется возможность заменять марки материалов за счет повышения механических характеристик), отсутствие перерезанных волокон и высокий коэффициент использования металла. Недостатком способов холодной штамповки является повышенные нагрузки на инструмент, поэтому актуальным является создание и исследование новых схем штамповки, позволяющих снизить нагрузки на инструмент и расширить номенклатуру штампуемых изделий.

Основными задачами в данном направлении являются разработка и освоение технологических процессов ХОШ с использованием комбинированного выдавливания, имеющих достаточные преимущества по сравнению с простыми схемами деформирования. К характерным особенностям методики расчёта данных технологий следует отнести наличие трудоёмких процедур анализа силового и кинематического режима процесса. При этом, в энергетическом методе ключевое значение имеет подбор подходящих функций, описывающих кинематически возможное поле скоростей (КВПС), удовлетворяющее граничным условиям, условию несжимаемости материала и условию неразрывности нормальных компонент скорости [2]. В качестве элементарных модулей при построении расчетной схемы могут быть использованы как простые (прямоугольные или треугольные модули), так и более сложные (трапецеидальные, криволинейные). Выбор элементарных составляющих расчетной схемы процесса и ее построение осуществляется, исходя из экспериментальных данных и возможности последующего расчета с минимальной трудоемкостью [3-5]. Поэтому построение адекватной расчетной модели, не вызывающей существенного усложнения математического аппарата при расчете энергосиловых параметров процесса, а также характеристик поэтапного формоизменения, является первостепенной задачей исследователя.

© Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина, 2012

Целью данной работы является проведение теоретического анализа процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания деталей типа стакан с фланцем.

Для достаточно высоких заготовок с высотой фланца менее толщины стенки стакана была предложена расчётная схема процесса осесимметричного выдавливания, содержащая трапецидальный модуль 1 (см. рис. 1). При этом зона 1 представляет собой усеченный конус, зона 2 является цилиндрической, зона 4 – кольцевой, осевое сечение зоны 1 представляет собой прямоугольную трапецию, ограниченную справа прямой $T = T(z)$, осевое сечение зоны 3 представляет собой прямоугольный треугольник, ограниченный снизу $T = T(z)$.

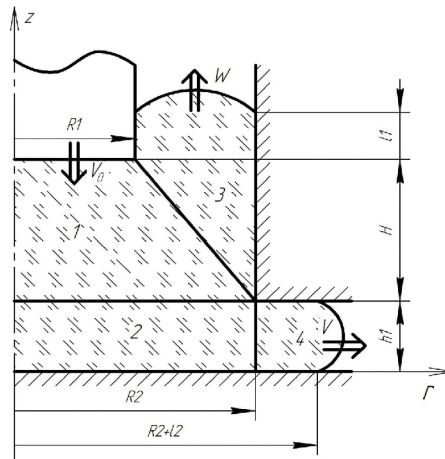


Рис. 1. – Расчётная схема процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания

Для упрощения описания КВПС схемы введены следующие обозначения:

$$T(z) = k \cdot (z - (H + h_1)) + R_1, \quad k = \frac{R_1 - R_2}{H}, \quad G(r) = \frac{1}{k}(r - R_1) + H + h_1.$$

Таблица. – КВПС для осесимметричных модулей расчетной схемы

№ модуля	КВПС модуля
1	2
1	$\begin{cases} v_{z1} = -\frac{V_0 R_1^2}{T^2(z)} + W \cdot \frac{R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(\frac{1}{T^2(z)} - \frac{1}{R_1^2} \right), \\ v_{r1} = \frac{r \cdot k}{T^3(z)} \left(-V_0 R_1^2 + W \frac{R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \right) \end{cases}$
2	$\begin{cases} v_{z2} = \left(-\frac{V_0 R_1^2}{R_2^2} - W \right) \cdot \frac{z}{h_1}, \\ v_{r2} = \frac{r}{2h_1} \left(\frac{V_0 R_1^2}{R_2^2} + W \right) \end{cases}$
3	$\begin{cases} v_{z3} = -W \cdot \frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2}, \\ v_{r3} = 0 \end{cases}$

Продолжение таблицы

1	2
4	$\begin{cases} v_{z4} = 0, \\ v_{r4} = \frac{1}{2r h_1} (V_0 R_1^2 + W R_2^2) \end{cases}$

Учитывая набор КВПС для данной расчетной схемы, полученные значение мощностей сил деформирования, среза (сдвига) и трения подставляем в уравнение энергетического баланса:

$$p F V_0 = \left(\begin{array}{l} N_{d1} + N_{d2} + N_{d4} + N_{c1-2} + N_{c1-3} + N_{c2-4} + \\ + N_{t2-0} + N_{t4-0}^{u+e} + N_{t3-0} + N_{t3-1} \end{array} \right) \quad (1)$$

Разделив правую и левую части выражения (1) на $\sigma_s F V_0$ и учитывая элементарные преобразования, получим формулу для вычисления безразмерной величины приведенного давления \bar{p} :

$$\bar{p} = \left(\begin{array}{l} 2\bar{C}_1 \ln \bar{R}_2 \left(\frac{1}{9k^2} \left((4+3k^2)^{3/2} - 8 \right) - \frac{1+k^2}{\sqrt{3}k} \right) + \\ + \left(1 + \bar{W} \bar{R}_2^2 \right) \left(1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \left(\frac{\bar{R}_2 + \bar{l}_2}{\bar{R}_2} \right) + \frac{\bar{h}_1}{\bar{R}_2 \sqrt{3}} + \right. \\ \left. + \frac{2\mu_2}{3\bar{h}_1 \sqrt{3}} (\bar{R}_2 + 6\bar{l}_2) \right) + \\ + \frac{2}{3\sqrt{3}} \left| k\bar{C}_1 + \frac{\bar{R}_2}{2\bar{h}_1} (1 + \bar{W} \bar{R}_2^2) \right| + \frac{4\mu_1 \bar{R}_2^3}{\sqrt{3}(\bar{R}_2^2 - 1)} |\bar{W}| (\bar{H} + \bar{l}_1) + \\ + \frac{4\mu_1}{\sqrt{3}} (\Delta \bar{H}_x + \bar{l}_1) \left(1 - \bar{W} \frac{\bar{R}_2^2}{\bar{R}_2^2 - 1} \right) \end{array} \right) \quad (2)$$

где $\Delta \bar{H}_x = \frac{\Delta H_x}{R_1}$, $\bar{H} = \frac{H}{R_1}$, $\bar{R}_2 = \frac{R_2}{R_1}$, $\bar{h}_1 = \frac{h_1}{R_1}$, $\bar{l}_1 = \frac{l_1}{R_1}$, $\bar{l}_2 = \frac{l_2}{R_1}$,

$$\bar{W} = \frac{W}{V_0}, \quad \bar{C}_1 = 1 - \bar{W} \frac{\bar{R}_2^2}{\bar{R}_2^2 - 1}.$$

Таким образом, удалось получить в аналитическом виде выражение приведенного давления $\bar{p} = \bar{p}(\bar{W})$ как линейной функции варьируемого параметра $\bar{W} = \frac{W}{V_0}$ при фиксированных значениях геометрических и технологических параметров процесса. Следует отметить, что интервал варьирования данного параметра находится в пределах $\bar{W} \in \left(-\frac{1}{\bar{R}_2^2}, \frac{\bar{R}_2^2 - 1}{\bar{R}_2^2} \right)$ и относительная толщина дна стакана превышает значение \bar{h}_1 , что

позволяет использовать данную расчетную схему (в противном случае область 1 вырождается).

Критическим значением параметра \bar{W} с точки зрения определения минимума приведенного давления \bar{P} является критическое значение данной величины с точки зрения смены убывания функции на возрастания (угловая точка), определяемое равенством нулю выражения $k\bar{C}_1 + \frac{\bar{R}_2}{2\bar{h}_1}(1 + \bar{W}\bar{R}_2^2)$, а именно:

$$\bar{W}_{opt} = \frac{(\bar{R}_2 + 2k\bar{h}_1)(\bar{R}_2^2 - 1)}{\bar{R}_2^2(2k\bar{h}_1 - \bar{R}_2(\bar{R}_2^2 - 1))} \quad (3)$$

Следовательно, учитывая полученное выше оптимальное значение \bar{W}_{opt} (3), после соответствующих преобразований можно получить оптимальное значение \bar{P} :

$$\bar{P}_{opt} = \left[\begin{aligned} & 2\bar{C}_{1opt} \ln \bar{R}_2 \left(\frac{1}{9k^2} \left((4 + 3k^2)^{3/2} - 8 \right) - \frac{1 + k^2}{\sqrt{3}k} \right) + \\ & + \left(1 + \bar{W}_{opt} \bar{R}_2^2 \right) \left(1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \left(\frac{\bar{R}_2 + \bar{l}_2}{\bar{R}_2} \right) + \right. \\ & \quad \left. + \frac{\bar{h}_1}{\bar{R}_2 \sqrt{3}} + \frac{2\mu_2}{3\bar{h}_1 \sqrt{3}} (\bar{R}_2 + 6\bar{l}_2) \right) + \\ & + \frac{4\mu_1 \bar{R}_2^3}{\sqrt{3}(\bar{R}_2^2 - 1)} |\bar{W}_{opt}| (\bar{H} + \bar{l}_1) + \\ & + \frac{4\mu_1}{\sqrt{3}} (\Delta \bar{H}_X + \bar{l}_1) \left(1 - \bar{W}_{opt} \frac{\bar{R}_2^2}{\bar{R}_2^2 - 1} \right) \end{aligned} \right], \quad (4)$$

где $\bar{C}_{1opt} = 1 - \bar{W}_{opt} \frac{\bar{R}_2^2}{\bar{R}_2^2 - 1}$.

Ниже приведены результаты расчетов приведенного давления \bar{P} по ходу процесса при различных соотношениях геометрических и технологических параметров процесса (см. рис. 2 а-б).

Характер изменения величины \bar{P} по ходу процесса при различных значениях высоты фланца соответствует действительности: увеличение высоты фланца ведет к снижению величины приведенного давления при сохранении остальных параметров процесса (рис.2 а). Уменьшение коэффициента трения μ_s приводит к снижению энергосиловых параметров процесса (рис.2, б).

Изменение относительной скорости истечения металла в вертикальном направлении $\bar{W}_{opt} \uparrow$ по ходу процесса также является одной из важных характеристик, позволяющих оценить поэтапное формоизменение и сделать вывод о возможности использования данной расчетной схемы. Характер изменения $\bar{W}_{opt} \uparrow$ и приращение размеров полуфабриката по ходу процесса представлены на рис. 3 а, б.

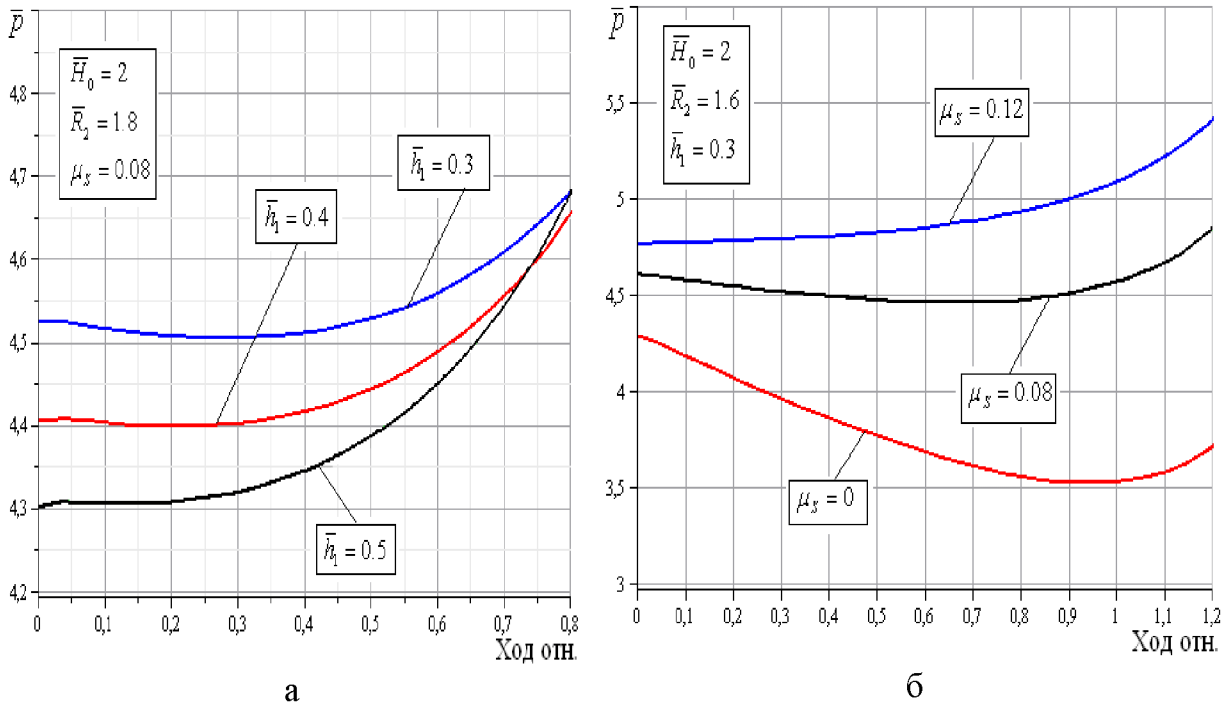


Рис. 2. – Графики изменения приведенного давления \bar{P} по ходу процесса при различных значениях высоты фланца: а – от величины приведенного давления; б – от коэффициента трения μ_s

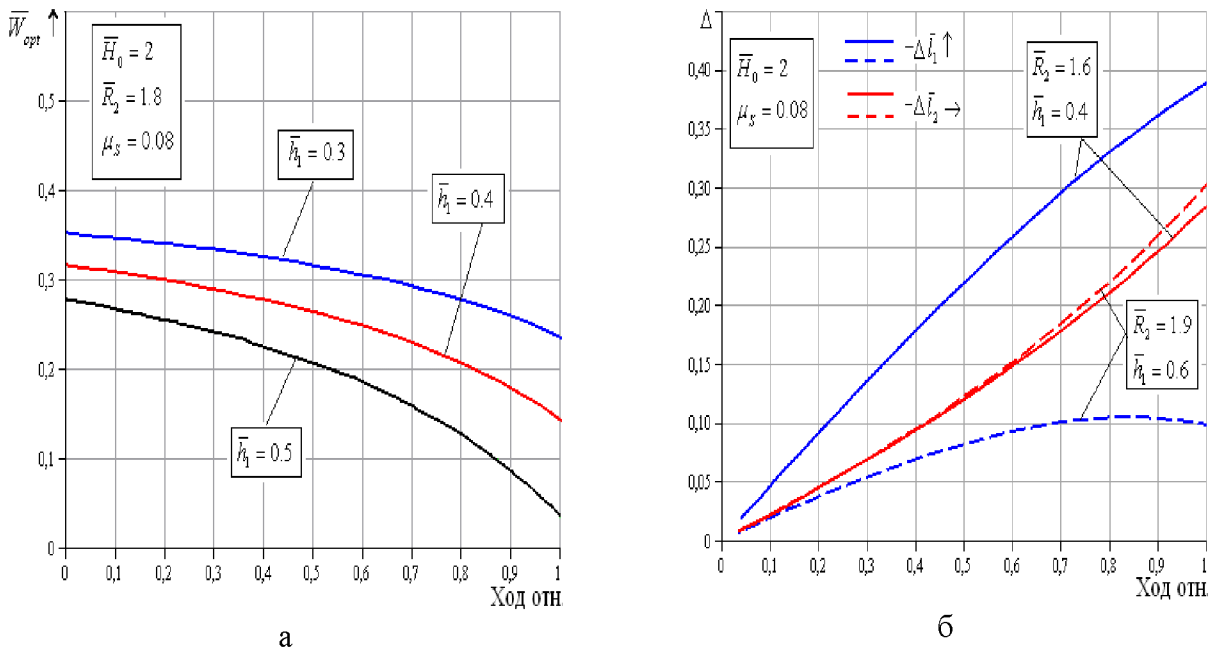


Рис. 3. – Графики: а – изменения \bar{W}_{opt} по ходу процесса ; б – приращение размеров полуфабриката б по ходу процесса

Исходя из рис. 3 а можно сделать вывод, что увеличение высоты фланца при сохранении остальных геометрических и технологических параметров процесса ведет к снижению оптимальной скорости истечения металла в вертикальном направлении. Также при увеличении высоты фланца и толщины стенки стакана при сохранении их отношения ведет к сдвигу приращения размеров полуфабриката по ходу процесса в сторону уменьшения, характер приращения также меняется (заполнение фланцевой зоны идет быстрее).

Картины поэтапного формоизменения, полученные энергетическим методом на основе предложенной расчетной схемы и Qform 2D, дают возможность сопоставления изменения геометрии полуфабриката по ходу процесса двумя методами (рис. 4).

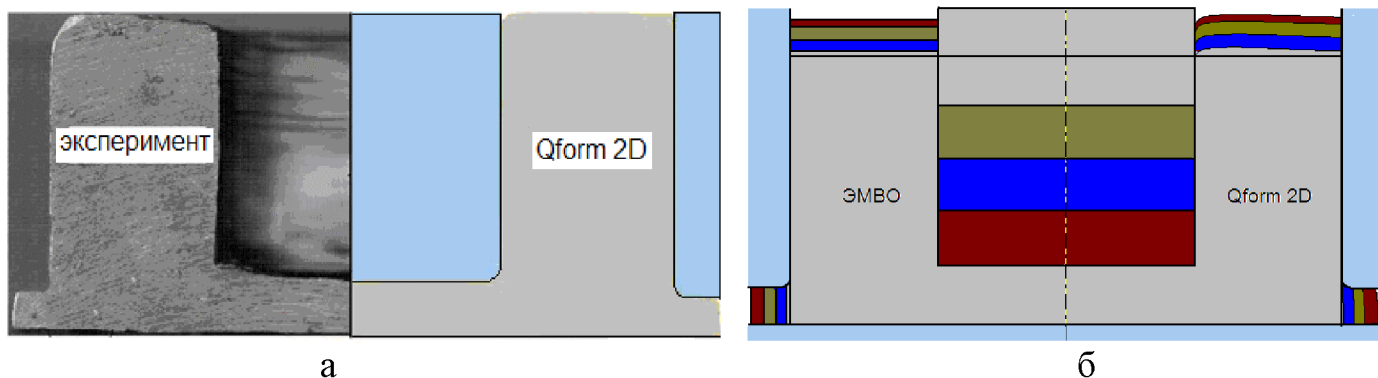


Рис. 4. – Изменения геометрии полуфабриката по ходу процесса:

- а – сравнение конечного формоизменения заготовки из свинца и моделирования;
- б – сравнение картин поэтапного формоизменения, полученных ЭМВО и Qform 2D

Сравнение конечного формоизменения заготовки из свинца С1, полученные на основе экспериментальных данных и моделирования в Qform 2D, позволяют сделать вывод о возможности использования данных конечно-элементного анализа для промежуточных стадий формоизменения. Сравнение картин поэтапного формоизменения, полученных энергетическим методом верхней оценки (ЭМВО) и Qform 2D (рис. 4 б) позволяют сделать вывод о возможности использования данной расчетной схемы для оценки поэтапного формоизменения. Занижение приращения в вертикальном направлении стенки стакана и завышение заполнения фланца составляет не более 16% для следующих параметров процесса

$$R_1 = 10.5, R_2 = 22.5, H_0 = 21.5, h_1 = 3, \Delta Hx = 16, \mu_s = 0.08.$$

Выводы. Предложена расчетная схема процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания деталей типа стакан с фланцем, позволяющая получить в аналитическом виде выражение приведенного давления $\bar{p} = \bar{p}(\bar{W})$ как линейной функции варьируемого параметра $\bar{W} \in \left(-\frac{1}{R_2^2}, \frac{\bar{R}_2^2 - 1}{R_2^2}\right)$ (допущение: относительная толщина дна стакана превышает значение \bar{h}_1). Возможность определения в аналитическом виде оптимального значения параметра $\bar{W}_{opt} \uparrow$ позволяет оценить поэтапное формоизменение без использования численного интегрирования. Сравнение картин поэтапного формоизменения, полученных энергетическим методом и Qform3D, позволяют сделать вывод о возможности использования данной расчетной схемы как для расчета энергосиловых параметров процесса, так и для оценки формоизменения (погрешность приращений фланца и заполнения стенки стакана составляет не более 16%).

Список литературы: 1. Алиев И.С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания / И.С. Алиев // Кузнечно – штамповочное производство. -1990. – №2. – С. 7 – 9. 2. Степанский Л.Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением / Л.Г. Степанский. – М.: Машиностроение, 1979. – 215 с. 3. Алиев И.С., Моделирование процессов комбинированного выдавливания / И.С. Алиев, Солодун Е.М., Крюгер К. // Механика деформированного твердого тела и обработка металлов давлением. Сборник научных трудов. – Тульский гос. унив-т. Тула, 2000, С.21-27. 4. Алиева Л.И.

Комбинированное выдавливание полых деталей с фланцем / Л.И. Алиева, Р.С. Борисов, Я.Г. Жбанков, Б.С. Мороз // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тематичний зб. наук. пр., Краматорськ, 2008. – С.45-48. 5. Алиев И.С. Теоретический анализ процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания / И.С. Алиев, Н.С. Грудкина // Обработка материалов давлением. – 2008. – №1 (19). – С. 55-60.

Надійшла до редколегії 18.10.2012

УДК 621.774

Моделирование процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания деталей типа стакан с фланцем / Алиева Л. И., Грудкина Н. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №47(953). – С. 3–9. – Бібліогр.:5 назв.

Запропоновано математичну модель процесу комбінованого радіально-зворотнього видавлювання деталей типу стакан з фланцем, що дозволяє визначити енергосилові параметри процесу, а також дослідити поетапне та остаточне формозмінення заготовки. Проведено порівняльний аналіз картин поетапного формозмінення на основі запропонованої розрахункової схеми, скінченно-елементного моделювання та експериментальних даних.

Ключові слова: штампування, фланець, видавлювання, енергосилові параметри, формозмінення.

The mathematical model of process of the combined radial-reverse squeezing out of details of type is offered glass with flange, allowing to determine the energypower parameters of process, and also to probe the stage-by-stage and eventual change of form of purveyance. The comparative analysis of pictures is conducted stage-by-stage change of form on the basis of the offered calculation chart, eventual-element design and experimental information.

Keywords: stamping, flange, squeezing out, energypower parameters, change of form.

УДК 621.73(035)

В. А. БУРКО, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК В РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ШТАМПОВКИ

В статье рассмотрены проблемы выбора критерия оценки неравномерности деформации различных по форме поковок в зависимости от силовых условий, режимов деформирования и строения металла. На основе проведенного анализа установлено, что количественные показатели неравномерности деформации при горячей осадке заготовок из цветных металлов являются неизученными. .

Ключевые слова: штамповка, деформация, профилирование, осадка, бочкообразование.

Введение. При горячей объемной штамповке распространенным способом снижения расхода основного материала является последовательное приближение формы заготовки к конфигурации поковки, т.е. профилирование, которое проводят в штампах паровоздушных штамповочных молотов или на дополнительном профилирующем оборудовании.

Деформирование заготовок в штампах и калибрах сопровождается изменением формы, причем сравнение конечных и начальных размеров заготовки позволяет говорить о величине конечных деформаций. Течение металла, не ограниченного формой инструмента, также может происходить неравномерно в разных направлениях ввиду объективных причин.

В данном случае оценка неравномерности деформации по величине конечной деформации также является удобной.

Появление неравномерности деформации, согласно представлениям Я.М. Охрименко и В.А. Тюрина [1,7], можно объяснить естественными (природными) причинами, связан-

© В. А. Бурко, 2012