

Данная система проектирования [5] базируется на объектном представлении информации и моделировании с использованием методов синтеза. Взаимная увязка задач синтеза, моделирования, анализа, оптимизации, выбора вариантов, а также используемый системный подход, позволяют учитывать всю специфику объектов проектирования (процесс преобразования, предмет труда и средства технологического оснащения).

N/N	Вершина	Сумма	%%	Число++	Класс++	Число--	Класс--
1	4	4	1	2	5	2	2
2	7	1	0	1	6		
3	8	5	1	2	1	3	7
4	9	10	3	10	1		
5	10	2	0	1	3	1	5
6	12	4	1	4	8		
7	13	25	8	25	5		
8	15	12	4	12	1		
9	16	9	3	9	5		
10	17	14	5	14	5		
11	18	3	1	1	4	2	5
12	21	7	2	6	5	1	8
13	22	4	1	4	1		
14	24	2	0	2	5		
15	25	24	8	24	5		
16	26	3	1	2	1	1	5
17	27	5	1	1	1	4	5
18	28	84	30	83	5	1	1
19	29	15	5	13	5	2	1
20	30	26	9	26	1		
21	31	5	1	2	5	3	4
22	32	16	5	15	1	1	5

Рисунок 9 - Результат классификационной обработки

По результатам расчета отдельных элементов ТП можно сформировать маршруты, операционную технологию и произвести математическое моделирование процесса. Такой алгоритм позволит избежать ошибок в проектировании и уменьшить производственный брак.

Список литературы: 1. Орешников А.И. Высокоскоростные методы листовой штамповки / А.И. Орешников, В.А. Вагин, В.С. Мамутов: Учеб. пособие под ред. К.Н. Богоявленского. - Л: ЛПИ, 1984.- 80 с., 2. Евгеньев Г.Б. Систематология инженерных знаний: учеб. пособие для вузов / Г.Б.Евгеньев. – М : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 346 с.3. Третьяк В.В. Объектный подход к проектированию ресурсосберегающих импульсных технологий. / В.В. Третьяк // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – №3 (29). – С.26-31. 4. Третьяк В.В., Филипковская Л.А. Информационная система компьютерной поддержки принятия технологических решений в листовой штамповке взрывом / В.В.Третьяк , Л.А.Филипковская. Вестник Двигателестроения, научно-технический журнал , Запорожье ОАО «Мотор-Сич», № 1, 2008, стр. 63-67.5. Третьяк В.В. Вопросы синтеза и оптимизации технологических процессов импульсной обработки / В.В. Третьяк, А.Ю.Комаров, С.А. Стадник // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – №4 (61). – С.9-13.

УДК 621.777; 658.567

ЕВСТРАТОВ В.А., докт. техн. наук, профессор, НТУ «ХПИ»
КРОТЕНКО Г.А., ст. преподаватель, НТУ «ХПИ»

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ВЫДАВЛИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВИХРЕВОГО ТЕЧЕНИЯ

Приведены результаты теоретического анализа процесса выдавливания деталей с переменной по периметру толщиной стенки. Рассмотрено радиальное течение, которое приводит к образованию фестонов. Проанализировано вихревое течение металла.

Ключевые слова: выдавливание, радиальное течение, вихревое течение, математическая модель.

Наведено результати теоретичного аналізу процесу видавлювання деталей із змінною вздовж периметру товщиною стінки. Розглянута радіальна течія, яка призводить до утворення фестонів. Проаналізовано вихрову течію металу.

Ключові слова: видавлювання, радіальна течія, вихрова течія, математична модель.

The article shows the results of theoretical analysis of extrusion process when the detail has variable along the perimeter wall thickness. The radial flow of metal which forms the scallops is examined. Examined also vortical flow of metal.

Key words: extrusion, radial flow, vortical flow, mathematical model.

В последние годы процессы выдавливания приобретают все более широкое применение в различных отраслях промышленности. Успешно освоены процессы выдавливания симметричных деталей с постоянной по периметру толщиной стенки (например, деталей велосипедов, поршневые пальцы, толкатели клапанов, баллончики для аэрозольных лекарств и тубиков для парфюмерии и т.п.). На очереди освоение выдавливания деталей с переменной по периметру толщиной стенки.

Применение этого малоотходного и высокопроизводительного метода обработки металлов давлением позволяет повысить коэффициент использования металла до 0,85...0,95 и довести производительность до 20...40 деталей в минуту. Именно таким образом уже изготавливают детали достаточно простой формы, например, квадратные или прямоугольные тонкостенные корпуса реле и приборов, разнообразные экраны и многие другие. Выдавливание коробок и других деталей с переменной по периметру толщиной стенки характеризуется значительной неравномерностью деформации, поэтому высота детали получается переменной по периметру. Подобный дефект в обработке металлов давлением получил название фестон. Образование фестон вынуждает увеличивать расход металла и вводить дополнительную довольно трудоемкую операцию – подрезку торца. Чтобы повысить экономичность выдавливания, необходимо предотвратить образование фестон. Сегодня требуются высокоэффективные и конкурентоспособные технологии изготовления сложных деталей с переменной по периметру толщиной стенок. При этом необходимо учитывать кинематические особенности процесса.

Особенности деформации (образование фестон и даже разрывы стенок из-за неравномерной деформации), силовой режим и предельные возможности процесса выдавливания таких деталей в настоящее время проанализированы либо только экспериментально, либо с использованием допущения о плоском или осесимметричном течении металла [1-3]. Полученные результаты носят узко конкретный характер и явно недостаточны. Поэтому все более остро ощущается необходимость в разработке методики построения математических моделей процессов выдавливания в ус-

ловиях вихревого (неосесимметричного) течения. К сожалению, теоретический анализ процессов трехмерного течения, когда $v_x \neq 0$; $v_y \neq 0$; $v_z \neq 0$ (или в цилиндрической системе координат $v_r \neq 0$; $v_\theta \neq 0$; $v_z \neq 0$), описан только в общем виде и о таких процессах сказано, что их теоретический анализ представляет исключительно сложную задачу [4, 5]. Наши исследования показали, что все процессы деформации деталей с переменной по периметру толщиной стенки протекают в два этапа: вначале имеет место осесимметричное течение металла, а затем оно переходит в вихревое. Поэтому допущение об осевой симметрии деформации деталей с переменной по периметру толщиной стенки на протяжении всего процесса выдавливания некорректно, поскольку описывает действительный процесс деформации неадекватно.

Экспериментальные исследования процесса выдавливания деталей с переменной по периметру толщиной стенки показали, что вначале деформация идет по схеме осевого течения. Затем наступает стадия, при которой осевая компонента скорости любой точки стенки детали есть функция угловой координаты. Это приводит к образованию фестона, т.е. переменной высоты стенки по ее периметру (рис. 1). Для демонстрации возможностей предлагаемого метода рассмотрим задачу анализа процесса выдавливания детали в виде квадратной призмы с цилиндрическим отверстием (рис. 2)

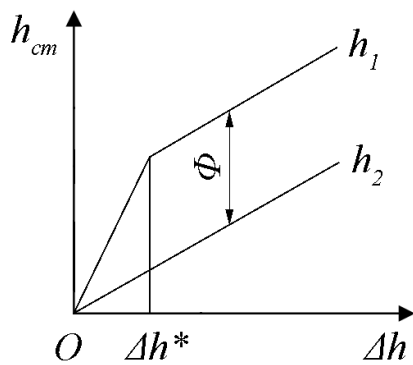


Рис. 1. Графики зависимости высоты стенки h_{cm} (толстой h_1 и тонкой h_2) от относительной деформации заготовки Δh : Φ – высота фестона

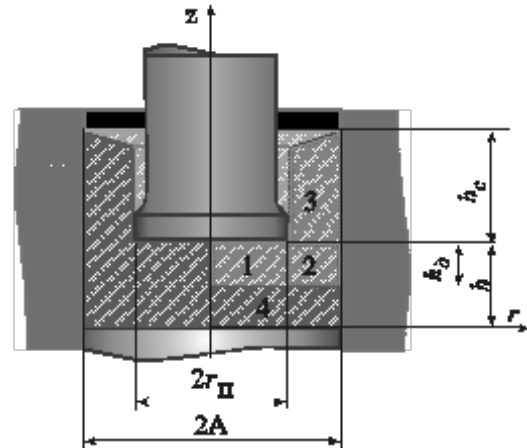


Рис. 2. Схема выдавливания детали и разбивки заготовки на зоны

Компоненты скоростей деформации, входящие в основное уравнение энергетического метода, представим в виде так называемых подходящих функций, исходя из граничных условий и условия постоянства объема. Анализ опубликованных данных и многочисленные расчеты показывают, что вид подходящих функций скоростей незначительно влияет на усилие деформирования [5]. Это позволяет при анализе процессов со сложной кинематикой течения металла использовать сравнительно простые разрывные функции, получая при этом решение с достаточной для практики точностью.

В рассматриваемом на рис. 2 случае в очаге пластической деформации все три компоненты скоростей v_r , v_θ , v_z каждой материальной частицы отличны от нуля. На начальном этапе деформации энергетически более выгодным оказывается схема чисто радиального течения металла, при которой формируется фестон – торец заготовки приобретает волнообразность.

Процесс выдавливания детали разделим на две стадии: 1) начальную, при которой справедлива схема радиального течения металла, скорость v_z в зоне 3 полу-

чается переменной по z , в связи с чем происходит формирование фестонов, и 2) заключительную, при которой сформировавшаяся стенка высотой h_c влияет как жесткий конец и выравнивает по углу θ скорость v_z . На этой стадии размеры сформированного фестона уже не изменяются, а так как толщина стенки по θ переменна, то это приводит к формированию вихревого течения в зонах 1 и 2, при котором $v_\theta \neq 0$.

Для первой стадии формоизменения заготовки можно использовать такие подходящие функции, описывающие течение металла в зонах 1, 2 и 4 (зона 3 – жесткая, поэтому в ней все компоненты скоростей равны нулю), удовлетворяющие граничным условиям

$$\begin{aligned} v_{z1} &= -\frac{v_n}{h} [z - (h_\partial - h)]; & v_{r1} &= \frac{v_n}{2h_\partial} \cdot r; & v_{\theta 1} &= 0; \\ v_{z2} &= \frac{v_n}{h} \cdot [z - (h_\partial - h)] \cdot f(\theta); & v_{r2} &= \frac{v_n}{2 \cdot h_\partial} \cdot \frac{(A^2 - r^2 \cdot \cos^2 \theta)}{r} \cdot f(\theta); & v_{\theta 2} &= 0; \\ v_{z4} &= v_n \cdot f(\theta); & v_{r4} &= 0; & v_{\theta 4} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $f(\theta) = \frac{r_n^2 \cdot \cos^2 \theta}{A^2 - r_n^2 \cdot \cos^2 \theta}$; v_n – скорость пуансона; h_∂ – глубина распространения очага пластической деформации (см. рис. 2,б).

Относительное удельное усилие деформации \bar{p} рассчитываем по известным методикам, описанным в работах [4, 5]

$$\bar{p} = \frac{1}{v_n \cdot \sigma_s \cdot \pi \cdot r_n^2} \cdot \sum_{i=1}^{11} N_i, \quad (2)$$

где N_i – мощности внутренних сил сопротивления деформации, контактного трения и сдвига, вычисленные для каждой из одиннадцати зон детали.

Соотношение (2) есть функция свойств деформируемого материала (σ_s), размеров заготовки и инструмента, показанных на рис. 2, условий трения на контактных поверхностях матрицы и пуансона (μ_1 и μ_2), а также варьируемого параметра \bar{h}_∂ , который определяет глубину распространения очага пластической деформации. Подставив в выражение (2) значение вычисленных мощностей и преобразовав его к критериальному виду, находим

$$\bar{p} = a_0 + a_1 \cdot \bar{h}_\partial + a_2 \cdot \frac{1}{\bar{h}_\partial}, \quad (3)$$

Здесь \bar{h}_∂ – безразмерный параметр, определяющий относительную глубину распространения очага пластической деформации: $\bar{h}_\partial = \frac{h_\partial}{A}$; a_0 , a_1 и a_2 – коэффициенты, которые однозначно определены из выражения (2).

Выражение (3) – это функция, которая представляет собой математическую модель процесса. Она объединяет силовые и кинематические характеристики процесса и позволяет провести анализ силового режима выдавливания и кинематики течения металла. Относительное удельное усилие деформации \bar{p} можно определить из зависимости (3), если известна глубина распространения очага пластической деформации \bar{h}_∂ . В соответствии с принципом минимума полной энергии деформации действительные значения \bar{h}_∂ должны минимизировать функцию (3). Это условие

можно представить в виде дифференциального уравнения

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{h}_\partial} = 0, \quad (4)$$

из которого можно найти значение \bar{h}_∂ , минимизирующее функцию (3).

Таким образом, зная размеры детали ($A, d = 2r_n$), заготовки (h_3), а также механические характеристики материала заготовки (σ_s) и коэффициенты трения на матрице и пуансоне (μ_1 и μ_2), по соотношению (4) можно найти относительную глубину распространения очага пластической деформации \bar{h}_∂ , а затем относительное удельное деформации \bar{p} , построить поля скоростей для зон 1-4, а уже по этим данным рассчитать полное усилие деформации F_∂ , необходимое для выбора оборудования, и установить конечное формоизменение, в частности, найти высоту фестонов h_ϕ .

Решения, полученные с помощью предложенной расчетной схемы и математической модели процесса (3), представлены в виде графиков на рис. 3 и 4. Так как деталь симметричная, на графиках (см. рис. 3 и 4) представлены результаты расчета для $1/4$ детали, где угол θ изменяется от 0° до 90° .

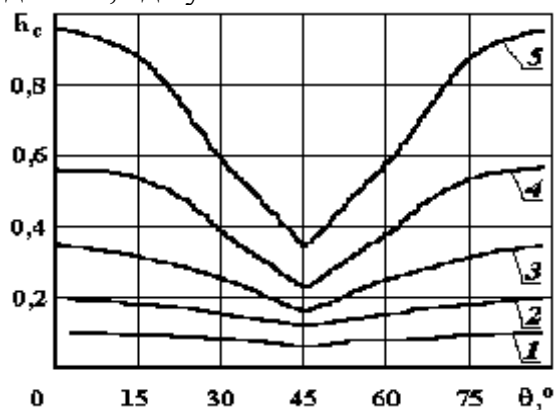


Рис. 3. Графики зависимости относительной высоты стенки h_c от угла θ при разных относительных радиусах пуансона r_n ($\Delta h/h_3 = 0,9$): 1 – 0,4; 2 – 0,5; 3 – 0,6; 4 – 0,7; 5 – 0,8

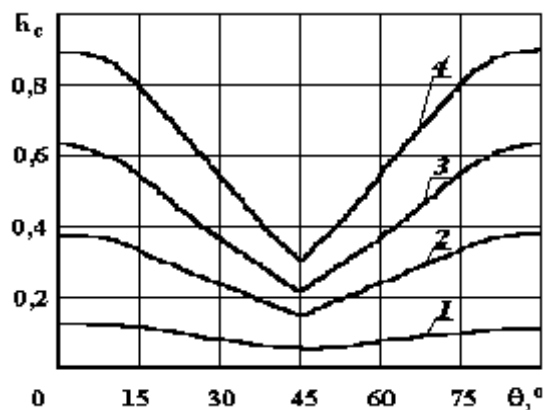


Рис. 4. Графики зависимости относительной высоты стенки h_c от угла θ при разных значениях относительного хода пуансона $\Delta h/h_3$ ($r_n/A = 0,7$): 1 – 0,1; 2 – 0,3; 3 – 0,5; 4 – 0,7.

Как видно из рис. 3, при принятой расчетной схеме относительная высота стенки детали $\bar{h}_c = \frac{h_c}{A}$ существенно зависит от угла θ , причем максимальная относительная высота стенки $\bar{h}_{c\max}$ получается при θ равном 0° и 90° , что соответствует наименьшей толщине стенки коробки, а минимальная высота – $\bar{h}_{c\min}$ – при $\theta = 45^\circ$, т.е. в углах детали.

Как видно из рис. 4, высота фестонов $h_\phi = h_c^{\max} - h_c^{\min}$ зависит от относительной толщины стенки и не зависит от высоты выдавленной детали после перехода на вторую стадию, когда радиальное течение переходит в вихревое.

При $\Delta h/h_3 > 0,2$ их положение на графике остается неизменным (см. рис. 1). Это свидетельствует о том, что радиальная схема течения металла характерна только для начальной стадии выдавливания, когда стенка невысокая, и мощность сдвига при образовании фестонов оказывается небольшой. Когда же сформировалась стенка определенной высоты, то энергетически более выгодным оказывается вихревое

движение.

Рассмотрим вторую стадию процесса – вихревое течение металла, при которой сформировавшаяся стенка высотой h_c влияет как жесткий конец и выравнивает по углу θ скорость v_z (рис. 5). На этой стадии размеры сформированного фестона уже не изменяются (см. рис. 1), а так как толщина стенки по θ переменна, то это приводит к формированию вихревого течения, при котором в зонах 2 и 3 имеем $v_\theta \neq 0$ (см. рис. 2).

Для вихревого течения, т.е. течения, при котором все три компоненты скоростей v_r , $v_{r\theta}$ и v_z отличны от нуля, условие постоянства объема имеет вид:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_r \right) = 0.$$

Это дифференциальное уравнение содержит три неизвестные функции v_r , v_θ и v_z . Поэтому, если задать две функции v_θ и v_z , то можно определить и функцию v_r из условия постоянства объема.

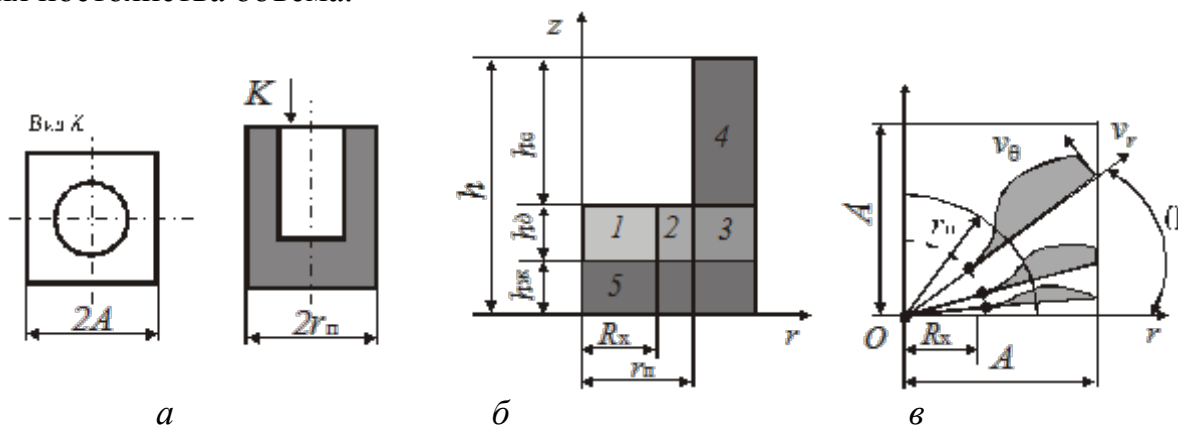


Рис. 5. Выдавливаемая деталь (а), схема ее разбивки на зоны (б) и схема вихревого течения в зонах 2 и 3 (в)

Для этого можно использовать подходящие функции, описывающие течение металла в зонах 1, 2 и 3 (зоны 4 и 5 – жесткие, поэтому в них все компоненты скоростей или их производные равны нулю), удовлетворяющие граничным условиям.

Для области 1 ($0 < r < R_x$) характерно чисто радиальное течение металла, которое описывается функциями, линейными относительно независимых переменных r и z :

$$v_{z1} = -\frac{v_n}{h_\partial} \cdot [z - (h - h_\partial)]; \quad v_{r1} = \frac{v_n}{2h_\partial} \cdot r; \quad v_{\theta1} = 0.$$

Для областей 2 и 3 ($R_x < r < r_n$, а также $R_x < r < A/\cos\theta$) характерно вихревое течение, которое описывается достаточно сложными подходящими функциями (это первая существенная трудность при анализе вихревого процесса!):

$$v_{z2} = -\frac{v_n}{h_\partial} \cdot [z - (h - h_\partial)];$$

$$v_{\theta2} = [c_0 + c_1 \cdot r + c_2 \cdot r^2 + c_3 \cdot r^3] \cdot (\sin 4\theta + \lambda \cdot \sin 8\theta) \cdot v_n;$$

$$v_{z3} = \frac{v_n}{h_\partial} \cdot [z - (h - h_\partial)] \cdot \frac{\pi \cdot r_n^2}{4 \cdot A^2 - \pi \cdot r_n^2}; \quad v_{\theta3} = v_\theta,$$

где r , θ и z – независимые переменные;

c_0, c_1, c_2, c_3 и λ – варьируемые параметры.

На основании предварительных экспериментальных исследований и теоретического анализа установлено, что $0 < \lambda < 0,5$.

Функции v_{r2} и v_{r3} для областей 2 и 3 можно найти из условия несжимаемости

$$v_{r2} = -\frac{1}{r} \left[\int \left(\frac{\partial v_{z2}}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{\theta}}{\partial \theta} \right) r dr + C_2 \right]; \quad v_{r3} = -\frac{1}{r} \left[\int \left(\frac{\partial v_{z3}}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{\theta}}{\partial \theta} \right) r dr + C_3 \right].$$

Интегрирование приводит к получению весьма сложных выражений такого вида

$$v_r = f_r(c_0, c_1, c_2, c_3, h_\theta, \theta, \lambda, R_x);$$

где $r = R_x + [r(\theta) - R_x] \cdot \gamma$.

Здесь γ – независимая переменная, позволяющая определить границу областей 1 и 2.

Так как функции v_θ и v_r описываются с использованием пяти варьируемых параметров, то для их определения в работе приняты допущения, учитывающие характер деформации в областях 2 и 3.

Далее используется уже известная процедура вычисления усилия деформации (см. выражение (2)). Однако в этом случае оно содержит неизвестные варьируемые параметры (и это вторая значительная трудность анализа вихревого течения!). Поэтому приходится численно минимизировать усилие деформации и отсюда определять значения варьируемых параметров. Эта процедура оказывается очень трудоемкой. Тем не менее принятые допущения для определения параметров функций v_θ и v_r , а также минимизирующая функция F_δ , позволяют производить расчеты и описать характер течения металла на всех стадиях выдавливания с достаточной точностью.

Обобщение полученных расчетов позволяет установить, что при $\Delta h \approx 0,2h_3$ наблюдается переход от радиального к вихревому течению (рис. 6).

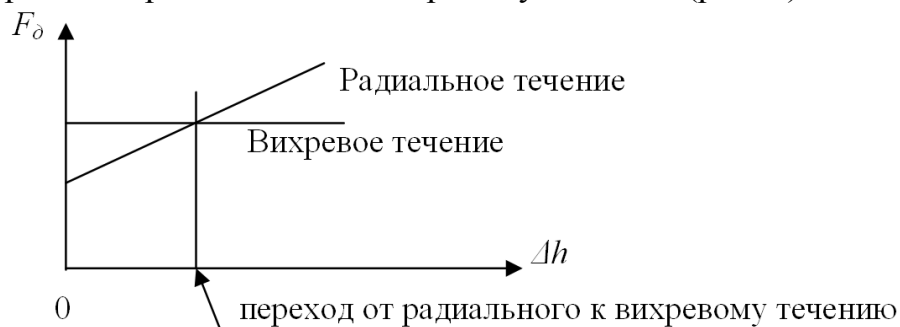


Рис. 6. Зависимость усилия деформации F_δ от хода пуансона Δh для разных видов течения металла

Наконец, есть большое количество деталей, формоизменение которых протекает в условиях вихревого течения с самого начала деформации, например, при осадке квадратной заготовки в цилиндрической матрице радиусом r_m .

Схема такой операции представлена на рис. 6. Ее анализ возможен только путем математического моделирования неосесимметричных процессов. Задачи, в которых имеет место трехмерное неосесимметричное (вихревое) течение, с достаточной точностью могут быть решены энергетическим методом в цилиндрической системе координат в его классическом вариационном виде.

Разбивка заготовки на области базируется на результатах, которые получены в

ходе предварительных экспериментов. Было установлено, как именно протекает процесс и какие подходящие функции, описывающие поле скоростей течения металла, можно использовать. В связи с симметрией детали можно рассматривать только 1/8 ее часть (см. рис. 5). Для удобства расчетов на рис. 5 заготовка повернута на угол $\pi/4$.

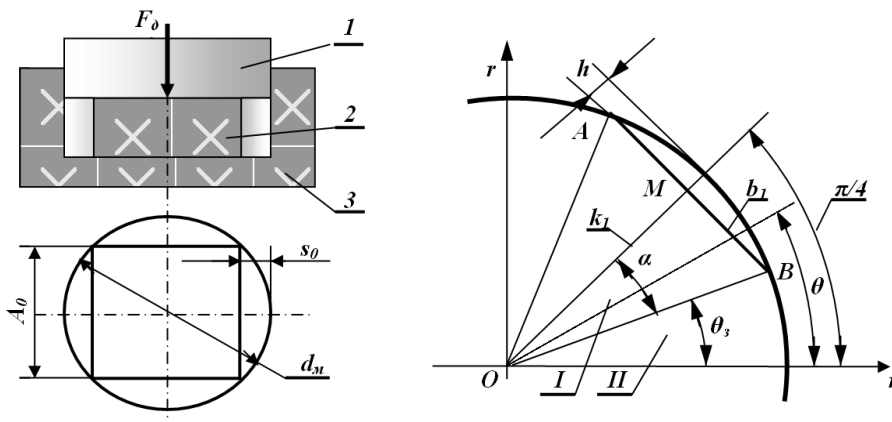


Рис. 7. Схема осадки квадратной заготовки в цилиндрической матрице (а): 1 – пуансон, 2 – заготовка, 3 – матрица; разбивка заготовки на области (б)

В треугольнике OMB имеем следующие очевидные соотношения

$$b_1 = r_m \cdot \sin \alpha; \quad k_1 = r_m \cdot \cos \alpha; \quad \alpha = \left(\frac{\pi}{4} - \theta_3 \right),$$

Незаполнение матрицы s определяется по формуле $s = r_m \cdot (1 - \cos \alpha)$.

Очаг деформации разбиваем на две области: I – область вихревого и радиального течения металла, II – область чисто вихревого течения. Очевидно, что в процессе осадки угол заполнения θ_3 , который определяет область II , увеличивается, а угол α , который определяет область I , уменьшается. При этом хорда AB стягивается, зазор между стороной заготовки и стенкой матрицы уменьшается от s_0 (см. рис. 7) до s (см. рис. 8) и далее до нуля. Это хорошо видно на рис. 8.

Компоненты скоростей деформации v_r, v_θ, v_z , входящие в основное уравнение энергетического метода, представляем в виде так называемых подходящих функций, соблюдая граничные условия и условие постоянства объема. Анализ опубликованных данных и многочисленные расчеты показывают, что вид подходящих функций скоростей незначительно влияет на усилие деформирования [5, 6]. Это позволяет при анализе процессов со сложной кинематикой течения металла использовать сравнительно простые разрывные функции, получая при этом решение с достаточной для практики точностью.

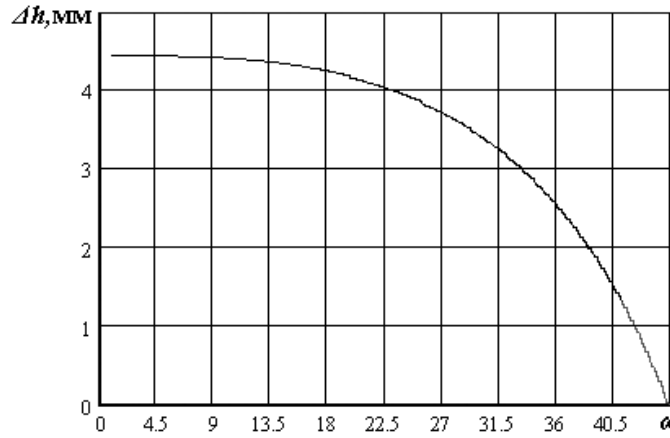


Рис. 8. Зависимость осадки заготовки Δh от степени заполнения матрицы (угла α)

Принимая во внимание граничные условия в областях 1 и 2 (см. рис. 5), в принятой расчетной схеме течение металла может быть описано следующими зависимостями:

в области 1: по оси z – при $z = 0$ $v_z = 0$; при $z = h$ $v_z = -v_n$;
по оси r – при $r = 0$ $v_r = 0$.

в области 2: по оси z – при $z = 0$ $v_z = 0$; при $z = h$ $v_z = -v_n$;
по оси r – при $0 \leq r \leq r_m$ и $\theta \leq \theta_3$ $v_r = 0$, $v_\theta \neq 0$.

С учетом граничных условий находим $v_{z1,2} = -\frac{v_n}{h_0} \cdot z$.

Для определения v_{r1} воспользуемся условием постоянства объема (1)

$$v_{r1} = \frac{v_n \cdot r \cdot \pi}{8 \cdot h \cdot \alpha}.$$

Учитывая граничные условия (при $\theta = \frac{\pi}{4}$ $v_\theta = 0$; при $\theta = \theta_3 = \frac{\pi}{4} - \alpha$ $v_{\theta1} = v_{\theta2}$), находим

$$v_{\theta1} = \frac{v_n \cdot r}{h} \cdot \left(\frac{\pi}{4} - \theta \right) \cdot \left(\frac{\pi}{4\alpha} - 1 \right).$$

Компоненту $v_{\theta2}$ определяем из условия постоянства объема, воспользовавшись граничными условиями $v_\theta = 0$ при $r = 0$. Тогда: $v_{\theta2} = \frac{v_n \cdot r}{h} \cdot \theta$.

Угол α определяем из условия постоянства объема исходной и деформированной заготовки:

$$\frac{\frac{1}{8} \cdot A_0^2 \cdot h_0}{r_m^2 \cdot (h_0 - \Delta h)} - \frac{\sin 2\alpha}{4} - 0,5 \cdot \left(\frac{\pi}{4} - \alpha \right) = 0. \quad (6)$$

Компоненту v_{r2} находим из граничных условий. Получаем $v_{r2} = 0$.

Полученные зависимости для компонент скоростей, скоростей деформации, интенсивности скоростей деформации дают возможность описать деформированное состояние во всем объеме заготовки и перейти к построению математической модели процесса. Для этого используем первое основное уравнение энергетического ме-

тогда [7]

$$F_{\delta} = \frac{1}{v_n} \left[\sum_{h=1}^H \left(\iiint_V \sigma_s \xi_i dV \right)_h + \sum_{m=1}^M \left(\iint_F \tau_k \sqrt{v_k^2 + v_l^2} dF \right)_m + \sum_{n=0}^N \left(\iint_G \tau_s \Delta v dG \right)_n \right], \quad (7)$$

которое выражает условие равенства мощностей всех внутренних и внешних сил. Отсюда находим относительное удельное усилие деформации \bar{p}

$$\bar{p} = \frac{1}{v_n \cdot \sigma_s \cdot A_3} \cdot \sum_{i=1}^n N_i. \quad (8)$$

Здесь N_i – мощности внутренних сил сопротивления деформации, контактного трения и сдвига, вычисленные для каждой из зон детали;

v_n – скорость пуансона;

σ_s – напряжение текучести деформируемой заготовки;

A_3 – площадь заготовки.

Соотношение (8) есть функция свойств деформируемого материала (σ_s), размеров заготовки (A_3) и инструмента (r_m), условий трения на контактных поверхностях матрицы и пуансона (μ_1 и μ_2). Это соотношение есть неявная функция угла α , которую можно рассматривать как математическую модель процесса осадки квадратной заготовки в цилиндрической матрице. Полученная функция не имеет аналитического решения относительно α , поэтому решаем его численно с помощью встроенной функции *minimize* пакета MathCAD. Решения $F_{\delta} = f(\alpha)$ и $F_{\delta} = F(\Delta h)$ представим в графическом виде (рис. 9).

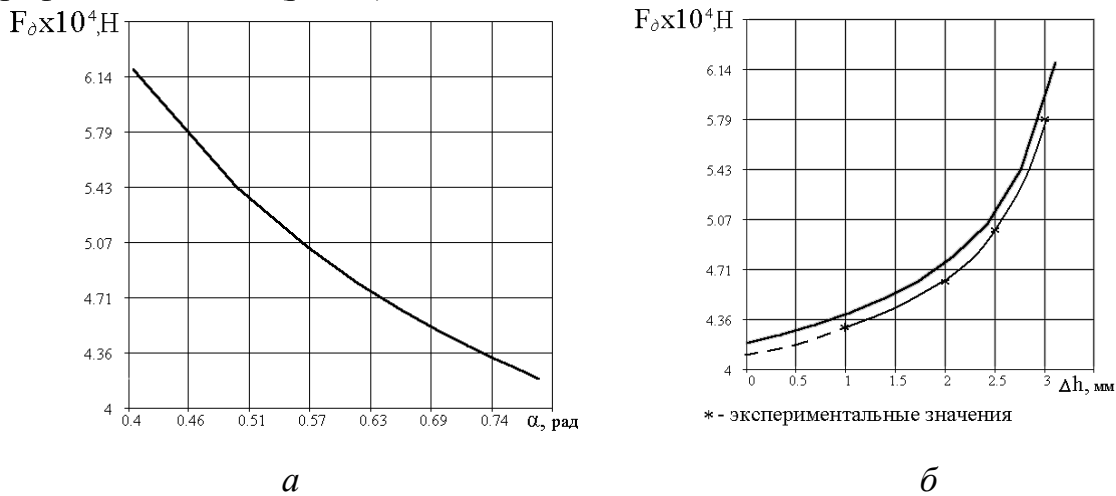


Рис. 9. Зависимость усилия осадки квадратной заготовки

в цилиндрической матрице: *a* – от угла незаполнения α ; *б* – от хода пуансона Δh

ВЫВОДЫ

1. Известные из литературы методы анализа процессов течения металла при выдавливании деталей с переменной по периметру толщиной стенки характеризуются значительными упрощениями, которые не позволяют проанализировать поля скоростей и получить адекватные решения по формоизменению деталей.

2. Выдавливание деталей с переменной по периметру толщиной стенки характеризуется сложным вихревым течением металла. На примерах выдавливания квадратной детали с цилиндрическим отверстием и осадки квадратной заготовки в цилиндрической матрице показана возможность использования метода теоретического анализа процесса деформации при явно выраженном неосесимметричном течении

металла. Авторы назвали такое течение вихревым, хотя и понимают некоторую условность такого термина.

3. Теоретический анализ процесса выдавливания при наличии нескольких варьируемых параметров представляет значительные трудности, поэтому его можно выполнить только на персональных ЭВМ с достаточно производительными процессорами (Athlon 2500+ или более современными моделями).

4. Предложенный метод теоретического анализа можно успешно использовать для анализа процессов деформации весьма сложных деталей, в которых течение металла характеризуется вихревым течением.

Список литературы: 1. Берлин Б.М., Соленов В.М., Целяев В.Г. Некоторые особенности изготовления полых фланцевых поковок на высокоскоростном молоте // Кузнечно-штамповочное производство, 1972. – № 10. – С. 6-8. 2. Семенов И.Е. Расчет усилия деформирования при обратном выдавливании изделий коробчатой формы // Труды МВТУ, № 263. Машины и технология обработки металлов давлением. – М., Машиностроение, 1978. – С. 130-132. 3. Куликов И.В. Силовой режим выдавливания деталей коробчатой формы // Вестн. Харьк. политехн. ин-та, 1985. – N 225. Прогрессивная технология обраб. металлов, вып.6. – С. 68-70. 4. Теория обработки металлов давлением / Под ред. И.Я. Тарновского – М.: Металлургия, 1963. – 672 с. 5. Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением. – Харьков: Выща школа, 1981. – 248 с. 6. Евстратов В.А., Кротенко Г.А. Математическое моделирование формоизменения и силового режима выдавливания в условиях вихревого течения. Часть 1. Анализ образования фестонов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ, 2002. – С. 245-249.

УДК 621.7.044

В.В. ТРЕТЬЯК, канд. техн. наук, доцент

А.Ю. КОМАРОВ, аспирант

С.А. СТАДНИК, аспирант

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”,
Украина

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматриваются особенности использования импульсных технологий для получения деталей сложных конфигураций с помощью импульсных технологий. Приведены преимущества и недостатки существующих способов обработки материалов. Рассмотрен алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния заготовки. Приведен пример действующей программы для расчета детали типа «кожух».

Ключевые слова: импульсная обработка материалов, математическое моделирование, напряженно-деформированное состояние заготовки

Розглядаються особливості використання імпульсних технологій для отримання деталей складних конфігурацій за допомогою імпульсних технологій. Приведені переваги і недоліки існуючих способів обробки матеріалів. Розглянутий алгоритм розрахунку напружено-деформованого стану заготівки. Наведений приклад розрахунку діючої програми для розрахунку деталі типу «кожух».

Ключові слова: імпульсна обробка матеріалів, математичне моделювання, напружено-дефор-