

выстое, находить все линейные и угловые размеры шестизвенного механизма 4-го класса, изображенного на рис.6. Малые колебания толкателя на выстое не должны, с одной стороны, мешать операции формовки короба, а с другой стороны, пазовый короб не должен мешать операции поворота сердечника статора. Кроме того, необходимо, чтобы шестизвенный механизм был работоспособным и надежным.

Ставится задача: спроектировать такой механизм, у которого были бы минимальные перемещения на интервале выстоя и минимальные реакции в кинематических парах. Решение такой задачи подробно описано в работах [3, 4].

Решив эту задачу, мы обеспечим экономию электроэнергии, добьемся большей эффективности, большей долговечности, меньших габаритов всего станка. Кроме того, толкатель будет вступать в контакт с заготовкой со скоростью, на порядок меньшей существующей, что обеспечит еще большее повышение его долговечности.

**Выводы.** Заменяющий механизм досылания, работа которого соответствует новой циклограмме (рис. 7), был спроектирован. В результате было предложено усовершенствование кинематической схемы пазоизолировочного станка ИС 23А. Предложено изменение циклограммы работы механизма досылания за счет сокращения времени движения толкателя на холостом ходу. Такая замена позволила добиться большей долговечности механизма за счет выстоя, меньших габаритов всего станка, уменьшения скорости толкателя при контакте с заготовкой на порядок.

Спроектированный механизм имеет следующие параметры (рис.6):  $h = 200$  мм,  $l_{OA} = 100$  мм,  $l_{BC} = 208.8$  мм,  $l_{CD} = 592.4$  мм,  $l_{OB} = 744$  мм,  $l_{AC} = 878.2$  мм,  $l_{DE} = 216.86$  мм,  $\alpha = 5.7^\circ$ ,  $\psi_0 = 93.41^\circ$ ,  $y_B = -613$ ,  $y_E = -368$ , где  $h$  - ход ползуна,  $\alpha$  - угол  $DCA$ ,  $\psi_0$  - угол между звеном  $BC$  и направлением ползуна. В начальном положении угол, который составляет кривошип  $OA$  с направлением ползуна, равен  $224^\circ 6'$ .

Величина максимального перемещения ползуна на интервале выстоя составляет около 1% от хода ползуна, что не мешает операциям формовки короба и поворота сердечника статора.

**Список литературы.** 1. Костромин В. Г., Бронин С. В., Дагаев В. А. и др. Технология производства асинхронных двигателей. Специальные процессы. – М.: Энергоиздат, 1981. – 272 с. 2. Новгородцев В.А., Зинченко Е.И., Зарубина А.А. Синтез шестизвенных механизмов четвертого класса с приближенным выстоем ведомого звена // Технологии в машиностроении: Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Выпуск 68. – Харьков: ХГПУ, 1999. – С. 17–21. 3. Зинченко Е.И., Крахмалев А.В., Загребельный В.Н. Синтез оптимальных механизмов четвертого класса с выстоем выходного звена // Механика та машинобудування. – 2000. – №1. – С. 14–17. 4. Зинченко О.І. Оптимізація параметрів механізмів четвертого класу з вистоем веденої ланки // Машиностроение: Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Выпуск 100. – Харьков: ХГПУ, 2000. – С. 100–103.

*Поступила в редколлегию 10.01.2006*

*Г.А.КРОТЕНКО*, НТУ «ХПИ»

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ШТАМПОВ ДЛЯ ВЫДАВЛИВАНИЯ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТРЕХМЕРНОМ ТЕЧЕНИИ МЕТАЛЛА

Стаття присвячена конструюванню штампів для виготовлення деталей складної форми, під час видавлювання яких можливе утворення такого дефекту, як фестони на верхньому торці деталі. Дано наукові основи конструювання штампів та показані умови їх ефективної роботи.

The article is devoted to constructing of stamps for making of details of complicated form, during squeezing out of which formation of such defects are possible, as festoons on the overhead butt end of detail. Scientific bases of constructing of stamps are given and the conditions of their effective work are shown.

В условиях рыночной экономики одной из важнейших задач, стоящих перед производством, является выпуск конкурентоспособной продукции с использованием прогрессивной ресурсосберегающей технологии. К таким технологиям относится холодное выдавливание, позволяющее 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, коробки и многие другие. Однако сегодня требуются высокоэффективные и конкурентоспособные технологии изготовления деталей более сложной формы, в том числе с переменной по периметру толщиной стенок (рис.1).

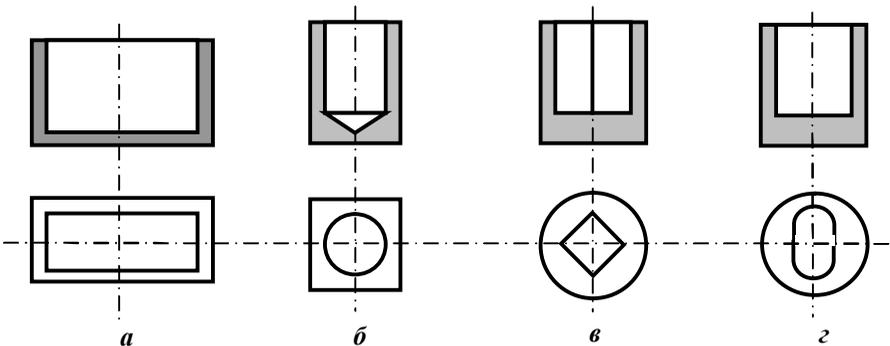


Рис. 1. Примеры сложных деталей, для выдавливания которых характерно трехмерное течение металла

Выдавливание коробок и других деталей с переменной по периметру толщиной стенки характеризуется значительной неравномерностью деформации, поэтому детали нередко получают с разрывами стенки, а их высота получается переменной по периметру (рис.2). Подобный дефект в обработке металлов давлением получил название фестонов. Образование фестонов вынуждает увеличить расход металла и ввести дополнительную довольно трудоемкую операцию – подрезку торца. Чтобы повысить экономичность выдавливания, необходимо предотвратить образование фестонов. По этой причине при выдавливании деталей с переменной по периметру толщиной стенки необходимо учитывать кинематические особенности процесса.



Рис.2. Возможные дефекты при выдавливании деталей сложной формы

Особенности деформации (образование фестонов и разрывы стенок из-за неравномерной деформации), силовой режим и предельные возможности процесса выдавливания таких деталей в известных работах проанализированы либо только экспериментально, либо с использованием допущения о плоском или осесимметричном течении металла [1–2]. Полученные результаты носят узко конкретный характер и явно недостаточны. Поэтому была разработана методика построения математических моделей процессов выдавливания в условиях неосесимметричного (вихревого) течения металла [3, 4].

В этих работах для теоретического анализа использован энергетический метод в его классической вариационной постановке, основанный на балансе мощностей внешней деформирующей силы и внутренних сил сопротивления деформации, контактного трения и сдвига. Получены основные уравнения,

которые позволяют проанализировать как силовой режим, так и особенности формоизменения процесса выдавливания:

$$\bar{p} = \frac{1}{v_{\text{II}} \sigma_s \pi r_{\text{II}}^2} \cdot \sum_{i=1}^k N_i, \quad (1)$$

где  $N_i$  – мощности внутренних сил сопротивления деформации, контактного трения и сдвига, вычисленные для каждой из зон детали;  $v_{\text{II}}$  – скорость пуансона;  $r_{\text{II}}$  – радиус пуансона.

Подставив в выражение (1) значение вычисленных мощностей и преобразовав его к критериальному виду, находим

$$\bar{p} = a_0 + a_1 \bar{h}_0 + a_2 \frac{1}{\bar{h}_0}, \quad (2)$$

здесь  $\bar{h}_0$  – безразмерный параметр, определяющий относительную глубину распространения очага пластической деформации;

$a_0, a_1, a_2$  – коэффициенты, которые однозначно определены из выражения (1).

Выражение (2) – 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 (2), если известна глубина распространения очага пластической деформации  $\bar{h}_0$ . В соответствии с принципом минимума полной энергии деформации действительные значения  $\bar{h}_0$  должны минимизировать функцию (2). Это условие можно представить в виде дифференциального уравнения

$$d\bar{p}/d\bar{h}_0 = 0, \quad (3)$$

из которого можно найти значение  $\bar{h}_0$ , минимизирующее функцию (2).

Таким образом, зная размеры детали, заготовки, а также механические характеристики материала заготовки ( $\sigma_s$ ) и коэффициенты трения на матрице и пуансоне, по соотношениям (2) и (3) можно найти относительную глубину распространения очага пластической деформации  $\bar{h}_0$ , относительное удельное усилие деформации  $\bar{p}$ , построить поля скоростей, а уже по этим данным рассчитать полное усилие деформации  $F_{\delta}$ , необходимое для выбора оборудования, и конечное формоизменение – высоту фестонов  $h_{\phi}$ .

Как показывает опыт [1, 2] и наши теоретические исследования [3, 4], на начальном этапе деформации энергетически более выгодным оказывается

схема радиального течения металла. При этом в связи с переменной по периметру толщиной стенки на первой стадии деформации на верхнем торце выдавливаемой детали формируются фестоны – торец заготовки приобретает волнообразную форму, и в процессе выдавливания соотношение высоты фестона  $h_{\phi}^{max}/h_{\phi}^{min}$  – величина постоянная. 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. Чтобы предотвратить образование фестонов, можно использовать выдавливание с противодавлением (прижимом). Для этого случая в работе [4] получена формула, по которой можно рассчитать значение относительного удельного усилия деформации  $\bar{p}$ , как без противодавления, так и с противодавлением на всех стадиях выдавливания с достаточной точностью и проследить переход процесса деформации на начальной стадии (чисто радиальное течение) к заключительной стадии – вихревому течению, энергетически более выгодному. Решения, полученные с помощью предложенной расчетной схемы и математической модели процесса (3), представлены в виде графиков на рисунках 3, 4.

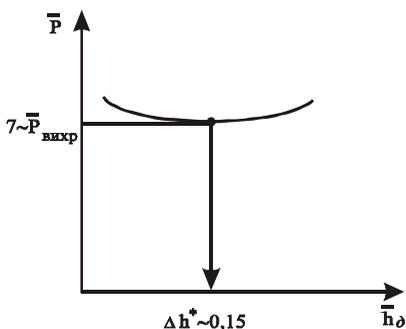


Рис. 3. График зависимости относительного удельного усилия деформации от относительной глубины распространения очага деформации

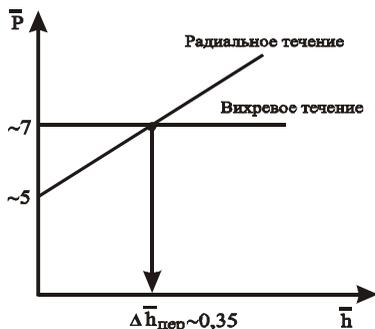


Рис. 4. Схема перехода от радиального к вихревому течению в процессе выдавливания детали с переменной по периметру толщиной стенки

Это открывает возможности использования проведенных теоретических исследований для разработки технологического процесса выдавливания толкателя клапана (см. рис. 1, а; 2, б) и конструирования штампа (рис. 5).

Способы управления фестонистостью предложены в работе [5]. В данной работе предлагается два варианта предотвращения образования фестонов. Для деталей, в которых градиент неравномерной деформации

относительно невелик, предложено уменьшение фестонистости путем профилирования калибрующего пояска пуансона (рис.5, а). К сожалению, этот способ не всегда может дать приемлемый результат [5]. Поэтому предложен и второй, наиболее эффективный способ – выдавливание с противодавлением, которое создается при помощи гидравлического прижима (рис.5, б)

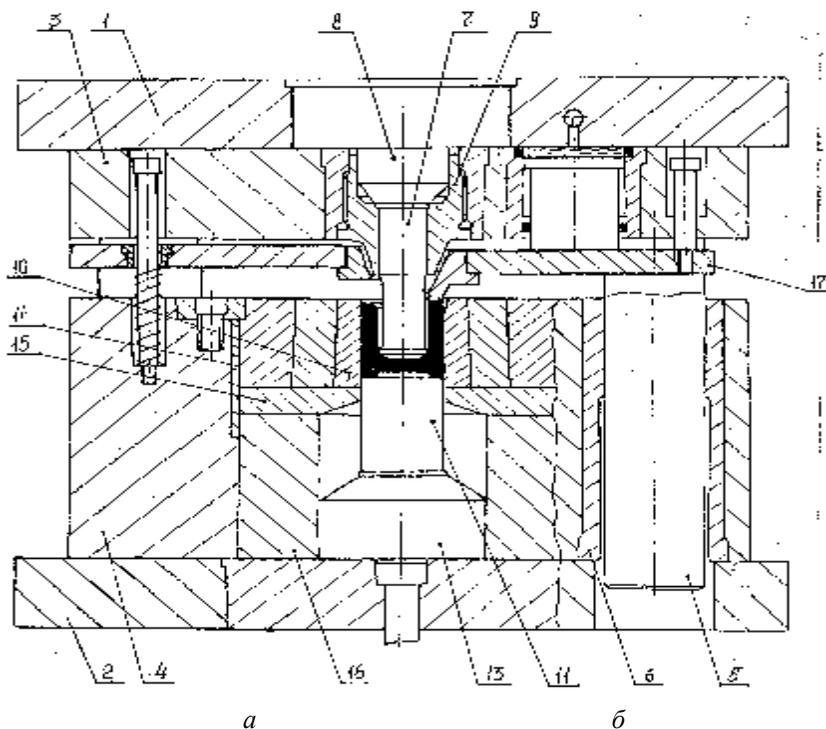


Рис. 5. Варианты конструкций штампов для выдавливания толкателя клапана:

а – без прижима; б – с прижимом

Экспериментальные исследования показали, что предложенный способ обеспечивает необходимое формоизменение и получение деталей с ровным торцом, который в дальнейшем не требует механической обработки резанием. Однако для осуществления этого процесса требуется достаточно сложная конструкция штампа и значительное повышение усилия деформации. Поэтому необходим расчет усилия противодействия и выбор соответствующих размеров гидроцилиндров.

Штамп (рис.5) содержит две верхние и две нижние плиты, стянутые между собой винтами. Опорные плиты 1 и 2, предназначенные для передачи

усилия выдавливания, под нагрузкой достаточно ощутимо изгибаются, поэтому размещение в них направляющих элементов нежелательно. Для размещения направляющих колонок 5 и втулок 6, а также пуансона и матрицы, предназначены промежуточные плиты 3 и 4, которые не воспринимают вертикального усилия и поэтому не изгибаются.

Штамп с калибрующим пояском переменной высоты (рис.5, а) имеет традиционную конструкцию. Для снятия детали с пуансона предназначен съемник в виде подпружиненной подвижной траверсы с отверстием, установленной на винтах. В отверстии траверсы закреплена закаленная втулка, охватывающая пуансон с незначительным зазором. При обратном ходе деталь наталкивается на торец втулки и снимается с пуансона.

Штамп с прижимом (рис.5, б) имеет более сложную конструкцию: он содержит 6 гидроцилиндров, емкость для рабочей жидкости и гидросистему с регулируемым подпорным клапаном.

Пуансон 7 устанавливается на опору 8, выполненную в виде усеченного конуса, и крепится при помощи быстросменного пуансонодержателя. Конструкция опоры способствует равномерному распределению напряжений на контактных поверхностях пуансона и предотвращает поломки последнего.

Пуансонодержатель 9 содержит две цилиндрических посадочных поверхности и крепежную резьбовую поверхность между ними. Это позволяет обеспечить точное центрирование пуансона под нагрузкой.

Матрица 10 представляет собой двухбандажную систему. Она центрируется по наружной поверхности в стакане 14 и опирается на прокладки 15 и 16. В матрицу входит выталкиватель 11, установленный на опоре 13.

Прижим 17 создает необходимое расчетное усилие противодействия при помощи поршней. Давление в цилиндрах регулируется подпорным клапаном (на чертеже не показан). Давление прижима  $F_{np}$  (порядка  $0,1 F_{\partial}$ ) необходимо прикладывать к верхнему торцу детали только на начальной стадии выдавливания, когда происходит образование фестона (см рис.4). Затем жидкость из гидроцилиндра сбрасывается при помощи перепускного клапана – давление в системе снижается настолько, насколько это необходимо для срыва детали с калибрующего пояса (порядка  $0,03 F_{\partial}$ ). Окончательный съем детали с пуансона осуществляется благодаря оригинальной конструкции матрицы, в которой предусмотрено незначительное поднутрение: при выдавливании оно заполняется металлом, а при возвратном ходе пуансона сформированный поясок задерживает деталь в матрице. Выталкиватель 11 при ходе вверх выталкивает деталь из полости матрицы. При этом стенка детали калибруется поверхностью матрицы.

Штампы для выдавливания работают в очень тяжелых условиях, поэтому ошибки и неточности в их конструкции приводят к резкому снижению стойкости инструмента. Это означает, что экономическая эффективность и возможность автоматизации процесса выдавливания, а также качество детали тесно связаны с возможностями оптимизации их конструкций.

## ВЫВОДЫ.

1. Теоретические расчеты и результаты, полученные экспериментально, свидетельствуют о том, что при выдавливании сложных деталей с переменной по периметру толщиной стенки процесс протекает в две стадии. На первой формируются фестоны высотой  $h_f$ , которую можно определить по приведенной методике. Вторая стадия характеризуется условием  $v_z = const$ , которое показывает, что при дальнейшей деформации фестоны не подрастают. Такие условия формоизменения свидетельствуют о том, что на первой стадии имеет место радиальное течение металла, а на второй – вихревое.

2. Предложенная в работах [3, 4] методика теоретического анализа позволяет определить особенности формоизменения и силового режима деформации выдавливания деталей с переменной по периметру толщиной стенки, разработать технологический процесс и определить основные конструктивные параметры штампа.

3. Предложенные в данной работе конструкции штампов позволяют получать сложные детали с переменной по периметру толщиной стенки либо с минимальными фестонами, либо вовсе без фестонов. Так как для выдавливания с противодавлением требуется повышенное удельное усилие, то необходимо по предложенной в работе [4] методике определить удельное усилие выдавливания и это ограничение учесть при реализации процесса.

**Список литературы:** 1. Семенов И.Е. Расчет усилия деформирования при обратном выдавливании изделий коробчатой формы // Труды МВТУ, N 263. Машины и технология обработки металлов давлением.– М.: Машиностроение, 1978. – С.130 – 132. 2. 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. 3. Евстратов В.А., Кротенко Г.А., Левченко В.Н. Применение математических моделей для анализа и совершенствования процессов штамповки в условиях неосесимметричного течения // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 4-й Междунар. науч.-техн. конф. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2001. – С.210 – 211. 4. 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: Тематичн. зб. наук. праць – Краматорськ, 2002. – С.245–249. 5. Евстратов В.А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов. – Харьков: Выща школа, 1987. – 144 с.

*Поступила в редколлегию 09.01.06*