

объёмной штамповки/ К. Н. Богоявленский, А. М. Дмитриев, А. З. Журавлев, А. Г. Овчинников. – М.: Машиностроение, 1986. – 42с. 5. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке/ В. П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с. 6. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением/ В. А. Евстратов. – Харьков: Высшая школа, 1981. – 248 с. 7. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов/ В. А. Евстратов. – Харьков: Вища школа, 1987. – 144 с.

Надійшла до редколегії 01.11.2013

УДК 621.77

**Аналіз нових ресурсозберігаючих технологічних процесів видавлювання тонкостінних деталей/ Кротенко Г. А. // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків; НТУ «ХПІ». – 2013. №42 (1015). – С. 102–110. Бібліогр.:7 назв.**

Статья посвящена анализу процесса изготовления тонкостенных деталей выдавливанием в условиях трехмерного течения металла. Для этого процесса на базе вариационного метода рассмотрена математическая модель процесса выдавливания, предложены методика расчета формоизменения и результаты расчета силового режима изготовления из квадратной заготовки деталей типа тонкостенных стаканов, необходимые для проектирования ресурсосберегающих технологических процессов и конструкций штампов.

**Ключевые слова:** формоизменение, выдавливание, энергетический метод, поле скоростей, трехмерное течение металла, штамповая оснастка.

The article is devoted to the manufacturing process of thin-walled extruded parts in a three-dimensional metal flow. Based on the variational method was first developed a method of calculation of forming and power mode extrusion of the parts such as «thin-walled cans», a mathematical model of the process, the algorithms and computer programs we need for die design and manufacturing processes. Based on the developed techniques this model allows us to obtain thin-walled cans extrusion. Application of this technology instead of traditional allowed to raise quality of the parts. The results obtained in experimental studies have confirmed the adequacy of mathematical models of the extrusion of parts in a three-dimensional flow.

**Keywords:** tooling, forming, extrusion, variational method, velocity field, three-dimensional flow of metal.

УДК 621.777.4

**В. И. КУЗЬМЕНКО**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;  
**В. М. ГОРНОСТАЙ**, ст. преп., НТУУ «КПІ», Киев;  
**В. О. ВАСИЛЕНКО**, магистрант, НТУ «ХПІ».

## **ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ НА ХАРАКТЕР ТЕЧЕНИЯ И СИЛОВОЙ РЕЖИМ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С УШИРЕНИЕМ**

Работа посвящена усовершенствованию процессов холодного выдавливания профилей из конструкционных металлов и сплавов с раздачей для снижения усилий деформирования, повышения стойкости деформирующего инструмента и получения изделий повышенной надежности и долговечности. Особое внимание было уделено вопросам влияния трения на силовой режим и конечное формоизменение путём варьирования формой и шириной калибрующего пояска.

**Ключевые слова:** холодное прямое выдавливание с уширением, математические модели, метод конечных элементов, силовые режимы, удельные усилия, напряженно-деформированное состояние, прямоугольный профиль, качество профилей, калибрующий поясок.

**Введение.** Одним из методов получения профилей необходимой формы и точности с обеспеченными механическими свойствами деформируемого металла есть прямое холодное выдавливание. Широкое распространение указанного процесса сдерживается по причине высоких удельных усилий формообразования, особенно при выдавливании профилей из трудно деформируемых сталей и сплавов, так как приводит к значительному снижению стойкости деформирующего инструмента. Альтернативным является процесс прямого выдавливания с уширением.



Рис. 1 –Штампованные изделия, изготовленные:

а – традиционным прямым выдавливанием, б – прямым выдавливанием с уширением

**Анализ проблемы.** Холодное выдавливание с уширением, сущность которого заключается в возможности одновременного течения металла в осевом и поперечном направлениях, облегчает силовые режимы деформирования благодаря наличию двух ступеней свободы. Применение его позволяет повысить стойкость деформирующего инструмента и повысить качество изделий получаемых в результате пластического деформирования снизить энергоемкость производства и себестоимость профилей, а так же повысить их надежность и долговечность.

В. М. Горностай на кафедре механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов НТУУ «КПИ» провел численные эксперименты методом конечных элементов процессов выдавливания с уширением [1]. Он установил причины и величину снижения силовых режимов деформирования при выдавливании с уширением, определил влияние основных конструктивных и технологических факторов на напряженно-деформированное состояние заготовки, усилие деформирования, распределение удельных усилий на деформирующем инструменте, конечную геометрию профилей, упрочнения деформируемого металла и степень использования ресурса пластичности. Тем не менее, открытым остается вопрос влияния трения на конечное формообразование, силовой режим процесса и качество полученных изделий [2]. Варьируя такие параметры как: геометрия инструмента, размеры заготовки, ширину и форму калибрующего пояса, который будет влиять на условия трения, можно оптимизировать процесс

**Задача настоящей работы.** Выявить возможности снижения контактного трения, например, введением калибрующего пояса различной формы и

размеров в области выходного отверстия матрицы, а так же его влияния на формообразование, качество полученных изделий и силовой режима процесса. Учет условий трения на контактирующих поверхностях между заготовкой и инструментом осуществляли следующим образом. На первом этапе трение не учитывали, так как были неизвестны напряжения на контактных поверхностях. После определения напряжений на указанных поверхностях методом последовательного приближения вычисляли силы трения, которые определяли в соответствии с законом Кулона. Для учета трения на контактных поверхностях напряжение рассчитывалось по формуле Амонтона-Кулона. Силы трения прикладывали в направлении противоположном перемещению узловой точки на контактирующей поверхности)

$$\tau = \mu \cdot \sigma_n$$

где:  $\mu$  – коэффициент трения;

$\sigma_n$  – нормальное напряжение.

$$\sigma_n = \sigma_z \cdot \cos \alpha + \sigma_p \cdot \sin \alpha$$

Упрочнение учитывали таким образом: диаграмму действительных напряжений аппроксимировали степенной зависимостью (Модуль Юнга  $E = 2.1 \times 10^5$  МПа и коэффициент Пуансона  $\nu = 0.35$  для стали 20):

$$\sigma_s = \sigma_{0.2} + k \varepsilon^n$$

Диаграмма истинных напряжений по данным В.А. Крохи аппроксимируется следующей зависимостью:

$$\sigma_s = 375 + 316 \cdot \varepsilon^{0.64}$$

Исследования показали, что доля затрат энергии на преодоление контактного трения в суммарных затратах её составляет, в отдельных случаях, более 50%. Введение калибрующих поясков в конструкции матриц позволит значительно уменьшить потери на трение.

Результаты расчетов общего усилия для процессов холодного выдавливания прямоугольных профилей через матрицы с разной формой калибрующего пояска сведены в таблицу, где Ф1 – принятая форма калибрующего пояска, рисунок 2 (таблица). Усилие при выдавливании в матрице с пояском Ф1 следует принять за 100 %. Расчетом установлено, что варьированием формы и размеров калибрующего пояска возможно дополнительно уменьшить усилие выдавливания на 14 %, что также обусловлено уменьшением гидростатического давления в ячейке деформации.

Для исследования были предложены матрицы с калибрующими поясками следующей формы:

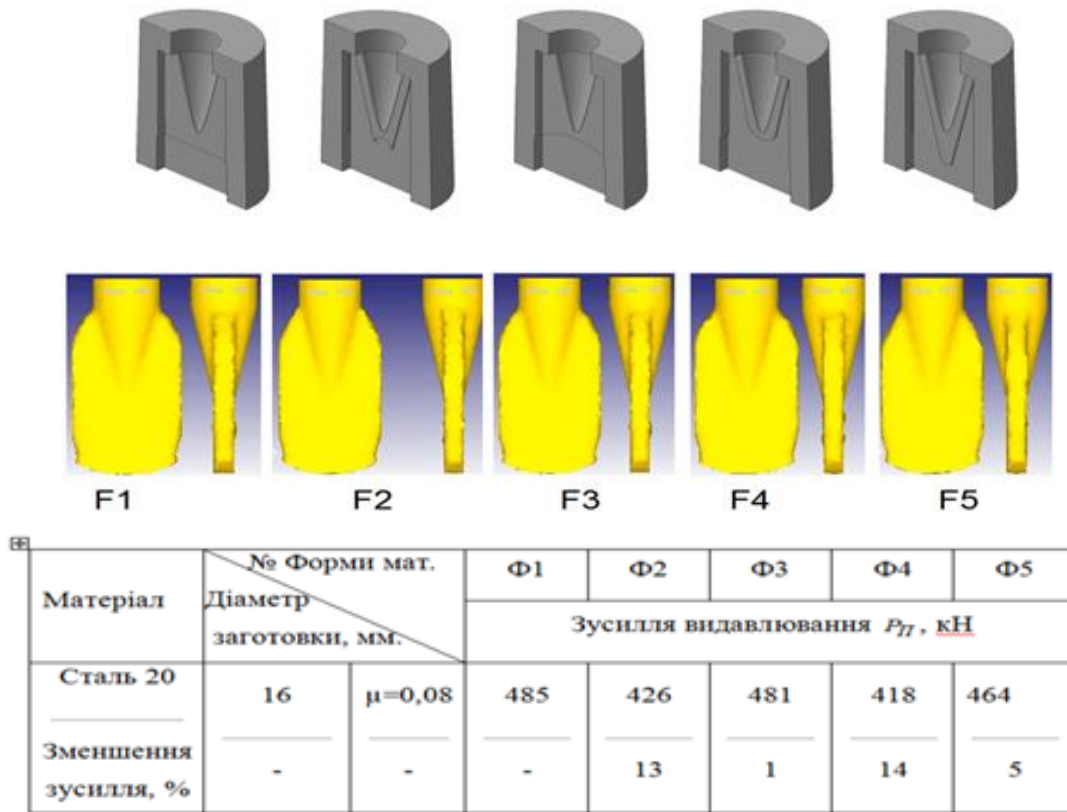


Рис. 2 – Матриці для видавлювання з уширенням.

F1 – без калібруючого пояска (НТУ «КПІ»); F2 – с калібруючим пояском дугообразной формы; F3 – с калібруючим пояском клиновидной формы; F4 - с калібруючим пояском клиновидно-дугообразной формы; F5 – с калібруючим пояском параболической формы

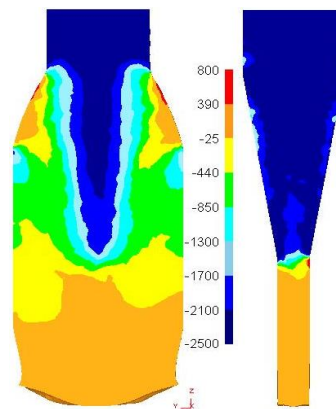


Рис. 3 – распределение гидростатического давления в сечениях заготовки при видавлюванні з уширенням

### Выводы.

1. Инженерным методом полученные аналитические зависимости для определения усилия прямого видавлювання с уширенням прямоугельных профілей с учетом трения на контактних поверхностях и упрочнения металла, который деформируется.

2. Методом конечных элементов установлено, что холодное прямое видавлювання с уширенням прямоугельных профілей, в сравнении с традиционным прямым видавлюванням, обеспечивает снижение: усилия

выдавливания в 2- 3,5 раза; удельных усилий на пуансоне в 1,7 раза; удельных усилий на матрице в 1,5-1,6 раза (в зависимости от размера прямоугольного профиля). Причинами снижения усилий есть использования исходных заготовок меньшего в 1,4 раза диаметра и снижение по абсолютной величине гидростатического давления в ячейке деформации за счет изменения схемы напряженного состояния.

3. Расчетом установлено, что варьированием формы и размеров калибрующего пояска можно дополнительно уменьшить усилие выдавливания примерно до 14 % и увеличить уширение до 5-10%, что обусловлено снижением сил трения и гидростатического давления в очаге деформации.

**Список литературы:** 1. Горноста́й В.М. Холодное выдавливание с раздачей профилей из конструкционных металлов: дис. канд. техн. наук. 05.03.05 – Процессы и машины обработки давлением/В.М. Горноста́й. – К.:2011. – 213 с. 2. Деякі підходи до вирішення задачі прямого видавлювання з уширенням, що враховують вплив тертя на кінцеве формоутворення та виникаючі навантаження / В.О. Василенко, В.М. Горноста́й, В.І. Кузьменко, С.Ю. Плєснецов // Вісник НТУ «ХПІ», -2012.- №66(972) – с. 34-37.

*Надійшла до редколегії 24.10.2013*

УДК 621.777.4

**Влияние контактного трения на характер течения и силовой режим процесса прямого выдавливания с уширением / Кузьменко В. И., Горноста́й В. М., Василенко В. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків, НТУ «ХПІ». – 2013. – № 42 (1015). – С. 110–114. Бібліогр.: 2 назви.**

Робота присвячена вдосконаленню процесів холодного видавлювання профілів з конструкційних металів і сплавів з уширенням на мету зниження зусиль деформування, підвищення стійкості деформуючого інструмента й одержання виробів підвищеної надійності й довговічності. Особлива увага була приділена питанням впливу тертя на силовий режим і кінцеву формозміну шляхом варіювання формою й шириною паска, що калібрує.

**Ключові слова:** холодне пряме видавлювання з уширенням, математичні моделі, метод кінцевих елементів, силові режими, питомі зусилля, напружено-деформований стан, прямокутний профіль, якість профілів, пасок що калібрує.

This patent devoted for improvement the efficiency of processes of cold extrusion with dispensing of profiles for decreasing straining force, enhancing the durability of forming tool and obtaining products with enhanced dependability and durability. The modern industry needs the resource – saving and high-productive technologies of obtaining high-accuracy profiles made of constructional materials with mechanical properties of deformed metal which satisfy the application conditions. It is established that straight cold extrusion with dispensing is perspective way of obtaining profiles referred above..

**Keywords:** cold straight extrusion with dispensing, mathematical models, power modes, specific stress, mode of deformation, rectangle profile, profile quality.