УДК 621.777.4.016.3.001

Ю. Н. ЛОГИНОВ, д-р техн. наук; А. А. ФОМИН (УрФУ, г. Екатеринбург)
E-mail: unl@mtf.ustu.ru

Кинематические условия выдавливания пластического слоя в многорядном щелевом штампе

Рассмотрены кинематические условия первой стадии холодной штамповки днищ стеклоплавильных сосудов, изготавливаемых из сплавов платины. Решение выполнено в аналитическом виде с формированием системы подходящих функций, учитывающих граничные условия процесса. Методом конечных элементов построены уточненные поля кинематических параметров процесса.

Kinematic conditions of the first stage of cold stamping of bottoms of glass-melting crucibles made of platinum alloys have been studied. Solution is implemented in analytical form with forming system of matching functions taking into account boundary conditions of the process. Specified fields of process kinematic parameters have been built by finite elements method.

Ключевые слова: штамповка; платина; метод конечных элементов; кинематические условия; деформация.

Key words: stamping; platinum; finite elements method; kinematic conditions; strain.

Анализу пластического течения деформируемого материала в щелевых штампах посвящен ряд работ [1—3]. При этом практически все решения направлены на исследование деформации материала при наличии в штампе одного отверстия. Существуют технологические варианты холодной штамповки в штампах, в которых выполнено много отверстий, например процесс штамповки днища стеклоплавильного сосуда (рис. 1) из сплава платины. В этом процессе операция выдавливания пластического слоя является подготовительной перед оформлением отверстий в фильерных рядах.

Применительно к одному отверстию краевую задачу такого типа рассматривают либо в осесимметричной, либо в плоской постановке. В первом случае в роли щели выступает круглое отверстие, а заготовкой служит круглый цилиндр, во втором случае в роли щели выступает отверстие в бесконечной плите, а заготовкой служит бесконечная пластина.

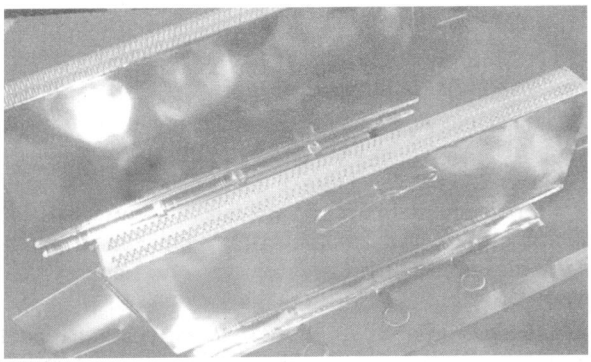


Рис. 1. Внешний вид стеклоплавильного сосуда

Рассмотрим очаг деформации (рис. 2) в плоской постановке при использовании декартовой системы координат x, y, z (ось z направлена перпендикулярно плоскости чертежа). Верхний полуштамп *1* имеет гладкую рабочую поверхность, в нижнем полуштампе *3* выполнены прорези (щели), через которые возможно истечение металла заготовки при воздействии на верхний полуштамп силы P пресса. Длина штампа в направлении оси z весьма значительна, поэтому течение металла вдоль этой оси затруднено и компонента скорости деформации $v_z = 0$. В результате заготовка находится в условиях плоского деформированного состояния.

Допустим, что рассматриваемые отверстия расположены достаточно далеко от края плиты. Тогда можно считать, что деформируемая пластина не имеет свободных поверхностей сбоку. В результате картина течения у каждого из отверстий окажется симметричной. Ее можно описать следующим образом.

Из середины перемычек между отверстиями проведем вертикальные линии, которые будут являться нейтральными сечениями (рис. 3). Слева и справа от них при обжатии полосы металл будет перемещаться зеркально. При этом вертикальные линии, проходящие через центры отверстий, будут являться осями сим-

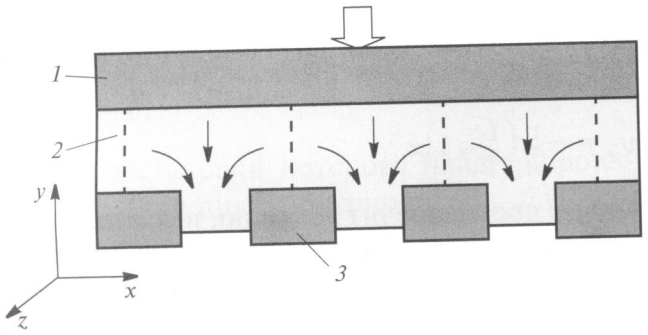


Рис. 2. Схема течения металла в многорядном щелевом штампе:
1 и *3* — верхний и нижний полуштампы; *2* — деформируемая пластина; стрелки — направления течения металла

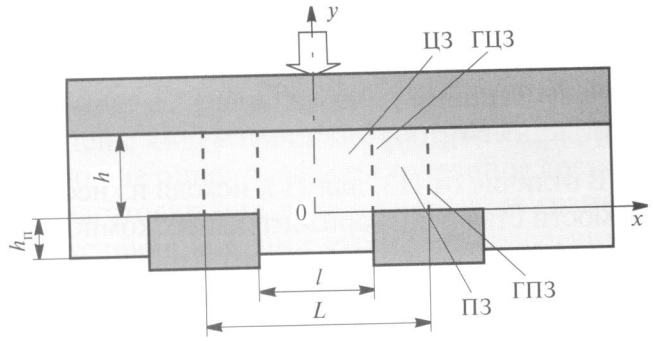


Рис. 3. Фрагмент течения металла в многорядном щелевом штампе:
ЦЗ и ПЗ — центральная и периферийная зоны; ГЦЗ и ГПЗ — границы центральной и периферийной зон

метрии. Такая постановка позволяет выделить один из объемов деформируемого тела, исследовать его напряженно-деформированное состояние, а полученные результаты распространить на весь объем заготовки.

Введем следующие обозначения: l — ширина щели; L — расстояние между нейтральными сечениями (оно же представляет собой расстояние между отверстиями); h — текущая толщина пластического слоя, изменяющаяся от начальной H_0 до конечной H_1; $h_п$ — текущая толщина выдавленного в щель металла, изменяющаяся от 0 до $H_п$.

Для выделенного фрагмента очага деформации применим условие постоянства объема:

$$LH_0B = LH_1B + lh_пB,$$

где B — размер полосы в направлении оси z, B = const.

Отсюда следует, что

$$h_п = \frac{L}{l}(H_0 - H_1),$$

т. е. толщина выдавленного металла зависит от абсолютного обжатия, размеров щелей и расстояния между ними.

Попытка построить относительно простое поле скоростей не увенчалась успехом из-за сложности удовлетворения всех граничных условий. Поэтому вначале методом конечных элементов выполнили моделирование процесса деформирования пластического слоя с помощью пакета прикладных программ «ПЛАСТ». Пакет применялся ранее для анализа процесса листовой штамповки, порядок постановки задачи описан, например, для операции глубокой вытяжки в работе [4], а свойства платины как деформируемого металла приведены в работе [5].

При указанных выше граничных условиях и при отсутствии трения получили картину распределения вертикальной компоненты перемещения u_y, представленную на рис. 4, *а*, где показана правая половина очага деформации и линии равного уровня с относительными значениями u_y (здесь и далее величины перемещений отнесены к перемещению инструмента и сделано допущение, что они пропорциональны скоростям перемещений).

Очаг деформации удобнее поделить на две части: центральную и периферийную, а поле

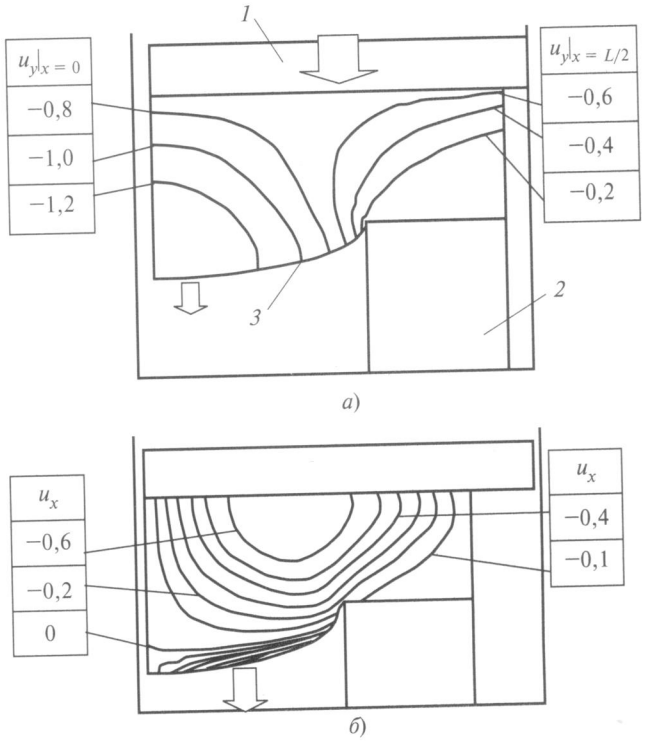


Рис. 4. Эпюры вертикальной (*а*) и горизонтальной (*б*) составляющих перемещения при выдавливании пластического слоя через отверстие щелевого штампа:
1 и *2* — верхний и нижний полуштампы; *3* — контур заготовки

перемещений (или скоростей) состыковать между ними, используя условие непрерывности нормальной составляющей перемещения (или скорости) на границе. Из рис. 4, *а* видно, что вертикальные компоненты перемещений увеличиваются сверху вниз в центральной части очага деформации и уменьшаются на периферии.

Горизонтальная составляющая перемещения имеет максимальное (по модулю) значение вблизи границы центральной и периферийной зон и стремится к нулю в центре очага деформации и на границах между отдельными очагами (рис. 4, *б*).

Для построения кинематически возможного поля скоростей v_i ($i = x, y$) представим деформируемый объем в виде двух пластических зон — ЦЗ и ПЗ — и сформируем граничные условия.

Для ЦЗ

$$v_y|_{y=h} = -v; \quad v_x|_{x=0} = 0.$$

Из условия постоянства секундных объемов

$$v_y|_{y=h} BL = v_y|_{y=0} Bl$$

следует, что

$$v_y|_{y=0} = -vL/l,$$

что является еще одним граничным условием.

С учетом граничных условий подходящая функция для описания компоненты v_y следующая:

$$v_y = -v\left[1 + \left(\frac{L}{l} - 1\right)\left(1 - \frac{y}{h}\right)\right].$$

Для описания тензора скоростей деформаций продифференцируем последнее выражение по координате y:

$$\xi_{yy} = \frac{\partial v_y}{\partial y} = \frac{v}{h}\left(\frac{L}{l} - 1\right).$$

Для несжимаемого материала

$$\xi_{xx} = -\xi_{yy} = -\frac{v}{h}\left(\frac{L}{l} - 1\right),$$

откуда можно найти вторую компоненту скорости перемещения:

$$v_x = \int \xi_{xx} dx + f(y) = -\frac{v}{h}\left(\frac{L}{l} - 1\right)x + f(y).$$

При использовании граничного условия $v_x|_{x=0} = 0$ получим $f(y) = 0$, тогда окончательно

$$v_x = -\frac{v}{h}\left(\frac{L}{l} - 1\right)x,$$

что не противоречит условию, в соответствии с которым горизонтальная скорость v_x в ЦЗ является возрастающей по модулю функцией координаты x.

В связи с тем, что рассматривается несжимаемый материал, на границе ЦЗ и ПЗ следует состыковать нормальные компоненты скорости, чтобы не получить разрывов. Отсюда получаем еще одно граничное условие:

$$v_x|^{\text{ПЗ}}_{x=l/2} = v_x|^{\text{ЦЗ}}_{x=l/2}.$$

В отличие от ЦЗ, для ПЗ, исходя из необходимости стыковки горизонтальных компонент скорости на границах соседних периферийных зон, следует еще одно граничное условие:

$$v_x|^{\text{ПЗ}}_{x=L/2} = 0.$$

Последним двум граничным условиям удовлетворяет подходящая функция следующего вида:

$$v_x = -\frac{v}{h}\left(\frac{L}{2} - x\right).$$

Особенность этой функции состоит в том, что она является убывающей по модулю относительно координаты x. Это позволяет в совокупности с такой же функцией в ЦЗ получить экстремум скорости на стыке зон.

После дифференцирования функции v_x для зоны ПЗ получим

$$\xi_{xx} = \frac{\partial v_x}{\partial x} = \frac{v}{h}.$$

Из условия несжимаемости при плоской деформации

$$\xi_{yy} = -\xi_{xx} = -\frac{v}{h},$$

что соответствует действительности: вдоль координаты y в этой зоне происходит сжатие металла.

Для определения компоненты скорости v_y выполним операцию интегрирования:

$$v_y = \int \xi_{yy} dx + f(x) = -\frac{v}{h} y + f(x).$$

Применим граничное условие для этой зоны:

$$v_y\big|_{y=0}^{\text{ПЗ}} = 0,$$

после подстановки которого найдем произвольную функцию интегрирования: $f(x) = 0$. Окончательно получим

$$v_y = -\frac{v}{h}y.$$

Таким образом, достигнуто соответствие решению, полученному численным методом: в этой зоне вертикальная компонента является возрастающей по модулю функцией координаты y.

Вывод. В условиях поставленной задачи получены кинематические соотношения, позволяющие описать деформированное состояние заготовки при выполнении всех граничных условий и ограничений. Это обеспечивает возможность определения энергосиловых параметров процесса, оптимизации формы инструмента, учета влияния трения и других параметров формоизменения.

Список литературы

1. *Теория* обработки металлов давлением / И. Я. Тарновский, А. А. Поздеев, О. А. Ганаго и др. М.: Металлургиздат, 1963. 672 с.

2. *Теория* ковки и штамповки / Е. П. Унксов, У. Джонсон, В. Л. Колмогоров и др. М.: Машиностроение, 1992. 720 с.

3. *Логинов Ю. Н.* Силовые условия осадки заготовки в щелевом штампе // Изв. вузов. Черная металлургия. 1991. № 10. С. 25—28.

4. *Логинов Ю. Н., Каменецкий Б. И., Студенок Г. И.* Моделирование деформированного состояния круглой пластины при вытяжке // Изв. вузов. Черная металлургия. 2006. № 3. С. 26—28.

5. *Loginov Yu. N., Ermakov A. V., Grohovskaya L. G., Studenok G. I.* Annealing Characteristics and strain resistance of 99,93 wt. % Platinum // Platinum metals Rev. 2007. V. 51 (4). P. 178—184.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.7.04.002

Б. Н. МАРЬИН, д-р техн. наук; А. Р. КУДЕЛЬКО, канд. техн. наук; С. Б. МАРЬИН, д-р техн. наук (КнАГТУ, г. Комсомольск-на-Амуре); В. В. ЛИМАНКИН (ООО «Сибирско-Амурский Металл», г. Комсомольск-на-Амуре), В. И. ШПОРТ, д-р техн. наук (Правительство Хабаровского края, г. Хабаровск)
E-mail: Maryinsb@mail.ru (С. Б. Марьин)

Интенсификация технологических процессов ОМД — одно из направлений деятельности базовых кафедр КнАГТУ на предприятиях

На базовых кафедрах Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, созданных на ведущих предприятиях города, разработаны мероприятия по комплексной интенсификации технологических процессов обработки металлов давлением.

The base chairs of Komsomolsk-on-Amur State Technical University, established at leading enterprises of the city, have developed measures for complex intensification of technological processes of metals working by pressure.

Ключевые слова: базовые кафедры; комплексная интенсификация; технологические процессы; обработка металлов давлением.

Key words: base chairs; complex intensification; technological processes; metals working by pressure.

На основе общепринятых положений в обработке металлов давлением (ОМД) под интенсификацией технологических процессов обычно понимают совокупность некоторых дополнительных (по сравнению с традиционными) мер или действий, позволяющих повысить качество деталей, снизить трудоемкость их изготовления и сократить номенклатуру используемого оборудования и технологической оснастки [1].