

УДК 621.77.001.891.57

Медведев М. В.
Маркечко И. В.
Миненков В. В.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ВТУЛОК СО СТУПЕНЧАТОЙ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

При изготовлении заготовок деталей в металлообрабатывающем производстве достаточно большое внимание должно быть уделено внедрению холодной объемной штамповки (ХОШ), включающей в себя комплекс процессов безотходного и малоотходного пластического деформирования. На данном этапе эффективное применение ХОШ сдерживается недостаточным количеством руководящих технических материалов по разработке технологических процессов и проектированию оснастки комбинированных и совмещенных способов выдавливания, для которых характерны возможность получения сложных по конфигурации изделий за один ход пресса, меньшие нагрузки на инструменте, возможность регулирования (в определенных пределах) формоизменением путем варьирования геометрических параметров инструмента и заготовки.

В последнее время все больший интерес проявляется как к методам выдавливания полых деталей, а именно к разработке технологических процессов, так и к качеству получаемых деталей. Данным вопросам посвящены следующие работы [1–7, 8].

Целью работы является разработка математической модели процесса комбинированного выдавливания деталей со ступенчатой наружной поверхностью, позволяющей получить необходимые параметры для разработки технологии и проектирования инструмента штамповки.

Анализ предварительных экспериментов по постадийному выдавливанию деталей со ступенчатой наружной поверхностью позволил получить информацию о кинематике течения металла и областях распространения деформации. Изучение особенностей течения металла проводилось по макрошлифам стальных деформированных образцов, выполненных в меридиональной плоскости. Эта информация положена в основу схематизации (разделения объема заготовки на пластические 1, 2, 3_{n-2} и 3_{n-1} и жесткие 3 и 3_n зоны) (рис. 1).

Согласно расчетной схеме объемы пластических областей в любой момент деформации зависят от соотношения размеров инструмента и неизвестных параметров V_ϕ , h_n , σ_K / σ_S (V_ϕ – скорость изменения радиуса фланца; h_n – высоты пластических зон и σ_K / σ_S – относительное нормальное давление на контактных поверхностях). Эти параметры определяются энергетическим методом с использованием вариационного принципа возможных изменений деформированного состояния. Принятая схема кинематически возможных полей скоростей должна удовлетворять условию несжимаемости и граничным условиям для скоростей перемещения частиц металла. При этом варьируемые параметры V_ϕ , h_n и σ_K / σ_S должны принимать значения, соответствующие минимальным значениям усилий на пуансоне.

В пластических зонах скорости перемещения металла по оси z приняты линейно зависимыми от этой координаты. Закон изменения скорости в радиальном направлении определен из условия совместности скоростей деформации.

На поверхностях контакта с инструментом напряжения трения равны:

$$\tau_{mp} = K_{II} \left[1 - e^{-1,25B} \right] \frac{\sigma_S}{\sqrt{3}}, \quad (1)$$

где K_{II} – коэффициент, определяемый экспериментально [4];

σ_S – напряжение текучести материала заготовки;

$B = \frac{\sigma_K}{\sigma_S}$ – относительное нормальное давление на контактных поверхностях.

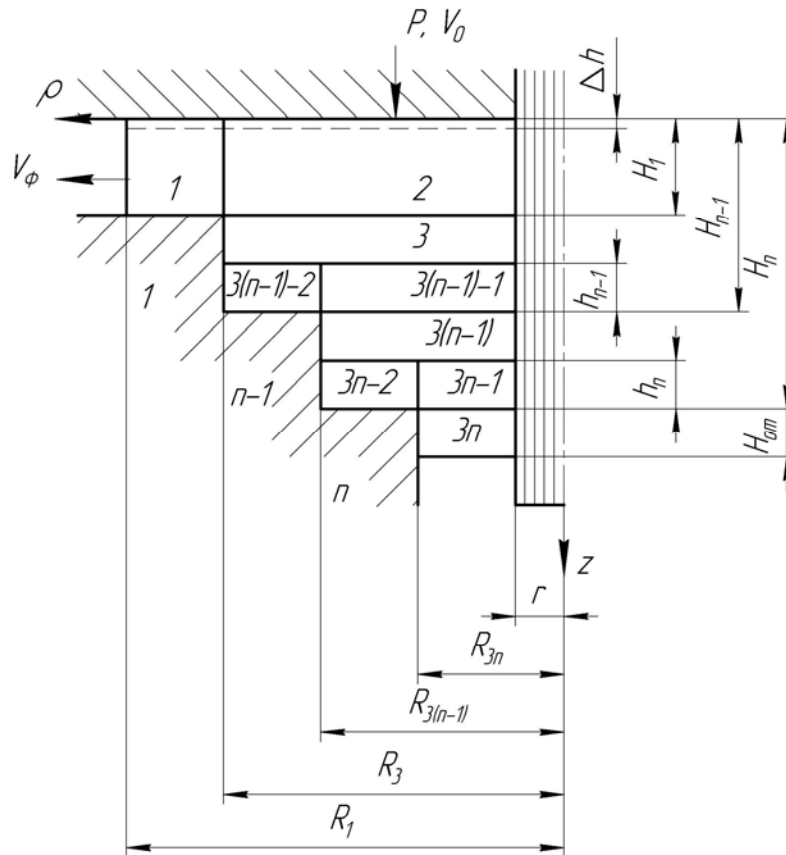


Рис. 1. Расчетная схема процесса комбинированного выдавливания втулок со ступенчатой наружной поверхностью

Неравномерность деформации учитывается введением мощностей, затрачиваемых на срез между жесткими и пластическими зонами.

Полная мощность деформации в момент времени, соответствующий достаточно малому перемещению Δh при скорости V_0 для неупрочняемой среды, представляет собой функционал, в котором неизвестные координатные функции H (интенсивность скоростей деформации сдвига в пластических зонах), V_{cp} (разрыв скоростей по поверхностям среза), V_{mp} (разрыв скоростей по поверхностям контакта металла и инструмента) зависят от искомых параметров V_ϕ , h_n , определяющих формоизменение и силовой режим.

На любой стадии выдавливания полная мощность равна:

$$N_\partial = \sum_{i=1}^{11(n-1)+9} N_i, \quad (2)$$

где N_i – мощность сил сопротивления деформированию;

n – количество ступеней матрицы, участвующих в формообразовании;

$11(n-1) + 9$ – количество составляющих мощностей.

Компоненты скоростей перемещений частиц металла, скоростей деформаций, интенсивностей скоростей деформаций определяются на каждой ступени как функции вида:

$$V, \xi, H = f(\rho, z, V_\phi, h_n). \quad (3)$$

Так как относительное удельное усилие на пуансоне определяется уравнением:

$$\frac{p}{\sigma_S} = \frac{N_\partial}{\sigma_S \cdot F_{II} \cdot V_0}, \quad (4)$$

где F_{II} – площадь контакта пуансона и заготовки, то после введения в него выражения (3) получим:

$$\frac{p}{\sigma_S} = f\left(\alpha_1, \alpha_{3n}, \beta_n, \lambda, \gamma_n, U_\phi, U_{on}, \frac{\sigma_K}{\sigma_S}\right), \quad (5)$$

где $\alpha_1 = R_1/R_3$; $\alpha_{3n} = R_{3n}/R_3$; $\beta_n = H_n/R_3$; $\lambda = r/R_3$; $\gamma_n = h_n/R_3$ – относительные значения геометрических размеров;

$U_\phi = V_\phi/V_0$; $U_{on} = V_{on}/V_0$ – скорости изменения радиуса и движения оправки, отнесенные к скорости движения пуансона.

Для зон 1 и 2 величина осевого напряжения на контактных поверхностях принимается равной удельному усилию на пуансоне (p), то есть:

$$\sigma_Z^I = \sigma_Z^{II} = p.$$

Принимается также, что величина осевого напряжения не зависит от координаты z , тогда:

$$\sigma_Z^{3n-2} = \sigma_Z^{3n-1} = p. \quad (6)$$

Используя уравнения пластичности для пластических зон:

$$\sigma_Z - \sigma_\rho = \sigma_S,$$

определяем нормальные давления на вертикальных стенках инструмента:

$$\frac{\sigma_Z^{II}}{\sigma_S} = \frac{\sigma_\rho^{3n-1}}{\sigma_S} = \frac{\sigma_\rho^{3n-2}}{\sigma_S} = \frac{p}{\sigma_S} - 1. \quad (7)$$

Нормальные давления на вертикальных поверхностях инструмента в жестких зонах приняты равными нормальным давлениям смежных пластических зон, то есть:

$$\frac{\sigma_\rho^{3n}}{\sigma_S} = \frac{p}{\sigma_S} - 1. \quad (8)$$

В последней жесткой зоне нормальные давления приняты усредненными, исходя из фактического падения давления от зоны 3_{n-1} к свободной поверхности выдавливаемого отрезка:

$$\frac{\sigma_\rho^{3n}}{\sigma_S} = 0,5 \cdot \left(\frac{p}{\sigma_S} - 1\right). \quad (9)$$

После подстановки выражений (6)–(9) в уравнение (5) получаем выражение:

$$\frac{p}{\sigma_S} = f\left(\alpha_1, \alpha_{3n}, \beta_n, \lambda, \gamma_n, U_\phi, U_{on}, \frac{p}{\sigma_S}\right), \quad (10)$$

содержащее в левой и правой частях неизвестную величину p/σ_S .

Неизвестные параметры U_ϕ и γ_n определяются из условия минимума полной мощности деформации:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial U_\phi} \sum_{i=1}^{11(n-1)+9} N_i &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial \gamma_n} \sum_{i=1}^{11(n-1)+9} N_i &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

В системе (11) второе уравнение в явном виде определяет параметр γ_n относительно U_ϕ . После подстановки γ_n в первое уравнение системы (11) получаем нелинейное алгебраическое уравнение:

$$\frac{\partial}{\partial U_{\Phi}} F(U_{\Phi}) = 0. \quad (12)$$

Совместное решение уравнений (10) и (12) позволит окончательно определить формоизменение и силовой режим процесса выдавливания.

При расчете усилия деформирования влияние упрочнения учитывается по кривым упрочнения, аппроксимированным степенной зависимостью:

$$\sigma_i = \sigma_{S0} + A\varepsilon_i^C, \quad (13)$$

где σ_{S0} – напряжение текучести в начальный момент деформации;

A и C – коэффициенты аппроксимации [9];

ε_i – интенсивность деформации.

Используя схему комбинированного выдавливания полый втулки со ступенчатой наружной поверхностью в качестве базовой, составлены расчетные уравнения для процесса прямого выдавливания и высадки в одно и многоступенчатую матрицу. В результате анализа компонентов этих уравнений получено обобщенное уравнение, позволяющее определить формоизменение и силовой режим этих процессов.

ВЫВОДЫ

На основании энергетического метода составлена математическая модель, описывающая ряд процессов (комбинированное, прямое выдавливание и высадку в одно и многоступенчатую матрицу), на основе типового деления объема деформируемого тела на унифицированные элементы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артеc А. Э. Разработка технологических процессов холодного выдавливания трубных изделий / А. Э. Артеc, Е. С. Серов, В. В. Третьюхин, Т. В. Гуреева // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2009. – № 6. – С. 27–30.
2. Плаксин А. В. Повышение качества поковок фланцев на основе совершенствования схемы деформирования / А. В. Плаксин, Б. Г. Каплунов // Вестник ЮУрГУ. – 2006. – Вып. 8. – № 11 (66). – С. 148–154. – (Серия «Машиностроение»).
3. Третьюхин В. В. Закрытая штамповка поковок методом комбинированного выдавливания / В. В. Третьюхин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2008. – № 8. – С. 16–19.
4. Вариационные принципы механики в теории обработки металлов давлением / Тарновский И. Я., Поздеев А. А., Колмогоров В. Л. [и др.]. – М. : Металлургия, 1963. – 54 с.
5. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением / В. А. Евстратов. – Харьков : Вища школа, 1981. – 284 с.
6. Богоявленский К. Н. Изготовление заготовок и деталей пластическим деформированием / К. Н. Богоявленский, В. В. Рис, А. М. Шелестеев. – Л. : Политехника, 1991. – 351 с. : ил.
7. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А. Н. Леванов, В. Л. Колмогоров, С. П. Букин и др. – М. : Металлургия, 1976. – 415 с.
8. Гуляев Ю. Г. Математическое моделирование процессов ОМД / Ю. Г. Гуляев, С. А. Чукмасов, А. В. Губинский. – Киев : Наукова думка, 1986. – 240 с.
9. Третьяков А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – М. : Металлургия, 1973. – 224 с.

Медведев М. В. – ст. преподаватель ОмГТУ;

Маркечко И. В. – канд. тех. наук, доц. ОмГТУ;

Миненков В. В. – магистр ОмГТУ.

ОмГТУ – Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

E-mail: maksim-medvedev@mail.ru