

УДК 620. 4539. 37

**Математическое моделирование энергосилового режима
процесса скоростного выдавливания стержневых изделий
с плакированием торцевой части**

Качанов И. В., Шарий В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Метод скоростного выдавливания с плакированием торцевой части применяется для получения изделий стержневого типа с утолщением на одном конце из разных сталей и сплавов и является разновидностью процесса прессования [1,2]. Основы теории и практики процесса выдавливания (прессования) заложены в работах отечественных и зарубежных исследователей [1-4].

Пластическое течение металлов и сплавов в процессе скоростного выдавливания с плакированием сопровождается сложным комплексом специфических, взаимосвязанных явлений, детальный теоретический анализ которых сопряжен со значительными трудностями. Вследствие этого к настоящему времени для определения энергосиловых параметров процесса создан ряд теорий, с различных позиций описывающих поведение материалов в условиях скоростного нагружения.

Однако практическое применение расчетных зависимостей, полученных на основе этих теорий, затруднено, так как они ориентированы на использование эмпирических и полуэмпирических данных, для получения которых необходимо проведение дополнительных экспериментов. Известные более точные решения, основанные на использовании модели жесткопластического материала, являются либо слишком трудоемкими (решение по методу характеристик), либо не учитывают в полном объеме условия деформирования (метод верхней оценки).

На основании вышеизложенного в данной работе предлагается методика расчета усилия, действующего на пуансон при скоростном выдавливании с плакированием торцевой части заготовки.

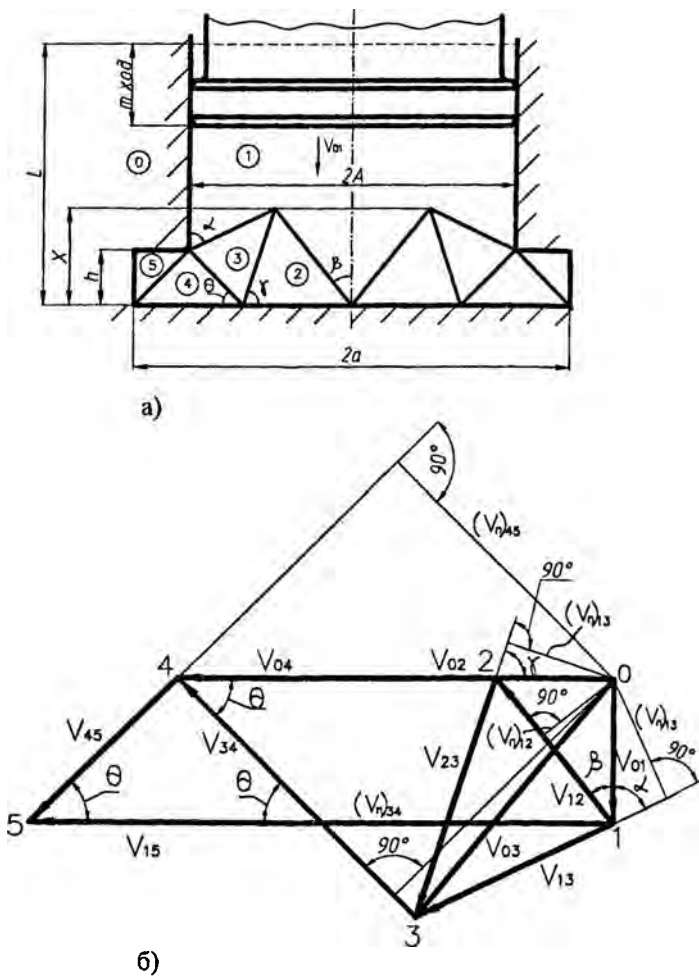


Рисунок 1 - Кинематически возможное поле линий скольжения (а) и соответствующий ему годограф скоростей (б)

Для решения задачи используем приближенный энергетический метод (метод верхней оценки). Для расчета интегральных энергосиловых параметров с помощью этого метода используем

кинематически возможное поле линий скольжения (рис. 1а) и соответствующий им годограф скоростей (рис. 1б). Выбор метода обусловлен тем, что он позволяет учесть ряд динамических явлений, возникающих при взаимодействии пуансона с заготовками, кинематику процесса, провести анализ нестационарного нагружения с учетом стадий процесса и получить решение в замкнутой аналитической форме. Кинематически возможное поле с тремя варьируемыми α, β, χ параметрами выбрано на основе известного поля линий скольжения для третьего периода штамповки при $\alpha/h > 3$ [1], образованного дугами равного радиуса, в котором участки дуг заменены отрезками прямых линий.

При этом принимаем следующие допущения: материал заготовки однородный, несжимаемый, изотропный, жесткопластический, удовлетворяющий критерию текучести Губера-Мизеса; инструмент абсолютно жесткий; формирование очага пластической деформации происходит в начальной стадии соударения пуансона с заготовкой; вид поля линий скольжения в каждый момент времени не зависит от абсолютной скорости и ее изменения (квазистатическая задача); силы инерции не оказывают влияния на кинематику формоизменения (псевдостационарное течение).

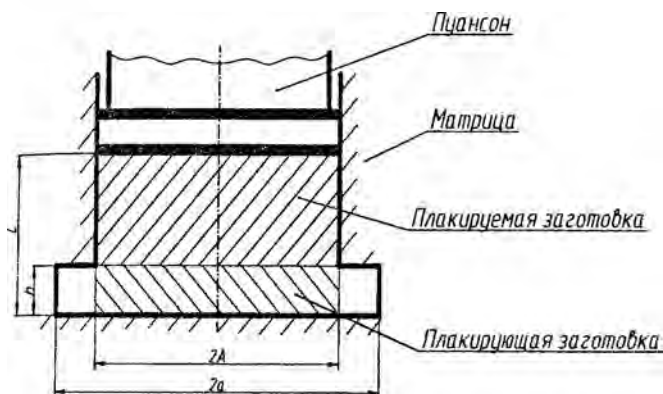


Рисунок 2 - Схема плакирования стержневых изделий ударной нагрузкой

Для получения наиболее полного решения динамической задачи по определению усилия, действующего на пуансон при

скоростном выдавливании плакируемой и плакирующей заготовок в радиальную полость матрицы толщиной h (рис. 2), необходимо при заданных граничных условиях, размерах инструмента, учесть массу пуансона и заготовок, а также кинематику течения металла. Величину усилия, найдем из уравнения баланса внешних и внутренних сил, которое представим в виде:

$$W_i = W_{\text{н.н.}} = W_{\text{н.д.}} + W_{\text{д.д.}} \pm W_{\text{д.и.}}, \quad (1)$$

где W_n - мощность движения пуансона (мощность внешних активных сил); $W_{\text{н.н.}}$ - суммарная мощность сил сопротивления; $W_{\text{н.д.}}$ - мощность сил (внешних и внутренних) собственного сопротивления деформированию; $W_{\text{д.д.}}$ - мощность от действия динамических напряжений; $W_{\text{д.и.}}$ - мощность от действия инерционных сил (взято со знаком «-» т.к. плакирование осуществляется на стадии торможения).

$$W_i = P_{i.i\bar{e}} \cdot v = p_{i.i\bar{e}} 2A \cdot b \cdot v, \quad (2)$$

где $P_{i.i\bar{e}}$ и $p_{i.i\bar{e}}$ - соответственно усилие и давление, действующие со стороны заготовки на пуансон; A - высота заготовки; b - ширина заготовки в плоскости перпендикулярной к направлению движения пуансона.

Выражение для расчета мощности $W_{\text{н.д.}}$ представим в виде

$$W_{\text{н.д.}} = W_{\text{д.д.с.}} + W_{\text{д.д.т.}}, \quad (3)$$

где $W_{\text{д.д.с.}}$ - мощность внутренних сил сопротивления, действующих на поверхностях разрыва скорости; $W_{\text{д.д.т.}}$ - мощность сил контактного трения, действующих на поверхностях контакта деформируемых материалов и инструмента.

Величина мощности $W_{\text{д.д.с.}}$ определяется из уравнения

$$W_{\text{д.д.с.}} = \sum k l_{rs} \cdot v_{rs}, \quad (4)$$

где l_{rs} - длина границ между блоками r , s (r и s - номера блоков в принятом поле линий скольжения; $r = 0, 1, 2, 3, 4$; $s = 1, 2, 3, 4$,

5), v_{rs} - величина разрыва скорости вдоль границ смежных блоков r, s ; k – постоянная пластичности деформируемого материала (определяется по результатам динамических испытаний).

Для расчета мощности, затраченной на преодоление сил контактного трения $W_{\partial\partial}$, используется зависимость

$$W_{\partial\partial} = \sum \tau_k \cdot l_{rs} \cdot b \cdot v_{rs}, \quad (5)$$

где τ_k - касательные напряжения, действующие на поверхности трения между деформируемой заготовкой и инструментом. Величину касательных напряжений можно определить по уравнению [3]

$$\tau_k = 2\mu k, \quad (6)$$

где μ - коэффициент пластического трения, который характеризует состояние поверхности инструмента и может изменяться от $\mu = 0$ (идеально гладкие поверхности) до максимального значения $\mu = 0,5$ на поверхностях, где $\tau_k = k$.

С учетом (4), (5), (6) выражение для расчета мощности $W_{\text{н.д.}}$ принимает вид

$$W_{\text{н.д.}} = (1 + 2\mu) \sum k l_{rs} b \cdot v_{rs}, \quad (7)$$

Согласно [3], скоростное пластическое течение частиц деформируемого материала через поверхность разрыва сопровождается изменением их количества движения. Под действием импульса силы, величина которого определяется указанным изменением количества движения, на поверхностях разрыва возникают дополнительные динамические напряжения $(q_{\partial\partial i})_{rs}$, определяемые по уравнению [3]

$$(q_{\partial\partial i})_{rs} = \rho (v_n)_{rs} \cdot v_{rs}, \quad (8)$$

где ρ - плотность деформируемого материала (принимается значение более плотного материала из двух деформируемых); $(v_n)_{rs}$ - нормальная к поверхности разрыва компонента скорости (определяется по годографу скорости по рис. 16).

Мощность $W_{a\dot{e}i.}$, затраченная на преодоление напряжений $(q_{a\dot{e}i.})_{rs}$, рассчитывается по уравнению

$$W_{a\dot{e}i.} = q_{a\dot{e}i.} \cdot l_{rs} \cdot b \cdot v_{rs} = \rho(v_n)_{rs} v_{rs}^2 \cdot b l_{rs}. \quad (9)$$

Силы инерции $P_{\dot{e}i.}$, возникающие в заготовках при ударном воздействии на нее пуансона, определяется по формуле

$$P_{\dot{e}i.} = \sum_{i=1}^5 m_i \omega_i, \quad (10)$$

где m_i - массы блоков 1, 2, 3, 4, 5 в принятом поле линий скольжения; ω_i - вектор ускорения частиц металла в жестких блоках 1, 2, 3, 4, 5 движущейся заготовки.

Учитывая выражение (10) и опуская в нем знак “минус”, обозначающий противоположное направление векторов силы инерции и ускорения блоков 1, 2, 3, 4, 5, запишем зависимость для расчета $W_{\dot{e}i.}$

$$W_{\dot{e}i.} = \sum_{i=1}^5 m_i \omega_i v_i, \quad (11)$$

где v_i - вектор скорости частиц в жестких блоках 1, 2, 3, 4, 5

Для определения усилия, воспринимаемого пуансоном в процессе выдавливания, необходимо с помощью параметров поля α , β , χ размеров пуансона $2A$, b , уширения N выразить размеры границ блоков l_{rs} , определить массы блоков m_i , установить соотношение между кинематическими параметрами точек деформируемой заготовки v_{rs} , $(v_n)_{rs}$, ω_i и блока 1 (v_{01} , ω_{01}).

Величина уширения N в условиях плоской деформации определяется из выражения

$$N = \frac{f}{f_0} = \frac{a}{A} = \frac{1}{\lambda}, \quad (12)$$

где f_0 и f - площадь плоской заготовки до и после деформации; a - высота выдавленного профиля; λ_{1e} - коэффициент уширения при плоской деформации.

С целью упрощения расчета линейных размеров блоков 1, 2, 3, 4, 5, их масс и кинематических параметров процесса введем вспомогательные углы γ и θ , однозначно определяемые параметрами α, β, x и геометрическими параметрами инструмента:

$$\begin{cases} \gamma = \text{arccctg} \frac{a - x \text{tg} \beta}{x} = \text{arccctg} \left(\frac{AN}{x} - \text{tg} \beta \right) \\ \theta = \text{arctg} \frac{h}{a - A} = \text{arctg} \frac{h}{A(N - 1)}. \end{cases} \quad (13)$$

Искомые величины длин граничных поверхностей l_{rs} для блоков поля на рис. 1 будут следующими

$$\begin{cases} l_{01} = L - m; l_{02} = A(2 - N); l_{04} = 2A(N - 1); l_{05} = A(N - 1); \\ l_{12} = \frac{x}{\cos \beta}; l_{13} = \frac{x - h}{\cos \alpha}; l_{23} = \frac{x}{\sin \gamma}; l_{34} = \frac{h}{\sin \theta} = l_{45}, \end{cases} \quad (14)$$

где m - путь деформирования, L - сумма длин плакируемой и плакирующей заготовок (рис. 2).

Зависимость (1) с учетом (3) - (14) представим в виде:

$$\begin{aligned} W_{\text{нн}} = kb \left[(l_{12} \cdot u_{12} + l_{13} \cdot u_{13} + l_{23} \cdot u_{23} + l_{34} \cdot u_{34} + l_{45} \cdot u_{45}) + 2l_{01} \cdot u_{01} + l_{02} \cdot u_{02} + \right. \\ \left. + l_{04} \cdot u_{04} + l_{05} \cdot u_{05} \right] + pb \left[(u_n)_{12} \cdot u_{12}^2 \cdot l_{12} + (u_n)_{13} \cdot u_{13}^2 \cdot l_{13} + (u_n)_{23} \cdot u_{23}^2 \cdot l_{23} + \right. \\ \left. + (u_n)_{34} \cdot u_{34}^2 \cdot l_{34} + (u_n)_{45} \cdot u_{45}^2 \cdot l_{45} \right] \pm (m_1 \omega_{01} \cdot u_{01} + m_2 \omega_{02} \cdot u_{02} + m_3 \omega_{03} \cdot u_{03} + \\ + m_4 \omega_{04} \cdot u_{04} + m_5 \omega_{05} \cdot u_{05}). \end{aligned} \quad (15)$$

Выражение (15) в результате преобразований с учетом (3) - (14) запишется следующим образом

$$W_{\text{cc}} = b \omega_{01} \left\{ k \left[F_1(\alpha, \beta) + 2A(L - m) \right] + \rho_{01}^2 F_2(\alpha, \beta) \pm \rho_{01} \left[(L - m) + F_3(\alpha, \beta) \right] \right\}, \quad (16)$$

Исходя из условия баланса мощностей (1) и учитывая зависимость (16), получим уравнение для определения минимального усилия $P_{i,iz}$, действующего на пуансон на стадии торможения при выдавливании плоской заготовки в радиальную полость матрицы

$$P_{i,iz} = \frac{\omega_0 \{k(F_1(\alpha, \beta) + 2\mu(L-m)) + \rho\omega_0^2 F_2(\alpha, \beta) \pm \rho\omega_0((L-m) + F_3(\alpha, \beta))\}}{2A} \quad (17)$$

Входящие в уравнение (17) функции $F_1(\alpha, \beta)$, $F_2(\alpha, \beta)$, $F_3(\alpha, \beta)$ определяются из условий плоской деформации путем исследования на экстремум мощности сил собственного сопротивления $W_{\text{н.д.}}$ деформируемой заготовки [5].

Анализируя зависимость (17), получаем достаточно полное отражение реальных условий ударного выдавливания с плакированием, так как в ней представлены реологические характеристики материала (k , ρ), параметры техпроцесса (μ , ν , ω), геометрия инструмента (L, A, m).

Принимая во внимание сказанное, уравнение (17) может быть рекомендовано для прогнозирования оптимального силового режима работы инструмента при ударном выдавливании стержневых изделий с плакированием торцевой части в матрице.

Литература

1. Шофман, Л. А. Основы расчета процессов штамповки и прессования / Л. А. Шофман. – М.: Машиностроение, 1981. – 340 с.
2. Губкин, С. И. Теория обработки металлов давлением / С. И. Губкин. – М.: Металлургия, 1947. – 532 с.
3. Томленов, А. Д. Теория пластического деформирования металлов / А. Д. Томленов. – М.: Металлургия, 1972. – 408 с.
4. Перлин, И. Л. Теория прессования металлов / И. Л. Перлин, Л. Х. Райтбарг. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с.
5. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов; под ред. Л. А. Исаевича. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – 327 с. – ISBN 985 – 464 – 225 – 9.