

Проведенный анализ показывает, что область устойчивого волочения с уменьшением угла волоки смещается в сторону меньших значений коэффициента трения, что вызывает необходимость при снижении трения вести процесс на волокнах с меньшим углом конусности.

При неизменных параметрах самоустанавливающейся оправки снижение коэффициента трения может привести к некоторому уменьшению напряжения волочения или нарушить стабильность процесса при $\frac{\operatorname{tg} \alpha_{\text{опр}}}{f_{\text{опр}}} > 2$.

Увеличение степени деформации при волочении на самоустанавливающейся оправке возможно за счет уменьшения угла оправки при соблюдении условия $\frac{\operatorname{tg} \alpha_{\text{опр}}}{f_{\text{опр}}} > 1$, а максимальной вытяжки можно достигнуть при использовании оправки с меньшим углом конусности и одновременном снижении коэффициента трения при соблюдении условия $\frac{\operatorname{tg} \alpha_{\text{опр}}}{f_{\text{опр}}} \leq 2$.

Так как воздействие ультразвуковых колебаний вызывает снижение сил трения на контактной поверхности, то это позволяет использовать при волочении оправку с меньшим углом, что приводит к увеличению стабильности процесса, с одной стороны, и значительному снижению напряжения волочения — с другой.

Так, волочение с ультразвуком на самоустанавливающейся оправке через волоку с углом волочения $4^{\circ}30'$ вместо $9-12^{\circ}$, принятых для волочения без ультразвука, позволило повысить степень деформации за проход при скорости волочения $0,27$ м/с с $1,65$ до $1,85$.

УДК 531.781.2

О.М.Дьяконов, канд. техн. наук (БПИ)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОДОБИЯ ПЛОСКОЙ И ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ПРОШИВКИ

В работе рассматриваются вопросы, связанные с расчетом осесимметричной ударной прошивки заготовок по полученным ранее формулам плоской деформации [1].

Расчет этот возможен лишь при таких соотношениях размеров плоского и осесимметричного штампов (a/d , A/D , рис. 1), при которых указанные процессы могут осуществляться с равными энергозатратами. Равенство энергозатрат должно иметь место при идентичных условиях деформирования и по истечении равных промежутков времени.

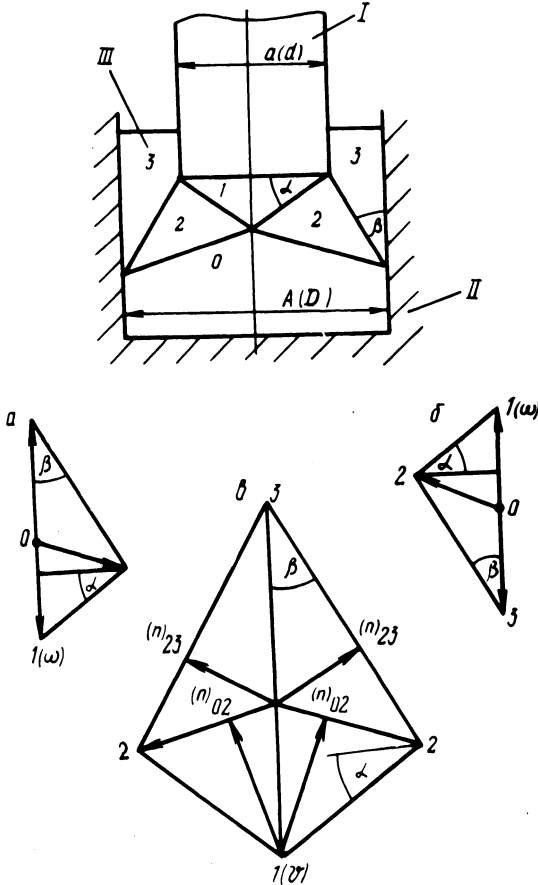


Рис. 1. Схема закрытой прошивки. Кинематически возможные поля скоростей и ускорений: а, б – годографы ускорений частиц деформируемого металла на различных этапах нагружения; в – годограф скоростей.

Сформулированные таким образом условия подобия плоской и осесимметричной прошивки можно записать в виде равенства мгновенных мощностей сил внутреннего сопротивления деформируемого металла

$$W_{\text{пл}} = W_{\text{ос}} \quad (1)$$

Учитывая, что мощность сил внутреннего сопротивления равна сумме мощностей сил собственного и динамического сопротивлений, имеем

$$(W_{\text{соб}})_{\text{пл}} + (W_{\text{дин}})_{\text{пл}} = (W_{\text{соб}})_{\text{ос}} + (W_{\text{дин}})_{\text{ос}} \quad (2)$$

Последнее равенство представим в виде системы уравнений:

$$(W_{\text{соб}})_{\text{пл}} = (W_{\text{соб}})_{\text{ос}}; \quad (3)$$

$$(W_{\text{дин}})_{\text{пл}} = (W_{\text{дин}})_{\text{ос}} \quad (4)$$

Известно, что уравнение (3) для процессов статического деформирования имеет силу при равновеликих площадях приложения нагрузки ($F_{\text{пл}} = F_{\text{ос}}$ или $ab = \frac{\pi d^2}{4}$) и геометрическом подобии размеров плоского и осесимметричного штампов ($\frac{a}{A} = \frac{d}{D}$). С некоторой погрешностью (5–10)% можно принять, что

это уравнение справедливо и при равенстве обжатий

$$\lambda_{\text{пл}} = \lambda_{\text{ос}} = \lambda \quad \text{или} \quad \frac{a}{A - a} = \frac{d^2}{D^2 - d^2} \quad (5)$$

Для процессов ударного деформирования данное положение остается в силе. Однако условия подобия (2) требуют, чтобы при этом соблюдалось также равенство (4). Связано это с тем, что с увеличением скорости деформирования на величину мощностей сил внутреннего сопротивления все большее влияние оказывают инерционные силы движущихся масс металла.

Найдем соотношения размеров плоского и осесимметричного штампов, при которых указанное требование выполнялось бы при равенстве обжатий (5).

Прежде всего ограничим размер бойка I и контейнера II штампа с плоской заготовкой III в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа (рис. 1). Тем самым мы ограничим объем движущихся масс металла при плоской деформации. Допустим, что этот размер равен размеру контейнера в плоскости чертежа, т. е.

$$b = A. \quad (6)$$

Вычислим объемы металла, выходящие из пластической об-

ласти в единицу времени при плоской и осесимметричной прошивке. При этом учтем, что форма очага осесимметричной деформации в меридиональном сечении заготовки такая же, как и при плоской деформации. Пластическую область можно разбить на такие же зоны деформации (1, 2, 3). Можно даже считать, что поля скоростей и ускорений внутри этих зон, за исключением зоны 2, однородны. В целом для очага осесимметричной деформации справедливы принятые в работе [1] упрощающие гипотезы. Итак,

$$(V_{\text{пл}})_{b=A} = (A - a)A[(v_{03})_{\text{пл}} + v_{\text{пл}}] = (A - a)Av_{\text{пл}} \left(\frac{a}{A - a} + 1 \right) = v_{\text{пл}} A^2;$$

$$V_{\text{ос}} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} [(v_{03})_{\text{ос}} + v_{\text{ос}}] = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} v_{\text{ос}} \times$$

$$\times \left(\frac{d^2}{D^2 - d^2} + 1 \right) = v_{\text{ос}} \frac{\pi D^2}{4}.$$

Равенство этих объемов - одно из необходимых условий равенства мощностей кинетической энергии (динамического сопротивления) металла на выходе из пластической области, так как оно влечет за собой равенство масс зон 3 при любом фиксированном значении времени плоской и осесимметричной деформации;

$$(V_{\text{пл}})_{b=A} = V_{\text{ос}}; v_{\text{пл}} A^2 = v_{\text{ос}} \frac{\pi D^2}{4}. \quad (7)$$

Другим условием является равенство скоростей и ускорений блоков 3, что в свою очередь обеспечивается равенством обжатий и скоростей деформирования:

$$v_{\text{пл}} \lambda_{\text{пл}} = v_{\text{ос}} \lambda_{\text{ос}}; \omega_{\text{пл}} = \lambda_{\text{пл}} = \omega_{\text{ос}} \lambda_{\text{ос}}$$

или

$$(v_{03})_{\text{пл}} = (v_{03})_{\text{ос}}; (\omega_{03})_{\text{пл}} = (\omega_{03})_{\text{ос}}. \quad (8)$$

Соотношение размеров плоского (квадратного) и цилиндрического контейнеров, при котором скорости деформирования могут быть равны ($v_{\text{пл}} = v_{\text{ос}}$), определяется из уравнения (7)

$$A^2 = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{или} \quad A = \frac{D}{2} \sqrt{\pi} \quad (9)$$

Решая совместно уравнения (5), (9), определяем соотношение размеров бойков с плоским и цилиндрическим наконечниками:

$$a = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\pi \lambda}{1 + \lambda}}. \quad (10)$$

Равенство мощностей кинетической энергии металла на выходе из пластической области автоматически влечет за собой равенство мощностей кинетической энергии в остальном объеме очага деформации.

Для расчета параметров осесимметричной ударной прошивки по формулам плоской деформации достаточно произвести перерасчет коэффициентов последних с учетом соотношений (5), (6), (10). Так, в результате такого перерасчета приведенные в работе [1] коэффициенты

$$C_1 = \frac{4\sqrt{2\lambda}(1 + \lambda)}{\lambda[(1 + \lambda)^2 + \lambda^2]}; \quad (11) \quad C_2 = \frac{1 + \lambda}{\lambda} + \frac{\lambda}{1 + \lambda}; \quad (12)$$

$$C_3 = \frac{54}{\Delta t \lambda (2C_2 + 3)} \left[\frac{\bar{m}}{\rho(1 + \lambda)} + \frac{a}{2\sqrt{2\lambda}} \right]; \quad (13)$$

$$C_4 = \frac{144k C_1}{\rho(16 + 3\lambda C_1 \sqrt{2\lambda})}; \quad (14)$$

$$C_5 = - \frac{54 \bar{m} v_0^2}{\Delta t \rho \lambda (1 + \lambda) (2C_2 + 3)}; \quad (15)$$

$$l_{\text{пр}} = \frac{\bar{m}}{\rho \lambda (1 + \lambda)} + \frac{3a}{4\lambda \sqrt{2\lambda}}; \quad (16) \quad \bar{m} = \frac{m}{ab} \quad (17)$$

приобретают следующий вид:

$$(C_1)_{\text{ос}} = \frac{4\sqrt{2\lambda}(1 + \lambda)}{\lambda[(1 + \lambda)^2 + \lambda^2]}; \quad (11)'$$

$$(C_2)_{\text{ос}} = \frac{1 + \lambda}{\lambda} + \frac{\lambda}{1 + \lambda}; \quad (12)'$$

$$(C_3)_{\text{ос}} = \frac{54}{\Delta t \lambda (2C_2 + 3)} \left[\frac{\bar{m}}{\rho(1 + \lambda)} + \frac{d}{4} \sqrt{\frac{\pi}{2(1 + \lambda)}} \right]; \quad (18)$$

$$(C_4)_{\text{ос}} = \frac{144k C_1}{\rho(16 + 3\lambda C_1 \sqrt{2\lambda})}; \quad (14)'$$

$$(C_5)_{ос} = - \frac{54 \bar{m} v_0^2}{\Delta t \rho \lambda (1 + \lambda) (2C_2 + 3)}; \quad (19)$$

$$(l_{пр})_{ос} = \frac{\bar{m}}{\rho \lambda (1 + \lambda)} + \frac{3d}{8\lambda} \sqrt{\frac{\pi}{2(1 + \lambda)}}; \quad (20) \quad \bar{m} = \frac{4m}{\pi d^2}. \quad (21)$$

Соотношения (5), (6), (10) лишь приближенно удовлетворяют энергетическим условиям подобия плоской и осесимметричной прошивки. Однако в настоящее время нет никаких доказательств возможности решения этого вопроса достаточно строгим в теоретическом отношении методом [2]. Исключена также возможность применения в данном случае метода А.Д.Томленова [3], предложенного для расчета удельных усилий скоростного прессования выпуклых симметричных профилей.

Л и т е р а т у р а

1. Дьяконов О.М. Решение плоской динамической задачи ударного выдавливания полостей приближенным энергетическим методом. - В сб.: *Металлургия*. Минск: Высшая школа, 1980, вып. 14, с. 125-129. 2. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. - М.: Машиностроение, 1977. - 423 с. 3. Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. - М.: *Металлургия*, 1972. - 274 с.