УДК 539.374; 621.73

Г.А.ИСАЕВИЧ, В.А.КОРОЛЬ,
М.И.СИДОРЕНКО, В.Е.ХАРЛАН

ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ СКОРОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПЛОСКИХ И ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ЗАДАЧАХ

Использование метода верхней оценки при анализе пластического течения металлов позволяет схематизировать процесс деформирования и является рациональным приемом решения конкретных технологических задач. В задачах исследования кинематически возможных полей скоростей течения при наличии варьируемых параметров основной сложностью является определение значений среднего нормального напряжения и минимизация функционалов энергии. Реализуются эти этапы решения, как правило, при помощи численных алгоритмов и характеризуются значительной трудоемкостью. Вместе с тем для многих процессов обработки металлов давлением расчет энергосиловых параметров не является первоочередной задачей, а наибольший интерес представляет изучение характера формоизменения и конечных свойств изделий, которое можно провести по установленным кинематическим переменным. Оперативность таких оценок значительно возрастет, если установление кинематически возможных полей скоростей течения не будет непосредственно основываться на использовании отмеченных трудоемких этапов решения. При этом поле напряжений, поставленное в соответствие кинематически возможному полю скоростей, должно быть статически допустимым, или иначе искомые кинематические поля действительны [1]. Действительности кинематических полей можно удовлетворить, если при построении последних использовать ряд дополнительных требований, формулировка которых для плоских и осесимметричных задач происходит по следующей схеме.

Известно [2], что статическая допустимость полей напряжений σ^j_i, поставленных в соответствие полю скоростей деформаций ξ^j_i, которые связаны соотношениями Коши с кинематически возможным полем скоростей течения v^i, обеспечивается в случае, если мощность процесса пластического деформирования

$$N = \sum_{l} \int_{V_l} \sigma^j_i \xi^i_j dv + \sum_{K} \int_{A_K} \tau_{\text{тр}_K} \hat{v}_K ds$$

принимает минимальное значение. Условия экстремальности Эйлера для течения неупрочняющегося металла $(T = \tau_s)$ в односвязных областях $(l = 1)$ в предположении о несжимаемости материала $(\xi^i_j \delta^j_i = 0)$ и в рамках закона трения Прандтля $(\tau_{\text{тр}_K} = 2\mu T)$ приводят к системе уравнений, обеспечивающих минимум мощности процесса деформирования:

$$\int_V H_{,a_i} dv + 2\mu \Sigma \int_{KA_\kappa} \hat{v}_{\kappa,a_i} ds = 0, \tag{1}$$

Здесь A_κ — площадь контактных поверхностей; $\hat{v}_\kappa$ — скорость скольжения материала по контактной поверхности; T, H — интенсивность соответственно напряжений и скоростей деформации сдвига; μ — коэффициент внешнего трения; a_i — варьируемые параметры, входящие в уравнения скоростей течения.

При переходе к плоским ($\xi_z = 0$) симметричным течениям система (1) принимает вид

$$\sqrt{3}\mu \int_{L^*} \hat{v}_{,a_i} dl - \iint_{A^*} (v_{x,x})_{,a_i} ds = 0, \tag{2}$$

где L^* — дуга контакта; $A^* = \partial V \neq \cup A_\kappa$.

Первый интеграл в условии (2) можно определить как

$$\int_{L^*} \hat{v}_{,a_i} dl = \int_{L^*} (1 + F^2_{,x})^{0,5} (\psi_{,y})_{,a_i} dl, \tag{3}$$

где $F = F(x)$ — уравнение контактного контура.

Используя формулу Грина, второй интеграл в уравнении (2) представим в виде

$$\iint_{A^*} (v_{x,x})_{,a_i} ds = \oint_L v_{x,a_i} dy. \tag{4}$$

При этом

$$L = L^* \cup L_i, \quad L_i: \begin{cases} x = x_i, & y \in [0, F_i] \\ y = y_i, & x \in [0, x_i], \end{cases}$$

$$\sum_i \int_{L_i} (v_x)_{,a_i} dy = \frac{\partial}{\partial a_i} \left(\sum_i [\Delta\psi \mid_{L_i}] \right), \tag{5}$$

где $\Delta\psi|_{L_i}$ — скачки функции тока $\psi(\eta)$ на участках L_i контура L, замыкающего продольное сечение очага деформации; η — линия тока, выбираемая эквидистантной или центростремительной.

В случае осесимметричных течений для преобразования выражения мощности внутренних сил используется формула Гаусса—Остроградского, а в остальном анализе существенных различий не имеется.

Таким образом, на основании условий (3) — (5) для плоских течений неупрочняющихся металлов достаточно просто формулируются дополнительные требования к функции тока, что в совокупности с геометрическими соотношениями и кинематическими ограничениями на контуре деформированного тела позволяет на начальных этапах решения оценить действительные скорости течения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. — М., 1986. — 688 с. 2. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. — М., 1975. — 400 с.

УДК 621.77.01

И.Г.ДОБРОВОЛЬСКИЙ, В.П.СЕМЕНОВ, В.С.ШЛЯХОВОЙ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИЛЬФОНОВ

При производстве гибких металлических рукавов значительной длины в настоящее время применяются механические способы изготовления тангенциально-гофрированных оболочек, основывающиеся на радиальной осадке трубчатой заготовки с помощью специального давильного инструмента. При этом предполагается формообразование сравнительно толстостенных труб с невысоким коэффициентом гофрирования:

$$\frac{s_0}{d_0} \geqslant 0{,}01; \quad k = \frac{D_н - d_{вн}}{d_{вн}} \leqslant 0{,}3,$$

где s_0 и d_0 — исходные толщина и диаметр трубчатой заготовки; $D_н$ и $d_{вн}$ — наружный и внутренний диаметры гофрированной оболочки.

В настоящее время возникла необходимость получения сильфонов с большим числом гофров (более 100), т.е. по длине приближающихся к металлическим рукавам, но с более высоким коэффициентом гофрирования ($k \geqslant 0{,}5$) при меньших толщинах исходного материала ($s_0/d_0 < 0{,}01$). Получение указанных сильфонов традиционным механогидравлическим способом технически сложно. В настоящей работе рассматриваются возможности механических способов изготовления сильфонов с указанными характеристиками.

Решение данной задачи связано с выбором оптимальных схем нагружения заготовки, обеспечивающих более высокую предельную степень деформирования за счет обеспечения сжимающих компонент тензора напряжений в очаге деформации. При этом сжимающие напряжения должны быть меньше вызывающих потерю устойчивости оболочки.

Наибольшая радиальная степень деформирования определяется предельно-прочностной пластичностью материала $e_р$, которая в свою очередь зависит от схемы напряженного состояния и может быть оценена по выражению [1]:

$$e_р = (1{,}6 - 0{,}6П)\,\epsilon_р,$$

где $П$ — показатель жесткости схемы деформирования; $\epsilon_р$ — предельная деформация, полученная при испытаниях на растяжение плоского образца (одноосное напряженное состояние).