

тяжкой наиболее эффективно при большом различии механических свойств материалов слоев и соотношении толщин исходных заготовок в пакете.

ЛИТЕРАТУРА

1. В а л и е в С.А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов. — М., 1973. — 176 с.

УДК 621.07

В.Н. БУЛАХ, И.Н. МЕХЕД,

П.С. ОВЧИННИКОВ, кандидаты техн.наук (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ ПЛОСКОЙ ЗАГОТОВКИ

Глубокой вытяжкой из листовой заготовки в промышленности получают большое количество изделий различной конфигурации. При проектировании технологических процессов вытяжки осесимметричных круглых в плане изделий размеры и форма заготовки определяются легко. Если же изделие имеет сложную форму, заготовку рассчитывать тяжелее в связи с тем, что в различных зонах металл деформируется по-разному. На основании равенства площадей изделия и заготовки форма последней получается ступенчатой. Для выявления размеров и формы заготовки применяют графическое построение и экспериментальную доводку.

При современном уровне производства желательно использовать такие расчетные методы, которые позволяют применять автоматизированные системы проектирования. Для расчета заготовки при глубокой вытяжке необходимо определить траектории и скорости перемещения точек в деформируемом металле в процессе изготовления изделия.

Если не учитывать усилия прижима фланца заготовки, напряженное состояние при глубокой вытяжке можно принять плоским. Вследствие осевого растяжения и тангенциального сжатия изменяется толщина заготовки.

Используя уравнения связи напряжений и скоростей деформаций и приняв функцию $\psi(v_x, v_y)$ с учетом $v_x = \frac{\partial \psi}{\partial x}$ и $v_y = \frac{\partial \psi}{\partial y}$, запишем дифференциальные уравнения равновесия в прямоугольных координатах в виде

$$G = \frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3} + \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + G \left(\frac{\partial^3 x}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \psi}{\partial x \partial y^2} \right) + \frac{\partial G}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) + G \frac{\partial^3 \psi}{\partial x \partial y^2} + \frac{\partial G}{\partial y} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} = 0; \quad (1)$$

$$G \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3} + \frac{\partial G}{\partial y} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + G \left(\frac{\partial^3 \psi}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3} \right) +$$

$$+ \frac{\partial G}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) + G \frac{\partial^3 \psi}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} = 0. \quad (2)$$

Здесь G — модуль пластичности:

$$G = \sigma_i / (3\epsilon_i),$$

где σ_i и ϵ_i — интенсивности соответственно напряжений и скоростей деформаций.

Принято также $\sigma_{cp} = (\sigma_x + \sigma_y)/2$ и $\epsilon_z = -\epsilon_x - \epsilon_y$.

Дефференцируя (1) по ∂x , а (2) по ∂y и последовательно вычитая полученные выражения, имеем

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = \frac{1}{2G} \left[\left(\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \right. \right. \\ \left. \left. + 2 \frac{\partial^2 G}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} \right) - \omega \left(\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} \right) - 4 \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial x} - \right. \\ \left. - 4 \frac{\partial G}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial y} \right], \end{aligned}$$

$$\text{где } \omega = - \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2}.$$

Решая это уравнение на ЭВМ методом итераций, находят составляющие вектора скорости перемещения v_x и v_y , а следовательно v и линии тока при вытяжке изделий на первом переходе, т.е. из плоской заготовки.

Полученное выражение учитывает среднее напряжение σ_{cp} и изменение толщины металла в процессе деформирования.

Методика автоматизированного проектирования заготовки и метод кодирования геометрии изделия приведены в работе [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ж а р к о в В.А. Методика автоматизированного проектирования заготовки при вытяжке листового металла // Вестник машиностроения. — 1979. — № 5. — С. 62–64.