## Литература


1. Горбунов М.И., Глазков В.И. Раздача убчатых заготовок на коническом пуансоне с подпором на кромке. ,"Кузнечно-штамповочное производство", 1968, № 8.

2. Пашкевич А.Г., Каширин М.Ф. Устойчивость индрических оболочек в процессах штамповки осевым усилием деормирования. М., "Кузнечно-штамповочное производство", 1974, № 3.

3. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. М.,"Маностроение", 1968.

4. Малинин М.Н. Прикладная теория пластичности и почности. М., "Машиностроение", 1975.

5. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. Ф.М., М., ука", 1974.

6. Головлев В.Д. Расчеты процессов листовой штампов. М., "Машиностроение", 1974.

7. Арышенский Ю.М. Теория листовой штамповки анизоопных материалов. Издательство Саратовского университета, 1973.


УДК 621.983.01

И.И.Терещенко

## НЕКОТОРОЕ УТОЧНЕНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОТЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Для анализа силового режима процессов обработки металлов злением наряду с такими методами, как метод линий скольжения, иближенных уравнений, сопротивления материалов и др. находит шиоое применение метод баланса работ [1]. Этот метод, основанный законе сохранения энергии, применяли многие исследователи [2], ], [4].

Работа проводилась без учета упрочнения [5]. Обычно в аналоных расчетах упрочнение не учитывается и определение работы ачительно упрощается. Но для реальных условий это грубое упроние и формулы, полученные с учетом такого допущения, могут дать значительные ошибки при расчетах.

В работе [5] сделана попытка учитывать упрочнение, и в результе соответствующих вычислений получена система общих уравнений:

$$\frac{\partial v_z}{\partial t}+v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}+\frac{v_\varphi}{z}\frac{\partial v_z}{\partial \varphi}+v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}-\frac{v_\varphi}{z}=F_z+\frac{1}{\rho}\left\{\frac{\partial \sigma}{\partial z}+\right.$$

$$+\frac{1}{z}\,\frac{E}{\sigma(1+\rho)}\left[z\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{e_i}{\varepsilon_i}\right)\left(3z\frac{\partial v_z}{\partial z}-\frac{\partial(v_z z)}{\partial z}-\frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi}-\frac{\partial(v_z z)}{\partial z}\right)\right]+$$

$$+2\frac{e_i}{\varepsilon_i}\left[3z\frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2}-\frac{\partial^2(v_z z)}{\partial z^2}-\frac{\partial^2(v_z z)}{\partial z\,\partial z}+\frac{3}{2}z\frac{\partial^2 v_z}{\partial z\,\partial z}+\frac{3}{2}z\frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2}+\right.$$

$$\left.+\frac{3}{2z}\frac{\partial^2 v_z}{\partial \varphi^2}+\frac{1}{z}\frac{\partial^2 v_\varphi}{\partial z\,\partial \varphi}-\frac{3}{2}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\frac{v_\varphi}{z}\right)\right]+2\frac{e_i}{\varepsilon_i}\frac{1}{z}\left[\frac{\partial(v_z z)}{\partial z}+\right.$$

$$+\frac{\partial(v_z z)}{\partial z}+3z\frac{\partial v_z}{\partial z}-2\frac{\partial v_z}{\partial z}-2\frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi}-3v_z-\frac{3}{2z}\frac{\partial v_z}{\partial \varphi}+3z\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{e_i}{\varepsilon_i}\right)\left(\frac{\partial v_z}{\partial z}+\right.$$

$$\left.\left.\left.+\frac{\partial v_z}{\partial z}+\frac{3}{z}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\frac{\partial v_z}{\partial \varphi}+z\frac{\partial v_\varphi}{\partial z}-v_\varphi\right)\right)\right]\right\}.$$

Аналогично из общих уравнений на основе уравнений движения можно получить еще два уравнения:

Для малых упругих деформаций

$$A_{уд}=\sigma_i\,e_i=3\mu\,e_i^2=\frac{3E}{2(1+\mu)}\,\varepsilon_i^2, \qquad (1)$$

где $\sigma_i$ – интенсивность напряжений;
$e_i$ – интенсивность деформаций;
$\mu$ – коэффициент поперечного сжатия;
$E$ – модуль упругости;
$\varepsilon_i$ – интенсивность скоростей деформаций.

Окончательная формула

$$A_{уд}=\frac{3E}{2(1+\mu)}\varepsilon_i^2\,. \qquad (2)$$

Полная работа деформации

$$A=\iiint\limits_{(v)}A_{уд}\,dv=\iiint\limits_{(v)}\frac{3E}{2(1+\mu)}\,\varepsilon_i^2\,dv=\frac{3E}{2(1+\mu)}\iiint\varepsilon_i^2\,dv, \qquad (3)$$

где $v$ – объем деформируемого тела.

Для больших упругих деформаци

$$A_{уд}=\sigma_i\,\varepsilon_i=\frac{3E}{2(1+\mu)}\,e_i\,\varepsilon_i\,. \qquad (4)$$

Общее выражение

$$A=\int\limits_{(t)}\iiint\limits_{(v)} A_{уд}\, dv\, dt=\frac{3E}{2(1+\mu)}\int\limits_{(t)}\iiint\limits_{(v)} e_i\, \varepsilon_i\, dv\, dt. \qquad (5)$$

Поскольку деформации в сопротивлении материалов малы, то имеется две рабочие формулы:

удельной работы

$$A_{уд}=\frac{3E}{2(1+\mu)}\varepsilon_i^2, \qquad (6)$$

полной работы

$$A=\frac{3E}{2(1+\mu)}\iiint\limits_{(v)}\varepsilon_i\, dv. \qquad (7)$$

Далее можно подсчитать работу пластического деформирования с учетом упрочнения для отдельных технологических процессов.

## Литература


1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М., "Машиностроение", 1971.
2. Зибель Э. Обработка металлов в пластическом состоянии. ОНТИ, 1934.
3. Головин А.Ф. Прокатка, ч. I. Металлургиздат, 1933.
4. Алексеев Ю.Н. Введение в теорию обработки металлов давлением, прокаткой и резанием. Харьковский государственный университет, 1969.
5. Терещенко И.И. К вопросу учета упругой деформации металла. КуАИ, 1977.