

плане детали остается кругом, причем диаметр ее можно определять из условия равенства площадей детали и заготовки, т.е.

$$R_3 = \left( \frac{\sum F_i}{\pi} \right)^{1/2}.$$

При расчетах толщина материала принимается одинаковой до и после деформирования, что не соответствует действительности. К тому же в углах детали с увеличением ее высоты появляются все большие выступы, похожие на фестоны. Поэтому сравнительно высокие коробки необходимо обрезать.

Таким образом, используя приведенные данные, можно составить алгоритм для автоматизации проектирования заготовки при вытяжке коробчатой детали, квадратной в плане (см. рис. 2).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Булах В.Н., Мехед И.Н., Овчинников П.С. Исследование процесса вытяжки коробчатых деталей // *Металлургия*. — 1986. — Вып. 20. — С. 87—89. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. — Л., 1979. — 56 с.

УДК 621.762.4.001

Л.А. ИСАЕВИЧ, канд. техн. наук (БПИ)

### ОСОБЕННОСТИ КВАЗИИЗОСТАТИЧЕСКОГО ФОРМОВАНИЯ ШТУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Широкое распространение в практике порошковой металлургии получил метод прессования порошков в эластичных оболочках, помещенных в жесткую пресс-форму. В результате всестороннего, близкого к равномерному, сжатия порошка получают практически равномерно уплотненные по объему изделия. При этом ввиду отсутствия контакта уплотняемого порошка с пресс-формой решается проблема повышения долговечности инструмента, особенно при формовании сред, содержащих абразивные компоненты.

Важным моментом при разработке технологии квазиизостатического прессования является расчет геометрических параметров эластичной оболочки, обеспечивающих необходимые размеры, форму и плотность формируемого изделия. Попытка расчета предпринята в работе [1] без учета влияния сопротивления сжатию уплотняемой среды и сил контактного трения между оболочкой и пресс-формой на форму и размеры получаемых изделий.

Рассмотрим схему квазиизостатического прессования, осуществляемого двусторонним осевым сжатием в замкнутом объеме полый эластичной оболочки с порошком (рис. 1). Задачу решаем в перемещениях. Силы трения, действующие на поверхности контакта оболочки с жесткой матрицей, не учитываем, поскольку они не влияют на неравномерность радиальной деформации по высоте оболочки. В то же время принимаем в расчет силы контактного трения между оболочкой и торцами пуансонов с предельными их значениями, так как в начальной стадии решения еще неизвестны значения контактных напряжений.

Полная система уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние оболочки для случая прессования осесимметричных изделий, включает:

уравнения равновесия

$$\frac{\partial G_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r} = 0; \quad (1)$$

уравнения, связывающие напряжения и деформации,

$$\sigma_r = G(2\epsilon_r + S); \quad \sigma_\theta = G(2\epsilon_\theta + S); \quad \sigma_z = G(2\epsilon_z + S); \quad (2)$$

$$\tau_{rz} = G\gamma_{rz};$$

кинематические соотношения

$$\epsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}; \quad \epsilon_\theta = \frac{u}{r}; \quad \epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}; \quad \gamma_{rz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r}, \quad (3)$$

где  $u_i, \epsilon_{ij}, \sigma_{ij}$  — соответственно перемещения, деформации и напряжения;  $G$  — модуль сдвига материала эластичной оболочки.

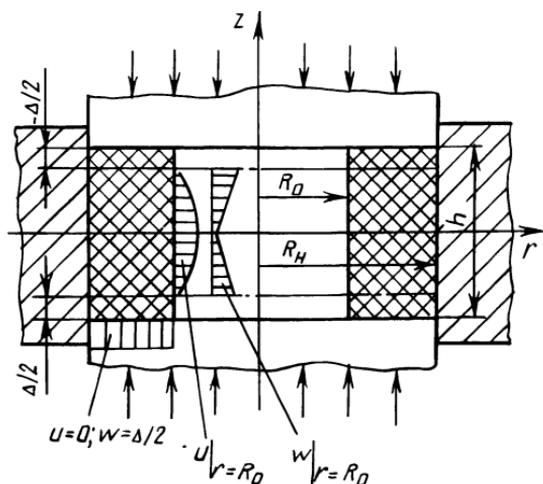


Рис. 1. Схема квазистатического прессования порошка в эластичной оболочке

Введем функцию гидростатического давления для эластичного материала [2]:

$$S = \frac{1}{3} G (\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z).$$

Граничные условия для нашего случая запишем в виде

$$u \Big|_{r=R_H} = 0; \quad u \Big|_{z=\pm \left( \frac{h-\Delta}{2} \right)} = 0; \quad w \Big|_{z=0} = 0; \quad w \Big|_{z=\frac{h}{2}} = -\frac{\Delta}{2} \quad (4)$$

Задачу решаем обратным методом путем введения разрешающей функции  $\varphi(r, z)$ , через которую выразим перемещения  $u, w$  и функцию гидростатического давления  $S$  [2]. Подстановкой полученных соотношений в (2) и (3) получим уравнения для напряжений, выраженных через разрешающую функцию  $\varphi(r, z)$ , которые после совместного решения с (1) приводятся к бигармоническому виду [2]. Их решение с учетом граничных условий (4) позволяет получить выражения для перемещений:

$$\left. \begin{aligned} u &= -\frac{3\Delta}{2h} \frac{(h-\Delta)^2 - 4z^2}{3(h-\Delta)^2 - h^2} r \left( \frac{R_H^2}{r^2} - 1 \right); \\ w &= -\frac{\Delta}{h} \frac{z}{3(h-\Delta)^2 - H^2} [3(h-\Delta)^2 - 4z^2]. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

На рис. 1 показаны расчетные эпюры перемещений  $u$  и  $w$  точек внутренней поверхности оболочки, построенные по (5) без учета сопротивления уплотняемого порошка деформированию. Как видно, вследствие неравномерной деформации оболочки будут получаться изделия корсетобразной формы и, очевидно, с неравномерной плотностью. Экспериментальные исследования показали, что при наличии порошка в полости оболочки несколько снижается неравномерность деформации последней, но не устраняется совсем. Существенное влияние на характер деформирования оболочки порошок оказывает с момента, когда его сопротивление сжатию становится соизмеримым с модулем сдвига материала оболочки, т.е. при достижении определенной плотности сжимаемой среды. Следовательно, для уменьшения искажения формы боковой поверхности прессуемых изделий необходимо использовать порошки с высокой насыпной плотностью либо производить их предварительное уплотнение в полости оболочки известными приемами, что снижает технологические возможности рассматриваемого процесса.

Наиболее рационально применять оболочки с наружной криволинейной поверхностью, форма образующей которой рассчитывается по параметру  $u$  из (5). Значение  $\Delta$  определяется по известным начальной и конечной плотностям прессуемого порошка. Образованная между стенками матрицы и оболочки полость позволяет компенсировать неравномерность деформации последней и получать изделия заданной формы и размеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тимохова М.И., Сильвестров Ю.Н. Квазиизостатическое прессование керамики // Стекло и керамика. — 1979. — № 6. — С. 16–18.
2. Лавендел Э.Э. Расчет резинотехнических изделий. — М., 1976. — 232 с.