

Рис. 2. Зависимость усилия волочений P от угла оправки β :

1 — при обычном волочении; 2 — с применением ультразвука

Исследования по определению зависимости эффективности действия ультразвуковых колебаний от угла оправки производили при скорости волочения 0,08 м/с (рис. 2). Деформация по стенке трубы составила 20%. Таким образом, ультразвуковые колебания способствуют снижению усилия волочения, причем эффект от их воздействия зависит от угла конусности оправки.

Установлено, что при обычном волочении оптимальный угол конусности оправки, при котором усилие, а следовательно, и напряжение волочения минимальны, равен $3^\circ 50'$, при волочении с применением ультразвука он составляет $3^\circ 10'$,

т.е. зона оптимальных углов сдвигается в сторону меньших значений.

Следовательно, с целью максимального снижения усилия волочения, повышения степени деформации и стабильности процесса волочение на самоустанавливающейся оправке с применением ультразвука необходимо вести при меньших углах оправки, чем в случае обычного волочения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гофман О., Закс Г. Введение в теорию пластичности для инженеров. — М., 1957. — 280 с. 2. Биск М.Б., Швейкин В.В. Волочение труб на самоустанавливающейся оправке. — М., 1963. — 128 с.

УДК 621.762.4

Л.С. БОГИНСКИЙ, О.П. РЕУТ,
Л.Е. РЕУТ, кандидаты техн. наук (БПИ)

ВОЛОЧЕНИЕ ТОНКОСТЕННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ЗАПОЛНЕННОЙ ПОРОШКОВЫМ МАТЕРИАЛОМ

Одним из способов получения двухслойных цилиндрических изделий (в частности, труб с пористым покрытием) является волочение тонкостенной металлической оболочки, заполненной порошковым материалом, через жесткую коническую матрицу (рис. 1).

В данной работе рассматривается напряженное состояние металлической оболочки в очаге деформации. При решении задачи волочения предполагаем, что толщина стенки оболочки настолько мала по сравнению с ее диаметром, что пластическим изгибом и изменением напряжений по толщине стенки мож-

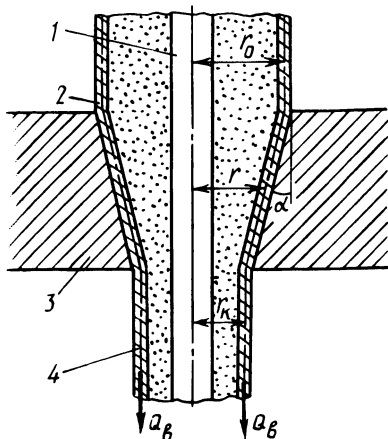


Рис. 1. Схема протягивания тонкостенной металлической оболочки с порошковым материалом через жесткую коническую матрицу: 1 — оправка; 2 — металлическая оболочка; 3 — матрица; 4 — порошок

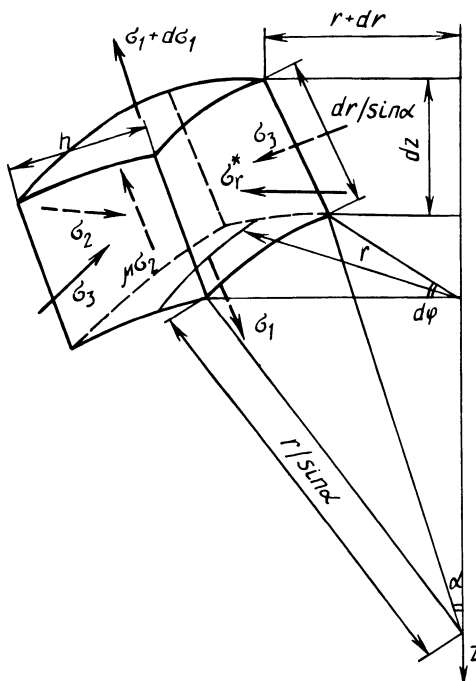


Рис. 2. Схема напряжений, действующих на элемент оболочки в очаге деформации

но пренебречь. Когда оболочка протягивается через матрицу, каждая ее часть подвергается одному и тому же формоизменению, и если оболочка имеет достаточную длину, наступает состояние стационарного течения [1].

Рассмотрим элемент оболочки, представленный на рис. 2. В нем при волочении возникают следующие напряжения: σ_1 — растяжения, действующие по образующей воронки матрицы; σ_2 — сжатия, действующие на контактной поверхности между оболочкой и матрицей и направленные по нормали к образующей конуса матрицы; σ_3 — сжатия в тангенциальном направлении; $\tau_{тр}$ — трения в зоне контакта оболочки и матрицы, $\tau_{тр} = \mu\sigma_2$ (где μ — соответствующий коэффициент трения); σ_r^* — напряжение, определяющее сопротивление порошкового тела деформированию (уплотнению) и действующее в радиальном направлении. Последнее взаимосвязано с плотностью порошка ν , т.е.

$\sigma_r^* = f(\nu)$, и может быть определено любым соотношением, например приведенным в [2].

Рассматривая условие равновесия элемента оболочки, находящейся в состоянии стационарного течения, и проецируя все силы на взаимно перпендикулярные направления, после определенных преобразований получим дифференциальное уравнение следующего вида:

$$\frac{d\sigma_1}{dr} + \frac{\sigma_1}{r} + \frac{\sigma_3}{r} (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) + \frac{\sigma_r^*}{h} (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) = 0, \quad (1)$$

где r — текущий средний радиус оболочки в зоне деформации (см. рис. 1); α — угол конического профиля матрицы; h — толщина стенки, принимаемая постоянной в процессе деформирования.

Используя условие пластичности Треска

$$\sigma_1 - \sigma_3 = m\sigma_T,$$

где m — коэффициент Лодэ; σ_T — напряжение текучести для материала оболочки, и подставляя его в уравнение (1), получим дифференциальное уравнение первого порядка:

$$\sigma_1 = e^{-\int g(r) dr} [C + \int f(r) e^{\int g(r) dr} dr], \quad (2)$$

где C — постоянная интегрирования; $g(r)$ и $f(r)$ — функции;

$$f(r) = (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \left(\frac{m\sigma_T}{r} - \frac{\sigma_r^*}{h} \right); \quad g(r) = \frac{2 + \mu \operatorname{ctg} \alpha}{r}. \quad (3)$$

Определив из граничного условия $\sigma_1|_{r=r_0} = 0$

$$C = -m\sigma_T \frac{1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha}{2 + \mu \operatorname{ctg} \alpha} r_0^{2 + \mu \operatorname{ctg} \alpha}$$

где r_0 — начальное значение среднего радиуса оболочки, на основании соотношений (2) и (3) получим выражение для σ_1 :

$$\sigma_1 = (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \left\{ \frac{m\sigma_T}{2 + \mu \operatorname{ctg} \alpha} \left[1 - \left(\frac{r_0}{r} \right)^{2 + \mu \operatorname{ctg} \alpha} \right] - \frac{1}{h} \int_r^{r_0} \sigma_r^* r^{2 + \mu \operatorname{ctg} \alpha} dr \right\}. \quad (4)$$

Рассматривая текущий радиус r как функцию координаты z , т.е. $r = r_0 - z \operatorname{tg} \alpha$, и пренебрегая для упрощения трением между оболочкой и матрицей ($\mu = 0$), получим выражения для напряжений σ_1 , σ_2 и σ_3 в любой точке очага деформации оболочки:

$$\sigma_1 = \frac{1}{(r_0 - z \operatorname{tg} \alpha)^2} \left\{ \frac{m\sigma_T}{2} [(r_0 - z \operatorname{tg} \alpha)^2 - r_0^2] + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{h} \int_{r_0 - z \operatorname{tg} \alpha}^{r_0} \sigma_r^* (r_0 - z \operatorname{tg} \alpha)^2 dz \right\}; \quad (5)$$

$$\sigma_2 = \left\{ \sigma_r^* - \frac{1}{(r_0 - z \operatorname{tg} \alpha)^3} \left\{ \frac{m\sigma_T h}{2} [(r_0 - z \operatorname{tg} \alpha)^2 + r_0^2] - \operatorname{tg} \alpha \int_{r_0 - z \operatorname{tg} \alpha}^{r_0} \sigma_r^* (r_0 - z \operatorname{tg} \alpha)^2 dz \right\} \right\} \cos \alpha; \quad (6)$$

$$\sigma_3 = \frac{1}{(r_0 - z \operatorname{tg} \alpha)^2} \left\{ \frac{m\sigma}{2} [(r_0 - z \operatorname{tg} \alpha)^2 + r_0^2] - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{h} \int \sigma_r^* (r_0 - z \operatorname{tg} \alpha)^2 dz \right\}. \quad (7)$$

Напряжение волочения определится на границе $r = r_k$, где r_k — конечное значение среднего радиуса оболочки после протягивания, т.е. $\sigma_B = \sigma_1 |_{r=r_k}$.

При этом значение σ_1 может быть записано либо выражением (4), либо выражением (5), которые учитывают различные условия трения на контактирующих поверхностях.

Общее усилие волочения определится следующим образом:

$$Q_B = 2\pi r_k \sigma_B. \quad (8)$$

Значение напряжения $\sigma_r^* |_{r=r_k}$ соответствует конечному значению плотности порошкового тела v_k на данном участке зоны деформации.

Таким образом, полученные выражения (4) ... (7) описывают напряженное состояние оболочки в очаге деформации при протягивании ее с порошковым материалом через жесткую коническую матрицу, которое определяется как геометрическими параметрами деформирующего инструмента и условиями трения на контактной границе, так и физическим состоянием уплотняемого порошкового тела.

Экспериментальные исследования проводили на медной оболочке длиной 300 мм, с наружным диаметром 32 мм и толщиной стенки 2 мм, заполненной медным порошком марки ПМС-2 с начальной относительной плотностью 0,27. Протягивание оболочки осуществляли через жесткую коническую матрицу с углом заходной части 7, 10 или 15° и диаметром калибрующей части 31,5; 31; 30,5; 30 мм. В качестве смазочного материала использовали солидол, коллоидный графит и КГД. Значение относительной плотности порошка после протягивания оболочки составляло 0,58. Экспериментальное значение общего усилия волочения совпадает с результатами расчета по формуле (8) для различной геометрии деформирующего инструмента и разных условий трения на контактирующих поверхностях.

Представленное решение и полученные расчетные соотношения позволят разработать конструкцию устройств для осуществления процесса волочения, рассчитать профиль рабочего инструмента, подобрать необходимые смазочные материалы, что в итоге обеспечит получение двухслойных цилиндрических изделий требуемых размеров и качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джонсон У., Меллор П. Теория пластичности для инженеров. — М., 1979. — 567 с.
2. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков. — М., 1969. — 260 с.