УДК 621.762

ДИНАМИКА ЭКСТРУЗИИ ИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА.

Пятов В.В., Ковчур А.С.

На рис.1. изображена схема зоны формования. Материал выдавливается через зазор, образованный внутренней поверхностью матрицы 1 и наружной поверхностью дорна 2. Матрица имеет коническую часть длиной z1 и цилиндрическую часть длиной z2-z1. Радиусы входного и выходного сечений матрицы r2 и r1 соответственно. Дорн представляет собой цилиндрический стержень радиусом r0. Угол наклона образующей конической части матрицы a.

Дорн не закреплен и перемещается в процессе экструзии вместе с материалом. Так формуют трубчатые изделия (после выпрессовки дорн удаляется), стержни (дорна нет, r0=0) или наносят наружные покрытия (в этом случае вместо дорна установлено обрабатываемое изделие).

На материал действует усилие выдавливания, вызывающее напряжения бz, которые предполагаются распределенными в поперечных сечениях однородно (не зависят от r). На внутренней поверхности матрицы нормальные напряжения обозначены б, а касательные вызываемые силой трения, t. На поверхности оправки нормальные напряжения бr, а касательные отсутствуют, так как она движется вместе с материалом.

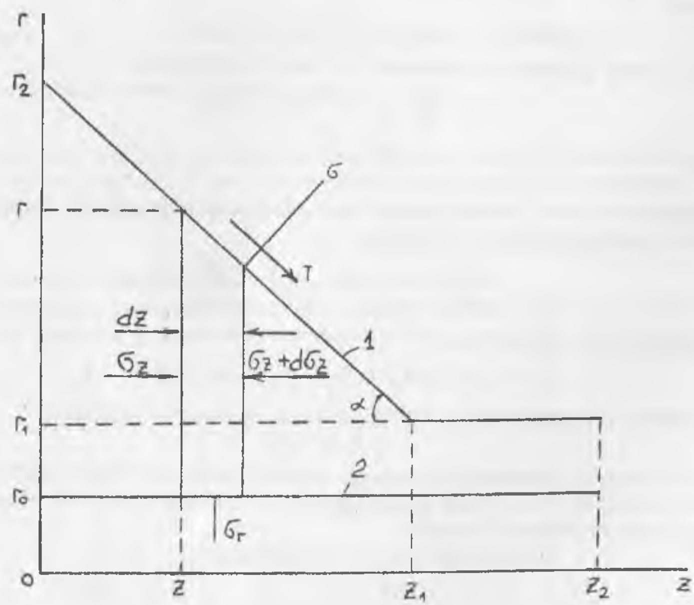

Рис.1. *Схема зоны формования.*

Предполагается, что направления главных нормальных напряжений совпадают с координатными направлениями.

В цилиндрической части матрицы материал находится в состоянии упругой разгрузки с элементами пластического течения, то есть в критическом состоянии. Связано это с большими упругими деформациями в радиальном направлении, возникающими после обжатия в конической части. Поэтому для цилиндрической части

$$б_r > б_z, \tag{1}$$

что особенно очевидно в выходном сечении ($z = z_2$), где

$$бz = 0, \text{ а } бr > 0.$$

Соотношение (1) справедливо и для конической части, так как там происходит обжатие в радиальном направлении, поэтому условие пластичности для всей зоны формования имеет вид

$$б_r - б_z = б_в \tag{2}$$

Уравнение равновесия сил, действующих на кольцевой элемент толщиной d_z имеет вид

$$\pi\ (r^2-r_0 2)б_z - \tau[(r-tg\alpha dz)^2-r_0^2](б_z+dб_z)-$$
$$-2\pi\ (r-1/2tg\alpha dz)бtg\alpha dz-2\pi(r-1/2tg\alpha dz)\ \tau\ dz = 0 \tag{3}$$

или, после удаления бесконечно малых высших порядков

$$-(r^2-r_0^2)\frac{dб_z}{dz}---+\ 2rtg\alpha б_z - 2r(бtg\alpha + \tau) = 0 \tag{4}$$

Подстановка в (4) закона трения

$$-\frac{r^2-ro^2}{2r}\ \frac{dб_z}{dz}+\ tg\alpha б_z - (tg\alpha + f)б = 0 \tag{5}$$

Так как

$$б_r = (бcos\alpha - \tau\ sin\alpha)/cos\alpha = б(1 - ftg\alpha) \tag{6}$$

то, с учетом условия пластичности (2), из (5) получается

$$-\frac{r^2-ro^2}{2r}\ \frac{dб_z}{dz}+\ (tg\alpha - k)б_z - kб_в = 0 \tag{7}$$

где

$$k = \frac{tg\alpha + f}{1 - ftg\alpha} \tag{8}$$

Учитывая, что $r=r_2 - ztg\alpha$, после преобразований и разделения переменных получается дифференциальное уравнение

$$-\ \frac{dб_z}{(k-tg\alpha)б_z + к\ б_в} = 2\ \frac{r^2 - ztg\alpha}{(r^2 - ztg\alpha)^2 - r_0^{\ 2}}\ dz \tag{9}$$

интегрирование которого дает

$$-\ln|(k-tg\alpha)б_z+kб_s| = \frac{tga-k}{tga}\ \ln|(r_2-ztg\alpha)^2 r_0^2| + A \tag{10}$$

Постоянная интегрирования А определяется из граничного условия

$$б_z(z_1) = б_1 \tag{11}$$

где б1-осевое напряжение в выходном сечении конической части матрицы.

Потенциируя (10) и опуская знаки абсолютной величины (под ними стоят неотрицательные выражения), получим

$$(k-tga)бz+kбs = eA[(r2-ztga)2-r02]n, \tag{12}$$

где

$$n= \frac{k - tg\alpha}{tg\alpha} = \frac{1}{tg\alpha}\left(\frac{f + tg\alpha}{1 - ftg\alpha} - tg\alpha\right) = \frac{1}{tg\alpha}\,\frac{f(1 + tg^2\alpha)}{1 - ftg\alpha} \tag{13}$$

Подставляя в (12) граничное условие (11), найдем постоянную интегрирования

$$e^A = [(k-tg\alpha)б_1+kб_s][(r_2-z_1tg\alpha)^2-r_0^2]^n \qquad (14)$$

Подстановка (14) в (12) после преобразований позволяет найти распределение напряжений вдоль конической части матрицы:

$$б_z = (б_1+mб_s)\left(\frac{F}{F_1}\right)^n - mб_s \qquad (15)$$

где F и F_1 - площади текущего и выходного сечений конической части соотвественно;

$$m = \frac{k}{k-tg\alpha}\frac{tg\alpha+f}{tg\alpha+f-tg\alpha(1-ftg\alpha)} = \frac{1}{f}\frac{f+tg\alpha}{1+tg^2\alpha} \qquad (16)$$

Для нахождения напряжений в цилиндрической части в уравнение (5) надо подставить $\alpha=0$ и $r_1=r$:

$$-\frac{r_1^2-r_0^2}{2r_1}\frac{dб_z}{dz} - fб = 0 \qquad (17)$$

Подставляя в (17) $б_r=б$ и учтя (2), получим дифференциальное уравнение

$$\frac{dб_z}{б_z+б_s} = \frac{2fr_1}{r_1^2-r_0^2}dz \qquad (18)$$

Решение этого уравнения при граничном условии

$$б_z(z_2) = 0 \qquad (19)$$

имеет вид

$$б_z = б_s\,[e^{p(z_2-z)} - 1] \qquad (20)$$

где

$$p = \frac{2fr_1}{r_1^2-r_0^2} \qquad (21)$$

Напряжение на выходе конической части

$$б_1 = б_s\,[e^{p(z_2-z_1)} - 1] \qquad (22)$$

Необходимо отдельно рассмотреть случай, когда внешнее трение отсутствует. Тогда n=0, m=беск. и воспользоваться соотношением (15) невозможно.

Предел, к которому стремиться $б_z$ при f-->0, равен

$$б_z = б_s \ln\frac{F}{F_1}, \qquad (23)$$

то есть получается известное из теории выражение.

Полученные соотношения позволяют провести анализ влияния различных факторов на характер напряженного состояния в зоне формования.