

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. Л. СТЕПАНЯН

О ВЛИЯНИИ УПРОЧНЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ВЫТЯЖКИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Анализу процесса вытяжки цилиндрических деталей посвящено много работ отечественных и зарубежных исследователей. В большинстве из них с той или иной степенью приближения учитывались факторы, влияющие на распределение напряжений в очаге деформации. Основными из этих факторов являются: трение под прижимом, трение на скругленной кромке матрицы, изгиб при переходе элементов заготовки на скругленную кромку матрицы и при сходе с нее и, наконец, явление упрочнения в процессе холодной деформации. В отношении оценки влияния первых трех факторов можно считать, что имеется некоторое единодушие у большинства авторов. Что касается последнего, то здесь существует несколько различных методов приближенной оценки влияния упрочнения на распределение напряжений.

Были определены поля напряжений с учетом упрочнения путем осреднения величины тангенциальных деформаций по ширине фланца в произвольный момент формоизменения [1-3]. Есть решения, выполненные без осреднения, в которых напряжения текучести принимались зависящими от координаты z . Эти решения получены для линейной аппроксимации кривой упрочнения [4]. Имеется также решение с использованием степенной зависимости напряжения текучести от деформации. Однако, в этом случае тангенциальная деформация ϵ_z принята независимой от координаты z [5].

Ниже предпринята еще одна попытка оценки влияния упрочнения на распределение напряжений.

Совместное решение уравнений равновесия и пластичности для осесимметричной вытяжки дает дифференциальное уравнение

$$dz_1 = -z_1 \frac{d\epsilon_z}{\epsilon_z}, \quad (1)$$

где z_1 — напряжение текучести с учетом упрочнения.

Принимается степенная зависимость z_1 от степени деформации:

$$z_1 = \frac{\sigma_0}{1 - \psi_m} \left(\frac{\psi}{\psi_m} \right)^n, \quad (2)$$

где

$$n = \frac{\psi_m}{1 - \psi_m};$$

ψ_m — относительное уменьшение площади поперечного сечения образца в момент образования шейки.

В качестве деформации ψ , определяющей степень упрочнения при вытяжке, можно принять деформацию тангенциального сжатия ϵ_0 (она главная и наибольшая для большей части заготовки).

При отыскании, с приемлемой точностью, зависимости $\epsilon_0 = f(\rho)$ может быть использовано условие постоянства площади поверхности заготовки. Тогда эта зависимость примет вид [3]:

$$\epsilon_0 = \psi = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} = 1 - \frac{\rho}{\sqrt{R_0^2 + \rho^2 - R^2}} \quad (3)$$

где R_0 — исходный радиус заготовки; R — радиус заготовки в данный момент деформации; ρ_0 — исходный радиус произвольного элемента заготовки; ρ — радиус произвольного элемента в данный момент. При данной зависимости и аппроксимации кривой упрочнения по формуле (2) замкнутые решения в виде аналитических выражений

$\sigma_{\max} = f\left(\frac{R}{R_0}; \psi_m\right)$ не могут быть получены [3].

Для приближенной оценки влияния упрочнения на σ_0 предлагается следующий закон изменения ϵ_0 в зависимости от текущей координаты:

$$\epsilon_0 = \frac{R_0 - R}{R_0} \cdot \left(\frac{R}{\rho}\right)^{3/2} \quad (4)$$

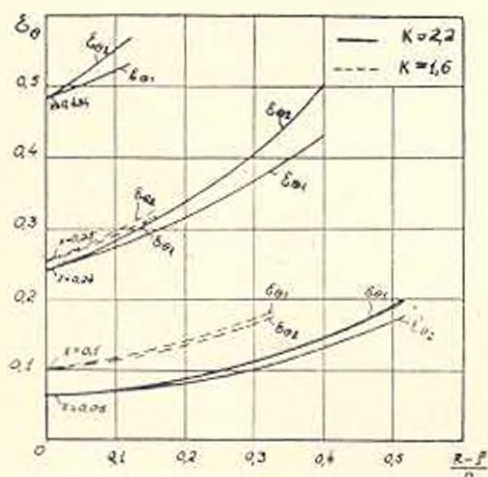


Рис. 1. Графики зависимости ϵ_0 от координаты ρ : ϵ_{01} — по формуле (3); ϵ_{02} — по формуле (4)

Выражение (4) в пределах $1 < k < 2,2$ (k — коэффициент вытяжки) весьма близко аппроксимируется формулой (3).

На рис. 1 показаны графики зависимости $\theta_0 = f(\psi)$ по формулам (3) и (4) для различных значений относительного перемещения края заготовки $x = \frac{R_0 - R}{R_0}$.

Подставляя значение ψ вместо ψ в формулу (2) и заменяя τ в уравнении (1) найденным выражением напряжения текучести, получим:

$$d\sigma_r = - \frac{\sigma_n}{1 - \psi_m} \left[\frac{\frac{R_0 - R}{R_0} \left(\frac{R}{\rho} \right)^{\frac{3}{2}}}{\psi_m} \right]^n \frac{d\rho}{\rho},$$

а после интегрирования, используя граничное условие $\sigma_r = 0$ при $\rho = R_1$ —

$$\sigma_r = \frac{2}{3} \frac{\sigma_n}{\psi_m^{n+1}} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right)^n \left[\left(\frac{R}{\rho} \right)^{\frac{3}{2}n} - 1 \right]. \quad (5)$$

Полученная формула позволяет установить распределение напряжений σ_r в плоской части фланца при вытяжке с учетом упрочнения. Максимальное значение σ_r получим при $\rho = R_1$:

$$\sigma_r = \frac{2}{3} \frac{\sigma_n}{\psi_m^{n+1}} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right)^n \left[\left(\frac{R}{R_1} \right)^{\frac{3}{2}n} - 1 \right], \quad (6)$$

где R_1 — минимальный радиус плоской части фланца.

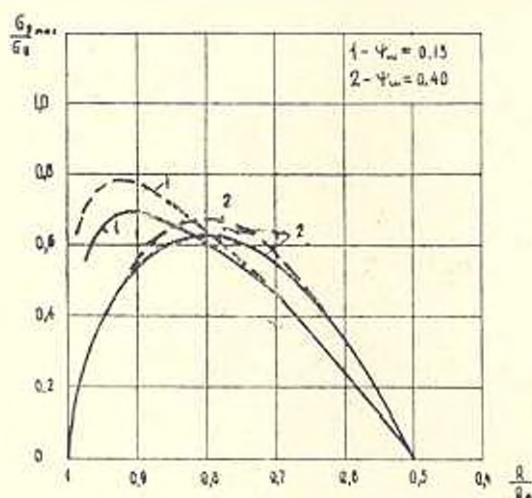


Рис. 2

На рис. 2 представлены графики зависимости $\sigma_{r, \max}/\sigma_n = f(R/R_0)$, построенные по формуле (6) (сплошные линии) для значений $\psi_m = 0,15$ и $\psi_m = 0,40$. Там же приведены графики $\sigma_{r, \max}/\sigma_n$, полученные путем осреднения величины тангенциальной деформации (пунктирные линии) [3].

Как видно из графиков, с увеличением смещения края заготовки (уменьшение R) напряжение $\sigma_{\text{сmax}}$ увеличивается от нуля, достигая максимума где-то в пределах $R_0 > R > R_1$, затем уменьшается, достигая 0 при $R = R_1$. Причем, смещение края, соответствующее максимуму $\sigma_{\text{сmax}}$, увеличивается с увеличением интенсивности упрочнения.

Для учета остальных факторов (трение под прижимом, трение на скругленной кромке матрицы, изгиб и спрямление) по аналогии с известными формулами можно записать:

$$\sigma_{\text{сmax}} = \sigma_0 \left\{ \frac{2}{3} \frac{1}{\phi_{\text{ш}}^{n+1}} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right)^n \left[\left(\frac{R}{r_1} \right)^{3/2n} - 1 \right] + \frac{2\pi Q}{\pi D t \sigma_0} + \frac{t}{2r_{\text{м}} + t} \right\} (1 + 1,6^n), \quad (7)$$

где r_1 — радиус отверстия матрицы.

Выражение (7) позволяет определить изменение напряжения в опасном сечении в процессе деформации с учетом влияния трения, изгиба и упрочнения. Оно также может быть использовано для приближенного аналитического расчета величины предельного коэффициента вытяжки k в зависимости от механических характеристик металла.

БрПИ им. К. Маркса

Поступило 12.X.1972.

ЛИТЕРАТУРА

1. Норичин Н. А. Основы теории многооперационной вытяжки листового металла. Труды МВМИ, вып. 11, «Советская Наука», 1955.
2. Пихтовников Р. В., Завьялова В. И. Штамповка листового металла взрывом. М., «Машиностроение», 1964.
3. Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. М., «Машиностроение», 1964.
4. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М., «Машиностроение», 1971.
5. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки. М., «Машиностроение», 1968.