

менению $\Delta P_{\text{крив}} / \Delta P_{\text{прям}}$ при отношении шага аппроксимации прямых участков к периметру сечения в интервале $0,015 \geq \Delta P_{\text{прям}} / P_{\text{проф}} \geq 0,000$, а для $0,1 \leq \Delta P_{\text{крив}} / \Delta P_{\text{прям}} \leq 0,2$ этот интервал расширяется до величины $0,035 \geq \Delta P_{\text{прям}} / P_{\text{проф}} \geq 0,000$. Количество переходов в этом случае резко возрастает (до 100 и более).

Таким образом, наиболее рациональными условиями аппроксимации гладкого контура поперечного сечения профиля многогранником при производстве плюшенной ленты размерами сечения $4,00 \times 0,70$ мм из стали У8А можно считать $0,02 \leq \Delta P_{\text{прям}} / P_{\text{проф}} \leq 0,05$ при $0,20 \leq \Delta P_{\text{крив}} / \Delta P_{\text{прям}} \leq 1,00$. Указанные условия могут быть использованы и для других аналогичных профилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сторожев М.В., Попов Е.А.* Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
2. Калибрование фасонных профилей / В.Н. Аргунов, М.З. Ерманок, А.И. Петров, М.В. Харитонович. М.: Металлургия, 1989. 208 с.

УДК 621.983.4

И.М.ШИМАНОВИЧ, канд. техн. наук (БНТУ)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ НА ВЕЛИЧИНУ НЕЙТРАЛЬНЫХ УГЛОВ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ

Ротационная вытяжка в шариковых матрицах (матрицах, у которых в качестве деформирующего инструмента используются заключенные в обойму шары) представляет собой пластическое формоизменение материала заготовки, находящейся на вращающейся оправке, при значительном обжатии стенки заготовки и ее удлинении в продольном направлении. Течение металла относительно направления продольной подачи деформирующего инструмента определяет способ ротационной вытяжки – прямой (удлинение в направлении продольного перемещения деформирующего инструмента) или обратный (течение металла происходит в направлении, противоположном движению инструмента).

В процессе ротационной вытяжки шариковыми матрицами деформирующие шары обычно приводятся во вращение от обрабатываемой заготовки. В работе [1] представлены зависимости для определения величины нейтральных углов, соответствующих нейтральным точкам, в которых задается скорость вращения шаров (в этих точках скорость движения металла равна скорости вращения деформирующих тел качения). В случае прямой ротационной вытяжки

$$\gamma_n = \frac{\sin \varphi}{4\mu} (\mu \cos \varphi - \sin \varphi + 2\mu_o) + \frac{\varphi}{4} + \frac{T_1}{4\pi p R_{ш} \mu (R_o + h_1 / 2)}, \quad (1)$$

в случае обратной

$$\gamma_n = \frac{\sin \varphi}{4\mu} (\mu \cos \varphi - \sin \varphi - 2\mu_o) + \frac{\varphi}{4} + \frac{T_2}{4\pi p R_{ш} \mu (R_o + h_o / 2)}. \quad (2)$$

Здесь φ — угол захвата металла шаром; μ , μ_o — коэффициенты трения на шарах и оправке соответственно; T_1 , T_2 — усилия соответственно растяжения обработанной части заготовки при прямой ротационной вытяжке и сжатия исходной части при обратной; p — нормальное контактное напряжение, возникающее на поверхности оправки; $R_{ш}$, R_o — радиусы деформирующих шаров и оправки; h_o , h_1 — толщина стенки оболочки соответственно до и после деформации.

Анализ зависимостей (1) и (2) показывает, что при прямой ротационной вытяжке с ростом коэффициентов трения μ и μ_o , усилий T_1 и T_2 , радиуса шаров $R_{ш}$ происходит увеличение нейтрального угла, или, что то же, увеличение зоны опережения в очаге деформации. Увеличение контактного давления p и степени деформации за проход ϵ ведет к уменьшению нейтрального угла (рис. 1). Из графиков также видно, что при обычных условиях протекания процесса обратной ротационной вытяжки нейтральный угол, как правило, равен нулю (построенные теоретические кривые в зоне отрицательных значений нейтрального угла не имеют реального смысла), т. е. в очаге деформации имеет место лишь зона отставания.

Приравняв выражения (1) и (2) нулю (при теоретическом анализе $\gamma_n \leq 0$)

и обозначив $X = 1/R_{ш}$, $D_1 = \frac{T_1}{4\pi p \mu (R_o + h_1 / 2)}$, $D_2 = \frac{T_2}{4\pi p \mu (R_o + h_o / 2)}$, получим:

$$X \left[X \left(\frac{\Delta S^2}{4\mu^2} - \frac{D_1 \Delta S}{\mu} + D_1^2 + \frac{\Delta S^2}{2} + \frac{\Delta S^2 \mu_o}{2\mu} \right) - \frac{\Delta S}{2} - \frac{\Delta S \mu_o^2}{2\mu^2} - \frac{\Delta S \mu_o}{\mu} \right] \geq 0; \quad (3)$$

$$X \left[X \left(\frac{\Delta S^2}{4\mu^2} - \frac{D_2 \Delta S}{\mu} + D_2^2 + \frac{\Delta S^2}{2} + \frac{\Delta S^2 \mu_o}{2\mu} \right) - \frac{\Delta S}{2} - \frac{\Delta S \mu_o^2}{2\mu^2} + \frac{\Delta S \mu_o}{\mu} \right] \geq 0. \quad (4)$$

Решение данных неравенств имеет вид $X_1 \geq 0$, $X_2 > 0$ или $X_1 \leq 0$, $X_2 < 0$. Поскольку $X_1 = 1/R_{ш}$ заведомо больше нуля, имеет место решение $X_1 \geq 0$, $X_2 > 0$. Таким образом, из неравенств (3) и (4) получаем для прямой ротационной вытяжки

$$R_{ш} < \frac{(\Delta S - 2\mu D_1)^2 + 2\mu \Delta S^2 (\mu + \mu_o)}{2\Delta S (\mu + \mu_o)^2}, \quad (5)$$

для обратной

$$R_{ш} < \frac{(\Delta S - 2\mu D_2)^2 + 2\mu \Delta S^2 (\mu + \mu_o)}{2\Delta S (\mu - \mu_o)^2}. \quad (6)$$

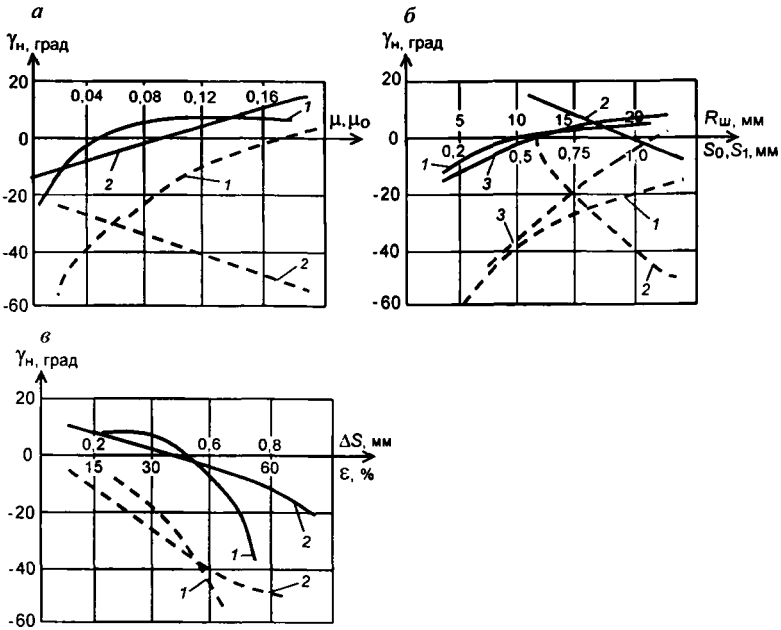


Рис. 1. Зависимость нейтрального угла γ_n :

a – от коэффициентов трения при прямой (сплошная линия) и обратной (штриховая) ротационных вытяжках при $S_0 = 1$ мм, $\Delta S = 0,5$ мм, $R_{ш} = 10$ мм, $R_0 = 10$ мм, $p = 1,05\sigma_s$, $T_1 = T_2 = 0,2\sigma_s$; 1 – $\mu_0 = 0,1$; 2 – $\mu = 0,05$; *б* – от радиуса деформирующих шаров $R_{ш}$ и толщины стенки заготовки при $\mu_0 = 0,1$, $\mu = 0,05$, $R_0 = 10$ мм, $p = 1,05\sigma_s$, $T_1 = T_2 = 0,2\sigma_s$; 1 – $S_0 = 1$ мм, $\Delta S = 0,5$ мм; 2 – $S_1 = 0,5$ мм, $R_{ш} = 10$ мм; 3 – $S_0 = 1$ мм, $R_{ш} = 10$ мм; *в* – от абсолютного обжатия стенки по толщине (кривая 2) и степени деформации за проход (кривая 1) при $\mu_0 = 0,1$, $\mu = 0,05$, $R_0 = 10$ мм, $p = 1,05\sigma_s$, $R_{ш} = 10$ мм, $T_1 = T_2 = 0,2\sigma_s$, $S_0 = 1$ мм

Рассмотрим теперь, при каких значениях $R_{ш}$ в очаге деформации имеет место лишь зона опережения, т. е. $\gamma_n \geq \phi$. Из выражений (3) и (4) по аналогии с предыдущим случаем будем иметь:

$$X \left[X \left(\frac{D_1 \Delta S}{\mu} - D_1^2 + \frac{\Delta S^2}{2} - \frac{\Delta S^2}{4\mu^2} - \frac{\Delta S^2 \mu_0}{2\mu} \right) + \frac{\Delta S}{2} + \frac{\Delta S^2 \mu_0}{2\mu^2} - \frac{\Delta S \mu_0}{\mu} \right] \leq 0;$$

$$X \left[X \left(\frac{D_2 \Delta S}{\mu} - \frac{\Delta S^2}{4\mu^2} - D_2^2 + \frac{\Delta S^2}{2} + \frac{\Delta S^2 \mu_0}{2\mu} \right) + \frac{\Delta S}{2} + \frac{\Delta S \mu_0^2}{2\mu^2} + \frac{\Delta S \mu_0}{\mu} \right] \leq 0.$$

Решение полученных неравенств имеет вид $X_1 \geq 0$, $X_2 < 0$. Поскольку $X_1 = 1/R_{ш} > 0$, получим для прямой ротационной вытяжки

$$R_{ш} > - \frac{2\mu_0 \Delta S^2 (\mu - \mu_0) - (\Delta S - 2\mu D_1)^2}{2\Delta S (\mu - \mu_0)^2}, \quad (7)$$

для обратной

$$R_{ш} > - \frac{2\mu_0 \Delta S^2 (\mu + \mu_0) - (\Delta S - 2\mu D_2)^2}{2\Delta S (\mu + \mu_0)^2} \quad (8)$$

Полученные по формулам (5) – (8) значения $R_{ш}$ являются критическими, т. е. с их изменением меняется картина течения металла в очаге деформации. В случае прямой ротационной вытяжки (рис. 2) значения радиуса шара, находящиеся внутри зоны, ограниченной двумя кривыми, характеризуют случай, когда в очаге деформации существуют нейтральные точки, т. е. имеются зоны опережения и отставания.

Как было сказано выше, при обратной ротационной вытяжке в очаге деформации находится обычно лишь зона отставания. В этом случае графики изменения критического радиуса шаров (рис. 3) являются границей раздела зоны отставания и переходной зоны.

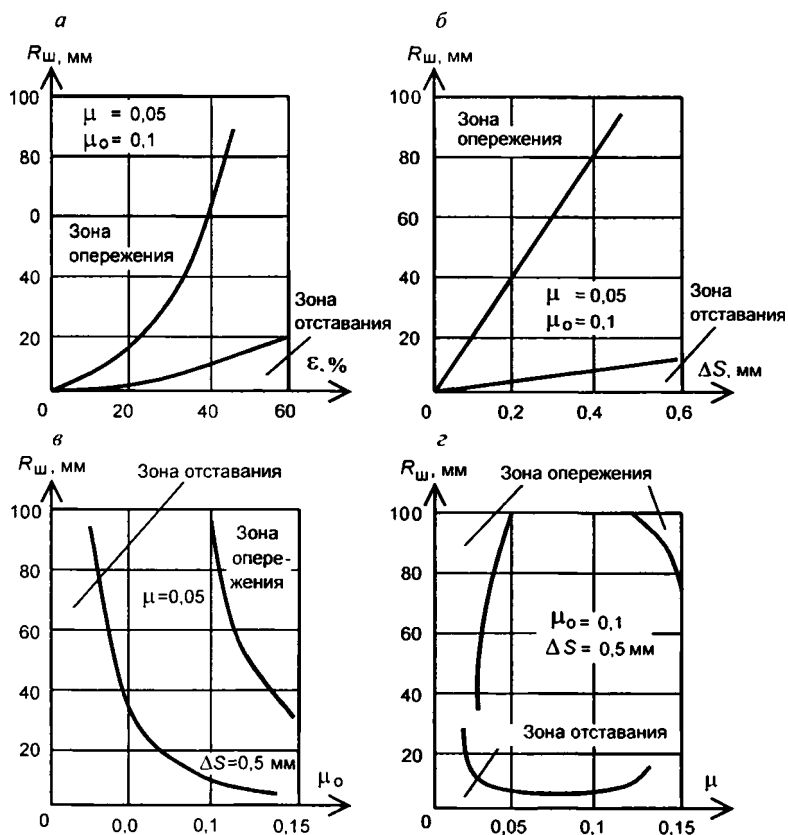


Рис. 2. Изменение критического радиуса шара при прямой ротационной вытяжке в зависимости от степени деформации (а), абсолютного обжатия стенки заготовки (б), коэффициентов трения по оправке (в) и шарам (г) ($p = 1,05\sigma_s$, $T_1 = 0,2\sigma_s$, $R_0 = 10 \text{ мм}$, $S_1 = 0,5 \text{ мм}$)

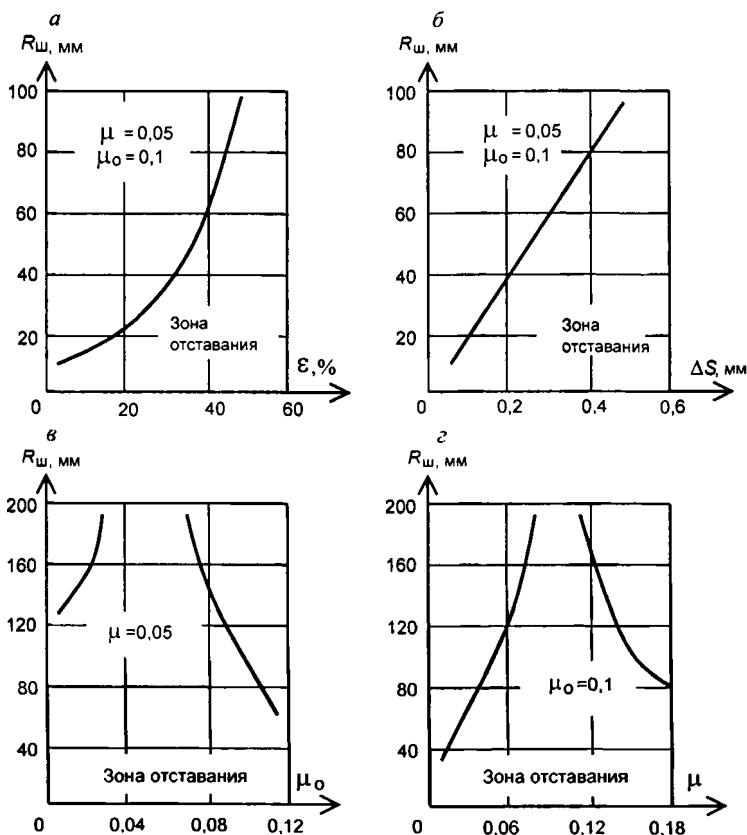


Рис. 3. Изменение критического радиуса шара при обратной ротационной вытяжке в зависимости от степени деформации (а), абсолютного обжатия стенки заготовки (б), коэффициентов трения по оправке (в) и шарам (г) ($\rho = 1,05\sigma_s$, $T_2 = 0,2\sigma_s$, $R_0 = 10$ мм, $S_1 = 0,5$ мм)

Таким образом, при ротационной вытяжке можно выбирать размеры деформирующего инструмента с учетом наличия в очаге деформации той или иной зоны, т. е. необходимого характера течения металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольский И.Г., Степаненко А.В., Шиманович И.М. Кинематические условия течения металла при ротационной вытяжке шариковыми матрицами // Вестн АН БССР. Сер. физ.-техн. навук. 1986. № 1. С. 57 – 61.