

увеличении на 20 % минимально необходимой пластичности, которая требуется для формования сильфона. Большой запас пластичности, при равных условиях, не дает существенного увеличения циклопрочности (рис. 1). Оптимальная технологическая пластичность материала сильфонных трубок-заготовок определяется как  $\delta_{\text{опт}} = 1,2\delta$ . Это подтверждается также при изготовлении сильфонов различных типоразмеров из материала 36НХТЮ, 12Х18Н10Т, БрБ2.

Введение в технологический процесс изготовления сильфонов указанного требования к пластичности материалов трубок-заготовок позволило в среднем в 1,5–2,0 раза повысить ресурс работы сильфонов.

Таким образом, минимальное значение пластичности материала трубок-заготовок, необходимое для формования сильфонов, должно быть увеличено в 1,2 раза, что обеспечит необходимый запас, гарантирующий формование сильфонов без внесения в материал микродефектов, снижающих ресурс работы сильфонов.

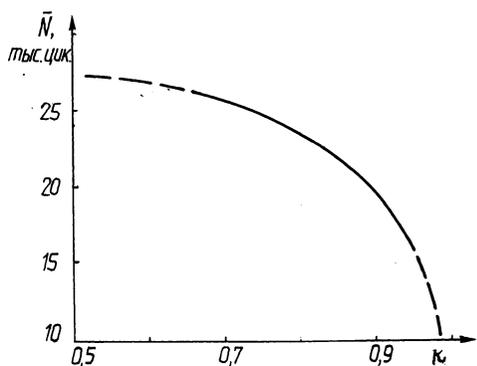


Рис. 1. Зависимость циклической прочности сильфонов от коэффициента использования пластичности ( $k$ ) при гидравлическом формовании

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Усталость и хрупкость металлических материалов/В.С. Иванова, Е.С. Гуревич, И.М. Копьев и др. — М.: Наука, 1968. — 216 с. 2. Пластичность и разрушение/В.Л. Колмогорова, А.А. Богатов, Б.А. Мигачев и др. — М.: Металлургия, 1977. — 336 с.

УДК 621.771

М.С. БЕЗВЕРХИЙ, канд.техн.наук,  
Н.Г. СЫЧЕВ (БПИ)

#### ДЕФОРМАЦИЯ ПОЛОСЫ ПРИ ПРОКАТКЕ С ПОПЕРЕЧНЫМ СДВИГОМ

В процессе прокатки с поперечным сдвигом в очаге деформации контактные условия в поперечном сечении полосы различны: на одном крае полосы поперечные силы трения от осевого смещения вала способствуют течению металла в уширение, а на другом, наоборот, препятствуют течению металла в уширение. Суммарные векторы сил трения по краям будут различны. В связи с этим вытяжки и скорости краев полосы различны. Из-за этого возникает ее скручивание на выходе из валков.

Рассмотрим отрезок полосы, вышедшей из валков (рис. 1). Пусть длина ребра  $A'B$  полосы больше длины ребра  $CD$ :

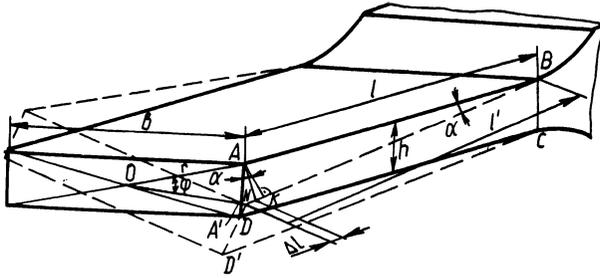


Рис. 1. Деформация полосы при прокатке с поперечным сдвигом

$\Delta l = l' - l$ , где  $l'$  – длина ребра  $AB$ ;  $l$  – длина ребра  $CD$ .

Отрезок  $AA'$  является хордой окружности с центром  $O$  и радиусом  $r$ , равным половине диагонали полосы

$$AA' = 2r \sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{b^2 + h^2} \sin \frac{\varphi}{2}, \text{ где } r = \frac{1}{2} \sqrt{b^2 + h^2}.$$

В то же время  $AA' = l \operatorname{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  – угол поворота ребра  $AB$ . Следовательно,

$$\sqrt{b^2 + h^2} \sin \frac{\varphi}{2} = l \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

Значение  $\operatorname{tg} \alpha$  можно определить из треугольника  $A'AK$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{A'K}{\sqrt{AA'^2 - A'K^2}}; \quad A'K = \Delta l + NK; \quad NK = l - l \cos \alpha;$$

$$\cos \alpha = \frac{l}{l + \Delta l}; \quad NK = \frac{\Delta l}{l + \Delta l}; \quad A'K = \frac{\Delta l(2l + \Delta l)}{l + \Delta l} \approx 2\Delta l.$$

Тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\Delta l}{\sqrt{(b^2 + h^2) \sin^2 \varphi / 2 - 4\Delta l^2}}.$$

Подставляя найденное значение  $\operatorname{tg} \alpha$  в уравнение (1), имеем

$$\sqrt{b^2 + h^2} \sin \varphi / 2 = \frac{2\Delta l}{\sqrt{(b^2 + h^2) \sin^2 \varphi / 2 - 4\Delta l^2}};$$

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{2\Delta l}{h^2 + b^2} (\Delta l + \sqrt{l^2 + \Delta l^2})}. \quad (2)$$

Приращение длины ребра полосы можно представить как  $\Delta Vt$ . Тогда

$$\Delta l = (V_1 - V_2)t; \quad l = V_2 t, \quad (3)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – скорость полосы на выходе из валков в точках В и С. Известно, что  $V_1 = V(1 + i_1)$ ;  $V_2 = V(1 + i_2)$ , где  $V$  – окружная скорость валков;  $i_1$  и  $i_2$  – опережение полосы по линиям АВ и ДС.

Подставляя найденные значения  $\Delta l$  и  $l$  в (2) и преобразуя их, получаем:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{1,41 V t}{b} \sqrt{\frac{i_1 - i_2}{1 + \frac{h^2}{b^2}} [(i_1 - i_2) + \sqrt{(1+i_2)^2 + (i_1 - i_2)^2}]}$$

С достаточной точностью, пренебрегая правым членом подкоренного выражения, получаем

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{1,41 V t}{b} \sqrt{\frac{i_1 - i_2}{1 + \frac{h^2}{b^2}}}$$

Но опережение по формуле Головина-Дрездена равно  $i = \frac{R}{h} \gamma^2$ . Тогда

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{1,41 V t}{b} \sqrt{\frac{R}{t}} \sqrt{\frac{\gamma_1^2 - \gamma_2^2}{1 + \frac{h^2}{b^2}}}, \text{ где } \gamma_1 \text{ и } \gamma_2 \text{ – нейтральные углы}$$

для ребер полосы, проходящие через точки В и С.

При фиксированном положении критического сечения все, что делается слева от него, т.е. в зоне отставания, не может влиять на скоростной режим в зоне опережения и, следовательно, на закручивание полосы при выходе из валков.

В свою очередь скоростной режим в зоне отставания, связанный с вытяжкой полосы в этой части очага деформации, будет определять скручивание входящего в валки конца полосы.

Запишем условие постоянства секундного объема:  $V_0 \omega_0 = V_1 \omega_1 (1+i)$ , тогда  $V_0 = \frac{V(1+i)}{\lambda}$ ; для ребра, проходящего через точку В,  $V_{01} = \frac{V(1+i_1)}{\lambda_1}$ ; для ребра, проходящего через точку С,  $V_{02} = \frac{V(1+i_2)}{\lambda_2}$ .

Так как  $\lambda_1 > \lambda_2$ , а опережение, обычно, значительно меньше единицы, то  $V_{01} < V_{02}$ .

При таком соотношении скоростей кромок задний конец полосы при входе будет закручиваться в сторону ребра, имеющего скорость  $V_{02}$ .

Угол закручивания полосы при входе в валки, аналогично закручиванию полосы при выходе из валков, запишется как

$$\sin \frac{\theta}{2} = \sqrt{\frac{2\Delta l_0}{h_0^2 + b_0^2} (\Delta l_0 + \sqrt{l_0^2 + \Delta l_0^2})}, \quad (4)$$

но

$$\Delta l_0 = (V_{02} - V_{01})t = Vt \left( \frac{1+i_2}{\lambda_2} - \frac{1+i_1}{\lambda_1} \right);$$

$$l_0 = V_{01}t = Vt \frac{1+i_1}{\lambda_1} \quad (5)$$

Тогда  $\sin \frac{\theta}{2} = \frac{1,41 Vt}{b_0} \sqrt{\frac{\frac{1+i_2}{\lambda_2} - \frac{1+i_1}{\lambda_1}}{1 + \frac{h_0^2}{b_0^2}}} \left[ \left( \frac{1+i_2}{\lambda_2} - \frac{1+i_1}{\lambda_1} \right) + \right.$

$$\left. + \sqrt{\frac{(1+i_1)^2}{\lambda_1^2} + \left( \frac{1+i_1}{\lambda_2} - \frac{1+i_1}{\lambda_1} \right)^2} \right].$$

Упростив,

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{1,41 Vt}{b_0} \sqrt{\frac{\frac{1+i_2}{\lambda_2} - \frac{1+i_1}{\lambda_1}}{1 + \frac{h_0^2}{b_0^2}}}$$

При наличии вводных проволок полоса не имеет возможности отклоняться от прямолинейного направления при входе в валки. В связи с этим скорость  $V_{02}$  ребра полосы принудительно уменьшается по сравнению с ее естественным значением. Согласно условию постоянства секундного объема ( $V_{02}\omega_0 = V_2\omega_2$ ) при уменьшении  $V_{02}$  в такой же степени должна уменьшиться и скорость  $V_2$  кромки СД при выходе полосы из очага деформации, что будет способствовать увеличению закручивания полосы, т.е. воздействие вводных проволок приводит к усилению закручивания полосы.

Установим влияние условий при входе полосы в валки на ее закручивание при выходе из валков. Согласно условию постоянства секундных объемов можно записать:  $V_{01}\omega_0 = V_1\omega_1$ ;  $V_{02}\omega_0 = V_2\omega_2$ .

Если  $V_{01} = V_{02}$ , то  $V_1\omega_1 = V_2\omega_2$ ;

$$V_1 = V_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} = V_2 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = V(1+i_2) \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Учитывая найденное соотношение, формулы (3) предстанут в виде

$$\Delta l = (V_1 - V_2)t = V(1+i_2) \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1 \right) t;$$

$$l = V_2 t = V(1+i_2) t.$$

Подставляя в (2), получим

$$\sin \frac{\varphi'}{2} = \frac{1,41(1+i_2)Vt}{b} \sqrt{\frac{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1}{1 + \frac{h^2}{b^2}}} \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1 + \right. \\ \left. + \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1\right)^2} \right).$$

Так как в подкоренном выражении правый член немногим больше 1, то с достаточной точностью

$$\sin \frac{\varphi'}{2} = \frac{1,41(1+i_2)Vt}{b} \sqrt{\frac{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1}{1 + \frac{h^2}{b^2}}}.$$

Для создания ровной полосы необходимо, чтобы скорости входа ребер полосы были различными, т.е. она должна иметь предварительный угол закручивания. Он больше по размеру и направлен в ту же сторону, что и при прокатке без вводной проводки.

Пусть  $V_1 = V_2$  — условие выхода ровной полосы, но  $V_1 = V(1+i_1)$ ;  $V_2 = V(1+i_2)$ , тогда  $i_1 = i_2 = i$ .

Из условия постоянства секундного объема

$$V_{01} = \frac{V(1+i)}{\lambda_1}; \quad V_{02} = \frac{V(1+i)}{\lambda_2}.$$

Подставляя найденные значения  $V_{01}$  и  $V_{02}$  в (5), получим

$$\Delta l_0 = (V_{02} - V_{01})t = \frac{Vt(1+i)(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1 \lambda_2};$$

$$l_0 = V_{01}t = \frac{Vt(1+i)}{\lambda_1}.$$

Подставляя значения  $\Delta l_0$  и  $l_0$  в (4), получим

$$\sin \frac{\theta'}{2} = \sqrt{\frac{2Vt(1+i)(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1 \lambda_2}} \sqrt{\frac{Vt(1+i)(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1 \lambda_2} + \frac{V^2 t^2 (1+i)^2}{\lambda_1^2} + \frac{V^2 t^2 (1+i)^2 (\lambda_1 - \lambda_2)^2}{\lambda_1 \lambda_2}}$$

После преобразований получаем

$$\sin \frac{\theta'}{2} = \frac{1,41 Vt}{\lambda_1 b_0} \sqrt{\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2} \left( \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2} + \sqrt{\frac{(\lambda_1 - \lambda_2)^2}{\lambda_2^2} + 1} \right) \frac{1}{1 + \frac{h_0^2}{b_0^2}}}$$

Так как в подкоренном выражении правый член немногим больше единицы, то с достаточной точностью окончательно получаем

$$\sin \frac{\theta'}{2} = \frac{1,41 Vt}{\lambda_1 b_0} \sqrt{\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2} \frac{1}{1 + \frac{h_0^2}{b_0^2}}}$$

УДК 621.771

Л.М. ДАВИДОВИЧ (БПИ)

### УСТАНОВКА ДЛЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВОЛОЧЕНИЯ ТОНКОЙ ПРОВОЛОКИ

Одним из перспективных направлений обработки металлов давлением является пластическая деформация под высоким гидростатическим давлением. Этот вид обработки наиболее широкое применение получил при холодном и горячем прессовании металлов, однако имеются попытки использования рабочих сред высокого давления в других процессах, например при волочении. Во всех случаях обычно преследуется цель совершенствования и повышения эффективности пластического формообразования металлов, а также улучшения их свойств в результате воздействия сжимающих напряжений на структуру и структурные изменения. Если принять во внимание указанные особенности, то применение жидкости высокого давления, очевидно, наиболее эффективным будет при изготовлении тончайшей микропроволоки волочением.

Процесс волочения, как известно, возможен только в том случае, если усилие разрыва упрочненной проволоки на выходе из фильеры будет несколько превышать рабочее усилие деформации, что накладывает существенные ограничения на предельную степень деформации за один проход и требует применения многопереходного волочения. Данные ограничения при волочении микронной проволоки возрастают в большей степени, поскольку размеры ее сечения делаются соизмеримыми со структурными элементами металла, а фактор неоднородности, направленности и дефектности зеренной структуры приобретает решающее значение. Все это приводит к нестабильности процесса с частыми обрывами проволоки и наладочными остановками оборудования.