

УДК 621.774

Пилипенко С. В.

### РАЗВИТИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ ОБЖАТИЙ ПО ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ ВДОЛЬ КОНУСА ДЕФОРМАЦИИ СТАНОВ ХПТ

Точность определения большинства параметров процесса пильгерной прокатки (усилия прокатки, угла захвата, контактной площади, калибровки инструмента и пр.) зависит от точности расчета обжатия трубы по толщине стенки вдоль конуса деформации [1–3]. Интенсификация процесса холодной пильгерной прокатки, широкое применение интенсивных режимов деформации, возможность вести процесс ХПТ с подачей и поворотом в обоих положениях клетки, вести процесс на высоких числах двойных ходов требуют более точных расчетов силовых параметров процесса ХПТ. Точность расчетов силовых параметров зависит от точности определения деформационных [1–5], поэтому развитию метода расчета деформационных параметров процесса пильгерной прокатки уделяется большое значение.

Целью статьи является анализ и развитие существующего метода расчёта величины обжатий по толщине стенки вдоль конуса деформации. Даная величина является определяющей при расчёте обжатия в мгновенном очаге деформации, от которой зависит точность расчётов энергосиловых параметров процесса.

Периодический характер холодной пильгерной прокатки обуславливает не постоянство величины обжатия вдоль конуса деформации. Между объемом подачи ( $V_m$ ), площадью раскатываемого сечения ( $F_x$ ) и линейным смещением ( $l_x$ ) существует интегральная зависимость [1]:

$$V_h = \int_x^{x+l_x} F_x dx. \quad (1)$$

Величина обжатия вдоль конуса деформации определяется согласно правилу П.Т. Емельяненко: «величина обжатия в периодической части пилигримовой головки равна разнице между высотой рассматриваемого сечения и высотой сечения, которое отстоит от него на таком расстоянии, при котором объем, находящийся между этими сечениями, равный объему подачи металла» [1-3]. Одним из важнейших вопросов является проблема определения расстояния между этими сечениями ( $l_x$  рис. 1). Для определения величины  $l_x$  используют формулу Я. Е. Осады [3]:

$$l_x = \frac{\sqrt{S_x + 2(\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha) \frac{mS_3(S_3 - D_3)}{D_x - S_x}} - S_x}{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha}, \quad (2)$$

где  $S_x$  – толщина стенки трубы в сечении;  $\operatorname{tg} \gamma = \frac{D_{x-1} - D_x}{2L_{x-1+x}}$  и  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{d_{x-1} - d_x}{2L_{x-1+x}}$  – конусность

развертки калибра и оправки на участке.

Для расчета величины обжатия по толщине стенки трубы вдоль конуса деформации за цикл пильгерной прокатки могут использоваться две формулы:

-формула Я.Е. Осады [3]:

$$\Delta S_\Sigma = \sqrt{S_x^2 + 2 \cdot \frac{mS_3(S_3 - D_3)}{D_x - S_x} (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha)} - S_x; \quad (3)$$

- формула Б.М. Рогова [4]:

$$\Delta S_\Sigma = m\mu_{\Sigma x} (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha), \quad (4)$$

где  $\mu_{\Sigma x} = F_3/F_x$ .

Для расчета обжатия по радиусу вдоль конуса деформации, для приблизительных расчетов можно использовать формулу [1]:

$$\Delta R_\Sigma = m\mu_{\Sigma x} \operatorname{tg} \gamma. \quad (5)$$

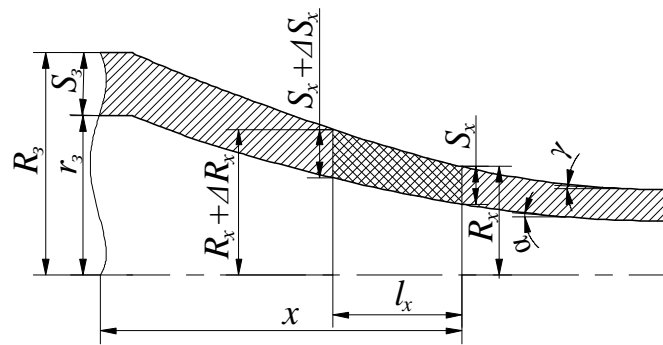


Рис. 1. Схема к определению величины обжатия вдоль конуса деформации при обратном ходе клетки [1–3]

Распределение обжатия вдоль конуса деформации между прямым и обратным ходами осуществляется с помощью эмпирического коэффициента  $K_t=0,3..0,4$  [1-3]:

$$\Delta S_{\Sigma np} = \Delta S_{\Sigma} (1 - K_t), \quad (6)$$

$$\Delta S_{\Sigma обр} = \Delta S_{\Sigma} K_t. \quad (7)$$

Точного теоретического расчета, который бы учитывал фактор как изменения величины недеформированных частей металла в выпусках ручья и той части металла, который остается деформированным из-за изменения величины зазора между калибрами, не существует. Учитывая это, метод расчетов величины обжатия по толщине стенки вдоль конуса деформации требует дальнейшего развития.

В случаи ведения процесса ХПТ с подачей трубы перед прямым ходом клетки, а поворотом перед обратным, форму поперечного сечения трубы можно с небольшими допущениями считать кольцевидной:

$$F_{x.обр} = \pi \cdot S_x (D_x - S_x). \quad (8)$$

Однако после прямого хода в выпусках толщина стенки трубы полностью не раскатывается (см. рис. 2) и остаётся утолщённой.

Исходя из того, что зазор между внутренней стенкой трубы и оправкой в процессе ХПТ относительно небольшой, площадь трубы после прямого хода:

$$F_{x.пр} = 4 \left( \frac{0,5\pi - \alpha}{2} (R_{mp.x}^2 - R_{on.x}^2) + 0,5 \arcsin \left( \frac{0,5B \cdot \sin(\pi - \alpha)}{\rho} \right) (\rho^2 - (\rho - S)^2) \right), \quad (9)$$

где  $S_6$  – толщина стенки в выпусках;  $\alpha$  – угол выпуска в радианах.

Исходя из того, что вытяжка трубы за прямой ход:

$$\mu_{\Sigma x_{np}} = \frac{F_3}{F_{x.пр}}. \quad (10)$$

Обжатие по толщине стенки вдоль конуса деформации после прямого хода клетки можно рассчитать по формуле:

$$\Delta S_{nn_x} = \frac{m \cdot \pi (D_3 - S_3) S_3 \cdot (tg \gamma - tg \alpha)}{4 \left( \frac{0,5\pi - \alpha}{2} (R_{mp.x}^2 - R_{on.x}^2) + 0,5 \arcsin \left( \frac{0,5B \cdot \sin(\pi - \alpha)}{\rho} \right) (\rho^2 - (\rho - S)^2) \right) + \pi \cdot (D_i + \Delta_{np.x}) \Delta_{np.x}} \quad (11)$$

где  $\Delta_{np}$  – величина упругих деформаций при прямом ходе.

Зная из формул (3–4) общую вытяжку за цикл прокатки величина обжатия при обратном ходе клетки:

$$\Delta S_{ообр_x} = \Delta S_x - \Delta S_{nn_x}. \quad (12)$$

На рис. 3 показаны результаты расчетов величины обжатия трубы по толщине стенки вдоль конуса деформации согласно предложенному методу.

Как видно из графиков (см. рис. 3), распределение величины обжатия между прямым и обратным ходами не является постоянным. В первой части зоны обжатия конуса деформации, из-за изменения величин развалки и пружины клетки во время прямого хода, доля метал-

ла, которая остается для раскатки обратным ходом клетки уменьшается по ходу движения клетки. Таким образом, значение эмпирического коэффициента  $K_t$  в формулах (6–7), для повышения точности расчетов должно изменяться в пределах: от 0,4 в начале зоны обжатия стенки, – до 0,2 на участке предотделки.

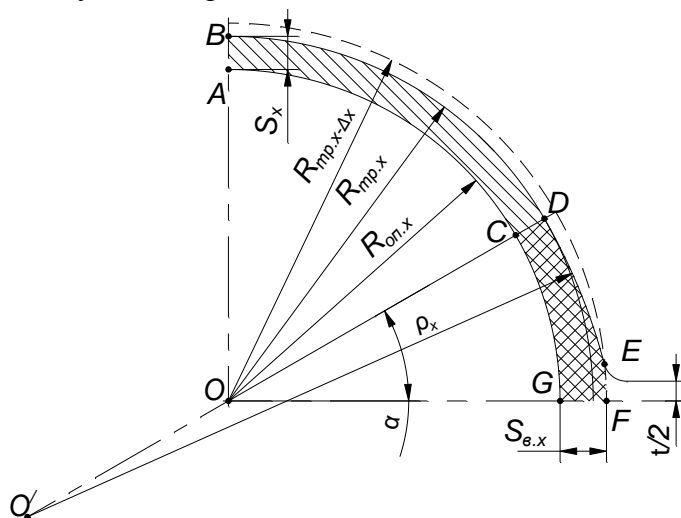


Рис. 2. Форма поперечного сечения трубы в сечениях конуса деформации стана холодной пильгерной валковой прокатки (при использовании калибра с выпусками «по радиусу»)

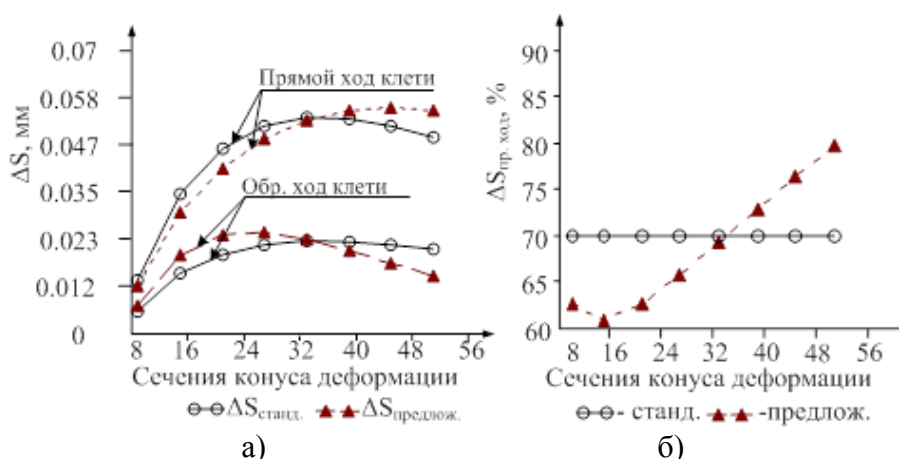


Рис. 3. Результаты расчетов величины обжатия трубы по толщине стенки вдоль конуса деформации согласно предложенного метода (маршрут – 38x3, 2-25x1,65, ХПТ-32, подача 8 мм):

а – обжатие по толщине стенки при прямом и обратном ходах клетки, мм; б – доля величины обжатия по толщине стенки, которая совершается при прямом ходе клетки, в отношении к общему обжатию трубы по толщине стенки вдоль конуса деформации за двойной ход клетки

Значения толщины стенки (или диаметра калибра) до деформации за двойной ход клетки можно определять методом компьютерной 2D сплайн-интерполяции. Для этого необходимо рассчитать величины  $l_x$  (см. рис. 1) для необходимых контрольных сечений. Далее, в промежутках между заданными точками, проводится аппроксимация данных в виде зависимости:

$$A(S) = aS^3 + bS^2 + cS + d, \quad (13)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – коэффициенты; которые рассчитываются отдельно для каждого промежутка;  $S$  – значение аргумента при котором рассчитывается интерполируемая функция.

В большинстве математических редакторов имеется возможность проводить такие расчеты автоматически. Можно также организовать автоматический расчет объема металла между сечениями (в качестве проверочного). Зная значения толщины стенки (или диаметра калибра) до деформации, рассчитать величину обжатия вдоль конуса деформации за двойной

ход клетки не составляет труда. Так можно дополнительно повысить точность расчетов величины обжатия вдоль конуса деформации.

На рис. 4 показаны результаты работы программы расчета величины редуцирования трубы вдоль конуса деформации, которая работает методом сплайн-интерполяции.

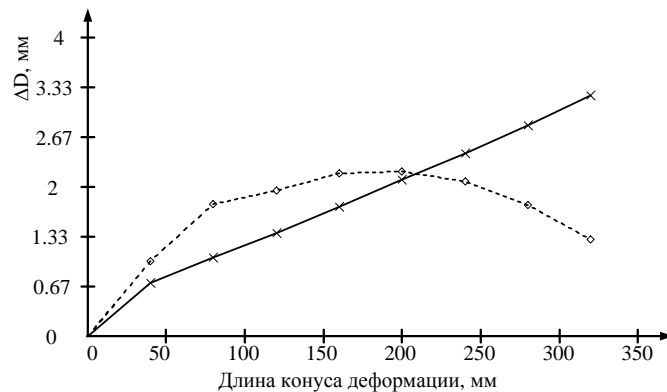


Рис. 4. График результатов работы программы расчета величины обжатия трубы по внешнему диаметру вдоль конуса деформации за двойной ход клетки (45x2.1-21x1 мм,  $m = 8$ ): пунктир – случай прокатки на оправке с криволинейной образующей; сплошная линия – случай прокатки на конусной оправке

### ВЫВОДЫ

В ходе анализа существующего метода расчёта величины обжатия трубы по толщине стенки вдоль конуса деформации станов холодной пильгерной прокатки труб сделан вывод о том, что существующий на данный момент метод расчёта этой величины требует развития. Распределение величины обжатия между прямым и обратным ходами осуществляется с помощью коэффициента, который не в полной мере учитывает влияния множества факторов процесса. Предложенное развитие метода позволяет учитывать при расчётах величины обжатия в станах ХПТ как величину недеформируемой части металла, возникшую вследствие упругой деформации клетки, так и ту часть объёма металла, которая не деформируется после рабочего хода клетки вследствие наличия выпусков ручья. Данное предложение позволит повысить точность расчётов деформационных параметров пильгерной прокатки труб.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевакин Ю.Ф. *Калибровка и усилия при холодной прокатке труб* / Ю.Ф. Шевакин. – М: *Металлургиздат*, 1963. – 269 с.
2. Емельяненко П.Т. *Теория косоj и пильгеримовой прокатки* / П.Т. Емельяненко – М: *Металлургиздат*, 1949. – 491 с.
3. Орро П.И. *Производство стальных тонкостенных труб: [Монография]* / П.И. Орро, Я.Е. Осада. – М. Харьков: *Металлургиздат*, 1951. – 416 с.
4. Попов В.М. *Совершенствование процесса периодической прокатки труб* / Попов В.М., Атанасов С.В., Беликов Ю.М. – Днепропетровск: *Дива*, 2008. – 191 с.

### REFERENCES

1. Shevakin Ju.F. *Kalibrovka i usilija pri holodnoj prokatke trub* / Ju.F. Shevakin. – M: *Metallurgizdat*, 1963. – 269 s.
2. Emel'janenko P.T. *Teorija kosoj i piligrimovoj prokatki* / P.T. Emel'janenko – M: *Metallurgizdat*, 1949. – 491 s.
3. Orro P.I. *Proizvodstvo stal'nyh tonkostennyh trub: [Monografija]* / P.I. Orro, Ja.E. Osada. – M. Har'kov: *Metallurgizdat*, 1951. – 416 s.
4. Popov V.M. *Sovershenstvovanie processa periodicheskoj prokatki trub* / Popov V.M., Atanasov S.V., Belikov Ju.M. – Dnepropetrovsk: *Diva*, 2008. – 191 s

Пилипенко С. В. – канд. техн. наук, докторант каф. УП НМетАУ

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: [44-08@mail.ru](mailto:44-08@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 29.02.2016 г.