

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ДВУХНИТОЧНОГО РАСКАТА В ДВУХРУЧЬЕВОМ КАЛИБРЕ СРЕЗОМ ПЕРЕМЫЧКИ

ШУЛЬГИН Г.М. (ДонГТУ)

Путем совместного решения уравнений равновесия моментов и проекций сил получены уравнения регрессии для определения предельной толщины перемычки и смятия кромок овальных профилей двухниточного раската при его продольном разделении в двухручьевом калибре с наклонными к оси валков ручьями. При этом использован аппарат математического планирования эксперимента и численные методы решения нелинейных уравнений.

Для производства арматурной стали мелких сечений разработана технология многоручьевой прокатки-разделения, заключающаяся в конечном итоге в формировании многониточного раската, состоящего из двух плоских или однорадиусных овальных профилей, соединенных по большим осям тонкой перемычкой с концентратором напряжений у перемычек в виде двухстороннего заката. Последующее продольное разделение многониточного раската может осуществляться срезом перемычек путем взаимного поворота овальных профилей вокруг продольных осей в одном направлении, обеспечиваемого калиброванными холостыми роликками специального устройства в межклетевой промежутке или прокаткой многониточного раската в многоручьевом калибре с наклонным расположением ручьев.

Продольное разделение двухниточного раската срезом перемычек в двухручьевом калибре с наклонными ручьями путем поворота вокруг продольных осей плоских овальных профилей показано на рисунке 1.

При захвате двухниточного раската, состоящего из двух плоских овальных полос, соединенных перемычкой по большим осям, валками (рисунке 1, а) в месте контакта возникают нормальные силы N_1 и N_2 , создающие крутящие моменты $M_{кр}$, стремящиеся повернуть овальные полосы вокруг их продольных осей. С учетом смятия вершин овальных полос в месте контакта с валками:

$$M_{кр} = 0,5 m_{ср} (N_1 + N_2) \cos \varphi, \quad (1)$$

$$m_{ср} = a - \frac{1}{3} (\Delta Z_1 + \Delta Z_2) \sin \varphi, \quad (2)$$

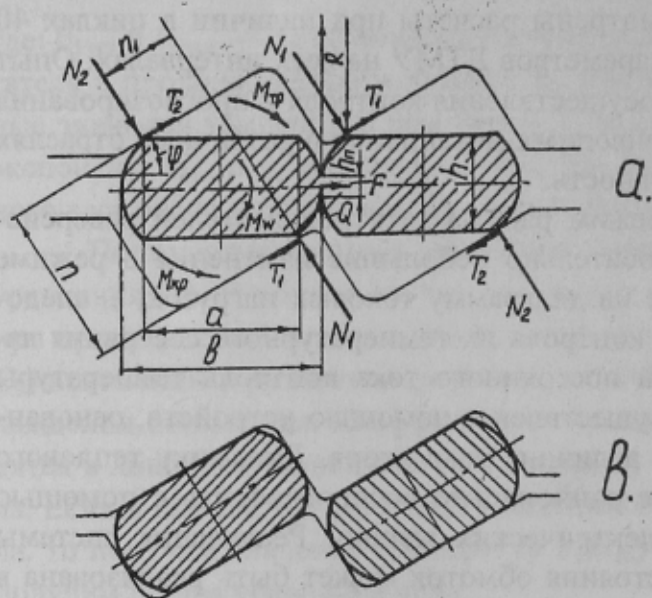


Рисунок 1 — Поперечные сечения очага деформации при продольном разделении двухниточного раската в двухручьевом калибре с наклонными ручьями в момент захвата раската валками (а) и на выходе из очага деформации (б)

где a — ширина прямоугольной части овального профиля, мм; ΔZ_1 и ΔZ_2 — смятие вершин профилей вдоль оси OZ , мм; φ — угол наклона образующих ручьев двухручьевого калибра к оси валка, °.

Повороту полос вначале препятствуют моменты от сопротивления профилей пластическому скручиванию:

$$M_w = \tau_s \times W_p, \quad (3)$$

и моменты от возникающих под действием $M_{кр}$ в зоне перемычки растягивающей F и сдвигающей Q сил

$$F = q_n \sigma; \quad Q = q_n \tau, \quad (4)$$

где τ_s — предел текучести металла при сдвиге, МПа; W_p — момент пластического сопротивления полос при скручивании, мм³; $q_n = 0,5 h_n l_n$ — срезаемая площадь сечения перемычки, мм²; l_n — длина зоны среза перемычки, мм; h_n — толщина перемычки, мм; σ и τ — соответственно нормальное и касательное напряжения в перемычке, МПа.

Длину зоны среза перемычки определяли по зависимости:

$$l_n = \sqrt{n_n h_n R},$$

где R — радиус валка в месте контакта с вершиной овального профиля, мм.

Для прямоугольного сечения момент пластического сопротивления заготовки при скручивании:

$$W_p = \frac{1}{6} (3b - h) h^2, \quad (5)$$

где h и b — соответственно толщина и ширина профиля, мм.

При достижении касательными напряжениями в сечении перемычки напряжений текучести при сдвиге ($\tau = \tau_s$), начнет происходить поворот заготовок вокруг продольных осей со сдвигом металла в районе перемычки, которому дополнительно начнет препятствовать момент $M_{тр}$, создаваемый силами трения T_1 и T_2 (рисунок 1, а) на поверхности контакта:

$$M_{тр} = 0,5 n_{ср} \times \tau_n (F_{к1} + F_{к2}), \quad (6)$$

где $n_{ср} = n - \frac{2}{3} (\Delta Z_1 + \Delta Z_2) \cos \varphi$, мм; $n = h \cos \varphi + a \sin \varphi$, мм; $F_{к1}$ и $F_{к2}$ — площадь смятия вершин профиля, мм².

Для определения значений технологических параметров процесса продольного разделения раската рассматривали условие равновесия суммы моментов относительно центра заготовок и проекции сил на ось OZ :

$$\sum M_o = 0; \quad M_{кр} - M_{тр} - M_w - 0,5 b Q = 0; \quad (7)$$

$$\sum P_z = 0; \quad (N_1 - N_2) \cos \varphi - (T_1 - T_2) \sin \varphi - Q = 0. \quad (8)$$

Преобразовывая равенство (7) с учетом зависимостей (1)–(6) и уравнения (8) получили:

$$0,5 \left[X_1 \left(1 + 0,5 X_2 \sqrt{n_n X_2 X_3} \right) - \frac{1}{3} \right] - \frac{m_{ср}}{h} (\cos \varphi - f \sin \varphi) \left(\frac{S}{h^2} + 2 \frac{F_{к2}}{h^2} \right) \cos \alpha = 0, \quad (9)$$

где:

$$\frac{m_{cp}}{h} = X_1 - 2X_4 - \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta Z_2}{h} + \frac{\Delta Z_1}{h} \right) \sin \varphi;$$

$$\frac{S}{h^2} = \frac{0,2875}{(\cos \varphi - f \sin \varphi) \cos \alpha} X_2 \sqrt{n_n X_2 X_3};$$

$$\frac{F_{\kappa 2}}{h^2} = 0,5 \frac{\Delta y_2}{h} \frac{ld_2}{h};$$

$$X_1 = \frac{b}{h}; X_2 = \frac{h_n}{h}; X_3 = \frac{R}{A}; X_4 = \frac{c}{h}; c = 0,5(b - h);$$

$$\frac{\Delta Z_1}{h} = \left[\left(\frac{\Delta Z_2}{h} \right)^2 + \frac{0,1016}{A(\cos \varphi - f \sin \varphi)} X_2 \sqrt{n_n X_2} \right]^{\frac{2}{3}};$$

$$A = \frac{1}{\sin \varphi} + 2X_4 \cos \varphi + 2X_4 \sin \varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta + \varphi);$$

$$\beta = \operatorname{arctg} 2X_4; \frac{\Delta y_2}{h} = A \frac{\Delta Z_2}{h}; \frac{ld_2}{h} = \sqrt{2X_3 \frac{\Delta Z_2}{h}}; \cos \alpha = 1 - \frac{0,5}{X_3} \left(1 - \frac{1}{\cos \varphi} + X_4 \operatorname{tg} \varphi \right).$$

Угол φ наклона образующей ручья двухручьевого калибра, обеспечивающий стабильное продольное разделение раската, определяется неравенством:

$$[a(\cos \varphi + \sin \varphi) - h] \cos \varphi \geq n_n h_n + \Delta Z_1 + \Delta Z_2 \quad (10)$$

где $n_n = (1-1,5)h_n$ — коэффициент надежности.

Решение полученного нелинейного уравнения (9) осуществлено численным методом на ПЭВМ типа IBM. Сочетание значений входных факторов, при которых решали уравнение (9), определяли с использованием аппарата математического планирования эксперимента. В результате обработки расчетных значений методами регрессионного анализа получены уравнения регрессии для определения относительного смятия вершин овальных профилей $\Delta Z_1/h$ и $\Delta Z_2/h$ при разделении двухручьевого раската в двухручьевом калибре с наклонными ручьями, действительные в диапазоне значений факторов $\varphi \in (10^\circ - 30^\circ)$; $f \in (0,1 - 0,5)$; $X_1 = \frac{b}{h} \in (2-4)$; $X_2 = \frac{h_n}{h} \in (0,1 - 0,3)$; $X_3 = \frac{R}{A} \in (15-35)$ при

$X_4 = \frac{c}{h} = 0,3$ и $n_n = 1,0$:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta Z_1}{h} = & 0,0524 + 0,182 \operatorname{tg} \varphi - 0,0156 f - 0,0042 \frac{b}{h} + 0,0576 \frac{h_n}{h} - 0,0004 \frac{R}{h} + \\ & + 0,133 f \cdot \operatorname{tg} \varphi - 0,0023 \frac{R}{h} \operatorname{tg} \varphi; \quad (11) \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta Z_2}{h} = 0,0592 + 0,175 \operatorname{tg} \varphi - 0,0156 f - 0,0044 \frac{b}{h} + 0,0144 \frac{h_n}{h} - 0,0004 \frac{R}{h} + 0,127 f \cdot \operatorname{tg} \varphi - 0,024 \frac{R}{h} \operatorname{tg} \varphi \quad (12)$$

Статистические данные анализа уравнений регрессии (11), (12) приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Статистические данные анализа уравнений регрессии.

Номер уравнения	Моделируемый параметр	Коэффициент множественной корреляции	Критерий Фишера, F		Остаточная сумма квадратов, $S_{\text{ост}}$	Критерий Стьюдента T_r	Число степеней свободы	
			расч.	табл.			f_1	f_2
11	$\Delta Z_1/h$	0,996	569,0	2,44	0,0004	695,24	7	35
12	$\Delta Z_2/h$	0,996	676,8	2,68	0,0003	826,35	7	35

Предельное значение относительной толщины перемычки, при которой произойдет продольное разделение двухниточного раската при заданных параметрах раската и разделяющего двухручьевого калибра, можно определить из условия (10):

$$\frac{h_n}{h} \leq \frac{1}{n_n} \left[1 - \frac{\Delta Z_1}{h} - \frac{\Delta Z_2}{h} + \cos \varphi \left(\frac{b}{h} - 2 \frac{c}{h} \right) \sin \varphi - 1 \right] \quad (13)$$

Решая совместно уравнения (13), (11) и (12) нашли предельное значение относительной толщины перемычки

$$\frac{h_n}{h} = \frac{1}{0,072 + n_n} \left\{ \begin{aligned} &0,8884 + \left[\left(\frac{b}{h} - 0,6 \right) \sin \varphi - 1 \right] \cos \varphi - 0,357 \operatorname{tg} \varphi + \\ &+ f(0,312 - 0,26 \operatorname{tg} \varphi) + \frac{R}{h} (0,008 + 0,0047 \operatorname{tg} \varphi) + 0,0086 \frac{b}{h} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Уравнения позволяют оценивать влияние входных факторов на условия продольного разделения раската и использованы для расчета калибровок валков при двухручьевого прокатке-разделении сортовых профилей.

Изменяя угол φ образующей ручьев двухручьевого калибра можно изменять угол скручивания разделенных профилей вокруг продольных осей и использовать этот эффект для кантовки профилей при задаче их в валки следующей клетки.

Список литературы

1. Шульгин Г.М. Совершенствование технологии многоручьевого прокатки-разделения сортовых профилей // Металл и литье Украины, 1997. — № 5. — С. 13–15.

© Шульгин Г.М., 1999.