УДК 629.771.01

А.Н. Николаенко [1], профессор, к.т.н.
Ю.П. Таран [2], инженер

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТСТАВАНИЯ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЕВОЙ КАТАНКИ

[1] *Запорожская государственная инженерная академия,*
[2] *ПАО «Запорожский завод алюминиевой катанки»*

Виконано теоретичні дослідження відставання заготованки під час прокатки у виробництві алюмінієвої катанки. Запропоновано формулу, що є зручною для практичних розрахунків швидкості заготованки на вході до стану та вдосконалення алгоритму управління роботою ливарно-прокатного модуля.

Ключові слова: осередок деформування, кут захоплення, відставання та випередження заготованки, ливарно-прокатний модуль

Выполнены теоретические исследования отставания заготовки в процессе прокатки при производстве алюминиевой катанки. Предложена формула, удобная для практических расчетов скорости заготовки на входе в стан и совершенствования алгоритма управления работой литейно-прокатного модуля.

Ключевые слова: очаг деформации, угол захвата, отставание и опережение заготовки, литейно-прокатный модуль

The theoretical researches of the workpiece bland drag during the rolling at the production of aluminum rolled wire were performed. It is offered a formula which would be conve-nient for practical calculations of the workpiece bland speed on entrance to the mill and in order to improve the controlling algorithm by the work of casting-rolling unit.

Keywords: heath of deformation, angle of bite, drag and passing workpiece bland, casting-rolling unit

Введение. В процессе прокатки происходит обжатие полос валками стана. При этом одна часть металла выдавливается в направлении движения, создавая зону опережения, а другая его часть отжимается в противоположную сторону, формируя зону отставания.

В теории прокатки основное внимание уделяется исследованию опережения, которое, как экспериментально, так и аналитически выполнить проще, что позволяет часто использовать его при решении практических задач, связанных с достаточно точным определением скорости выхода металла из валков [1,2].

В то же время при совершенствовании управления работой литейно-прокатного модуля ПАО «Запорожский завод алюминиевой катанки» значительный интерес представляет исследование отставания металла в очаге деформации и влияние его на процесс формирования заготовки, длину которой необходимо поддерживать в заданных значениях.

Вычисление отставания металла с использованием экспериментальной формулы, существующей в теории прокатки, связаны с определенными неудобствами и практически не выполняются, поскольку данная формула содержит опережение, рассчитываемое по скоростям валков и полосы на выходе из них, измерение которых соизмеримо с величиной самого опережения [2].

© Николаенко А.Н., Таран Ю.П., 2014

Постановка задачи. В связи с этим необходимо получение уравнения, удобного для применения на практике при расчете скорости заготовки на входе в стан для совершенствования алгоритма управления работой литейно-прокатного модуля.

Основная часть исследований. При прокатке полосы на участке l, равном длине очага деформации (рис. 1), под действием механического усилия валков происходит деформирование полосы и через время t ее вертикальное сечение приобретает форму, близкую к усеченному конусу. По мере дальнейшего перемещения полоса подвергается дополнительной деформации. Через время $2t$ валки поворачиваются на двойной угол захвата и завершают прокатку металла на участке длиною l.

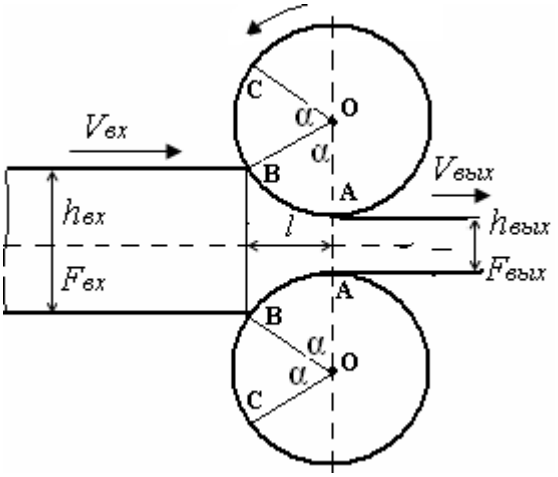

Рисунок 1 – *Очаг деформации при прокатке полосы* (*обозначения в тексте*)

При этом полоса на выходе из валков приобретает бóльшую длину за счет металла:

– выдавленного на величину $\Delta l_{оп}$ в зону опережения:

$$\Delta l_{оп} = \frac{M_{оп}}{F_{вых}}; \tag{1}$$

– отжатого на величину $\Delta l_{от}$ в зону отставания:

$$\Delta l_{от} = \frac{M_{от}}{F_{вх}} = \frac{M - M_{оп}}{F_{вх}}; \tag{2}$$

где $M_{оп}$, $M_{от}$ – объем металла, выдавленного в зону опережения и отжатого в зону отставания соответственно; M – суммарный объем метала, выдавленного с участка полосы длиною l; $M = l \cdot (F_{вх} - F_{вых})$; $F_{вх}$, $F_{вых}$ – сечение полосы перед валками и на выходе из них соответственно.

Путем совместного решения уравнения (1) и (2) относительно $\Delta l_{от}$, получают величину удлинения полосы в сторону зоны отставания:

$$\Delta l_{от} = \frac{l \cdot \Delta F - \Delta l_{оп} \cdot F_{вых}}{F_{вх}}; \tag{3}$$

Скорость, с которой происходит данное удлинение, будет равна

$$V_{от} = \frac{\Delta l_{от}}{2t}, \tag{4}$$

а скорость удлинения полосы в зоне опережения составляет

$$V_{îï} = \frac{\Delta l_{îï}}{2t} \ . \qquad (5)$$

Тогда результирующие скорости прокатывания металла на входе $V_{вх}$ и выходе $V_{вых}$ первой клети с учетом скорости валков $V_â$ можно определить с использованием уравнений:

$$V_{âõ} = V_â \cdot \cos\alpha - \frac{\Delta l}{2t} \ ; \qquad (6)$$

$$V_{âûõ} = V_â + \frac{\Delta l_{îï}}{2t} \ , \qquad (7)$$

где $V_â \cdot \cos\alpha$ – горизонтальная проекция скорости валков в сечении входа в стан.

Известно [1,2], что величину опережения вычисляют по формуле

$$S_{îï} = \frac{V_{âûõ} - V_â}{V_â} \ . \qquad (8)$$

Тогда с учетом уравнения (7) и значения времени t, определяемого, как $t = l/V_â$ формулу (8) можно записать

$$S_{îï} = \frac{\Delta l_{îï}}{2l} \ . \qquad (9)$$

Если на валке мысленно выполнить керновые отметки в точках А и В и прокатать участок полосы длиною l, то в соответствии с работой [1] опережение можно рассчитать как

$$S_{îï} = \frac{l_ï - l_â}{l_â} \ , \qquad (10)$$

где $l_ï$ – длина полосы, ограниченная керновыми отметками, после прокатки заготовки длиною l, $l_ï = l + \Delta l_{îï}$, $l_â$ – длина окружности валка, которая участвует в прокатке полосы длиною l, $l_â = \alpha \cdot \pi \cdot R/180$, α – угол захвата полосы валками, $\alpha \approx 57{,}3\sqrt{\Delta h/R}$, Δh – величина абсолютного обжатия, $\Delta h = h_{âõ} - h_{âûõ}$, $h_{âõ}$, $h_{âûõ}$ – соответственно высота полосы перед и после валков; R – радиус валков.

С учетом приведенных соотношений формула (10) принимает вид:

$$S_{îï} = \frac{l + \Delta l_{îï}}{R \cdot \sqrt{\Lambda h/R}} - 1 \ . \qquad (11)$$

Приравнивают правые части уравнений (9) и (11):

$$\frac{\Delta l_{îï}}{2l} = \frac{l + \Delta l_{îï}}{R \cdot \sqrt{\Lambda h/R}} - 1 \ . \qquad (12)$$

Откуда параметр $\Delta l_{îï}$, учитывая, что $l = R \cdot \sin\alpha$, будет равен

$$\Delta l_{îï} = \frac{2R \cdot \sin\alpha \cdot \left[\sin\alpha - \sqrt{\Lambda h/R}\right]}{\sqrt{\Delta h/R} - 2\sin\alpha} \ . \qquad (13)$$

После подстановки выражения (9) или (11) с учетом соотношения (13) в из-

вестную формулу отставания [1] можно записать

$$S_{îò} = 1 - \frac{1 + S_{ïï}}{\lambda \cdot \cos\alpha} = 1 - \frac{F_{âûõ} \cdot \mathrm{tg}\,\alpha}{F_{âõ} \cdot \left[2\sin\alpha - \sqrt{\Delta h / R}\right]}\ , \qquad (14)$$

где λ – коэффициент вытяжки.

Как следует из уравнения (14), величина отставания зависит от угла захвата, абсолютного обжатия полосы, радиуса валков и может быть определена без данных об опережении, скоростей валков и полосы на выходе из клети, что делает его удобным для практических расчетов при исследовании длины заготовки перед прокатным станом литейно-прокатного модуля.

Для определения погрешности расчетов величины отставания по формуле (14) по сравнению с расчетами по известной экспериментальной формуле, содержащей опережение [1], проведены исследования (табл. 1) с использованием реальных результатов прокатки, приведенных в работе [2].

Таблица 1 – *Результаты исследования формулы отставания*

Толщина полосы, 10^{-3} м:		Угол захвата, град	Радиус валков, 10^{-3} м	Опережение, %	Отставание, %:		Относительная погрешность, %
перед валками	после валков				по формуле работы [1]	по формуле (18)	
0,83	0,59	1,95	206,7	2,70	27	29	7,4
1,95	0,86	4,87	150,0	8,50	53	56	5,7
0,97	0,56	5,44	45,4	8,75	37	39	5,4
15,75	7,64	17,98	92,5	3,41	47	48,5	3,2
15,78	11,97	11,46	92,5	1,92	21	22	4,3

Как видно из табл. 1, относительная погрешность находится в пределах 3,2… 7,4 %. Недостаточная точность определения отставания заготовки объясняется тем, что в расчетах по формуле (14) использовали не площади поперечных сечений, а высоту полосы до и после прокатки, а также не учитывали коэффициент трения [2].

Особенностью производства алюминиевой катанки на ПАО «Запорожский завод алюминиевой катанки» является прокатка заготовки в калибрах. А это значит, что в полученной формуле отставания необходимо использовать не угол захвата, а его усредненное значение $\alpha_{ñð}$, а вместо радиуса валков – средний катающий радиус R_{cp}. Кроме того, данная формула должна содержать коэффициент k, учитывающий трение контактирующих поверхностей и другие факторы, влияющие на отставание.

В результате теоретическая формула для определения отставания заготовки при производстве катанки в литейно-прокатном модуле принимает вид:

$$S_{îò} = 1 - \frac{F_{âûõ} \cdot \mathrm{tg}\,\alpha_{ñð}}{F_{âõ} \cdot \left[2\sin\alpha - \sqrt{\Delta h / R}\right]} \cdot k\ , \qquad (15)$$

Для условий литейно-прокатного модуля ОАО «Запорожский завод алюминиевой катанки», где показатели прокатки составляют: Δh = 9,8·10^{-3} м; $F_{âõ}$ = 1253·10^{-6} м^2; $F_{âûõ}$ = 832·10^{-6} м^2; α = 18,4 град; R = 95·10^{-3} м; $S_{ïï}$ = 5 %, – погрешность вычисления отставания по формуле (15) при k = 1,03 не превышает 1,0 %.

Следует отметить, что при k = 1,03 во всех проверочных расчетах, результаты которых приведены в табл. 1, погрешность вычисления отставания снижается до

0,1…1,0 %.

Для определения скорости заготовки на входе в стан литейно-прокатного модуля можно использовать формулу [1]:

$$S_{\hat{i}\,\grave{o}} = \frac{V_{\hat{a}} \cdot \cos\alpha - V_{\hat{a}\tilde{o}}}{V_{\hat{a}} \cdot \cos\alpha} \ . \qquad (16)$$

Решая формулу (16) совместно с уравнением (15), получают:

$$V_{\hat{a}\tilde{o}} = V_{\hat{a}} \cdot \frac{F_{\hat{a}\hat{u}\,\tilde{o}}}{F_{\hat{a}\tilde{o}}} \cdot \frac{\sin\alpha_{\tilde{n}\eth}}{\left[2\sin\alpha_{cp} - \sqrt{\Delta h/R}\right]} \cdot k \ . \qquad (17)$$

Тогда при несоответствии скоростей заготовки на выходе литейного колеса $V_л$ и на входе ее в прокатный стан $V_{вх}$, вызванных появлением возмущений в технологическом процессе [3,4], приращение длины заготовки ΔL за заданный интервал времени $t_з$ без измерения $V_{вх}$, можно рассчитать по известным параметрам прокатки, используя формулу

$$\Delta L = \left|V_{\ddot{e}} - V_{\hat{a}\tilde{o}}\right| \cdot t_{\varsigma} = \left[V_{\ddot{e}} - V_{\hat{a}} \cdot \frac{F_{\hat{a}\hat{u}\,\tilde{o}}}{F_{\hat{a}\tilde{o}}} \cdot \frac{\sin\alpha_{\tilde{n}\eth}}{\left|2\,sin\,\alpha_{cp} - \sqrt{\Delta h/R}\right|} \cdot k\right] \cdot t_{\varsigma} \ . \qquad (18)$$

Это дает возможность сформировать упреждающий корректирующий сигнал для управления работой литейно-прокатного модуля, не дожидаясь фактического увеличения размеров заготовки, и повысить, за счет этого, качество управления.

Выводы. Получена теоретическая формула отставания, которая позволяет с достаточной точностью определить скорость заготовки на входе в прокатный стан и усовершенствовать алгоритм управления работой литейно-прокатного модуля при производстве алюминиевой катанки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грудев*, *А. П.* Теория прокатки : учебник [Текст] / А. П. Грудев. – М. : Металлургия, 1988, 240 с. – Библиогр. : с. 236.
2. *Николаев*, *В. А.* Теория и практика процессов прокатки [Текст] / В. А. Николаев. – Запорожье : ЗГИА, 2002. – 232 с. – Библиогр. : с. 224-230. – ISBN 966-7101-42-8.
3. *Таран*, *Ю. П.* Исследование температурных деформаций заготовки при непрерывном литье алюминия [Текст] / Ю. П. Таран, А. Н. Николаенко // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : ЗДІА, 2007. – Вып. 16. – С. 139-144.
4. *Таран*, *Ю. П.* Исследования влияния работы прокатного стана на формирование заготовки при непрерывном литье алюминия [Текст] / Ю. П. Таран, А. Н. Николаенко // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : ЗДІА, 2011. – Вып. 25. – С. 144-147.

Стаття надійшла до редакції 10.06.2014 р.
Рецензент, проф. В.У. Григоренко

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
http://www.zgia.zp.ua