

диффузии, при которой крупные частицы оседают по сложной траектории, а мелкие постоянно находятся во взвешенном состоянии.

3. Разработана математическая модель процесса переноса пылевых частиц воздушным потоком в подземных горных выработках.

4. Получена аналитическая зависимость скорости оседания пылевых частиц от скорости движения воздушного потока в горной выработке, плотности пылевых частиц и их диаметра, а также вязкости среды оседания.

5. Установлены границы оседания на вентиляционном штреке от выхода из лавы различных фракций угольной пыли: для частиц диаметром 50 мкм — 27 м; 25 мкм — 125 м; 10 мкм — 773 м; 5 мкм — 3250 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлёв В.П., Демишева Е.Ф., Спирин Л.А. Аэродинамические методы борьбы с угольной пылью. Из-во Ростовского университета, 1988. – 144 с.
2. Романенко С.Б. Аппаратно-программный комплекс контроля уровней запылённости на базе датчиков нового поколения / Горный информационно-аналитический бюллетень, 2007. – С. 273–279.
3. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. – М.: Из-во «Наука». 1981. – 174 с.
4. Бурчаков А.С., Москаленко Э.М. Динамика аэрозолей в горных выработках. – М.: Наука, 1965. – 65 с.
5. Борьба с пылью в очистных забоях / Гродель Г.С., Губский Ю.Н., Кривохижа Б.М., Шпак А.Ф. – К.: Техніка, 1983. – 71 с.
6. Аэрология горных предприятий: учеб. пособие / В.И. Голинько, Я.Я. Лебедев, А.А. Литвиненко, О.А. Муха; М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. – Д.:НГУ, 2015. – 206 с.
7. Рудничная вентиляция: Справочник / Гращенков Н.Ф., Петросян А.Э., Фролов М.А. и др. – М.: Недра, 1988. – 440 с.
8. Брэдишоу П. Введение в турбулентность и её измерение. – М.: Мир, 1974. – 280 с.

пост. 26.09.2017

О.П. МАКСИМЕНКО, д.т.н., профессор, O.maks1940@gmail.com

Е.В. КУЗЬМИН, аспирант, zhenya.kuzmin1993@gmail.com

Д.И. ЛОБОЙКО, зав. лаборатории, darloboyko@gmail.com

В.О. ЛЫСАК, магистрант

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское

Моделирование процесса саморегулирования при прокатке в проволочном блоке стана 400/200 ПАО «ДМК»

На основе определения внутренних продольных сил пластически деформируемого металла и константы непрерывной прокатки в работе дана оценка продольной устойчивости процесса, а также показаны возможности его саморегулирования при внешнем возмущении на примере формоизменения раската в проволочном блоке стана 400/200 ПАО «ДМК».

On the basis of the determination of the internal longitudinal forces of a plastically metal and the constant of continuous rolling, in this work is given an estimate of the longitudinal stability of the process as well as the possibilities of its self-regulation under external disturbances, for example, an external disturbance in the case of a forming of a metal in a wire block 400/200 PJSC “DMK”.

Постановка проблемы

Как известно, эффективным регулятором равновесия сил в очаге деформации при внешнем воздействии является угол нейтрального сечения γ . В случае колебания каких-либо параметров возникает корректировка скоростного режима, что автоматически приводит к новому устойчивому, равновесному состоянию металла в валках. Теоретически, процесс саморегулирования сохраняется вплоть до выклинивания зоны опережения из очага деформации. Вместе с тем, опыты [1,2] показывают, что равновесие сил в зоне пластической деформации может нарушаться, с последующей частичной или полной пробуксовкой полосы в валках, при наличии зоны опережения. Аналогичный вывод получен теоретически на основе анализа взаимодействия контактных и внутренних сил в очаге деформации [3,4]. Поэтому предел возможного саморегулирования устойчивого процесса прокатки не всегда ограничивается условием $\gamma = 0$. Важную роль при оценке предельных

условий прокатки играет результирующая продольных сил пластически деформируемого металла $Q_{ср.пр}^*$ [4]. Эта результирующая, являясь силой сопротивления, всегда должна быть направлена противоположно движению полосы. На основе анализа силы $Q_{ср.пр}^*$ в работе [5] предложена оценка продольной устойчивости полосы в валках, которая сводится к следующему: при положительном — процесс невозможен.

Формулировка цели исследования

Аналитически исследовать границы саморегулирования процесса прокатки в проволочном блоке при внешнем воздействии на объект.

Изложение основного материала

Методика [5] была применена для расчета режимов деформации, кинематических и силовых параметров, а также продольной устойчивости полосы в очаге деформации при прокатке в проволочном блоке стана 400/200 ПАО «ДМК». В случае прокатки диамет-

ром 5,5 мм из заготовки диаметром 17,3 мм режим обжатий был выбран близким к реальному и приведён в табл. 1. При определении режимов натяжения полосы между клетями проволочного блока и силовых условий использовали метод соответственной полосы совместно с методикой оценки продольной устойчивости процесса, а также исходя из закона постоянства секундных объемов. Результаты вычислений приведены в табл. 1. Анализ полученных данных показывает, что во всех клетях проволочного блока процесс протекал устойчиво ($Q_{\text{ср.пр.}}^*$ по всем клетям принимает отрицательное зна-

чение). Удельные натяжения металла между клетями достаточно низкие $\left(\frac{\sigma_0}{2k_{\text{ср}}}\right)_i$ и $\left(\frac{\sigma_1}{2k_{\text{ср}}}\right)_i$ не превышает 0,02). Значения опережения с учётом натяжения полосы находится в пределах 4,2—8,3 %. Показанные в табл. 1 режимы деформации и натяжения полосы, а также силовые и кинематические условия будем считать номинальными, полученными при неизменных условиях (в отсутствие внешнего взаимодействия).

Таблица 1. Режим деформации и устойчивости процесса при прокатке катанки диаметром 5,5 мм из заготовки 17,8 мм

Реальные геометрические размеры металла и другие параметры														
№	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	b_0 , мм	b_1 , мм	V_0 , м/с	V_B , м/с	V_1 , м/с	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²	R_k , мм	B_k , мм	$h_{\text{вп}}$, мм	t , мм
1	17,80	10,90	6,40	17,30	21,11	-	12,93	13,63	248,7	180,6	102,7	23,65	4,6	1,70
2	21,11	13,71	7,39	10,90	13,71	13,63	16,01	16,71	180,6	147,4	100,6	13,83	6,14	1,43
3	13,71	9,30	4,41	13,71	16,13	16,71	19,86	20,91	148,1	117,7	103,3	18,89	3,5	2,30
4	16,13	10,93	5,20	9,30	10,93	20,91	25,06	26,28	118,0	93,7	101,7	11,45	4,95	1,03
5	10,93	6,60	4,33	10,93	14,01	26,28	31,63	33,92	94,7	72,6	104,0	16,85	2,7	1,20
6	14,01	8,60	5,41	6,60	8,60	33,92	39,98	4,42	72,9	58,04	102,6	8,97	3,7	1,20
7	8,60	6,60	2,0	8,60	9,13	4,42	49,78	52,05	57,7	47,28	104,2	13,56	2,1	2,40
8	9,13	6,88	2,24	6,60	6,88	52,05	63,21	66,2	47,3	37,20	103,3	7,27	2,92	1,04
9	6,88	4,20	2,68	6,68	8,65	66,2	79,60	86,3	37,1	28,53	104,8	10,24	1,6	1,00
10	8,65	5,47	3,18	4,20	5,47	86,3	98,00	104,7	28,8	23,5	103,8	5,76	2,18	1,11
Геометрические размеры, приведенные к соответственной полосе и другие параметры														
№	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	b_0 , мм	b_1 , мм	α_y , рад	$Q_{\text{ср.пр.}}^*$	$\frac{p_{\text{ср}}}{2k_{\text{ср}}}$	γ , рад	$\frac{R\gamma^2}{h_1}$	$\frac{\sigma_0}{2k_{\text{ср}}}$	$\frac{\sigma_1}{2k_{\text{ср}}}$	S^*	
1	15,77	9,66	5,67	15,77	18,7	0,244	-0,023	1,22	0,0714	0,0543	0	0,001	0,055	
2	18,7	12,14	6,55	9,66	12,14	0,255	-0,022	1,15	0,0723	0,0431	0,001	0,019	0,043	
3	12,14	8,24	3,9	12,14	14,29	0,194	-0,0202	1,234	0,0526	0,0526	0,019	0,031	0,053	
4	14,29	9,68	4,61	8,24	9,68	0,213	-0,018	1,17	0,0678	0,048	0,031	0,047	0,048	
5	9,68	5,85	3,83	9,68	12,41	0,192	-0,019	1,3	0,0633	0,071	0,047	0,061	0,071	
6	12,41	7,62	4,79	5,85	7,62	0,216	-0,0155	1,19	0,0670	0,061	0,061	0,085	0,061	
7	7,62	5,85	1,77	7,62	8,09	0,130	-0,0114	1,18	0,0504	0,0454	0,085	0,108	0,045	
8	8,06	6,1	1,99	5,85	6,1	0,139	-0,0098	1,14	0,0527	0,0472	0,108	0,137	0,047	
9	6,1	3,72	2,38	6,1	7,67	0,51	-0,0126	1,31	0,0546	0,0839	0,137	0,19	0,084	
10	7,67	4,85	2,82	3,72	4,85	0,165	-0,01	1,3	0,0452	0,0452	0,19	0	0,037	

Примечание: h_0 — начальная толщина; h_1 — конечная толщина; Δh — абсолютное обжатие; b_0 — начальная ширина; b_1 — конечная ширина; V_0 — скорость на входе в клеть; V_B — скорость валков; V_1 — скорость на выходе из клетки; F_0 — начальная площадь; F_1 — конечная площадь; R_k — катающий радиус валков; B_k — ширина калибра; $h_{\text{вп}}$ — глубина вреза калибра; t — зазор; α_y — угол захвата при установившемся процессе; $p_{\text{ср}}/2k_{\text{ср}}$ — безразмерное среднее давление; γ — угол нейтрального сечения; $\sigma_0/2k_{\text{ср}}$, $\sigma_1/2k_{\text{ср}}$ — удельное безразмерное заднее и переднее натяжение; $f = 0,3$ — коэффициент трения (для всех случаев).

Проанализируем возможность саморегулирования процесса прокатки в проволочном блоке при внешнем воздействии в виде увеличения диаметра исходной заготовки на 0,5 мм. В начальный момент увеличенный объем металла в очаге деформации первой клетки приводит к рассогласованию скоростей раската на выходе из неё V_{11} и на входе во вторую клеть V_{02} .

При этом несколько возрастает поперечное течение металла, увеличивается угол нейтрального сечения и скорость полосы на выходе из первой клетки, что ведет к уменьшению натяжения или даже к подпору её

перед второй клетью. В следующий момент, в соответствии с выражением [6]:

$$S^* = \frac{R\gamma^2}{h_1} + \frac{\frac{\sigma_1}{2k_{\text{ср}}} \frac{h_1}{R_k} \frac{b_1}{b_{\text{ср}}} - \frac{\sigma_0}{2k_{\text{ср}}} \frac{h_0}{R_k} \frac{b_0}{b_{\text{ср}}}}{4 \frac{p_{\text{ср}}}{2k} f_y}, \quad (1)$$

начинает падать опережение и скорость полосы на выходе из первой клетки.

При определенном натяжении (подпоре) вновь происходит согласование скоростей V_{11} и V_{02} (см.

строчки 1 табл. 1 и 2). Далее, согласно закона постоянства секундных объемов при известной ширине раската, определяемой по формуле [7]:

$$\left(\frac{b_1}{b_0}\right)_i = 0,943 + 0,113 \cdot \frac{h_1}{h_0} + 0,004 \cdot \frac{D_{\sigma}}{h_1} + 0,014 \cdot \frac{B_k}{b_0}, \quad (2)$$

находили новую скорость полосы на выходе из второй клетки $V_{12} = 16,96 \text{ м/с}$ и опережение $S_2^* = 4,3\%$. Затем, в

соответствии с (1), саморегулированием корректировали удельное переднее натяжение во второй клетки

$$\left(\frac{\sigma_1}{2k_{cp}}\right)_2 = 0,019. \text{ По данной схеме выполнялась проце-}$$

дура расчета всех необходимых параметров прокатки в остальных проходах. Результаты моделирования процесса саморегулирования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Режим деформации и устойчивости процесса при прокатке катанки диаметром 5,5 мм из заготовки 17,8 мм

Реальные геометрические размеры металла и другие параметры														
№	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	b_0 , мм	b_1 , мм	V_0 , м/с	V_B , м/с	V_1 , м/с	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²	R_k , мм	B_k , мм	$h_{вп}$, мм	t , мм
1	17,80	10,90	6,40	17,30	21,11	-	12,93	13,63	248,7	180,6	102,7	23,65	4,6	1,70
2	21,11	13,71	7,39	10,90	13,71	13,63	16,01	16,71	180,6	147,4	100,6	13,83	6,14	1,43
3	13,71	9,30	4,41	13,71	16,13	16,71	19,86	20,91	148,1	117,7	103,3	18,89	3,5	2,30
4	16,13	10,93	5,20	9,30	10,93	20,91	25,06	26,28	118,0	93,7	101,7	11,45	4,95	1,03
5	10,93	6,60	4,33	10,93	14,01	26,28	31,63	33,92	94,7	72,6	104,0	16,85	2,7	1,20
6	14,01	8,60	5,41	6,60	8,60	33,92	39,98	4,42	72,9	58,04	102,6	8,97	3,7	1,20
7	8,60	6,60	2,0	8,60	9,13	4,42	49,78	52,05	57,7	47,28	104,2	13,56	2,1	2,40
8	9,13	6,88	2,24	6,60	6,88	52,05	63,21	66,2	47,3	37,20	103,3	7,27	2,92	1,04
9	6,88	4,20	2,68	6,68	8,65	66,2	79,60	86,3	37,1	28,53	104,8	10,24	1,6	1,00
10	8,65	5,47	3,18	4,20	5,47	86,3	98,00	104,7	28,8	23,5	103,8	5,76	2,18	1,11
Геометрические размеры, приведенные к соответственной полосе и другие параметры														
№	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	b_0 , мм	b_1 , мм	α_y , рад	$Q_{ср.пр}^*$	$\frac{P_{ср}}{2k_{ср}}$	γ , рад	$\frac{R\gamma^2}{h_1}$	$\frac{\sigma_0}{2k_{ср}}$	$\frac{\sigma_1}{2k_{ср}}$	S^*	
1	15,77	9,66	5,67	15,77	18,7	0,244	-0,023	1,22	0,0714	0,0543	0	0,001	0,055	
2	18,7	12,14	6,55	9,66	12,14	0,255	-0,022	1,15	0,0723	0,0431	0,001	0,019	0,043	
3	12,14	8,24	3,9	12,14	14,29	0,194	-0,0202	1,234	0,0526	0,0526	0,019	0,031	0,053	
4	14,29	9,68	4,61	8,24	9,68	0,213	-0,018	1,17	0,0678	0,048	0,031	0,047	0,048	
5	9,68	5,85	3,83	9,68	12,41	0,192	-0,019	1,3	0,0633	0,071	0,047	0,061	0,071	
6	12,41	7,62	4,79	5,85	7,62	0,216	-0,0155	1,19	0,0670	0,061	0,061	0,085	0,061	
7	7,62	5,85	1,77	7,62	8,09	0,130	-0,0114	1,18	0,0504	0,0454	0,085	0,108	0,045	
8	8,06	6,1	1,99	5,85	6,1	0,139	-0,0098	1,14	0,0527	0,0472	0,108	0,137	0,047	
9	6,1	3,72	2,38	6,1	7,67	0,51	-0,0126	1,31	0,0546	0,0839	0,137	0,19	0,084	
10	7,67	4,85	2,82	3,72	4,85	0,165	-0,01	1,3	0,0452	0,0452	0,19	0	0,037	

Заметим, что с увеличением диаметра подката результирующая продольная сила $Q_{ср.пр}^*$ несколько уменьшилась по абсолютной величине практически во всех проходах. Это, согласно методики [5], показывает, что процесс прокатки при внешнем возмущении стал менее устойчивым по сравнению с номинальным. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что при прокатке в десятой клетки в соответствии с законом постоянства секундных объемов металла, скорость его на выходе из валков должна быть $V_{110} = 104,7 \text{ м/с}$ при опережении $S_{10}^* = 6,8\%$.

Но, в условиях заданного удельного натяжения $\left(\frac{\sigma_0}{2k_{ср}}\right)_{10} = 0,19$, это опережение (1) не может быть больше 3,7%. Такое несоответствие отражается на скорости V_{010} , что в конечном счете приведет к потере устойчивости полосы по всей линии проволочного блока. Поэтому результаты расчета саморегулирования процесса нуждаются в корректировке. Несколько увеличим переднее натяжение в первой клетки

$$\left(\frac{\sigma_1}{2k_{ср}}\right)_1 = 0,003 \text{ и повторим процедуру расчета. Ре-}$$

зультаты вычислений приведены в табл. 3. Как следует из таблицы после корректировки натяжения во всех проходах соблюдается равенство $S = S^*$, $Q_{ср.пр}^* < 0$ значения по всем клетям, т.е. прокатка в проволочном блоке перешла в новое устойчивое состояние за счет саморегулирования процесса.

Оценим вероятность саморегулирования процесса при увеличении диаметра подката на 0,92 мм. Геометрические и кинематические параметры реальной и соответственной полосы приведены в табл. 4. Предварительные расчеты показали, что при $\left(\frac{\sigma_1}{2k_{ср}}\right)_1 > 0$ вый-

ти на устойчивый процесс деформации не удаётся. Поэтому приняли удельное натяжение в первом проходе равным нулю.

Результаты расчетов показаны в табл. 4, из которой следует, что от прохода к проходу удельные натяжения существенно возрастают. В шестом проходе пе-

реднее удельное натяжение составило $\left(\frac{\sigma_1}{2k_{cp}}\right)_6 = 0,265$.

При этом результирующая продольных сил по клетям блока по абсолютной величине снижается и в шестом проходе составляет $Q_{cp.пр.}^* = -0,0018$. При указанном заднем удельном натяжении полосы в седьмой

клетки становится невозможной ($Q_{cp.пр.}^* > 0$), т.к. втягивающих металл в валки сил недостаточно для обеспечения устойчивого процесса. В этом проходе, конечно, можно создать условия для нормальной прокатки за счет увеличения переднего натяжения. Но при выполнении этого условия процесс в восьмой клетке тем более станет невозможным по той же причине.

Таблица 3. Скорректированный режим деформации для катанки диаметром 5,5 мм из заготовки 17,8 мм

Реальные геометрические размеры металла и другие параметры														
№	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	b_0 , мм	b_1 , мм	V_0 , м/с	V_B , м/с	V_1 , м/с	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²	R_k , мм	B_k , мм	$h_{вр}$, мм	t , мм
1	17,80	10,90	6,40	17,30	21,11		12,93	16,62	248,7	180,6	102,7	23,65	4,6	1,70
2	21,11	13,71	7,39	10,90	13,71	16,62	16,01	16,96	180,6	147,4	100,6	13,83	6,14	1,43
3	13,71	9,30	4,41	13,71	16,13	16,96	19,86	20,86	148,1	117,7	103,3	18,89	3,5	2,30
4	16,13	10,93	5,20	9,30	10,93	20,86	25,06	26,26	118,0	93,7	101,7	11,45	4,95	1,03
5	10,93	6,60	4,33	10,93	14,01	26,26	31,63	33,89	94,7	72,6	104,0	16,85	2,7	1,20
6	14,01	8,60	5,41	6,60	8,60	33,89	39,98	42,38	72,9	58,04	102,6	8,97	3,7	1,20
7	8,60	6,60	2,0	8,60	9,13	42,38	49,78	51,99	57,7	47,28	104,2	13,56	2,1	2,40
8	9,13	6,88	2,24	6,60	6,88	51,99	63,21	66,19	47,3	37,20	103,3	7,27	2,92	1,04
9	6,88	4,20	2,68	6,68	8,65	66,19	79,60	86,24	37,1	28,53	104,8	10,24	1,6	1,00
10	8,65	5,47	3,18	4,20	5,47	86,24	98,00	104,73	28,8	23,5	103,8	5,76	2,18	1,11
Геометрические размеры, приведенные к соответственной полосе и другие параметры														
№	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	b_0 , мм	b_1 , мм	α_y , рад	$Q_{cp.пр.}^*$	$\frac{P_{cp}}{2k_{cp}}$	γ , рад	$\frac{R\gamma^2}{h_1}$	$\frac{\sigma_0}{2k_{cp}}$	$\frac{\sigma_1}{2k_{cp}}$	S^*	
1	15,77	9,66	5,67	15,77	18,7	0,244	-0,0231	1,22	0,0709	0,0543	0	0,003	0,054	
2	18,7	12,14	6,55	9,66	12,14	0,255	-0,021	1,16	0,0720	0,0431	0,003	0,006	0,043	
3	12,14	8,24	3,9	12,14	14,29	0,194	-0,022	1,25	0,0646	0,0526	0,006	0,01	0,052	
4	14,29	9,68	4,61	8,24	9,68	0,213	-0,0215	1,21	0,0674	0,048	0,01	0,013	0,048	
5	9,68	5,85	3,83	9,68	12,41	0,192	-0,0229	1,37	0,0634	0,071	0,013	0,016	0,071	
6	12,41	7,62	4,79	5,85	7,62	0,216	-0,0219	1,26	0,0671	0,061	0,016	0,018	0,06	
7	7,62	5,85	1,77	7,62	8,09	0,130	-0,0172	1,28	0,0502	0,0454	0,018	0,02	0,044	
8	8,06	6,1	1,99	5,85	6,1	0,139	-0,0179	1,3	0,0524	0,0472	0,02	0,02	0,046	
9	6,1	3,72	2,38	6,1	7,67	0,51	-0,0221	1,28	0,0544	0,0839	0,02	0,02	0,083	
10	7,67	4,85	2,82	3,72	4,85	0,165	-0,0221	1,25	0,0472	0,0452	0,02	0	0,069	

Таблица 4. Режим деформации и устойчивости процесса при прокатке катанки диаметром 5,5 мм из заготовки 18,22 мм

Реальные геометрические размеры металла и другие параметры														
№	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	b_0 , мм	b_1 , мм	V_0 , м/с	V_B , м/с	V_1 , м/с	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²	R_k , мм	B_k , мм	$h_{вр}$, мм	t , мм
1	18,22	10,90	6,40	18,22	21,15	-	12,93	13,63	260,6	181	102,7	23,65	4,6	1,70
2	21,15	13,71	7,39	10,90	13,71	12,93	16,01	16,73	180,6	147,4	100,6	13,83	6,14	1,43
3	13,71	9,30	4,41	13,71	16,13	16,01	19,86	20,96	148,1	117,7	103,3	18,89	3,5	2,30
4	16,13	10,93	5,20	9,30	10,93	19,86	25,06	26,34	118,0	93,7	101,7	11,45	4,95	1,03
5	10,93	6,60	4,33	10,93	14,01	25,06	31,63	33,99	94,7	72,6	104,0	16,85	2,7	1,20
6	14,01	8,60	5,41	6,60	8,60	31,63	39,98	42,50	72,9	58,04	102,6	8,97	3,7	1,20
7	8,60	6,60	2,0	8,60	9,13	39,98	49,78	52,15	57,5	47,28	104,2	13,56	2,1	2,40
Геометрические размеры, приведенные к соответственной полосе и другие параметры														
№	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	b_0 , мм	b_1 , мм	α_y , рад	$Q_{cp.пр.}^*$	$\frac{P_{cp}}{2k_{cp}}$	γ , рад	$\frac{R\gamma^2}{h_1}$	$\frac{\sigma_0}{2k_{cp}}$	$\frac{\sigma_1}{2k_{cp}}$	S^*	
1	16,14	9,66	5,67	16,14	18,75	0,251	-0,0233	1,22	0,0712	0,054	0	0	0,054	
2	18,75	12,14	6,55	9,66	12,14	0,256	-0,0214	1,16	0,0745	0,046	0	0,025	0,046	
3	12,14	8,24	3,9	12,14	14,29	0,194	-0,0187	1,21	0,0663	0,055	0,025	0,06	0,055	
4	14,29	9,68	4,61	8,24	9,68	0,213	-0,0131	1,12	0,0695	0,051	0,06	0,107	0,050	
5	9,68	5,85	3,83	9,68	12,41	0,192	-0,0120	1,18	0,0642	0,073	0,107	0,17	0,075	
6	12,41	7,62	4,79	5,85	7,62	0,216	-0,0018	0,993	0,0684	0,063	0,17	0,265	0,063	
7	7,62	5,85	1,77	7,62	8,09	0,130	0,0030	0,903	0,0512	0,046	0,265	0,34	0,047	

Выводы

Проведенное исследование показало, что теоретическим путем можно установить границы саморегулирования процесса прокатки в проволочном блоке при внешнем воздействии на объект. Причем методика позволяет дать оценку саморегулирования не только по изменению размеров исходной заготовки, но и по величине выработки калибров, изменения коэффициента трения, температуры полосы и других параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грудев А.П. Захватывающая способность прокатных валков / А.П. Грудев. – М : «СП Интермет Инжиниринг», 1998. – 283 с.
2. Прокофьев В.И. Максимальные углы захвата при установившемся процессе прокатки / В. И. Прокофьев // Обработка металлов давлением : Научные труды, ДМетИ. – М. : Metallurgizdat. – 1962. – Вып. XLVIII. – С. 234–239.
3. Максименко О.П. Анализ силового взаимодействия в очаге деформации при прокатке / О.П. Максименко, Д.И. Лобойко, Р.Я. Романюк // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2013. – № 6. – С. 47–49.
4. Максименко О.П. Анализ продольной устойчивости процесса прокатки с учетом внутренних сил и режима натяжения полосы / О.П. Максименко, М. К. Измайлова, Д. И. Лобойко // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2015. – № 1. – С. 59–62.
5. Максименко О.П. Продольная устойчивость полосы в валках с анализом контактных условий: Монография / О.П. Максименко, Д. И. Лобойко, М. К. Измайлова. – Днепропетровск : «ДДТУ», 2016. – 212 с.
6. Грудев А.П. Теория прокатки / А. П. Грудев. [изд. 2-е перераб. и доп.]– М : «СП Интермет Инжиниринг», 2001. – 280 с.
7. Уширение при прокатке в калибрах вытяжной системы «овал-круг» / М. Н. Штода, С. В. Ершов, К. Г. Геймур, В. М. Самохвал, С. Ю. Гаврилин // Вісник НТУ «ХП». Серія Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХП», 2016. – № 30(1202). – С. 79–87.

пост. 02.10.2017