

DOI: 10.31319/2519-2884.41.2022.5

УДК 621.771.2

**О.П. Максименко**, д.т.н., професор, 0976776379max@gmail.com

**О.В. Нікулін**, к.т.н., доцент, av\_nikulin@ukr.net

**А.Б. Приймак**, аспірант, personalrav\_@ukr.net

**І.О. Мілютін**, магістрант, milyutin85357725@gmail.com

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРІ КАЛІБРУВАННІ ВАЛКІВ ДЛЯ ДРОТЯНОГО СТАНУ**

*Розроблено методику розрахунку параметрів деформації розкату при калібруванні валків для прокатки катанки на сортових сучасних безперервних станах з урахуванням рівноваги металу у валках та поздовжньої стійкості процесу. Вона забезпечує узгодження геометричних, кінематичних та силових параметрів в осередках деформації самого стану та дротяного блоку. Результати тестових розрахунків досить близькі до реальних даних прокатки круглого профілю та катанки діаметром 8 мм на стані 400/200 ПАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ". При цьому розширення металу визначається аналітично відповідно до фізичних умов рівноваги сил і сталості секундних об'ємів металу в осередках деформації. Форма овалів, що отримуються за методикою, більш опукла. Встановлено системний вплив умов тертя металу у валках на поздовжню стійкість розкату та стабільність процесу.*

**Ключові слова:** безперервне прокатування; катанка; поздовжня стійкість прокатки; методика розрахунку; параметри деформації.

*The methodology for calculating the parameters of rolling deformation during the calibration of rolls for rolling wire rod on graded modern continuous mills has been developed, taking into account the balance of the forces in the deformation zone and the longitudinal stability of the process. It provides coordination of geometric, kinematic and force parameters in the deformation zones of the rolling mill itself and the wire block. The results of the test calculations are quite close to the real data of the rolling the round bar and a wire rod with a diameter of 8 mm on a mill 400/200 of PJSC "KAMET-STEEL". At the same time, the broadening of the metal is determined analytically in accordance with the physical conditions of the balance forces and constancy of the seconds' volumes of the metal in the zones of deformation. The shape of the ovals obtained by the provided method is more convex. The system influence of metal friction conditions in the rolls on the longitudinal stability of rolling and the stability of the process was established.*

**Keywords:** continuous rolling; wire rod; longitudinal stability of rolling; calculation method; deformation parameters.

### **Постановка проблеми**

У роботах [1—3] наведено різні схеми калібрування валків з вибором методів розрахунку параметрів деформації при сортовій прокатці. Багатоваріантність систем калібрів робочого інструменту поєднується з досить жорсткими вимогами до них. В першу чергу, потрібне отримання продукту з точними формою і розмірами профілю, необхідною якістю поверхні, а також забезпечення високої продуктивності агрегату при низькій собівартості прокату. Тому в даний час при розробці та конструюванні раціональних калібрів широко використовують аналітичні методи, включаючи системний аналіз та комп'ютерне моделювання. Однак відомі методи та розв'язки не є вичерпними, що вирішують проблему повністю.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

При виробництві катанки в блоках сучасних безперервних дротяних станів застосовують системи калібрів з послідовністю "коло-овал-коло" при вертикальних і горизонтально розташованих валках, що чергуються [4—5]. Такі системи дозволяють

забезпечити плавний перехід від однієї форми поперечного перерізу розкату до іншої, отримати високу якість поверхні катанки. При розрахунку калібрування валків з урахуванням параметрів деформації в цьому випадку необхідно визначити співвідношення між поздовжньою та поперечною деформацією, наприклад, між коефіцієнтом витяжки  $\mu$  і розширенням металу  $\Delta b$ . Ці параметри часто визначають з урахуванням даних експериментальних досліджень [6—8]. Додатково можуть використовуватися відомості про кути захоплення  $s$  [5, 7] та випередження  $S$  [8]. Необхідно підкреслити, що знайдені таким чином параметри деформації розкату не гарантують рівноваги металу у валках всіх клітей дротяного блоку та стабільності процесу в цілому при освоєнні новоствореної технології.

#### Формулювання мети дослідження

У зв'язку з викладеним метою роботи є уточнення методики розрахунку параметрів деформації металу при прокатці катанки на сучасних безперервних сортових станах з урахуванням рівноваги сил і поздовжньої стійкості процесу при зміні різних факторів, включаючи коефіцієнт тертя  $f_y$ .

#### Виклад основного матеріалу

Поздовжня стійкість розкату при прокатці в даній кліті відповідно до [9—12] визначається, виходячи з розрахунку середньої результуючої  $Q_{срnp}^*$  внутрішніх сил металу, що пластично деформується. Як відомо, якщо  $Q_{срnp}^* < 0$  процес прокатки в даній кліті відбувається стійко без часткових або повних пробуксовувань. Якщо ця сила дорівнює нулю, то прокатка металу ведеться в граничних умовах, при  $Q_{срnp}^* > 0$ , тобто у додатному значенні цієї величини процес неможливий. Теоретичною основою досягнення рівноваги металу у валках є використання рішень диференціального рівняння Карману [13, 14] при кулонівській моделі  $t_x = f_y p_x$  розподілу питомих сил тертя  $t_x$ , ( $p_x$  — нормальний тиск) з урахуванням методу відповідної смуги [15] та закону сталості секундних об'ємів металу, що деформується [14].

Методику розрахунку параметрів деформації зразка розглянемо на прикладі прокатки катанки діаметром 8 мм у дротяному блоці 200 та заготовки для неї в клітях стану 400 ПАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ", де калібрування валків виконано за системою "коло-овал-коло". Розрахунок ведеться проти ходу прокатки, у перерахунку на відповідну смугу з урахуванням температурних умов та прокатці в полі мінусових допусків кінцеві розміри металу в десятій кліті становлять  $h_{1,10} \times b_{1,10} = 7,08 \times 7,08$  мм. При впливі на розкат в цій кліті тільки заднього натягу з коефіцієнтом тертя  $f_y = 0,26$ , прийнятому з урахуванням робіт [13, 14], можливе випередження буде близьким до  $S_{10} = 0,04$ . Враховуючи реальну лінійну швидкість валків  $v_{в,10} = 95$  м/с, визначимо швидкість виходу катанки з останньої кліті дротяного блоку  $v_{1,10} = 98,8$  м/с та секундний об'єм металу  $V_{с,10} = 4952,5$  мм<sup>2</sup>·м/с. Далі розраховуємо кінематичний кут нейтрального перерізу в осередку деформації цієї кліті

$$\gamma_{к,10} = \sqrt{\frac{S_{10} \cdot h_{10}}{R_{к,10}}} = 0,053 \text{ рад,}$$

де  $R_{к,10} = 103,4$  мм - радіус валків, що катає.

Чисельно розв'язуючи крайову задачу для рівняння Кармана при відомих  $R_{к,10}, h_{1,10}, f_y, 2k_{ср,10}$  ( $2k_{ср,10}$  — середній опір деформації металу в десятій кліті), а також безрозмірному передньому натягу  $\frac{\sigma_{1,10}}{2k_{ср,10}} = 0$  і прийнятому задньому натягу  $\frac{\sigma_{0,10}}{2k_{ср,10}} = 0,055$  та змінюючи кут захвату  $\alpha_{y,10}$ , знайдемо такий кут нейтрального перерізу  $\gamma_{10p}$ , за якого виконується умова

$$\gamma_{10p} = \gamma_{10к} \cdot \quad (1)$$

Останній вираз дозволяє узгодити геометричні, кінематичні та силові параметри процесу із забезпеченням рівноваги металу у валках. Графічно результати розв'язання задачі представлені на рис. 1, з яких виходить, що рівність (1) можлива при  $\alpha_{y,10} = 0,18$  рад. При цьому прокатка в останній кліті відбувається стійко, без пробуксовок, тому що середня результуюча сила  $Q_{срп,10}^* = -0,0132$ . Далі визначаємо абсолютне обтиснення  $\Delta h_{10} = R_{к,10} \cdot \alpha_{y,10}^2 = 3,35$  мм і початкову товщину розкату  $h_{0,10} = 10,44$  мм.

Для визначення початкової ширини металу в десятому проході  $b_{0,10}$  розрахуємо кінцеві розміри профілю у восьмому проході. Задаючись величиною випередження  $S_8 = 0,03$  і враховуючи, що  $v_{в,8} = 60,86$  м/с, знаходимо  $v_{1,8} = 62,69$  м/с, далі визначаємо кінцеві розміри розкату у восьмому проході

$$h_{1,8} = b_{1,8} = \sqrt{\frac{V_c}{v_{1,8}}} = \sqrt{\frac{4952,5}{62,69}} = 8,89 \text{ мм.}$$

З урахуванням прийнятої схеми прокатки одержуємо  $h_{0,9} = b_{0,9} = 8,89$  мм.

Тепер розрахуємо кінематичні та геометричні параметри у дев'ятому проході. Як і раніше, приймаємо величину випередження  $S_9 = 0,06$ , тоді  $v_{1,9} = 77,05 \cdot 1,06 = 81,67$  м/с при  $v_{в,9} = 77,05$  м/с. Враховуючи, що  $h_{0,10} = b_{1,9} = 10,44$  мм, знаходимо кінцеву товщину металу у вказаному проході

$$h_{1,9} = \frac{V_c}{b_{1,9} \cdot v_{1,9}} = \frac{4952,5}{10,44 \cdot 81,67} = 5,81 \text{ мм.}$$

Тоді  $\Delta h_9 = 8,89 - 5,81 = 3,08$  мм.

При  $R_{к,9} = 104,5$  мм маємо  $\alpha_{y,9} = \sqrt{\frac{3,08}{104,5}} = 0,172$  рад.

Далі визначається  $\gamma_{к,9} = \sqrt{\frac{0,06 \cdot 5,81}{104,5}} = 0,0572$  рад.

З умови  $\gamma_{9p} = \gamma_{9к}$  при відомих параметрах  $R_{к,9}, h_{1,9}, \alpha_{y,9}, f_y$  і  $q_{1,9} = \frac{\sigma_{1,9}}{2k_{ср,9}} = 0,055$  у

результаті розв'язання диференціального рівняння рівноваги визначається  $q_{0,9} = \frac{\sigma_{0,9}}{2k_{ср,9}} = 0,030$ .

Розширення металу у цьому проході становить  $\Delta b_9 = 10,44 - 8,89 = 1,55$  мм.

Враховуючи, що  $h_{1,9} = b_{0,10} = 5,81$  мм, значення абсолютного розширення в останньому проході виходить рівним  $\Delta b_{10} = 7,09 - 5,81 = 1,28$  мм.

В результаті режим деформації, кінематичні та силові параметри при прокатці в дев'ятій та десятій клітях визначені та наведені у двох останніх рядках табл.1. Зауважимо, що розширення металу у цих проходах було знайдено аналітично на основі фізичних законів рівноваги сил та сталості секундних об'ємів без додаткового використання експериментальних даних або теоретичних розрахунків за відомими формулами розширення.

Далі виконується розрахунок параметрів у восьмій кліті. Визначається кут нейтрального перерізу  $\gamma_{к,8} = \sqrt{\frac{0,03 \cdot 8,89}{102,6}} = 0,051$  рад.

$b, \text{ мм}$	1
$R_k, \text{ мм}$	103,4
$h_l, \text{ мм}$	7,088
$f_y$	0,26
$\alpha_{y,p}$	0,18
$q_0$	0,055
$q_1$	0

$Q_{cp\ np}^*$	-0,0132
$p_{cp}/2K_{cp}$	1,181527

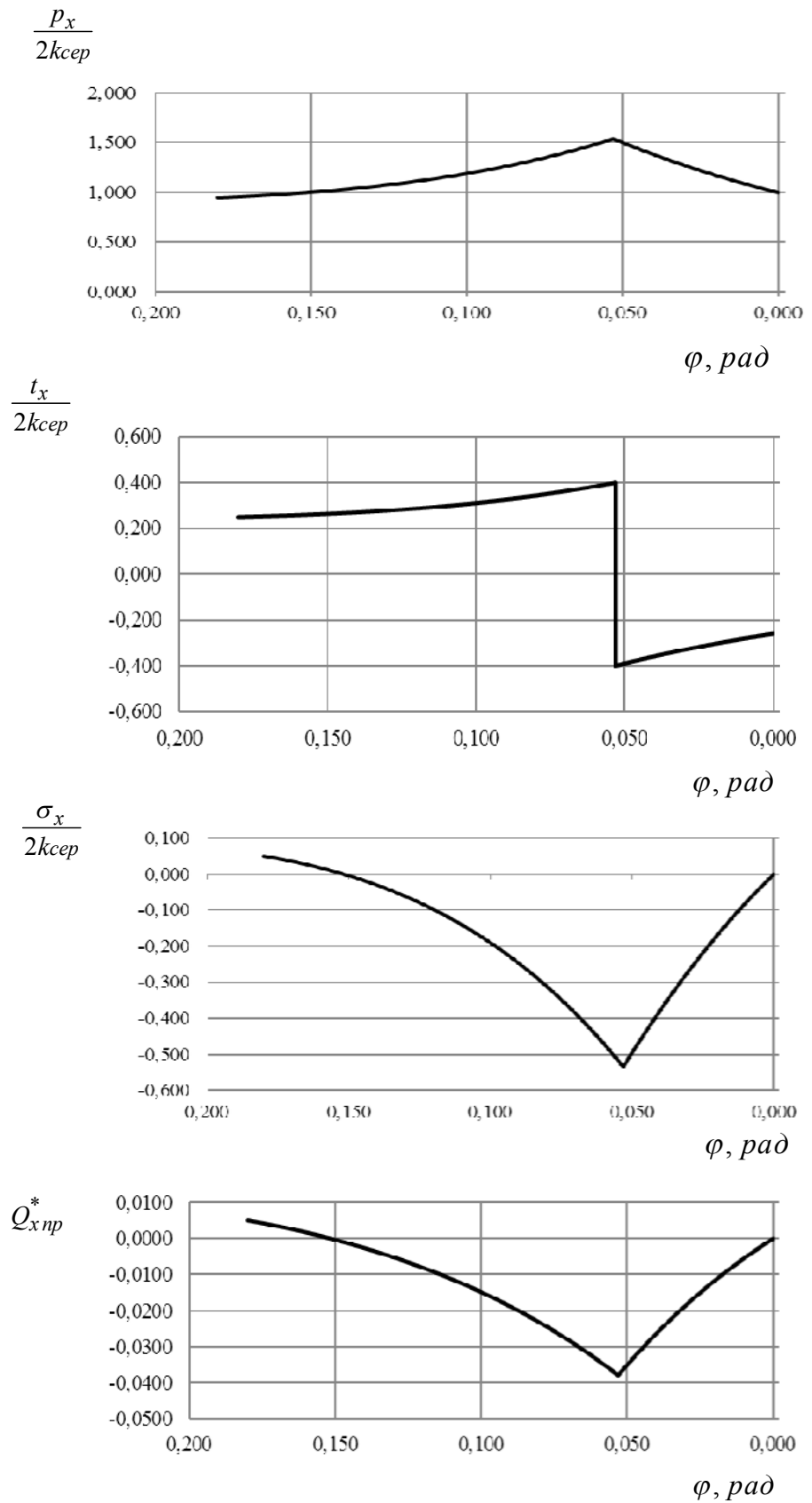


Рис. 1. Розподілення контактних та внутрішніх напружень, а також поздовжньої сили при прокатуванні металу у десятій кліті

Чисельно розв'язав диференціальне рівняння рівноваги за умов  $f_y = 0,26$ ,  $h_{1,8} = 8,89$  мм,  $R_{к,8} = 102,6$  мм,  $q_{1,8} = 0,03$  и  $q_{0,8} = 0,06$  при виконанні  $\gamma_{8p} = \gamma_{8к}$ , знаходимо  $\alpha_{y,8} = 0,16$  рад.

Визначаємо  $\Delta h_8 = 102,6 \cdot 0,16^2 = 2,63$  мм та  $h_{0,8} = 11,52$  мм. Значення  $b_{0,8}$  виходить так само, як і для десятої кліті, після попереднього визначення кінцевих розмірів розкату в шостій кліті, що відповідає початковим розмірам  $h_{0,7} = b_{0,7} = 11,13$  мм.

Потім, діючи так само, як і в дев'ятому проході, знаходимо  $h_{1,7}; \Delta h_7$  далі  $\alpha_{y,7}; \Delta b_7$ . Аналогічно розраховуються параметри прокатки аж до третьої кліті блоку. Згідно з даними фірми DANIELI і реальних умов прокатки катанки в дротяному блоці 200 у перших двох його клітях метал не обтискається.

Остаточні результати розрахунків при прокатці катанки у дротяному блоці зведені у табл. 1. Згідно з умовами перерахунку розмірів відповідної смуги до реальних розмірів профілю  $a_i$  та  $c_i$  [15] були отримані їх значення у кожній кліті блоку, а також дані для побудови калібрів валків прийнятої схеми. У табл. 1 також наведено розрахункові  $\mu_T$  та реальні  $\mu_p$  значення коефіцієнтів витяжки з аналізом їх розбіжності.

Таблиця 1. Параметри деформації при прокатці катанки діаметром 8 мм у дротяному блоці стану 400/200

№ кл.	Відповідна смуга, мм				$\alpha_y$ , рад	$\gamma_y$ , рад	$v_{в,i}$ , м/с	$v_{1,i}$ , м/с	$S_i$	$q_0$
	$h_0$	$h_1$	$b_0$	$b_1$						
3	17,54	11,9	17,54	20,95	0,233	0,066	19,1	19,86	0,04	0
4	20,95	14,16	11,9	14,16	0,26	0,068	23,97	24,68	0,03	0,025
5	14,16	8,94	14,16	17,49	0,225	0,057	30,46	31,59	0,037	0,065
6	17,49	11,13	8,94	11,13	0,25	0,066	38,43	39,97	0,04	0,03
7	11,13	8,63	11,13	11,52	0,155	0,052	48,3	49,85	0,032	0,07
8	11,52	8,89	8,63	8,89	0,16	0,051	60,86	68,69	0,03	0,06
9	8,89	5,82	8,89	10,44	0,172	0,057	77,1	81,67	0,06	0,03
10	10,44	7,09	5,81	7,09	0,18	0,053	95	98	0,040	0,055

Продовження таблиці 1. Параметри деформації при прокатці катанки діаметром 8 мм у дротяному блоці стану 400/200

№ кл.	$q_1$	$R_k$ , мм	Реальні розміри		$Q_{ср пр}^*$	$\mu_p$	$\mu_T$	$\delta\mu$ , %
			$a_i$	$c_i$				
3	0,025	101,8	16,43	23,64	-0,0154	1,234	1,196	3,1
4	0,065	100,35	15,2	15,2	-0,0085	1,243	1,255	0,96
5	0,03	102,35	10,08	19,71	-0,0087	1,289	1,274	1,1
6	0,07	104,05	12,56	12,56	-0,0095	1,261	1,267	0,47
7	0,06	104,05	9,74	13,0	-0,0086	1,247	1,267	1,6
8	0,03	102,65	10,03	10,03	-0,010	1,258	1,26	0,16
9	0,055	104,5	6,55	11,73	-0,0143	1,303	1,266	2,8
10	0	103,4	8,0	8,0	-0,0132	1,207	1,233	2,1

Порівнюючи результати проведених розрахунків з даними таблиці калібрування валків при прокатці катанки діаметром 8 мм у дротяному блоці, складеної відповідно до проектної документації фірми DANIELI, можна зробити висновок, що вони істотно не відрізняються і доповнюють один одного.

Аналогічно розраховуються параметри деформації при прокатці заготовки для зазначеного профілю в клітках сортового стану 400, де застосовується калібрування валків за схемою "коло-овал-коло". Результати розрахунків наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Параметри деформації при прокатці заготовки для катанки діаметром 8 мм у клітках стану 400 з  $f_y = 0,26$

№ кл.	Відповідна смуга, мм				$\alpha_y$	$\gamma_y$ , рад	$v_{B,i}$ , м/с	$v_{1,i}$ , м/с	$S_i$	$q_0$
	$h_0$	$h_1$	$b_0$	$b_1$						
12	52,27	35,65	31,2	35,65	0,28	0,057	3,89	3,968	0,02	0,055
13	35,65	23,72	35,65	39,63	0,234	0,057	5,209	5,365	0,03	0,04
14	39,63	27,45	23,72	27,45	0,26	0,068	6,5	6,695	0,03	0,01
15	27,45	17,45	27,45	34,57	0,21	0,057	8,047	8,329	0,04	0,04
16	34,57	22,24	17,43	22,24	0,26	0,069	9,806	10,196	0,04	0,01
19	22,24	13,46	22,24	28,13	0,221	0,059	12,93	13,577	0,05	0,05
20	28,13	17,54	13,46	17,54	0,24	0,054	15,91	16,706	0,05	0,065

Продовження таблиці 2. Параметри деформації при прокатці заготовки для катанки діаметром 8 мм у клітках стану 400 з  $f_y = 0,26$

№ кл.	$q_1$	$R_k$ , мм	Реальні розміри		$Q_{српр}^*$	$\mu_p$	$\mu_T$	$\delta\mu$ , %
			$a_i$	$c_i$				
12	0,04	212,05	40,21	40,21	-0,004	1,284	1,283	0
13	0,01	217,9	44,72	26,78	-0,0106	1,352	1,339	0,9
14	0,04	180,2	30,96	30,96	-0,0114	1,248	1,248	0
15	0,01	234,6	38,99	19,7	-0,0129	1,249	1,237	0,96
16	0,05	182,45	25,08	25,08	-0,0118	1,218	1,218	0
19	0,065	186,0	31,77	15,21	-0,0116	1,306	1,319	0,96
20	0,0	184,0	19,8	19,8	-0,0124	1,23	1,23	0

Прийнято, що в першій та другій клітках дротяного блоку метал не обтискається. Тому кінцеві розміри відповідної смуги кліті 20 стану 400 складають  $h_{1,20} = b_{1,20} = 17,54$  мм. Як випливає з табл. 2 у міру наближення до початкових проходів поздовжня стійкість металу в осередках деформації знижується і при прокатці в 12 кліті вона близька до критичної тому, що  $Q_{српр,12}^* = -0,004$ , тобто процес в таких умовах відбувається на межі часткового буксування. Тим більше він теоретично неможливий у десятому і дев'ятому проходах та інших клітках стану, де  $Q_{српр}^* > 0$ . Аналізуючи невідповідність результатів теоретичних розрахунків реальним даним, слід звернути увагу, що швидкість прокатки в 12 кліті і далі (проти ходу прокатки) у попередніх клітках зменшується в діапазоні від 4 м/с до 0,9 м/с. Як показують результати

експериментів [13, 14], зміна швидкості прокатки у зазначеному проміжку дуже суттєво відбивається на значенні коефіцієнта тертя. Причому із зменшенням значення  $v_{1,i}$  у осередках деформації зростає  $f_y$ . З урахуванням вищевикладеного приймається, що у початкових проходах (клітини 6 — 12)  $f_y = 0,31 - 0,33$ . Відповідно значення технологічних параметрів при  $f_y = 0,31 - 0,33$  наведені в табл. 3. Як слідує з аналізу даних наведеної таблиці, у осередках деформації 6 — 12 клітей процес прокатки відбувається стійко при невеликих натягах. Розрахункові  $\mu_T$  та реальні  $\mu_p$  коефіцієнти витяжки близькі між собою. При цьому прийнята опуклість овалів профілів на виході із валків відповідних клітей дещо більша, ніж за даними фірми DANIELI. Слід зазначити, що наведені значення коефіцієнта тертя близькі до мінімальних. У міру зношування валків вони зростатимуть, що тільки підвищить стійкість і стабільність процесу прокатки, не розглядаючи погіршення виконання геометрії профілю.

Таблиця 3. Технологічні параметри при прокатуванні в клітях стану 400 зі збільшенням коефіцієнта тертя

№ кл.	Відповідна смуга, мм				$\frac{\alpha_y}{f_y}$	$\gamma_y$ , рад	$v_{B,i}$ , м/с	$v_{1,i}$ , м/с	$S_i$	$q_0$
	$h_0$	$h_1$	$b_0$	$b_1$						
6	113,8	88,77	86,0	88,77	$\frac{0,32}{0,33}$	0,09	0,621	0,642	0,022	0,02
7	88,77	61,2	88,77	91,68	$\frac{0,3}{0,33}$	0,084	0,913	0,945	0,035	0,06
8	91,68	64,93	61,2	64,93	$\frac{0,3}{0,31}$	0,077	1,184	1,211	0,023	0,02
9	64,93	44,1	64,93	66,8	$\frac{0,31}{0,31}$	0,072	1,67	1,712	0,025	0,04
10	66,8	48,11	44,1	48,11	$\frac{0,3}{0,31}$	0,068	2,135	2,178	0,02	0,03
11	48,11	29,97	48,11	53,4	$\frac{0,29}{0,31}$	0,076	3,03	3,151	0,04	0,02
12	53,4	35,65	29,97	35,65	$\frac{0,29}{0,31}$	0,068	3,89	3,987	0,025	0,06

Продовження таблиці 3. Технологічні параметри при прокатуванні в клітях стану 400 зі збільшенням коефіцієнта тертя

№ кл.	$q_1$	$R_k$ , мм	Реальні розміри		$Q_{ср пр}^*$	$\mu_p$	$\mu_T$	$\delta\mu$ , %
			$a_i$	$c_i$				
6	0,06	242,0	102,5	102,5	-0,011	1,242	1,28	-3,0
7	0,02	306,25	103,4	69,1	-0,0182	1,404	1,453	-3,3
8	0,04	251,55	73,28	73,28	-0,0112	1,331	1,296	2,6
9	0,03	211,2	75,41	49,77	-0,009	1,431	1,412	1,3
10	0,02	207,55	61,29	61,29	-0,0125	1,273	1,277	-0,3
11	0,06	215,35	62,38	32,68	-0,0147	1,446	1,421	1,7
12	0,04	212,05	40,24	40,24	-0,008	1,259	1,283	-1,9

### Висновки

Розроблено методику розрахунку параметрів деформації розкату при калібруванні валків для прокатки катанки з урахуванням рівноваги металу у валках та поздовжньої стійкості процесу. Вона забезпечує узгодження геометричних, кінематичних та силових параметрів в осередках деформації стану 400 та дротяного блоку. Результати розрахунків досить близькі до реальних даних прокатки круглого профілю та катанки діаметром 8 мм на стані 400/200 ПАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ".

При цьому розширення металу визначається аналітично відповідно до фізичних умов рівноваги сил і сталості секундних об'ємів металу в осередках деформації. Форма овалів, що отримуються за методикою, більш опукла. Встановлено системний вплив умов тертя металу у валках на поздовжню стійкість розкату та стабільність процесу.

### Список використаної літератури

1. Беняковський М.А., Богоявленський К.Н., Виткин А.І. та ін.. Технологія прокатного виробництва. Довідник у 2-х кн. М.: Металургія, 1991. Кн. 1. 440 с.
2. Чекмарьов А.П., Муг'єв М.С., Машковцев Р.А. Калібрування прокатних валків. М.: Металургія, 1971. 509 с.
3. Смирнов В.К., Шилов В.А., Інатович Ю.В. Калібрування прокатних валків. М.: Металургія, 1987. 366 с.
4. Сердюк І.А. Технологія прокатного виробництва у прикладах та розрахунках. Ч. 1. Виробництво заготовок. Мариуполь: ПГТУ, 2003. 233 с.
5. Грудєв А.П., Машкин Л.Ф., Ханін М.И. Технологія прокатного виробництва. М.: Металургія, 1994. 651 с.
6. Бахтинов Б.П., Штернов М.М. Калібрування прокатних валків. М.: Металургвидав, 1953. 783 с.
7. Муг'єв М.С. Калібровка чорнових валків. М.: Металургія, 1964. 190 с.
8. Полухин П.І., Федосов Н.М., Королев А.А., Матвєєв Ю.М. Прокатне виробництво. 3-тє вид. М.: Металургія, 1982. 696 с.
9. Максименко О.П., Романюк Р. Я. Дослідження середньої результуючої горизонтальних сил в осередку деформації. Известия вузов. Черная металлургия, 2009. с. 10, 22–24.
10. Максименко О.П., Нікулін О.В., Романюк Р.Я. Теоретичний аналіз захоплюючої здібності валків в режимі прокатки, що встановилася. Вісті вузов: Чорна металургія, 2008. №10. С. 32–34.
11. Максименко О.П., Лобойко Д.І., Ізмайлова М. К. Поздовжня сталість смуги в валках з аналізом контактних умов: монографія. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 213 с.
12. Максименко О.П., Нікулін О.В., Самохвал В.М. та ін. Системний підхід, методи досліджень процесів прокатування з аналізом поздовжньої сталості: навч. посіб. Кам'янське: ДДТУ, 2021. 347 с.
13. Целиков А.І., Гришков А.І. Теорія прокатки. М.: Металургія, 1970. 358 с.
14. Грудєв А.П. Теорія прокатки. 2-ге вид., перероб. та доп. М.: "СП Інтернет Інжиніринг", 2001. 280 с.
15. Смирнов В.С. Теорія прокатки. М.: Металургія, 1967. 460 с.



## IMPROVEMENT OF THE METHOD FOR CALCULATING DEFORMATION PARAMETERS IN THE ROLL PASS DESIGN FOR THE WIRE MILL

Maksimenko O., Nikulin A., Pryimak A., Milyutin I.

### Abstract

Currently, analytical methods, including system analysis and computer simulating, are widely used in the development and construction of rational roll pass design. However, the known methods and solutions are not exhaustive, which solve the problem completely. The methodology for calculating the parameters of rolling deformation during the calibration of rolls for rolling wire rod in system of the gauges "round-oval-round" on graded modern continuous mills has been developed, taking into account the balance of the forces in the deformation zone and the longitudinal stability of the process. It provides coordination of geometric, kinematic and force parameters in the deformation zones of the rolling mill itself and the wire block.

The calculation is carried out against the direction of rolling, in terms by the corresponding strip, taking into account temperature conditions and rolling in the field of minus tolerances the dimensions of the metal. Longitudinal rolling stability in every stand is determined based on the calculation the average resulting internal forces of plastically deformable metal. Numerically solving the boundary value problem for the Karman equation with known rolling parameters and changing the entering angle, the corresponding angle of the neutral section is found, the value of which is equal to the found kinematic one.

The results of the test calculations are quite close to the real data of rolling the round bar and a wire rod with a diameter of 8 mm on a mill 400/200 of PJSC "KAMET-STEEL". At the same time, the broadening of the metal is determined analytically in accordance with the physical conditions of the balance forces and constancy of the seconds' volumes of the metal in the zones of deformation. The shape of the ovals obtained by the provided method is more convex. The system influence of metal friction conditions in the rolls on the longitudinal stability of rolling and the stability of the process was established.

### References

- [1] Beniakovskii M.A., Bogoiavlenskii K.N., Vitkin A.I. et. al. (1991) *Tekhnologiya prokatnogo proizvodstva [Rolling production technology]*. (Vols. 1). M: Metallurgiya [in Russian].
- [2] Chekmarev, A.P., Mut'ev, M.S., & Mashkovtsev, R.A. (1971). *Kalibrovka prokatnykh vaikov [Roll calibration]*. M.: Metallurgiya [in USSR].
- [3] Smirnov, V.K., Shylov V.A., & Inatovich U.V. (1987). *Kalibrovka prokatnykh vaikov [Roll calibration]*. M.: Metallurgiya [in USSR].
- [4] Serdiuk I.A. (2003) *Tekhnologiya prokatnogo proizvodstva v primerakh I raschetakh. Proizvodstvo zagotovok [Rolling technology in examples and calculations. Blank production]*. (Vols. 1). Mariupol: PGU [in Ukrainian].
- [5] Grydev, A.P., Mashkin L.F., Khanin M.I. (1994) *Tekhnologiya prokatnogo proizvodstva [Rolling production technology]*. M.: Metallurgiya [in Russian].
- [6] Bakhtinov, B.P., Shternov, M.M. (1953). *Kalibrovka prokatnykh vaikov [Roll calibration]*. M.: Metallurgizdat [in USSR].
- [7] Mutiev M.S. (1964). *Kalibrovka chernovykh valkov [Rough roll calibration]*. M.: Metallurgiya [in USSR].
- [8] Polukhin P.I., Fedosov N.M., Korolev A.A., Matveev Yu.M. (1982) *Prokatnoe proizvodstvo [Rolling production]*. (3rd). M.: Metallurgiya [in USSR].
- [9] Maksimenko, O.P., Romanyuk, R.Y. (2009). *Issledovanie srednei rezyl'tiruiushchei gorizonta'ny'kh sil v ochage deformatsii [Study of the average resulting horizontal forces in the deformation zone]* *Izvestiia vyzov. Chernaya metaiyrgiya*, (pp.10, 22–24) [in Ukrainian].
- [10] Maksimenko, O.P., Nikulin, O.V., Romanyuk, R.Y. (2008). *Teoreticheskii analiz zakhvatyvaiushchei sposobnosti valkov v ustanovivshemsia rezhyme prokatki [Theoretical*

- analysis of gripping ability of rolls in steady state rolling]. Izvestiia vyzov. Chernaya metallurgiya, 10, 32 – 34 [in Ukrainian].*
- [11] Maksimenko, O.P., Izmaylova, M.K., Ioboyko, D.I. (2016) *Prodol'naya ustoychivost' polosy v valkah s analizom kontaktnykh uslovyi [Longitudinal stability of the strip in rolls with the analysis of contact conditions].* Dneprodzerzhynsk: DDTU [in Ukrainian]
- [12] Maksimenko, O.P., Nikulin, O.V., Samohval, V.M. (2021) *Sistemnyy pidhid, metody doslidzhen' protsesiv prokatuvannya z analizom pozdovzhn'oyi stalosti: navch. posib. [Systematic approach, methods of research of rolling processes with the analysis of longitudinal constancy: textbook].* Kam'yans'ke: DDTU [in Ukrainian].
- [13] Tselikov, A.I., Grishkov A.I. (1970) *Teoriya prokatki [Rolling theory]* M.: Metallurgiya [in USSR].
- [14] Grydev, A.P. (1998) *Teoriya prokatki [Rolling theory]* (2nd ed., rev.) M.: "SP Internet Inzhiniring" [in Ukrainian].
- [15] Smirnov V.S. (1967) *Teoriya prokatki [Rolling theory]* M.: Metallurgiya [in USSR].