

DOI: 10.31319/2519-2884.44.2024.4

УДК 621.771.074

Самохвал В.М., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-0585-7225, email: volsamokhval@gmail.com

Лабузов М.С., здобувач третього (доктор філософії) рівня

Юдінцев М.В., здобувач другого (магістерського) рівня

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Samokhval Volodymyr, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Metallurgy

Labuzov Mykyta, Postgraduate Student

Yudintsev Mykhailo, Master's Degree Student

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКА ДЕФОРМАЦІЇ НА ТОЧНІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ СИЛИ ПРОКАТУВАННЯ СТРИЖНІВ

Метою роботи є аналіз міри впливу ступені деформації на параметри прокатування та визначення найбільш прийняттого показника для розрахунків сили прокатування стрижнів. З порівняння розрахункових та експериментальних даних доведено, що усереднений показник ступені деформації найбільш точно характеризує умови прокатування стрижнів. З аналізу розрахункових даних, отриманих з використанням цього показника та найбільш поширених методик визначення коефіцієнту напруженого стану та опору деформування, встановлено, що найбільшу точність прогнозування сили забезпечує поєднання методик Лі та Місака.

Ключові слова: ступінь деформації; коефіцієнт напруженого стану; швидкість деформації; опір метала деформуванню; сила прокатування; точність; стрижень.

The aim of the work is to analyze the degree of influence of the degree of strain on rolling parameters and to determine the most acceptable parameter for calculating the rolling force of rods. From the comparison of calculated and experimental data, it is proven that the averaged parameter of the degree of strain most accurately characterizes the conditions of rod rolling. From the analysis of calculated data obtained using this parameter and the most common methods of determining the stress state coefficient and deformation resistance, it was established that the combination of Lee and Misak's methods provides the highest accuracy of rolling force prediction.

Keywords: degree of strain; coefficient of stress state; strain rate; mean flow stress; rolling force; accuracy; rod.

Постановка проблеми

Визначення енергосилових параметрів прокатування, зокрема сили, що виникає в осередку деформації, було і залишається важливою задачею теорії та практики. Точні значення сили прокатування необхідні для визначення параметрів обладнання на етапі його проектування, а також для ефективного керування технологічними процесами у виробничих умовах. Крім цього, сила прокатування визначає інші параметри прокатування, такі як момент та потужність.

Вибір методики визначення сили прокатування обумовлений рівнем точності, який забезпечує та чи інша методика для певних умов. Зокрема, при прокатуванні в калібрах, виникають питання щодо способу визначення загальноприйнятих параметрів, якими характеризують процес прокатування. Одним з таких параметрів є ступінь деформації за прохід. Враховуючи нерівномірність деформації, притаманну прокатуванню в калібрах, застосовують різні способи усереднення деформації. В залежності від способу усереднення може проявлятися різна міра впливу на основні параметри прокатування, які визначають силу прокатування. Тому дослідження впливу показника деформації на точність прогнозування сили прокатування в калібрах є досить актуальними і мають суттєву практичну значимість.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Найбільш відомими методами розрахунку сили гарячого прокатування, за даними науково-технічної літератури та підручників, є методи розроблені О.І. Целіковим, Р.Б. Сімсом, С. Екелундом, Ш. Гелеї, Л.В. Андреюком, М.Я. Бровманом та іншими авторами. Серед відомих методів є як теоретичні, так і емпіричні, але всі вони основані на підході запропонованому Сімсом (Sims) [1], коли силу прокатування визначають як добуток середнього напруження текучості металу MFS або σ_s , геометричного параметру Q_p , ширини w та довжини дуги контакту валків з розкатом L_c

$$F = Q_p \cdot MFS \cdot w \cdot L_c. \quad (1)$$

Добуток перших двох величин, що входять до залежності (1), являє собою середній тиск металу на валки по осередку деформації, який позначають як p_m . Добуток ширини та довжини осередку деформації — це площа контактування валків з розкатом в межах осередку деформації.

Спрощення, прийняті в методиці Сімса, дозволяють визначати параметр Q_p через геометричні фактори R/h_1 та $\varepsilon = \Delta h/h_0$. Середнє напруження текучості MFS , або в сучасних термінах опір металу деформуванню σ_s , за методикою Сімса визначають з графічних залежностей, які відображають вплив ступені деформації ε , швидкості деформації U та температури розкату.

Графічні залежності Сімса для коефіцієнту напруженого стану апроксимовано виразом

$$Q_p = \frac{1}{\delta_{sim}} \left(e^{\delta_{sim}} - 1 \right); \quad (2)$$

$$\delta_{sim} = \frac{f \cdot L_c}{h_m}, \quad (3)$$

де h_m — середня товщина розкату по осередку деформації.

Згідно положень сучасної теорії прокатування, параметр Q_p інтерпретують як коефіцієнт напруженого стану, який відображає вплив на середній тиск, як геометрії осередку деформації, так і умов тертя між валком та розкатом на поверхні їх контактування. Наприклад, в роботах Смірнова В. К. [2], коефіцієнт напруженого стану визначають з залежності

$$n_\sigma = 1 + \frac{\delta_{sm}}{\varepsilon} \left(1 - \sqrt{1 - \varepsilon} \right)^2. \quad (4)$$

Величину δ_{sm} розраховують за формулою

$$\delta_{sm} = \frac{2 \cdot f \cdot L_c}{\Delta h}, \quad (5)$$

де f — коефіцієнт тертя в осередку деформації; ε — відносне обтиснення (ступінь деформації); Δh — абсолютне обтиснення.

При прокатуванні в калібрах, зокрема таких як «ромб-квадрат» або «овал-круг», Смірнов рекомендує визначати опір металу деформуванню за методом термомеханічних коефіцієнтів та використовувати середню ступінь деформації, яку визначають як дві третини від відносного обтиснення по вертикальній осі симетрії калібру, тобто [2]

$$\varepsilon_m = \frac{2}{3} \cdot \varepsilon = \frac{2}{3} \cdot \frac{H_0 - H_1}{H_0}, \quad (6)$$

де H_0 , H_1 — початкова товщина розкату та товщина на виході з калібру, відповідно.

У роботі Лі (Lee) [3] пропонується дещо інший підхід, названий «новим». В основу підходу покладено спостереження що «сила, яка діє на валки при прокатуванні стрижнів ($\varepsilon_1 \neq 0$) завжди менше, ніж при прокатуванні плоских розкатів ($\varepsilon_1 = 0$), оскільки ненульова головна пластична деформація у напрямку осі валків, тобто $\varepsilon_1 \neq 0$, робить деформацію заготовки набагато легшою, ніж коли $\varepsilon_1 = 0$ ». Виходячи з цього, Лі пропонує визначати усереднену деформації по осередку через розміри еквівалентного (відповідного) розкату, використовуючи співвідношення

$$\varepsilon_p = \left[\frac{2}{3} (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2) \right]^{1/2} = 1,155 \cdot \varepsilon_2 \cdot \left[1 + \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (7)$$

Величини деформації в напрямку ширини та товщини визначають за розмірами еквівалентного прямокутника, використовуючи формули [3]

$$\varepsilon_1 = \ln \left(W_{in} / W_{out} \right); \quad \varepsilon_2 = \ln (H_{in} / H_{out}),$$

де W_{in} , W_{out} — ширина еквівалентного прямокутного розкату, відповідно до та після проходу; H_{in} , H_{out} — товщина еквівалентного розкату до та після проходу.

Виходячи з припущення про вплив розширення на напружений стан в осередку деформації, Лі пропонує застосовувати модифіковану методику Робертса [4]. Для умов прокатування в калібрах вираз для визначення коефіцієнту напруженого стану набуває виду [3]

$$n_\sigma = 1,155 \cdot (1 - \varepsilon_1) \cdot \exp \left(\frac{f \cdot L_c}{2 \cdot h_m} \right), \quad (8)$$

де L_c — довжина осередку деформації, визначена через розміри еквівалентного прямокутника; h_m — середня товщина розкату по осередку для еквівалентного прямокутника.

Ефективність запропонованої методики визначення ступені деформації Лі підтверджує достатньою точністю розрахункових даних. Для порівняння використовували експериментальні дані вимірів сили прокатування профілю діаметром 8 мм на чотириклітьовому неперервному стані в калібрах системи «овал — круг». Розрахункові дані отримали з застосуванням методики Шида (Shida) для опору деформації [3].

З виразу (8) слідує, що для умов прокатування стрижнів, тобто для калібрів простої форми, коефіцієнт напруженого стану зменшується пропорційно величині розширення металу в калібрів. Але, наявність розширення при прокатуванні в калібрах, згідно закону постійності об'єму, призводить до зменшення видовження. Тобто, врахування впливу розширення можливо за показниками видовження. Наприклад, визначення ступені деформації через зміну площі поперечного перерізу розкату, буде відображати як деформацію по товщині розкату, так і вплив розширення. Тому одним з варіантів визначення ступені деформації в калібрах може бути вираз

$$\varepsilon_A = \frac{A_0 - A_1}{A_0}, \quad (9)$$

де A_0 , A_1 — початкова та кінцева площа перерізу розкату, відповідно.

Отже, з наведеного огляду видно, що такий параметр процесу прокатування як ступінь деформації за прохід в калібрі може бути визначений у різні способи. Очевидно, що це призводить до отримання відмінних значень цього параметру, що відповідно впливає на точність визначення інших параметрів прокатування. При розрахунках сили прокатування такий вплив проявляється не тільки через зміну коефіцієнту напруженого стану, але й через опір деформації, який залежить як від ступені так і від швидкості деформації.

У роботі [2] проведено аналіз найбільш поширених моделей для визначення опору металу деформуванню розроблених Зюзінім, Андреюком та Шида-Лі [5]. Встановлено, що в умовах високошвидкісних блоків всі моделі дають завищені значення опору деформуванню при визначенні ступеню деформації через відносне обтиснення. Доведено, що точність визначення опору деформуванню за моделями Зюзіна та Андреюка може бути підвищена за рахунок визначення ступеня деформації, через відносну зміну площі перерізу, та за рахунок уточнення моделі впливу швидкості деформації шляхом впровадження граничних значень. Запропоновано для швидкостей деформації понад 300 s^{-1} використовувати постійне значення відповідного множника, яке відповідає вказаному граничному значенню швидкості деформації.

Крім зазначених моделей визначення опору деформуванню досить поширеним є застосування моделі Місака (Misaka) [6, 7]. За цією моделлю опір деформуванню визначається вмістом вуглецю та температурою розкату, а також величиною ступені та швидкості деформації

$$\sigma_s = 9,8 \cdot \exp \left(0,126 - 1,75 \cdot C + 0,594 \cdot C^2 + \frac{2851 + 2968 \cdot C - 1120 \cdot C^2}{T_a} \right) \cdot \bar{\varepsilon}^m \cdot U^n, \quad (10)$$

де C — вміст вуглецю в сталі, °C; T_a — абсолютна температура розкату, °K; $\bar{\varepsilon}$ — ступінь деформації; U — швидкість деформації по осередку, 1/с; m, n — показники степені.

Показники степені для ступені та швидкості деформації за прохід для вуглецевих сталей прийнято постійними і вони становлять, відповідно, 0,21 та 0,13.

Для врахування впливу інших елементів, які можуть міститись в сталі, Кіріхата (Kirihata) запропонував додатковий множник, який визначають з виразу [8]

$$f_k = 0,835 + 0,098 \cdot Mn + 0,5 \cdot Nb + 0,125 \cdot Cr^{0,8} + 0,144 \cdot Mo^{0,3} + 0,175 \cdot V + 0,01Ni.$$

Отже, з огляду найбільш поширених моделей для визначення опору деформуванню слідє, що, незважаючи на відмінності, всі моделі враховують вплив чотирьох основних факторів: хімічного складу металу (марка сталі або вміст елементів); температури; ступені та швидкості деформації. Відповідно, в залежності від способу обчислення ступені деформації, може змінюватись як опір деформуванню та і коефіцієнт напруженого стану в осередку деформації.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є аналіз міри впливу ступені деформації на параметри прокатування та визначення найбільш прийняттого показника для розрахунків сили прокатування стрижнів.

Для проведення аналізу виконано розрахунки для наведених вище показників ступені деформації та визначено їх вплив на коефіцієнт напруженого стану, опір деформації і силу прокатування. Коефіцієнт напруженого стану визначали за методиками Смірнова та Лі. Вплив показника ступені деформації на опір метала деформуванню оцінювали за методиками Дінника, Андреюка та Місака. Відповідність показника ступені деформації оцінювали за точністю визначення сили прокатування, порівнюючи розрахункові дані з відомими з літератури експериментальними даними.

Виклад основного матеріалу

Для аналізу впливу показника ступені деформації на проміжні величини та силу прокатування використали відомі експериментальні дані прокатування стрижня діаметром 8 мм за чотири проходи з підкату діаметром 12 мм [3, 6]. Умови прокатування, а саме, розміри калібрів, розкату та основні технологічні параметри наведено в таблиці 1. За розмірами розкату та площею перерізу визначали розміри еквівалентних розкатів для кожного з калібрів. За цими розмірами, відповідно до підходу, запропонованого Лі, визначали показника ступені деформації з використанням рівняння (7).

Таблиця 1. Розміри калібрів та параметри прокатування стрижня діаметром 8 мм [6]

№ кал	Відстань до кліті	Форма розкату (калібру)	Розміри калібрів, мм				Розміри розкату		Площа перерізу A_i , мм ²	Діам. еквів. D_e	Швидк. V , м/с
			Bk	Hgr	Rgr	G	h _i	b _i			
0		круг					12	12	113,10		6,83
1	1	овал	16,0	2,90	12,5	1,7	7,5	15,86	93,42	211,10	8,27
2	1,5	круг	9,9	4,28	5,0	1,2	9,75	9,75	74,66	209,30	10,35
3	3,5	овал	13,1	2,19	11,0	1,9	6,27	12,69	62,49	208,20	12,37
4	1,2	круг	8,3	3,30	4,0	1,5	8,1	8,1	51,53	165,60	15

Bk — ширина калібру по врізам у валки; Hgr — глибина врізу; Rgr — радіус побудови калібру; G — зазор.

За розмірами еквівалентного розкату також визначали звичайне відносне обтиснення

$$\varepsilon_{eq} = \frac{H_{in} - H_{out}}{H_{in}} \quad (11)$$

та середню ступінь деформації ε_m (рівняння (6)).

Зауважимо, що відносне обтиснення розраховане за розмірами еквівалентного розкату збігається з відносним обтисненням, визначеним за розмірами розкату по вертикальній осі симетрії калібру.

Результати обчислень перелічених показників ступені деформування, а також показника за залежністю (9), для умов прокатування згідно табл. 1, наведено на рис. 1.

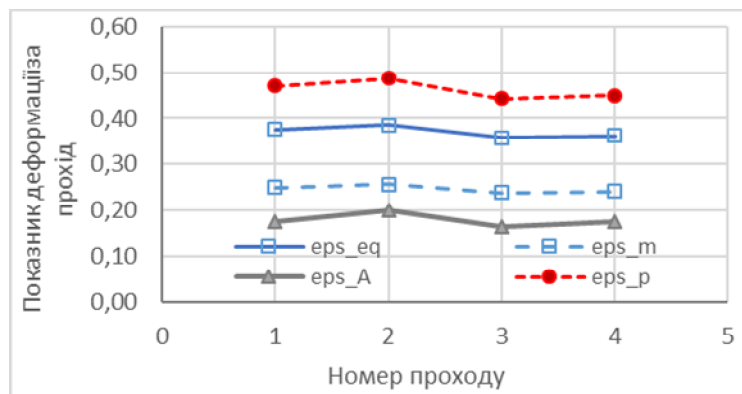


Рис. 1. Значення показників ступені деформації по проходам

Згідно розрахованих даних, показники ступені деформації, в залежності від способу їх визначення, досить суттєво відрізняються. Мінімальні значення отримали для показників, які визначали через зміну площі поперечного перерізу (рівняння 9). Дещо більші значення характерні для середнього показника ступені деформації (рівняння 6). Найбільші значення отримали для показника деформації, запропонованого Лі (рівняння 7). Звичайно, що така суттєва різниця між значеннями показників, визначених у різні способи, впливає на значення проміжних величин та сили прокатування.

Для оцінки міри впливу цих показників ступені деформації виконали розрахунки проміжних величин та сили прокатування для умов наведених у табл. 1, результати яких показані в табл. 2.

Таблиця 2. Порівняння розрахункових значень сили прокатування з вимірами

№ проходу	Виміри F0	Лі-Шида- ε_p		Лі-Місака, ε_A			Лі-Місака, $\varepsilon_{m\pi}$			
		F1	$\Delta 1$	σ_{s2}	F2	$\Delta 2$	σ_{s3}	F3	$\Delta 3$	
1	44,95	47,6	-0,059	121,59	41,44	0,078	137,55	46,88	-0,043	
2	24,75	29,4	-0,188	128,50	30,39	-0,228	139,71	33,04	-0,335	
3	51,8	30,9	0,403	126,83	30,98	0,402	144,23	35,23	0,320	
4	28,7	19	0,338	132,39	19,85	0,308	147,52	22,11	0,229	
Середня відносна похибка			0,1237				0,1402			

З отриманих даних видно, що методика запропонована Лі (з використанням залежностей Шида для опору деформації) [3], забезпечує середню похибку 0,1237 за максимальної похибки 0,403.

Для порівняння з результатами роботи [3], виконали розрахунки опору деформації за методикою Місака та коефіцієнту напруженого стану за залежністю

$$n_{\sigma} = \exp\left(\frac{f \cdot L_c}{2 \cdot h_m}\right). \quad (12)$$

Визначений таким чином коефіцієнт напруженого стану не залежить від показника ступені деформації і становив по проходам, відповідно 1,346; 1,30; 1,371; 1,283. Сила прокатування змінюється лише за рахунок зміни опору деформуванню через швидкість деформації. Згідно отриманих даних, визначення ступені деформації через площу перерізу призводить до занижених значень опору деформації та сили прокатування. Точність визначення сили прокатування зменшується, порівняно з даними Лі [4]: середня похибка становить 0,14, максимальна 0,402.

Визначення ступені деформації як усередненої величини, за рекомендаціями [2], забезпечує підвищення точності — середня похибка 0,043, максимальна 0,335. Тобто, лише через збільшення значення показника ступені деформації збільшується значення швидкості деформації та відповідне збільшення опору деформації та сили прокатування.

Для визначення міри впливу показника ступені деформації на інші проміжні величини, виконали розрахунки сили прокатування для тих самих умов з використанням методики Смірнова для коефіцієнту напруженого стану та різних методик для опору деформації, результати яких наведені в табл. 3 та 4.

Таблиця 3. Порівняння розрахункових та експериментальних даних

№ пр.	Виміри F0	Смірнов-Дінник, $-\varepsilon_A$				Смірнов-Дінник, $-\varepsilon_m$			
		$n_{\sigma 4}$	σ_{s4}	F4	$\Delta 4$	$n_{\sigma 5}$	σ_{s5}	F5	$\Delta 5$
1	44,95	1,123	116,33	33,08	0,264	1,185	133,9	40,18	0,106
2	24,75	1,123	123,79	25,30	-0,022	1,163	136,78	28,94	-0,169
3	51,8	1,129	122,95	24,73	0,522	1,197	146,62	31,27	0,396
4	28,7	1,109	131,34	17,02	0,407	1,155	154,13	20,81	0,275
Середня похибка					0,293				0,152

Таблиця 4. Порівняння розрахункових та експериментальних даних

№ пр.	Виміри F0	Смірнов-Андреюк, $-\varepsilon_m$			Смірнов-Місака, $-\varepsilon_m$	
		σ_{s6}	F6	$\Delta 6$	F7	$\Delta 7$
1	44,95	165,9	49,79	-0,108	41,27	0,082
2	24,75	168,6	35,66	-0,441	29,56	-0,194
3	51,8	172,8	36,86	0,288	30,76	0,406
4	28,7	176,5	23,83	0,170	19,92	0,306
Середня похибка				-0,023		0,150

З даних табл. 3 слідує, що використання показника ступені деформації ε_A призводить до отримання занижених значень як коефіцієнту напруженого стану так і опору деформації за методом Дінника. Відповідно, отримуємо занижені значення сили прокатування. Середня похибка визначення сили збільшується до 0,293, максимальна похибка становить 0,522. Використання показника ступені деформації ε_m забезпечує краще наближення до результатів вимірювань сили прокатування. Середня похибка становить 0,152, а максимальна 0,396. Отже, показник ступені деформації ε_m найбільш точно характеризує процес прокатування і може бути рекомендований для подальшого застосування.

Обчислення опору деформації за методикою Андреюка призводить до найбільш високих значень цього параметру та завищених значень сили прокатування. Середня похибка ви-

значення сили за цими залежностями є мінімальною — лише $-0,023$, за максимальної похибки $-0,441$.

Поєднання методик Смірнова та Місака призводить до занижених значень сили прокатування. Середня похибка становить $0,150$, максимальна $0,406$.

Отже, за умови використання усередненого показника ступені деформації ε_m найбільш точними виявляються методики Смірнова-Андреюка та Лі-Місака. При цьому, методика Лі-Місака забезпечує більшу точність прогнозування сили прокатування - середня похибка цілком прийнятна ($0,043$), а максимальна похибка порівняно невелика ($0,335$).

З аналізу отриманих розрахункових даних слід виділити суттєву різницю між коефіцієнтами напруженого стану, що показано на рис. 2.

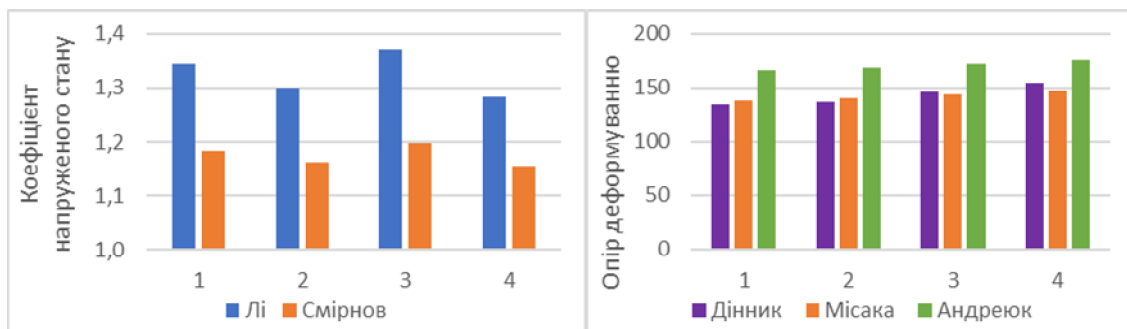


Рис. 2. Порівняння коефіцієнтів напруженого стану та опору деформуванню за різними методиками для умов прокатування стрижня діаметром 8 мм

За методикою Лі, яка враховує вплив умов тертя та параметру форми осередку деформації і не дозволяє враховувати ступінь деформації, отримуємо більші значення цього коефіцієнту напруженого стану. За методикою Смірнова, в якій враховується вплив всіх трьох згаданих параметрів, отримаємо суттєво менші значення цього коефіцієнту.

Методики Дінника та Місака для визначення опору деформуванню дають значення приблизно одного порядку, які суттєво менші за значення, розраховані за методикою Андреюка. Тому поєднання методик Смірнова-Андреюка, так само як і Лі-Місака, забезпечують прийнятну точність визначення сили прокатування. Інші варіанти поєднання методик призводять або до завищених, або до занижених значень сили прокатування.

Висновки

З порівняння експериментальних та розрахункових значень сили для умов неперервного прокатування стрижня діаметром 8 мм, встановлено, що з можливих показників ступені деформації за прохід найбільшу точність прогнозування сили забезпечує усереднене відносне обтинення, визначене за розмірами еквівалентного розкату. Такий показник ступені деформації може визначатись за розмірами еквівалентного розкату або за розмірами розкату по вертикальній площині симетрії.

За умови використання усередненого показника ступені деформації найбільшу точність прогнозування сили прокатування забезпечують методики Смірнова-Андреюка та Лі-Місака.

Для практичного застосування може бути рекомендована методика Лі-Місака, яка забезпечує прийнятну середню похибку та порівняно невелику максимальну похибку відносно використаних експериментальних даних по силі прокатування.

Точність прогнозування сили прокатування може бути забезпечена як за рахунок уточнення методик визначення проміжних величин, таких як коефіцієнт напруженого стану та опір деформування, так і за рахунок врахування особливостей поєднання таких методик.

Список використаної літератури

1. Sims R.B. The calculation of roll force and torque in hot rolling mills. *Proceedings - Institution of Mechanical Engineers*. 1954. Vol.1. Issue 68(1). P. 191–214. DOI: 10.1243/PIME_PROC_1954_168_023_02
2. Самохвал В.М., Штода М.М., Марченко К.К. Аналіз математичних моделей опору деформуванню для умов високошвидкісних блоків дровових станів. *Математичне моделювання*. 2018. № 1(38). С. 46–54.
3. Lee Y. New approach for prediction of roll force in rjd rolling. *Ironmaking and Steelmaking*. 2002. Vol. 29. No. 6. pp. 459 – 468. DOI 10.1179/030192302225004647. URL: https://www.researchgate.net/publication/233583586_New_approach_for_prediction_of_roll_force_in_rod_rolling
4. Roberts W.L. Hot rolling of steel. N-Y.: CRC Press. 1983. 1024 p.
5. Lee Y. Kim, H.J., Hwang, S.M. Analytic Model for the Prediction of Mean Effective Strain in Rod Rolling Process. *Journal of Materials Processing Technology*. 2001. Volume 114. pp. 129–138.
6. Byon S., Na D., Lee Y. Flow stress equation in range of intermediate strain rates and high temperatures to predict roll force in four-pass continuous rod rolling. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*. 2013. № 23. P. 742–748. DOI: 10.1016/S1003-6326(13)62524-8 URL: https://www.researchgate.net/publication/257444558_Flow_stress_equation_in_range_of_intermediate_strain_rates_and_high_temperatures_to_predict_roll_force_in_four-pass_continuous_rod_rolling
7. Misaka Y, Yoshimoto T. Formularization of mean resistance to deformation of plain carbon steels at elevated temperatures, *Jpn Soc Technol Plast*. 1967. № 8. P. 414–422.
8. Garcia-Mateo C., Lopez B., Rodrigues-Ibabe J.M. Effect of Deformation Temperature on Microstructure and Mechanical Behaviour of Warm Working Vanadium Microalloyed Steels. *Journal of Materials Science*. 2011. P. 3725 – 3737. DOI: 10.1007/s10853-011-5285-2. URL: https://www.researchgate.net/publication/216224681_Effect_of_deformation_temperature_on_microstructure_and_mechanical_behaviour_of_warm_working_vanadium_microalloyed_steels

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE DEGREE OF STRAIN ON THE ACCURACY OF PREDICTING THE ROLLING FORCE OF RODS

Abstract

The process of rolling in gauges, in contrast to the rolling of flat products in cylindrical rolls, is characterized by significant non-uniformity of deformation. This causes certain complications in determining generally accepted parameters that characterize the rolling process. One of these parameters is the degree of strain per pass, the method of determining which can significantly affect the most significant rolling parameters. Therefore, the study of the influence of the degree of strain on the accuracy of forecasting the rolling force in gauges is quite relevant and has significant practical significance.

The aim of the work is to analyze the scale of influence of the degree of strain on the rolling parameters and to determine the most acceptable parameter for calculating the rolling force of rods.

For conditions known from the literature for rolling rods with a diameter of 8 mm in the "oval - round" system of pass, the degree of strain parameter was determined in four different ways. For further analysis, the averaged degree of strain, as two-thirds of the reduction ratio per pass, and the degree of strain determined by the relative change in area were selected. For such indicators, calculations of intermediate parameters and rolling force were performed using various methods.

Calculations of the stress state coefficient were performed using the techniques of Lee and Smirnov. The average metal yield stress, or resistance to deformation, was determined according to the methods of Dinnyk, Misaka, and Andreyuk. Determination of the most acceptable indicator of the degree of strain per pass was carried out according to the level of accuracy of the rolling force calculations, comparing them with experimental force values.

It was established that the averaged reduction ratio, determined by the dimensions of the equivalent stock, provides the highest accuracy of force prediction among the possible indicators of the degree of strain per pass.

For this indicator of the degree of strain, the Smirnov-Andreiuk and Lee-Misaka methods provide the highest accuracy of predicting the rolling force. For practical use, the Lee-Misaka method can be recommended, which provides an acceptable average error and a relatively small maximum error relative to the used experimental data on the rolling force.

References

- [1] Sims R.B. (1954). The calculation of roll force and torque in hot rolling mills. Proceedings Institution of Mechanical Engineers. 1954. Vol.1. Issue 68(1). P. 191–214. DOI: 10.1243/PIME_PROC_168_023_02
- [2] Samokhval V.M., Shtoda M.M., Marchenko K.K. (2018) Analiz matematy`chny`x modelej oporu deformuvannyu dlya umov vysokoshvydkisnyh blokiv drotovy`x staniv [Analysis of mathematical models of resistance to deformation for the conditions of high-speed blocks of wire rod mills]. *Mathematical modeling*. №1(38). P. 46–54. [in Ukrainian].
- [3] Lee Y. (2002). New approach for prediction of roll force in rjd rolling. *Ironmaking and Steelmaking*. Vol. 29. No. 6. P. 459–468. DOI 10.1179/030192302225004647. URL: https://www.researchgate.net/publication/233583586_New_approach_for_prediction_of_roll_force_in_rod_rolling
- [4] Roberts W.L. (1983) Hot rolling of steel. N-Y.: CRC Press. 1024 p.
- [5] Lee Y. Kim, H.J., Hwang, S.M. (2001). Analytic Model for the Prediction of Mean Effective Strain in Rod Rolling Process. *Journal of Materials Processing Technology*. Volume 114. pp. 129–138.
- [6] Byon S., Na D., Lee Y. (2013). Flow stress equation in range of intermediate strain rates and high temperatures to predict roll force in four-pass continuous rod rolling. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*. № 23. P. 742–748. DOI: 10.1016/S1003-6326(13)62524-8 URL: https://www.researchgate.net/publication/257444558_Flow_stress_equation_in_range_of_intermediate_strain_rates_and_high_temperatures_to_predict_roll_force_in_four-pass_continuous_rod_rolling
- [7] Misaka Y, Yoshimoto T. (1967). Formularization of mean resistance to deformation of plain carbon steels at elevated temperatures. *J Jpn Soc Technol Plast*. № 8. P. 414–422.
- [8] Garcia-Mateo C., Lopez B., Rodrigues-Ibabe J.M. (2011). Effect of Deformation Temperature on Microstructure and Mechanical Behaviour of Warm Working Vanadium Microalloyed Steels. *Journal of Materials Science*. P. 3725–3737. DOI: 10.1007/s10853-011-5285-2. URL: https://www.researchgate.net/publication/216224681_Effect_of_deformation_temperature_on_microstructure_and_mechanical_behaviour_of_warm_working_vanadium_microalloyed_steels

Надійшла до редколегії 02.04.2024