

# МЕТАЛУРГІЯ

УДК 621.771.23

**Курпе О.Г.**

Товариство з обмеженою відповідальністю «Метінвест Холдінг»

**Кухар В.В.**

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

## РОЗШИРЕННЯ СОРТАМЕНТУ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ В УМОВАХ МЕТАЛУРГІЙНОГО ЗАВОДУ В ІТАЛІЇ

*Розроблена технологія прокатки листів розміром 4 x 3 125 x 16 000 мм зі сляба розміром 217 x 1 355 x 780 мм, замість слябів товщиною 150 мм, для умов стану 3 200 заводу Metinvest Grametal SpA. Розроблена технологія забезпечує отримання кінцевої температури прокату 826°C, що дозволяє її використовувати для виробництва прокату згідно зі способом гарячої, нормалізуючої, контрольованої або ТМСП технології та не обмежує наявний марковий сортамент.*

**Ключові слова:** моделювання, сила прокатки, температурний режим, технологія, товстолистовий стан.

**Постановка проблеми.** Відомо, що товстолистові стани спеціалізуються на виробництві прокату товщиною від 5 мм та більше. Однак попит ринку потребує виробництва більш тонкого прокату в сортаменті ширин, який виробляється на товстолистових станах і не може бути замінений сортаментом безперервних станів гарячої прокатки. Для виробництва прокату товщиною менше 5 мм здебільшого використовують сляби меншої товщини, цільове використання яких – рулонний прокат, це порушує баланс металу на підприємствах та змушує змінювати виробничі пріоритети.

Актуальність розроблення й оптимізації технології прокату листів товщиною 4 мм зі слябу товщиною 220 мм замість слябів товщиною 150 мм на заводі Grametal зумовлена потребою в розширенні сортаменту, а також недостатнім обсягом слябів товщиною 150 мм.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом поширилися способи розроблення технології за допомогою математичних моделей, які мають різну структуру та розроблені за допомогою різноманітних методів [1–3; 6; 7; 9].

Запропоновані авторами моделі мають різний рівень похибок. Так, у роботі [4] похибка визначена в силі прокатки та становить у середньому

142 т. Зауважимо, що така похибка залежить від рівня сили прокатки, що можна побачити на графіках, наведених у роботі [4]. Похибка в моделюванні, вказана авторами в роботі [10], становить  $+ / - 10\%$ , а в праці [11] похибка становить до 15,6% у першому проході і далі знижується. Отже, немає чітких рекомендації щодо точності розроблених моделей, але, безумовно, метою всіх авторів є її підвищення.

Наявність перевіреної моделі для розроблення технології прокатки на будь-якому стані суттєво спрощує цей процес, зменшує технологічні похибки та ризик отримання продукції незадовільної якості. Ще одна перевага – це можливість оптимізації процесу [5; 7; 8].

Особливе значення для оптимізації технологічних процесів має врахування параметрів обладнання, зазначене авторами роботи [5], яке дозволяє на етапі проектування керувати часом та температурою в комплексі з товщиною прокату, у двофазній області також, зменшувати кількість проходів, як зазначено авторами [7]. У праці [7] цікавим є режим прокатки під час отримання листа розмірами 5 x 3 200 мм зі сляба 150 мм, під час розрахунку якого виконана оптимізація зі зменшенням кількості проходів із 15 до 13, що

дозволило змогу підвищити температуру закінчення прокатки із 713°C до 821°C.

Зауважимо, що зазначені в літературних джерелах сортамент і способи оптимізації його виробництва є унікальними для кожного виробника, з огляду на характеристики обладнання, яке застосовується.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розроблення технології виробництва прокату товщиною 4 мм із використанням безперервно литих слябів товщиною 220 мм замість слябів товщиною 150 мм для умов стану 3 200 заводу Metinvest Trametel SpA (лідера на італійському та європейському ринках товстолистового конструкційного прокату, який входить до складу групи «Метінвест»).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Серед основного обладнання лінії стану 3 200 заводу Trametel є методична шестизонна трирядна штовхальна піч, яка опалюється природним газом, однокільовий стан кварто, що має максимальну силу прокатки 40 МН, робочі валки з діаметром 730–810 мм, потужність головних двигунів 2 x 3 500 КВт, пристрій для проміжного охолодження прокату на повітрі, 12-тироликова машина для правки прокату, ножиці для поперечної різки, холодильник для остаточного охолодження прокату.

Схема розміщення основного обладнання на заводі Trametel SpA наведена на рис. 1.

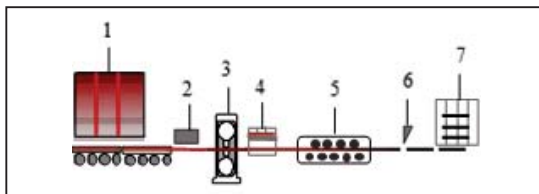


Рис. 1. Схема технологічної лінії з виробництва листового прокату на заводі Trametel SpA

- 1 – штовхальна методична піч;      5 – машина для правки прокату;
- 2 – камера гідрозбивання;        6 – ножиці для поперечної різки;
- 3 – кліть кварто 3 200;              7 – холодильник.
- 4 – пристрій для охолодження підкату на повітрі

Для розроблення технології виконано перевірку математичної моделі технологічного процесу прокатки [2], яку буде використано для подальших розрахунків.

Перевірку виконано на фактичних даних щодо температури та сили прокатки, отриманих під час прокатки листів розмірами 5 x 3 125 x 12 000 мм зі сталі А320, сляб № 1TL5800906 із фактичними розмірами 217 x 1 355 x 780 мм.

Результати моделювання наведені на рис. 2, 3.

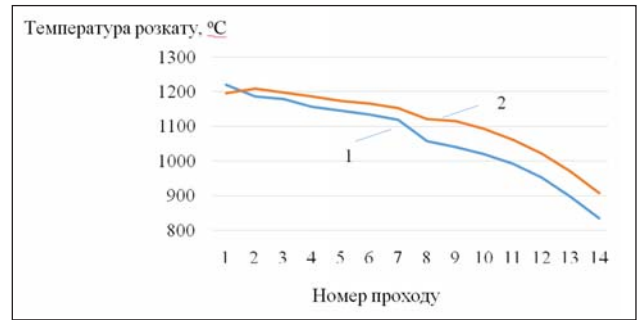


Рис. 2. Зміни розрахованої (1) та фактичної (2) температури за проходами в кліті 3 200

Середня похибка в моделюванні температурного режиму прокатки становить 4,3%, у моделюванні сили прокатки – 7,9%. Зауважимо, що достатньо великі похибки щодо сили прокатки в проході № 1 пов'язані зі зміною температури металу після гідрозбивання окалини в камері (2), рис. 1, а в проходах № № 11–14 – отримані внаслідок впливу переохолоджених торців прокату, які не враховувалися під час моделювання через відсутність фактичних даних щодо температури цих ділянок. Підтвердженням впливу переохолоджених торців є одностороннє перевищення фактичної сили прокатки в проходах № № 11–14.

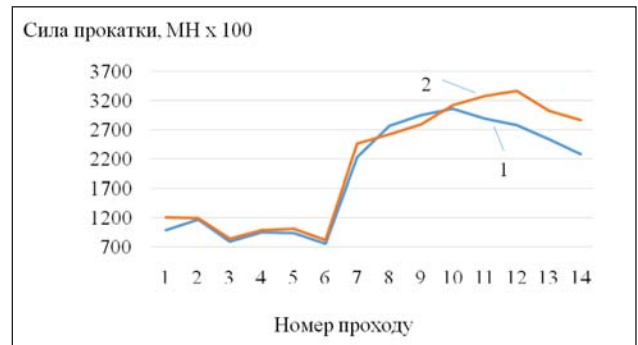


Рис. 3. Зміни розрахованої (1) та фактичної (2) сили прокатки за проходами в кліті 3 200

Результати розрахунку для перевірки математичної моделі наведені в табл. 1.

У таблиці 1  $H$  та  $h$  – це товщина розкату до та після проходів в кліті,  $B$  – ширина прокату.

Отже, отримані похибки температури та сили прокатки дозволяють виконати моделювання технології для стану 3 200 заводу Trametel.

Варто зазначити, що за максимальної сили прокатки 40 МН фактична сила не перевищує 33,6 МН, що свідчить про наявність резерву, який можна використати.

Перевірка необхідної потужності головних двигунів через середньоквадратичні моменти

Таблиця 1

## Результати перевірного розрахунку математичної моделі

№ проходу	H, мм	h, мм	B, мм	Температура прокатки, °C			Сила прокатки, МНх100			
				Розрахунок	факт	Δ, %	Розрахунок	факт	Δ, МН x 100	Δ, %
1	217	182,16	1 387	1 220	1 196	-2,0	985,3	1 209,3	224	18,5
2	182,16	146,41	1 387	1 186,1	1 209	1,9	1 169,4	1 196,9	27,5	2,3
3	146,41	123,64	1 200	1 178,9	1 197	1,5	792,2	849,9	57,7	6,8
4	123,64	98,83	1 200	1 155,4	1 186	2,6	956,7	991,1	34,4	3,5
5	98,83	77,47	1 200	1 145,5	1 173	2,3	948,0	1 010,8	62,8	6,2
6	77,47	64,0	1 200	1 133,2	1 166	2,8	754,3	818,5	64,2	7,8
7	64,0	50,2	3 146	1 118,9	1 153	3,0	2 234,2	2 457,9	223,7	9,1
8	50,2	37,58	3 146	1 057,1	1 120	5,6	2 765,7	2 618,7	-147	-5,6
9	37,58	26,56	3 146	1 040,6	1 115	6,7	2 949,7	2 788,9	-160,8	-5,8
10	26,56	17,85	3 146	1 018,9	1 093	6,8	3 055	3 113,7	58,7	1,9
11	17,85	12,09	3 146	991,7	1 060	6,4	2 887,5	3 280,4	392,9	12,0
12	12,09	8,42	3 146	951,7	1 022	6,9	2 773,8	3 365,1	591,3	17,6
13	8,42	6,36	3 146	895,9	969	7,5	2 535,9	3 025,7	489,8	16,2
14	6,36	5,22	3 146	834,0	907	8,0	2 274,4	2 857,3	582,9	20,4
Середня похибка						4,3				7,9

Таблиця 2

## Хімічний склад сталі, з якої вироблявся прокат

Марка сталі	Масова доля елементів, %															
	C	Mn	Al	Nb	Si	S	P	Cu	Ni	Cr	V	Mo	Ti	N	B	H
А320	0,14-0,16	1,35-1,50	0,020-0,050	0,005	0,20-0,30	0,005	0,020	0,07	0,05	0,05	0,01	0,02	0,005	0,012	0,0005	0,0005

Таблиця 3

## Розрахунок режимів прокатки листів розмірами 4 x 3 125 x 16 000, варіант 1

№ проходу	H, мм	h, мм	B, мм	Температура прокатки, °C	Час паузи, с	Швидкість, м/с	Сила прокатки, МН x 100
1	219,4	180	1 373	1 220	58	1,92	1 079,2
2	180	146	1 373	1 175	6	2,00	1 177,7
3	146	125	1 200	1 168	30	2,11	787,9
4	125	98	1 200	1 138	6	2,23	1 105
5	98	77	1 200	1 130	6	2,27	1 019,8
6	77	63	1 200	1 117	6	2,34	851,1
7	63	48	3 181	1 104	30	2,11	2 629,9
8	48	36	3 181	1 047	6	2,23	2 955,9
9	36	26	3 181	1 031	7	2,31	3 036,4
10	26	18	3 181	1 001	7	2,50	3 251,4
11	18	12	3 181	970	6	2,73	3 417,3
12	12	8,2	3 181	930	6	2,88	3 304,9
13	8,2	5,8	3 181	873	6	3,23	3 412,7
14	5,8	4,6	3 181	801	6	3,42	3 016,6
15	4,6	4	3 181	720	6	3,54	2 683,5

показала наявність суттєвого резерву, за сумарної потужності двох двигунів 7000 кВт фактична потужність під час прокатки розрахованого сортаменту не перевищила 2 900 кВт.

На основі виконаного аналізу пропонується декілька варіантів технології виробництва прокату.

Розроблення технології виробництва листового прокату розмірами 4 x 3 125 x 16 000 мм

Розрахунок режимів прокатки листів розмірами 4 x 3 125 x 16 000, варіант 2

№ проходу	H, мм	h, мм	B, мм	Температура прокатки, °С	Час паузи, с	Швидкість, м/с	Сила прокатки, МН x 100
1	219,4	180	1 373	1 220	10	1,92	1 079,2
2	180	146	1 373	1 210	5	2,00	1 065,7
3	146	125	1 200	1 203	10	2,11	712,8
4	125	98	1 200	1 188	5	2,23	954,2
5	98	77	1 200	1 179	5	2,27	882,2
6	77	63	1 200	1 165	5	2,34	737,6
7	63	48	3 181	1 151	10	2,11	2 280,0
8	48	32	3 181	1 122	5	2,23	2 909,9
9	32	20	3 181	1 102	5	2,31	2 923,9
10	20	12	3 181	1 063	5	2,50	2 979,1
11	12	7,5	3 181	1 013	5	2,73	2 837,0
12	7,5	5	3 181	934	5	2,88	2 926,9
13	5	4	3 181	826	5	3,23	2 493,7

зі слябів товщиною 220 мм сталі марки А320 (аналог марки S355 згідно з вимогами стандарту EN 10025–2) здійснювалась для умов стану 3 200 заводу Trametel.

Хімічний склад сталі, яка використовується, наведено в табл. 2.

З метою мінімізації змін до наявного регламенту роботи обладнання стану 3 200 заводу Trametel під час проектування технології розрахований показник енергосилових параметрів тримався на рівні, який фактично використовується згідно з наявною технологією.

#### Перший варіант технології

Розбивка розкату до отримання необхідної ширини готового прокату виконується однаково в усіх варіантах.

У всіх варіантах початкова температура прокатки становить 1 220°С. Товщини та ширини в таблицях вказані в гарячому стані.

Результати розрахунку наведені в табл. 3.

Перший варіант характеризується паузами, які зазвичай наявні в процесі прокатки на стані 3 200.

Сила прокатки в проходах № 11 та № 13 з урахуванням додаткового підвищення до 600 МН x 100, від впливу переохолоджених торців, наближується до максимальної сили згідно з характеристиками стану, що становить деякий ризик.

Температура закінчення прокатки становить 720°С, що відповідає умовам контрольованої прокатки або прокатки ТМСР і не відповідає умовам гарячої або нормалізуючої прокатки. Реалізація такого варіанту технології буде мати суттєві обмеження сортаменту, який виробляється.

#### Другий варіант технології

У другому варіанті технології час пауз між проходами був скорочений до рівня, який застосовується на товстолистових станах гарячої прокатки, наприклад, на стані 3 600 МК «Азовсталь» та стані 3 000 ММК ім. Ілліча. Також часткове зниження часу пауз (до 29 с та 20 с замість 58 с та 30 с відповідно) між проходами підтверджене фактичними даними під час прокатки листів товщиною 4,5 x 2 585 мм зі сляба товщиною 150 мм на стані 3 200 заводу Trametel.

Результати розрахунку наведені в табл. 4.

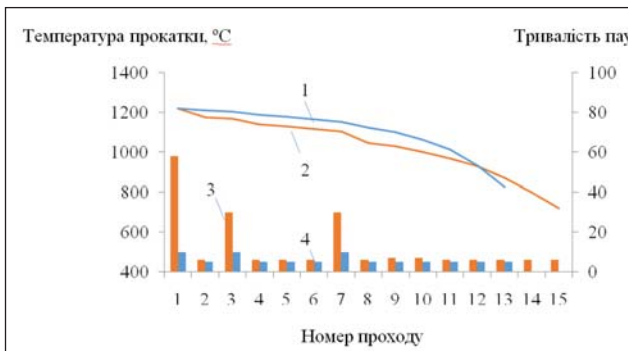
Завдяки зменшенню часу пауз вдалося підвищити температуру металу за проходами, що привело до зниження сили прокатки.

Зниження навантаження за проходами дозволило оптимізувати весь режим прокатки шляхом зменшення кількості проходів до 13-ти, отримати температуру закінчення прокатки на рівні 826°С.

Сила прокатки в усіх проходах з урахуванням додаткового підвищення до 600 МН x 100 від впливу переохолоджених торців не перевищує максимальної сили, згідно з характеристиками стану.

Такий варіант дозволяє виробляти прокат без технологічних обмежень, тобто за технологією гарячої, нормалізуючої, контрольованої прокатки або ТМСР технології. Для останніх двох технологій необхідно буде зробити паузу перед останніми проходами з метою виконання деформації в зоні міжкритичного перетворення або в зоні вже утвореного  $\alpha$ -заліза залежно від вимог.

Порівняння зниження температури та зменшення часу пауз за двома варіантами наведено на рис. 4.



**Рис. 4.** Зміни розрахованої температури за варіантом 1 (1), варіантом 2 (2), тривалості пауз за варіантом 1 (3), варіантом 2 (4) за проходами в кліті 3 200

Порівняння двох варіантів технології свідчить про суттєві технологічні переваги варіанта 2, які

формується вже на перших шістьох проходах під час розбивки ширини.

**Висновки.** У роботі перевірено розроблену математичну модель на фактичних даних, отриманих на стані 3 200 заводу Trametel. Середня похибка під час моделювання температурного режиму прокатки становить 4,3%, під час моделювання сили прокатки – 7,9%.

Показана принципова можливість використання сляба товщиною 220 мм замість сляба товщиною 150 мм для виробництва прокату товщиною 4 мм.

Розроблена технологія прокатки листів розмірами 4 x 3 125 x 16 000 мм зі сляба розміром 217 x 1 355 x 780 мм, яку можна використовувати для виробництва прокату згідно зі способом гарячої, нормалізуючої, контрольованої або ТМСП технології, не обмежує наявний марковий сортамент.

#### Список літератури:

1. Старченко Д. Динамика продольной прокатки: учебное пособие. Киев: ИСИО, 1994. 400 с.
2. Курпе А. Моделирование технологического процесса прокатки толстых листов на стане 3 600 ОАО «МК «Азовсталь»: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.05; ФГУП ЦНИИЧермет имени И.П. Бардина. Москва, 2006. 23 с.
3. Коновалов Ю. Справочник прокатчика. Производство горячекатаных листов и полос: справочное издание в 2-х книгах. Москва: Теплотехник, 2008. Книга 1. 640 с.
4. Duk Man Lee. Applications to improve rolling force prediction ability in a platemill. Automation in Mining, Mineral and Metal Processing. Nancy, France. 2004. P. 65–70. URL: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)31001-7](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)31001-7).
5. Hu Xian-lei, Zhao Zhong, Wang Jun, Wang Zhao-dong, Liu Xiang-hua, Wang Guo-dong. Optimization of Holding Temperature and Holding Thickness for Controlled Rolling on Plate Mill. Journal of iron and steel research, International. 2006. №13 (3). P. 21–25. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(06\)60055-1](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(06)60055-1).
6. John G. Lenard. Primer on Flat Rolling. Mathematical and Physical Modelling of the Flat Rolling Process. Elsevier Ltd, 2007. Chapter 3. P. 36–98. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-008045319-4/50005-X>.
7. Mantyla P., Korhonen R., Jonsson N-G. Improved Thickness and Shape Accuracy with Advanced Pass Scheduling in Plate Rolling. Journal of Materials Processing Technology. Elsevier. 1992. № 34. P. 255–263. URL: [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(92\)90115-9](https://doi.org/10.1016/0924-0136(92)90115-9).
8. QI Xiang-dong, Wang Tao, Xiao Hong. Optimization of pass schedule in hot strip rolling. Journal of Iron and Steel Research, International. 2012. № 19 (8). P. 25–28. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60135-6](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60135-6).
9. Yue S. The mathematical modelling of hot rolling of steel / J.G. Lenard (Editor). Metal Forming Science and Practice 9. Published by Elsevier Science Ltd., 2002. Chapter 11. P. 213–226. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-008044024-8/50011-4>.
10. Yuen W.Y.D., Dixon A., Nguyen D.N. The modelling of the mechanics of deformation in fiat rolling. Journal of Materials Processing Technology. 1996. № 60. P. 87–94. URL: [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(96\)02312-6](https://doi.org/10.1016/0924-0136(96)02312-6).
11. Jin-ling Zhag, Zhen-shan Cui. Prediction of velocity and deformation fields during multipass plate hot rolling by novel mixed analytical-numerical method. Journal of Iron and Steel Research, International. 2011. № 18 (7). P. 20–27. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(11\)60085-X](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(11)60085-X).

#### РАСШИРЕНИЕ СОРТАМЕНТА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА В УСЛОВИЯХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА В ИТАЛИИ

Разработана технология прокатки листов размером 4 x 3125 x 16 000 мм из сляба размером 217 x 1 355 x 780 мм, вместо слябов толщиной 150 мм, для условий стана 3 200 завода Metinvest Trametel SpA. Разработанная технология обеспечивает получение конечной температуры проката 826°C, что позволяет применять ее для производства проката в соответствии со способами горячей, нормализующей, контролируемой или ТМСП технологий и не ограничивает существующий марочный сортамент.

**Ключевые слова:** моделирование, сила прокатки, температурный режим, технология, толстолистовой стан.

**ENHANCEMENT OF THE FLAT PRODUCTS MIX  
AT THE METALLURGICAL PLANT IN ITALY**

*Process development for production of 4 x 3 125 x 16 000 mm dimensions plate produced of as-cast slabs of 217 x 1 355 x 780 mm dimensions instead of slabs of 150 mm thickness for rolling mill 3 200 at Metinvest Trameal SpA. The developed technology ensures the rolled products final temperature of 826°C, and this allows to implement it for rolled products production by means of hot, normalizing, controlled or TMCP technology, and does not minimize the current grade product mix.*

**Key words:** *simulation, rolling force, temperature conditions, technology, plate rolling mill.*