
УДК 621.771.23

В.В. Кухар /д.т.н./

ДВНЗ «Приазовський державний технічний
університет», м. Маріуполь, Україна

О.Г. Курпе /к.т.н./

ПрАТ «ММК «ІМЕНИ ІЛІЧКА»,
МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ, м. Маріуполь, Україна
E-mail: aleksandr.kurpe@metinvestholding.com

Розробка технології виробництва листового прокату товщиною 4 мм на стані 3200 заводу Trametmetal SpA

V.V. Kukhar /Doctor of Sciences/

Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine

O.G. Kurpe /Doctor of Philosophy/

PJSC "Ilyich Iron and Steel Works", Mariupol, Ukraine
E-mail: aleksandr.kurpe@metinvestholding.com

Process development for production of plate products of 4 mm thickness at rolling mill 3200, Trametmetal SpA

Мета. Розробка технології виробництва прокату товщиною 4 мм при використанні безперервно литих слябів товщиною 220мм замість слябів товщиною 150 мм для умов стану 3200 заводу Metinvest Trametmetal SpA.

Методика. Технологія розроблена з використанням математичної моделі технологічного процесу прокатки

Результат. Розроблена технологія прокатки листів розмірами 4x3125x16000 мм зі слябу розмірами 217x1355x780 мм.

Наукова новизна. Розроблена технологія забезпечує отримання кінцевої температури прокату 826 °С, що дозволяє її використовувати для виробництва прокату згідно зі способом гарячої, нормалізуючої, контрольованої або ТМСР технології, та не обмежує існуючий марковий сортамент.

Практична важливість. Можливість використання для виробництва слябів товщиною 220 мм, замість слябів товщиною 150 мм.

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

Вступ

Відомо, що товстолистові стани спеціалізуються на виробництві прокатку товщиною від 5 мм та більшою. Однак, попит ринку потребує виробництва більш тонкого прокату в сортаменті ширин, який виробляється на товстолистових станах, і який 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.

Постановка завдання

Метою роботи є розробка технології виробництва прокату товщиною 4 мм при використанні безперервно литих слябів товщиною 220мм замість слябів товщиною 150 мм для умов стану 3200 заводу Metinvest Trametmetal SpA (лідер на Італійському та Європейському ринках товстолистового конструкційного прокату, входить до складу групи МЕТІНВЕСТ).

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Останнього часу широкий розвиток отримали способи розробки 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 в роботі [4] похибка визначена у силі прокатки та становить в середньому 142 т. Слід відмітити, що вказана похибка залежить від рівня сили прокатки, що можна побачити на графіках, які наведені у роботі [4]. Похибка при моделюванні вказана авторами в роботі [10] складає +/-10%, а в роботі [11] похибка складає до 15,6% у першому проході

і далі знижується. Таким чином, немає чітких рекомендації що до точності розроблених моделей, але безумовно метою усіх авторів є її підвищення.

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

Особливе значення при оптимізації технологічних процесів має врахування параметрів обладнання, що також відмічене авторами роботи [5], та дозволяє на етапі проектування керувати часом та температурою в комплексі з товщиною прокату, у тому числі в двофазній області, у тому числі і зменшувати кількість проходів, як наведено авторами [7]. Окрему цікавість в роботі [7] становить режим прокатки при отриманні листа розмірами 5x3200 мм зі сляба 150 мм, при розрахунку якого виконана оптимізація зі зменшенням кількості проходів з 15 до 13, що дало змогу підвищити температуру закінчення прокатки з 713 °С до 821 °С.

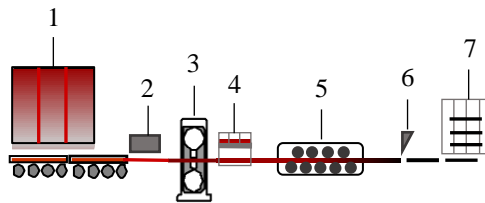
Слід зазначити, що вказаний в існуючих літературних джерелах сортамент та способи оптимізації його виробництва є унікальними для кожного виробника з урахуванням характеристик обладнання, яке застосовується.

Актуальність розробки та оптимізації технології прокату листів товщиною 4 мм зі слябу товщиною 220 мм замість слябів товщиною 150 мм на заводі Trametel обумовлена потребою в розширенні сортаменту, а також недостатнім обсягом слябів товщиною 150 мм.

Викладення основного матеріалу

Основне обладнання лінії стану 3200 заводу Trametel включає методичну шести зонну трирядну штовхальну піч, яка опалюється природним газом, одноклітьовий стан кварто, що має максимальну силу прокатки 40МН, робочі валки з діаметром 730-810 мм, потужність головних двигунів 2x3500 КВт, пристрій для проміжного охолодження прокату на повітрі, 12 роликів машина для правки прокату, ножиці для поперечної різки, холодильник для остаточного охолодження прокату.

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



1 – штовхальна методична піч;

2 – камера гідросбиву;

3 – кліть кварто 3200;

4 – пристрій для охолодження підкату на повітрі;

5 – машина для правки прокату;

6 – ножиці для поперечної різки;

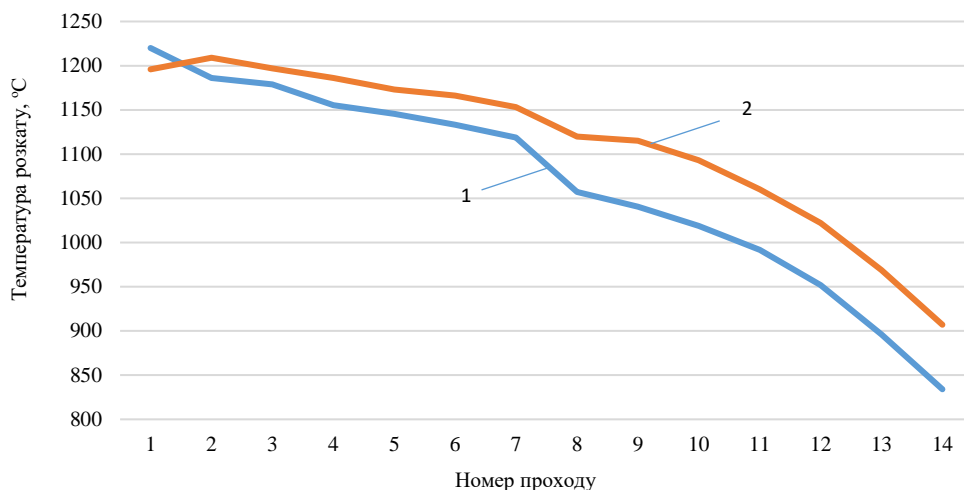
7 – холодильник.

Малюнок 1 – Схема технологічної лінії з виробництва листового прокату на заводі Trametel

Для розробки технології, було виконано перевірку розробленої математичної моделі технологічного процесу прокатки [2], яку буде використано задля подальших розрахунків.

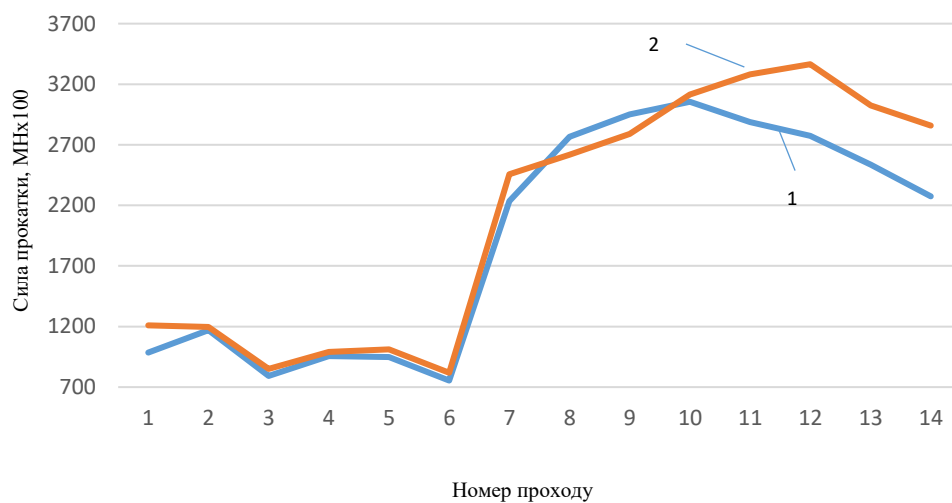
Перевірку було виконано на фактичних даних з температури та сили прокатки, які були отримані при прокатці листів розмірами 5x3125x12000 мм зі сталі А320, сляб №1TL5800906 з фактичними розмірами 217x1355x780 мм.

Результати моделювання наведені на малюнках 2,3.



Малюнок 2 – Змінення розрахованої (1) та фактичної (2) температури по проходах в кліті 3200

Середня похибка при моделюванні температурного режиму прокатки склала 4,3%, при моделюванні сили прокатки - 7,9%. Слід зазначити, що достатньо великі похибки по силі прокатки у проході №1 пов'язані зі зміною температурі металу після гідросбиву окалини у камері (2), малюнок 1, а у проходах №№11-14 отримані у наслідок впливу переохолоджених торців прокату, які не враховувались при моделюванні, внаслідок відсутності фактичних даних по температурі цих ділянок. Підтвердженням впливу переохолоджених торців є одностороннє перевищення фактичної сили прокатки у проходах №№ 11-14.



Малюнок 3 – Змінення розрахованої (1) та фактичної (2) сили прокатки по проходах в кліті 3200

Результати розрахунку для перевірки математичної моделі наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати перевірконого розрахунку математичної моделі

№ проходу	H, мм	h, мм	B, мм	Температура прокатки, °C			Сила прокатки, MNx100			
				розрахунок	факт	Δ, %	розрахунок	факт	Δ, MNx100	Δ, %
1	217	182,16	1387	1220,0	1196	-2,0	985,3	1209,3	224,0	18,5
2	182,16	146,41	1387	1186,1	1209	1,9	1169,4	1196,9	27,5	2,3
3	146,41	123,64	1200	1178,9	1197	1,5	792,2	849,9	57,7	6,8
4	123,64	98,83	1200	1155,4	1186	2,6	956,7	991,1	34,4	3,5
5	98,83	77,47	1200	1145,5	1173	2,3	948,0	1010,8	62,8	6,2
6	77,47	64,0	1200	1133,2	1166	2,8	754,3	818,5	64,2	7,8

7	64,0	50,2	3146	1118,9	1153	3,0	2234,2	2457,9	223,7	9,1
8	50,2	37,58	3146	1057,1	1120	5,6	2765,7	2618,7	-147,0	-5,6
9	37,58	26,56	3146	1040,6	1115	6,7	2949,7	2788,9	-160,8	-5,8
10	26,56	17,85	3146	1018,9	1093	6,8	3055,0	3113,7	58,7	1,9
11	17,85	12,09	3146	991,7	1060	6,4	2887,5	3280,4	392,9	12,0
12	12,09	8,42	3146	951,7	1022	6,9	2773,8	3365,1	591,3	17,6
13	8,42	6,36	3146	895,9	969	7,5	2535,9	3025,7	489,8	16,2
14	6,36	5,22	3146	834,0	907	8,0	2274,4	2857,3	582,9	20,4
	Середня похибка					4,3				7,9

В таблиці 2, «Н» та «h» - це товщина розкату до та після проходу в кліті, «В» - ширина прокату.

Таким чином, отримані похибки температури та сили прокатки дозволяють виконати моделювання технології для стану 3200 заводу Tgametal.

Слід зазначити, що при максимальній силі прокатки 40МН, фактична сила не перевищує 33,6 МН, що свідчить про наявність резерву, який можливо використати.

Перевірка необхідної потужності головних двигунів через середньоквадратичні моменти показала наявність суттєвого резерву, при сумарній потужності двох двигунів 7000кВт, фактична потужність при прокатці розрахованого сортаменту не перевищила 2900 кВт.

На основі виконаного аналізу пропонується декілька варіантів технології виробництва прокату.

Розробка технології виробництва листового прокату розмірами 4x3125x16000 мм зі слябів товщиною 220 мм сталі марки А320 (аналог марки S355 згідно з вимогами стандарту EN 10025-2) здійснювалась для умов стану 3200 заводу Tgametal.

Хімічний склад сталі, яка використовується, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

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
	не більш, або в межах															
A320	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

З метою мінімізації змін до існуючого регламенту роботи обладнання стану 3200 заводу Tgametal при проектуванні технології розрахований рівень енергосилових параметрів тримався на рівні, який фактично використовується згідно до існуючої технології.

Перший варіант технології

Розбивка розкату до отримання необхідної ширини готового прокату виконується однаково у всіх варіантах.

У всіх варіантах початкова температура прокатки складає 1220 °С. Товщини та ширини в таблицях вказані у гарячому стані.

Результати розрахунку наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахунок режимів прокатки листів розмірами 4x3125x16000, варіант 1

№ проходу	H, мм	h, мм	B, мм	Температура прокатки, °С	Час паузи, с	Швидкість, м/с	Сила прокатки, МНх100
1	219,4	180	1373	1220	58	1,92	1079,2
2	180	146	1373	1175	6	2,00	1177,7
3	146	125	1200	1168	30	2,11	787,9
4	125	98	1200	1138	6	2,23	1105,0
5	98	77	1200	1130	6	2,27	1019,8
6	77	63	1200	1117	6	2,34	851,1
7	63	48	3181	1104	30	2,11	2629,9
8	48	36	3181	1047	6	2,23	2955,9
9	36	26	3181	1031	7	2,31	3036,4

10	26	18	3181	1001	7	2,50	3251,4
11	18	12	3181	970	6	2,73	3417,3
12	12	8,2	3181	930	6	2,88	3304,9
13	8,2	5,8	3181	873	6	3,23	3412,7
14	5,8	4,6	3181	801	6	3,42	3016,6
15	4,6	4	3181	720	6	3,54	2683,5

Перший варіант характеризується використанням часу пауз, який звичайно використовуються при прокатці на стані 3200.

Сила прокатки у проходах №11 та №13 з урахуванням додаткового підвищення до 600МНх100, від впливу переохолоджених торців, наближується до максимальної сили згідно характеристик стану, що становить певний ризик.

Температура закінчення прокатки становить 720 °С, що відповідає умовам контрольованої прокатки або прокатки ТМСП, 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 товстостілових станах гарячої прокатки, наприклад, на стані 3600 МК «АЗОВСТАЛЬ», та стані 3000 «ММК «ИМЕНІ ІЛЛЧА». Також часткове зниження часу пауз (до 29 с та 20 с замість 58 с та 30 с відповідно) між проходами підтверджене фактичними даними при прокатці листів товщиною 4,5х2585мм зі сляба товщиною 150 мм на стані 3200 заводу Trameal.

Результати розрахунку наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Розрахунок режимів прокатки листів розмірами 4х3125х16000, варіант 2

№ проходу	H, мм	h, мм	B, мм	Температура прокатки, °С	Час паузи, с	Швидкість, м/с	Сила прокатки, МНх100
1	219,4	180	1373	1220	10	1,92	1079,2
2	180	146	1373	1210	5	2,00	1065,7
3	146	125	1200	1203	10	2,11	712,8
4	125	98	1200	1188	5	2,23	954,2
5	98	77	1200	1179	5	2,27	882,2
6	77	63	1200	1165	5	2,34	737,6
7	63	48	3181	1151	10	2,11	2280,0
8	48	32	3181	1122	5	2,23	2909,9
9	32	20	3181	1102	5	2,31	2923,9
10	20	12	3181	1063	5	2,50	2979,1
11	12	7,5	3181	1013	5	2,73	2837,0
12	7,5	5	3181	934	5	2,88	2926,9
13	5	4	3181	826	5	3,23	2493,7

За рахунок зменшення часу пауз вдалось підвищити температуру металу по проходах, що призвело до зниження сили прокатки.

Зниження навантаження по проходах дозволило оптимізувати увесь режим прокатки шляхом зменшення кількості проходів до 13-ти, та отримати температуру закінчення прокатки на рівні 826 °С.

Сила прокатки в усіх проходах з урахуванням додаткового підвищення до 600МНх100 від впливу переохолоджених торців не перевищує максимальної сили згідно характеристик стану.

Такий варіант дозволяє виробляти прокат без технологічних обмежень, тобто по технології гарячої, нормалізуючої, контрольованої прокатки або ТМСП 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 α -заліза, залежно від вимог.

Висновки

-
1. В роботі виконано перевірку розробленої математичної моделі на фактичних даних, отриманих на стані 3200 заводу Trametel. Середня похибка при моделюванні температурного режиму прокатки склала 4,3%, при моделюванні сили прокатки 7,9%.
 2. Показана принципова можливість використанні слябу товщиною 220 мм замість слябу товщиною 150 мм для виробництва прокату товщиною 4 мм.
 3. Розроблена технологія прокатки листів розмірами 4x3125x16000 мм зі слябу розмірами 217x1355x780 мм, яку можливо використовувати для виробництва прокату згідно зі способом гарячої, нормалізуючої, контрольованої або ТМСП технології, та не обмежує існуючий марковий сортамент.

Література

1. Старченко Д.И. Динамика продольной прокатки: Учебное пособие. / Д.И. Старченко. – К.: ИСИО, 1994. – 400с.
Starchenko D.I. Dinamika prodol'noj prokatki: Uchebnoe posobie. / D.I. Starchenko. – К.: ISIO, 1994. – 400s.
2. Курпе А.Г. Моделирование технологического процесса прокатки толстых листов на стане 3600 ОАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.16.05 / ФГУП ЦНИИЧермет имени И.П. Бардина – М., 2006. – 23с.
Kurpe A.G. Modelirovanie tehnologicheskogo processa prokatki tolstyh listov na stane 3600 ОАО «МК «AZOVSTAL»: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk: 05.16.05 / FGUP CNIIChermet imeni I.P. Bardina – М., 2006. – 23s.
3. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Производство горячекатаных листов и полос: Справочное издание в 2-х книгах / Ю.В. Коновалов. – М.: «Теплотехник», 2008. Книга 1. – 640 с.
Konovalov Ju.V. Spravochnik prokatchika. Proizvodstvo gorjachekatanyh listov i polos: Spravochnoe izdanie v 2-h knigah / Ju.V. Konovalov. – М.: «Teplotehnik», 2008. Kniga 1. – 640 s.
4. Duk Man Lee. Applications to improve rolling force prediction ability in a plate mill / Duk Man Lee // Automation in Mining. Mineral and Metal Processing. – Nancy, France. – 2004. – P. 65-70. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)31001-7](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)31001-7)
5. HU Xian-lei. Optimization of Holding Temperature and Holding Thickness for Controlled Rolling on Plate Mill / HU Xian-lei, ZHAO Zhong, WANG Jun, WANG Zhao-dong, LIU Xiang-hua, WANG Guo-dong // Journal of iron and steel research, International. – 2006. 13(3). P. 21-25. [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 / John G. Lenard. – Elsevier Ltd. – 2007. Chapter 3. – P. 36-98. <https://doi.org/10.1016/B978-008045319-4/50005-X>
7. Mantyla P. Improved Thickness and Shape Accuracy with Advanced Pass Scheduling in Plate Rolling / P. Mantyla, R. Korhonen, N-G Jonsson // Journal of Materials Processing Technology. Elsevier. – 1992. 34. – P. 255-263. [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(92\)90115-9](https://doi.org/10.1016/0924-0136(92)90115-9)
8. QI Xiang-dong. Optimization of Pass Schedule in Hot Strip Rolling / QI Xiang-dong, WANG Tao, XIAO Hong // Journal of Iron and Steel Research, International. – 2012. 19(8). – P. 25-28. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60135-6](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60135-6)
9. S. Yue. 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. <https://doi.org/10.1016/B978-008044024-8/50011-4>
10. Yuen W.Y.D. The modelling of the mechanics of deformation in fiat rolling / W.Y.D. Yuen, A. Dixon, D.N. Nguyen // Journal of Materials Processing Technology. – 1996. 60. – P. 87-94. [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(96\)02312-6](https://doi.org/10.1016/0924-0136(96)02312-6)
11. ZHANG Jin-ling. Prediction of Velocity and Deformation Fields During Multipass Plate Hot Rolling by Novel Mixed Analytical-Numerical Method / ZHANG Jin-ling, CUI Zhen-shan // Journal of Iron and Steel Research, International. – 2011. 18(7). – P. 20-27. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(11\)60085-X](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(11)60085-X)

Purpose. Process development for production of 4 mm thickness plate produced of as-cast slabs of 220mm thickness instead of slabs of 150 mm thickness for rolling mill 3200 at Metinvest Trametel SpA.

Methodology. The technological process is developed using the mathematical model of the rolling technological process.

Findings. The technology of rolling plates with dimensions 4x3125x16000 mm from the slab with dimensions 217x1355x780 was developed.

Originality. 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.

Practical value. The possibility to implement for production of slabs of thickness 220mm instead of slabs of thickness 150mm.

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