

УДК 621.771.23/.237

О.Г. КУРПЕ
ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ», м. Маріуполь
В.В. КУХАР
ДВНЗ «Призовський державний технічний університет»

ОСВОЄННЯ ВИРОБНИЦТВА ПРОКАТУ ТОВЩИНОЮ 1,2 ММ НА СТАНІ 1700 ПРАТ «ММК ІМЕНІ ІЛІЧА»

В роботі розроблена технологія та підтверджена технічна можливість виробництва надтонких рулонів розмірами 1,2×1000 мм з низьковуглецевих марок сталі в умовах існуючого обладнання стану 1700. Попередньо виконані розрахунки дозволили оцінити технічну можливість використання обладнання стану 1700 та розробити технологію. Вироблена дослідна партія надтонких рулонів розмірами 1,2×1000 мм, що відповідає вимогам EN 10111 до сталі марки DD11 та EN 10051 у допусках по товщині до прокату з низьковуглецевих марок сталей та нормальними відхиленнями по площинності (якщо продукція буде вироблятися у листах), а також іншим аналогам вказаних стандартів. Отримані за результатами прокатки технічні та технологічні параметри є такими, що порівнюються з попереднім розрахунком, та підтверджують можливість подальшого засвоєння та розширення виробництва надтонкого сортаменту рулонів на стані 1700.

Ключові слова: надтонкий рулони, гарячекатані рулони, технологія прокатки, стан 1700, розширення сортаменту

O.H. KURPE
METINVEST HOLDING, LLC, Mariupol, Ukraine
V.V. KUKHAR
Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine

PRODUCTION DEVELOPMENT FOR HOT-ROLLED THIN COILS OF 1,2 MM THICKNESS AT ROLLING MILL 1700, PJSC "ILYICH IRON AND STEEL WORKS"

In the paper, the technology has been developed and the technical capability has been proved for production of ultra thin coils (1.2×1000 mm in sizes) from low-carbon steel grades utilizing the existing equipment at 1700 mill. The relevance of the production development for hot-rolled coils of 1,2 mm thickness at rolling mill 1700 PJSC "ILYICH IRON AND STEEL WORKS" is conditioned upon plans for product mix expansion for production of substituted upon export products, including those that correspond to EU standards requirements. Previously products of thickness less than 1,5 mm were produced by cold-rolling technology at domestic enterprises. Preliminary calculations have made it possible to evaluate the technical possibility of 1700 mill equipment utilization and to develop the technology. The pilot batch has been produced within negative allowance range and has lens cross-section, that corresponds to the majority of the requirements of further processors. During the next stages of ultra thin coils product mix implementation, the automatic rolling process may be improved taking into account the accumulated statistical information, and by introduction of changes to the system of the rolling process adjustment within the finishing train. A pilot batch of ultrathin coils (1.2×1000 mm) has been produced, and it meets the requirements of EN 10111 for steel grade DD11 and EN10051 for thickness tolerances of rolled products produced of low-carbon steel grades and normal flatness deviations (if products are to be produced in plates), and it is also in conformity with other standards similar to the abovementioned. The technical and technological parameters obtained after rolling are comparable with the preliminary calculations and confirm the possibility of further development and expansion of ultra thin coils product-mix production at 1700 mill, both as for coils width increase and expanding of steel grades mix with improvement of the strength grade.

Keywords: ultra thin coils, hot-rolled coils, rolling technology, 1700 mill, expansion of the product-mix.

Вступ

Спроби знизити собівартість прокатної продукції кінцевих переробників призвели до появи на ринку великого споживчого сектору надтонкого рулонного гарячекатаного прокату. Класифікація терміну «надтонкий сортамент» може відрізнятися на різних підприємствах. У більшості випадків до такої продукції відносяться гарячекатані рулони товщиною менше ніж 1,5 мм.

Суттєве зниження собівартості кінцевої продукції забезпечується за рахунок заміни переробниками холоднокатаного прокату на гарячекатаний. Таким чином, з ланки формування собівартості та ціни вилучається цілий холоднокатаний переділ. Раніше товщини менші ніж 1,5 мм вироблялися тільки способом холоднокатаної прокатки. Але і досі є кінцева продукція, яка виробляється тільки з холоднокатаного прокату з огляду на деякі його індивідуальні властивості.

Слід зазначити, що більшість станів у світі, які були побудовані з 1970 по 2000 роки, мають можливість виробляти гарячекатані рулони товщиною до 1,2 мм, а деякі стани мають можливість прокатування рулонів товщиною до 0,8 мм [1–6]. В той час як раніше мінімальна товщина гарячекатаних рулонів, яку можна було прокатати, становила 1,5 мм [7].

Таким чином, більшістю металургійних компаній у світі [1, 2] засвоєне виробництво надтонкого рулонного гарячекатаного прокату.

На теперішній час такий сортамент рулонів є розповсюдженим видом продукції. У зв'язку з чим в літературних джерелах майже відсутня інформація по рекомендаціях та технологічних особливостях засвоєння надтонкого сортаменту гарячекатаних рулонів.

Слід зазначити, що в нашій країні рулони товщиною менше ніж 1,5 мм не виробляються [1]. Тому вельми важливим для вітчизняних виробників є заміщення експорту власним виробництвом.

Для засвоєння такої продукції на вітчизняних підприємствах необхідно виконати оцінку технічних можливостей існуючого обладнання та провести ряд технологічних експериментів.

Актуальність розробки технології виробництва гарячекатаних рулонів товщиною до 1,2 мм на стані 1700 ММК «ІМЕНІ ІЛЛІЧА» обумовлена планами по розширенню сортаменту виробництва експортно заміної продукції, у тому числі у відповідності до вимог стандартів ЄС.

Мета

Метою роботи є оцінка технічної можливості, розробка технології та засвоєння виробництва гарячекатаних рулонів товщиною 1,2 мм на стані 1700 ММК «ІМЕНІ ІЛЛІЧА».

Основна частина

Існуюче обладнання стану 1700 на даний час складається з чотирьох методичних печей, три з яких штовхального типу були модернізовані з метою нагріву слябів розмірами до 250×1550×6200 мм. Одна пічка виробництва фірми «Stein Heurtey», Франція, крокуючого типу з можливістю нагріву слябів розмірами до 250×1600×10500 мм. Сляб товщиною 250 мм застосовується тільки в разі редукування на Слябінгу. Чорнова група клітей включає одну кліть «дуо» № 01 (чорновий окалиноломатель) та 5 клітей «кварто» (1–4 та 4а), чотири з яких є універсальними (2–4 та 4а). Також встановлені теплозберігаючі екрани, летючі ножиці. Чистова група складається з 6-х клітей «кварто» (5–10), установки прискореного охолодження, яка в свою чергу складається з 14 секцій та 3-х моталок, дві з яких можуть змотувати рулони вагою до 9 т, а одна, остання по ходу прокатки, може змотувати рулони вагою до 26 т. Слід зазначити, що на стані встановлено 7 гідрозбівів окалини з тиском в межах 80–140 атм.

Схема розміщення основного обладнання стану 1700 наведена на рис. 1.

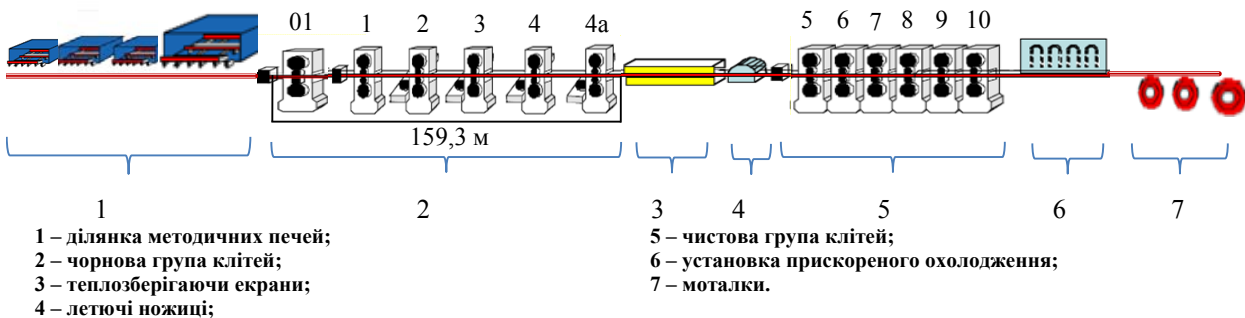


Рис. 1. Існуюча схема розміщення основного обладнання стану 1700

Згідно з проектом та діючою технологією прокатний стан виробляє гарячекатані рулони вагою до 9 т, товщиною від 1,5 до 9 мм, шириною від 1000 до 1530 мм, залежно від сортаменту, з марок від 08пс (відповідно до ГОСТ 1050) до 09Г2С (відповідно до ГОСТ 19281), S355 усіх категорій відповідно до EN 10025-2 та інший аналогічний сортамент, обмежений тимчасовим опором в холодному стані не більше ніж 590 МПа.

За для експерименту по засвоєнню надтонкого сортаменту рулонів був обраний наступний сортамент: розміри 1,2×1000 мм, марка сталі 08пс згідно з ГОСТ 1050 (або її аналог DD11 згідно з EN 10111), який не є проектним, але має високий ринковий попит. В якості заготовки використовувався безперервно литий сляб розмірами 150×1000×6150 мм.

Після декількох ітерацій попереднього розрахунку, за умов забезпечення роботи діючого обладнання в межах проектних навантажень, запропоновано наступний температурно-деформаційний режим прокатки, табл. 1.

Таблиця 1

Температурно-деформаційний режим прокатки рулонів розмірами 1,2×1000 мм на стані 1700

№ кліті	Показчики				
	Товщина*, мм	Температура °С	Сила прокатки, МНх100	Максимально допустима сила прокатки, МНх100	Швидкість прокатки, м/с
0**	150				
01	128	1260	469,4	800	0,85
1	95	1240	771,9	2500	1,26
2	58	1219	998,0	2500	1,63
3	40	1183	736,2	2000	1,78
4	30	1134	627,2	2000	1,78
4а	23	1063	702,9	2000	2,89
5	12	1000	1177,5	2400	1,39
6	5,6	985	1238,5	2400	2,79
7	3,3	963	923,2	2000	4,24
8	2	932	860,3	1800	6,36
9	1,4	888	766,3	1700	8,84
10	1,2	814	432,3	1500	11,31

* товщина після проходу

** початкові дані

Розрахунок виконано при збереженні наступних діючих технологічних умов [8, 9]:

- товщина підкату для чистової групи повинна бути не більш ніж 23 мм з метою утримання температури розкату, а також забезпечення умов обтиску для отримання кінцевої товщини рулонів;
- температура прокатки в кліті 4а не повинна бути нижчою за 1040 °С.

Виконаний розрахунок показує можливість прокатування гарячекатаних рулонів розмірами 1,2×1000 мм зі сталі марки 08пс або її аналогів на стані 1700 без перевищення технічних характеристик обладнання. Також згідно з розрахованим та максимально допустимим рівнем сили прокатки є резерв, завдяки якому можливе подальше розрахування та засвоєння виробництва надтонкого сортаменту гарячекатаних рулонів з більш міцних марок сталі та/або більшої ширини.

З метою підтвердження технічної можливості виробництва згідно розрахунків, наведених в табл. 1, була прокатана дослідна партія рулонів. За результатами прокатки отримані наступні технологічні параметри, табл. 2.

Таблиця 2

Технологічні параметри отримані за результатами прокатки

Показник	Значення
Товщина підкату, мм	23
Температура за кліттю 4а, °С	1082-1075
Температура за кліттю 10, °С	800-770

Отримані значення за результатами прокатки є порівняними та підтверджують достовірність виконаних попередніх розрахунків та обмежень.

Оцінка якості отриманих рулонів виконувалась на підставі порівняння механічних властивостей та геометричних параметрів прокату.

Результати оцінки механічних властивостей та порівняння з вимогами різних стандартів наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Механічні властивості опитної партії рулонів розмірами 1,2x1000 мм

Плавка / вимоги	Марка сталі / категорія	Механічні властивості		
		Межа плинності, МПа	Тимчасовий опір, МПа	Відносне подовження, %
262753-3	08пс	330	395	25
Вимоги ДСТУ 2834 (ГОСТ 16523)	K270B	-	270-410	24
Вимоги EN 10111	DD11	170-360	≤440	22

Таким чином, вироблена партія рулонів за механічними властивостями відповідає вимогам групи міцності K270B згідно з ДСТУ 2834 (ГОСТ 16523) та марки сталі DD11 згідно з EN 10111.

Для оцінки отриманих геометричних розмірів по довжині та ширині смуги один рулон був порізаний на листи розмірами 1,2×1000×2000 мм. Вимір товщини та площинності виконували на кожному десятому листі. Всього з одного рулону порізано 340 листів. Результати вимірів наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Результати вимірів смуги по товщині та ширині

Показник	Виміри товщини по точках, мм					Площинність, мм
	25	40	Середина	-40	-25	
Мінімальне значення	1,02	1,08	1,10	1,02	1,03	3
Максимальне значення	1,18	1,19	1,22	1,20	1,16	14
Середнє значення	1,08	1,12	1,16	1,13	1,09	8,7
Вимоги ГОСТ 19903			1,2+/-0,13(для нормальної точності)			15 (для покращеної площинності в листах)
Вимоги EN 10051			1,2+/-0,13			18 (нормальні відхилення в листах)

Вироблені рулони відповідають вимогам ГОСТ 19903 до прокату нормальної точності по товщині та покращеної площинності (якщо продукція буде вироблятися у листах), а також вимогам EN 10051 по товщині до прокату з низьковуглецевих марок сталей та нормальними відхиленнями по площинності (якщо

продукція буде вироблятися у листах).

Переріз прокатоної смуги, який побудовано на даних по середніх вимірах, наведений на рис. 2.

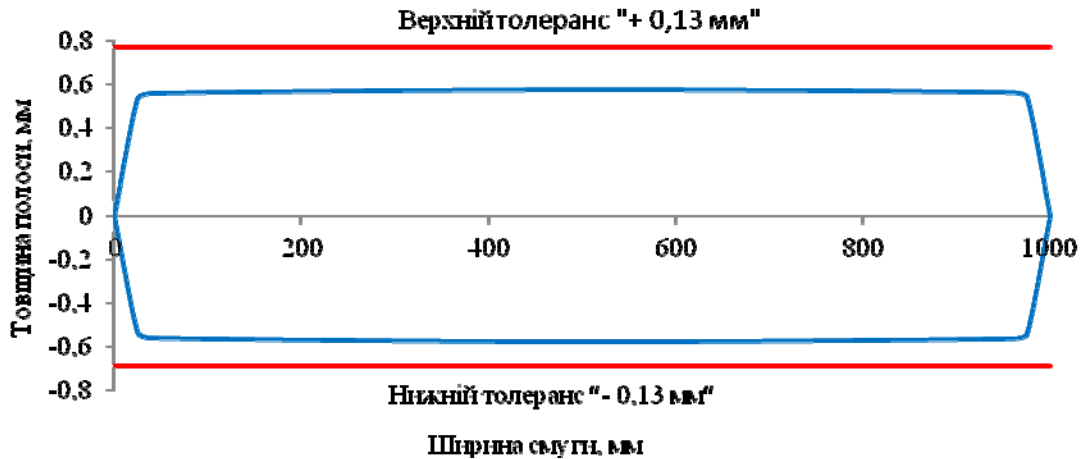


Рис. 2. Переріз прокатоної смуги

Згідно з рис. 2 прокатана смуга має переріз у формі «сочевиці» [10–12], що відповідає більшості вимог подальших переробників продукції. Середня товщина зміщена до мінусового толерансу. Динаміка змінення середньої товщини по довжині смуги наведена на рис. 3.

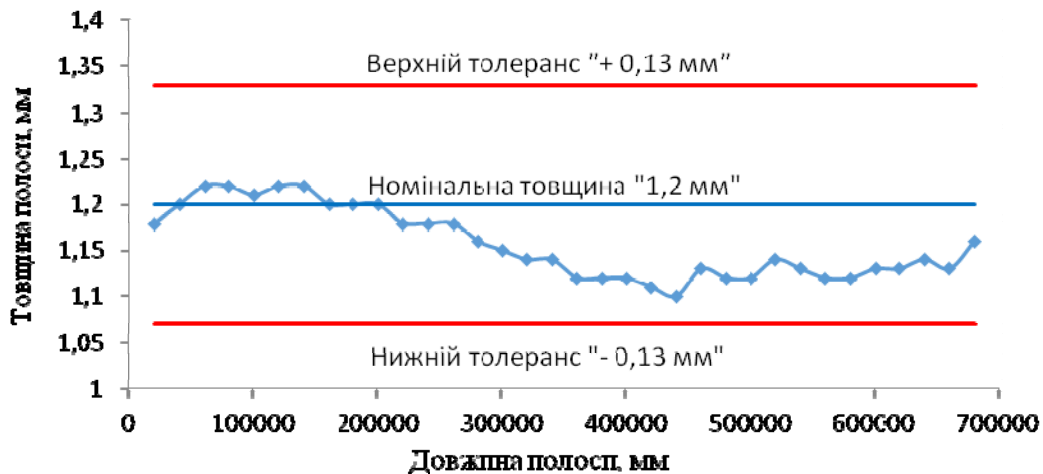


Рис. 3. Графік змінення середньої товщини по довжині смуги

На рис. 3 змінення товщини смуги з номіналу від початку прокатки та її наближення до мінусового толерансу 1,12-1,11 мм майже з середини смуги і до кінця прокатки пов'язане з відпрацюванням системи автоматизації стану та накопичуванням статистичної інформації, яку система отримує в процесі прокатки нового сортаменту. При подальших етапах засвоєння надтонкого сортаменту рулонів автоматичний процес прокатки може бути скорегований внесенням змін до системи регулювання прокаткою в чистовій групі клітей [13, 14].

Висновки

1. Підтверджена технічна можливість виробництва надтонких рулонів розмірами 1,2×1000 мм з низьковуглецевих марок сталі в умовах існуючого обладнання стану 1700.

2. Виконано розрахунок та запропоновані режими прокатки рулонів розмірами 1,2×1000 мм зі сталі марки 08пс згідно з ГОСТ 1050 та її аналогів.

3. Вироблена дослідна партія рулонів розмірами 1,2×1000 мм, що відповідає вимогам EN 10111 до сталі марки DD11 та вимогам EN 10051 до товщини прокату з низьковуглецевих марок сталей та нормальним відхиленням по площинності (якщо продукція буде вироблятися у листах), а також вимогам ДСТУ 2834 (ГОСТ 16523) до групи міцності K270В та ГОСТ 19903 до покату нормальної точності по товщині та покращеної площинності (якщо продукція буде вироблятися у листах), а також іншим аналогам вказаних стандартів.

4. Отримані за результатами прокатки технологічні параметри є такими, що порівнюються з розрахунком, та підтверджують технічну можливість подальшого засвоєння та розширення виробництва надтонкого сортаменту рулонів на стані 1700.

Література

1. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Производство горячекатаных листов и полос : справочное издание в 2-х книгах / Ю.В. Коновалов. – М. : «Теплотехник», Книга 1, 2008. – 640 с.
2. John G. Lenard. Primer on Flat Rolling. / John G. Lenard // *Mathematical and Physical Modelling of the Flat Rolling Process*: Elsevier Ltd, Chapter 3. – 201. – p. 36-98. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-008045319-4/50005-X>
3. Okamoto K. Process Control System of Ultra Thin Strip Production Line at Tangshan Iron and Steel Group Co. in China / K. Okamoto, Y. Wakamiya, N. Shimoda, T.Itoh, Wan Hailong, Liu Wenzhong // *IFAC New Technologies for Automation of Metallurgical Industry*. Shanghai, P.R. China. – 2003. – p. 263–268, DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)37640-1](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)37640-1)
4. Quan-Ke Pan. A mathematic model and two-stage heuristic for hot rolling scheduling in compact strip production / Quan-Ke Pan, Qing-da Chen, Tao Meng, BingWang, Liang Gao // Elsevier, Volume 48. – 2017. – p. 516–533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.03.067>
5. Hiroshi Hirano. Width necking at the rougher in a hot-strip mill / Hiroshi Hirano, Haruhiro Ibata, Hiroshi Kawatani, Ichiro Kokubo // *Journal of Mechanical Working Technology*. Elsevier Scientific Publishing Company. – 1983. – №7. – p. 367–383. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-3804\(83\)90066-9](https://doi.org/10.1016/0378-3804(83)90066-9)
6. W.Y.D.Yuen. The modelling of the mechanics of deformation in flat rolling / W.Y.D.Yuen, A. Dixon, D.N. Nguyen // *Journal of Materials Processing Technology*. – 1996. – p. 87-94. DOI: [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(96\)02312-6](https://doi.org/10.1016/0924-0136(96)02312-6)
7. F.Belgrano. A Mathematical Model to Control a Six Stand Hot Strip Finishing Mill / F.Belgrano, G.Chighizola, F.Delfino, V.Giori, V.Neglia // *IFAC Proceedings Volumes*. – 1980. – p. 283-290. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)64581-6](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)64581-6)
8. Максименко О. П. Теоретический анализ момента при прокатке с натяжением полосы / О. П. Максименко, А. Г. Присяжный, В. В. Кухарь, Е. В. Кузьмин // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. / ДГМА. – Краматорск. – 2017. – № 1 (44). – С. 199–203.*
9. Кухарь В. В. Уточнение методики расчета тепловых потерь металла на непрерывных станах горячей прокатки / В. В. Кухарь, А. Г. Курпе // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. / ДГМА. – Краматорск. – 2018. – № 1 (46). – С. 159–166.*
10. 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)
11. N.Kitao. On-Line Quality Control System in Hot Strip Mill / N.Kitao, A.Urano // *IFAC Proceedings Volumes*. – 1984. – p. 1911-1916. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)61255-2](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)61255-2)
12. Takao Kawanami. Development of high-precision shape and crown control technology for strip rolling / Takao Kawanami, Takashi Asamura, Hiromi Matsumoto // *Journal of Materials Processing Technology*. – 1990. – p. 257-275. DOI: [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(90\)90016-N](https://doi.org/10.1016/0924-0136(90)90016-N)
13. Yoshiharu Anbe. Tension control of a hot strip mill finisher / Yoshiharu Anbe, Kunio Sekiguchi, Hiroyuki Imanari // *13th Triennial World Congress, San Francisco, USA IFAC Proceedings Volumes*. – 1996. – p. 6233–6238. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)58681-4](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)58681-4)
14. Zhong-feng GUO. Shape Setup System for 1700 Hot Strip Mill / Zhong-feng GUO, Jian-zhong XU, Chang-sheng LI, Xiang-hua LIU // *Journal of Iron and Steel Research, International*. – 2007. – p. 27-30. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(07\)60069-7](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(07)60069-7)

Рецензія/Peer review : 26.9.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.9.2018 р.
Прорецензовано редакційною колегією