

ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

УДК 621.771.23.237

doi: 10.31498/2225-6733.37.2018.160226

© Курпе О.Г.¹, Кухар В.В.²**СИНХРОНІЗАЦІЯ РОБОТИ КЛІТЕЙ ЧОРНОВОЇ ГРУПИ
СТАНУ 1700 ПРАТ «ММК ІМ. ІЛІЧА»**

В роботі розроблена технологія синхронізації клітей чорнової групи стану 1700 за рахунок розподілу режимів обтиску. Розроблена технологія дозволяє збільшити вагу рулонів на проміжному етапі реконструкції стану 1700 з 9 т до 15,83 т. Виконано розрахунок максимальної довжини слябу товщиною 150 мм, яка становить 9320 мм і яку можна використовувати для впровадження технології синхронізації на стані 1700. Подальше збільшення довжини слябу призведе до необхідності додаткової синхронізації роботи клітей №№ 2-3-4. Виконано розрахунок необхідної потужності двигунів синхронізованих клітей з врахуванням навантаження під час знаходження розкату одночасно у двох клітях. Необхідна потужність двигунів не перевищила встановлене проектом обмеження у 8000 кВт.

Ключові слова: синхронізація клітей, режим обтиску, гарячекатані рулони, технологія прокатки, стан 1700.

Курпе А.Г., Кухарь В.В. Синхронизация работы черновой группы стана 1700 ЧАО «ММК ИМ. ИЛЫЧА». Разработана технология синхронизации клетей черновой группы стана 1700 за счет распределения режимов обжатия. Разработанная технология позволяет увеличить вес рулонов на промежуточном этапе реконструкции стана 1700 с 9 т до 15,83 т. Выполнен расчет максимальной длины сляба толщиной 150 мм, которая составляет 9320 мм и которую можно использовать для внедрения технологии синхронизации на стане 1700. Дальнейшее увеличение длины сляба приведет к необходимости дополнительной синхронизации работы клетей №№ 2-3-4. Выполнен расчет необходимой мощности двигателей синхронизированных клетей с учетом нагрузки во время нахождения раската одновременно в двух клетях. Необходимая мощность двигателей не превысила установленное проектом ограничение в 8000 кВт.

Ключевые слова: синхронизация клетей, режим обжима, горячекатаные рулоны, технология прокатки, стан 1700.

O.H. Kurpe, V.V. Kukhar. Synchronization of the roughing group stands at the 1700 rolling mill at PJSC «ILYICH IRON AND STEEL WORKS OF MARIUPOL». The constant increase in consumers' requirements as well as continuous upgrading made by the leading manufacturers of steel products form the target proper quality of steel products. At present the requirements on the steel products have already exceeded the standards requirements. So, the increased requirements on the hot-rolled coils may include the limitation on the minimal weight. For example, some manufactures utilize coils weighing from 18 t to 30 t. Limitation on telescoping, for example, must not exceed 20 mm or 10 mm; limitation on width tolerance must not exceed 1/2-1/4 of standard requirements; the requirements on mechanical properties are increased as well. Within the current operating conditions of the 1700 mill the short distance between the roughing group stands is the significant tech-

¹ канд. техн. наук, ТОВ «Метінвест холдінг», м. Маріуполь, aleksandr.kurpe@gmail.com

² д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, kvv.mariupol@gmail.com

nical limitation in coils weight increase. Thus, the weight of coils can be increased after synchronization of speed parameters of the roughing group stands. In this paper, the technology of synchronization of the roughing group stands at the 1700 rolling mill has been designed due to the roughing schedule distribution. The developed technology makes it possible to increase the weight of coils from 9 tons to 15,83 tons for the intermediate stage of the 1700 mill reconstruction. The calculation of the maximum length for 150 mm thickness slab has been performed and it makes 9320 mm. This length can be used for the implementation of the synchronization technology at the 1700 mill. Further increase in slab length will result in the necessity of additional operation synchronization of stands №№ 2-3-4. The required motors output calculation of the synchronized stands has been performed taking into account the load while the slab is within the two stands simultaneously. The required motor output has not exceeded the designed limit in 8000 kW.

Keywords: stands synchronization, roughing, hot rolled coils, rolling technology, the 1700 rolling mill.

Постановка проблеми. Постійне підвищення вимог споживачів та покращення якості ведучими світовими виробниками металопродукції в комплексі формує цільові показники та світовий тренд якості прокату. В даний час вимоги до металопродукції вже перевищили вимоги стандартів на їх виробництво. Так, до підвищених вимог до гарячекатаних рулонів можна віднести обмеження мінімальної ваги, наприклад, деякі переробники використовують рулони вагою від 18 т до 30 т, обмеження телескопічності, наприклад, не більше 20 мм або 10 мм, обмеження толерансу по товщині від $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{4}$ вимог стандартів, підвищені вимоги до механічних властивостей та інші.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задля відповідності високому рівню продукції вітчизняні виробники прокату впроваджують різноманітні заходи, проводять модернізацію обладнання та засвоюють новітні технології, які здатні забезпечити ці вимоги.

У всьому світі широко застосовуються системи синхронізації розливки та гарячої прокатки, які розроблені для різноманітних цілей [1-4]. Комплексні системи синхронізації, запропоновані авторами робіт [1, 2], спрямовані на зменшення собівартості прокату, зниження додаткових витрат, підвищення продуктивності виробництва. Локальні системи синхронізації спрямовані на зниження витрат на паливо, наприклад, на 20%, як запропоновано в роботі [3], автоматичне планування виробництва та інше.

Особливу цікавість становить робота [4], в якій автори запропонували рішення по керуванню (комплексна синхронізація роботи прокатного стану) обладнанням задля здійснення технології безперервної гарячекатаної прокатки рулонів. Також окрему цікавість становить робота [5], в якій запропоновані рішення по синхронізації роботи двигунів, у тому числі на безперервних станах. Ці рекомендації безумовно мають місце при їх впровадженні на відповідному обладнанні. Застосувати ці рекомендації до існуючого обладнання стану 1700 ММК ім. Ілліча з наявністю двигунів із різною постійною швидкістю обертання неможливо, тож синхронізацію потрібно впроваджувати іншими способами.

Таким чином, різноманітні розробки авторів по синхронізації комплексів ливарно-прокатного виробництва чи окремого обладнання прокатних ліній мають унікальні особливості, які не завжди можуть бути застосовані до існуючого обладнання інших виробників.

Актуальність впровадження технології прокатки з синхронізацією клітей для стану 1700 ММК ім. Ілліча обумовлена необхідністю збільшення ваги рулонів більш ніж 9,0 т на проміжному етапі модернізації стану, в умовах діючого обладнання.

Мета статті. Метою роботи є розробка технології прокатки з синхронізацією клітей чорнової групи стану 1700 ММК ім. Ілліча, що забезпечить виробництво рулонів вагою більш ніж 9,0 т.

Виклад основного матеріалу. 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 окаліноломатель) та 5 клітей «кварти» (1-4 та

4а), чотири з яких є універсальними (2-4 та 4а), теплосберігаючі екрани, летючі ножиці. Всі кліті чорнової групи приводяться до дії асинхронними двигунами з постійною швидкістю обертання. Чистова група має 6-ть клітей «кварто» (5-10), а також установку прискороного охолодження, яка 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 27 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.

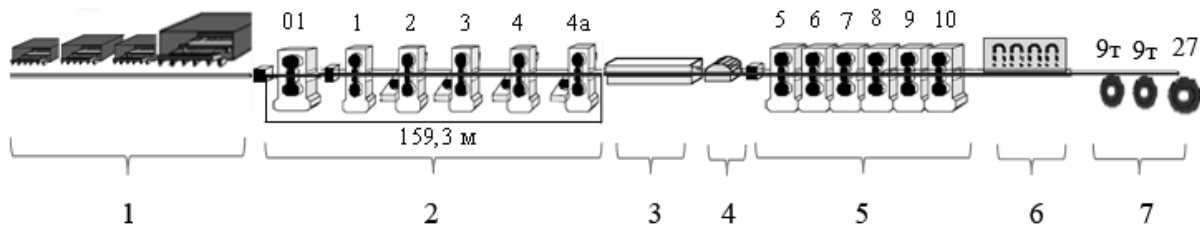


Рис. 1 – Існуюча схема розміщення основного обладнання стану 1700: 1 – ділянка методичних печей; 2 – чорнова група клітей; 3 – теплосберігаючі екрани; 4 – летючі ножиці; 5 – чистова група клітей; 6 – установка прискороного охолодження; 7 – моталки

В умовах діючого стану 1700 відбувається поетапна модернізація основного обладнання. На даний час вже розпочала роботу пічка для нагрівання слябів довжиною до 10500 мм та встановлена моталка для рулонів вагою до 27 т, що є першим етапом модернізації. Другим етапом модернізації є заміна клітей чорнової групи на реверсивну чорнову кліть. Період часу між двома етапами становить від одного до двох років. Тож дуже важливо у цей перехідний час налагодити виробництво рулонів вагою більшою ніж 9 т.

Цільові вимоги до рулонів після модернізації стану 1700 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Цільовий сортамент стану 1700 після модернізації

Марка сталі	Нормативний документ	Межа плинності, МПа	Тимчасовий опір, МПа	Розміри, мм	Вага, т
DD11-DD14	EN 10111	≥170	≤440	1,2-12,7×900-1600	до 32**
-----	-----	-----	-----		
S460MC	EN 10149-2	≥460	520-670		
X70	API-5L*	485-635	570-760		

* – мається на увазі вимоги до прокату для виготовлення труб по стандарту API-5L;

** – максимальна вага рулонів;

позначкою «-----» вказана наявність проміжного сортаменту.

Суттєвим технічним обмеженням збільшення ваги рулонів є мала відстань між клітьми 01 та 1, яка не дозволяє збільшити довжину слаба до 10500 мм. Існуючі відстані між клітьми чорнової групи наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Відстань між клітьми чорнової групи стану 1700

№ кліті	01	1	2	3	4	4а
Відстань між клітьми, мм	10150	18500	22980	35420	53000	87000
Швидкість прокатування, м/сек	0,84	1,27	1,35	1,74	1,74	2,9

В таблиці 2 відстань між клітьми є відстанню між вказаною та наступною прокатною кліттю. Наступним обмеженням є неможливість керування швидкістю прокатування, яка є постійною по клітях згідно з проектом, таблиця 2.

Таким чином, в існуючих умовах збільшити вагу рулонів можливо тільки синхронізацією швидкісних параметрів клітей чорнової групи. При цьому необхідно розрахувати довжину сляба, який можна використовувати, з метою синхронізації тільки двох клітей. Використання для цієї технології більшої кількості клітей обмежена їх силовими характеристиками, які не дозволяють витримати необхідний режим деформації.

Розрахунок режимів прокатки розкатів з синхронізацією у чорнової групі виконувався для найбільш важкого сортаменту, таблиця 3.

Таблиця 3

Сортамент розкатів після чорнової групи стану 1700

Переріз розкату після чорнової групи, мм	Марка сталі	Стандарт на марку
23×1500	S355	EN 10025-2

Загальними умовами розрахунку було дотримання встановлених технологічних та експлуатаційних параметрів обладнання.

На підставі розрахунку [6, 7] отримали наступні показники, таблиця 4.

Таблиця 4

Технологічні та експлуатаційні показники режиму синхронізації клітей чорнової групи стану 1700

№ кліті	Показники									
	Товщина*, мм	Довжина розкату**, мм	Відстань між клітями, мм	Швидкість перед кліттю, м/с	Швидкість за кліттю, м/с	Температура, °С	Розрахована сила прокатки, ×10 ² МН	Максимальна сила прокатки, ×10 ² МН	Розрахована необхідна потужність двигуна, кВт	Проектна потужність двигунів, кВт***
0****	150	9320								
01	132	10550	10150	0,74	0,85	1260	672	800	1215,7	2×4000
1	95	14660	18500	0,91	1,26	1238	1400	2500	4791,4	
2	62	22470	22980	0,89	1,37	1218	1540	2500	5400,5	
3	42	33170	35420	1,21	1,79	1180	1312	2000	5123,5	
4	29	48030	53000	1,24	1,80	1132	1266	2000	4017,1	
4a	23	60560	87000	2,33	2,93	1048	1105	2000	3940,9	

* – товщина після проходу;

** – розмір вказано у гарячому стані;

*** – початкові дані;

**** – на кожній кліті встановлено по два головних двигуни.

Розрахунок синхронізації виконано для кліті № 01 та № 1 при прокатці слябу довжиною 9320 мм. Вага готового рулону становить 15,83 т. Подальше збільшення довжини слябу призведе до необхідності синхронізації роботи клітей № 2-3 та № 3-4, які мають суттєву різницю у швидкостях прокатки.

Перевищення довжини розкату над довжиною міжклітьового проміжку склало 400 мм. Таким чином, розкат знаходився у двох клітях одночасно. Повної синхронізації досягти не вдалось через наближення до максимальної сили прокатки у кліті № 01, табл. 4, та перевищення природнього кута захоплення в кліті № 1. Досягнута швидкість виходу розкату з кліті № 01 – 0,85 м/с, а швидкість входу у кліть № 1 – 0,91 м/с. Таким чином, вдалося зменшити розсинхронізацію з 0,43 м/с, таблиця 2, до 0,06 м/с, таблиця 4.

Слід зазначити, що при неповній синхронізації при прокатці розкату має місце пікове змінення навантаження на двигуни кліті № 01 та № 1, результати розрахунку якого наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Результати розрахунку пікового змінення необхідної потужності двигунів при неповній синхронізації

№ кліті	Розрахована необхідна потужність двигунів, кВт	Пікове змінення необхідної потужності двигунів, кВт	Проектна потужність двигунів, кВт
01	1215,7	1073,2	2×4000
1	4791,4	5266,5	

Пікове змінення необхідної потужності двигунів для кожної кліті отримано шляхом її розрахунку при зменшенні або збільшенні обертів однієї кліті за рахунок іншої, необхідних для повної синхронізації швидкості розкату.

Змінення необхідної потужності двигунів кліті № 01 та № 1 по довжині розкату з урахуванням пікового навантаження під час знаходження розкату одночасно у двох клітях наведено на рис. 2.

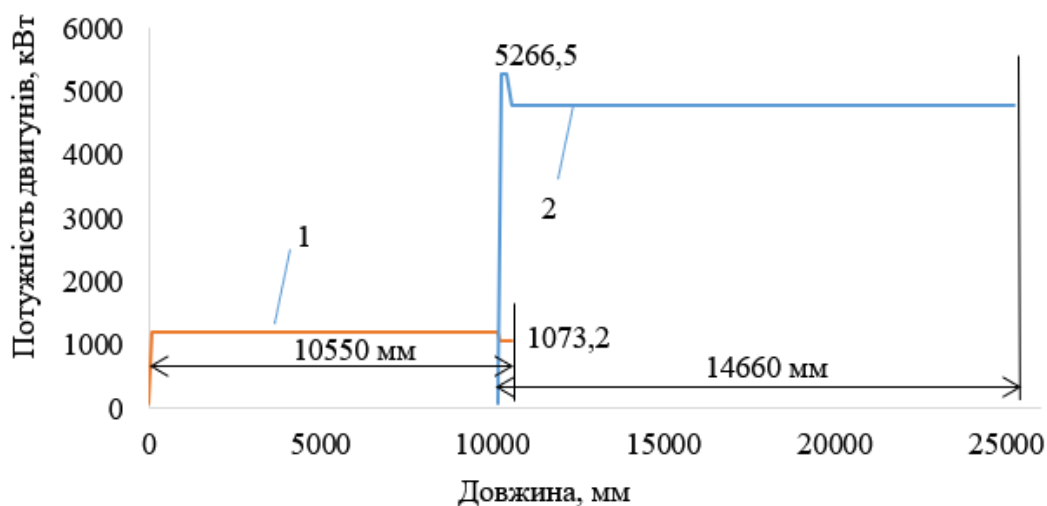


Рис. 2 – Діаграма змінення потужності двигунів кліті № 01 (1) та кліті № 1 (2) по довжині розкату

Таким чином, при синхронізації роботи клітей за рахунок розподілу режиму обтиску пікове навантаження на головні двигуни клітей № 01 та № 1 під час знаходження розкату одночасно у двох клітях не перевищило встановлене проектом обмеження у 8000 кВт, табл. 5.

Висновки

1. Підтверджена можливість впровадження технології синхронізації за рахунок розподілу режимів обтиску у чорновій групі клітей стану 1700.
2. Розроблена технологія дозволяє збільшити вагу рулонів на проміжному етапі реконструкції стану 1700 з 9 т до 15,83 т.
3. Виконано розрахунок максимальної довжини слябу товщиною 150 мм, яка становить 9320 мм, і яку можна використовувати для впровадження технології синхронізації на стані 1700. Подальше збільшення довжини слябу призведе до необхідності додаткової синхронізації роботи клітей №№ 2-3-4.
4. Виконано розрахунок необхідної потужності двигунів синхронізованих клітей з урахуванням навантаження під час знаходження розкату одночасно у двох клітях. Необхідна потужність двигунів не перевищила встановлене проектом обмеження у 8000 кВт.

Перелік використаних джерел:

1. Sun Fuquan. The study and development of production synchronized scheduling system of minimizing the cost flow on steelmaking-hot rolling / Sun Fuquan, Zheng Binglin, Wang Dingwei // *IFAC Low Cost Automation*. – Shenyang, P.R. China – 1998. – Vol. 31. – Pp. 169-172. – Mode of access: DOI: [10.1016/S1474-6670\(17\)36380-2](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)36380-2).
2. Synchronized Scheduling Method in Manufacturing Steel Sheets / Ryoji Tamuraa, Megumi Nagaia, Yoshiyuki Nakagawaa, Takashi Tanizakib, Hiroshi Nakajimac // *International Transactions in Operational Research*. – 1998. – Vol. 5. – Pp. 189-199. – Mode of access: DOI: [10.1016/S0969-6016\(98\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S0969-6016(98)00016-1).
3. Takashi Shikimori. Development of automatic rolling scheduling system for synchronized operation of casting and hot rolling / Takashi Shikimori, Seigo Muto, Osamu Yamaguchi // *IFAC-Papers On Line*. – 2016. – Vol. 49. – Pp. 250-255. – Mode of access: DOI: [10.1016/j.ifacol.2016.10.129](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.129).
4. Coiler control in endless hot strip rolling / T. Motomura, K. Ueda, T. Imazeki, Y. Fukui, K. Yahiro // *IFAC Proceedings Volumes*. – 2005. – Vol. 38. – Pp. 57-62. – Mode of access: DOI: [10.3182/20050703-6-CZ-1902.01688](https://doi.org/10.3182/20050703-6-CZ-1902.01688).
5. De-zong Zhao. Speed Synchronization of Multiple Induction Motors with Total Sliding Mode Control / De-zong Zhao, Chun-wen Llab, Jun Ren // *Systems Engineering – Theory & Practice*. – 2009. – Vol. 29. – Pp. 110-117. – Mode of access: DOI: [10.1016/S1874-8651\(10\)60077-4](https://doi.org/10.1016/S1874-8651(10)60077-4).
6. 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.
7. 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.

References:

1. Sun Fuquan, Zheng Binglin, Wang Dingwei. The study and development of production synchronized scheduling system of minimizing the cost flow on steelmaking-hot rolling. *IFAC Low Cost Automation*, Shenyang, P.R. China, 1998, vol. 31, pp. 169-172. doi: [10.1016/S1474-6670\(17\)36380-2](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)36380-2).
2. Ryoji Tamuraa, Megumi Nagaia, Yoshiyuki Nakagawaa, Takashi Tanizakib, Hiroshi Nakajimac. Synchronized Scheduling Method in Manufacturing Steel Sheets. *International Transactions in Operational Research*, 1998, vol. 5, pp. 189-199. doi: [10.1016/S0969-6016\(98\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S0969-6016(98)00016-1).
3. Takashi Shikimori, Seigo Muto, Osamu Yamaguchi. Development of automatic rolling scheduling system for synchronized operation of casting and hot rolling. *IFAC-Papers On Line*, 2016, vol. 49, pp. 250-255. doi: [10.1016/j.ifacol.2016.10.129](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.129).
4. Motomura T., Ueda K., Imazeki T., Fukui Y., Yahiro K. Coiler control in endless hot strip rolling. *IFAC Proceedings Volumes*, 2005, vol. 38, pp. 57-62. doi: [10.3182/20050703-6-CZ-1902.01688](https://doi.org/10.3182/20050703-6-CZ-1902.01688).
5. De-zong Zhao, Chun-wen Llab, Jun Ren. Speed Synchronization of Multiple Induction Motors with Total Sliding Mode Control. *Systems Engineering – Theory & Practice*, 2009, vol. 29, pp. 110-117. doi: [10.1016/S1874-8651\(10\)60077-4](https://doi.org/10.1016/S1874-8651(10)60077-4).
6. Maksimenko O.P., Prisjazhnyj A.G., Kuhar' V.V., Kuz'min E.V. Teoreticheskij analiz momenta pri prokatke s natjazheniem polosy [Theoretical review of the moment when rolling with stripe pull-up]. *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov DGMA – Materials working by pressure: Umformtechnik DSEA*, 2017, no. 1 (44), pp. 199-203. (Rus.)
7. Kuhar' V.V., Kurpe A.G. Utochnenie metodiki rascheta teplovyh poter' metalla na nepreryvnyh stanah gorjachej prokatki [Specification of the design procedure for metal heat losses at continuous hot rolling mills]. *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov DGMA – Materials working by pressure: Umformtechnik DSEA*, 2018, no. 1 (46), pp. 159-166. (Rus.)

Рецензент: А.Г. Присяжный
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 17.10.2018