

заметных изъянов и осповидности. Это следует из рассмотрения фотографий рис. 3.

На износ калибров валков определенное влияние оказывает также величина зазора между валками. При увеличении этого зазора вероятность сваливания раската в калибре возрастает, что отражается на его выработке.

Выводы. Разработана новая методика изучения износа калибров валков в проволочном блоке, основанная на применении оптического стенда МН1С для настройки проводок. Износ валков по клетям проволочного блока является неравномерным, наиболее подвержены выработке калибры 4-й и 5-й клетей, что может сказаться на точности размеров катанки. На поверхности калибров имеет место абразивный износ, в первых двух клетях он приобретает вид осповидного.

Библиографический список / References

1. Мур Д. Основы и применения трибоники / Д. Мур; перевод с английского канд. физ.-мат. наук С. А. Харламова под редакцией д-ра техн. наук, проф. И. В. Крагельского и канд. техн. наук Г. И. Трояновский. – М.: Мир, 1978. – 487 с.

Mur D. *Fundamentals and Application of Tribonics*, Moscow, 1978, 483 p.

2. Костецкий Б. И. Сопротивление изнашиванию деталей машин / Б. И. Костецкий. – М.: Mashgiz, 1959. – 478 с.

Kostetskiy B. I. *Soprotivleniye iznashivaniyu detalei mashin* [Machine components wear resistance]. Moscow, Mashgiz, 1959, 478 p.

Purpose. Development of method wear sensing roll grooves of high-speed wire block.

Methodology. Wear sensing rolls based on using light-optical method.

Findings. The results of research showed that the mill rolls wear on the stands uneven. The grooves of rolls 4 and 5 stands are most prone to wear, which reaches 0,5–0,6 mm for the campaign of their work.

Originality. Researches on the basis of this method give the possibility to expand understanding process of wear of mill rolls of high-speed wire block.

Practical value. Using the wear data of the wire roll lumps makes it possible to further improve the reduction modes to increase the stability of the rolling rolls.

Key words: rolling, abrasive wear, tungsten carbide roll (TCR), groove, light-optical method, high-speed wire block.

Рекомендована к публикации
д. т. н. В. Ф. Балакиным

Поступила 25.03.2018



УДК 621.771.23

Наука

В. В. Кухар /д. т. н./

О. Г. Курпе /к. т. н./

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, Україна
ПрАТ «ММК «ІМЕНІ ІЛІЧА», МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ, м. Маріуполь, Україна
e-mail: aleksandr.kurpe@metinvestholding.com

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

V. V. Kukhar /Dr. Sci. (Tech.)/

O. G. Kurpe /Cand. Sci. (Tech.)/

Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine
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, Tramet SpA

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

Методика. Технологія розроблена з використанням математичної моделі технологічного процесу прокату.

Результат. Розроблено технологію прокатки листів розмірами 43125×16000 мм зі слябу розмірами 217×1355×780 мм.

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

Практична значущість. Можливість використання для виробництва слябів товщиною 220 мм замість слябів товщиною 150 мм. (Іл. 3. Табл. 4. Бібліогр.: 11 назв).

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

Вступ. Відомо, що товстолистові стани спеціалізуються на виробництві прокату товщиною від 5 мм та більше. Однак попит на ринку вимагає 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 220 мм замість слябів товщиною 150 мм для умов стану 3200 заводу Metinvest Trameal SpA (лідер на Італійському та Європейському ринках товстолистого конструкційного прокату, входить до складу групи METINVEST).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом широкого розвитку набули 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, у праці [4] похибка визначена у силі прокатки та становить у середньому 142 т. Слід відзначити, що вказана похибка залежить від рівня сили прокатки, що можна побачити на графіках, які наведені у дослідженні [4]. Похибка при моделюванні, вказана авторами в праці [10], складає +/-10 %, а в праці [11] похибка складає до 15,6 % у першому проході і далі знижується. Таким чином, немає чітких рекомендацій щодо точності розроблених моделей, але безумовно метою усіх авторів є її підвищення.

Наявність перевіреної моделі задля розробки технології прокатки на будь-якому стані суттєво спрощує цей процес, зменшує технологічні похибки та знижує 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 відзначено авторами праці [5], та дозволяє на етапі проектування керувати часом і температурою в комплексі з товщиною прокату,

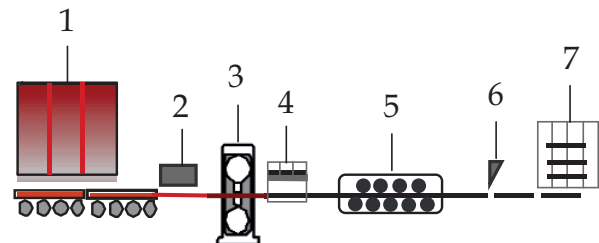
у тому числі в двофазній області, зокрема зменшувати кількість проходів, як наведено авторами [7]. Окремий інтерес дослідженні [7] становить режим прокатки при отриманні листа розмірами 5×3200 мм зі сляба 150 мм, при розрахунку якого виконана оптимізація зі зменшенням кількості проходів з 15 до 13, що дало змогу підвищити температуру закінчення прокатки з 713 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 Trameal обумовлена потребою в розширенні сортаменту, а також недостатнім обсягом слябів товщиною 150 мм.

Виклад основного матеріалу. Основне обладнання лінії стану 3200 заводу Trameal включає методичну шестизонну трирядну штовхальну піч, яка опалюється природним газом, одноклітьовий стан кварто, що має максимальну силу прокатки 40МН, робочі валки діаметром 730–810 мм, потужність головних двигунів 2×3500 КВт, пристрій для проміжного охолодження прокату на повітрі, 12 роликів машина для правки прокату, ножиці для поперечної різки, холодильник для остаточного охолодження прокату.

Схему розміщення основного обладнання на заводі Trameal SpA наведено на рис. 1.



- 1 – штовхальна методична піч;
- 2 – камера гідрозбиву;
- 3 – кліть кварто 3200;
- 4 – пристрій для охолодження підкату на повітрі;
- 5 – машина для правки прокату;
- 6 – ножиці для поперечної різки;
- 7 – холодильник

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

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

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

Перевірку було виконано на фактичних даних щодо температури та сили прокатки, які були отримані при прокатці листів розмірами 5×3125×12000 мм зі сталі А320, сляб № 1ТL5800906 з фактичними розмірами 217×1355×780 мм.

Результати моделювання наведено на рис. 2 і 3.

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

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

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

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

Перевірка необхідної потужності головних двигунів через середньоквадратичні моменти по-

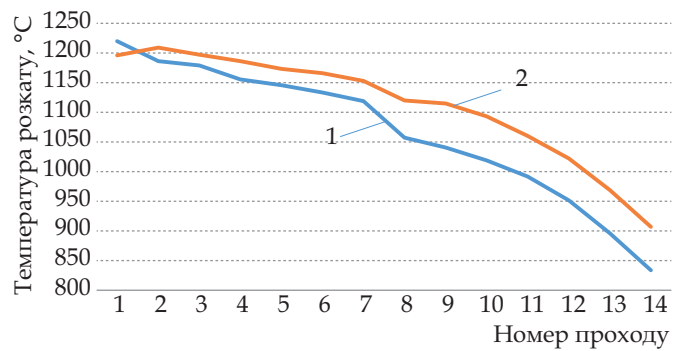


Рис. 2. Зміни розрахованої (1) та фактичної (2) температур за проходками в кліті 3200

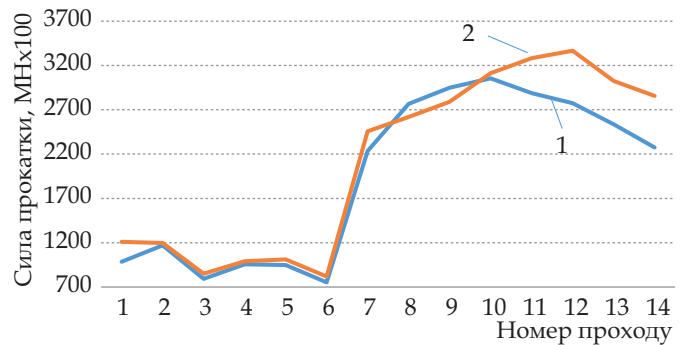


Рис. 3. Зміни розрахованої (1) та фактичної (2) сили прокатки за проходками в кліті 3200

казала наявність суттєвого резерву, при сумарній потужності двох двигунів 7000 кВт фактична потужність при прокатці розрахованого сортаменту не перевищила 2900 кВт.

На підставі виконаного аналізу пропонується кілька варіантів технології виробництва прокату.

Таблиця 1

Результати перевірконого розрахунку математичної моделі

№ проходку	H, мм	h, мм	B, мм	Температура прокатки, °C			Сила прокатки, МН×100				
				Розрахунок	Факт	Δ, %	Розрахунок	Факт	Δ, МН×100	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

Примітка. H та h – це товщина розкату до та після проходку в кліті, B – ширина прокату.

Розробка технології виробництва листового прокату розмірами 4×3125×16000 мм зі слябів товщиною 220 мм сталі марки А320 (аналог марки S355 згідно з вимогами стандарту EN 10025-2) здійснювалася для умов стану 3200 заводу Tramefal.

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

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

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 наведено в табл. 3.

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 600МН×100 від впливу переохолоджених торців наближається до максимальної сили згідно з характеристиками стану, що становить певний 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 варіанта 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 3600 МК «АЗОВСТАЛЬ», та стані 3000 «ММК «ИМЕНИ ЛЛТЧА». 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 4,5×2585мм зі сляба товщиною 150 мм на стані 3200 заводу Tramefal.

Результати розрахунку наведено в табл. 4.

За рахунок зменшення 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 та отримати температуру закінчення прокатки на рівні 826 °С.

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

Таблиця 2

Хімічний склад сталі, з якої виробляється прокат

Марка сталі	Масова частка елементів, %															
	C	Mn	Al	Nb	Si	S	P	Cu	Ni	Cr	V	Mo	Ti	N	B	H
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

Таблиця 3

Розрахунок режимів прокатки листів розмірами 4×3125×16000, варіант 1

№ проходу	H, мм	h, мм	B, мм	Температура прокатки, °С	Час паузи, с	Швидкість, м/с	Сила прокатки, МН×100
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

Розрахунок режимів прокатки листів розмірами 4×3125×16000, варіант 2

№ проходу	H, мм	h, мм	B, мм	Температура прокатки, °С	Час паузи, с	Швидкість, м/с	Сила прокатки, МН×100
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

Такий варіант дозволяє виробляти прокат без технологічних обмежень, тобто за технологією гарячої, нормалізуючої, контрольованої прокатки або ТМСП технологією. 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. 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 використання слябу товщиною 220 мм замість слябу товщиною 150 мм для виробництва прокату товщиною 4 мм.

3. Розроблено технологію прокатки листів розмірами 4×3125×16000 мм зі слябу розмірами 217×1355×780 мм, яку можна використовувати для виробництва прокату згідно зі способом гарячої, нормалізуючої, контрольованої або ТМСП технології та яка не обмежує існуючий марковий сортамент.

Бібліографічний список / References

1. Старченко Д. И. Динамика продольной прокатки: учеб. пособие / Д. И. Старченко. – К.: ИСНО, 1994. – 400 с.

Starchenko D. I. *Dinamika prodol'noj prokatki*. Kiev, ISIO, 1994, 400 p.

2. Курпе А. Г. Моделирование технологического процесса прокатки толстых листов на стане 3600 ОАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05 / А. Г. Курпе; ФГУП

ЦНИИЧермет имени И. П. Бардина. – М., 2006. – 23 с.

Kurpe A. G. *Modelirovanie tehnologicheskogo processa prokatki tolstyh listov na stane 3600 ОАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»»: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehnikeskikh nauk*: 05.16.05. FGUP CNIIChermet imeni I. P. Bardina. Moscow. 2006, 23 p.

3. Коновалов Ю. В. Справочник прокатчика. Производство горячекатаных листов и полос: Справочное издание в 2 кн. / Ю. В. Коновалов. – М.: Теплотехник, 2008. – Кн. 1. – 640 с.

Konovarov Ju. V. *Spravochnik prokatchika. Proizvodstvo gorjachekatanyh listov i polos: Spravochnoe izdanie*. Moscow, Teplotehnik. 2008, book 1, 640 p.

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. 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. <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.

Рекомендована к публикации
д. т. н. В. Ф. Балакиным
Поступила 02.03.2018



УДК 621.771.252

Наука

**В. М. Самохвал /к. т. н./, М. М. Штода /к. т. н./,
С. Ю. Гаврилін /к. т. н./**

Дніпровський державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна
e-mail: volsamokhval@gmail.com;
maksstoda@gmail.com; Sgavrilyn@gmail.com
ПАТ «Дніпровський меткомбінат», м. Кам'янське,
Україна

К. Г. Геймур

Аналіз впливу робочих параметрів гідродинамічних підшипників на точність прокатування в чистових блоках дровових станів

**V. M. Samokhval /Cand. Sci. (Tech.),
M. M. Shtoda /Cand. Sci. (Tech.),
S. Yu. Havrylin /Cand. Sci. (Tech.)/
K. H. Heimur**

Dniprovsk State Technical University, Kamianske,
Ukraine

Dneprovsky integrated Iron and Steel Works,
Kamianske, Ukraine

Analysis of influence of working parameters of hydrodynamic bearings on the accuracy of rolling in finishing blocks of wire states

Мета. Аналіз міри впливу робочих параметрів гідродинамічних підшипників високошвидкісних чистових блоків на точність дроту за умов наявних, технологічно обумовлених, змін параметрів прокатування.

Методика. Основним параметром роботи гідродинамічних підшипників, який використовували для аналізу, була розрахункова мінімальна товщина плівки мастила. Розрахунки цього параметру виконували за стан-