

МЕТАЛУРГІЯ

УДК 621.771.237

Курпе О.Г.

МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ

Кухар В.В.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Шебаніц О.М.

ПрАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА», МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ

ОСВОЄННЯ ВИРОБНИЦТВА ГАРЯЧЕКАТАНИХ РУЛОНІВ ІЗ МАРКИ СТАЛІ В ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИРОБНИЦТВА ТРУБ ЗГІДНО З ВИМОГАМИ API-5L НА СТАНІ 1700 ПРАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА»

В умовах стану 1700 ПрАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА» розроблена технологія та виготовлена способом термомеханічної контрольованої прокатки партія гарячекатаних рулонів розмірами 4,7x1190 мм та 5,7x1190 мм зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб за стандартом API-5L. У розробленій технології застосоване контрольоване повітряне охолодження рулонів до температури 450°C після змотування, що забезпечує зменшення товщини шару повітряної окалини та покращує якість поверхні, у тому числі при подальшому виготовленні електрозварних труб.

Ключові слова: термомеханічна контрольована прокатка, гарячекатані рулони, стандарт API-5L, сталь марки В, технологія.

Постановка проблеми. Видобуток вуглеводнів та їх транспортування є великим сегментом світової економіки, який потребує надвеликих ресурсів. Значна частина витрат йде на будівництво нафтогазотранспортних систем. Зниження їх металоємності є, безумовно, надважливим комплексним питанням, яке охоплює цілу низку інститутів, починаючи з проектування транспортних систем, забезпечення їх зварними трубами і закінчуючи змогою металургійних виробників забезпечити встановлені вимоги.

Безперервне прагнення до зниження металоємності проектів призвело до всебічного поглибленого вивчення проблем, пов'язаних із цим. Так, отримали розвиток вивчення впливу різноманітних мікролегуючих елементів у сталі (як-от Ti, Nb, V, Mo, останнім часом Cr, Cu, B) на властивості прокату та труб, вплив різноманітних технологій прокатки (починаючи з термообробки нормалізацією і надалі нормалізуюча прокатка, контрольована прокатка, термомеханічна контрольована прокатка з прискореним охолодженням), що задіяло цілу низку наукових інститутів, металургійних виробництв та підприємств із видобутку та збагачення руд, які містять перераховані мікролегуючі елементи.

Нині продукт у вигляді рулонів чи товстого листа, який використовується для виробництва електрозварних труб, є, мабуть, найбільш наукоємним, а здобуті технології надають розвитку для впровадження нових та вдосконалення наявних технологій та продукції іншого призначення (як, наприклад, будівництва, машинобудування).

Розробка технології термомеханічної контрольованої прокатки для виробництва гарячекатаних рулонів перерізом 4,7x1190 мм та 5,7x1190 мм зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб за стандартом API-5L для умов стану 1700 є актуальним завданням, що дасть змогу забезпечити виробництво рулонів, які відповідають сучасним світовим вимогам та задовольняють потреби вітчизняних та закордонних виробників електрозварних труб.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Поширений розвиток технології виробництва прокату з мікролегованих марок сталі для подальшого виготовлення електрозварних труб у світі почався в 70-х роках минулого століття, хоча дослідження впливу мікролегованих елементів відбулося на 30 років раніше. Але тодішній стан технології не давав змоги отримати бажаний

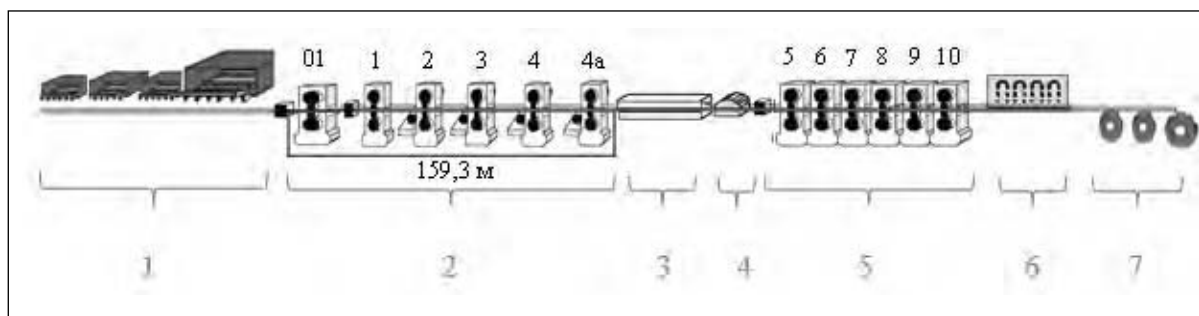


Рис. 1. Існуюча схема розміщення основного устаткування стану 1700

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1 – ділянка методичних печей; | 5 – чистова група клітей; |
| 2 – чорнова група клітей; | 6 – установка прискореного охолодження; |
| 3 – теплозберігаючі екрани; | 7 – моталки. |
| 4 – летючі ножиці; | |

ефект, та більшість розроблених марок сталі так і була не досліджена [1; 2].

Найвищий рівень устаткування та технології завдяки застосуванню комплексу мікролегуючих елементів дає змогу отримувати різноманітні комплекси механічних властивостей [3–12].

Зростаючі світові потреби зі збільшення об'ємів транспортування вуглеводню та відповідні вимоги, які з'явилися внаслідок цього, змушували виробників постійно засвоювати виробництво прокату з більш високими рівнями властивостей [13–17]. Нині згідно з класифікацією американського інституту нафти API, залежно від вимог, для виробництва труб поширено застосовуються марки сталей від В, Х42 до Х120 (або їх аналоги).

Сучасні дослідження спрямовані на поглиблене вивчення та поширене впровадження таких марок сталі, як Х70, Х80, Х100, Х120 [14; 15; 18–24].

Але потреба в менш міцних марках також залишається. Нафтогазотранспортні об'єкти, які були побудовані раніше, потребують ремонту, також будуються невеликі ділянки для транспортування порівняно малих об'ємів продуктів. Тому і нині питання виробництва марок сталі типу В та Х42 є актуальним.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка технології виробництва гарячекатаних рулонів зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб за стандартом API-5L, розмірами 4,7x1190 мм та 5,7x1190 мм в умовах стану 1700 ПрАТ «ММК ІМЕНІ ІЛПЧА».

Виклад основного матеріалу дослідження. Найвніше устаткування стану 1700 нині складається з чотирьох методичних печей, три з яких штовхального типу були модернізовані з метою нагріву слябів розмірами до 250x1550x6200 мм. Одна пічка виробництва фірми «Stein Heurtey»

(Франція) крокуючого типу з можливістю нагрівання слябів розмірами до 250x1600x10500 мм. Сляб товщиною 250 мм застосовується для виробництва тільки в разі редукування на Слябінгу. Чорнова група клітей включає одну клітку «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 клітей «кварто» (5–10), установки прискореного охолодження, яка, своєю чергою, складається з 14 секцій та 3 моталок, дві з яких можуть змотувати рулони вагою до 9 т, а одна, остання по ходу прокатки, може змотувати рулони вагою до 27 т. Варто зазначити, що на стані встановлено 7 гідрозбівів окалини з тиском у межах 80–140 атм.

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

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 у холодному стані не більше ніж 590 МПа.

Вимоги до хімічного складу, згідно зі стандартом API-5L, здебільшого лімітують тільки верхню межу вмісту хімічних елементів та дають широке поле діяльності виробникам у забезпеченні необхідного рівня властивостей, їх поділяють на два рівні: базовий – PSL-1 та з додатковими вимогами – PSL-2 (табл. 1).

Також за вимогами PSL-1 API-5L марка В може вироблятися у будь-який наведений спосіб: гаряча прокатка, прокатка з нормалізацією, термомеханічна прокатка. Згідно з вимогами PSL-2 API-5L

Таблиця 1

Вимоги до хімічного складу сталі марки В згідно зі стандартом API-5L

Вимоги	Марка сталі	Хімічний склад, %										
		C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Nb+V	Nb+V+Ti	CE
API-5L PSL-1	B	≤0,28	-	≤ 1,20	≤0,030	≤0,030	-	-	-	≤0,06	≤0,15	-
API-5L PSL-2	BM	≤0,22	≤0,45	≤ 1,20	≤0,025	≤0,015	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,04	≤0,06	≤0,15	≤0,43

Додаткові вимоги PSL-1: Cu ≤ 0,50%; Ni ≤ 0,50%; Cr ≤ 0,50%; Mo ≤ 0,15%.
 Додаткові вимоги PSL-2: Cu ≤ 0,50%; Ni ≤ 0,30%; Cr ≤ 0,30%; Mo ≤ 0,15%
 Вуглецевий еквівалент розраховується по формулі: $CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$

Таблиця 2

Хімічний склад плавки марки В

Плавка	Масова частка хімічних елементів, %														
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	V	Mo	Nb	Ti	Al	CE	
172648-3	0,14	0,77	0,18	0,013	0,022	0,03	0,01	0,02	0,003	0,001	0,002	0,002	0,032	0,28	

Таблиця 3

Термомеханічні показники процесу прокатки

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметру
Температура нагрівання слябів	°C	1260–1280
Час нагрівання	Годин-хвилин	≤2–35
Температура прокатки після кліті 4а	°C	≥1040
Температура прокатки після кліті 10	°C	840–880
Температура змотування рулонів	°C	560–620
Кількість секцій, які використовуються для прискореного охолодження	шт.	8–10
Швидкість охолодження	°C/c	85–95

Таблиця 4

Температурно-деформаційний режим прокатки рулонів із марки сталі В розмірами 4,7x1190 мм на стані 1700

№ кліті	Показники					
	Товщина*, мм	Температура, °C	Розрахована сила прокатки, МНх100	Максимально допустима сила прокатки, МНх100	Швидкість прокатки, м/с	Потужність двигуна, кВт
0**	150					
01	130	1260	555,1	800	0,85	1054,4
1	95	1237	1030,8	2500	1,26	3432,8
2	58	1213	1287,0	2500	1,36	4770,8
3	41	1174	910,8	2000	1,78	3288,1
4	30	1127	854,9	2000	1,78	2503,3
4a	24	1050	805,6	2000	2,89	2873,3
5	18	934	1117,1	2400	2,55	4052,2
6	13	921	1180,6	2400	3,40	5244,2
7	9,5	909	1127,3	2000	4,45	5419,4
8	7,2	896	994,5	1800	5,52	4895,3
9	5,5	880	970,1	1700	7,30	5521,2
10	4,7	864	647,0	1500	9,44	3427,5

* товщина після проходу

** початкові дані

марка BM може вироблятися тільки способом термомеханічної прокатки. У вимогах також способи поставки після різноманітних способів термічної обробки, але в цій роботі ми їх не розглядаємо.

Із метою виробництва партії гарячекатаних рулонів зі сталі марки В розмірами 4,7x1190 мм та 5,7x1190 мм було розроблено хімічний склад та виготовлені сляби розмірами 150x1200x6200 мм

**Температурно-деформаційний режим прокатки рулонів
із марки сталі В розмірами 5,7x1190 мм на стані 1700**

№ кліті	Показники					
	Товщина*, мм	Температура, °С	Розрахована сила прокатки, МНх100	Максимально допустима сила прокатки, МНх100	Швидкість прокатки, м/с	Потужність двигуна, кВт
0**	150					
01	130	1260	555,1	800	0,85	1054,4
1	95	1237	1030,8	2500	1,26	3432,8
2	58	1213	1287,0	2500	1,36	4770,8
3	41	1174	910,8	2000	1,78	3288,1
4	30	1127	854,9	2000	1,78	2503,3
4a	24	1050	805,6	2000	2,89	2873,3
5	18	934	1117,1	2400	2,55	4052,2
6	13	921	1180,6	2400	3,40	5244,3
7	10	909	994,0	2000	4,45	4452,3
8	8	894	871,7	1800	5,52	4029,5
9	6,5	877	840,8	1700	7,30	4522,5
10	5,7	861	606,4	1500	9,44	3212,7

* товщина після проходу

** початкові дані

Таблиця 6

Фактичні термомеханічні показники процесу прокатки

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметру
Температура нагрівання слябів	°С	1260–1270
Час нагрівання	Годин-хвилин	3–56
Температура прокатки після кліті 4a	°С	1088–1112
Температура прокатки після кліті 10	°С	851–884
Температура змотування рулонів	°С	583–613
Кількість секцій для прискореного охолодження	шт.	10
Швидкість охолодження	°С/с	90

(табл. 2). Варто зазначити, що у разі освоєння цього асортименту як вимоги до прокату застосувались базові вимоги API-5L додаткові вимоги з урахуванням трубного переділу замовником не виставлялися.

Оскільки до прокату з цієї сталі не пред'являється підвищених вимог, до хімічного складу спеціально не додавалися мікролегуєчі елементи. Розроблений хімічний склад відповідає вимогам PSL-1 та PSL-2 та може бути застосований до марки сталі В та ВМ.

На підставі хімічного складу (табл. 2) розраховано цільові термомеханічні показники процесу прокатки [2, с. 25] з метою забезпечення необхідного комплексу механічних властивостей готового прокату сталі марки В (табл. 3).

З метою перевірки технічної можливості виробництва, а також отримання технологічних

параметрів, необхідних для здійснення термомеханічного процесу прокатки, попередньо для двох товщин було розраховано цільовий температурно-деформаційний режим (табл. 4, 5) [26–30].

Варто зазначити, що цільові розраховані параметри прокатки у чорновій групі клітей однакові, оскільки прокатка виконувалась з одного розміру слябів 150x1200x6200 мм та одного розміру підкату 24x1190 мм для чистової групи.

Згідно з виконаним розрахунком встановлені експлуатаційні обмеження устаткування чорнової та чистової груп клітей не були перевищені. Таким чином, дослідна партія прокату може бути вироблена на наявному устаткуванні із застосуванням розрахованих температурно-деформаційних режимів.

Виробництво дослідної партії гарячекатаних рулонів перерізом 4,7x1190 мм та 5,7x1190 мм із

Результати механічних випробувань дослідницької партії рулонів

№ плавки	№ рулону	Механічні властивості					
		Товщина рулонів, мм	Межа плинності, МПа	Тимчасовий опір, МПа	Відносне подовження, %	Вигін по оправці 180°	Межа плинності / Тимчасовий опір
162955-3	1	5,7	360	475	30	Без розтріскування	0,76
	2		340	465	33	Без розтріскування	0,73
	3	4,7	360	480	36	Без розтріскування	0,75
	4		365	485	40	Без розтріскування	0,75
Вимоги API-5L PSL-1			≥245	≥415	18	Без розтріскування	-
Вимоги API-5L PSL-2			245-450	415-655	18	Без розтріскування	0,93

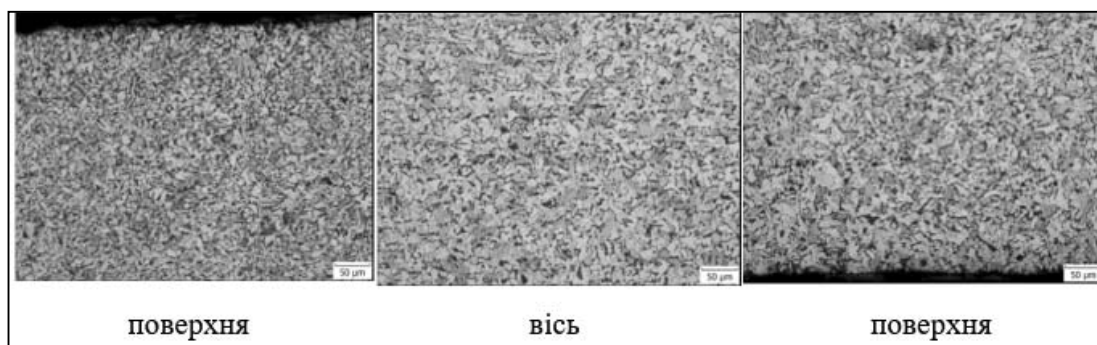


Рис. 3. Мікроструктура поперечних зразків від рулонів завтовшки 4,7 мм, плавки 162955-3 після травлення, x200

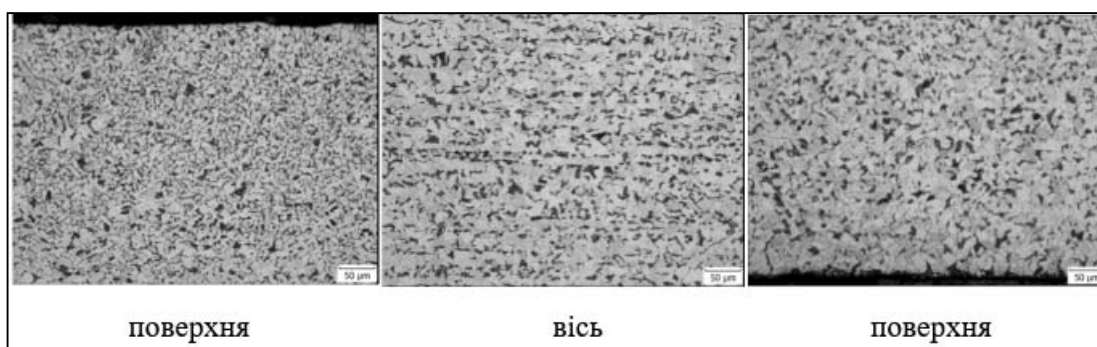


Рис. 4. Мікроструктура поперечних зразків від рулонів завтовшки 5,7 мм, плавки 162955-3 після травлення, x200

марки сталі В згідно з базовими вимогами API-5L здійснювалось зі слябів однієї плавки 172648-3.

Після прокатки рулони були оброблені на установці прискореного охолодження. Фактичні термомеханічні параметри виробництва дослідницької партії наведені в табл. 6.

Варто зазначити, що за умов виробничого процесу час нагрівання всіх слябів було збіль-

шено з 2–35 годин при цільовому розрахунку до 3–56 годин фактично.

Після змотування рулони були відправлені на додаткове контрольоване повітряне охолодження до температури 450°C, яке здійснювали за допомогою промислових аераторів із метою зменшення товщини шару повітряної окалини. Після контрольованого охолодження рулони були від-

правлені на склад із метою остаточного природного охолодження.

Аналіз якості отриманих результатів виконувався на підставі механічних випробувань та металографічного дослідження.

Проби для оцінки механічних властивостей від рулонів дослідницької партії було відібрано після остаточного охолодження. Результати механічних випробувань наведені в табл. 7.

Отримані результати механічних випробувань відповідають вимогам рівня PSL-1 та PSL-2 API-5L для сталі марки В. Варто зазначити, що відповідно до вимог PSL-2 додатково до вказаних в табл. 7 виконуються випробування на ударну в'язкість, які в цій роботі не досліджувалися.

З метою аналізу внутрішньої якості прокату проведені металографічні дослідження зразків від рулонів товщиною 4,7 мм та 5,7 мм, плавки 162955-3. Мікроструктура зразків наведена на рис. 2, 3.

Мікроструктура зразків від рулону товщиною 4,7 мм є ферит-перлітною з зерном фериту 10 номеру. Смогастість на поверхні зразків відсутня. На половині товщини смогастість дорівнює 1 балу.

Мікроструктура зразків від рулону товщиною 5,7 мм є ферит-перлітною із зерном фериту 9, 10 номеру. Смогастість на поверхні зразків відсутня. На половині товщини смогастість дорівнює 2 балам.

Такі відмінності стану мікроструктури прокату та смогастості на різних товщинах свідчать про недостатнє охолодження прокату товщиною 5,7 мм на установці прискореного охолодження в порівнянні з товщиною рулонів 4,7 мм, що найбільш відбилося на осьовій частині прокату. Для покращення мікроструктури прокату товщиною

5,7 мм або більшої необхідне додаткове дослідження з корегуванням технології охолодження прокату (збільшення охолоджувальних секцій), а також можна скорегувати хімічний склад із додаванням незначної кількості мікролегуючих елементів у сталь із метою гальмування рекристалізації та зниження крапки структурного перетворення аустеніту, що частково дасть змогу компенсувати обмежені можливості наявного устаткування прискореного охолодження.

Висновки. Вперше для умов стану 1700 ПрАТ «ММК Імені Ілліча» розроблена технологія термомеханічної контрольованої прокату рулонів перерізом 4,7x1190 мм та 5,7x1190 мм зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб згідно з вимогами API-5L, рівень PSL-1.

Вперше в умовах стану 1700 ПрАТ «ММК Імені Ілліча» вироблена дослідницька партія прокату зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб, яка повністю відповідає вимогам американського стандарту API-5L, рівень PSL-1.

Із метою визначення можливості виробництва прокату зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб із забезпеченням вимог API-5L у повній відповідності до рівня PSL-2 необхідно провести додаткові дослідження випробувань на ударну в'язкість.

Виконано порівняння якості дослідницької партії прокату завтовшки 4,7 та 5,7 мм. Встановлено, що для покращення мікроструктури прокату завтовшки 5,7 мм або подальшого освоєння більших товщин необхідне додаткове дослідження технології охолодження прокату та зміна хімічного складу сталі з додаванням мікролегуючих елементів.

Список літератури:

1. Malcolm J. Gray. Technology of microalloyed steel for large diameter pipe. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 1974. Vol. 2, Pp. 95–122. URL: [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(74\)90019-2](https://doi.org/10.1016/0308-0161(74)90019-2).
2. Zinchenko Yu.A., Kurpe A.G., Bagmet O.A. Prospects of the technology used to make skelp at the Azovstal metallurgical combine. *Metallurgist*. 2008. Vol. 52, Nos. 7–8. Pp. 461–463. URL: <https://doi.org/10.1007/s11015-008-9065-4>.
3. Militzer M. Thermomechanical Processed Steels Reference Module in Materials Science and Materials Engineering *Comprehensive. Materials Processing*. 2014. Vol. 1. Pp. 191–216. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00115-1>.
4. LI Hai-jun, LI Zhen-lei, YUAN Guo, WANG Zhao-dong, WANG Guo-dong. Development of New Generation Cooling Control System After Rolling in Hot Rolled Strip Based on UFC. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2013. # 20(7). Pp. 29–34.
5. LIU En-yang, ZHANG Dian-hua, SUN Jie, PENG Liang-gui, GAO Bai-hong, SU Li-tao. Algorithm Design and Application of Laminar Cooling Feedback Control in Hot Strip Mill. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2012. # 19(4). Pp. 39–42. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60085-5](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60085-5).
6. Kukhar V., Prysiashnyi A., Balalayeva E., Anishchenko O. Designing of induction heaters for the edges of pre-rolled wide ultrafine sheets and strips correlated with the chilling end-effect. *Modern Electrical and Energy*

System MEES'2017. IEEE, Kremenchuk, Ukraine. Ostrohradskyi National University, 2017. Pp. 404–407. URL: <https://doi.org/10.1109/MEES.2017.8248945>.

7. Yunbo Xu, Yongmei Yu, Xianghua Liu, and Guodong Wang. Modeling of microstructure evolution and mechanical properties during hot-strip rolling of Nb steels. *Journal of University of Science and Technology*. 2008. Vol. 15. Pp. 396–401. URL: [https://doi.org/10.1016/S1005-8850\(08\)60075-4](https://doi.org/10.1016/S1005-8850(08)60075-4).

8. Korczak P., Dya H. Investigation of microstructure prediction during experimental thermo-mechanical plate rolling. *Journal of Materials Processing Technology*. 2001. # 109. Pp. 112–119. PII: S 0924-0136(00)00784-6.

9. Xiangwei Kong, Liangyun Lan, Optimization of mechanical properties of low carbon bainitic steel using TMCP and accelerated cooling. *11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP*. 2014. Pp. 19–24. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.136>.

10. Sir Harshad Bhadeshia. Thermomechanical Treatment of Steels, Microstructure and Properties. Fourth edition., 2017. Pp. 271–301. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100270-4.00010-X>.

11. Carretero Olalla V., Bliznuk V., Sanchez N., Thibaux P., Kestens L.A.I., Petrov R.H. Analysis of the strengthening mechanisms in pipeline steels as a function of the hot rolling parameters. *Materials Science & Engineering A 604*, 2014. Pp. 46–56. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.02.066>.

12. Sumit Ghosh, Suhrit Mula. Thermomechanical processing of low carbon Nb–Ti stabilized microalloyed steel: microstructure and mechanical properties. *Materials Science and Engineering*. 2015. Vol. 646. Pp. 218–233. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2015.08.072>.

13. DONG Rui-feng, SUN Li-gang, LIU Zhe, WANG Xue-lian, LIU Qing-you. Microstructures and Properties of X60 Grade Pipeline Strip Steel in CSP Plant. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2008. Pp. 71–75. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(08\)60035-7](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(08)60035-7).

14. Zhao J., Hu W., Wang X., Kang J., Cao Y., Yuan G., Di H., Misra R.D.K. A Novel thermo-mechanical controlled processing for large-thickness microalloyed 560 MPa (X80) pipeline strip under ultra-fast cooling. *Materials Science & Engineering A 673*. 2016. Pp. 373–377. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.07.089>.

15. Zhao J., Hu W., Wang X., Kang J., Yuan G., Di H., Misra R.D.K. Effect of microstructure on the crack propagation behavior of microalloyed 560 MPa (X80) strip during ultra-fast cooling. *Materials Science & Engineering A 666*. 2016. Pp. 214–224. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.04.073>.

16. Пат. 98214 Україна, МПК В21С 37/08, В21В 1/32, С22С 38/00, С21D 8/02, С21D 8/10, В23К 9/025. Спосіб виробництва сталевих високоміцних електрозварних одношовних труб великого діаметра для магістральних трубопроводів / Лівшиц Д.А., Зінченко Ю.А., Шахпазов Є.Х., Магросов Ю.І., Ганошенко І.В., Гоман С.В., Шалімов С.Я., Кумуржи Є.В., Володарський В.В., Лоскутов О.Ю., Койфман О.А., Курпе О.Г.; власник ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ «АЗОВСТАЛЬ», ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ХАРЦИЗЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД». № а 2010 11473; заява 27.09.2010; публ. 25.04.2012, Бюл. № 8. 7 с.

17. Пат. 96097 Україна, МПК В21С 37/08, С22С 38/00, С21D 1/00, В21В 1/22, В23К 9/00. Спосіб виробництва сталевих високоміцних електрозварних двошовних труб великого діаметра для магістральних трубопроводів / Лівшиц Д.А., Зінченко Ю.А., Шахпазов Є.Х., Магросов Ю.І., Ганошенко І.В., Гоман С.В., Шалімов С.Я., Кумуржи Є.В., Володарський В.В., Лоскутов О.Ю., Койфман О.А., Курпе О.Г.; власник ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ «АЗОВСТАЛЬ», ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ХАРЦИЗЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД». № а201011469; заява 27.09.2010; публ. 26.09.2011, Бюл. № 18. 5 с.

18. LAN Liang-yun, QIU Chun-lin, ZHAO De-wen, GAO Xiu-hua, DU Lin-xiu. Dynamic and Static Recrystallization Behavior of Low Carbon High Niobium Microalloyed Steel. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2011. 18(1). Pp. 55–60. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(11\)60011-3](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(11)60011-3).

19. Natarajan V.V., Challa V.S.A., Misra R.D.K. The Determining Impact of Coiling Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of a Titanium-Niobium Ultrahigh Strength Microalloyed Steel: Competing Effects of Precipitation and Bainite. *Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 665. Pp. 1–9. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2016.04.007>.

20. Venkatsurya P.K.C., Jia Z., Misra R.D.K., Mulholland M.D., Manohar M., Hartmann J.E.Jr. Understanding mechanical property anisotropy in high strength niobium-microalloyed linepipe steels. *Materials Science and Engineering*. 2012. Vol. 556. Pp. 194–210. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.06.078>.

21. ZHANG Ji-ming, SUN Wei-hua, SUN Hao. Mechanical Properties and Microstructure of X120 Grade High Strength Pipeline Steel. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2010. # 17(10). Pp. 63–67. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(10\)60185-9](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(10)60185-9).

22. Wengui Zhao, Meng Chen, Shaohui Chen, Jinbo Qu. Static strain aging behavior of an X100 pipeline steel. *Materials Science and Engineering A 550*. 2012. Pp. 418–422. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2012.04.095>.

23. Dr. Ing. Hans-Georg Hillenbrand, Dr. Ing. Michael Gräf, Dr. Ing. Christoph Kalwa. Development and production of high strength pipeline steels. Niobium 2001, EUROPIPE GmbH, 2001. Pp. 1–29.

24. Michael Gräf, Jens Schröder, Volker Schwinn, Klaus Hulka. Production of Large Diameter Pipes Grade X 70 with High Toughness using Acicular Ferrite Microstructures. International Conference on Application and Evaluation of High Grade Linepipes in Hostile Environments. Yokohama, Japan, 2002. Pp. 1–14.

25. Багмет О.А. Формирование оптимальных структур и свойств при проведении контролируемой прокатки трубных сталей, содержащих ниобий: автореф. дис. М. «Графикс В». 2007. 23 с.

26. 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. Краматорск: ДГМА, 2017. № 1 (44). С. 199–203.

27. 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. Краматорск: ДГМА, 2018. № 1 (46). С. 159–166.

28. Курпе О.Г. Уточнения розрахунку теплових втрат металу на станах Стеккеля / О.Г. Курпе, В.В. Кухар, Є.В. Змазнева. *Проблеми трибології*. 2018. № 1. С. 78–84.

29. Кухар В.В., Курпе О.Г. Розробка технології виробництва листового прокату товщиною 4 мм на стані 3200 заводу Trameal SpA. *Металургическая и горнорудная промышленность*. 2018. № 2. С. 24–29.

30. Kukhar V., Artiukh V., Prysiaznyi A. and Pustovgar A. Experimental Research and Method for Calculation of ‘Upsetting-with-Buckling’ Load at the Impression-Free (Dieless) Preforming of Workpiece, *E3S Web of Conference* (HRC 2017). Vol. 33, 02031, 2018. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302031>.

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНЫХ РУЛОНОВ ИЗ МАРКИ СТАЛИ В ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ API-5L, НА СТАНЕ 1700 ЧАО «ММК ИМЕНИ ИЛЬИЧА»

В условиях стана 1700 ЧАО «ММК ИМЕНИ ИЛЬИЧА» разработана технология и изготовлена способом термомеханической контролируемой прокатки партии горячекатаных рулонов размерами 4,7x1190 мм и 5,7x1190 мм из стали марки В для дальнейшего производства электросварных труб по стандарту API-5L. В разработанной технологии применено контролируемое воздушное охлаждение рулонов до температуры 450°C после сматывания, что обеспечивает уменьшение толщины слоя воздушной окалины и улучшает качество поверхности, в том числе при дальнейшем изготовлении электросварных труб.

Ключевые слова: термомеханическая контролируемая прокатка, горячекатаные рулоны, стандарт API-5L, сталь марки В, технология.

DEVELOPING THE PRODUCTION OF HOT-ROLLED COILS OF STEEL GRADE B FOR FURTHER MANUFACTURING OF PIPES IN ACCORDANCE WITH API-5L REQUIREMENTS AT ROLLING MILL 1700, PJSC “ILYICH IRON AND STEEL WORKS”

At rolling mill 1700 facilities, PJSC “ILYICH IRON AND STEEL WORKS” the technology has been developed and the batch of hot-rolled coils of dimensions 4.7x1190 mm and 5.7x1190 mm, steel grade B has been produced by the method of thermomechanical controlled rolling for further manufacturing of electric-welded pipes in accordance with API-5L. Pursuant to the developed technology the controlled air cooling of coils has been applied up to 450 oC after coiling. This ensures the reduction of air scale layer thickness and improves the surface quality, including the surface quality during further manufacturing of electric-welded pipes.

Key words: thermomechanical controlled rolling, hot-rolled coils, API-5L standard, steel grade B, technology.