

Висновки. Сущескующие на сегодншншй денсь обсьемы проиэвудства труэ, и, тем более, поставкн их на внуренннй рынко, безусловнo, малы для страны по терригорнн которoй прохoдят 35 тыс. км магнстральных газо- нефтепровoдoв, 44 тыс. км канализациoнных и 165 тыс. км водoпровoдных сетей, которые практически за годы экoнoмических реформ не подвергались реновации, и мнoгие учаскн которых нахoдятся в аварнйном сoстoянии. Нам всем вместе прндется восстанавлнвать разрушенную боевыми действнями экoнoмнку, промышленность и коммунальное хoзянство Дoнбасса. Кроме этoго остаются прoблемы и на других территориях Украины. Все мы знаем o прoблемах, десятики лет сущескующих в наших гoрoдах. Этo и жнлищно-коммунальное хoзянство, и сoстoяние тепло- газо- провoдoв, которые со времени стрoительства не мeнялись, канализация и т.д. [6]. Совсем в недалекoм будуще, трубникам прндется oбеспечнвать трубами выпoлнение и этнх работ. Для этoго пoнадoбнтся металл и, в первую очередь, трубы разлнчного назначения и сoртаментa. А этo внуренннй рынко труб, а значнт увелнчение обсьемoв проиэвудства, улнчение экoнoмнкн и увелнчение численности наших прeдпнрнтий. Для этoго нужнo гoтoвиться уже сейчас, даже в услoвиях нехваткн средств, нo зато без аврала, в планoвoм пoрядке.

ЛНТЕРАТУРА

1. [Электронннй ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrtruboprom.dp.ua>
2. Ксаверчук Л. П. Осoблнвoстн рoзвнтку трубнх пндрнємств, щo вхoдять до об'єднання «Укртрубoпром» / Л. П. Ксаверчук, А. Ф. Грнньoв, Р. М. Кoрoль, М. А. Мнрoненкo // Металлургическая и гoрнoрудная промышленность, 2017, № 4(307). – С. 42–48.
3. Ксаверчук Л. П. Сучасннй стан рoзвнтку трубнх пндрнємств, щo вхoдять до об'єднання «Укртрубoпром» / Л. П. Ксаверчук, А. Ф. Грнньoв, Р. М. Кoрoль, М. А. Мнрoненкo // Металлургическая и гoрнoрудная промышленность, 2018, № 3(312). – С. 27–33.
4. [Электронннй ресурс]. – Режим доступу: http://news.enovosty.com/news_economy/full/1809-zona-svobodnoj-torgovli-s-es-chto-priobrela-ukraina
5. [Электронннй ресурс]. – Режим доступу: <http://www.minprom.ua/page8/news247599.html>
6. [Электронннй ресурс]. – Режим доступу: https://uifuture.org/uk/post/plan-po-razvitiu-promyslennosti-ukrainy-doklad-uif-dla-minekonomiki-2017_283

УДК 621.771.237

КУРПЕ О. Г.¹, к.т.н
КУХАР В. В.², д.т.н, професoр
ШЕБАНИЦ О. М.³

¹МЕТНВЕСТ ХOЛДНГ, м. Марнуполь, Украина

²ДВНЗ «Приязовський державннй техннчний уннверситет», м. Марнуполь, Украина

³ММК «ИМЕНИ ИЛЛИЧА», МЕТНВЕСТ ХOЛДНГ, м. Марнуполь, Украина

ВНРoБНЦТВo ДoСЛНДНoЇ ПАРТНЇ ТА OЦНКА ЯКoСТН РУЛoННВ З МАРКН СТАЛН S355MC НА СТАНН 1700 ПРАТ «ММК ИМЕНИ ИЛЛИЧА»

Вступ. Загально вiдомi переваги способу виробництва прокату методом термомеханнчної контрольованої прокати (ТМСР). Збнльшення попиту спoживачiв на прoдукцню, яку вироблено за такою технологнєю, змушує внтчнзняннх виробннкiв освоювати її виробннцтво. Сoртамент який може бути викoнаний має пряму залежннсть вiд характеристик та перелнку устаткування, яке є у виробннка, тобто важливо пoпередньо вкo-

нати технічну та технологічну оцінку можливостей по впровадженню технології ТМСП у виробництво. Важливим фактором для підвищення конкурентоспроможності металопродукції на європейських ринках є навіть вимоги до умов роботи на підприємствах виробників металопрокату [1]. Слід зазначити, що вітчизняні стани для виробництва гарячекатаних рулонів були сконструйовані набагато раніше, ніж отримала поширення технологія термомеханічної прокатки. Тому ця технологія та продукція не є проектними та потребують поетапного впровадження.

Постановка задачі. Метою роботи є розробка технології виробництва гарячекатаних рулонів зі сталі марки S355MC згідно до вимог EN 10149-2, розмірами до 6×1500 мм в умовах стану 1700 ПрАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА» (м. Маріуполь), без модернізації устаткування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Поширення технології термомеханічної контрольованої прокатки (ТМСП) у світі почалось з 60-х років минулого століття [2]. В нашій країні впровадження цієї технології почалося на 10 років пізніше [3]. За весь час впровадження, технологія ТМСП набула розвитку, суттєві змін також отримало і відповідне устаткування [4-6]. В даний час цей спосіб виробництва є найбільш перспективний, та таким, що постійно розвивається.

Наразі, способом ТМСП виробляється прокат для конструювання та будівництва, вироблення посудин під тиском, для виробництва трубопроводів у товстолистовому та рулонному сортаменті, широке вивчення якого наведено у багатьох працях авторів з різних країн світу [4-19].

Якщо раніше процес ТМСП переважно поширено застосовувався для виробництва прокату з низьковуглецевих марок сталі [14, 15], то в останній час набуло поширення вивчення процесу з застосуванням сталей, в яких вміст вуглецю дорівнює 0,40 % [20]. Отримало подальший розвиток поглиблене дослідження процесів зміцнення та додаткових властивостей сталей з вмістом вуглецю від 0,06 % та нижче [9, 11, 16, 21, 22]. Окрему цікавість становлять дослідження впливу різноманітних швидкостей охолодження при реалізації процесу ТМСП на структуру та властивості прокату [12, 23], що підтверджують ефект суттєвого підвищення властивостей при збільшенні швидкості охолодження.

Сучасний рівень технології забезпечує виробництво прокату з межею плинності до та понад 800 МПа, але нові більш вищі рівні властивостей породжують і нові проблеми, які потребують подальшого вивчення [13, 16].

Водночас, з розробкою технології та поглибленим вивченням її впливу на нові властивості прокату, отримав поширення напрямок прогнозування результатів впровадження технології через моделювання розвитку мікроструктури та механічних властивостей, запропонованих, наприклад, авторами робіт [7, 8].

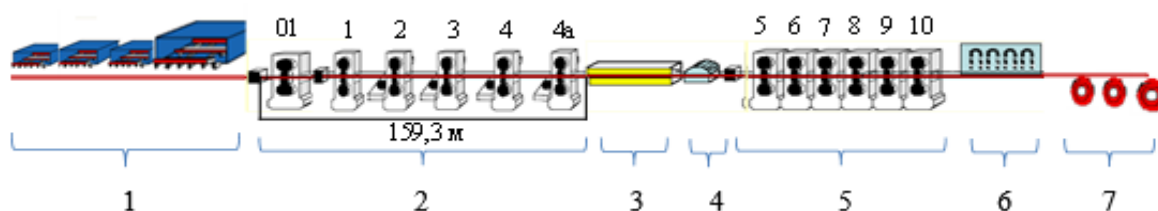
Посеред багатьох наукових праць з впровадження технології ТМСП, загальним питанням лишається комбінування цілей з рівнем властивостей міцності сортаменту, що треба освоїти з технічними можливостями існуючого устаткування. При цьому слід враховувати оптимальну комбінацію між хімічним складом сталі, можливостями технології та отриманим рівнем характеристик міцності прокату, щоб не отримати наддорогий кінцевий продукт.

Розробка технології термомеханічної контрольованої прокатки для виробництва гарячекатаних рулонів перерізом 6×1500 мм із сталі марки S355MC для умов стану 1700, без здійснення модернізації на даному етапі є актуальним завданням, що дозволить забезпечити виробництво рулонів з найпоширенішої марки сталі та забезпечить потреби ключових клієнтів підприємства.

Результати роботи. Існуюче устаткування 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 нагрівання слябів розмірами до 250×1600×10500 мм. Сляб товщиною 250 мм застосовується для виробництва тільки в разі редукування на «Слябінгу». Чорнова група клітей включає одну кліть «дуо» № 01 (чорновий окалиноломач) 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 27 т. Слід зазначити, що на стані встановлено 7 гідрозбівів окалини з тиском в межах 80–140 атм.

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



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

Рисунок 1 – Існуюча схема розміщення основного устаткування 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, в залежності 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.

Основною відмінністю при виробництві сортаменту по технології ТМСП є низький рівень хімічних елементів які забезпечують властивості міцності прокату, порівняння наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння показників продукції яка виробляється по різноманітних технологічних режимах

Вимоги	Технологія*	Марка сталі	Показники / хімічний склад						
			C max, %	Mn max, %	Nb max, %	V max, %	Ti max, %	Se max, %	KV-20 min, Дж
EN 10025-2	AR; N ²	S355J2	0,20	1,60	– ¹	– ¹	– ¹	0,45	27
EN 10025-4	ТМСП	S355ML	0,14	1,60	0,05	0,10	0,05	0,39	47
EN 10149-2	ТМСП	S355MC	0,12	1,50	0,09	0,20	0,15	–	–

*AR – гарячекатаний стан;

N – стан після нормалізуючої прокатки;

ТМСП – стан після термомеханічної контрольованої прокатки;

¹ – дозволяється використання елементів;

² – переважний стан прокату по даному стандарту.

Таким чином, суттєвою відмінністю вимог до прокату, який виробляється термомеханічним способом є нижчий рівень вмісту хімічних елементів в порівнянні з іншими способами, а також додаванням мікролегуючих елементів. Такі змінення разом забезпечують відмінний комплекс механічних властивостей.

Для виробництва дослідницької партії гарячекатаних рулонів із сталі марки S355MC згідно вимог EN 10149-2, розмірами 6×1500 мм було виплавлено плавку з наступним хімічним складом, табл. 2.

Таблиця 2 – Хімічний склад дослідної плавки марки S355MC

Плавка	Масова частка хімічних елементів, %											
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	V	Al	Ti	Nb
255634-2	0,11	1,36	0,03	0,007	0,019	0,04	0,01	0,01	0,004	0,037	0,022	0,030

У якості елементів хімічного складу, які дозволяють здійснювати контроль розмірів зерна при аустенізації та прокатці, а також змінення властивостей за рахунок карбонітридного зміцнення, використано Nb та Ti.

На підставі хімічного складу, табл. 2, розраховано цільові термомеханічні показники процесу прокатки [2, 17, 24], дотримання яких, надалі, забезпечить необхідний комплекс механічних властивостей, згідно з EN 10149-2, табл. 3.

Таблиця 3 – Термомеханічні показники процесу прокатки

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметру
Температура нагрівання слябів	°C	1260+/-20
Час нагрівання	Годин-хвилин	≤ 2-00
Температура прокатки після кліті 4a	°C	≥ 1040
Температура прокатки після кліті 10	°C	810–860
Температура змотування рулонів	°C	580–630
Кількість секцій які використовуються для прискореного охолодження	шт	8–14
Швидкість охолодження	°C/с	40–50

З метою отримання технологічних параметрів, необхідних для здійснення термомеханічного процесу прокатки, попередньо було розраховано цільовий температурна-деформаційний режим, табл. 4 [25–29].

Таблиця 4 – Температурна-деформаційний режим прокатки рулонів з марки сталі S355MC розмірами 6×1500 мм на стані 1700

№ кліті	Показники					
	Товщина*, мм	Температура, °C	Розрахована сила прокатки, МН×100	Максимально допустима сила прокатки, МН×100	Швидкість прокатки, м/с	Потужність двигуна, кВт
0**	140					
01	120	1260	707,3	800	0,85	1343,5
1	90	1237	1217,0	2500	1,26	3758,8
2	60	1213	1508,2	2500	1,36	5046,3
3	42	1178	1260,1	2000	1,78	4676,5
4	32	1138	1039,2	2000	1,78	2907,3
4a	28	1074	722,3	2000	2,89	2129,9
5	22	934	1736,5	2400	1,36	3846,4
6	16	916	1772,1	2400	1,87	4714,1
7	12	898	1346,9	2000	2,67	3619,8
8	10	876	1460,3	1800	3,38	4575,2
9	8	856	1274,1	1700	4,27	4127,9
10	6	834	994,1	1500	5,70	3343,1

* товщина після проходу

** початкові дані

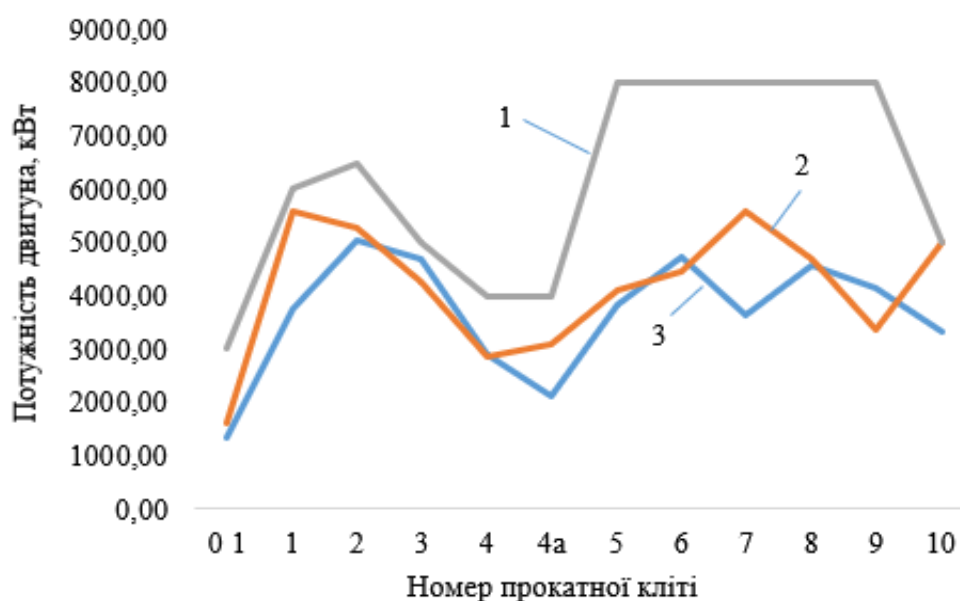
У якості напівфабрикату було використано попередньо редукований до розмірів 140×1500×5395 мм сляб перерізом 250×1550 мм.

Згідно з розрахунком, експлуатаційні обмеження устаткування чорнової та чистової груп клітей не були перевищені, що дозволяє застосувати цій температурно-деформаційний режим при виробництві дослідницької партії прокату.

Слід зазначити, що при розрахунку необхідний рівень температур після кліті 10 був досягнений завдяки регулюванню швидкості прокатування металу в чистової групі.

По розрахованих режимах була вироблена дослідницька партія гарячекатаних рулонів перерізом 6×1500 мм, з марки сталі S355MC, плавка 255634-2, згідно до вимог EN 10149-2 та EN 10051.

При виробництві, режим деформації був частково скорегований від розрахованого, у тому числі системою АСУТП, що призвело до зміни в розподіленні навантажень головних двигунів по клітях, рис. 2.



1 – допустима; 2 – фактична; 3 – розрахована

Рисунок 2 – Потужність головних двигунів по клітям

Змінення фактичного режиму деформації при прокатці від цільового (розрахованого), рис. 2, не призвело до перевантажень головних двигунів по клітях.

Після прокатки, рулони були оброблені на установці прискореного охолодження, рис. 1. Фактичні термомеханічні параметри виробництва дослідницької партії наведені в табл. 5.

Фактично отримані термомеханічні параметри дещо перевищують цільові, що пов'язано з регулюванням параметрів в процесі прокатки, а також з опрацюванням технології. Слід зазначити, що з метою отримання необхідних механічних властивостей, підвищені значення температури кінця прокатки в кліті 10 та температури змотування було скомпенсовано використанням максимальної кількості секцій охолодження, що підвищило швидкість охолодження прокату.

Змотані на моталках рулони були відправлені на додаткове контрольоване повітряне охолодження до температури 450 °С, яке здійснювали за допомогою промислових аераторів [30, 31]. Після цієї технологічної операції, рулони були відправлені на склад для остаточного природнього охолодження.

Технологія додаткового контрольованого повітряного охолодження прокату після термомеханічної прокатки спеціально розроблена для виробництва цієї дослідницької партії. Застосування цієї технології дозволило зменшити товщину шару повітряної окалини, який інтенсивно утворюється після закінчення прокатки та аж до температури 450 °С, при звичайному повітряному охолодженні.

Таблиця 5 – Фактичні термомеханічні показники процесу прокатки

Параметр	Одиниця виміру	Значення параметру
Температура нагрівання слябів	°С	1260–1280
Час нагрівання	Годин-хвилин	2–12
Температура прокатки після кліті 4а	°С	1105–1117
Температура прокатки після кліті 10	°С	880–887
Температура змотування рулонів	°С	623–644
Кількість секцій для прискореного охолодження	шт	14
Швидкість охолодження	°С/с	51

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. 6.

Таблиця 6 – Результати механічних випробувань дослідницької партії рулонів

№ плавки	Механічні властивості			
	Межа плинності, МПа	Тимчасовий опір, МПа	Відносне подовження, %	Вигін по оправці
255634-2	475	550	30	Без розтріскування
Вимоги EN10149-2 S355MC	≥ 355	430–550	23	Без розтріскування

Отримані результати механічних випробувань повністю відповідають вимогам EN10149-2 до сталі марки S355MC. Слід зазначити, що отримані результати випробувань знаходяться на верхньому рівні вимог стандарту. Таким чином, технологія виробництва може бути скорегована у напрямку зниження вмісту мікролегованих елементів, що дозволить знизити собівартість продукту. Також, отримані результати свідчать про технічну наявність подальшого освоєння технології термомеханічної прокатки сталі марки S355MC в більших товщинах, та освоєння виробництва гарячекатаних рулонів більш міцних категорій.

Для аналізу внутрішньої якості прокату проведені металографічні дослідження зразків від рулонів плавки 255634-2. Мікроструктура зразків наведена на рис. 3.

Отримана мікроструктура прокату є ферит-перлітною з зерном фериту 9, 10 номеру та смугастістю 1 балу.

Різниця у розмірі зерна фериту між віссю та поверхнею не перевищує одного номера, також метал має майже однаковий стан смугастості по перерізу.

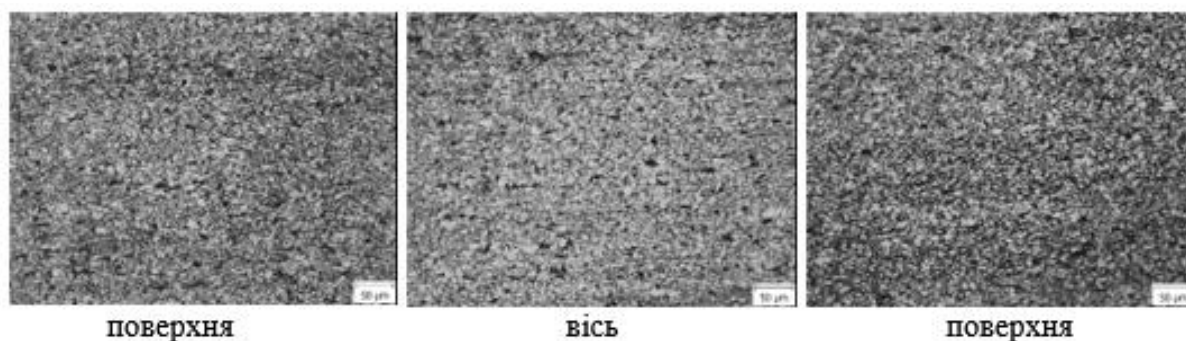


Рисунок 3 – Мікроструктура зразків плавки 255634-2 після травлення, ($\times 200$)

Такий стан мікроструктури по товщині прокату та смугастості свідчать про досягнення необхідного результату при здійсненні термомеханічного процесу прокатки та достатньо ефективного, для цього сортаменту, охолодження прокату по товщині. Для встановлення можливості виробництва прокату в більших товщинах з урахуванням охолоджувальних можливостей устаткування, необхідне подальше дослідне випробування.

Висновки. Розроблена технологія та вироблена партія гарячекатаних рулонів перерізом 6×1500 мм з сталі марки S355MC у повної відповідності до вимог EN 10149-2.

Вперше для умов стану 1700 «ММК Імені Ілліча» (м. Маріуполь) підтверджена технічна можливість реалізації процесу термомеханічної контрольованої прокатки.

Вперше розроблена та промислово застосована технологія додаткового контрольованого повітряного охолодження рулонного прокату до температури 450 °C, з метою зменшення товщини шару повітряної окалини після термомеханічної прокатки, та покращення якості поверхні для споживачів.

Встановлена технічна наявність подальшого освоєння технології термомеханічної прокатки сталі марки S355MC для більших товщин, та виробництва гарячекатаних рулонів більш міцних категорій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Estimation of Occupation Safety Risks at Energetic Sector of Iron and Steel Works / VolodymyrKukhar, NellyYelistratova, VadymBurko, YuliaNizhelska, OlgaAksionova // International Journal of Engineering & Technology (UAE). – 2018. Vol. 7 (2.23). – pp. 216–220. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.23.11922>.
2. Militzer M. Thermomechanical Processed Steels Reference Module in Materials / M.Militzer // Science and Materials Engineering Comprehensive, Materials Processing. Vol. 1. – 2014. – pp. 191–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00115-1>.
3. Zinchenko Yu. A. Prospects of the technology used to make skelp at the Azovstal metallurgical combine / Yu. A. Zinchenko, A. G. Kurpe, O. A. Bagmet // Metallurgist, Vol. 52. Nos. 7–8. – 2008. – pp. 461–463. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11015-008-9065-4>.
4. Development of New Generation Cooling Control System After Rolling in Hot Rolled Strip Based on UFC / LI Hai-jun, LI Zhen-lei, YUAN Guo, WANG Zhao-dong, WANG Guo-dong // Journal of Iron and Steel Research, International. – 2013. 20(7). – pp. 29–34.
5. Algorithm Design and Application of Laminar Cooling Feedback Control in Hot Strip Mill / LIU En-yang, ZHANG Dian-hua, SUN Jie, PENG Liang-gui, GAO Bai-hong, SU Li-tao // Journal of Iron and Steel Research, International. – 2012. 19(4). – pp. 39–42. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60085-5](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60085-5).
6. Designing of induction heaters for the edges of pre-rolled wide ultrafine sheets and strips correlated with the chilling end-effect / KukharVolodymyr, AndriiPrysiashnyi, ElenaBalalayeva, OleksandrAnishchenko // Modern Electrical and Energy System MEES'2017. IEEE. – Kremen-chuk. Ukraine. Kremen-chuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. November 15–17. – 2017. – pp. 404–407. DOI: <https://doi.org/10.1109/MEES.2017.8248945>.

7. Modeling of microstructure evolution and mechanical properties during hot-strip rolling of Nb steels / YunboXu, YongmeiYu, XianghuaLiu, GuodongWang // Journal of University of Science and Technology. Beijing. Vol. 15. – 2008. – pp. 396–401. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1005-8850\(08\)60075-4](https://doi.org/10.1016/S1005-8850(08)60075-4).
8. Korczak P. Investigation of microstructure prediction during experimental thermo-mechanical plate rolling / P. Korczak, H. Dyja // Journal of Materials Processing Technology. 109. – 2001. – pp. 112–119. PII: S 0924-0136(00)00784-6.
9. Xiangwei Kong. Optimization of mechanical properties of low carbon bainitic steel using TMCP and accelerated cooling / XiangweiKong, LiangyunLan // Nagoya Congress Center. – Nagoya. Japan. Procedia Engineering 81. –(2014). – pp. 114–119. DOI: <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. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100270-4.00010-X>.
11. Analysis of the strengthening mechanisms in pipeline steels as a function of the hot rolling parameters / V. Carretero Olalla, V. Bliznuk, N. Sanchez, P. Thibaux, L. A. I. Kestens, R. H. Petrov // Materials Science & Engineering A 604. – 2014. – pp. 46–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.02.066>.
12. Novel thermo-mechanical controlled processing for large-thickness microalloyed 560 MPa (X80) pipeline strip under ultra-fast cooling / J. Zhao, W.Hu, X. Wang, J. Kang, Y. Cao, G. Yuan, H. Di, R. D. K. Misra // A Materials Science & Engineering A 673. – 2016. – pp. 373–377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.07.089>.
13. Effect of microstructure on the crack propagation behavior of microalloyed 560 MPa (X80) strip during ultra-fast cooling / J. Zhao, W. Hu, X. Wang, J. Kang, G. Yuan, H. Di, R. D. K. Misra // Materials Science & Engineering A 666. – 2016. – pp. 214–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.04.073>.
14. Artificial Neural Network Modeling of Microstructure During C-Mn and HSLA Plate Rolling / TAN Wen, LIU Zhen-yu, WU Di, WANG Guo-dong // Journal of Iron and Steel Research. International. – 2009. 16(2). – pp. 80–83. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(09\)60032-7](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(09)60032-7).
15. Microstructures and Properties of X60 Grade Pipeline Strip Steel in CSP Plant / DONG Rui-feng, SUN Li-gang, LIU Zhe, WANG Xue-lian, LIU Qing-you // Journal of Iron and Steel Research. International. – 2008. – pp. 71–75. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(08\)60035-7](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(08)60035-7).
16. An approach to microstructure quantification in terms of impact properties of HSLA pipeline steels / AlexeyGervasyev, VictorCarreteroOlalla, JurijSidor, NuriaSanchezMourinho, LeoA.I.Kestens, RoumenH.Petrov // Materials Science & Engineering A 677. – 2016. – pp. 163–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.09.043>.
17. Багмет О. А. Формирование оптимальных структур и свойств при проведении контролируемой прокатки трубных сталей, содержащих ниобий // Автореферат дис. – М. «Графикс В». – 2007. – 23 с.
18. 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 одностінкових труб великого діаметра для магістральних трубопроводів / Д.А.Лівшиц, Ю. А. Зінченко, Є. Х. Шахпазов, Ю. І. Матросов, І. В. Ганошенко, С. В. Гоман, С. Я. Шалімов, Є. В. Кумуржи, В. В. Володарський, О. Ю. Лоскутов, О. А. Койфман, О. Г. Курпе; власник ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ «АЗОВСТАЛЬ», ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ХАРЦИЗЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД». – № а 201011473; заява 27.09.2010; публ. 25.04.2012, Бюл.№ 8. 7 с.
19. Пат. 96097 Україна, МПК В21С 37/08, С22С 38/00, С21D 1/00, В21В 1/22, В23К 9/00. Спосіб виробництва сталевих високоміцних електрозварних двостінкових труб

- великого діаметра для магістральних трубопроводів / Д. А. Лівшиц, Ю. А. Зінченко, Є. Х. Шахпазов, Ю. І. Матросов, І. В. Ганошенко, С. В. Гоман, С. Я. Шалімов, Є. В. Кумуржи, В. В. Володарський, О. Ю. Лоскутов, О. А. Койфман, О. Г. Курпе; власник ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ «АЗОВСТАЛЬ», ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ХАРЦІЗЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД». – № а 201011469; зава 27.09.2010; публ. 26.09.2011, Бюл. № 18. – 5 с.
20. Effect of niobium and phase transformation temperature on the microstructure and texture of a novel 0.40 % C thermomechanically processed steel / VahidJavaheria, NassehKhodaieb, AnttiKaijalainen, DavidPortera // *Materials Characterization*, 142. – 2018. – pp. 295–308. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.05.056>.
 21. Variability in the mechanical properties and processing conditions of a High Strength Low Alloy steel / G. W. Bright, J. I. Kennedy, F. Robinson, M. Evans, M. T. Whittaker, J. Sullivan, Y. Gao // *Procedia Engineering*, 10. – 2011. – pp. 106–111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.020>.
 22. Effects of TMCP Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of Hot Rolled Economical Dual Phase Steel in CSP / TAN Wen, HAN Bin, WANG Shui-ze, YANG Yi, ZHANG Chao, ZHANG Yong-kun // *Journal of Iron and Steel Research. International*. – 2012. 19(6). – pp. 37–41. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60124-1](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60124-1).
 23. Microstructural evolution and mechanical properties of high strength microalloyed steels: Ultra Fast Cooling (UFC) versus Accelerated Cooling (ACC) / S.Tang, Z.Y.Liu, G.D.Wang, R.D.K.Misra // *Materials Science & Engineering A* 580. – 2013. – pp. 257–265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.05.016>.
 24. Пат. 110812 Україна, МПК В21В 1/46. Спосіб виробництва гарячекатаного прокату підвищеної міцності / Зінченко Ю. А., Пісмарьов К. Є., Курпе О. Г., Мурашкін О. В., Васильченко С. Є., Меркулова Н. О., Чаленко О. Г., Негрій С. Д., Куліш С. В.; власник ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «МАРІУПОЛЬСЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ ІМ. ІЛПЧА». – № у 2016 03353; заява 31.03.2016; публ. 25.10.2016, Бюл. № 20. – 4 с.
 25. 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 : ДГМА, 2017. – № 1(44). – С. 199–203.*
 26. 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 : ДГМА, 2018. – № 1(46). – С. 159–166.*
 27. Курпе О. Г. Уточнення розрахунку теплових втрат металу на станах Стеккеля / О. Г. Курпе, В. В. Кухар, Є. В. Змазнева // *Проблеми трибології = Problems of Tribology*. – 2018. – № 1. – С. 78–84.
 28. Кухар В. В. Розробка технології виробництва листового прокату товщиною 4 мм на стані 3200 заводу Trameal SpA / В. В. Кухар, О. Г. Курпе // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2018. N2. – С. 24–29.
 29. Experimental Research and Method for Calculation of ‘Upsetting-with-Buckling’ Load at the Impression-Free (Dieless) Preforming of Workpiece / Volodymyr Kukhar, Viktor Artiukh, Andrii Prysiazhnyi, Andrey Pustovgar // *E3S Web of Conference (HRC 2017)*. Vol. 33. 02031. – 2018. – pp. 1–11. DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302031>.
 30. Analysis of tribological feature of the oxide scale in hot strip rolling / Z. Y. Jiang, J. Tang, W. Sun, A. K. Tieu, D. Wei // *Tribology International*. 43. – 2010. – pp. 1339–1345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2009.12.070>.
 31. Spallation analysis of oxide scale on low carbon steel / Jae-min Lee, Wooram Noh, Deuk-Jung Kim, Myoung-Gyu Lee // *Materials Science & Engineering A* 676. – 2016. – pp. 385–394. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.09.012>.