

Кухар В. В.
Горностай В. М.
Курпе О. Г.

ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ВИТРАТИ ЕМУЛЬСОЛУ ПРИ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ СМУГ З ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ НА БЕЗПЕРЕРВНОМУ 4-Х КЛІТЬОВОМУ СТАНІ 1680

У роботі виконане порівняння споживання електроенергії при холодній прокатці на безперервному 4-х клітьовому стані тандем 1680 для сортаменту з вуглецевих сталей із використанням мастильно-охолоджуючих емульсолів «Quakerol» та «Універсал ІТС». Об'єктом дослідження був процес виробництва холоднокатаних штаб у цеху холодної прокатки. Предметом дослідження стали закономірності впливу технологічних умов виготовлення холоднокатаних штаб на чотирьох клітьовому стані 1680 з використанням емульсолів «Quakerol» та «Універсал-ІТС» на енергосилові параметри прокатки. Виявлено, що середнє сумарне навантаження на двигуни прокатних клітей і моталку при використанні емульсії "Quakerol" на 4,19 % вище, ніж при виробництві такого ж сортаменту, прокатаного на емульсії з "Універсал-ІТС". Показано, що сумарні питомі витрати електроенергії при прокатці на емульсії, приготованій з дослідного емульсолу «Quakerol», більше на 2,7 %, ніж при прокатці на емульсії, приготованій з серійного емульсолу «Універсал-ІТС». Обґрунтоване припущення, що більш висока питома витрата електроенергії при експлуатації мастильно-охолоджувальної рідини з дослідного емульсолу, що має більш високе число омилення, може бути причиною невірної вибраної і заниженої концентрації емульсії з метою зниження витрати емульсолу на процес прокатки. Встановлено, що загальні витрати емульсолу «Quakerol» склали 0,151 кг/т прокату, при чому виявлено, що тривалість використання до заміни дослідної емульсії «Quakerol» у 2,17 рази більше, ніж емульсії "Універсал-ІТС".

Ключові слова: холодна прокатка, безперервний стан 1680, емульсол, енергоспоживання, питомі витрати електроенергії.

Чотирьохклітьові безперервні чотиривалкові стани застосовують для холодної прокатки штаб та листів широкого призначення товщиною 0,6–2,5 мм, шириною 1300–1800 мм з гарячої штаби (підкату) товщиною 3–8 мм у рулонах масою 25–50 т. Довжина бочки валків 1500–2000 мм при діаметрі робочих валків 500–550 мм і опорних – 1300–1500 мм. Швидкість прокатки – щонайменше 5–12 м/с, продуктивність – від 0,6–0,8 млн. т на рік [1]. Із зарубіжного сучасного досвіду в області станів холодної прокатки слід відзначити насамперед широке застосування станів з чотиривалковими клітьями тандемного типу у складі чотирьох та п'яти клітей для виробництва смуг і п'яти та шести клітей для виробництва жерсті [2, 3].

Підвищення конкурентоспроможності та виробітки продукції цеху холодної прокатки (ЦХП) досягають використанням сучасних емульсій, які забезпечують належний рівень показників якості холоднокатаних рулонів [4–6]. Використання нового емульсолу «Quakerol» замість «Універсал-ІТС» потребує оцінки впливу цієї мастильно-охолоджувальної рідини на показники якості, технологічності й енергосилові параметри прокатки. Нові результати дозволять розробити та рекомендувати технологічні умови використання емульсолу «Quakerol» в технологіях холодної прокатки, прогнозувати показники якості та витрати емульсолу.

Об'єктом дослідження був процес виробництва холоднокатаних штаб у цеху холодної прокатки. Предметом дослідження стали закономірності впливу технологічних умов виготовлення холоднокатаних штаб на чотирьох клітьовому стані 1680 з використанням емульсолів «Quakerol» та «Універсал-ІТС» на енергосилові параметри прокатки.

У роботі [7] значну увагу приділено підвищенню енергетичної ефективності холодної прокатки на новому двох клітьовому реверсивному стані 1700 (стосовно до умов комбінату «Запоріжсталь»). Шляхом проведення розрахунків показано, що застосування емульсолів «Cold Roller» та «Агрінол ОМ» дозволить знизити розхід електроенергії при холодній прокатці штаб на 1–7 %. Умови силового навантаження на електродвигун реверсивного стану холодної прокатки 1680 розглянуто у роботі [8]. Виявлено важливість забезпечення надійності й стабільності режимів роботи електрообладнання й автоматики для досягнення високої якості та відсутності дефектів прокатки тонких холоднокатаних штаб. Причому, особливо підкреслено

необхідність проведення прокатки з емульсіями типу «Універсал-1ТС» і «Cold Roller» для досягнення пом'якшення умов експлуатації електродвигунів прокатного стану.

Дослідження [9, 10] присвячені виявленню впливу характеристик і фізико-хімічних властивостей різних емульсолів на енерговитрати безперервних станів холодної прокатки. В них визначено, що використання емульсолу з більшою кінематичною в'язкістю дозволяє в деяких випадках знизити питомі витрати електроенергії. У станах тандем режими роботи електродвигунів клітей повинні бути синхронізовані [11] з врахуванням деформаційних явищ (різні витяжки штаби по клітях, нагрівання-охолодження при прокатці тощо), що впливає на показники якості та розхід електроенергії.

Умови тертя і змащування, як правило, суттєво впливають на енергосилові режими деформації [12]. Коефіцієнт деформаційного тертя визначають різноманітними способами, серед яких для пластичної деформації найпоширенішим є осаджування заготовок з різними умовами на контактні інструмент-заготовка [13]. Дослідження [14] присвячено аналізу режимів деформації на одноклітьовому стані холодної прокатки 1500. Причому, як за рахунок зміни контактних умов, так і за рахунок варіювання натягами, розроблено енергозберігаючі режими прокатки штаб товщиною 0,4, 0,5 та 0,8 мм.

В роботі [15] представлені результати випробувань трьох прокатних емульсій: «Gerolub 3022», «Gerolub CTS 87-1» та «Gerolub 6528». Визначено, що застосування цих прокатних емульсолів дозволяє збільшити швидкість прокатки при збереженні якості поверхні виробу та зниженні енергосилових параметрів прокатки порівняно з параметрами, отриманими раніше під час використання мастил «Quakerol 683» та «Quakerol NLM 4.0». В той же час, дослідники [16] відзначають, що за час проведення ними однократних оцінок більш ефективного емульсолу, ніж «Quakerol 671», для умов ЦХП 1700 ВАТ «АМТ» не виявлено.

Метою роботи є оцінка завантаження електродвигунів та споживання електроенергії в умовах безперервного стану холодної прокатки, враховуючі перспективи застосування емульсолу «Quakerol» замість з емульсолу «Універсал-1ТС».

Для проведення дослідно-промислових випробувань було поставлено 11 м³ (~9900 кг) дослідного емульсолу «Quakerol». Для визначення фактичних фізико-хімічних показників було відібрано проби емульсолу. Враховуючи те, що гарячекатаний травлений прокат може перебувати перед прокаткою у відкритому просторі не більше 48 годин, а кампанія випробувань дослідного емульсолу «Quakerol» тривала близько місяця, то розподіл дослідної плавки для порівняльного прокатування частини рулонів на серійному емульсолі «Універсал-1ТС» не виконували. Для порівняння використовували дані, отримані раніше на рулонах, прокатаних на емульсії з емульсола «Універсал-1ТС» більш ранніх поставок.

Проведено вхідний контроль відповідності характеристик емульсолу вимогам ТУ У 24.6-31709624-001:2005. Встановлено, що випробуваний зразок дослідного емульсолу «Quakerol» відповідає вимогам паспорту якості. За своїми фізико-хімічними показниками дослідний емульсол «Quakerol» відрізняється від застосовуваного емульсолу «Універсал-1ТС» тим, що має більш високі змащувальні властивості (число омилення 164,44 мгКОН/г, проти 38,57 мгКОН/г у емульсу «Універсал-1ТС»).

Безперервний чотирьох клітьовий стан 1680 є основним прокатним станом цеху холодної прокатки (ЦХП-1, ПрАТ «Запоріжсталь»). Він складається з 4-х послідовно розташованих клітей кварто, що мають у своєму складі два опорних і два робочих валка, а також допоміжного обладнання (підвідного приймального пристрою, поворотного столу, розмотувача, моталки барабанного типу та ін.). Характеристика приводу валків наведена у табл. 1.

Привід робочих валків від електродвигунів здійснюється через проміжні вали із зубчатою муфтою, шестеренні кліті та шпindelельні з'єднання. Характеристика валків наведена у табл. 2.

Для поліпшення захоплення першої кліті використовуються насічені робочі валки. У четвертій кліті також використовуються робочі валки з насіченою поверхнею для унеможливлення зварювання витків рулонів при подальшій термообробці. Для кожної марки сталі, а також кінцевого перерізу холоднокатаних смуг, розроблено режими обтиснення.

Таблиця 1

Характеристика приводу валків

№ кліті	Потужність двигуна, кВт	Число обертів якоря, об/хв	Швидкість прокатки, м/с
1	3300	110/200	2,75 - 5,0
2	3300	160/280	4,0 - 7,0
3	3300/2800	220/280	5,8 - 9,5
4	2 x 1650	200/450	5,6 - 10

Таблиця 2

Характеристика валків безперервного стану

Вид валків	Діаметр діжки, мм	Довжина діжки, мм	Маса валка, т	Тип підшипників
Робочі	510	1680	3,12	Роликові
Опорні	1300	1680	23,6	Рідинного тертя

Стан обладнаний системою подачі технологічного мастила (емульсія з концентрацією емульсолу 2–4 %), системами протизгинання робочих валків, контрольно-вимірювальною апаратурою, за допомогою якої здійснювали контролювання енергосилових параметрів прокатки та енергоспоживання.

Аналіз енергосилових параметрів прокатки. Проаналізовані режими роботи електродвигунів клітей і моталки стану "Тандем" при прокатці плавки на мастильно-охолоджувальній рідині (МОР) з дослідного емульсолу «Quakerol», промасленого емульсом «Quakerol» і серійного емульсолу «Універсал-1ТС», промасленого маслом консервації «ОК-2». Результати аналізу навантажень при прокатці смуг перерізом 0,68x1000 мм з підкату завтовшки 3,0 мм узагальнені в табл. 3.

Таблиця 3

Середні сумарні навантаження на двигуни при прокатці

Марка сталі	Розмір	Середнє сумарне навантаження на електродвигуни клітей та моталку при прокатці одного рулону дослідної плавки, кВА	
		Прокат на емульсії з дослідного емульсолу «Quakerol»	Прокат на емульсії з емульсом «Універсал-1ТС»
08кп	3,0/1,0 × 1265	10,965	10,505

Як видно з табл. 3, середнє сумарне навантаження на двигуни клітей і моталку 4-х клітьового стану 1680 в установленому режимі прокатки при використанні емульсії з дослідного емульсолу «Quakerol» на промасленому емульсом «Quakerol» металі на 4,19 % вище, ніж при прокатці такого ж сортаменту, промасленого в БТА-4 маслом ОК-2 і прокатаного на емульсії з «Універсал-1ТС».

Аналіз спожитої електроенергії. Проаналізовано споживання електроенергії при прокатці однотипного сортаменту при прокатці плавки на МОР з дослідного емульсолу «Quakerol», промасленого емульсом «Quakerol» і серійного емульсолу «Універсал-1ТС», промасленого маслом консервації «ОК-2». Дані про спожиту електроенергію представлені в табл. 4.

Як видно з табл. 4, сумарна питома витрата електроенергії при прокатці на емульсії, приготованій з дослідного емульсолу «Quakerol» дещо більша (на 2,7 %), ніж витрата при прокатці на емульсії, приготованій з серійного емульсолу «Універсал-1ТС». При цьому середня концентрація емульсії при прокатці рулонів на емульсолі «Quakerol» складала 1,9 % проти 3,0 % на рулонах, прокатаних на МОР, приготованою з серійного емульсолу «Універсал-1ТС». Більш висока питома витрата електроенергії при експлуатації МОР з дослідного емульсолу, що має більш високе число омилання, може бути причиною невірно вибраної і заниженої концентрації емульсії з метою зниження витрати емульсолу на прокат.

Витрата емульсолу. Тривалість роботи дослідної емульсії «Quakerol» при випробуваннях склала 521 годину проти 240 годин згідно технологічним інструкціям (у 2,17 рази більше, ніж для емульсолу «Універсал-1ТС»). Випробування були зупинені унаслідок повного вироблення дослідного емульсолу. Дослідний емульсол використовувався як для промаслення гарячекатаних смуг в лінії безперервно-травильного агрегату (БТА-4), так і для приготування прокатної емульсії. Окрім цього, 200 кг емульсолу витрачені на приготування збідненої емульсії (концентрація – 0,5 %) для промивання емульсивної системи стану Тандем.

Таблиця 4

Споживання електроенергії при прокатці на стані тандем

Розмір штаб, мм	Кількість рулонів, шт	Концентрація емульсії при прокатці, %	Розходування електроенергії, КВт×год	Маса рулонів, т	Питомий розхід електроенергії, КВт×год/т	Сумарний розхід електроенергії при прокатці, КВт×год/т
«Quakerol»						
0,5×1000	10	1,5	9063,9	98	92,49	504
1,5×1250	4	1,8	1746,9	53,06	32,92	
0,5×1000	13	1,9	12852	143,16	89,77	
1,5×1250	9	1,8	4236,3	117,23	36,14	
0,5×1000	6	1,7	5595,3	68,13	82,13	
1,5×1250	9	2	3919,5	113,76	34,45	
0,5×1000	5	2,4	5344,2	56,89	93,94	
1,5×1250	10	2	4609,8	109,75	42,00	
Середнє значення концентрації емульсії		1,9				
«Універсал-1ТС»						
0,5×1000	4	3,1	3800,7	44,21	85,97	490
1,5×1250	4	2,6	1693,8	54,74	30,94	
0,5×1000	7	3,8	6930,9	78,58	88,20	
1,5×1250	8	3	3631,5	93,95	38,65	
0,5×1000	9	2,7	8404,2	101,23	83,02	
1,5×1250	11	3,3	4701,6	147,54	31,87	
0,5×1000	9	2,2	9208,8	96,94	94,99	
1,5×1250	6	3	2781,9	76,58	36,33	
Середнє значення концентрації емульсії		3,0				

За перший період випробувань було промаслено емульсом «Quakerol» 40918,38 т гарячекатаного металу. За вказаний період витрачено 3600 кг емульсолу. Витрата емульсолу склала: $3600 / 40918,38 = 0,088$ кг/т (при нормі для «ОК-2» – 0,1 кг/т). Протягом 12 днів був другий період, коли прокат не промаслювався, що призводило до збільшення витрат емульсолу на прокатному стані, відповідно для розрахунку загальної витрати емульсолу приймаємо витрату емульсолу на промаслення рівним $3600 / 64165 = 0,056$ кг/т.

Всього за два періоди випробувань було прокатано 64165,73 т (у тому числі: 1932,15 т нагартованих рулонів, 1115,7 т для подальшого виготовлення жерсті, 61117,88 т для подальшого виготовлення холоднокатаних рулонів і листів). Для прокатки холоднокатаного прокату на стані витрачено 6300 кг емульсолу. Питома витрата емульсолу склала: $6300 \text{ кг} / 64165,73 = 0,095$ кг/т (норма 0,45 кг/т для емульсолу «Універсал-1ТС»). Загальна витрата емульсолу склала: $0,056 + 0,095 = 0,151$ кг/т прокату.

ВИСНОВКИ

Розроблено методики оцінки енергосилових параметрів при холодній прокатці з емульсолами. Встановлені закономірності впливу технологічних умов прокатки на 4-х клітьовому стані з використанням емульсолу «Quakerol» на енергосилові параметри прокатки. Виявлено, що середнє сумарне навантаження на двигуни клітей і моталку 4-х клітьового стану 1680 в установленому режимі прокатки при використанні емульсії «Quakerol» на 4,19 % вище, ніж при прокатці такого ж сортаменту, прокатаного на емульсії з "Універсал-1ТС". Встановлено рівень енергосилових витрат при прокатці у 4-х клітьовому стані з використанням емульсорів «Quakerol» та «Універсал 1ТС». Показано, що сумарні питомі витрати електроенергії при прокатці на емульсії, приготіваній з дослідного емульсолу «Quakerol», більше на 2,7 %, ніж при прокатці на емульсії, приготіваній з серійного емульсолу «Універсал-1ТС». Загальні витрати емульсолу «Quakerol» склали 0,151 кг/т прокату, при чому виявлено, що тривалість використання до заміни дослідної емульсії «Quakerol» у 2,17 рази більше, ніж емульсії «Універсал-1ТС».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Василев Я.Д., Самокиш Д.М., Журавльова С.В., Пройдак Ю.С., Замогильний Р.О. Стан виробництва тонкого плоского сталевго проката у світі і тенденції розвитку штабових станів холодної прокатки. *Теорія і практика металургії*. 2019. №1. С. 15–28. DOI:<https://doi.org/10.34185/tpm.1.2019.02>
2. Pittner J., Simaan M. A. Optimal control of continuous tandem cold metal rolling. *2008 American Control Conference*. Seattle, Washington, USA June 11-13. 2008, pp. 2834–2839.
3. Asghar M. T., Jungers M., Khelassi A., Francken J. Tandem cold rolling mill modeling for multi-variable control synthesis. *17th IFAC Symposium on Control, Optimization and Automation in Mining, Mineral and Metal Processing*, Aug 2016. Vienna. Austria. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01393445>
4. Мазур В. Л., Качайлов А. П., Иванченко В. Г., Добронравов А. И. Повышение качества листового проката. Киев: Техника, 1979. 143 с.
5. Мазур В. Л. Производство листа с высококачественной поверхностью. Киев: Техника. 1982. 166 с.
6. Tahir M., Ståhlberg U. Environmental improvement by using a water-based synthetic lubricant in steel-strip rolling. *Proceedings of Iron and Steel Society/AIME: 44th Mechanical Working and Steel Processing*. Orlando, USA, 2002. September 8-11. 40, pp. 291-302.
7. Василев Я. Д., Самокиш Д. Н., Замогильний Р. А. Разработка энергосберегающих режимов деформации на новом двухклетевом реверсивном стане холодной прокатки 1700 для комбината «Запорожсталь». *Металл и лите Украины*. 2013. 7 (242). С. 8–13.
8. Kukhar V., Korenko M., St'opin V., Karmazina I., Elchaninov A., Hurkovska S., Prysiazhnyi A., Zubrytskyi V. Operation Modes of Electric Motors of Reversing Cold Rolling Mill 1680 while Rolling with Emulsions. *Modern Electrical and Energy System*. Kremenchuk, Ukraine: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University. September 23–25. 2019, pp. 46–49. DOI:<https://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896465>.
9. Кухар В. В., Кармазіна І. В., Присяжний А. Г. Вплив фізико-хімічних показників прокатної емульсії на енерговитрати безперервних станів холодної прокатки жерсті. *Проблеми трибології*. 2018. 4. С. 92–100. DOI:<https://doi.org/10.31891/2079-1372-2018-90-4-92-99>.
10. Василев Я. Д., Замогильний Р. О., Самокиш Д. М. Інженерна методика визначення антифрикційної ефективності емульсолів для холодної прокатки по їх фізико-хімічним властивостям. *Теорія і практика металургії*. 2018. 6. С. 15–21. DOI:<https://doi.org/10.34185/tpm.6.2018.2>.
11. Kurpe O., Kukhar V., Puzyr R., Burko V., Balalayeva E., Klimov E. Electric Motors Power Modes at Synchronization of Roughing Rolling Stands of Hot Strip Mill. *Proceeding of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive*. 21–25 September 2020. Ukraine. Kremenchuk. 2020, pp. 510–513. DOI:<https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240818>.
12. Dykha A., Kukhar V., Artiukh V., Aleksandrovskiy M. Contact-deformation mechanism of boundary friction. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 164, pp.14004. DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016414004>.
13. Kukhar V.V., Klimov E.S., Chernenko S.M., Balalayeva E.Y. Correlation of Barreling Effect with Boundary Friction Coefficient during Upsetting of Various Materials Workpieces under Processing Conditions. *Material Science Forum*. 2020. Vol. 992, pp. 751–756. DOI:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.751>.
14. Романюк Р. Я. Энергосберегающие режимы обтигнения для одноклетьевого реверсивного стану холодної прокатки 1500 ПАТ „МОДУЛЬ”. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету*. 2016. Т. 2. 29. С. 42–48.
15. Dolmatov A.P., Morozov A.V., Usachev M.A., Shipilov V.D., Chelyadinov A.A. Testing of rolling oils made by the Henkel company on a continuous five-stand 2030 mill. *Metallurgist*. 58. 9–10, pp. 788–795.
16. Naizabekov A., Samsonov D., Krivtsova O., Lezhnev S., Talmazan V., Arbutz A. Comparative evaluation of technologic lubricants. *International Conference on Metallurgy and Materials. Paper presented at the METAL 2013 - 22nd. Conference Proceedings*, pp 403-407.

REFERENCES

1. Vasilev Y.D., Samokish D.M., Zhuravleva S.V., Projdak Y.S., Zamogilny R.O. State of production of thin flat rolled steel in the world and trends of development of cold rolling mills. *Theory and Practice of Metallurgy*. 2019. 1, pp. 15–28. DOI:<https://doi.org/10.34185/tpm.1.2019.02>. (in Ukrainian).
2. Pittner J., Simaan M. A. Optimal control of continuous tandem cold metal rolling. *2008 American Control Conference*. Seattle. Washington. USA. 2008. June 11-13, pp. 2834–2839.
3. Asghar M. T., Jungers M., Khelassi A., Francken J. Tandem cold rolling mill modeling for multi-variable control synthesis. *17th IFAC Symposium on Control, Optimization and Automation in Mining, Mineral and Metal Processing*, Aug 2016. Vienna, Austria. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01393445>
4. Mazur V. L. L., Kachaylov A. P., Ivanchenko V. G., Dobronravov A. I. *Improvement of quality of sheet rolling*. Kiev: *Tehnika*. 1979. 143 p. (in Russian).
5. Mazur V. L. L. Sheet production with high quality surface. Kiev: *Technique*. 1982. 166 pp. (in Russian).
6. Tahir M., Ståhlberg U., Environmental improvement by using a water-based synthetic lubricant in steel-strip rolling. *Proceedings of Iron and Steel Society/AIME: 44th Mechanical Working and Steel Processing*. Orlando. USA. 2002. September 8 – 11. Volume 40, pp. 291-302.
7. Vasilev Y. D. D., Samokish D. N., Zamogilny R. A. Development of energy-saving deformation modes at the new two-stand reversing mill 1700 for Zaporizhstal plant. *Metal and casting of Ukraine*. 2013. № 7 (242), pp. 8–13. (in Russian).
8. Kukhar V., Korenko M., Stopin V., Karmazina I., Elchaninov A., Hurkovska S., Prysiaznyi A., Zubrytskyi V. Operation Modes of Electric Motors of Reversing Cold Rolling Mill 1680 while Rolling with Emulsions. *Modern Electrical and Energy System*. Kremenchuk, Ukraine: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2019. September 23–25, pp. 46–49. DOI:<https://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896465>.
9. Kukhar V. V., Karmazina I. V., Prysiaznyj A.G. Influence of physical and chemical indices of rolling momentum on energy consumption of continuous cold rolling mill. *Problems of tribology*. 2018. 4, pp. 92–100. DOI:<https://doi.org/10.31891/2079-1372-2018-90-4-92-99>. (in Ukrainian).
10. Vasilev Y. D. D., Zamogilny R.O., Samokish D.M. Ingenious method of specifying the antifriction effectiveness of cold rolling resins according to their physical and chemical properties. *Theory and practice of metallurgy*. 2018. 6, pp. 15–21. DOI:<https://doi.org/10.34185/tpm.6.2018.2>. (in Ukrainian).
11. Kurpe O., Kukhar V., Puzyr R., Burko V., Balalayeva E., Klimov E. Electric Motors Power Modes at Synchronization of Roughing Rolling Stands of Hot Strip Mill. *Proceeding of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive*. 21–25 September 2020. Ukraine. Kremenchuk. 2020, pp. 510–513. DOI:<https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240818>.
12. Dykha A., Kukhar V., Artiukh V., Aleksandrovskiy M. Contact-deformation mechanism of boundary friction. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 164, pp.14004. DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016414004>.
13. Kukhar V.V., Klimov E.S., Chernenko S.M., Balalayeva E.Y. Correlation of Barreling Effect with Boundary Friction Coefficient during Upsetting of Various Materials Workpieces under Processing Conditions. *Material Science Forum*. 2020. Vol. 992, pp. 751–756. DOI:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.751>.
14. Romanjuk R.Y. Energy-saving modes of friction for single-plate reversing cold rolling mill 1500 of PAT "MODUL". *Collection of scientific works of Dnipropetrovsk State Technical University*. 2016. T. 2. 29, pp. 42–48. (in Ukrainian).
15. Dolmatov A.P., Morozov A.V., Usachev M.A., Shipilov V.D., Chelyadinov A.A. Testing of rolling oils made by the Henkel company on a continuous five-stand 2030 mill. *Metallurgist*. 58. 9–10, pp. 788–795.
16. Naizabekov A., Samsonov D., Krivtsova O., Lezhnev S., Talmazan V., Arbutov A. Comparative evaluation of technologic lubricants. *International Conference on Metallurgy and Materials. Paper presented at the METAL 2013 - 22nd. Conference Proceedings*, 403-407.

Kukhar V. V., Hornostai V. M., Kurpe O. G. Energy consumption and emulsol spending during cold flat rolling of carbon steel on a continuous 4-stand mill 1680.

The paper compares energy consumption during cold rolling on a 4-stand mill 1680 of carbon steel assortment using "Quakerol" and "Universal-ITS" lubricating-cooling emulsols. The object of the study was the manufactory process for cold rolled strips in the cold rolling shop. The subject of the study were regularities of the technological conditions influence for cold rolled strips production on a four-stand mill 1680 with the use of "Quakerol" and "Universal-ITS" emulsions on the rolling energy and power parameters. It was found that the average total load on mill's stands motors and winder when using "Quakerol" emulsion is on 4.19% higher than when rolling the same assortment rolled with emulsion from "Universal-ITS". It is shown that the total specific consumption of electricity when rolling on an emulsion prepared from the experimental "Quakerol" emulsol is 2.7% more than rolling on an emulsion prepared from the serial "Universal-ITS" emulsol. The assumption is substantiated that higher specific power consumption in the operation of lubricant-coolant from experimental emulsols, which has a higher saponification number, can be the cause of incorrectly selected and emulsion underestimated concentration in order to reduce the emulsol consumption for the rolling process. It was established that the total consumption of the "Quakerol" emulsion was 0.151 kg/t of rolled product, and it was found that the duration of use before replacement of the experimental emulsion "Quakerol" is in 2.17 times more than that of the "Universal-ITS" emulsion.

Key words: cold rolling, 1680 continuous mill, emulsol, energy consumption, specific consumption of electricity

Кухарь В. В., Горноста́й В. Н., Курпе А. Г. Энергопотребление и расход эмульсола при холодной прокатки полос из углеродистой стали на непрерывном 4-х клетевом стане 1680.

В работе проведено сравнение потребления электрической энергии при холодной прокатке на непрерывном 4-х клетевом стане тандем 1680 для сортамента из углеродистых сталей с использованием смазочно-охлаждающих эмульсолов «Quakerol» и «Универсал-ИТС». Объектом исследования был процесс производства холоднокатаных полос в цехе холодной прокатки. Предметом исследования стали закономерности влияния технологических условий изготовления холоднокатаных полос на четырех клетевом стане 1680 с использованием эмульсолов «Quakerol» и «Универсал-ИТС» на энергосиловые параметры прокатки. Выявлено, что средняя суммарная нагрузка на двигатели прокатных клетей и моталку при использовании эмульсии Quakerol на 4,19 % выше, чем при производстве такого же сортамента, прокатанного с использованием эмульсии Универсал-ИТС. Показано, что суммарный удельный расход электроэнергии при прокатке на эмульсии, приготовленной из опытного эмульсола «Quakerol», больше на 2,7 %, чем при прокатке на эмульсии, приготовленной из серийного эмульсола «Универсал-ИТС». Обосновано предположение, что более высокий удельный расход электроэнергии при эксплуатации смазочно-охлаждающей жидкости из опытного эмульсола, имеющего более высокое число омыления, может быть причиной неверно выбранной и заниженной концентрации эмульсии с целью снижения расхода эмульсола на процесс прокатки. Установлено, что общие расходы эмульсола «Quakerol» составили 0,151 кг/т проката, причем обнаружено, что продолжительность использования до замены опытной эмульсии «Quakerol» в 2,17 раза больше, чем эмульсии "Универсал-ИТС".

Ключевые слова: холодная прокатка, непрерывный прокатный стан 1680, эмульсол, энергопотребление, удельный расход электроэнергии.

Кухар Володимир Валентинович – д-р техн. наук, професор, проректор з науково-дослідної роботи, ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»

Kukhar Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, vice-rector for R&D work, "Metinvest Polytechnic Technical University" LLC

Кухарь Владимир Валентинович – д-р техн. наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, ООО «Технический университет «Метинвест Политехника»

E-mail: kvv.mariupol@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4863-7233>

Горноста́й Вадим Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»

Hornostai Vadym – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

Горноста́й Вадим Николаевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологии изготовления летательных аппаратов НТУУ «КПИ им. И. Сикорского»

E-mail: w.gornostay@kpi.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5766-931X>

Курпе Олександр Геннадійович – д-р техн. наук, керівник групи холодно́го прокату, ТОВ «Метінвест Інжинірінг»

Kurpe Oleksandr – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, head of the cold rolling group, "Metinvest Engineering" LLC

Курпе Александр Геннадиевич – д-р техн. наук, руководитель группы холодно́го проката, ООО «Метинвест Инжиниринг»

E-mail: aleksandr.kurpe@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2039-7239>

ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя

"Metinvest Polytechnic Technical University" LLC, Zaporizhzhia

ООО «Технический университет «Метинвест Политехника», м. Запорожье

НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine.

НТУУ «КПИ им. И. Сикорского» – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина.

"Metinvest Engineering" LLC, Dnipro

ООО «Метинвест Инжиниринг», г. Днепр

ТОВ «Метінвест Інжинірінг», м. Дніпро

Статья поступила в редакцию 21.05.2022 г.