

УДК 621.771.237

<https://doi.org/10.34185/tpm.6.2018.2>

Василев Я.Д., Замогильный Р.О., Самокиш Д.М.

ИНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕМУЛЬСОЛІВ ДЛЯ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ПО ЇХ ФІЗИКО-ХІМІЧНИМ ВЛАСТИВОСТЯМ

Vasilev J.D., Zamogilniy R.O., Samokysh D.N.

ENGINEERING TECHNIQUE FOR DETERMINING ANTI-FRICTION EFFICIENCY OF EMULSOLS FOR COLD ROLLING BY THEIR PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Розроблено інженерну методику для визначення антифрикційної ефективності емульсолів при холодній прокатці по їх фізико-хімічними властивостями. В основу цієї методики покладено безрозмірні показники K_{CM} , $K_{\text{в'яз}}$, $K_{\text{эф}}$ і $K_{\text{отн.эф}}$, що враховують відповідно вплив хімічних і фізичних властивостей емульсолів на антифрикційну ефективність останніх та запропоновані залежності для розрахункового визначення рейтингу їх антифрикційної ефективності. За допомогою запропонованої методики і критерію $K_{\text{отн.эф}}$ була досліджена антифрикційна ефективність 24 різних емульсолів застосовуваних при холодній прокатки і розрахований рейтинг їх антифрикційної ефективності. Встановлено, що висока антифрикційна та мюоча ефективність сучасних емульсолів досягається при значенні кінематичної в'язкості останніх на рівні 30-45 мм²/с і збільшенні числа омилення до 160-195 мг КОН/г.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХОЛОДНА ПРОКАТКА; КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ; ТЕХНОЛОГІЧНЕ МАСТИЛО; АНТИФРИКЦІЙНА ЕФЕКТИВНІСТЬ; МЕТОДИКА; ПОКАЗНИК.

An engineering technique was developed to determine the antifriction efficiency of emulsols during cold rolling according to their physicochemical properties. This method is based on the dimensionless exponent's K_{CM} , $K_{\text{в'яз}}$, $K_{\text{эф}}$ and $K_{\text{отн.эф}}$, taking into account, respectively, the influence of the chemical and physical properties of emulsols on the antifriction efficiency of the latter and the proposed dependencies for calculating rating of their antifriction efficiency. With the proposed method and criterion $K_{\text{отн.эф}}$ antifriction efficiency of 24 different emulsol it was investigated applied in cold rolling and the calculated rating antifriction their effectiveness. It is established that the high antifriction and washing efficiency of modern emulsols is achieved with a value of the kinematic viscosity of the latter at a level of 30-45 mm²/s and an increase in the saponification to 160-195 mg KOH/g.

KEYWORDS: COLD ROLLING; FRICTION COEFFICIENT; TECHNOLOGICAL LUBRICATION; ANTI-FRICTION EFFECTIVENESS; METHODS; INDEX.

Холодна штабова прокатка є єдиним способом виробництва тонкого плоского прокату з необхідним комплексом властивостей. Плоский холоднокатаний прокат зі сталі відрізняється високими показниками якості і відноситься до числа найбільш універсальних і найбільш затребуваних видів металопродукції. Завдяки гарному поєднанню міцності, пластичних і технологічних властивостей, малої товщині (менше 1,5-2,0 мм, аж до 0,25-0,35 мм), високої точності і хорошій якості поверхні з плоского холоднокатаного прокату методами штампування, гнуття та зварювання виготовляють легкі і міцні конструкції, які знаходять широке застосування практично у всіх галузях промисловості і будівництві. Сьогодні в світі виробляють понад 110 млн. т в рік плоского сталевого холоднокатаного прокату і приблизно три чверті з нього випускається товщиною менше 0,8-1,2 мм з тенденцією подальшого її зменшення. Одночасно з цим підвищуються її властивості міцності холоднокатаного прокату шляхом вдосконалення його марочного сортаменту за рахунок збільшення частки сталей високої і надвисокої міцності. Особливу самостійне місце в сортаменті плоского холоднокатаного

прокату займає жерсть, обсяги випуску якої в світі в останні роки стабілізувалися на рівні 16,5-17,5 млн. т. на рік. Жерсть це специфічний вид високоякісного холоднокатаного прокату з низьковуглецевих сталей малої товщини (0,25-0,36 мм і менше аж до 0,10-0,12 мм), що випускається з захисними покриттями, який застосовується виключно для виготовлення металевої тари в консервній і харчосмакової промисловості.

При холодній штабовій прокатці, як і при будь-якому іншому процесі прокатки, енергія, необхідна для здійснення пластичної деформації штаби валками передається фрикційним шляхом. У зв'язку з цим сили тертя на контакті штаби з валками, що залежать від величини коефіцієнта тертя при прокатці, мають вирішальний вплив на всі параметри процесу, перш за все на силу прокатки і питому витрату енергії в сторону їх збільшення. Збільшення коефіцієнта тертя при холодній прокатці призводить до зменшення обжимної здатності робочих клітей, що обмежує сортамент штабових станів холодної прокатки і ускладнює умови отримання тонкого холоднокатаного прокату і жерсті з необхідними показниками якості поверхні.

Вирішальну роль в підвищенні енергетичної ефективності процесу холодної штабової прокатки, обтискної здатності робочих клітей штабових станів холодної прокатки і поліпшення якості поверхні плоского холоднокатаного прокату грають технологічні мастила [1-4]. Застосування технологічних мастил при холодній штабовій прокатці в залежності від їх антифрикційної ефективності забезпечує істотне поліпшення перерахованих вище параметрів. При цьому встановлено, що оптимальний склад технологічного мастила при холодній штабовій прокатці є одним з необхідних умов, що гарантують високу енергетичну ефективність процесу і необхідний рівень показників якості готової продукції.

Якщо раніше в якості технологічних мастил при холодній прокатці застосовували в основному емульсії на основі мінеральних і рослинних масел, то в останні десятиліття для цієї мети використовують виключно багатокомпонентні прокатні масла (емульсоли), асортимент яких постійно розширюється і їх ефективність підвищується. Сучасні емульсоли і емульсії, що застосовуються на їх основі за своєю антифрикційною ефективністю, м'яким, антикорозійним і іншим властивостям, зручності подачі до валків і штаби, вартості та іншим вимогам не тільки поступаються пальмові олії - однієї з кращих рослинних мастил, а й істотно перевершують його. Виробництво емульсолів сьогодні здійснюється на спеціалізованих підприємствах, які по суті є науково-виробничими комплексами, де відбувається проектування складу і параметрів емульсолів, їх випробування і організовано випуск готового продукту. Тому емульсоли як готовий продукт поставляються споживачам за технічними умовами з гарантованими показниками фізико-хімічних властивостей [1-6]. У цехах холодної прокатки на металургійних заводах з емульсолів готують конкретну технологічну мастило емульсію з концентрацією 1-4%, яка подається безперервно на валки і штабу.

Технологічні мастила при холодній прокатці виконують свої функції в жорстких деформаційних, силових і температурно-швидкісних умовах, тому вони повинні задовольняти цілому ряду вимог технічного, технологічного, економічного і санітарно-гігієнічного характеру. Ці вимоги викладені докладно в спеціальній літературі [1-4]. Відзначимо лише найбільш загальні з них: зниження сил тертя (коефіцієнта тертя) при холодній прокатці; зменшення зносу валків, забезпечення чистоти і оптимальної шорсткості поверхні прокату, стабільність складу і властивостей, не токсичність, мала витрата, низька вартість і т.д. Однак найважливішою функцією технологічних мастил при холодній прокатки є зменшення сил контактного тертя (коефіцієнта тертя) [1-3]. Тому під ефективністю технологічних мастил зазвичай мають на увазі їх антифрикційну ефективність.

Теоретичне визначення антифрикційної ефективності технологічних мастил (емульсолів) при

холодній прокатці, а також експериментальний вимір даного параметра прямими методами в даний час неможливо. Відсутня також єдина загальноприйнята методика оцінки антифрикційної ефективності технологічних мастил. Тому про антифрикційну ефективність технологічних мастил при холодній прокатці судять за результатами тестових випробувань, що проводяться в лабораторних умовах, або за експериментальними даними параметрів процесу, що залежать від величини сил тертя (наприклад по силі прокатки, питомої витрати енергії, коефіцієнту витяжки або випередження), т. б. за даними, що отримуються за непрямими методами [1-6]. Непрямі методи визначення антифрикційної ефективності мастил враховують реальні умови прокатки на конкретному промисловому стані, що є їх основною перевагою. Однак одержувані цими методами результати придатні в основному для висновків приватного характеру. Крім того, для забезпечення статистичної достовірності одержуваної інформації необхідно провести значну кількість спостережень (вимірювань) протягом тривалого періоду часу, що пов'язано з додатковими витратами і в багатьох випадках важко здійсненне. Проте, інформація про антифрикційну ефективність технологічних мастил, що отримується непрямыми методами корисна і сьогодні є найбільш надійною.

З викладеного випливає, що визначення антифрикційної ефективності технологічних мастил, що застосовуються на штабових станах холодної прокатки відноситься до числа невирішених завдань в прокатному виробництві. Разом з тим в останні роки асортимент прокатних масел (емульсолів) розширився. З'явилися нові емульсоли фізико-хімічні властивості і ефективність, яких істотно відрізняються від аналогічних параметрів емульсолів застосовуваних раніше. Тому пошук додаткових можливостей для визначення і оперативної оцінки антифрикційної ефективності нових та існуючих емульсолів є актуальним. Вирішенню цього завдання присвячена ця стаття.

Антифрикційна ефективність технологічних мастил при холодній прокатці в даній роботі оцінювали за величиною коефіцієнта тертя, точніше за впливом фізико-хімічних властивостей технологічних мастил на величину коефіцієнта тертя. Незважаючи на те, що питання тертя є одними з ключових в сучасній теорії подовжньої прокатки теоретичне визначення коефіцієнта тертя при прокатці, в даний час неможливо. Тому для розрахункового визначення коефіцієнта тертя при холодній прокатці користуються емпіричними формулами [1,7,8]. У найзагальнішому вигляді ці формули можуть бути представлені структурно у вигляді добутку ряду коефіцієнтів, що враховують вплив на коефіцієнт тертя f фізико-хімічних властивостей технологічних мастил (емульсолів) і параметрів технології холодної прокатки:

$$f = K_{CM} K_{в'яз} K_{шв'є} K_{скор} K_{тем} K_p K_{шп} K_{захв} K_{конц} \quad (1)$$

Коефіцієнти $k_{см}$ і $k_{в'яз}$ враховують відповідно вплив «природи технологічного мастила» [1] і її в'язкості, тобто фізико-хімічні властивості останньої, на коефіцієнт тертя. Решта коефіцієнтів правій частині рівняння (1) враховують вплив параметрів технології холодної прокатки на коефіцієнт тертя, а саме: шорсткості поверхні робочих валків і відносного обтиску ($k_{шв\epsilon}$), швидкості прокатки ($k_{скор}$), температури деформації ($k_{тем}$), контактних нормальних напружень (k_p), шорсткості поверхні штаби ($k_{шп}$), умов захоплення мастила ($k_{захв}$), і концентрації мастила в емульсії ($k_{конц}$).

Для визначення коефіцієнта $k_{см}$, що враховує вплив «природи технологічного мастила» [1], тобто хімічних властивостей останньої, основними з яких, особливо для рослинних мастил і емульсолів, є число омилення (ЧОМ) і кислотне число (КЧ) раніше отримали [9]:

$$k_{см} = 2,4 - \sqrt{1 + \frac{ЧОМ + КЧ}{ЧОМ_{пм} + КЧ_{пм}}}, \quad (2)$$

де ЧОМ, КЧ, ЧОМ_{пм}, КЧ_{пм} – число омилення і кислотне число конкретного технологічного мастила (емульсолів) і пальмового масла відповідно, мг КОН / г.

$$k_{эф} = k_{см} k_{в'яз} = \left(2,4 - \sqrt{1 + \frac{ЧОМ + КЧ}{ЧОМ_{пм} + КЧ_{пм}}} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + 0,25\sqrt{v_{50}} - 0,005 \cdot v_{50}} \right), \quad (4)$$

Надалі коефіцієнт $k_{эф}$ будемо називати показником антифрикційної ефективності технологічного мастила при холодній прокатці.

Показник $k_{эф}$ призначений для оперативної кількісної оцінки антифрикційної ефективності технологічних мастил при холодній прокатці. Крім того, в рамках поставленого завдання, визначали також рейтинг, тобто відносну антифрикційну ефе-

$$k_{отн.эф} = \frac{k_{эф}}{k_{эф.пм}} = \left(2,4 - \sqrt{1 + \frac{ЧОМ + КЧ}{ЧОМ_{пм} + КЧ_{пм}}} \right) \times \left(\frac{1 + 0,25\sqrt{v_{50пм}} - 0,005v_{50пм}}{1 + 0,25\sqrt{v_{50}} - 0,005v_{50}} \right), \quad (5)$$

де $v_{50пм}$ – кінематична в'язкість пальмового масла при температурі 50 °С, мм²/с.

З наведених вище залежностей видно, що для визначення значень $k_{см}$, $k_{в'яз}$ і показників $k_{эф}$, $k_{отн.эф}$ необхідні дані тільки про фізико-хімічні властивості технологічних мастил (емульсолів) при холодній прокатці. Застосування цих залежностей значно спрощує і прискорює процес визначення антифрикційної ефективності технологічних мастил при холодній прокатці. Тому їх доцільно використовувати, перш за все, для оперативної оцінки антифрикційної ефективності технологічних мастил (емульсолів) при холодній прокатці. При цьому очевидно, що для остаточного судження про антифрикційну ефективність будь-якого технологічного мастила при холодній прокатці повинно бути враховано також вплив технологічних факторів процесу.

Запропоновані в даній роботі безрозмірні параметри $k_{см}$, $k_{в'яз}$, $k_{эф}$, $k_{отн.эф}$ і рекомендовані залежності для їх розрахункового визначення являють

В якості базового мастила в цій формулі прийнято пальмову олію, що є однією з найбільш ефективних рослинних технологічних мастил, що застосовуються при холодній прокатці.

Фізичні властивості технологічного мастила характеризуються в основному її в'язкістю і їх вплив на коефіцієнт тертя визначається величиною коефіцієнта $k_{в'яз}$. Для визначення коефіцієнта $k_{в'яз}$ скористуємося залежністю, наведеною в роботі [1]:

$$k_{в'яз} = \frac{1}{1 + 0,25\sqrt{v_{50}} - 0,005 \cdot v_{50}}, \quad (3)$$

де v_{50} , – кінематична в'язкість конкретного технологічного мастила і пальмового масла при температурі 50 °С, мм²/с.

Як випливає з формули (1) вплив фізико-хімічних властивостей будь-якого технологічного мастила на величину коефіцієнта тертя при холодній прокатці визначається добутком перших двох співмножників її правій частині, тобто добутком коефіцієнтів $k_{см}$ і $k_{в'яз}$. У зв'язку з цим про кількісний вплив фізико-хімічних властивостей технологічного мастила на її антифрикційну ефективність судили за величиною добутку цих коефіцієнтів:

ктивність технологічних мастил $k_{отн.эф}$. Під цим терміном мали на увазі відношення показника антифрикційної ефективності конкретного технологічного мастила $k_{эф}$ до аналогічного показника пальмової олії $k_{эф.пм}$, прийнятого умовно в якості еталонної тобто найбільш ефективного технологічного мастила при холодній прокатці:

собою основу методики для визначення антифрикційної ефективності технологічних мастил при холодній прокатці по їх фізико-хімічними властивостями. За запропонованою методикою були розраховані значення показників $k_{см}$, $k_{в'яз}$, $k_{эф}$, $k_{отн.эф}$ для 24 різних емульсолів і пальмової олії, що застосовують в якості технологічних мастил при холодній прокатці. Дані про фізико-хімічні властивості досліджених емульсолів запозичені з літературних джерел [1-6] і рекламних матеріалів відповідних фірм-постачальників даного виду продукції. Результати розрахунків наведені в таблиці. Порядкові номери в таблиці досліджених емульсолів відповідають рейтингу їх антифрикційної ефективності.

Аналіз отриманих даних дозволяє відзначити наступне:

Значення показника $k_{см}$ емульсолів, що застосовуються при холодній прокатки, залежать від хімічного складу і визначаються рівнем числа омилення (ЧОМ) і кислотного числа (КЧ) останніх. З

таблиці видно, що сучасні емульсоли відрізняються великими числами омилення (ЧОМ=162-178 мг КОН/г) і характеризуються низькими (не більше 1,03-1,06) значеннями показника k_{CM} . Деякі з них (Luberol B, Balmer) мають значення k_{CM} близькі до

1,0 (1,010-1,017) і за цим показником наближаються до пальмової олії, тобто до вискоефективних рослинних масел

Таблиця 1 - Розрахункові значення показників k_{CM} , $k_{в'яз}$, $k_{эф}$ і критерію антифрикційної ефективності $k_{отн.эф}$ (рейтингу) для деяких емульсолів і пальмової олії, що застосовуються в якості технологічних мастил при холодній штабовій прокатці

№	Найменування емульсолів (рослинного масла)	Фізико-хімічні властивості емульсолів (рослинного масла)			Розрахункові значення параметра:			
		Кинематична в'язкість, v_{50} , мм ² /с	Число омилення (ЧОМ), мг КОН/г	Кислотне число (КЧ), мг КОН/г	k_{CM}	$k_{в'яз}$	$k_{эф}$	$k_{отн.эф}$ (рейтинг мастила)
1	Тинол 12	40,7	196	21,2	0,986	0,418	0,412	0,913
2	Quakerol 27	42	192	17,8	0,998	0,415	0,414	0,917
3	Quakerol 680-1 DPD	40	178	11,25	1,033	0,420	0,434	0,960
4	Quakerol 680-2 DPD	42	162	11,15	1,060	0,415	0,440	0,974
5	Quakerol 683	44	155	7,5	1,078	0,410	0,442	0,979
6	Gerolub 5537	36	185	5,6	1,030	0,431	0,444	0,983
7	Quakerol NLM 4.0	38	170	7,8	1,052	0,425	0,447	0,991
8	Gerolub 6528	36	177	5,5	1,044	0,431	0,450	0,996
9	Пальмова олія	28	206,5	11	0,986	0,458	0,452	1,000
10	Quakerol 403	47	128,5	10,5	1,120	0,403	0,452	1,000
11	Gerolub CTS 87-1	36	174	5,7	1,049	0,431	0,452	1,001
12	Luberol B	30,7	192,9	10,1	1,010	0,448	0,452	1,002
13	Balmer	31,2	190,5	8,2	1,017	0,446	0,454	1,005
14	Quakerol 680 DPD	36	162	10,8	1,060	0,431	0,457	1,012
15	Luberol	30,8	189,6	5,8	1,022	0,448	0,458	1,013
16	Gerolub 3022	32	136	5	1,116	0,444	0,495	1,096
17	Э-2 (Б)	58	15	6	1,353	0,383	0,518	1,146
18	ЭП-29	48	45	5	1,291	0,401	0,518	1,147
19	ЭТ-2	60	11	4	1,366	0,379	0,518	1,147
20	Quakerol 1137	40,6	39,7	35	1,241	0,418	0,519	1,150
21	Quakerol 41CB	36,6	76	10,8	1,217	0,429	0,523	1,157
22	Cold Roller	28,14	81	21	1,188	0,458	0,544	1,204
23	Агринол ОМ	32,3	22,4	19	1,309	0,443	0,579	1,283
24	Т	25	35	8	1,306	0,471	0,614	1,361
25	ОЭ	18	40	2	1,308	0,507	0,664	1,469

Найбільш низькими значеннями показника k_{CM} відрізняються емульсоли з великою сумою числа омилення і кислотного числа (ЧОМ+КЧ). Наприклад, при зменшенні суми (ЧОМ+КЧ) емульсолів з 203 мг КОН/г (Luberol B) до 102 мг КОН/г (Cold Roller), 50 мг КОН/г (ЕП-29) і 21 мг КОН/г (Е-2 (Б)), тобто в два, чотири і 10 разів, значення показника k_{CM} збільшуються з 1,010 відповідно до 1,188; 1,291 і 1,353. Всі емульсоли, сума показників хімічних властивостей яких (ЧОМ+КЧ) не перевищує 45-55 мг КОН/г, характеризуються великими (1,29-1,30 і більше) значеннями показника k_{CM} і, як наслідок, більш низькою антифрикційною ефективністю.

Низькі значення показника k_{CM} є тільки одним з необхідних умов для підвищення антифрикційної ефективності технологічних мастил при холодній прокатці навіть при відносно невеликій кінематич-

ної в'язкості останніх. Наприклад, емульсол Luberol B при ЧОМ=192,9 мг КОН/г і v_{50} =30,7 мм²/с відрізняється низьким значенням показника k_{CM} (k_{CM} =1,010) і характеризується практично такою же антифрикційною ефективністю ($k_{отн.эф}$ =1,002) як і пальмова олія ($k_{отн.эф}$ =1,000).

Узагальнюючи сказане можна зробити висновок, що запропонована в даній роботі методика визначення показника k_{CM} , що базується на врахуванні впливу хімічних властивостей емульсолів, забезпечує його прогнозування з достатньою точністю і надійністю.

2. На відміну від показника k_{CM} , значення показника $k_{в'яз}$ визначаються впливом тільки одного параметра - рівнем кінематичної в'язкості v_{50} конкретного емульсолу. З таблиці видно, що значення показника $k_{в'яз}$ збільшуються практично монотонно зі зменшенням кінематичної в'язкості v_{50} і для всіх

досліджених емульсолів знаходяться в діапазоні від 0,379 (для емульсолів ET-2) до 0,507 (для емульсолів OE).

Раніше підвищення антифрикційної ефективності емульсолів досягалося в основному в результаті збільшення їх кінематичної в'язкості. В останні роки, це завдання вирішується комплексно шляхом поліпшення антифрикційних і миючих властивостей емульсолів за рахунок збільшення числа омилення до 160-195 мг КОН/г і більше і оптимізації кінематичної в'язкості останніх на рівні до 30-45 мм²/с.

3. Визначення антифрикційної ефективності технологічних мастил з використанням показника $k_{\text{еф}}$ і критерію $k_{\text{отн.еф}}$ рівноцінно. Тільки в першому випадку для цієї мети використовуються абсолютні значення показника $k_{\text{еф}}$, що змінюються в межах від 0,412 (для емульсолів Тинол 12) до 0,664 (для емульсолів OE). У другому випадку використовується відносний критерій $k_{\text{отн.еф}}$, прив'язаний до пальмової олії. Як показали подальші дослідження критерій $k_{\text{отн.еф}}$ є більш зручною характеристикою, оскільки дозволяє визначити наскільки конкретний емульсол перевершує або поступається пальмової олії за своїми антифрикційними властивостям.

З таблиці видно, що значення критерію $k_{\text{отн.еф}}$ (рейтингу) 24 досліджених емульсолів змінюються в діапазоні від 0,913 (для емульсолів Тинол 12) до 1,469 (для емульсолів OE), причому перші 8 з них по рейтингу мають значення $k_{\text{отн.еф}}$ менше 1, 0. Це означає, що дані емульсоли по своїй антифрикційній ефективності перевершують пальмову олію. У число цих емульсолів увійшли емульсол Тинол 12, п'ять емульсолів компанії «Quaker Chemical» та два емульсоли компанії «Henkel». Значення критерію $k_{\text{отн.еф}}$ чотирьох емульсолів (Quakerol 403, Gerolub CTS87-1, Luberol B, Balmer), як і пальмової олії, рівні практично 1,0. Висока антифрикційна ефективність сучасних емульсолів досягнута в результаті встановлення оптимальної величини кінематичної в'язкості на рівні 30-40 мм²/с і збільшення числа омилення прокатних масел до 160-196 мг КОН/г. Кращі з емульсолів, вироблених в колишньому Радянському Союзі і Україні характеризуються значеннями критерію $k_{\text{отн.еф}}$ від 1,146 до 1,147. Відмінною особливістю цих емульсолів є їх висока кінематична в'язкість ($v_{50}=48-60$ мм²/с) і низьке число омилення (11-45 мг КОН/г). Приблизно такою антифрикційною ефективністю відрізняються і емульсоли компанії «Quaker Chemical» тих часів (20-е, 21-е місця в рейтингу). Значення критерію антифрикційної ефективності $k_{\text{отн.еф}}$ емульсолів, що зайняли місця в рейтингу від 22 до 25 збільшується з 1,204 (для емульсолів Cold Roller) до 1,469 (для емульсолів OE). Цікаво відзначити, що один з найбільш поширених емульсолів радянських часів - емульсол Т зайняв одне з останніх місць в рейтингу по антифрикційній ефективності ($k_{\text{отн.еф}}=1,361$). Разом з тим відзначається більш висока чистота поверхні холоднокатаного прокату

отриманого із застосуванням емульсії з емульсолів Т [1-4].

Безумовно, на ефективність застосування будь-якої технологічної мастила впливають і параметри технології холодної прокатки. Однак параметри (фактори) технології впливають в основному на технологічну ефективність застосування мастила (емульсії). Антифрикційна ефективність емульсолів визначається, перш за все, рівнем їх фізико-хімічних властивостей. Результати порівняльних промислових випробувань емульсолів Gerolub 6528, Gerolub CTS 87-1 і Gerolub 3022 компанії Henkel на п'ятикільтовому стані нескінченної прокатки 2030 ВАТ «Новолипецький металургійний комбінат» (НЛМК), які посіли 8-е, 11-е і 16-е місця в рейтингу, показали, що найкращим з них є емульсол Gerolub 6528, що відрізняється меншим в 1,12 рази коефіцієнтом тертя і меншою на 0,8-3,95% питомою витратою електричної енергії [6]. Це підтверджує більш високу антифрикційну ефективність емульсолів Gerolub 6528, що узгоджується з висновками роботи [6].

В роботі [5] наведено результати порівняльного дослідження впливу емульсолів Quakerol 680-1 DPD, Quakerol 680-2 DPD, Gerolub 5537, Quakerol 403 і Quakerol 680 DPD на формування чистоти поверхні холоднокатаного прокату, що випускається на двоохкільтовому реверсивному стані 1750 ВАТ «Магнітогорський металургійний комбінат» (ММК). Згідно з даними таблиці ці емульсоли зайняли відповідно 3-е, 4-е, 8-е, 10-е і 14-е місця в рейтингу і відрізняються практично однаковою антифрикційною ефективністю ($k_{\text{отн.еф}}=0,960-1,012$). В роботі [5] не ставилася мета визначення емульсолів, що володіє найбільшою антифрикційною ефективністю, хоча паралельно такі дослідження проводилися. На підставі результатів комплексних порівняльних промислових випробувань було встановлено, що емульсол Quakerol 680-2 DPD має істотні переваги. У зв'язку з цим даний емульсол був визнаний оптимальним і використовується в якості базового на реверсивному двоохкільтовому стані 1750 ВАТ «ММК». З таблиці видно, що емульсол Quakerol 680-2 DPD характеризується також практично і найбільш високими антифрикційними властивостями ($k_{\text{отн.еф}}=0,974$).

З викладеного випливає, що результати порівняльних досліджень антифрикційної ефективності сучасних емульсолів компанії «Quaker Chemical» та «Henkel», виконаних на промислових станах холодної прокатки 1750 ВАТ ММК і 2030 ВАТ НЛМК збігаються з рейтингом антифрикційної ефективності цих емульсолів по їх фізико-хімічними властивостями. Це означає, що запропонована в даній роботі методика для визначення антифрикційної ефективності технологічних мастил при холодної прокатці відрізняється достатньою обґрунтованістю, задовільною точністю і надійністю.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено інженерну методику для визначення антифрикційної ефективності емульсорів, що застосовують в якості технологічних мастил при холодній прокатці, по їх фізико-хімічними властивостями. В основу цієї методики покладено безрозмірні показники $k_{см}$, $k_{в'яз}$, $k_{еф}$ і $k_{отн.еф}$, що враховують відповідно вплив хімічних і фізичних властивостей емульсолів на антифрикційну ефективність останніх та запропоновано залежності для розрахункового визначення рейтингу їх антифрикційної ефективності. Застосування цих залежностей значно спрощує і прискорює процес визначення антифрикційної ефективності емульсолів.

2. Результати порівняльних досліджень показали, що інженерна методика визначення антифрикційної ефективності емульсолів, що застосовуються в якості технологічних мастил при холодній штабовій прокатці по їх фізико-хімічними властивостями працездатна і забезпечує прогнозування даного показника з задовільною точністю і надійністю. За допомогою запропонованої методики отримані дані про антифрикційну ефективність 24 емульсолів і розрахований рейтинг їх антифрикційної ефективності. Встановлено, що 8 емульсолів компаній «Quaker Chemical» та «Henkel» за

своєю антифрикційною ефективністю перевершують і ще 4 відповідають пальмової олії. Показано, що висока антифрикційна та мийна ефективність сучасних емульсолів досягається при кінематичної в'язкості ν_{50} останніх на рівні 30-45 мм²/с і збільшенні числа омилення до 160-195 мг КОН/г.

3. Запропонована в даній роботі інженерна методика визначення антифрикційної ефективності емульсорів, що застосовують в якості технологічних мастил при холодній штабовій прокатці по їх фізико-хімічними властивостями рекомендується для:

- оперативної оцінки антифрикційної ефективності емульсолів;
- визначення впливу нестабільності фізико-хімічних властивостей емульсолів на їх антифрикційні ефективність;
- порівняльного дослідження антифрикційної ефективності емульсолів з різними фізико-хімічними властивостями;
- оптимізації показників фізико-хімічних властивостей при вдосконаленні існуючих та створенні нових емульсолів з необхідною антифрикційною ефективністю

БИБЛИОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Грудев А.П. Трение и смазки при обработке металлов давлением. Справ. изд. / А.П. Грудев, Ю.В. Зильберг, В.Т. Тилик. – М.: Металлургия, 1982. – 312 с.
2. Белосевич В.К. Трение, смазка, теплообмен при холодной прокатке / В.К. Белосевич – М.: Металлургия, 1989. – 256с.
3. Грудев А.П. Технологические смазки в прокатном производстве / А.П. Грудев, В.Т. Тилик. – М.: Металлургия. - 1975. 368 с.
4. Эмульсии и смазки при холодной прокатке / В.К. Белосевич, Н.П. Нетесов, В.И. Мелешко, С.Д. Адамский. – М. Металлургия, 1976. – 416 с.
5. Формирование чистоты поверхности при производстве холоднокатаного металла на 2-х клетевом реверсивном стане ОАО "ММК" / Горбунов А.В., Зайсанова Н.Л., Кочнева Т.М., Коляда Т.В., Набиев Ш.Х., Халлиулин Р.Е. // Совершенствование технологии на ОАО "ММК". Сб. тр. ЦЛК. Выпуск 9. - Магнитогорск, 2005. С. 130 – 136.
6. Испытания эмульсолов фирмы Henkel на непрерывном пятиклетевом стане 2030 бесконечной прокатки / А.В. Долматов, А.В. Морозов, М.А. Усачев, В.Д. Шепилов, А.А. Челябинов // Металлург. – 2014. – №9. – С. 80-86.
7. Василев Я.Д. Методика расчета коэффициента трения при холодной прокатке с эмульсией на основе эмпирических зависимостей / Я.Д. Василев // Производство проката. – 2012. – № 6. – С. 15-19.
8. Управление качеством тонколистового проката / В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, И.Ю. Приходько, А.И. Яценко. – К.: Техника, 1997. – 384 с.
9. Повышение точности расчета коэффициента трения при холодной полосовой прокатке / Василев Я.Д., Самокиш Д.Н., Замогильный Р.А., Олейник А. В. // Обработка материалов давлением. – 2017. – № 1 (44). С. 187-192

REFERENCE

1. Grudev A.P. Trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem. Sprav. izd. / A.P. Grudev, Yu.V. Zilberg, V.T. Tilik. – M.: Metallurgiya, 1982. – 312 s.
2. Belosevich V.K. Trenie, smazka, teploobmen pri holodnoj prokatke / V.K. Belosevich – M.: Metallurgiya, 1989. □ 256s.
3. Grudev A.P. Tehnologicheskie smazki v prokatnom proizvodstve / A.P. Grudev, V.T. Tilik. – M.: Metallurgiya. - 1975. 368 s.

4. Emulsii i smazki pri holodnoj prokatke / V.K. Belosevich, N.P. Netesov, V.I. Meleshko, S.D. Adamskij. – M. Metallurgiya, 1976. – 416 s.
5. Formirovanie chistoty poverhnosti pri proizvodstve holodnokatanogo metalla na 2-h klete-vom reversivnom stane OAO "MMK" / Gorbunov A.V., Zajsanova N.L., Kochneva T.M., Kolyada T.V., Nabiev Sh.H., Halliulin R.E. // Sovershenstvovanie tehnologii na OAO "MMK". Sb. tr. CLK. Vypusk 9. - Magnitogorsk, 2005. S. 130 – 136.
6. Ispytaniya emulsolov firmy Henkel na nepreryvnom pyatikletevom stane 2030 beskonechnoj prokatki / A.V. Dolmatov, A.V. Morozov, M.A. Usachev, V.D. Shepilov, A.A. Chelyadinov // Metal-lurg. – 2014. – №9. – S. 80-86.
7. Vasilev Ya.D. Metodika rascheta koefficienta treniya pri holodnoj prokatke s emulsiej na osnove empiricheskikh zavisimostej / Ya.D. Vasilev // Proizvodstvo prokata. – 2012. – № 6. – S. 15-19.
8. Upravlenie kachestvom tonkolistovogo prokata / V.L. Mazur, A.M. Safyan, I.Yu. Prihodko, A.I. Yacenko. – K.: Tehnika, 1997. – 384 s.
9. Povyshenie tochnosti rascheta koefficienta treniya pri holodnoj polosovoj prokatke / Vasilev Ya.D., Samokish D.N., Zamogilnyj R.A., Olejnik A. V. // Obrabotka materialov davleniem. – 2017. – № 1 (44). S. 187-192

Стаття постуила 1.11.2018