

РОЗДІЛ III ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ ТИСКОМ У МЕТАЛУРГІЇ

УДК 621.771

DOI: 10.37142/2076-2151/2024-1(53)116

Кухар В. В.
Спічак О. Ю.
Пашинський В. В.
Малій Х. В.

ВИПРОБУВАННЯ ЕМУЛЬСОЛІВ ДЛЯ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ НА САЖОУТВОРЕННЯ ПРИ ВІДПАЛІ РУЛОНІВ

Холодна прокатка з використанням емульсолів дозволяє зменшити силу прокатки, збільшити обтиски та досягти меншої кінцевої товщини штаби, забезпечити більшу стабільність процесу прокатки та кращу чистоту поверхні після прокатки. Але наступні етапи, пов'язані з операціями відпалу рулонів холодного прокату, можуть піднести неочікувані неприємні "сюрпризи" у вигляді утворення поверхневих дефектів типу "сажа". Окрім нерівномірності нанесення та поганого змивання емульсолу перед відпалом, значний вплив на сажоутворення надає склад емульсолів (компоненти, що входять в формулу емульсолу) та їх фізико-хімічні властивості. В роботі проаналізовані причини виникнення поверхневих дефектів типу "сажа" після відпалювання рулонів, які прокатували з емульсолами, та обґрунтована необхідність зменшення сажоутворення та пригару за рахунок формування вимог до фізико-хімічних властивостей мастильно-охолоджуючих рідин. Розроблено методика випробувань схильності емульсолів до сажоутворення після відпалу у рулонах, які являють собою перший етап багатовітального дослідження. Методика полягала у нанесенні концентрованого емульсолу на зразки-свідки, які відпалювали разом з рулонами в таких самих температурно-часових умовах і пічному середовищі. Проаналізовані фізико-хімічні характеристики мастильно-охолоджувальних рідин та проведено випробування 54-х емульсолів різних марок і виробників при холодній прокатці. Запропоновано бальну систему оцінки інтенсивності сажоутворення за візуальним спостереженням та встановлено величини балів сажоутворення після відпалу дослідних зразків. Отримані розрахункові рівняння регресії, що пов'язують показники утворення сажі та пригару від таких фізико-хімічних властивостей, як густина емульсолу при 20 °С, в'язкість кінематична при 50 °С та число омилення. Показана стійка залежність водневого показника рН для 3%-ї водної емульсії, приготованої на жорсткій воді 4,6 мг-екв/дм³, від зазначених фізико-хімічних властивостей емульсолів. За результатами досліджень рекомендовано до використання в умовах ПАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ" 28 емульсолів та сформульовані вимоги до їх основних фізико-хімічних показників.

Ключові слова: холодна прокатка, емульсол, мастильно-охолоджувальна рідина, фізико-хімічні властивості, вимоги, сажа, пригар, схильність до сажоутворення.

Широкому застосуванню емульсолів при холодній прокатці штаб та листів сприяє досягнення низки позитивних ефектів, серед яких [1, 2]: керування енергоспоживанням при прокатці, покращення умов контактного змащування та охолодження, поліпшення якості поверхні металопродукції, забезпечення більшої корозійної стійкості, можливі екологічні переваги, економічна вигода.

Використання емульсолів як змащувального та охолоджувального агента під час процесу прокатки спрямовано на зменшення тертя між поверхнею металу та прокатними валками, що дозволяє понизити енергоспоживання обладнання та зношування валкового інструменту. В роботі [3] відзначено, що на енергоспоживання при холодній прокатці з емульсолами на станах тандем з клітями кварто впливають фізико-хімічні та реологічні властивості емульсолу, а саме кінематична в'язкість. Показано, що збільшення кінематичної в'язкості прокатної емульсії на 10 мм²/с може знизити питомі енерговитрати на чотириклітьовому стані

на 0,07 кВт·год/т (0,82 %), на п'ятиклітьовому — на 5,81 кВт·год/т (1,77 %), а на шестиклітьовому станні – на 4,70 кВт·год/т (1,54 %) [3]. Таким чином, виявлено більш високу енергоємність п'ятиклітьового стана порівняно з чотириклітьовим та шестиклітьовим. Багато інших досліджень також вказують на вплив емульсолів та їх реологічних характеристик на енергоспоживання при прокатці [4–6]. При цьому дослідження проводили як на безперервних [4, 5], так і на реверсивних [6] станах холодної прокатки. Для умов безперервного стану 1680 (ПАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ") показано, що емульсол "Quakerol" приводить до більших енергетичних затрат при прокатці, у порівнянні з емульсом "Універсал-1ТС" [4, 5]. У роботі [6] при прокатці по заводських (ПАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ") режимах з використанням емульсій "Універсал-ТС" та "ColdRoller" встановлено сприятливе пом'якшення умов прокатки з точки зору діючих сил струму в електродвигунах та моталках реверсивного прокатного стану 1680.

Ефект охолодження допомагає контролювати температуру металу, запобігаючи його перегріву [7, 8]. У роботі [9] виказана думка, що ефективність холодної прокатки в основному залежить від якості металообробного теплоносія (емульсолу) та його вартості. При цьому, віддається перевага емульсолам, що приводять до найменшого коефіцієнту тертя у зоні деформації та отримуються шляхом переробки відходів в інших галузях промисловості [9].

Дослідження [10] вказує на те, що застосування емульсолів допомагає поліпшити якість поверхні металу при прокатці, роблячи менш схильним до дефектів. У роботі [11] експериментально доведена доцільність використання фулереноподібних наночастинок як мастильної добавки до складу технологічного мастила МТ-216 М, при цьому стійкій мастильний ефект проявляється при концентрації 1,0% FLN у складі емульсолу. Деякі емульсії містять добавки, які допомагають захищати метал від корозії під час обробки та після неї [12, 13]. Слід вказати, що зазначені матеріали можуть впливати на збільшення сажоутворення при операції відпалу металу після прокатки з емульсолами. На відміну від деяких інших мастил, емульсоли більш екологічно безпечні, оскільки вони в основному складаються з води із додаванням олії [2, 14] або інших змащувальних агентів, що знижує ризик забруднення навколишнього середовища. В роботі [15] розроблено планувальні та технічні заходи, що зменшують неорганізоване потрапляння емульсолу на поверхні металу та обладнання. В дослідженні [16] показані екологічні переваги "зеленого мастила" для холодної прокатки, яке виготовлене з використанням біологічних речовин та присадок без мінеральних олів, біоцидів або інших токсичних речовин. При дослідженні трьох різних емульсій на основі суміші олів та води встановлено, що емульсії з відносно низькою стабільністю, більшим розміром крапель і високим значенням числа омилення забезпечують краще змащування і нижчий коефіцієнт тертя [17]. У роботі [18] також підтверджена ефективність використання натуральних компонентів. Використання емульсій та емульсолів при холодній прокатці також може бути більш вигідним по результатуючих техніко-економічних показниках [19, 20], у порівнянні з деякими іншими засобами для змащування, через їх відносну дешевизну та економності розходу для досягнення цільового ефекту. Окрім того, у роботі [19], завдяки розробленій методиці та проведенню досліджень на 24 емульсолах при холодній прокатці, встановлено, що висока антифрикційна та миюча ефективність сучасних емульсолів досягається при значенні кінематичної в'язкості на рівні 30–45 мм²/с і збільшенні числа омилення до 160–195 мгКОН/г. В дослідженні [20] ефективність технологічних мастил для холодної прокатки на реверсивному стані оцінювали на основі уточненої моделі розрахунку коефіцієнта тертя.

Автори роботи [21] вказують на те, що добавки в емульсол порошку заліза покращують антифрикційний ефект. Але залишки порошковмісних емульсолів перед відпалом та чистою обробкою повинні бути ретельно змиті для запобігання утворення поверхневих забруднень. Експериментальні дослідження залишків емульсолу на штабі після прокатки та чисельне моделювання виявили характер їх залежності від концентрації та спорідненості частинок емульсії до сталевій поверхні емульгатора [22]. Збільшення кількості залишкової емульсії збільшує забруднення штаби. При цьому, для контролю товщини мастила на вході у зону прокатки відомі теоретичні моделі на основі механіки рідин та колоїдної хімії [23]. Крім того, в роботі [23]

приділено значну увагу засобам видалення технологічних мастил з поверхні металу (для запобігання забруднення) та екологічним проблемам використання емульсолів. Для керування процесом змащування та формування мастильної плівки при швидкісній прокатці використовують гібридні системи змащування [24]. В роботі [25] проаналізована технологія виготовлення оцинкованої сталі у цеху холодної прокатки та звернено увагу на те, що емульсол повинен добре змиватися перед відпалом та травленням. Про появу дефекту "сажа", який пов'язаний з залишками емульсолу у рулонах після відпалу, згадано у роботі [6].

Таким чином, серед основних факторів, що впливають на погіршення умов змивання емульсолів та виникнення поверхневого забруднення, яке на технологічній стадії відпалу рулонів у печах перетворюється на "сажу", слід виділити концентрацію, в'язкість та число омилення емульсолів.

Метою роботи було виявлення емульсолів з переліку доступної номенклатури цеху холодної прокатки ПАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ", які можуть бути рекомендовані для холодної прокатки для мінімізації відбраковки рулонів за дефектом «сажа» після відпалу у печах, із врахуванням дії вищенаведених основних факторів.

Від якості прокатної емульсії залежить якість поверхні холоднокатаного прокату, наявність на ньому поверхневих забруднень у вигляді сажі, пригару емульсії, плям забруднення. З метою зниження коефіцієнта тертя, зменшення зносу робочих валків, їхнього охолодження під час холодної прокатки на комбінаті ПАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ" проводили випробування емульсолів різних виробників. На даний момент емульсол застосовують: а) для промаслювання травленого гарячекатаного підкату (емульсол наносять під час змотування рулону в моталці на безперервно травильному агрегаті НТА-4 за допомогою машини електростатичного промаслювання); б) на станах холодної прокатки (безперервному 4-х клітьовому стані та реверсивних станах).

На станах холодної прокатки емульсол застосовується у вигляді розчину (емульсол розбавляється в демінералізованій та/або технічній воді в концентрації 1,5-4,0 %). Для умов експерименту для всіх випадків була застосована концентрація емульсолу 3 %. Для умов кожного конкретного виробництва, з урахуванням складу технологічного обладнання, розробляється і впроваджується свій тип і марка емульсолу. Кожен емульсол, призначений для використання під час холодної прокатки, має кілька ключових компонентів, які обираються з огляду на умови експлуатації технологічної емульсії, особливості емульсійної системи прокатного стану, системи магнітного очищення емульсії тощо.

На станах холодної прокатки ПАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ" проводили випробування різних марок емульсолів різних виробників. Випробування виконували в 4 етапи: 1-й етап – лабораторні випробування; на 2-му етапі проводили дослідно-промислові випробування на реверсивному стані 1680 (для проведення 2-ого етапу випробувань було надано емульсол у кількості 1,5-2 тон); на 3-му етапі проводили дослідно-промислові випробування на безперервному чотирьохклітьовому стані 1680 (для проведення 3-го етапу випробувань надавали емульсол у кількості 10 тон); на 4-му етапі проводили розширені випробування протягом 3-х місяців на всіх прокатних станах. У межах цієї роботи розглянуто перший етап – лабораторні випробування.

Етапність випробувань зумовлена мінімізацією ризиків від постачання емульсолу, який за своїми характеристиками не підходить для цього обладнання, мінімізацією відсортунів і зриву термінів замовлень через відсортунів за дефектами, пов'язаними з прокатним емульсом. Кожен наступний етап випробувань проводили тільки після отримання позитивних результатів випробувань попереднього етапу. Після остаточних – розширених випробувань оцінювали результати, розраховували економічний ефект від упровадження нової марки емульсолу з урахуванням його ціни, технологічності, витрат на доопрацювання продукції з дефектами, пов'язаними з емульсом (плями забруднень, відбитки) і за результатами проведених розрахунків ухвалювали рішення щодо можливості прийняття за базовий того чи іншого емульсолу.

Для проведення лабораторних випробувань брали зразок емульсолу в кількості 2-х літрів. Лабораторні випробування емульсолів включали в себе визначення основних фізико-хімічних характеристик продукту. Зазначені фізико-хімічні характеристики та методики їх визначення розглянуто нижче.

Зовнішній вигляд – визначали візуально. Для цього емульсол наливали у циліндр місткістю 100 мл і розглядали у світлі, що проходить. Показник характеризує зовнішній вигляд продукту, його чистоту, наявність у ньому осаду. Зовнішній вигляд характеризує консистенцію, однорідність, колір і прозорість мастильно-охолоджувальної рідини (МОР). Свіжа МОР зазвичай являє собою маслянисту прозору рідину від світло-жовтого до темно-коричневого кольору. Під час експлуатації під впливом процесів окислення і забруднень МОР темніє, втрачає прозорість, а іноді й однорідність. Темний колір МОР та її неоднорідність вказують на її перегрів, окислення і забруднення.

Запах – цей показник важливий для експлуатації прокатної емульсії, він залежить від компонентного складу МОР і може характеризувати зміну її якості в процесі зберігання та експлуатації. Практично всі масляні МОР мають специфічний запах нафтової оливи, що використовується як їхня основа. Під час експлуатації МОР забруднюється, змішується з іншими мастильними матеріалами і уражається мікроорганізмами. У результаті її запах змінюється. МОР зі стійким неприємним запахом навіть за високих основних експлуатаційних властивостей (здатності подовжувати термін служби інструменту та покращувати якість оброблюваних виробів) неприйнятна для застосування і має бути замінена.

Густина при 20 °С, г/см³ – її визначали за методикою ГОСТ 3900. За значенням густини МОР визначали хімічну природу нафтової оливи, що використовується як основа рідини. З трьох основних груп вуглеводнів (з приблизно однаковою молекулярною масою), наявних у нафтовому маслі, найбільшу густину мають ароматичні вуглеводні, найменшу – парафінові.

В'язкість кінематична при 50 °С, мм²/с, – її визначали за ГОСТ 33 (ISO 3104). Кінематичною в'язкістю (ν), або коефіцієнтом внутрішнього тертя, називають відношення динамічної в'язкості до густини рідини за тієї самої температури: $\nu = \eta / \rho$, де η – динамічна в'язкість; ρ – густина рідини. Кінематична в'язкість МОР визначається за допомогою капілярних скляних віскозиметрів. При підвищенні температури в'язкість зменшується, а при зниженні збільшується. Чим менше змінює МОР свою в'язкість при змінах температури, тим вища вона за якістю. Масляні МОР, що мають високу в'язкість, забезпечують кращу змащувальну дію і знижують вібрації ріжучого інструменту. Водночас висока в'язкість МОР погіршує мийну та охолоджувальну дії, перешкоджає швидкому осадженню шламу з рідини під час її відстоювання та очищення. Усе це зумовлює необхідність вибору оптимальної в'язкості МОР.

Число омилення, мгКОН/г, – його визначали за ГОСТ 21749. Число омилення технологічного мастила під час холодного прокату показує, чи хороша змащувальна і мийна здатність має технологічне мастило. Це пов'язано з тим, що жирні кислоти, які є основною частиною рослинних і тваринних жирів, є речовинами, що визначають змащувальну здатність мастила. Від числа омилення залежить і те, наскільки легко видаляються забруднення (омилюються) з поверхні смуги, так як після прокатки на смугі завжди залишається певна кількість мастила, яке необхідно видалити перед нанесенням покриття або відпалом. Залежить число омилення тільки від складу мастила. Визначаючи число омилення встановлюють, скільки сторонніх олів (наприклад, мінеральних олів із систем змащення і гідравліки) потрапило в прокатну емульсію. Метод ґрунтується на тому, що мінеральне масло не має здатності омилюватися. Для оцінки кількості сторонніх олій проводять порівняння числа омилення оливи, що надійшла від постачальника на завод, і після її використання в технологічному процесі. Різниця цих величин, переведена у відсотки, покаже вміст сторонніх (мінеральних) олів в емульсії. У процесі експлуатації емульсії під час прокатки металу має місце зниження числа омилення. Зазвичай рекомендований рівень вмісту мінеральної оливи в емульсії становить не більше 20–25 %, у деяких випадках – 30 %. Присутність великої кількості мінеральної оливи в системі призводить до погіршення змащувальної здатності емульсії і погіршення енергосилових параметрів прокатки, підвищення стирання валків і смуги тощо.

Масова частка води, %, – її визначали за ГОСТ 2477. Масляні МОР мають гігроскопічність, яка залежить від температури рідини і навколишнього повітряного середовища. При 20 °С в масляних МОР розчиняється приблизно 0,003 % (мас.) води. Зі зміною температури повітря і тем-

ператури МОР може відбуватися конденсація водяної пари, що знаходиться в повітрі. У результаті волога потрапляє в МОР. Крім того, у МОР залежно від її температури завжди є велика кількість розчиненого повітря, що містить вологу.

Стабільність емульсії – найважливіший фактор ефективності МОР. Чим вона вища, тим довше прослужить рідина, приготована з концентрату, і тим ефективніше буде працювати. Визначити стійкість дає змогу рівняння Стокса. Стабільність визначається різницею густини щільності олійної фази і води. Якщо густина олії близька до густини води, можна говорити про більш високу стійкість МОР. Також велике значення має в'язкість зовнішнього середовища і гравітаційна константа (тут можна говорити про пряму пропорцію). Що вища в'язкість олії чи емульсії, то стабільніша остання. Високу стійкість показують емульсії, приготовані з концентратів на основі первинних олій. Якщо до складу входить відпрацьоване мастило, кінцевий продукт не відрізняється довгим терміном служби. Визначити ступінь стабільності емульсії можна за допомогою спеціальних приладів, або на око. Чим вона вища, тим довше не розшарується готова суміш, і тим довше вона зберігає первісний вигляд. Нестабільні МОР не можна застосовувати довго, оскільки з часом вони втрачають свої властивості, тому цей фактор має важливе значення.

Зольність – її визначали за ГОСТ 1461. Це вміст залишкової золи в емульсолі після його згоряння. Зольність вказує на кількість мінеральних і металевих відкладень, які можуть утворюватися під час експлуатації.

Температура застигання, °С, – це найнижча температура, за якої олива розтікається під дією сили тяжіння. Поняття температури застигання використовується для визначення прокачуваності оливи трубопроводами і можливості змащування вузлів тертя, що працюють за зниженої температури. Під температурою застигання емульсолу розуміють температуру, за якої емульсол, поміщений у пробірку і нахилений під кутом 45°, не змінює свого рівня протягом однієї хвилини. Температура застигання має бути на 5...7 °С нижчою за ту температуру, за якої емульсол має прокачуватися. В умовах знижених температур повинна забезпечуватися рідинотекучість емульсолу для можливості проведення приготування і додавання емульсії. Показник випробували за ГОСТ 20287.

Нанесення в електростатиці – це здатність емульсолу наноситися в електростатичному полі в електростатичній промаслювальній машині (НТА-4 для умов цеху холодної прокатки ПАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ"). Не всі продукти мають таку здатність – емульсол, який для цього не призначений, може вивести з ладу електростатичний промаслювач. Показник запитували у постачальника емульсолу і згодом перевіряли під час випробувань.

Водневий показник рН 3%-ї водної емульсії, приготований на жорсткій воді 4,6 мг-екв/дм³, – це показник кислотності емульсії. За високого рівня рН оливи краще емульгуються і, як правило, виходить більш стабільна емульсія. Що більша стабільність емульсії (МОР), то менший розмір крапель оливи в емульсії, і нижчий рівень мастильних властивостей.

Корозійний вплив на сірий чавун водної емульсії – визначали за ГОСТ 6243. Під корозією металів розуміють їхнє руйнування внаслідок протікання хімічних або електрохімічних процесів, спричинених мастильно-охолоджувальним середовищем. Застосування масляних МОР неактивного ряду, які за якістю відповідають вимогам технічних умов, не викликає будь-яких побоювань щодо корозії чорних або кольорових металів. Що стосується МОР активного ряду, то вони чинять корозійний вплив на кольорові метали. Метод оцінки корозійного впливу МОР на метали полягав у витримуванні металевої пластинки у випробуваному продукті. Під час випробування на сталевих пластинках продукт вважається таким, що витримав випробування, якщо на великих поверхнях пластинки відсутні точки або плями, помітні неозброєним оком.

Стабільність під час зберігання – це стабільність емульсії, приготованої на жорсткій воді 4,6 мг-екв/дм³ протягом 6 годин – визначали за ГОСТ 6243. Цей показник характеризує стабільність рідини в часі. Метод визначення стабільності МОР під час зберігання полягає у змінному впливі на продукт високих і низьких температур, подальшому центрифугуванні та визначенні ступеня його розшарування.

Схильність до утворення сажі та пригару 4 % водної емульсії – її визначали в балах за "Інструкцією з дослідження МОР на стійкість проти утворення сажі та пригару емульсії під час відпалу в лабораторних умовах" (ПАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ"). Лабораторні випробування слугували для визначення можливості постачальника витримувати заявлені в нормативній документації показники, а також визначення на першому етапі придатності емульсолу для конкретного виробництва.

Для визначення схильності емульсолу до сажоутворення була розроблена спеціальна практична дослідницька методика. Експериментальний емульсол (концентрат) наносили на два зразки (рис. 1) розміром 150 x 150 мм із холоднокатаного металу, зразки складали між собою та закріплювали у струбцині (рис. 2), після чого проводили відпал у газовій ковпаковій печі в атмосфері захисного HNx -газу.

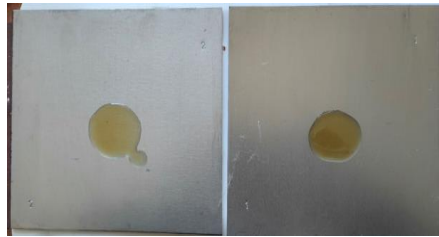


Рис. 1. Зразки з нанесеним концентратом емульсолу



Рис. 2. Струбцина зі зразками



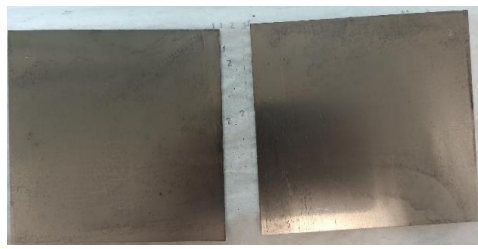
Рис. 3. Приєднана до рулону струбцина

Струбцину під'єднували (рис. 3) пакувальною стрічкою до нижнього краю рулону так, щоб торець струбцини був паралельний виткам рулону. Перед пакуванням стенд перевіряли на наявність негерметичності, щоб унеможливити вплив негативних сторонніх чинників на експеримент. Після проведення відпалу струбцину розкривають і оцінюють поверхню зразків за шкалою 0...5 балів (рис. 4). У разі якщо бал перевищує 3 бали емульсол вважається схильним до сажоутворення і не рекомендується до подальших випробувань.

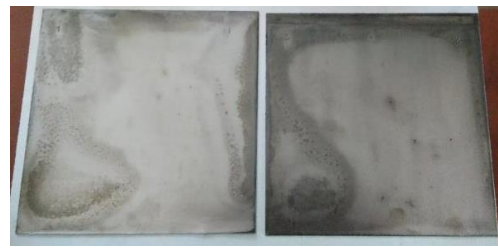
З практичного досвіду випливає, що якщо емульсол за низького числа омилення (до 50 мг KOH/g) дає пригар понад 1 бал, він схильний до сажоутворення, за високого числа омилення (понад 50 мг KOH/g) - понад 3 бали він схильний до сажоутворення.

Загалом у лабораторних умовах випробувано 54 різні види емульсолів. Усі вони мали різні фізико-хімічні характеристики, які наведено в табл. 1. З 54 емульсолів за результатами лабораторних випробувань було рекомендовано до дослідно-промислових випробувань 28 продуктів. Результати проведених лабораторних досліджень емульсолів наведено в табл. 1.

Рішення рекомендувати чи ні той чи інший продукт до дослідно-промислових випробувань на реверсивному стані приймали експертно, на підставі проведених лабораторних випробувань. Попередні лабораторні випробування дають змогу на початковій стадії виявити продукти, непридатні до подальшої експлуатації, дослідно-промислові випробування яких пов'язані з ризиками отримання відсортунів і збитків через дострокове припинення промислових випробувань.



бал сажоутворення 0



бал сажоутворення 1



бал сажоутворення 2



бал сажоутворення 3



бал сажоутворення 4



бал сажоутворення 5

Рис. 4. Шкала сажоутворення (у балах)

Таблиця 1

Результати лабораторних випробувань емульсолів (фактичні значення)

№ з/п	Вихідні дані				Результат			
	Марка емульсолу	Густина при 20 °С	В'язкість кінематична при 50 °С	Число омилення	Результат з відпалом пластин у струбцині з нанесеним концентратом	Водневий показник рН *	Схильність до утворення сажі та пригару 4 % водної емульсії	Рекомендації до наступного етапу випробувань **
Од. вим.	назва	г/см ³	мм ² /с	мгКОН/г	бал	рН	бал	+/-
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Прокатна олива «Lubro DL ZPS»	0,900	26,19	94,30	3	3,81	2	+
2	Прокатна олива «TRENOIL S740»	0,915	30,26	171,14	3	3,56	2	+
3	QH EVEROLL S1650 ZP	0,915	38,03	133,57	3	3,97	2	+
4	YUKO Лубринол-2М	0,916	43,02	27,49	0	8,26	2	+
5	TRENOIL SCR 145	0,92	34,82	160,44	3	3,67	3	+

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Condor-Roll 4001	0,903	15,6	124,50	1	4,82	3	–
7	KRONOL 163UA-11	0,922	39,63	136,03	4	5,54	3	–
8	KRONOL 163UA-12	0,92	39,61	135,79	4	5,45	3	–
9	Універсал-ІТС модифікований	0,924	35,56	94,85	3	7,56	3	–
10	AZMOL Delta Ecoline MN mark 1	0,901	19,53	91,54	3	4,7	3	+
11	ROLLUB 988-AR	0,921	28,67	141,6	3	4,4	3	+
12	Финерол-159 М	0,912	31,26	143,14	3	5,8	1	+
13	Quakerol ZAP 4,0	0,927	40,58	164,44	3	3,8	0	+
14	Quakerol ZAP 3,0	0,93	42,92	174,31	3	4	2	+
15	Hydroway O	0,908	14,9	90,35		8,45	1	+
16	Hydroway 840	0,901	13,02	126,27		8,72	1	+
17	Універсал-ІТС	0,894	20,2	68	1	8,5	1	+
18	СВК марки А	0,906	28,58	72,42	2	9,4	1	+
19	Cold Roller S (синтетичний)	1,064	-	-	-	8,72	-	+
20	Азмол Акванол М	0,921	25,29	85,06	4	8	-	–
21	Азмол Акванол D	0,897	55,53	13,58	2	9,2	1	+
22	Універсал-ТС	0,92	34,07	33,67	1	9	2	+
23	Азмол ОМ	0,895	31,2	25,3	-	-		+
24	Емульсол «Т»	0,874	20,1	21,2	-	-	1	–
25	Квакерол ZAP-ST 1,0 (местабільний) ZAP-ST 1,0 (местабільний)	0,894	36	83,6	-	4,5	0	–
26	Квакерол-405	0,890	37,3	81,0	-	-	0	–
27	Агринол ОМ	0,899	22,3	27	-	-	1	+
28	Gerolub 5543-1	0,926	36,77	135,13	-	8,5	1	+
29	Cold Roller	0,894	20,2	68	-	8,5	0	+
30	BONDERITE L-RO 5529-4	0,92	21,89	191,44	-	5,2	2	–
31	Rolkleen EP 2720 ILY (местабільний)	-	918	14,9	-	8	2	–
32	AVIKS БІОМ	0,922	27,5	91,57	-	8,2	2	–
33	RI-LAMIN MM-1680/ZPS	0,927	34,47	180,18	-	6,3	4	–
34	Rolkleen EP 2744 SCH	0,908	22,11	168,81	-	3,9	2	+
35	YUKO Лубринол-М (ISO 46)	0,899	28,39	69,41	2	8,2	1	–
36	BONDERITE L-RO 3515-3	0,918	35,37	99,72	-	5,3	-	–
37	Unisol	0,901	25,01	64,91	-	8,2	3	–
38	MOL Emroll SCR	0,892	30,31	30,89	-	7,6	-	+
39	Rolkleen EP 2744 SCH	0,909	31,36 (40°C)	175,87	-	-	-	+

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	Універсал ТС марка А	0,885	26	27,8	-	-	3	-
41	ЕКС-АМ РУП	-	-	-	-	-	4	-
42	ЕНТЕКС ЕМ	0,9	33,5	22,97	-	-	1	-
43	Івапрол-2	0,882	18,0	50,0	-	9	2	+
44	Gerolub-5548	0,923	34,46	154	-	5,7	0	-
45	СУВ-1	0,904	50	40	-	9	1	-
46	СВК марка Б	1,053	-	-	-	10,7	-	-
47	ОМ-У	0,924	34,1	28,27	-	9	1,5	-
48	СВК марка В	1,067			-	10,6		-
49	Сталькомплект ОМ	0,887	23,04	26,45	-	8	1	-
50	Gerolub 5605	0,921	28,45	74,09	-	8,6	1	-
51	ЕОМ-1	0,893	32,90	19,06	-	8,8	-	-
52	Rollub 948	0,91	27,9	111	-	6,6	0,5	+
53	ЕПТЛ-2	-	16,33	35,78	-	9	-	-
54	Оптимал Про	0,89	32,29	51,24	-	-	-	+

Примітки:

* 3 %-а водна емульсія, приготована на жорсткій воді 4,6 мг-екв/дм³

** “+” – рекомендований; “-” – не рекомендований

В результаті опрацювання даних табл. 1 було отримано наступні рівняння регресії – математичні залежності від вихідних даних показника (у балах) відпалу пластин у струбціні з нанесеним концентратом (Y1), водневого показника рН 3%-ї водної емульсії, приготованої на жорсткій воді 4,6 мг-екв/дм³ (Y2), та показника схильності до утворення сажі та пригару 4 % водної емульсії:

$$Y1 = -7,194 + 8,67 * X1 + 0,013 * X2 + 0,013 * X3; \quad (R^2 = 0,39) \quad (1)$$

$$Y2 = -34,669 + 51,372 * X1 - 0,054 * X2 - 0,037 * X3; \quad (R^2 = 0,62) \quad (2)$$

$$Y3 = -28,454 + 33,255 * X1 - 0,014 * X2 - 0,002 * X3, \quad (R^2 = 0,2) \quad (3)$$

де X1 – густина при 20 °С, г/см³; X2 – в'язкість кінематична при 50 °С, мм²/с; X3 – число омилення, мгКОН/г.

Розрахунки за формулами (1) та (3) не дають цілих чисел, які дорівнюють балам, тому отримані результати слід округлювати в найближчу сторону. Через відсутність можливості використовувати при розрахунках величини достовірності апроксимації R² округлених результатів розрахунку, отримали низькі показники R² для регресійного рівняння (1) та (3), які вказують на низьку достовірність апроксимації при отриманні цих рівнянь. Рівняння (2) має задовільну величину достовірності апроксимації, і цей вираз можна рекомендувати для відповідних розрахунків для прогнозування водневого показника рН 3 %-ї водної емульсії, приготованої на жорсткій воді, від значень X1, X2 та X3.

На підставі проведених лабораторних випробувань і дослідно-промислових випробувань було сформульовано вимоги щодо основних фізико-хімічних показників емульсолу для холодної прокатки:

– має відповідати вимогам санітарного законодавства України та супроводжуватися висновком державної санітарно-епідеміологічної експертизи Міністерства охорони здоров'я України;

– фізико-хімічні властивості емульсолу повинні задовольняти вимогам, викладеним у табл. 2:

Вимоги по фізико-хімічним властивостям емульсолів

Число омилення, мгКОН/г	90...180*
Температура застигання, °С, не вище	-7

* Примітка: можливе застосування емульсолів з іншим числом омилювання

- має бути придатний для електростатичного промаслювання;
- не повинен мати різкого запаху;
- має бути однорідним без згустків, пластівців і осаду;
- повинен легко згасати з поверхні смуги без утворення дефектів під час подальшої термічної обробки і не чинити корозійного впливу на смугу.

ВИСНОВКИ

Показана актуальність застосування емульсолів при холодній прокатці, проаналізовані причини виникнення поверхневих дефектів типу “сажа” після відпалу рулонів, які прокатували з емульсолами, та обґрунтована необхідність зменшення сажоутворення та пригару за рахунок формування вимог до фізико-хімічних властивостей мастильно-охолоджуючих рідин. В результаті випробувань 54-х емульсолів різних марок та виробників при холодній прокатці за бальною системою встановлені значення показників сажоутворення після відпалу дослідних зразків. Отримані рівняння регресії, що пов’язують показники утворення сажі та пригару від таких фізико-хімічних властивостей, як густина емульсолу при 20 °С, в’язкість кінематична при 50 °С та число омилення. Показана стійка залежність водневого показника рН для 3%-ї водної емульсії, приготованої на жорсткій воді 4,6 мг-екв/дм³ (У2), від зазначених вище фізико-хімічних властивостей емульсолів. За результатами досліджень рекомендовано до використання в умовах ПАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ" 28 емульсолів та сформульовані вимоги до їх основних фізико-хімічних показників.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грудев А. П., Зильберг Ю. В., Тилик В. Т. Трение и смазка при обработке металлов давлением: справочник. Москва: Металлургия. 1982. 310 с.
2. Krivtsova O., Kliber J., Talmazan V., Lezhnev S., Panin E. Technological lubricants for cold-rolled sheet and theirs evaluation. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*. 2013. Vol. 80 (8). pp. 555–558.
3. Kukhar V., Spichak O., Karmazina I., Malii K., Gribkov E., Dobronosov Y. Synthesis analysis of energy intensity dependence for tandem mills thin-plate rolling on various grade emulsols rheological properties. *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. Kremenchuk, Ukraine. 27–30 September 2023, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402500>
4. Кухар В. В., Горностаї В. М., Курпе О. Г. Енергоспоживання та витрати емульсолу при холодній прокатці смуг з вуглецевої сталі на безперервному 4-х клітьовому стані 1680. *Обробка матеріалів тиском = Materials Working by Pressure*. 2022. № 1 (51). С. 134–140. [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2022-1\(51\)134](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2022-1(51)134)
5. Kukhar V., Malii K., Spichak O. Influence of emulsols type on energy-power consumption and surface contamination at DC01 steel cold rolling on the continuous four-stand mill. *Problems of Tribology*. 2022. 27 (4/106). pp. 19–26. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-106-4-19-26>
6. 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. *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. Kremenchuk, Ukraine. 23–25 September 2019. pp. 46–49. <https://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896465>
7. Horák A., Raudenský M., Pohanka M., Bellerová H., Reichardt T. Research on Cooling Efficiencies of Water, Emulsions and Oil. *Metallurgical and Mining Industry*. 2010. 2 (4). pp. 271–278.
8. Li Y., Sun J. L. Recognition and control of the influence factors on the surface defects of cold rolled strip with emulsion lubrication. *Applied Mechanics and Materials*. 2013. 456. pp. 498–502. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.456.498>
9. Avdeenko A. P., Fedorynov M. V., Dašić P. V., Turmanidze R., Burmistrov K. S., Toropin N. V., Konovalova S. A. New compositions of metal-working coolants for brass rolling. *Preprints: Research Square*. 2018. 2018040294. <https://doi.org/10.20944/preprints201804.0294.v1>

10. Савельєва В. А. Розробка режиму прокатки штаби розмірами 0,5 x 1050 мм зі сталі 08Ю на неперервному стані холодної прокатки 1680 : кваліфікаційна робота бакалавра спеціальності 136 "Металургія" / наук. керівник Ю. О. Белоконь. Запоріжжя : ЗНУ. 2023. 95 с. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/12634>
11. Kartun I., Remez O., Haidai O., Spaska O., Yanchenko O., Pyliavsky V., Polunkin Y. Effect of fullerene-like nanoparticles on the tribological properties of industrial lubricants for steel rolling. *Problems of Tribology*. 2022. Vol. 27 (4/106). pp. 45–50. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-106-4-45-50>
12. Голубець В. М., Гасій О. Б., Гончар І. М., Степанишин В. І. Підвищення стійкості фасонних фрез йонно-плазмовим напиленням. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2018. 3. С. 49–56. http://nbuv.gov.ua/UJRN/inhpn_2018_3_8
13. Груша А. І. Аналіз моделей визначення коефіцієнта тертя при холодній прокатці : кваліфікаційна робота магістра спеціальності 136 «Металургія» / наук. керівник Ю. О. Белоконь. Запоріжжя : ЗНУ. 2021. 85 с. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/5838>
14. Fernández E., Benito J. M., Pazos C., Coca J., Ruiz I., Ríos G. Regeneration of an oil-in-water emulsion after use in an industrial copper rolling process. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2005. Vol. 263 (1–3). pp. 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.12.042>
15. Рибалка В. В. Розробка заходів щодо поліпшення умов праці в цехах холодної прокатки : кваліфікаційна робота магістра спеціальності 263 "Цивільна безпека" / наук. керівник Є. А. Манідіна. Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 133 с. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/6133>
16. Antonicelli M., Liuzzo U., Palumbo G.. Evaluation of the Effect of a Natural-Based Emulsion on the Cold Rolling Process. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2023. 7 (4). pp. 121. <https://doi.org/10.3390/jmmp7040121>
17. Dubey S. P., Sharma G. K., Shishodia K. S., Sekhon G. S. A study of lubrication mechanism of oil-in-water (O/W) emulsions in steel cold rolling. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2005. 57 (5). pp. 208–212. <https://doi.org/10.1108/00368790510614190>
18. Vergne P., Kamel M., Querry M. Behavior of Cold-Rolling Oil-in-Water Emulsions: A Rheological Approach. *Journal of Tribology*. 1997. 119 (2). pp. 250–258. <https://doi.org/10.1115/1.2833173>
19. Василев Я. Д., Замогильный 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. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tipm_2018_6_4
20. Прищип М. Г., Васильєв О. Г., Бондаренко Ю. В., Васильєв С. О. Дослідження ефективності та вибір технологічного мастила для холодної прокатки низьколегованих сталей. *Металургія*. 2017. 2 (38). С. 76–80. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/471>
21. Sun J. L., Zhang B. T., Dong C. Effects of ferrous powders on tribological performances of emulsion for cold rolling strips. *Wear*. 2017. 376–377. Part A. pp. 869–875. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.12.012>
22. Azushima A., Inagaki S., Ohta H. Plating out oil film thickness on roll and workpiece during cold rolling with O/W emulsion. *Tribology Transactions*. 2011. 54 (2). pp. 275–281. <https://doi.org/10.1080/10402004.2010.542275>
23. Curcija D., Mamuzic I. Lubricants for the rolling and drawing of metals. *Materiali in Tehnologije*. 2005. 39 (3). pp. 61–75.
24. Kimura Y., Fujita N., Matsubara Y., Kobayashi K., Amanuma Y., Yoshioka O., Sodani Y. High-speed rolling by hybrid-lubrication system in tandem cold rolling mills. *Journal of Materials Processing Technology*. 2015. 216. pp. 357–368. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.10.002>
25. Kukhar V. V., Klimov E. S., Chernenko S. M. Analysis of galvanized steel sheets fabrication in cold rolling shop and identification of local impacts contributing to corrosion of metal-products. *Solid State Phenomena*. 2021. 316. pp. 873–879. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.316.873>

REFERENCES

1. Hrudev A. P., Zylberh Yu. V., Tylyk V. T. Friction and lubrication in metal forming: a reference book. Moscow: Metallurgy, 1982. 310 p. (in Russian).
2. Krivtsova O., Kliber J., Talmazan V., Lezhnev S., Panin E. Technological lubricants for cold-rolled sheet and theirs evaluation. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*. 2013. 80 (8), pp. 555–558.
3. Kukhar V., Spichak O., Karmazina I., Malii K., Gribkov E., Dobronosov Y. Synthesis analysis of energy intensity dependence for tandem mills thin-plate rolling on various grade emulsols rheological properties. *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. Kremenchuk, Ukraine. 27–30 September 2023, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402500>
4. Kukhar V. V., Hornostai V. M., Kurpe O. H. Energy consumption and emulsol consumption during cold rolling of carbon steel strips on a continuous 4-cell mill 1680. *Materials Working by Pressure*. 2022. 1 (51), pp. 134–140. [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2022-1\(51\)134](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2022-1(51)134) (in Ukrainian).
5. Kukhar V., Malii K., Spichak O. Influence of emulsols type on energy-power consumption and surface contamination at DC01 steel cold rolling on the continuous four-stand mill. *Problems of Tribology*. 2022. 27 (4/106), pp. 19–26. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-106-4-19-26>

6. Kukhar V., Korenko M., St'opin V., Karmazina I., Elchaninov A., Hurkovska S., Prysiashnyi A., Zubrytskyi V. Operation modes of electric motors of reversing cold rolling mill 1680 while rolling with emulsions. *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. Kremenchuk, Ukraine. 23–25 September 2019, pp. 46–49. <https://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896465>
7. Horák A., Raudenský M., Pohanka M., Bellerová H., Reichardt T. Research on cooling efficiencies of water, emulsions and oil. *Metallurgical and Mining Industry*. 2010. 2 (4), pp. 271–278.
8. Li Y., Sun J. L. Recognition and control of the influence factors on the surface defects of cold rolled strip with emulsion lubrication. *Applied Mechanics and Materials*. 2013. 456, pp. 498–502. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.456.498>
9. Avdeenko A. P., Fedorynov M. V., Dašić P. V., Turmanidze R., Burmistrov K. S., Toropin N. V., Konovalova S. A. New compositions of metal-working coolants for brass rolling. *Preprints: Research Square*. 2018, 2018040294. <https://doi.org/10.20944/preprints201804.0294.v1>
10. Savelieva V. A. Development of the mode of rolling bars with dimensions of 0.5x1050 mm made of steel 08U on continuous cold rolling 1680: qualification work of bachelor of specialty 136 "Metallurgy"; Supervisor Yu. O. Belokon. Zaporizhzhia: ZNU. 2023. 95 p. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/12634> (in Ukrainian).
11. Kartun I., Remez O., Haidai O., Spaska O., Yanchenko O., Pyliavsky V., Polunkin Y. Effect of fullerene-like nanoparticles on the tribological properties of industrial lubricants for steel rolling. *Problems of Tribology*. 2022. 27 (4/106), pp. 45–50. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2022-106-4-45-50>
12. Holubets V. M., Hasii O. B., Honchar I. M., Stepanyshyn V. I. Increasing the stability of shaped cutters by ion-plasma sputtering. *Industrial hydraulics and pneumatics*. 2018. 3, pp. 49–56. http://nbuv.gov.ua/UJRN/in-hpn_2018_3_8 (in Ukrainian).
13. Hrusha A. I. Analysis of models for determining the coefficient of friction during cold rolling: master's qualification thesis, specialty 136 "Metallurgy"; Supervisor Yu. O. Belokon. Zaporizhzhia: ZNU. 2021. 85 p. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/5838> (in Ukrainian).
14. Fernández E., Benito J. M., Pazos C., Coca J., Ruiz I., Ríos G. Regeneration of an oil-in-water emulsion after use in an industrial copper rolling process. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2005. 263 (1–3), pp. 363–369, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.12.042>
15. Rybalka V. V. Development of measures to improve working conditions in cold rolling shops: master's qualification thesis of specialty 263 "Civil safety"; Supervisor E. A. Manidin. Zaporizhzhia: ZNU, 2021. 133 p. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/6133> (in Ukrainian).
16. Antonicelli M., Liuzzo U., Palumbo G. Evaluation of the effect of a natural-based emulsion on the cold rolling process. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2023. 7 (4), pp. 121. <https://doi.org/10.3390/jmmp7040121>
17. Dubey S. P., Sharma G. K., Shishodia K. S., Sekhon G. S. A study of lubrication mechanism of oil-in-water (O/W) emulsions in steel cold rolling. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2005. 57 (5), pp. 208–212. <https://doi.org/10.1108/00368790510614190>
18. Vergne P., Kamel M., Querry M. Behavior of Cold-Rolling Oil-in-Water Emulsions: A Rheological Approach. *Journal of Tribology*. 1997. 119 (2), pp. 250–258. <https://doi.org/10.1115/1.2833173>
19. Vasylyev Ya. D., Zamohylnyi R. O., Samokysh D. M. Engineering method for determining the antifriction efficiency of emulsions for cold rolling according to their physical and chemical properties. *Theory and practice of metallurgy*. 2018. 6, pp. 15–21. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tipm_2018_6_4 (in Ukrainian).
20. Pryshchip M. H., Vasylyev O. H., Bondarenko Yu. V., Vasylyev S. O. Efficiency research and selection of technological lubricant for cold rolling of low-alloy steels. *Metallurgy*. 2017. 2 (38), pp. 76–80. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/471> (in Ukrainian).
21. Sun J. L., Zhang B. T., Dong C. Effects of ferrous powders on tribological performances of emulsion for cold rolling strips. *Wear*. 2017. 376–377, Part A, pp. 869–875, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.12.012>
22. Azushima A., Inagaki S., Ohta H. Plating out oil film thickness on roll and workpiece during cold rolling with O/W emulsion. *Tribology Transactions*. 2011. 54 (2), pp. 275–281. <https://doi.org/10.1080/10402004.2010.542275>
23. Curcija D., Mamuzic I. Lubricants for the rolling and drawing of metals. *Materiali in Tehnologije*. 2005. 39 (3), pp. 61–75.
24. Kimura Y., Fujita N., Matsubara Y., Kobayashi K., Amanuma Y., Yoshioka O., Sodani Y. High-speed rolling by hybrid-lubrication system in tandem cold rolling mills. *Journal of Materials Processing Technology*. 2015. 216, pp. 357–368. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.10.002>
25. Kukhar V. V., Klimov E. S., Chernenko S. M. Analysis of galvanized steel sheets fabrication in cold rolling shop and identification of local impacts contributing to corrosion of metal-products. *Solid State Phenomena*. 2021. 316, pp. 873–879. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.316.873>

Kukhar V., Spichak O., Pashynskiy V., Malii Kh. Testing emulsions for cold rolling for soot-formation at coil annealing.

Cold rolling with emulsions allows for lower rolling forces, higher crimping and lower final bar thicknesses, greater rolling stability and better surface finish after rolling. However, the subsequent stages associated with cold-rolled coil annealing operations can present unexpected unpleasant "surprises" in the form of sooty surface defects. In addition to uneven application and poor emulsion rinsing prior to annealing, soot formation is significantly affected by the composition of emulsions (components included in the emulsion formula) and their physical and chemical properties. The paper analyzes the causes of surface defects of the "soot" type after annealing coils rolled with emulsions and substantiates the need to reduce soot formation and burning by formulating requirements for the physical and chemical properties of lubricating and cooling fluids. A methodology for testing the tendency of emulsols to soot formation after annealing in coils, which is the first stage of a multistage study, has been developed. The methodology consisted of applying concentrated emulsion to witness samples, which were annealed together with the coils under the same temperature and time conditions and furnace environment. The physicochemical characteristics of lubricating and cooling liquids were analyzed and 54 emulsions of different brands and manufacturers were tested during cold rolling. A scoring system for assessing the intensity of soot formation by visual observation is proposed, and the values of soot formation scores after annealing of the experimental samples are determined. The calculated regression equations were obtained that relate the soot and burn formation rates to such physicochemical properties as emulsol density at 20 °C, kinematic viscosity at 50 °C, and saponification number. A stable dependence of the hydrogen pH value for a 3% aqueous emulsion prepared with hard water of 4.6 mg-eq/dm³ on the indicated physicochemical properties of emulsols was shown. Based on the results of the research, 28 emulsions were recommended for use in the conditions of PJSC "ZAPORIZHSTAL" and requirements for their main physical and chemical parameters were formulated.

Keywords: cold rolling, emulsion, lubricating coolant, physical and chemical properties, requirements, soot, burning, tendency to soot formation.

Кухар Володимир Валентинович – д-р техн. наук, професор, проректор з науково-дослідної роботи, ТУ МП
Kukhar Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for R&D Work, TU MP
E-mail: kvv.mariupol@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4863-7233>

Спічак Олександр Юрійович – нач. відділу холодної прокатки, ПАТ «Запоріжсталь»
Spichak Oleksandr – Head of the Cold Rolling Department, Zaporizhstal
E-mail: aleksandr.spichak@zaporizhstal.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9653-437X>

Пашинський Володимир Вікторович – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою, ТУ МП
Pashynskiy Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, TU MP
E-mail: volodymyr.pashynskiy@mipolytech.education
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0118-4748>

Малій Христина Василівна – канд. техн. наук, доцент ТУ МП
Malii Khrystyna – PhD, Associate Prof. TU MP
E-mail: kristina.v.goncharuk@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9046-426>

ТУ МП – ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя
TU MP – Metinvest Polytechnic Technical University LLC, Zaporizhzhia

ПАТ «Запоріжсталь» – Приватне акціонерне товариство «ЗАПОРИЖСТАЛЬ», м. Запоріжжя
Zaporizhstal – PJSC "ZAPORIZHSTAL", Zaporizhzhia

Стаття надійшла до редакції 13.02.24 р.