



NATIONAL INSTITUTE
OF REGIONAL DEVELOPMENT
ESTD 2021



Erasmus+



Online conference
ITTA
International Technology
Transfer Association

AGGR University



ClimEd

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

Третьої Міжнародної наукової-практичної
онлайн-конференції

**«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ,
ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ ТА
СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ УКРАЇНИ»**

Київ-2021

Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 13 жовтня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. – 1463 с.

Конференція проводиться за підтримки Проекту Еразмус+ «Multilevel Local, Nation- and Regionwide Education and Training in Climate Services, Climate Change Adaptation and Mitigation / Багаторівнева освіта та професійне навчання з питань кліматичних послуг, адаптації до змін клімату та їх пом'якшення в локальному, національному та регіональному масштабах – ClimEd», № 619285-ERP-1-2020-1-FI-ERPKA2-SVNE-JP (15.11.2020 – 14.11.2023)



Збірник містить тези доповідей учасників Міжнародної науково-практичної конференції з широкого кола питань, пов'язаних із актуальними проблемами, пріоритетні напрямки та стратегіями розвитку України.

Були охоплені наступні напрямки:

- екологія;
- економіка підприємства та управління;
- освіта;
- право;
- соціальні комунікації, медіа;
- сучасні інформаційні технології;
- технічні науки.

Редакційна колегія: О.С. Волошкіна, д-р техн. наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища, (головний редактор); А.В. Гончаренко, асистент кафедри охорони праці та навколишнього середовища (заступник головного редактора); О.Г. Жукова, канд. техн. наук, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища (відповідальний секретар).

ІТТА, 2021

Воденнікова Оксана Сергіївна

канд. техн. наук, доцент

Головков Павло Вікторович

студент 3-го скороченого курсу, спеціальність 136 «Металургія»

Запорізький національний університет

Воденнікова Лариса Володимирівна

асистент

Запорізький державний медичний університет

ТЕХНІЧНІ НАУКИ (Металургія)

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ АСПЕКТІВ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ СТАЛІ: ДОСВІД УКРАЇНИ ТА ЗАРУБІЖЖЯ

Відомо, що сірка є однією з шкідливих домішок, що знижує механічну міцність та зварюваність сталі, а також погіршує її електротехнічні, антикорозійні та інші властивості [1]. Підвищена кількість сірки зумовлює розвиток червоноламкості під час гарячої деформації литої сталі та є непрямим підтвердженням незадовільного розкислення металу [2, 3]. Видалення сірки – досить складне металургійне завдання, вирішення якого пов'язане з чималими витратами енергоносіїв та реагентів, що може привести до подорожчання металопродукції та часто робить продукцію малорентабельною. Все це вимагає розробку та впровадження нових ресурсозберігаючих технологій одними з яких і є десульфуріяція металу [4]. Успішна десульфуріяція сталі залежить від хімічного складу шлаку, часу його формування в ковші, окислення металу, умов перемішування сталі в ковші, додаткових технологічних операцій та ківшевої обробки металу [5].

В сучасних металургійних умовах для десульфуріяції сталі широко застосовується метод обробки сталі ТШС, який дозволяє підвищити якість металу та відмовитися від дорогої обробки синтетичним шлаком [6]. Так при необхідності зниження масової частки сірки до 60 % від початкового виконують комплексну десульфуріяцію розплаву ТШС на основі вапна та плавикового шпату. При позапічній десульфуріяції сталі твердими шлакоутворюючими сумішами у вигляді суміші вапна та плавкого шпату

або флюориту в масовому співвідношенні від 3:1 до 4:1 досягається ступінь десульфурації від 30 до 50 % при відносно невеликій витраті реагенту 0,7–1,7 % маси металу. З метою зниження теплових втрат при десульфурації сталі ТШС можна використовувати комплексну технологію обробки конвертерної сталі ТШС і рідким розкисленим конвертерним шлаком. Максимально досягнута ступінь десульфурації вуглецевої сталі при її комплексному рафінуванні складає 64 % [7]. Найбільш технологічно та економічно обґрунтованим способом рафінування сталі також є застосування рідких вапняно-глиноземистих шлаків $\text{CaO}+\text{Al}_2\text{O}_3$ [8]. При позапічній обробці сталі з метою видалення сірки часто застосовують і силікокальцій, однак при обробці сталей з низьким вмістом кремнію його застосування не доцільно [6].

Саме тому на сьогодні досить актуальним представляється аналіз сучасного досвіду десульфурації з використанням технологічних комплексів «УДЧ – сталеплавильний агрегат» та «УДЧ – сталеплавильний агрегат –УПК».

Для вивчення кінетики процесу десульфурації авторами роботи [5] були проведені промислові дослідження в киснево-конвертерному цеху ПрАТ «МК «Азовсталь»» при виплавці сталі 17Г1СУ в 350-тонних конвертерах за різними варіантами обробки металу в сталерозливних ковшах. Порівняльний аналіз ефективності десульфурації різних варіантів в зіставленні з варіантом, коли метал нічим не оброблявся, показав, що кількість вилученої з металу сірки при обробці його твердою шлакоутворюючою сумішшю, синтетичним шлаком, спільно шлаком і сумішшю зросла в 1,36; 2,1 і 2,46 рази відповідно.

Значний інтерес представляють дослідження десульфурації металу в технологічному комплексі «УДЧ – конвертер» [9]. Показано, що в умовах роботи з використанням знесірченого чавуну в металі на випуску з конвертера вміст сірки може виявитися вище, ніж в вихідному чавуні, що пов'язано з надходженням сірки в конвертерну ванну з іншими шихтовими матеріалами.

Практична оцінка можливостей десульфурації металу в технологічного

комплексу «УДЧ – конвертор – УПК для забезпечення отримання низькосернистої (менше 0,01 % сірки) сталі представлена авторами роботи [10]. Показано, що виплавка сталі з вмістом сірки $\leq 0,01$ % може бути здійснена з використанням глибоко знесірченого чавуну ($< 0,005$ % сірки) без ковшового шлаку і низькосірчистого металевого брухту, або знесірчених до рівня 0,01 % сірки чавуну та подальшої обробки сталі на УПК.

Для умов ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Дзержинського» розроблена методика вибору оптимального складу шлаку-десульфуратора в умовах обробки напівпродукту трубних марок сталі (09Г2С, 20ТР, 45ТР та ОС, LF2) на УКП [11]. У дослідженнях визначено граничні умови параметрів шлаку, а також співвідношення $\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ та $\text{FeO} + \text{MnO}$, що визначають його сіркопоглинальну здатність і забезпечують виплавку якісного за вмістом сірки металу трубних марок сталі.

Оцінка процесу десульфурації металу на 60-ти та 100-ти тонних УПК в умовах ВАТ «Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод» та ТОВ «Електросталь» приведена у роботі [12]. Розроблена технологія десульфурації металу на УПК з спільним використанням ТШС і силікокальцієвого дроту марки СК30 (вводили у кількості 0,1–0,13 % від маси металу) дозволяє отримувати вміст сірки в сталі менше 0,01 %.

Автори роботи [13] стверджують, що в умовах киснево-конвертерного цеху ПАТ «Северсталь» можливо отримувати будь-який заданий вміст сірки (аж до 0,001 %) при вихідному її вмісті до 0,1 %. Вміст сірки в сталі на повалці в середньому нижче на 0,003 %, а у готовій сталі – на 0,001 %. При цьому для різних марок сталей витрата ТШС для десульфурації на УДЧ була на нижче в 1,25–1,74 разів ніж для плавок на звичайному чавуні.

Значний інтерес представляють також технологія виплавки трубної ультранизькосірчистої сталі марки DNV SAWL 485 FD в умовах киснево-конвертерного цеху ПАТ «Магнітогорський металургійний комбінат» [14]. В дослідженнях встановлена зростаюча залежність коефіцієнта розподілу

сірки від питомої витрати флюїдизованого вапна на УПК, згідно з якою при рекомендованій витраті флюїдизованого вапна від 2,2 до 2,8 кг/т підсумковий коефіцієнт розподілу сірки збільшується з 220 до 275. Загальна ступінь ковшової десульфурації металу 539 плавок при виплавці сталі марки DNV SAWL 485 FD склала 83 %.

Авторами роботи [15] розроблено спосіб десульфурації сталі марки С80D в умовах ВАТ «Молдавський металургійний завод», що дозволяє забезпечити зниження вмісту сірки в готовому прокаті до 0,002–0,003 %. Часткове видалення сірки відбувається в дуговій сталеплавильній печі (ДСП), а наднизький вміст досягається за рахунок створення високоосновного рафінуючого шлаку в процесі позапічної обробки сталі на УПК. Встановлено, що додаткове введення в сталь силікокальцієвого дроту в кінці позапічної обробки дозволяє знизити вміст сірки до 0,002 %.

У дослідженнях [16] процес десульфурації сталі марки 20ГЛ при використанні ТШС проводили в умовах АТ «Ташкентський механічний завод» в індукційній тигельній печі місткістю 6 т зі зменшенням висоти меніска дзеркала ванни за рахунок підвищення рівня металу. Дослідно-промислові опробування показали, що при обробці ТШС та модифікуванні сталі РЗМ ступінь десульфурації складала 50–90 % (0,004–0,015 % S); при обробці ТШС ступінь десульфурації складала 45–60 % (0,014–0,017 % S).

У роботі [17] для умов ВАТ «Білоруський металургійний завод» для десульфурації арматурної сталі з вмістом сірки <0,025 %, попередньо виплавлених в ДСП, запропоновано інжектування порошкоподібних матеріалів через установку «Velko» при позапічній обробці сталі. Авторами показано, що питома витрата порошкоподібного матеріалу «TURBO-KALK» в кількості 1,95 кг/т підвищує ступінь десульфурації на 32,2 %.

Таким чином, глибока десульфурація сталі (<0,005 % S) можлива шляхом використання технологічних комплексів «УДЧ – сталеплавильний агрегат» та «УДЧ – сталеплавильний агрегат – УПК». Їх застосування забезпечує

можливість оптимізації витрат на виробництво сталі, розширює асортимент дефіцитних видів металопродукції та дозволяє усунути ряд обмежувальних умов, що ускладнюють поточне виробництво сталі.

Література:

1. Харлашин П. С., Коломийцева Ю. С., Виноградова А. А. Влияние серы на поверхностные свойства железо-сернистых расплавов. Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер. : Технічні науки. 2014. Вип. 28. С. 61–67.

2. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики стелеплавильных процес сов: учеб. пособ. для вузов. Киев-Донецк : Вища школа. Головное изд-во, 1979. 280 с.

3. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. Москва: Metallurgizdat, 1963. 820 с.

4. О технологии удаления серы в кислых индукционных печах/ Д.А. Лубяной, С.А. Фомкин, А. В. Кухаренко и др. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 6. С. 689–694.

5. Плохих П.А., Хавалиц Ю.В., Плохих П.А., Плохих А.А. Эффективность десульфурации при применении различных вариантов внепечной обработки стали. Метал та лиття України. 2020. №1(28). С. 42–47.

6. Богушевский В.С., Каленчук В.А. Оптимизация процесса десульфурации металла в конвертерном цехе с использованием различных реагентов. Литьё и металлургия. 2017. №3(88). С. 5–10.

7. Шипельников А.А., Бобылева Н.А. Исследование десульфурации стали в условиях конверторного производства. URL: <https://doicode.ru/doifile/sr/15/sr-10-06-2019-24.pdf> (дата звернення: 01.10.2021).

8. Рафинирование стали синтетическими шлаками / С. Г. Воинов, А. Г. Шалимов, Л. Ф.Косой и др. Москва : Металлургия, 1970. 463 с.

9. Десульфурация металла в технологическом комплексе «УДЧ–

конвертер»/ А.С. Вергун, В.Г. Кисляков, В. Ф. Поляков и др. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. научн. тр. 2007. Вип. 14. С. 112–119.

10. Десульфурация металла в технологическом комплексе «УДЧ–конвертер–КП»/ А.С. Вергун, В.Г. Кисляков, В.Ф. Поляков и др. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. научн. тр. 2007. Вип. 15. С. 99–110.

11. К вопросу выбора оптимального состава шлака-десульфуратора трубных марок стали/ Д.Н. Тогобицкая, В.П. Пиптюк, В.А. Кондрашкин и др. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. научн. тр. 2014. Вип. 28. С. 170–178.

12. Журавлёва С.В., Паниотов Ю.С, Мамешин В.С. Оценка процесса десульфурации металла на АКП по бивариантному механизму. Металл и литьё Украины. 2015. №2(261). С. 8–11.

13. Чумаков С.М., Зинченко С.Д. Комплексная технология получения низкосернистой стали в ККЦ ОАО «Северсталь». Труды 5-го Конгресса сталеплавильщиков (г. Москва, 7–10 октября 1996 г.). Москва, 1999.

14. Ушаков С.Н. Разработка технологии производства трубной ультранизкосернистой стали в современном кислородно-конвертерном цехе : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : 05.16.02. Магнитогорска, 2020. 17 с.

15. Парусов Э. В., Сичков А. Б., Сагура Л. В., Чуйко И. Н. Обеспечение сверхнизкого содержания серы при внепечной обработке стали. Наукові праці ВНТУ. 2017. № 1. С. 1–6.

16. Турсунов Н. К., Семин А. Е., Санокулов Э. А. Исследование процессов дефосфорации и десульфурации при выплавке стали 20ГЛ в индукционной тигельной печи с дальнейшей обработкой в ковше с использованием редкоземельных металлов. Чёрные металлы. 2017. №1. С. 33–40.

17. Пивцаев В. Е., Дьяченко В. И., Проскурин В. А. Десульфурация стали

с использованием инъекционной установки «Velko». Литьё и металлургия. 2008. №1(45). С. 15–22.

Неженцев Алексей Борисович

*доцент кафедры прикладной гидроаэромеханики и механотроники
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
ТЕХНІЧНІ НАУКИ (Машинобудівництво)*

К ВОПРОСУ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОМАССОВЫХ МОДЕЛЕЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Для исследования переходных процессов грузоподъемных кранов применяются многомассовые модели [1 - 3 и др.], описываемые нелинейными дифференциальными уравнениями, которые интегрируются численными методами. При этом имеют место неустойчивые результаты численного интегрирования указанных уравнений.

Цель работы: исследовать устойчивость трех- и четырехмассовой математических моделей, описывающих движение кранов мостового типа.

Трёхмассовая математическая модель мостового крана имеет следующий вид

$$\begin{cases} m_k \ddot{x}_k + C_D(\dot{x}_k - \dot{x}_m) + C_M(x_k - x_m) + P_w \cdot \text{sign}(\dot{x}_k) = P_d; \\ m_m \ddot{x}_m + C_K(x_m - x_\Gamma) - C_D(\dot{x}_k - \dot{x}_m) - C_M(x_k - x_m) = 0; \\ m_\Gamma \ddot{x}_\Gamma - C_K(x_m - x_\Gamma) = 0; \end{cases} \quad (1)$$

а четырехмассовая модель мостового крана, соответственно:

$$\begin{cases} m_\Pi \ddot{x}_\Pi + C_{D1}(\dot{x}_\Pi - \dot{x}_k) + C_\Pi(x_\Pi - x_k) = P_d; \\ m_{k2} \ddot{x}_k + C_D(\dot{x}_k - \dot{x}_m) + C_M(x_k - x_m) - C_{D1}(\dot{x}_\Pi - \dot{x}_k) - \\ \quad - C_\Pi(x_\Pi - x_k) + P_w \cdot \text{sign}(\dot{x}_k) = 0; \\ m_m \ddot{x}_m + C_K(x_m - x_\Gamma) - C_D(\dot{x}_k - \dot{x}_m) - C_M(x_k - x_m) = 0; \\ m_\Gamma \ddot{x}_\Gamma - C_K(x_m - x_\Gamma) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где все обозначения общеприняты и приведены в работах [2, 4, 5].

После линеаризации приведенной к ходовым колесам силы привода P_d и