

Прийнято до
 розробки вченої ради
 № 1965
 Лозова Радн
 09.03.2026 р.
 Низько в к

ВІДГУК

Професора, доктора технічних наук СМІРНОВА Олексія Миколайовича
 на дисертаційну роботу КАМКІНА Володимира Юрійовича
 “Розробка наскрізної технології виробництва низьковуглецевої сталі для
 виготовлення високоякісного тонколистового прокату”, представленої на
 здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 –
 «Металургія».

Актуальність теми дисертації.

Низьковуглецева сталь широко використовується в різних галузях
 машинобудування завдяки своїм сприятливим властивостям. Низький вміст
 вуглецю забезпечує хороший баланс між міцністю та пластичністю, що робить її
 придатною для процесів формування та зварювання. Цей матеріал часто
 використовується при виготовленні конструкційних елементів, автомобільних
 деталей та у загальному машинобудуванні. Поєднання механічних
 властивостей робить м'яку сталь придатною для застосувань, що
 потребують хорошої пластичності та помірної міцності, таких як
 конструктивні елементи та автомобільні деталі. Нижча межа плинності
 порівняно з високовуглецевими сталями полегшує формування та
 прокатування.

Низьковуглецева сталь залишається основним матеріалом у
 машинобудуванні та виробництві, пропонуючи унікальне поєднання
 властивостей, що дозволяє використовувати її у широкому спектрі застосувань 3
 року в рік удосконалюється технологічний процес їх виробництва. На даний час
 актуальним для металургійних підприємств є завдання розробки технології
 виробництва чистих сталей з використанням сучасного комплексу «дугова
 сталеплавильна піч – установка ковш-піч – вакуумна обробка – безперервна
 розливка» з підвищеними механічними властивостями та мінімальним вмістом
 шкідливих домішок, що вимагає фізико-хімічного обґрунтування та розробленні
 технологічних режимів виплавки та позапічної обробки низьковуглецевої
 електросталі для тонколистового прокату. Тому тема дисертаційної роботи
 Камкіна В.Ю. є актуальною і важливою, так як присвячена розробці технології
 одержання низьковуглецевої сталі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася в рамках наукових напрямків науково-
 дослідницької діяльності Українського державного університету науки і

технологій. Розглянуті в роботі актуальні проблеми і задачі в області виплавки та позапічної обробки металу відповідають пріоритетам науково-технічного розвитку. Основу дисертаційної роботи складають результати досліджень, що виконані автором та є частиною матеріалів, викладених у звіті з науково-дослідницької роботи «Новітня енергозберігаюча технологія виплавки та пластичної деформації ультра низьковуглецевих сталей для особливо тонкого листового прокату подвійного призначення з підвищеними властивостями», де автор був виконавцем, № держреєстрації 0117U002340, що виконувалась в Українському державному університеті науки і технологій Міністерства освіти і науки України. Термін виконання: 2017-2019 рр.

Оцінка структури і змісту дисертації

Дисертаційна робота Камкіна Володимира Юрійовича складається зі вступу та основної частини з чотирьох розділів з висновком до кожного з них, також загальних висновків і переліку використаних джерел до кожного розділу, який налічує найменування публікацій закордонних і вітчизняних авторів. Загальний обсяг дисертаційної роботи викладено на 168 сторінках машинописного тексту, з яких 132 сторінок основного тексту, містить 30 рисунків, 32 таблиці. Структура роботи по складу та послідовності розділів логічна та відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

У Вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, надано інформацію щодо зв'язку роботи з науковими програмами, сформульовано її мету і задачі досліджень, вказано об'єкт, предмет та методи досліджень, викладено основні наукові положення, які виносяться на захист, апробацію отриманих результатів, представлені дані щодо структури та обсягу дисертації.

У Першому розділі наведено огляд існуючих технологій виробництва низьковуглецевої сталі, показано переваги виплавки сталі в у електродугових печах, розглянуто сучасний стан інтенсифікації плавки сталі в електродугових печах та приділено увагу застосуванню високоефективної позапічної обробки сталі для одержання нового класу IF-сталей з невеликою кількістю карбідо- та нітридоутворюючих елементів (титан, ніобій, бор), що дозволяє повністю виключити наявність вільних атомів впровадження, тобто автолистових сталей для глибокої витяжки. Розглянуто вплив домішкових елементів на властивості низьковуглецевих сталей. Відповідно до мети роботи наведено задачі

дослідження. Приведено список літератури до першого розділу, який складається з найменувань публікацій зарубіжних та вітчизняних науковців.

У Другому розділі наведено інформацію про обладнання, матеріали і методики дослідження. Розглянуто енергетичне обладнання на 120-тонній печі ДСП згідно технологічної інструкції по виплавці сталі в дуговій сталеплавильній печі. Для проведення досліджень було одержано картки низьковуглецевої сталі. Після прокатки відібрані картки сталей 01ЮТА, 01ЮТ товщиною 3,5 мм. Приведена інформація щодо деформаційних режимів прокатки та обладнання для визначення механічних властивостей та мікроструктури зразків сталі.

Третій розділ присвячено встановлення залежності властивостей металу на випуску від технологічних параметрів процесу в умовах діючого виробництва. Приведено середні та граничні значення технологічних показників процесу виплавки низьковуглецевої сталі в ДСП. Приведені дані стосовно загального споживання кисню, разом на різних струменних пристроях, що забезпечує досягнення необхідного вмісту вуглецю на випуску та підвищує температуру металу. Проведено регресійний аналіз ступеню впливу технологічних параметрів на характеристики металу на випуску. На підставі статистичного аналізу параметрів 200 плавок поточного виробництва встановлено, що факторами, які сприяють зниженню вмісту вуглецю в готовій сталі, є: висока окисленість сталі, низький вміст вуглецю та висока температура металу на випуску плавки. Розглянуто вплив характеристик напівпродукту на перебіг процесів при подальшій позапічній обробці для отримання сталі з заданим рівнем механічних властивостей.

Проведено математичне моделювання дегазації сталі при вакуумуванні в ковші. Розглянуто умови створення спіненого шлаку та його вплив на вміст азоту в сталі. Запропоновано склад шлакоутворюючої суміші для спільної теплової обробки та використання вапняку з різним ступенем недопалу.

У четвертому розділі обґрунтовано вибір технологічної схеми одержання сталі, місце вакуумної обробки сталі в ковші з продувкою інертними газами. В ході позапічної обробки сталі випробували пряму схему: ЕДП - УКП - VD - МБЛЗ; зворотну схему: ЕДП - VD - УКП - МБЛЗ і без вакуумування. Встановлено необхідний рівень окисленості для зневуглецювання сталі до 0,005% при різному вмісті вуглецю у напівпродукті. Зниження тиску у вакуумній камері до 100 мбар досить для переважаючого окислення вуглецю в порівнянні з марганцем і кремнієм у всьому розглянутому діапазоні температур технологічного процесу.

Наведено дані щодо зменшення шкідливого впливу азоту на властивості низьковуглецевої сталі шляхом підбору раціональної кількості нітридоутворюючих елементів та виконана термодинамічна оцінка нітридоутворюючої здатності розкислювачів, що вводяться в сталь. Застосовано фізико-хімічне моделювання для прогнозування та управління властивостями сталі, приведена методика проведення розрахунків та визначені концентраційні діапазони елементів. Досліджені марки сталей опрацьовані в прокатній лабораторії кафедри ОМТ ім. акад. О.П. Чекмарьова ДМетІ УДУНТ на лабораторному стані «кварто» з діаметром робочих валків 150 мм. Мікроструктуру зразків вивчали за допомогою оптичного мікроскопу «Neophot-21». За результатами механічних випробувань встановлено, що дослідні сталі відповідають рівню, властивому високо пластичним ІF-сталям, як по отриманому складу, так і за властивостями. Після гарячої прокатки сталі 01ЮТА, 01ЮТ, 01ЮТ(Са) піддавали інтенсивній пластичній деформації методом кручення під гідростатичним тиском. Розглянуто характеристики структури одержаного металу.

Найважливіші наукові результати дисертації та їх новизна

Вперше на основі результатів термодинамічних розрахунків встановлена та підтверджена експериментальними дослідженнями величина активності кисню у напівпродукті з ЕДП, яка має бути високою та складати для умов даного виробництва 1120...1600 ppm. Одержано аналітичний вираз для визначення вмісту вуглецю в металі на випуску з ЕДП.

Набули подальшого розвитку закономірності дегазації металу в ківшах з продувкою аргоном, в якій масообмін між розчиненими в металі газами ($[H]$, $[N]$, $[O]$) і бульбашками аргону визначався наближенням системи до рівноваги, а розподіл газів з металу відбувався за трьома статтями – у бульбашки CO, у бульбашки аргону та через відкриту поверхню металу при зовнішньому лімітуванні процесу та значному відхиленні реакції видалення кисню від рівноваги.

Встановлено закономірності впливу титану на зменшення дії азоту у сталях, пов'язаних з виділенням нітридів алюмінію по границях первинних зерен, що обумовлюється переважаючою термодинамічною спорідненістю титану до азоту у порівнянні з алюмінієм, одержано аналітичний вираз, який визначає ефективний вміст титану для попереднього зв'язування азоту у нітрид титану та попереджає формування шкідливих нітридів алюмінію

Вперше використано методику фізико-хімічного моделювання для визначення оптимального складу низьковуглецевої сталі та встановлені інтегральні параметри, які характеризують стан сплаву і обумовлюють зміну властивостей у встановленому концентраційному інтервалі модифікуючих елементів та показують, що при встановлених режимах деформаційної обробки дослідних зразків сталі досягаються показники механічних властивостей та структури прокатаних зразків, які відповідають характеристикам низьковуглецевої сталі.

Теоретичне та практичне значення результатів дослідження

Комплексне застосування термодинамічного, фізико-хімічного аналізу для обґрунтування параметрів технологічного процесу, перевірка та підтвердження в експериментальних дослідженнях, на основі чого розроблені технологія виплавки та позапічної обробки низьковуглецевої електросталі для тонколистового прокату з підвищеними механічними властивостями та здійснена виплавка нової ультранизьковуглецевої (вміст 0,002–0,005% вуглецю) сталі, з мінімальним вмістом шкідливих домішок.

Новизна технічних рішень захищена патентом на винахід “Спосіб двоетапної позапічної обробки низьковуглецевої сталі” (№ 122000 від 25.08.2020 р.). Результати дисертаційної роботи можуть бути використані в рамках виконання науково-дослідницьких робіт та впроваджені в навчальний процес Українського державного університету науки і технологій при підготовці магістрів за спеціальністю 136 Металургія (ОНП “Дослідження процесів та розробка технологій в металургії”).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукова новизна, представлена у дисертаційній роботі, є логічно обґрунтованою та в достатньому обсязі підтвердженою результатами теоретичних узагальнень і експериментальних досліджень. Достовірність сформульованих наукових положень і зроблених висновків підтверджується узгодженістю отриманих результатів як між собою, так і з відомими науковими концепціями. Обґрунтованість і надійність отриманих наукових результатів забезпечена використанням апробованих стандартизованих методик досліджень та сучасних інструментальних методів аналізу.

Достовірність одержаних результатів

Достовірність і наукова обґрунтованість результатів, отриманих у дисертаційній роботі, забезпечуються коректною та логічно вибудованою постановкою дослідницьких завдань, якісним виконанням експериментальних досліджень із застосуванням стандартизованих методик випробувань і сертифікованого вимірювального обладнання, підтвердженням співпадіння властивостей дослідних зразків з характеристиками сталі 01ЮТ, а також обробкою експериментальних даних із використанням сучасних програмних засобів.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Основні положення дисертації у достатньо повному обсязі викладені у 16 наукових працях, з яких шість статей – у фахових наукових виданнях України, віднесених до категорії Б, у 2 розділах колективних монографіях, 1 патент України на винахід та 7 тез доповідей на наукових міжнародних конференціях. Особистий внесок здобувача під час підготовки наукових праць, виконаних у співавторстві, чітко окреслено та належним чином відображено у тексті дисертаційної роботи.

Зауваження до змісту та оформлення дисертації

1. Для температури 1600–1650 °С при вмісті в металевій ванні ДСП вуглецю на рівні 0,08% (рис. 3.1), розрахунковий рівноважний вміст кисню становить 0,00298–0,0031%, або 298–310 ppm. Рівноважні значення вмісту кисню в металі та порівняння з фактичними значеннями визначають степінь відхилення від рівноваги. Доцільним вбачається використання цих даних, які визначають відхилення від рівноваги, які необхідні для подальших розрахунків витрати розкислювачів при подальшій позапічній обробці сталевого напівпродукту.

2. Автор стверджує, що окисленість металу на випуску визначається «вмістом вуглецю в металі» (рис. 3.3 а) і залежить від витрати кисню (рис. 3.3, б) і температури (рис. 3.3, в)». Необхідно звернути увагу, що витрата кисню дуття є джерелом не тільки активного кисню в металі, але й впливає на вміст в шлаковій фазі (FeO), визначаючи загальний окислювальний потенціал системи, що досліджується.

3. Автор на стр. 93, розділу III, стверджуючи, що для зниження вмісту шкідливих домішок і підвищення якості металу у складі шихтових матеріалів застосовують рідкий чавун, не точно визначив його частку. Вона, згідно результатів сучасних досліджень, в складі металошихти ДСП може досягати 30–

50%, а в окремих технологічних схемах – до 60%. Частка рідкого чавуну 60% є максимально технологічно допустимою межею для досягнутого рівню розвитку технологій ДСП. (так звана плавка в ДСП з болотом – підвищує енергоефективність процесу).PS. На сторінці 95 – один раз приведено 30%, а другий – через 7 рядків – 30-50%.

4. Аналіз результатів повного матеріального балансу серії плавок (табл. 3.2), свідчить, що на частку альтернативних джерел енергії припадає 31,1% (186,4 кВт·год/т), з них 14,9% (89,47 кВт·год/т) – тепло екзотермічних реакцій. Не визначено джерело альтернативної енергії, частка якого в прибутковій частині енергобалансу становить 16,1%.

5. У розділі 4 дисертації автор приводить результати фізико-хімічного моделювання та визначив концентраційний розбіг модифікуючих елементів та основних легуючих компонентів для визначення їх впливу на властивості низьковуглецевої сталі. Проте було б доцільно надати більш глибоке теоретичне обґрунтування вибору межі концентрацій, виходячи з необхідності збереження цінних компонентів.

6. У роботі варто було б порівняти ефективність запропонованої технології з існуючими промисловими процесами з точки зору енергоспоживання та екологічних показників

7. Деякі формули та графіки потребують уточнення одиниць вимірювання для кращого сприйняття.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної дисертаційної роботи.

Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам

За актуальністю, об'ємом та рівнем досліджень, ступенем обґрунтованості наукових положень і висновків, науковою новизною та практичною значимістю, рівнем отриманих результатів, повнотою їх викладення в опублікованих працях дисертаційна робота Камкіна Володимира Юрійовича відповідає спеціальності 136 Металургія. На підставі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота «Розробка наскрізної технології виробництва низьковуглецевої сталі для виготовлення високоякісного тонколистового прокату» є завершеним науковим дослідженням, за рівнем виконання відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», постанові Кабінету Міністрів України №44 від 12.01.2022 р. «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової

спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», зі змінами, внесеними згідно Постанови КМ №341 від 21.03.2022 р., а її автор, Камкін Володимир Юрійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 Металургія в галузі знань 13 Механічна інженерія.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,

завідувач відділу магнітної гідродинаміки

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів

Національної академії наук України

Олексій СМІРНОВ

Підпис Смірнова О.М. засвідчую:

Учений секретар ФТІМС НАН України

к.т.н., с.н.с.



Володимир ЛАХНЕНКО