

Формі листа до
Радою Вченої ради
Ph.D 11965
Лосова Радн. [Signature]
Hiserabk.

ВІДГУК

кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника

П І П Т Ю К Віталія Петровича

на дисертаційну роботу Камкіна Володимира Юрійовича

“Розробка наскрізної технології виробництва низьковуглецевої сталі для виготовлення високоякісного тонколистового прокату”, представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 – «Металургія».

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. Список джерел, які були використані в аналітичному огляді достатньо повно охоплює зазначену галузь знань та відображає основні напрями досліджень технології металургійного виробництва. Загальний обсяг дисертаційної роботи викладено на 168 сторінках машинописного тексту, з яких 132 сторінки 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. Щодо завершеності дисертації в цілому, то можна відмітити, що дисертація є завершеною науковою роботою, справляє приємне враження завершеної наукової праці в якій просто, логічно і водночас змістовно проведено низку досліджень від аналізу стану проблеми в літературі, постановки завдань, формулювання мети роботи до способів вирішення поставленої мети і досягнення бажаного результату. Основні положення, висновки та рекомендації в роботі обґрунтовані в достатній мірі. Достовірність результатів та висновків дисертаційної роботи, одержаних Камкіним Володимиром Юрійовичем, не викликають сумнівів та базуються на великому обсязі теоретичних і експериментальних даних, отриманих за допомогою комплексу сучасних методів досліджень та їх статистичної обробки.

Актуальність теми дисертації та відповідність спеціальності 136 Металургія.

Дисертація присвячена актуальній темі - розробленню технологічних режимів виплавки та позапічної обробки низьковуглецевої електросталі для тонколистового прокату для вирішення пріоритетних задач науки і техніки (Постанова Кабінету міністрів України від 30 квітня 2024 р. № 476 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні»). Нові речовини і матеріали. Нові матеріали та речовини спеціального призначення з унікальними властивостями і функціональними характеристиками та технології їх виготовлення), що вказує на необхідність проведення даної роботи в умовах кризових ситуацій. Виробництво автомобілів та другої техніки супроводжується споживанням значної частини світового виробництва тонких сталевих листів, головною вимогою до яких є забезпечення високого ступеня формуємості при виготовленні складних форм та високої якості поверхні після деформації, що є суворою вимогою до захисних покриттів. Сталі IF широко застосовуються завдяки своїй досить високій міцності та достатньої пластичності, їх застосування дозволяє зменшити вагу рухомого транспорту, витрату палива та викидів вуглекислого газу. На даний час актуальним для металургійних підприємств є завдання розробки технології виробництва чистих сталей з підвищеними механічними властивостями та мінімальним вмістом шкідливих домішок, що вимагає фізико-хімічного обґрунтування та розроблення технологічних режимів виплавки та позапічної обробки низьковуглецевої електросталі для тонколистового прокату. Тому тема дисертаційної роботи Камкіна В.Ю. є своєчасною, актуальною і важливою.

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 окремих розділів, № держреєстрації 0117U002340, що виконувалась в Українському державному університеті науки і технологій Міністерства освіти і науки України. Термін виконання: 2017-2019 р.р.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Камкіна В.Ю., є достатньо високою та базується на аналізі наукової та патентної літератури за даною проблемою, обґрунтованні мети й задач дослідження, зіставленні та критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, забезпечується застосуванням сучасних взаємодоповнюючих методів досліджень, відтворюваністю результатів, їх взаємоузгодженістю й відповідністю відомим даним. Висновки дисертації ґрунтуються на отриманих особисто здобувачем результатах і відбивають новизну і практичну значимість роботи та сформульованих в ній результатів дослідження. Наукова новизна, представлена у дисертаційній роботі, є логічно обґрунтованою та в достатньому обсязі підтвердженою результатами теоретичних узагальнень і експериментальних досліджень..

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 збігу властивостей дослідних зразків з характеристиками сталі 01ЮТ, позитивним результатом випробувань механічних властивостей зразків дослідної сталі, 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, 2 розділа у 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.

Оцінка структури дисертації

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.

У **Першому розділі** наведено огляд існуючих технологій виробництва низьковуглецевої сталі та обґрунтовано вибір матеріалу для автомобільної промисловості. 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.

У **Другому розділі** наведено інформацію про обладнання, матеріали і методики дослідження. Розглянуто енергетичне обладнання на 120-тонній дуговій сталеплавильній печі (ДСП). Приведена інформація щодо деформаційних режимів прокатки та обладнання для визначення механічних властивостей та мікроструктури зразків сталі.

Третій розділ присвячено встановленню 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. Проведено регресійний аналіз ступеню впливу технологічних параметрів на характеристики металу на випуску. На підставі статистичного аналізу параметрів 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. Встановлено рівноважний вміст кисню при розкисненні алюмінієм і кремнієм при різній концентрації розкислювача. 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: ДСП - УКП - VD - МБЛЗ; зворотну схему: ДСП - VD - УКП - МБЛЗ і без вакуумування. Ефект вакуум-вуглецевого розкислення (зворотна схема позапічної обробки) при зниженні тиску може бути використаний для економії розкислювачів та з метою отримання низьковуглецевих сталей. 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. Одержано аналітичний вираз для розрахунку величини присадок титану після вакуумування для нейтралізації дії азоту в сталях. Встановлені режими обробки сталі з особливо низьким вмістом вуглецю на установці ківш-піч. 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 на лабораторному стані «кварто» з діаметром робочих валків 150 мм. За результатами механічних випробувань встановлено, що дослідні сталі відповідають рівню, властивому високо пластичним IF-сталям, як по отриманому складу, так і за властивостями. Запропоновано раціональні режими інтенсивної пластичної деформації для покращення властивостей сталей типу 01ЮТ, 01ЮТА

і отримання високоякісного особливо тонколистового прокату, здатного до глибокої витяжки.

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 25.08.2020р.). 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”).

Зауваження до змісту та оформлення дисертації.

1. У розділі 4 дисертації автор на основі результатів фізико-хімічного моделювання приводить 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 верхньої межі концентрації, та додати опис впливу кожного на властивості сталі.

2. На рис.3.5 показано «вплив вмісту активного кисню в сталі на випуску на вміст вуглецю в готовій сталі», що є результатом взаємодії металу з часткою пічного шлаку в умовах їх інтенсивного перемішування, автор трактує що «сприяє зменшенню вмісту вуглецю при вторинній обробці». Необхідно розширити опис та застосувати фізико-хімічну сутність процесів під час випуску плавки в ківш, оскільки інтенсифікація масообміну в системі «метал–шлак–газ» сприяє зміщенню реакції окислення вуглецю зі стану динамічної нерівноваги у напрямку термодинамічної рівноваги.

3. Не визначився здобувач з вибором терміну, що визначає вміст в металі кисню: вміст активного кисню, чи окислюванність/окисленість металу. Найбільш коректним науково базовим терміном, який використовують як відповідну характеристику металу, вважають «вміст розчиненого кисню в металі» або «вміст активного (розчиненого) кисню в металі». Ці два стандартні наукові терміни використовуються як при аналізі термодинаміки сталеплавильних процесів, так і в дослідженнях реальних процесів в кисневому конвертері, ДСП та ковші.

4. Істотна залежність між вмістом сірки в напівпродукті і температурою металу на випуску не встановлена. Можливо, якщо інтервал значень зміни температури, який необхідно було б привести за текстом, був незначний. Якщо він - значний: збільшення температури металу та шлаку інтенсифікує процес десульфурації, тому що знижує в'язкість шлакової фази, що суперечить термодинамічному прогнозу (кінетика «перемагає» термодинаміку – один з рідкісних випадків в теорії та практиці металургійних процесів). А видалення сірки в газову фазу залежить не тільки від «окисленості металу», точніше від значення p_{O_2} , але й значною мірою від способу введення кисню – зверху, збоку чи знизу через днище агрегату.

5. У розділі 3 розглянуто спінювання шлаку для зменшення теплового навантаження з використанням складних шлакоутворюючих сумішей, у складі яких є вторинні матеріали. Але при формуванні сумішей не вказується співвідношення компонентів та кінетика їх обпалу.

6. Автор пропонує для зменшення шкідливої дії азоту при реагуванні з елементами з високою спорідненістю до утворення нітрідів, використовувати титан. Потребує уточнення опис аналітичного виразу для встановлення концентрації титану у розплаві. Для однозначного трактування механізму взаємодії компонентів автору слід було б долучити розрахунки рівноважних концентрацій провідних компонентів та їх співвідношення для утворення відповідних нітрідів.

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

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 Вролодимира 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

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

Інститут чорної металургії ім. З.І.Некрасова

Національної академії наук України

 Віталій ППТЮК

Підпис ППТЮКА В.П. засвідчую:

Учений секретар ІЧМ ім. З.І.Некрасова НАН України,

кандидат технічних наук, старший науковий

співробітник



 Лариса ГАРМАШ