

РЕЦЕНЗІЯ

доцента, к.т.н. ГОРОБЕЦЬ Антона Прокоповича

на дисертаційну роботу Камкіна Володимира Юрійовича

“Розробка наскрізної технології виробництва низьковуглецевої сталі для виготовлення високоякісного тонколистового прокату”,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 – «Металургія».

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Камкіна Володимира Юрійовича присвячена вирішенню важливого завданні - виробництво ультранизковуглецевих сталей типу 01ЮТ, 01ЮТА та тонкого листа з них, що є на цей час актуальним завданням. Вказані марки сталей мають підвищений комплекс механічних властивостей, використовуються для виготовлення методом холодної штамповки деталей конструкцій у автомобілобудуванні, а також для виготовлення деталей у ракето- та машинобудуванні. Як відомо, ІF- сталі виплавляють в конвертерах з комбінованою продувкою киснем і аргоном з використанням ковшової обробки на вакууматорах циркуляційного типу та на агрегаті ківш-піч, завдяки чому досягається висока міцність, пластичність. Це дає можливість зменшити вагу автомобіля, витрату палива та викиди вуглекислого газу, що є актуальним з точки зору економіки та збереження навколишнього середовища.

Динаміка розвитку виробництва сталі в електропечах показує, що за останні роки виробництво сталі цим способом зросло в усім світі на 4,1%, у той час як загальна виплавка сталі – на 2,7%. Збільшення виплавки сталі в електропечах можна пояснити перевагами цієї технології: меншими капітальними витратами, високою виробничою гнучкістю, меншим забрудненням навколишнього середовища. Короткий процес в електродугових печах становить 29% світового виробництва сталі, а інтенсивність викидів вуглецю значно варіюється через різницю в сировині. Важливе місце в продукції металургійних підприємств, яку постачають автомобілебудуванню, належить тонкому холоднокатаному листу для глибокої та особливо складної витяжки. Для виробництва чистих сталей можливим вирішенням є застосування сучасного комплексу «дугова сталеплавильна піч – установка піч-ківш – вакууматор – машина безперервного лиття заготовки (МБЛЗ)» (далі – ДСП-УКП-VD-МБЛЗ), що особливо важливо для випуску низьковуглецевих сталей. Детального опису фізико-хімічних особливостей взаємодій при реалізації процесу виплавки сталі не приводилось. Є інформація щодо формування структури металу при прокатці та гартуванні, тому не зрозуміло змінення складу металу по етапам обробки шихтових матеріалів. Тому одним з актуальних завдань для металургії України при виробництві ультра низьковуглецевих сталей (УНВС) типу 01ЮТ, 01ЮТА та тонкого листа з них з підвищеним комплексом механічних властивостей. 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.

Фришкетко
Радувко
РКД 11965
Полова
10.03.2022р

Дисертаційна робота, що розглядається, тісно пов'язана з науковими напрямками ННІ ДМетІ 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 України.

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

Загальна характеристика дисертаційної роботи

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 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.

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** розглянуто технології сучасного виробництва низьковуглецевої сталі, стан інтенсифікації плавки сталі в електродугових печах та приділено увагу застосуванню позапічної обробки сталі для одержання нового класу ІF-сталей з невеликою кількістю карбідо- та нітридоутворюючих елементів (титан, ніобій, бор). Розглянуто вплив домішкових елементів на властивості низьковуглецевих сталей. Відповідно до мети роботи наведено задачі дослідження. Приведено список літератури до першого розділу, який складається із 87 найменувань публікацій зарубіжних та вітчизняних науковців.

У **Другому розділі** наведено інформацію про обладнання, матеріали і методики дослідження. Розглянуто енергетичне обладнання 120-тонної печі ДСП. Для проведення досліджень з металу дослідних плавок було одержано картки низьковуглецевої сталі та прокатані на безперервному широкополосному стані. 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, які встановлені з паспортів плавки. Основні технологічні параметри роботи ДСП були взяті з інформаційної системи АСУТП підприємства. 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. Визначено, що вміст вуглецю в напівпродукті залежить від окисленості і від температури металу. На підставі статистичного аналізу параметрів 200 плавки 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. Аналіз показників плавки з низьким вмістом вуглецю (0,03...0,096%) на випуску з ДСП показав, що цей вміст вуглецю досягається при окисленості 1120-1800 ppm, температура 1650...1740°C.

Розрахунки розкислювальної здатності елементів показали, що розкислювальна здатність вуглецю при його вмісті 0,55-0,62% вище, ніж кремнію при вмісті 0,25-0,45%. Проведено математичне моделювання дегазації сталі при вакуумуванні в ковші та рекомендовано перемішувати розплав в ковші інертним газом для полегшення умов зародження продуктів реакції окислення вуглецю. Основне видалення водню (50-70%) відбувається через відкриту поверхню металу. 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; зворотню схему: ЕДП - VD - УКП - МБЛЗ і без вакуумування. Оцінено характер використання вакуумування і продування металу в ковші аргоном, що збільшує тривалість обробки, проте сприяє створенню більш розвиненого контакту диспергованих металу і шлаку і збільшує ступінь завершеності масообмінних процесів. Встановлено необхідний рівень окисленості для зневуглицювання 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. 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 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 (ІПД) методом кручіння під гідростатичним тиском (КГТ). 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.

В роботі застосовано методи термодинамічного, фізико-хімічного, статистичного 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”).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення і висновки, які наведені у дисертації, отримані автором на основі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень процесів розкислювання, масообміну при позапічній обробці металу. Експерименти виконувались на лабораторній високотемпературній печі та лабораторному прокатному стані. Достовірність та обґрунтованість результатів забезпечувались використанням сучасних методик проведення експериментальних досліджень та засобів вимірювання. Адекватність математичного моделювання забезпечувалась коректністю постановки задач, використанням в роботі фундаментальних закономірностей термодинаміки та теорії металургійних процесів, відомих математичних моделях, статистичної обробки результатів досліджень. Порушень академічної доброчесності у дисертації та публікаціях автора не виявлено. Використання результатів інших досліджень супроводжується посиланням на відповідні джерела.

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 даними. 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

Особистий внесок автора роботи полягає у підготовці та проведенні експериментальних досліджень у виробничих умовах та на лабораторних установках, обробці та аналізу отриманих експериментальних результатів, теоретичного дослідження та створення комплексної технології виробництва низьковуглецевої сталі, аналізі отриманих результатів та доведенні наукових положень. 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.

Зауваження до змісту та оформлення дисертації.

1. В роботі автор вказує, що окисленість металу на випуску визначається вмістом вуглецю в металі і залежить від витрати кисню і температури. Не враховано здобувачем, що витрата кисню є джерелом не тільки активного кисню в металі, але й впливає на вміст в шлаковій фазі (FeO), що визначає загальний окислювальний потенціал дослідженої системи..

2. Розрахунком в роботі встановлені середні значення технологічних параметрів плавки, узагальнені результати ведення процесу, встановлені максимальні та мінімальні значення показників: питомих витрат електроенергії кисню, склад готової сталі, угар розкислювачів, ступінь десульфурзації та інші, важливі для оптимізації показники. Висновок про те, що зниження витрати кисню сприяло збільшенню виходу придатного, автор пов'язує зі зменшенням окислення заліза у розплаві та скороченням втрат металу у вигляді закису заліза (розділ 3, підрозділ 3.1, стор. 85) є не досить коректним.

3. На рис.3.5 приведено дані, щодо впливу активного кисню в сталі на випуску на вміст вуглецю в готовій сталі», автор робить висновок, що це сприяє зменшенню вмісту вуглецю при вторинній обробці .Потребує огрунтування даних висновок. .

4. У розділі 3 запропоновано використовувати складні шлакоутворюючі суміші для створення спіненого шлаку, у складі яких є вторинні матеріали, що є позитивним. Оригінальним є застосування вапна з недопалом. Не вказано, як створювались суміші, при якому співвідношенні компонентів..

5. У розділі 4 дисертації автор приводить концентраційний розбіг модифікуючих елементів та основних легуючих компонентів, який визначає їх вплив на властивості сталі. Потребує пояснень принцип вибору вказаної межі концентрацій, та дію основних легуючих на механічні властивості дослідної сталі.

6.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 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

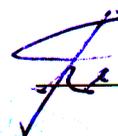
Кандидат технічних наук, професор,

Доцент кафедри електromеталургії

ім. академіка Гасика М.І. факультету електромеханіки.

та електromеталургії ННІ ДМетІ

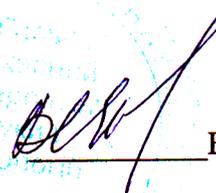
Українського державного університету науки і технологій



Антон ГОРОБЕЦЬ

Підпис Горобець А.П. засвідчую

Провідний фахівець відділу кадрів



Володимир ШИФРІН

