

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Олійника Едуарда Вадимовича** на тему
**«Особливості формування структури та властивостей прокату
підвищеної деформівності з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей для
виготовлення зварювального дроту»**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 – Механічна інженерія
за спеціальністю 132 – Матеріалознавство

Актуальність обраної теми.

Сталий розвиток чорної металургії значною мірою визначається ефективністю системних рішень, спрямованих на створення ресурсо- та енергоощадливих технологій, які здатні забезпечити виробництво конкурентоспроможної металопродукції із наперед заданими властивостями. Реалізація цього завдання потребує застосування комплексного підходу, який поєднує фундаментальні знання про фазово-структурні перетворення в сталях із сучасними методами досліджень, точним керуванням технологічними процесами та оптимізацією параметрів обробки металевих матеріалів.

Актуальність дисертаційної роботи Олійника Е. В. визначається необхідністю розв'язання важливого науково-технічного завдання, яке пов'язане з удосконаленням технології виготовлення високопластичного бунтового прокату діаметром 5,5 мм із низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей. Мета роботи спрямована на встановлення закономірностей структуроутворення в таких сталях під час гарячої прокатки та постдеформаційного охолодження з розробленням на їх основі ефективних режимів знеміцнювальної термомеханічної обробки, які забезпечують формування покращеного комплексу механічних властивостей прокату, призначеного для подальшого виготовлення зварювального дроту.

Особливого значення ці питання набувають під час виробництва зварювальних матеріалів. Незважаючи на інтенсивний розвиток новітніх технологій з'єднання матеріалів за допомогою електродугового зварювання залишається основним способом виготовлення та відновлення багатьох конструкцій і деталей. Крім того, стрімко розширюється застосування автоматизованих процесів наплавлення та дротяно-дугового адитивного виробництва, ефективність яких безпосередньо визначається якістю зварювального дроту. Вихідною сировиною для отримання зварювального дроту є бунтовий прокат, який піддається багаторазовій холодній пластичній деформації, і саме його початковий структурний стан та показники міцності й пластичності значною мірою визначають технологічність подальшого перероблення.

Для виробництва зварювальних матеріалів, широко застосовуваних під час виготовлення відповідальних конструкцій енергетичного, транспортного та

нафтохімічного машинобудування, переважно використовуються низьковуглецеві Cr-Mo-V сталі. Разом із тим, такі сталі характеризуються підвищеною схильністю до утворення структурних складових гартівного типу навіть під час уповільненого охолодження. У результаті цього після завершення гарячої обробки тиском у феритній матриці формується значна кількість мартенситно-бейнітних ділянок, що обумовлює зростання показників міцності з істотним зниженням пластичності металу. Традиційна технологія отримання зварювального дроту передбачає проведення проміжного відпалу після окремих стадій волочіння, що супроводжується додатковими енергетичними витратами, збільшенням тривалості виробничого циклу та, відповідно, собівартості готової продукції. Саме тому удосконалення режимів термомеханічної обробки, які дозволяють сформувати сприятливий структурний стан металу безпосередньо після гарячої прокатки належить до актуальних завдань сучасного матеріалознавства.

Важливість зазначеної проблематики суттєво посилюється наявною ознакою – відсутністю в Україні виробництва бунтового прокату з Cr-Mo-V сталей, який призначено для виготовлення зварювального дроту. Унаслідок цього підприємства критично важливих галузей промисловості змушені використовувати металопродукцію імпортного виробництва, що створює додаткові ризики для національних інтересів загалом та різних галузей промисловості зокрема.

Отже, дисертаційна робота Олійника Едуарда Вадимовича є своєчасною, актуальною та має вагоме науково-практичне значення.

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

Тематика дисертаційної роботи Олійника Е. В. відповідає пріоритетним напрямам науково-практичної діяльності Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України та безпосередньо пов'язана з виконанням у 2025–2027 рр. фундаментальної науково-дослідної роботи «Встановлення особливостей формування структурного стану та властивостей бунтового прокату з легованих Cr-Mo-V сталей для підвищення його деформованості при виробництві зварювальних матеріалів» (державний реєстраційний номер 0125U000021). Здобувач безпосередньо залучений до виконання зазначеної науково-дослідної роботи, бере активну участь у реалізації всіх її основних етапів і виконує передбачені календарним планом дослідження.

Загальна характеристика змісту дисертації.

У *вступі* дисертаційної роботи здобувачем розкрито актуальність обраного напрямку досліджень з точки зору розвитку сучасних технологій виготовлення та перероблення металопродукції спеціального призначення. Автором чітко визначено мету роботи та завдання досліджень, обґрунтовано вибір об'єкту й предмету дослідження, належним чином висвітлено наукову новизну одержаних результатів, їх теоретичне значення та практичну

значущість, наведено відомості щодо можливостей їх промислового впровадження. Okремо зазначено особистий внесок здобувача у виконання проведених досліджень, визначено рівень його участі в отриманні основних наукових результатів, а також наведено інформацію щодо апробації отриманих результатів та їх висвітлення у наукових публікаціях, що відповідає встановленим вимогам до оформлення дисертаційних робіт.

У *першому розділі* проведено ґрунтовний аналіз сучасного стану проблеми виробництва бунтового прокату з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей зварювального призначення. Узагальнено сучасні уявлення щодо процесів термомеханічної обробки, рекристалізації аустеніту та перебігу фазово-структурних перетворень, проаналізовано особливості промислових технологій регульованого охолодження, зокрема процесу типу Стелмор. На основі аналізу літературних джерел обґрунтовано концепцію знеміцнювальної термомеханічної обробки, визначено дієві технологічні чинники, які є відповідальними за формування раціонального поєднання мікроструктури та механічних властивостей бунтового прокату, актуалізовано вимоги нормативної документації й визначено цільові показники якості цього виду металопродукції.

У *другому розділі* наведено характеристики використаних матеріалів, обґрунтовано застосування експериментальних методик та описано методичне забезпечення для проведення досліджень. Для вирішення поставлених завдань застосовано комплекс сучасних взаємодоповнювальних методів дослідження: аналіз мікроструктури виконано із використанням оптичної та растрової електронної мікроскопії, закономірності фазових і структурних перетворень досліджено за допомогою системи фізичного моделювання термодетформаційних процесів Gleeble 3800, а хімічний склад окремих структурних складових визначено методами оже-спектроскопії та енергодисперсійного рентгеноспектрального аналізу. Визначення механічних властивостей металу, а також загальної та локальної твердості різних структурних складників проводилось із залученням сучасного випробувального обладнання, що забезпечило високу достовірність і відтворюваність отриманих експериментальних та промислових даних.

У *третьому розділі* наведено результати ретельного дослідження кінетики розпаду переохолодженого аустеніту та закономірностей формування структури низьковуглецевої легованої сталі CrMoV1Si (0,08C–1,30Mn–0,54Si–1,06Cr–0,54Mo–0,24V–Fe_{залишок}, % ваг.) у широкому діапазоні швидкостей безперервного охолодження. На основі побудованої термокінетичної діаграми для базової сталі CrMoV1Si встановлено взаємозв'язок між швидкістю охолодження, механізмом фазових перетворень та кінцевим структурним станом металу.

Важливим науковим результатом є встановлення факту утворення в сталі CrMoV1Si локальних ділянок високовуглецевого мартенситу за безперервного уповільненого охолодження в інтервалі швидкостей 1,1–0,05 °C/с. Встановлено, що твердість зазначених ділянок становить 722–897 HV_{0,02}, а локальна

концентрація вуглецю в мартенситі може перевищувати 1 % ваг. Здобувач переконливо довів, що причиною такого явища є дифузійний перерозподіл вуглецю, марганцю і кремнію між феритом та аустенітом у процесі фазових перетворень, що призводить до локального збагачення залишкового аустеніту вуглецем і марганцем перед його мартенситним перетворенням.

Достовірність запропонованих положень підтверджена експериментальними результатами та термодинамічними розрахунками рушійної сили дифузії вуглецю, кінетичних коефіцієнтів і потоків у багатокомпонентній термодинамічній системі, які адекватно описують перебіг фазових перетворень під час уповільненого безперервного охолодження у досліджуваній сталі.

На підставі узагальнення отриманих результатів здобувачем запропоновано науково обґрунтований механізм формування локальних ділянок високовуглецевого мартенситу в структурі бунтового прокату зі сталі CrMoV1Si та доведено, що зниження швидкості безперервного охолодження у інтервалі 1,1–0,05 °C/c не забезпечує зменшення кількості твердих структурних складових у структурі металу, а навпаки збільшує їх об'ємну частку. Виявлені закономірності та особливості процесів структуроутворення покладено у основу розроблення технології знеміцнювальної термомеханічної обробки бунтового прокату з Cr-Mo-V сталей та спрямовані на підвищення його пластичності й технологічності перероблення під час подальшої холодної пластичної деформації волочінням.

Четвертий розділ присвячено дослідженню закономірностей формування структури та механічних властивостей низьковуглецевої сталі CrMoV1Si залежно від температурно-деформаційних параметрів термомеханічної обробки. Особливу увагу приділено встановленню взаємозв'язку між умовами гарячої пластичної деформації, перебігом фазово-структурних перетворень і формуванням кінцевого комплексу механічних властивостей металу.

У результаті проведених досліджень визначено оптимальний температурний інтервал завершення гарячої деформації прокату зі сталі CrMoV1Si, який відповідає діапазону 1050–1100 °C. Доведено, що саме в цьому інтервалі створюються належні умови, які забезпечують максимальне знеміцнення та формування найбільш сприятливого структурного стану металу з точки зору підвищення технологічної пластичності готового прокату.

За результатами проведених експериментів розроблено та науково обґрунтовано режим диференційованого повітряного охолодження бунтового прокату зі сталі CrMoV1Si на завершальному етапі термомеханічної обробки. Запропонований режим забезпечує контрольований перебіг фазових і структурних перетворень, та створює передумови для отримання необхідного комплексу механічних властивостей бунтового прокату, який у подальшому може перероблятися у зварювальний дріт без застосування додаткових термічних обробок.

П'ятий розділ містить результати досліджень стосовно удосконалення промислової технології виготовлення та подальшого перероблення бунтового прокату з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей зварювального призначення. Представлені результати мають завершений прикладний характер і ґрунтуються на комплексних експериментальних та промислових дослідженнях, що дозволило здобувачу сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо удосконалення існуючих технологічних рішень виготовлення прокату та дроту зварювального призначення з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей.

До безперечної практичної цінності дисертаційної роботи слід віднести розроблення інноваційного режиму знеміцнювальної термомеханічної обробки бунтового прокату. Вагомим практичним результатом виконаних досліджень також є успішне промислове перероблення дослідних партій бунтового прокату зі сталей Св-08ХГСМФА та Св-08ХГ2СМФ, виготовлених із застосуванням запропонованого режиму термомеханічної обробки. Отримані результати переконливо засвідчили можливість виробництва зварювального дроту діаметром до 1,2 мм включно без застосування проміжної термічної обробки. Виключення операції рекристалізаційного відпалу дозволяє істотно скоротити енерговитрати, зменшити тривалість виробничого циклу та одночасно забезпечити стабільність високих показників якості зварювального дроту, що свідчить про високу ефективність запропонованого підходу та його перспективність для практичного використання.

Позитивною особливістю роботи є те, що здобувач не обмежився демонстрацією лише переваг розробленої технології, а й визначив границі її ефективного застосування. Зокрема показано, що використання запропонованого режиму термомеханічної обробки бунтового прокату діаметром 5,5 мм зі сталі Св-10ХГ2СМФ не забезпечує можливості реалізації технології волочіння без застосування проміжної термічної обробки. Для зазначеної сталі доцільним залишається використання традиційної технологічної схеми із застосуванням рекристалізаційного відпалу на проміжному діаметрі дрітаної заготовки. Такий висновок свідчить про об'єктивність виконаних досліджень, критичний підхід здобувача до аналізу отриманих результатів та врахування особливостей поведінки різних Cr-Mo-V сталей під час холодної пластичної деформації волочінням.

Важливою складовою цього розділу є розроблення нового модуля комп'ютерної програми CalcRoutes, який дозволяє визначати маршрути волочіння, розраховувати енергосилові параметри процесу деформування та прогнозно визначати показники міцності готового зварювального дроту з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей. Використання такого програмного забезпечення сприяє оптимізації технологічної підготовки виробництва, підвищенню точності проведення інженерних розрахунків та скороченню обсягів експериментального відпрацювання маршрутів волочіння вихідного бунтового прокату у зварювальний дріт.

Позитивної оцінки заслуговує виконане здобувачем обґрунтування можливостей промислового впровадження запропонованої технології знеміцнювальної термомеханічної обробки для умов ПРАТ «Камет-Сталь» і ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що підтверджує високий рівень практичної складової дисертаційної роботи та перспективи масштабування отриманих результатів у реальне промислове виробництво.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків дисертації.

Ступінь обґрунтованості сформульованих у дисертаційній роботі наукових і практичних положень та висновків не викликає сумнівів. Їх достовірність забезпечується комплексним підходом до проведення досліджень, який поєднує сучасні теоретичні методи аналізу з широким спектром експериментальних досліджень, проведених як у лабораторних, так і у промислових умовах.

Переконливість отриманих результатів підтверджується застосуванням взаємодоповнювальних методів дослідження структури та властивостей матеріалу, зокрема оптичної та електронної мікроскопії, фізичного моделювання термомеханічних процесів, а також механічних випробувань, виконаних на випробувальному обладнанні відповідно до чинних унормованих методик. Висновки здобувача базуються на достатньому обсязі експериментального матеріалу, характеризуються належною точністю вимірювань, підтверджуються статистичною обробкою отриманих результатів та їх високою відтворюваністю.

Важливо відзначити, що встановлені Олійником Е. В. особливості впливу параметрів режиму знеміцнювальної термомеханічної обробки на процеси структуроутворення та формування механічних властивостей бунтового прокату не суперечать сучасним науковим уявленням у галузі матеріалознавства та технології обробки металів тиском й поглиблюють існуючі знання про досліджувані процеси, уточнюють окремі теоретичні положення та створюють наукове підґрунтя для подальшого повноцінного впровадження удосконаленої технології виготовлення бунтового прокату і зварювального дроту з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей.

Достовірність одержаних результатів.

Обґрунтованість наукових положень дисертаційної роботи підтверджується застосуванням сучасних методів досліджень, що включає експериментальні й промислові випробування, аналітичні розрахунки та використання програмних засобів для математичного моделювання і аналізу отриманих результатів. Використання системно поєднаних методичних підходів забезпечило всебічне дослідження поставлених наукових завдань, високу інформативність одержаних даних, їх належну точність, достовірність і відтворюваність.

Переконливість наведених у дисертаційній роботі загальних висновків підтверджується високим ступенем узгодженості між експериментальними даними та результатами розрахунків, що свідчить про адекватність

використаних моделей і коректність прийнятих методичних підходів. Важливим аргументом на користь достовірності одержаних результатів є також їх відповідність сучасним науковим уявленням і узгодженість із опублікованими у фаховій науковій літературі результатами досліджень інших вітчизняних та зарубіжних науковців.

Додатковим підтвердженням наукової достовірності та практичної значущості отриманих результатів є їх апробація на міжнародних наукових конференціях, що були присвячені сучасним проблемам матеріалознавства, металургії, машинобудування та споріднених галузей, де результати досліджень отримали позитивну оцінку наукової спільноти за відповідним фахом.

Наукова новизна одержаних результатів.

Представлені у дисертаційній роботі наукові результати свідчать про успішне вирішення актуального науково-технічного завдання, яка полягала у встановленні закономірностей та особливостей формування структурного стану і механічних властивостей бунтового прокату з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей зварювального призначення залежно від параметрів режиму термомеханічної обробки. Проведені дослідження характеризуються належним рівнем теоретичного узагальнення, а сформульовані наукові положення є достатньо аргументованими та ґрунтуються на результатах комплексних теоретичних, експериментальних та промислових досліджень.

Отримані наукові результати доповнюють сучасні уявлення про вплив параметрів термодформаційного впливу на закономірності та особливості формування структури та механічних властивостей бунтового прокату з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей. Представлена дисертаційна робота містить нові науково обґрунтовані результати, які виносяться на захист уперше, та спрямована на вирішення актуального науково-технічного завдання у галузі матеріалознавства.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає у наступному:

1. Вперше для сталі CrMoV1Si (0,08C–1,30Mn–0,54Si–1,06Cr–0,54Mo–0,24V–Fe_{залишок} у % ваг., аналог марки Св-08ХГСМФА) побудовано термкінетичну діаграму та на її засадах встановлено кінетику й кількісні параметри розпаду аустеніту за безперервного охолодження у широкому інтервалі швидкостей (116–0,05 °C/c).

2. Вперше встановлено факт утворення ділянок високовуглецевого мартенситу (вміст C ≤ 1,6 % ваг., мікротвердість 722–897 HV_{0,02}) в структурі бунтового прокату з низьковуглецевої легованої сталі CrMoV1Si та запропоновано науково обґрунтований механізм його формування за уповільненого безперервного охолодження в інтервалі швидкостей 1,1–0,05 °C/c після завершення гарячого деформування.

3. Вперше на засадах положень нерівноважної термодинаміки розроблено розрахункову модель перерозподілу легувальних елементів у процесі

формування структури сталі CrMoV1Si за уповільненого охолодження з аустенітної області.

4. На підставі результатів дослідження фазових і структурних перетворень, які відбуваються під час гарячого деформування і наступного безперервного охолодження, визначено та узагальнено закономірності впливу режимів знеміцнювального термомеханічного оброблення на особливості формування структури та властивостей бунтового прокату зі сталей CrMoV1Si, Св-08ХГСМФА, Св-08ХГ2СМФ і Св-10ХГ2СМФ.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання повністю виконано, а здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає у наступному:

1. Розроблено та науково обґрунтовано новий трьохетапний температурно-швидкісний режим повітряного охолодження бунтового прокату з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей, який, на відміну від традиційних схем термомеханічної обробки, забезпечує його підвищену деформівність під час виготовлення зварювального дроту. Реалізація додаткового етапу прискореного охолодження прокату у високотемпературній області пригнічує процеси статичної рекристалізації аустеніту, сприяє розвитку дифузійних перетворень та зменшує об'ємну частку гартівних структур.

2. Удосконалено програмне забезпечення для проєктування маршрутів холодного волочіння шляхом розширення функціональних можливостей комп'ютерної програми CalcRoutes за рахунок включення даних щодо закономірностей деформаційного зміцнення низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей. Це забезпечує можливість прогнозного визначення показників міцності дроту після холодної пластичної деформації, визначення раціональних маршрутів волочіння та енергосилових параметрів процесу залежно від показників якості бунтового прокату.

3. Розроблено практичні рекомендації щодо промислового впровадження технології знеміцнювальної термомеханічної обробки бунтового прокату з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей на металургійних підприємствах України. Запропоновані рекомендації враховують конструктивні особливості наявного обладнання та можуть бути використані для впровадження сучасної технології виготовлення бунтового прокату з таких сталей.

4. Результати дисертаційної роботи інтегровано до навчального процесу в рамках вивчення дисципліни «Теоретичні та технологічні основи виготовлення та перероблення сталевих прокатів на засадах ресурсо- та енергозбереження» під час підготовки аспірантів в Інституті чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Дисертація Олійника Е. В. за своїм змістом, структурою та тематичною спрямованістю добре узгоджується з напрямками підготовки здобувачів за освітньо-науковою програмою «Матеріалознавство».

Представлена здобувачем дисертаційна робота є цілісною, логічно побудованою та завершеною науково-кваліфікаційною працею, у якій вирішено актуальне науково-технічне завдання, яке пов'язано з удосконаленням підходів до формування структурного стану бунтового прокату з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей зварювального призначення для забезпечення його високої технологічної пластичності під час холодної пластичної деформації волочінням. Отримані результати свідчать про суттєвий особистий внесок автора у подальший розвиток відповідного тематичного напрямку матеріалознавства.

Аналіз результатів перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння дає підстави зробити висновок, що науково-кваліфікаційна робота виконана здобувачем самостійно та відповідає вимогам академічної доброчесності. У дисертації не виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації чи недоброчесних запозичень, а всі використані наукові ідеї, результати та текстові матеріали інших авторів належним чином оформлено із посиланнями на відповідні літературні джерела.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Основні результати дисертаційної роботи достатньою мірою апробовані та висвітлені у 15 наукових публікаціях, серед яких 4 статті опубліковано у наукових виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus та/або Web of Science (квартилі Q3, Q4), 3 статті, які входять до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»), 8 тез доповідей, опублікованих у збірниках матеріалів міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій. Крім того, отримано 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Публікаційна активність здобувача є достатньою для повного висвітлення отриманих у дисертаційній роботі результатів та відповідає сучасним вимогам до науково-кваліфікаційних робіт. Особливо слід зазначити про наявність наукових статей у міжнародних рецензованих виданнях, що входять до наукометричних баз Scopus та/або Web of Science, які передбачають проходження незалежного експертного рецензування та підтверджують належний науковий рівень висвітлених результатів.

Аналіз наведеного переліку наукових публікацій свідчить про те, що вони безпосередньо пов'язані з тематичним напрямом дисертації, відображають її основні наукові положення, результати та висновки, а обсяг їх апробації є достатнім і відповідає вимогам пункту 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора

філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

Оформлення дисертації, мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота здобувача побудована відповідно до загальноприйнятої структури науково-кваліфікаційних робіт і складається з анотації українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

Текст дисертаційної роботи викладено українською мовою з дотриманням вимог наукового стилю. Робота характеризується логічною побудовою, послідовним викладенням результатів досліджень та коректним застосуванням загальноприйнятої у матеріалознавстві термінології, що забезпечує доступність сприйняття представлених матеріалів.

Оформлення дисертації виконано відповідно до чинних нормативних вимог, встановлених наказом МОН України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 208 сторінок. Науково-кваліфікаційна робота здобувача загалом містить 43 рисунки, 18 таблиць, 189 найменувань використаних літературних джерел, а також 4 додатки, які доповнюють основний зміст дисертації та підтверджують її науково-практичну спрямованість.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Автор переконливо доводить визначальну роль пригнічення статичної рекристалізації під час реалізації розробленого режиму знеміцнювальної термомеханічної обробки. Однак при цьому не наведено кількісної оцінки ступеня розвитку динамічної рекристалізації, метадинамічної рекристалізації, статичного повернення та статичної рекристалізації. Також відсутній аналіз швидкості проходження зазначених процесів залежно від температури та тривалості гарячої деформації. Більш ретельне дослідження зазначених процесів та технологічних чинників дозволило б розширити уявлення про закономірності та особливості формування структури бунтового прокату з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей.

2. Основний обсяг фундаментальних досліджень виконано на сталі CrMoV1Si, яка визначена як базова для вивчення закономірностей процесів структуроутворення під час безперервного охолодження. Наскільки отримані закономірності можуть бути поширені на низьковуглецеві Cr-Mo-V сталі з іншим вмістом марганцю, кремнію, молібдену та ванадію, а також яким чином можливі відхилення хімічного складу в межах нормативних допусків можуть впливати на реалізацію розробленого режиму знеміцнювальної термомеханічної обробки бунтового прокату?

3. У дисертаційній роботі використано положення нерівноважної термодинаміки, зокрема визначено систему рівнянь Онзагера для модельної

системи, які описують кінетику процесів структуроутворення досліджуваної сталі у процесі охолодження. Але розроблена розрахункова модель представлена переважно з позиції кінцевого результату, тоді як відсутнім є аналіз її обмежень та умов застосування. Зокрема, не наведено оцінки впливу прийнятих припущень на точність отриманих результатів, а також не розглянуто її стійкість у разі зміни хімічного складу сталі в інтервалах, які характерні для виробничих умов.

4. Розроблена інноваційна технологія знеміцнювальної термомеханічної обробки низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей передбачає трьохетапне повітряне охолодження бунтового прокату на транспортері лінії Стелмор. Але, як відомо, під час промислової реалізації необхідно враховувати можливу нерівномірність охолодження за довжиною витка прокату через технологічні особливості укладання металу на транспортер у вигляді плоскої спіралі та зміни умов охолодження при цьому. Чи враховує розроблена технологія вплив потенційної неоднорідності температурного поля та, відповідно, швидкостей охолодження окремих зон витка на формування структури й механічних властивостей бунтового прокату?

5. Одним із головних наукових результатів дисертаційної роботи є встановлення механізму утворення локальних ділянок високовуглецевого мартенситу у низьковуглецевій Cr-Mo-V сталі. При цьому не проведено аналізу можливого впливу дендритної ліквідації, мікросегрегації вуглецю та легувальних елементів на формування зазначених мартенситних ділянок.

6. Здобувач широко використав методи оптичної та растрової електронної мікроскопії, що дозволило отримати значний обсяг експериментальних даних стосовно особливостей формування структури та фазового складу низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей за різних режимів безперервного охолодження. Однак для більш глибокого розкриття особливостей формування структури у роботі не використано методи високороздільного структурного аналізу, зокрема EBSD-аналізу та трансмісійної електронної мікроскопії. Чи розглядав автор необхідність застосування зазначених методів досліджень для додаткового підтвердження ступеня розвитку рекристалізаційних процесів й особливостей перебігу фазово-структурних перетворень?

7. У четвертому розділі дисертаційної роботи досліджено вплив температурно-деформаційних параметрів обробки на властивості сталі CrMoV1Si. Проте основний акцент зроблено на температурі завершення деформування, тоді як швидкість деформації не аналізується. Оскільки швидкість деформації істотно впливає на розвиток динамічної рекристалізації, накопичення щільності дислокацій та формування структури аустеніту, доцільно було б більш повно розглянути вплив цього технологічного чиннику на формування властивостей досліджуваної сталі.

8. У п'ятому розділі дисертації розглянуто питання потенційного впровадження розробленої технології знеміцнювальної термомеханічної обробки на металургійних підприємствах України. Але при цьому не висвітлено

перспективи можливої адаптації запропонованої технології до сталей зварювального призначення з іншими системами легування.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну й практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

На підставі аналізу змісту науково-кваліфікаційної роботи, отриманих наукових результатів, їх теоретичного обґрунтування, практичної значущості, рівня апробації та публікаційного висвітлення вважаю, що дисертація здобувача ступеня доктора філософії Олійника Едуарда Вадимовича на тему «Особливості формування структури та властивостей прокату підвищеної деформівності з низьковуглецевих Cr-Mo-V сталей для виготовлення зварювального дроту» виконана на високому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує науково-технічне завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 – Механічна інженерія.

За рівнем актуальності, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю отриманих результатів, їх практичним значенням та повнотою висвітлення у наукових публікаціях дисертаційна робота повністю відповідає вимогам, установленим пунктами 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

З огляду на викладене, вважаю, що здобувач Олійник Едуард Вадимович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Офіційний опонент

Декан факультету інформаційних
технологій та механічної інженерії
ННІ «Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури»
Українського державного університету
науки і технологій, д.т.н., доцент



Олександр БЕКЕТОВ

