

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Єфременка Богдана Васильовича «Структурування в наплавлених Fe-Cr-Ni-C сплавах, призначених для використання в умовах високотемпературного зношування», подану на здобуття ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство

Актуальність роботи.

Проблеми боротьби із зношуванням деталей машин і агрегатів не втрачають своєї актуальності у зв'язку із підвищенням інтенсивності експлуатації обладнання. Для захисту поверхні деталей металургійного обладнання від зношування широко використовують електродугове наплавлення, зокрема із застосуванням порошкових стрічок ПЛ АН-101 і ПЛ АН-111. При наплавленні цими стрічками утворюються покриття, які відповідають за хімічним складом сплавам У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ. Ці сплави характеризуються високою вартістю у зв'язку із високим вмістом хрому і нікелю, а тому їх використання повинно бути економічно обгрунтованим. Незважаючи на довгий період використання цих матеріалів на практиці, дотепер залишаються ряд невирішених питань, які так чи інакше стосуються визначення сфери їх доцільного застосування за різних умов зношування. Не у повній мірі вивчено можливості подальшого підвищення зносостійкості цих покриттів шляхом використання додаткових обробок, наприклад, накладенням магнітного поля чи проведенням постнаплавної термічної обробки. Оскільки дисертаційна робота певною мірою вирішує вказані проблеми, вона має актуальність і важливість для металургійної та машинобудівної галузей промисловості.

Наукова новизна одержаних результатів.

Основні наукові результати здобувача полягають у наступному:

1. Отримано нові данні щодо розподілу хімічних елементів між фазами за висотою одно- й двошарових покриттів зі сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ. Встановлено факт зростання неоднорідності у міжфазному розподілі хрому в сплаві 500Х40Н40С2РЦ в міру віддалення від зони сплавлення з основою, що приводить до утворення карбідів змінного хімічного складу (від 25 до 78 % Cr) із підвищеним (від 2 до 17 %) вмістом нікелю.

2. В роботі вперше представлено теоретичні і експериментальні данні відносно формування графітної фази пластинчастої та компактної форми при кристалізації двошарового покриття зі сплаву 500X40H40C2PЦ. Показано, що даний сплав виявляє схильність до графітізації за температур вищих за 1000 °С, що є результатом неоднорідного розподілу хрому й нікелю в об'ємі первинних карбідів M_7C_3 .

3. Показано позитивний вплив поздовжнього магнітного поля індукцією в 28 мТл, накладеного при наплавленні сплаву У30Х25Н3С3, який полягає у подрібненні структурних складових та більш рівномірному розподілі хімічних елементів, що підвищує кількість етектики, запобігає утворенню перліту і в цілому підвищує абразивну зносостійкість покриття.

4. Вивчено механізм руйнування поверхні наплавлених сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ, і показано, що оптимальною (для забезпечення високої зносостійкості) є евтектична структура, яка, на відміну від заевтектичної структури із масивними первинними карбідами, забезпечує при високотемпературному абразивно-ерозійному зношуванні більш сприятливий багатоцикловий характер руйнування.

5. Автором вперше показано можливість підвищення гарячої (500...650 °С) твердості сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ внаслідок дисперсійного зміцнення матриці виділенням дисперсних карбідів, що відбувається при температурах від 850 °С до 950 °С.

Зв'язок дисертаційного дослідження з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційне дослідження є складовою частиною держбюджетних науково-дослідних робіт (№№ держреєстрації 0117U007330, 0116U005479), що виконувались відповідно до плану наукових досліджень кафедри металургії і технології зварювального виробництва Приазовського державного технічного університету.

Структура дисертації.

Дисертація складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 189 найменувань та чотирьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 233 сторінки, включаючи 144 сторінки основного тексту, 18 таблиць, 92 рисунків, і список використаних джерел, викладений на 19 сторінках.

У вступі сформульовані актуальність роботи, визначено мету, основні задачі дослідження, їх новизну, теоретичне і практичне значення роботи.

Перший розділ містить аналітичний огляд публікацій за темою дисертації, зокрема, сучасні проблеми вибору металевих матеріалів для наплавлення покриттів, що експлуатуються в умовах поєднання високої температури з абразивних та абразивно-ерозійним зношуванням.

У **другому розділі** обґрунтовано та описано методологію виконання досліджень, обрану для досягнення поставленої в роботі мети та означених завдань, включаючи методіку планування експерименту і стандартні методи досліджень.

У **третьому розділі** детально представлено результати комп'ютерного моделювання процесів структуроутворення у сплавах У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ у рівноважних, термодинамічно стабільних умовах кристалізації. Описано послідовність формування фаз, зміну якісного і кількісного складу фазових компонентів, вказані температури фазових перетворень та температурні інтервали існування фазових складових, надано термодинамічні характеристики та рівноважний хімічний склад фазових складових структури. Результати базуються на аналізі діаграм стану та температурних залежностей фазового складу, отриманих за допомогою комп'ютерної програми «Thermo-Calc Software».

Четвертий розділ присвячено вивченню особливостей формування структури в сплавах У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ в умовах їх кристалізації при нанесенні на сталеву поверхню електродуговим наплавленням. З використанням комп'ютерного моделювання (програма «ProCast») визначено швидкість охолодження наплавлених шарів при кристалізації. Досліджено розподіл мікроструктури та хімічного складу окремих фаз за висотою покриттів зі сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ, отриманих в один та два проходи. Особливу увагу приділено зонам перекриття валиків та зонам сплавлення шарів. Детально проаналізовано особливості мікроструктури в поверхневих шарах наплавлень; представлено експериментальні та теоретичні дані, що підтверджують наявність графітної фази, а також свідчать про двохстадійний характер формування матриці в сплаві 500Х40Н40С2РЦ.

В розділі також представлено данні відносно позитивного впливу магнітно-

го поля, накладеного під час наплавлення, на структурні характеристики та абразивну зносостійкість покриття сплаву У30Х25Н3С3.

У п'ятому розділі викладено результати дослідження експлуатаційних властивостей покриттів, отриманих електродуговим наплавленням порошковими стрічками ПЛ АН-101 і ПЛ АН-111. Представлено результати дослідження стійкості покриттів із сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ до високотемпературної корозії в атмосфері повітря, а також стійкості покриттів в умовах абразивно-ерозійного зношування при температурах випробувань 500-800 °С. Описано зміну зносостійкості по висоті наплавлення, визначено основні механізми руйнування поверхні при зношуванні, визначено взаємозв'язок мікроструктури наплавлень із опором високотемпературному абразивно-ерозійному зношуванню. На основі отриманих результатів зроблено рекомендації щодо використання сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ в різних умовах експлуатації.

В цьому розділі вивчено можливість підвищення експлуатаційних властивостей наплавлень за рахунок проведення додаткової термічної обробки. Вперше показано можливість підвищення високотемпературної (при 500-650 °С) твердості сплавів за рахунок зміцнення металевої матриці дисперсними карбідними частками, які виділяються із аустеніту в ході термічної обробки.

Автором запропоновано и використано на практиці суміщену технологію зміцнення провадок куле прокатного стану, що дозволило підвищити їх стійкість у 2,45 рази та збільшити обсяг виробництва за рахунок зменшення тривалості міжремонтного простою обладнання.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Обґрунтованість та достовірність основних наукових положень дисертаційної роботи підтверджено правильним вибором сучасного дослідного обладнання та проведенням коректних експериментальних досліджень.

Результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на значному теоретичному та експериментальному матеріалі, який узгоджується із сучасними уявленнями фундаментальних положень матеріалознавства, містить наукову новизну, який отриманий із використанням сучасних методів планування ек-

сперименту та комп'ютерного моделювання процесів фазово-структурних перетворень, а також порівнянням отриманих автором результатів із експериментальними даними, які було одержано стандартними методами та у виробничих умовах.

Практичне значення отриманих результатів.

В роботі надано рекомендації відносно оптимальних умов експлуатації покриттів, отриманих наплавленням порошковими стрічками ПЛ АН-101 і ПЛ АН-111. Рекомендації сформульовано з урахуванням мікроструктури наплавлень, їх рівня опору високотемпературній корозії та абразивно-ерозійному зношуванню при підвищених температурах.

Автором запропоновано виконувати постнаплавну термічну обробку наплавлених сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ з метою підвищення їх гарячої твердості, для чого розроблено відповідні режими, що забезпечують підвищення гарячої твердості сплавів при 500...650 °С на 21...28 %.

На основі отриманих результатів в роботі використано суміщену технологію обробки для підвищення експлуатаційної довговічності прокатної арматури. Ця технологія, що поєднує наплавлення порошковою стрічкою ПЛ АН-101 і постнаплавну термічну обробку, забезпечила зростання у 2,45 рази стійкості провадок кулепрокатного стану СПШ-80 на ПрАТ «МК «Азовсталь» (м. Маріуполь) при виробництві молольних сталевих куль діаметром 40 мм. Застосування цієї технології дозволяє зменшити простой прокатного обладнання та додатково отримувати товарну продукцію на суму 125 тис. грн. на місяць. З урахування позитивних результатів технологія рекомендована до впровадження на ПрАТ «МК «Азовсталь».

Теоретичні та практичні результати дисертації було використано в навчальному процесі у ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».

Публікації за темою дисертації.

Основні результати досліджень викладені у 17 опублікованих наукових працях, з яких 9 – це статті у фахових виданнях України, включаючи 1 публікацію у журналі, який індексується в міжнародній науковій базі Scopus, та 5 статей у журналах, що індексуються в міжнародній науковій базі Index Copernicus. До загального списку робіт входять також 8 тез доповідей на науково-технічних конференціях.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації, а його оформлення, в цілому, відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій.

Дисертаційна робота Єфременка Б.В. заслуговує на позитивну оцінку. Разом з тим, до її змісту є зауваження.

1. Вивчаючи природу фазово-структурних складових досліджених сплавів, здобувач обмежився використанням рентгеноструктурного та енергодисперсійного методів аналізу. Однак, найбільш повну інформацію та підтвердження висновків можна було б отримати використанням трансмісійної електронної мікроскопії із вивченням дифракційних картин, отриманих з конкретних фазових складових.

2. Ряд результатів, представлених в роботі, пов'язані із новими технологічними рішеннями, такими як, наприклад, накладення повздовжнього магнітного поля під час наплавлення покриттів. Однак, залишається незрозумілим, чому дисертант не запатентував ці рішення, що могло б стати додатковим підтвердженням їх новизни.

3. В роботі при вивченні гарячої твердості сплавів застосовано планування повного факторного експерименту 3^2 . Отримані регресійні рівняння вміщують в якості незалежних параметрів лише параметри термічної обробки, а тому застосування цих рівнянь обмежено конкретним сплавом. Автору слід було провести також й математичне узагальнення впливу хімічного складу покриттів, що дозволило б отримати більш повну математичну модель, яка б дозволяла виконувати комплексну оптимізацію як матеріалу наплавлення, так і його постнаплавної термообробки.

4. Автором описано формування вторинних карбідів в покриттях при проведенні термічної обробки з витримкою при 850-1050 °С, на основі чого запропоновано використовувати постнаплавну термічну обробку для підвищення властивостей покриттів. Втім, використані температури є досить високими, а тому їх застосування може призводити до підвищеної витрати енергоносіїв, окислення та короблення виробів. Було б доцільним також дослідити можливість формування потрібної мікроструктури застосуванням витримки у більш низьких те-

мпературних інтервалах. Адже відомо, що, наприклад, застосування відпуску загартованих швидкоріжучих сталей при 550⁰С також супроводжується виділенням карбідів, що сприяє зменшенню частки залишкового аустеніту в структурі.

Втім, зроблені зауваження не знижують загальної високої оцінки дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Єфременка Богдана Васильовича «Структуроутворення в наплавлених Fe-Cr-Ni-C сплавах, призначених для використання в умовах високотемпературного зношування», є завершеною науково-дослідною роботою, яка за змістом, важливістю отриманих результатів, висновків та рекомендацій, їхньою достовірністю та практичною значимістю відповідає вимогам п.п 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. зі змінами МОН України № 656 від 29.08.2015 р. щодо кандидатських дисертацій, а її автор Єфременко Богдан Васильович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - матеріалознавство.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри якості, стандартизації,
сертифікації та технологій виготовлення
матеріалів Українського державного університету
залізничного транспорту, доктор технічних
наук, професор, Лауреат державної премії
України в галузі науки і техніки



Особистий підпис
засвідчую _____ 20 __ р.
Завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Л.А. Тимофеева