

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента С.В. Марченка на дисертаційну роботу Б.В. Єфременка «Структуроутворення в наплавлених Fe-Cr-Ni-C сплавах, призначених для використання в умовах високотемпературного зношування», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - матеріалознавство.

Актуальність теми дисертації

В аналітичному розділі розглянуті галузі використання, особливості наплавленого металу з системою легування Fe-Cr-Ni-C. Найуживанішими наплавними матеріалами для отримання таких сплавів є порошкові стрічки ПЛ АН-101 і ПЛ АН-111, що забезпечують утворення наплавленого металу У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ відповідно. Високий вміст хрому та нікелю в сплавах разом з високою ефективністю при експлуатації вимагає обґрунтованої економічної доцільності використання таких сплавів.

На сьогодні залишається невирішеними повною мірою питання структуроутворення в покриттях за різних технологій наплавлення та взаємозв'язку мікроструктури з експлуатаційними властивостями наплавленого металу У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ при підвищеній температурі.

У зв'язку з вищезначеним тема дисертаційної роботи є *актуальною* як для теорії (визначення характеру структуроутворення в покриттях за різних технологій наплавлення та взаємозв'язку мікроструктури з експлуатаційними властивостями наплавленого металу при підвищеній температурі), так і для практики (доцільності використання зазначених сплавів в умовах високотемпературного зношування гірничо-металургійної та машинобудівної галузей промисловості).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертація виконана згідно з тематикою науково-дослідницьких робіт ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», є складовою частиною НДР «Теоретичні та технологічні основи процесів наплавлення та

зварювання» (№ держреєстрації 0117U007330), а також держбюджетної НДР «Отримання імпульсно-плазмових композиційних покриттів із підвищеними експлуатаційними властивостями на основі високолегованих сплавів на Fe-C-основі» (№ держреєстрації 0116U005479). У перелічених роботах здобувач брав безпосередню участь як виконавець.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

У дисертаційній роботі Б.В. Єфременка на основі фазово-структурного аналізу стану сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ, отриманих електродуговим наплавленням порошковими стрічками, розроблено рекомендації щодо підвищення механічних та експлуатаційних властивостей наплавленого металу.

Проаналізовано вплив багатошарового наплавлення на формування зміцнювальної карбідної фази. Визначено, що накладання магнітного поля при наплавленні покращує властивості сплавів.

З використанням сучасних методів дослідження доведено присутність в багатошаровому наплавленому сплаві 500Х40Н40С2РЦ графіту, ліквідації хімічних елементів і, відповідно, відмінності структури за товщиною наплавки.

Завдяки проведеним випробуванням окреслено механізм руйнування поверхні при високотемпературному (500-800°C) ерозійному зношуванні, показано, що сплав У30Х25Н3С3 має на 18-44 % вищу зносостійкість у порівнянні із 500Х40Н40С2РЦ.

Визначено критерії термічної обробки для проведення дисперсного зміцнення наплавленого металу з метою підвищення його тривкості до високотемпературного зношування.

Застосований комплексний підхід з використанням сучасних методів досліджень та математичною обробкою результатів не викликають заперечень і мають достатній ступінь обґрунтованості.

Достовірність результатів. Достовірність результатів і висновків, наведених в роботі, забезпечується узгодженням результатів термодинамічного

моделювання з дослідженими передовими методами процесами структуроутворення в наплавленому металі, а також ґрунтовним аналізом отриманих результатів, які не суперечать основним фундаментальним положеннями матеріалознавства.

До основних нових наукових результатів роботи можна віднести такі розробки автора:

1. Визначено характер зміни міжфазового розподілу хімічних елементів за висотою наплавлених одно- й двошарових покриттів зі сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ. Показана ліквідація хрому, нікелю за товщиною наплавленого металу, що призводить до утворення карбідів різного хімічного складу та змінює концентрацію цих елементів у матриці.

2. Уперше підтверджено та обґрунтовано протікання процесів графітизації за температур вище 1000°C в сплаві 500Х40Н40С2РЦ, що наплавлений у два шари з 50%-м перекриттям валиків.

3. Показаний позитивний вплив поздовжнього магнітного поля індукцією в 28 мТ, накладеного при наплавленні сплаву У30Х25Н3С3. Це забезпечує сприятливі умови для формування структури з підвищеною абразивостійкістю.

4. Визначено механізм високотемпературного абразивно-ерозійного зношування наплавлених сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ. Доведено, що перехід від евтектичної до заевтектичної структури зі стовпчастими первинними карбідами змінює механізм зношування з багатоциклового на малоцикловий, що викришує карбідну фазу та різко знижує зносостійкість сплаву.

5. Уперше виявлена можливість дисперсного зміцнення, підвищення гарячої твердості сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ за рахунок виділення вторинних карбідів із аустеніту при 850-950°C.

Основний зміст роботи

Дисертаційна робота обсягом 233 сторінки складається зі вступу, 5 розділів з висновками, висновків, списку використаних джерел, додатків. Робота

містить 144 сторінки основного тексту, 18 таблиць, 92 рисунки, список використаних джерел із 189 найменувань на 19 сторінках, 4 додатки на 6 сторінках.

У вступі сформульовано актуальність наукової проблеми, визначено мету, новизну, теоретичне значення і практичну цінність роботи.

У першому розділі проаналізовано літературні джерела на тему дисертації, визначено особливості застосування сплавів з різними системами легування для отримання абразивостійких покриттів шляхом наплавлення. Зазначено що, незважаючи на широке використання наплавних матеріалів ПЛ АН-101 і ПЛ АН-111, ряд питань, пов'язаних з формуванням структурного стану в наплавці, залишаються недослідженими, що не дозволяє досягати максимальної зносостійкості покриттів, отриманих цими стрічками. На основі цих досліджень і сформульовані основні напрями досліджень дисертації.

У другому розділі подано дані про матеріали і методи досліджень, що застосовуються в роботі для досягнення поставлених цілей. Описано технологічні параметри наплавлення металу, особливості його обробки, визначено та описано методики проведення досліджень та випробувань для отримання достовірних результатів.

У третьому розділі на основі термодинамічного моделювання за допомогою прикладної комп'ютерної програми були побудовані діаграми стану та досліджено структуроутворення в сплавах У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ у рівноважних умовах. Результати моделювання були порівняні із реальною мікроструктурою сплавів, отриманих наплавленням порошковими стрічками ПЛ АН-101 і АН-111. Певна відмінність структури наплавленого металу від змодельованої пояснена невірноваженістю структури в реальних умовах наплавлення і залежністю від конкретних умов кристалізації наплавленого металу.

У цьому ж розділі вивчений вплив магнітного поля на структуру наплавленого сплаву У30Х25Н3С3. Показаний позитивний вплив як на

структуру, так і на властивості наплавки завдяки електромагнітному перемішуванню.

У четвертому розділі визначались особливості реальних процесів наплавлення з огляду на формування структури та властивостей в наплавленому металі 500X40H40C2PЦ, зокрема при 50%-перекритті валиків та двошаровій наплавці. Була доведена відмінність процесів структуроутворення, фазового складу, розміру та геометрії вкраплень від таких же, отриманих за умов одновалкового наплавлення. Виявлена суттєва ліквіація хімічних елементів як в матриці, так і в твердих вкрапленнях за перерізом наплавки.

Автором зафіксована та підтверджена присутність графіту та доведена двостадійність процесу кристалізації матричних ділянок верхнього шару у випадку двошарового наплавлення з перекриттям валиків, що в комплексі з іншими дослідженнями дозволяє надати практичних рекомендацій до особливостей застосування даного сплаву і технології його нанесення.

У п'ятому розділі досліджено взаємозв'язок мікроструктури наплавлених сплавів зі стійкістю до високотемпературної ерозії. Проаналізовано і доведено, що підвищена стійкість менш легованого сплаву У30Х25Н3С3 у порівнянні зі сплавом 500Х40Н40С2РЦ пояснюється відмінністю структурної будови, морфологією карбідів, наявністю графіту тощо, що призводить до іншого механізму руйнування поверхневих та приграничних шарів цих сплавів.

З метою дослідження можливості дисперсного зміцнення сплавів вторинною карбідною фазою і оптимізації режимів термообробки був проведений повний факторний експеримент, за результатами якого автором були надані рекомендації щодо підвищення ефективності сплавів поєднанням технології наплавки з проведенням пост-наплавної термічної обробки.

Значущість результатів роботи для науки і практики полягає в комплексному аналізі результатів теоретичних розрахунків та практичних експериментів щодо процесів структуроутворення в наплавних сплавах У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ та формулювання рекомендацій щодо

особливостей використання зносостійких покриттів, наплавлених порошковими стрічками ПЛ АН-101 і ПЛ-111, для досягнення найвищих результатів при експлуатації.

Результати роботи можуть бути використані як в науково-дослідних організаціях та конструкторських бюро, так і металургійними та машинобудівними підприємствами.

Технологія, запропонована автором, апробована ПАТ «МК «Азовсталь» для підвищення стійкості провадок кулепрокатного стану.

За змістом роботи можна зробити такі зауваження:

1. У роботі зустрічається певна кількість орфографічних помилок, русизмів: ст. 35 «інтерметалідних з'єднань», замість «інтерметалідних сполук», ст. 46 «ванадійвміщуючі чавуни» замість «ванадійвмісні чавуни», «в сутки» замість «за добу» тощо.

2. Недостатньо обґрунтованим, на мою думку, є включення до завдань досліджень підпункту «вплив магнітного поля на формування макро- і мікроструктури наплавки». Якщо такий вибір і було зроблено, то з-поміж яких інших процесів і завдяки чому саме електромагнітний вплив обрано для подальшого дослідження?

3. Для визначення абразивного зношування напівзакріпленим абразивом була обрана схема випробування, що не є стандартною (рис. 2.3). Натомість існує ГОСТ 23.208-79, виконання вимог якого дозволило б прямо співставити результати, отримані різними дослідниками. Використана в роботі методика випробування на високотемпературну ерозію дійсно відтворює умови ерозійної дії абразиву при його русі в струмені повітря. Проте газу, що вивільняються при роботі різних агрегатів металургійного комплексу, мають призводити до набагато складнішого механізму руйнації при терті, де не останню роль гратиме корозія. Таким чином, запропонована методика лабораторних випробувань не може повною мірою відобразити умови дії агресивного середовища і дати об'єктивну оцінку захисним матеріалам.

Правильніше було б використати тут не повітря, а газ, наблизений за хімічним складом, наприклад, до доменного.

4. На початку розділу 5, перший абзац, згадується електрохімічна корозія як чинник, що суттєво підвищує швидкість руйнування у поєднанні з механічним зношуванням. На жаль, у розділі 1 не приділено достатньо уваги механізму корозійного руйнування поверхні (хімічному та електрохімічному), та її вплив на інтенсифікацію абразивного (ерозійного – в роботі) високотемпературного зношування.

5. На ст. 198, останній абзац, вказано на ручне електродугове наплавлення як технологію, здійснювану для ремонту зношених проводок. У той же час далі за текстом йдеться про використання порошкової стрічки для цієї мети. Чи існують ручні способи наплавлення порошковою стрічкою при струмі у 650...750 А.?

6. У підпункті 5.6 для наплавлення запропоновані проводки кулепрокатного стану. Водночас, не повною мірою проаналізовано умови роботи цієї деталі. Зокрема, до якої температури контактно розігрівається робоча поверхня проводки (навіть за наявності охолодження) і чи не сягатиме температура розігріву критичної температури термообробки, проведеної для сплавів?

Вказані зауваження не ставлять під сумнів достовірність матеріалів дисертації, основних положень і висновків, не знижують теоретичну і практичну цінність роботи.

Зміст дисертації, її наукові результати та висновки достатньо повно викладені в 17 наукових працях, з яких: 9 - публікацій у фахових виданнях, з яких 1 публікація у журналі, що індексується у НБД Scopus, та 5 публікації у журналах, що індексуються у НБД Index Copernicus, 8 тез доповідей на науково-технічних конференціях.

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертація Єфременка Б.В. «Структуроутворення в наплавлених Fe-Cr-Ni-C сплавах, призначених для використання в умовах високотемпературного зношування» є завершеною науковою роботою, яка у сукупності може бути охарактеризована як успішне вирішення науково-практичної проблеми забезпечення формування потрібних трибологічних властивостей сплавів У30Х25Н3С3 і 500Х40Н40С2РЦ при високотемпературному зношуванні.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності «Матеріалознавство», відповідає вимогам до кандидатських дисертацій (п.п. 9,10,12) «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України від 24.07. 2013 р. №567 зі змінами від 19.08.2015 р №656, а автор дисертації – Єфременко Богдан Васильович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01-матеріалознавство.

Офіційний опонент:

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладного матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів Сумського державного університету

 С.В. Марченко

Підпис к.т.н., доцента Марченка С.В. засвідчую

Вчений секретар Сумського державного університету



 А.І. Рубан