

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Войтовича Андрія Андрійовича “Диспергування структури наплавлених шарів системи Fe-Cr-V-C для підвищення їх зносостійкості”, поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

Детальний аналіз дисертації Войтовича А.А. “Диспергування структури наплавлених шарів системи Fe-Cr-V-C для підвищення їх зносостійкості” дозволяє сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Для виготовлення зносостійких деталей, що містять порошкові дроти, застосовують дефіцитні легуючі елементи (ніобій, молібден, вольфрам та ін.). Це значно підвищує вартість відновлених деталей та збільшує імпорتنу залежність нашої країни. Але існує можливість підвищення експлуатаційних властивостей (зокрема зносостійкості) шляхом оптимізації мікроструктури. Так завдяки диспергуванню структурних складових, можна зменшувати ймовірність виникнення та поширення тріщин внаслідок існування голкоподібних боридів, які виконують роль концентраторів напружень, що виникають у системах Fe-Cr-V-C.

Тому дослідження та впровадження технологій направлених на отримання мікроструктур наплавлених порошкових дротів, що забезпечують оптимальний комплекс підвищених (в т. ч. триботехнічних) властивостей є безумовно актуальним.

Актуальність теми також підтверджується актами впровадження та виконаним комплексом науково-дослідних робіт, що виконувались на кафедрі зварювального виробництва, діагностики та відновлення металоконструкцій Національного університету «Львівська політехніка» та

відділу фізико-хімічних методів протикорозійного захисту Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України. Зокрема теми “Встановлення закономірностей трансформації поверхневих шарів корозійнотривких сталей та композиційних матеріалів на нікелевій основі від фрикційного контакту в корозивних середовищах” № ДР 0116U004949, Підвищення надійності та подовження ресурсу обладнання нафтогазовидобувної, переробної та комунальної галузей за рахунок збільшення його опірності корозійно-механічному руйнуванню № ДР 0116U006340.

Основні наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані у дисертації, ступінь їх обґрунтованості і достовірності
Наукові положення, висновки і рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі Войтовича А.А. достатньо обґрунтовані:

- застосуванням сучасного обладнання;
- застосуванням сучасних методів досліджень, в тому числі математико-статистичних;
- використанню сучасного програмного забезпечення;
- використанням наукових положень отримання зносостійких покриттів з потрібними триботехнічними властивостями.

Достовірність одержаних результатів, що полягають у диспергуванні наплавлених шарів системи Fe–Cr–В–С для підвищення їх зносостійкості в лабораторних та виробничих умовах, не викликають сумніву. Наведені в дисертаційній роботі теоретичні обґрунтування та експериментальні дослідження виконані коректно на високому науковому рівні. Результати лабораторних досліджень підтверджені експлуатаційними випробуваннями.

Висновки, які сформульовані в дисертаційній роботі, містять нові наукові положення підвищення зносостійкості сталевих деталей.

Висновки 1 - 4 містять відомості про технологію отримання диспергованої структури. Не викликає сумнівів, що вібрація деталі під час формування

структурних складових поверхневих шарів наплавленого матеріалу, впливає на їх морфологію (зокрема відбувається подрібнення).

У висновці 4 наголошено, що вібрація під час наплавлення шарів, підвищує (у 1,8 рази) їх стійкість за циклічного ударного навантаження. Це можна пояснити здатністю наплавленого металу пластично деформуватися і тим самим релаксувати напруження.

Висновок 5 підтверджує відомі данні про застосування порошків, що містять ПАМ (1 мас. %), це дозволило подрібнити включення боридів.

У висновці 6 розкрито параметри дисперсних (не більше за 1 мкм) включень складнолегованих нітридів, що дозволяє підвищити мікротвердість (в 1,2 рази) та зносотривкість (у 1,5 рази) наплавлених шарів. При цьому механізм зношування під час випробовувань на абразивне зношування змінюється із крихкого на пластичний.

Висновок 7 розкриває дослідно-промислову перевірку отриманих дисперсних структур та висвітлює майбутні перспективи щодо подальшого застосування отриманих в дисертаційній роботі результатів.

Наукова новизна дисертаційної роботи.

Дисертантом отримані наступні основні наукові результати:

1. Для структури шарів, наплавлених економнолегованими ПД системи Fe–Cr–V–C під шаром флюсу, вперше встановлено закономірності впливу амплітуди та напрямку механічної вібрації підкладки на структурно–фазовий склад, морфологію та розміри зміцнювальних включень. Також встановлено, що механічна вібрація змінює фазовий склад наплавленого шару, кількість фази $(\text{FeCr})_2\text{V}$ зростає, а фази FeCrV зменшується. Для досягнення максимальної зносостійкості при модифікації структури наплавленого металу, оптимізовано параметри вібрації підкладки під час наплавлення її поверхні.
2. Вперше встановлено, що боридні включення в структурі наплавлених шарів, можна подрібнювати шляхом додавання до складу шихти ПД системи Fe–Cr–V–C порошку ПАМ (60%Al 40% Mg). Наслідок чого, при додаванні 1 мас. %

порошку диспергування зміцнювальної боридної фази збільшується майже у 7 разів.

3. Підвищення мікротвердості (в 1,2 рази) і зносотривкості (у 1,5 рази) наплавлених шарів відбувається в шихті ПД 80X20P3T порошку ПАМ в структурі наплавленого шару за наявності дрібнодисперсних (до 1 мкм) включень складнолегованих нітридів.

Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення роботи полягає в наступному:

За результатами виконаних досліджень рекомендовано використовувати для відновлення деталей машин механічну вібрацію під час наплавлення. Тоді збільшується кількість центрів кристалізації у зварювальній ванні, що сприяє подрібненню структури, зокрема боридів і перерозподілу фаз. Такі зміни мікроструктури в 2,5 рази підвищують зносостійкість металу, наплавленого ПД системи Fe–Cr–B–C.

Великогабаритні деталі, для яких важко реалізувати механічну вібрацію під час наплавлення, запропоновано наплавляти ПД 80X20P3T, додатково легованим 1 мас. % порошку ПАМ. Внаслідок цього довговічність наплавленого металу за ударних навантажень зросла у 1,5 рази порівняно з шаром, отриманим з ПД базового складу.

Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях

Основні положення дисертації опубліковані в 13 наукових працях, з них: (одна з них входить до науково метричної бази даних SCOPUS, п'ять статей у наукових журналах фахових видань України, інші праці міжнародних конференцій).

Аналіз змісту дисертації

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 105 найменувань, 2 додатків. Основна частина дисертації надрукована на 131 сторінці, містить 81 рисунок та 17 таблиць.

У вступі Войтовичем А.А. обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і основні завдання досліджень, викладені наукова новизна та практична значимість отриманих результатів, наведені дані про особистий внесок, апробацію результатів роботи, публікацій та описано структуру дисертації.

В першому розділі акцентовано увагу, що для підвищення опору зношування деталей при використанні наплавлених порошкових дротів застосовують складнолеговані композиції системи Fe–Cr–B–C–V–W із додаванням тугоплавких карбідів, що містять дороговартісні елементи (вольфрам, ванадій, молібден, ніобій), та рідкоземельні метали (лантан, церій), що сприяє подрібненню структурних складових в наплавленому металі. Але внаслідок, чого істотно зростає вартість ремонту через високу ціну витратних матеріалів. В Україні для відновлення зношених поверхонь наплавленням часто використовують ПД системи Fe–Cr–B–C. Але формування дендритів першого та другого порядку з голкоподібною морфологією, сприяє розтріскуванню наплавленого металу з подальшим його викришуванням. Тому пошук шляхів диспергування структурних складових в наплавленому металі при модифікуванні шихти ПД системи Fe–Cr–B–C додаванням до неї порошку ПАМ було головною задачею даної дисертаційної роботи.

У другому розділі описано використання для дослідження марки ПД, обґрунтовано використання устаткування для наплавлення і забезпечення вібрації підкладки, режими наплавлення, наведено особливості методик оцінювання зносостійкості наплавлених шарів за різних умов зношування.

Слід відзначити, що для проведення наукових досліджень модернізовано зварювально-наплавлювальну установку на базі підвісної головки АБС для електродугового наплавлення деталей під шаром флюсу з одночасною горизонтальною або вертикальною вібрацією розплавленого металу у зоні горіння електричної дуги, це дозволило керувати дисперсністю структури наплавленого металу та його механічними характеристиками.

В третьому розділі, при пошуці та отриманні наукових результатів залучено методи математичної статистики, зокрема застосовано матрицю планування експерименту.

Встановлено, що диспергування структури наплавленого металу із вуглецевої сталі під час її наплавлення порошковими дротами 80X20P3T, X10P4Г2С, яке залежить від параметрів коливань деталі, що зазнає вібрації.

Горизонтальна вібрація зразків у процесі наплавлення призводить до подрібнення структури у 3 – 5 разів інтенсивніше порівняно з вертикальною вібрацією. Амплітуда коливань 70, 200 і 300 мкм (при горизонтальній вібрації) зумовлює диспергування боридів (FeCr)В і (FeCr)₂В, їх розмір зменшується від 250...300 мкм (при наплавленні без застосування вібрації) до 4...5 мкм (при вібрації до 300 мкм).

Вплив вібрації призводить до кількісного перерозподілу боридних фаз (FeCr)В і (FeCr)₂В та змінює гострокутну морфологію на більш округлу.

Встановлено, що додавання до шихти ПД базової системи Fe–Cr–В–С 1,2 мас. % алюміній-магнієвого порошку ПАМ, сприяє диспергуванню наплавленого шару, та зумовлює появу в ньому складнолегованих нітридів, що позитивно впливає на експлуатаційні характеристики.

В четвертому розділі наведені результати дюрOMETричного та склерOMETричних аналізів. Встановлено, що зменшення розмірів боридних включень у наплавленому металі від 250...300 мкм до 5 мкм за накладання механічної вібрації з максимальною амплітудою 300 мкм буде зумовлювати підвищення середнього значення мікротвердості для сталі, наплавленої з порошкового дроту ПД80X20P3T – з 700 до 900 НV, а з дроту ПДХ10P3Г2С – з 650 до 870 НV.

Застосування алюміній-магнієвого порошку ПАМ у шихті ПД 80X20P3T сприяє підвищенню середньої мікротвердості наплавленого шару з 700 до 850 НV та супроводжується диспергуванням його структури та виділення в ньому складнолегованих нітридів.

У наплавленому металі при накладанні горизонтальної вібрації амплітудою механічних коливань 300 мкм, та додатковому легуванні порошком ПАМ як з ПД Х10Р3Г2С, так і ПД80Х20Р3Т значення модуля Юнга збільшується в 1,3 – 1,5 рази.

Склерометричні дослідження дозволили встановити підвищення сили протидії проходженню індентора по диспергованому наплавленому шарі до 30% у порівнянні із наплавленим шаром без застосування вібрації.

П'ятий розділ присвячений дослідженню зносостійкості наплавленого металу за умов абразивного зношування та розкриттю механізму виникнення пошкоджень у наплавлених шарах залежно від складу використаного ПД та технології наплавлення. Встановлено, що шари наплавлені в умовах механічної вібрації мають підвищену абразивну зносостійкість. Так, абразивна зносостійкість наплавленого шару із закріпленим абразивом зросла в 2,5 рази, а з незакріпленим в 2,3 рази, в умовах циклічного ударного навантаження в 2,8 рази.

При розкритті особливості механізму зношування, показано, що за абразивного зношування, а також при відбуванні ударних навантажень великі зерна боридів у наплавленому без вібрації шарі розтріскуються та викришуються, що сприяє інтенсифікації процесу руйнування. Вібрація під час наплавлення значно зменшує розмір формуємих боридних зерен, та збільшує кількість пластичнішої боридної фази $(\text{FeCr})_2\text{B}$. На поверхні зношування зафіксовано відсутність глибоких канавок та виривів.

Введення в шихту ПД 80Х20Р3Т алюміній-магнієвої лігатури дозволило у 1,5 рази підвищити опір до ударного зношування за рахунок вищої пластичності сформованої структури наплавленого матеріалу.

Загалом можна зазначити, що дисертація є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові наукові результати, що мають теоретичну та практичну цінність.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційного дослідження

Разом з тим, по дисертаційній роботі слід зробити наступні зауваження:

1. На стор. 12 вказано, що метод нанесення зносостійкого наплавленого шару шляхом автоматичного наплавлення порошковими дротами є на 30 % дешевшим, ніж процес плазмового наплавлення, проте посилання ні на яке літературне джерело не вказано.
2. Можливо слід було б узагальнити та порівняти недоліки та переваги для всіх відомих методів, що застосовують для наплавлення порошків на матеріал деталі.
3. На стор. 31 є описка, слід написати «Із прикладання», а не «Із прикладанняд».
4. За правилами креслення на рис. 2.9. лінія, що позначає позицію 1 та лінія з кутовою швидкістю не повинні перетинатись.
5. На рис. 2.11 за правилами креслення бажано, щоб номери позицій 1, 2, 3 повинні бути на одному рівні.
6. На стор. 47 рис. погано відсканований, він містить текст зі зворотньої сторінки.
7. Можливо у літературному огляді слід було би навести посилання на різне обладнання за допомогою якого можна отримувати наплавлений матеріал із дротів на поверхні деталі.
8. Чому взяли таку маленьку матрицю з 4 мя експериментами, а не з 8, 16 або 32 (стор. 50)?
9. На основі чого зроблено висновок, що отримана математична модель є адекватною (стор. 51)?
10. Чому не розраховували коефіцієнти кореляції між різними параметрами? Наприклад між параметрами мікроструктури та фізико-механічними, або експлуатаційними властивостями.
11. Якщо у дисертації мова йде про вплив вібрації на формування зносостійких шарів, то чому ніде не згадується утворення мартенситу деформації? Про це можна було б згадати у літературному огляді.
12. Докладно не пояснено за допомогою якого обладнання та комп'ютерної програми отримані зображення 3D топографії поверхні проходження

- індентора. Можливо поруч з цим зображенням необхідно було вказати масштаб.
13. На стор. 54. не зовсім зрозуміло такий спосіб розташування рисунку 3.4. Його слід було б розташувати, або горизонтально, або змінити напрямок підписів на осях.
 14. На стор. 53, 60, 61 цифри на рисунках, що містять відомості про хром та залізо слід розміщувати іншим чином.
 15. На стор. 86 коли мова йде про збільшення пластичної фази бажано було би вказати її кількісний склад у порівнянні з іншими структурними складовими.
 16. На рис. 4.16 наведені дані про силу опору металу, наплавленого за горизонтальної вібрації, чому не навели рисунок з такими же даними для вертикальної вібрації?
 17. Чи не виникало бажання дослідити викришені частинки з наплавленого матеріалу? Можливо, що вони зазнали структурних перетворень в умовах дії різних експлуатаційних факторів.
 18. Чи є дані, що буде відбуватись з різними властивостями деталі, якщо до наплавленого металу додавати не 1% ПАМ, а менше, або більше?
 19. У посиланні № 2 на початку є зайва крапка (стор. 117).
 20. Посилання № 3 (стор. 117) оформлено не за стандартом. 4.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Дисертація Войтовича Андрія Андрійовича є структурованою, цілісною, завершеною науково-дослідною роботою, а отримані в ній результати вирішують задачу підвищення зносостійкості сталевих деталей.

Оформлення дисертації і автореферату в цілому, з урахуванням зазначених вище зауважень, відповідає діючим нормативним документам.

Представлена дисертаційна робота відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій згідно з п.п. 11, 13 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор, Войтович Андрій Андрійович, заслуговує

присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент,
доцент кафедри технологій виробництва і
професійної освіти ДЗ «Луганський
національний університет ім. Тараса Шевченка»,
канд. техн. наук, доцент

В.О. Колесніков