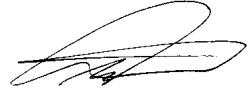


ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Марченко Станіслав Вікторович



УДК 621.791.92:669.295.018.25:669.131.2

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ НАПЛАВЛЕННЯМ
ЕКОНОМОЛЕГОВАНОГО
ТИТАНОВМІСНОГО ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВОГО СПЛАВУ**

05.02.01 – Матеріалознавство

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Запоріжжя - 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі прикладного матеріалознавства і ТКМ Сумського державного університету і фізичного матеріалознавства Запорізького національного технічного університету Міністерства освіти та науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Климов Олександр Володимирович,
Запорізький національний технічний
університет, доцент кафедри «Фізичне
матеріалознавство»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
Бриков Михайло Миколайович,
Запорізький національний технічний
університет, завідувач кафедри
«Обладнання та технології зварювального
виробництва»

кандидат технічних наук,
Солідор Наталя Аркадіївна,
Приазовський державний технічний
університет, доцент кафедри
«Матеріалознавство»

Захист відбудеться “26” жовтня 2010 р. о 13.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 17.052.01 у Запорізькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України за адресою: 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Запорізького національного технічного університету за адресою: 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64.

Автореферат розісланий “_24_” вересня_2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук



О.А. Мітяєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У більшості випадків зношування є головним чинником, що обмежує термін експлуатації машин та механізмів. Для захисту від абразивного зношування за умов відсутності динамічного навантаження найчастіше застосовують сплави на основі заліза зі структурою, що містить зміцнювальну фазу.

Широко вживаними абразивостійкими матеріалами є білі чавуни, які в залежності від умов експлуатації легують хромом, нікелем, вольфрамом, бором, рідкоземельними металами тощо. Такі абразивостійки сплави не є оптимальними бо мають недешеві компоненти, складну технологію отримання.

Створення абразивостійкого сплаву шляхом застосування такої технології та компонентів, які разом з ефективністю надання необхідних властивостей матеріалу не призводили б до суттєвого підвищення вартості, є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота пов'язана із затвердженням Міністерством з питань науки і технології (указ №72 від 17.03.97) пріоритетним науковим розвитком спрямування «Нові речовини і матеріали»: науковим напрямом, затвердженим вченою радою Сумського державного університету №1.2.11.02.08 «Створення та оптимізація нових технологічних процесів», №1.2.11.03.01 «Створення та оптимізація прогресивних методів обробки матеріалів», держбюджетною тематикою №0110U001770 «Науково-технологічні аспекти дизайну матеріалів».

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є встановлення закономірностей взаємозв'язку складу, структури, властивостей при отриманні шляхом електродугового наплавлення абразивостійкого білого чавуну зі збільшеним вмістом титану і азоту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз існуючих технологій та матеріалів для захисту від абразивного (гідроабразивного) зношування, визначити систему легування сплаву високої абразивостійкості;
- обґрунтувати можливість та технологію введення оптимальної кількості титану до білого абразивостійкого чавуну з метою зміцнення сполуками титану;
- дослідити можливість легування білого титановмісного чавуну азотом для отримання комплексних сполук титану, визначити технологію введення, оптимальний вміст для підвищення абразивостійкості;
- визначити вплив хімічного складу на структуру, стійкість наплавленого металу в умовах абразивного, гідроабразивного зношувань і отримати сплав з оптимальними показниками;
- розробити наплавочний матеріал, що містить недорогі компоненти для отримання сплаву з високою абразивною (гідроабразивною) тривкістю;

– розробити технологію наплавлення отриманого сплаву на сталь 20Л для досягнення високих показників абразивостійкості.

Об'єкт досліджень – білий чавун, отриманий електродуговим наплавленням порошковим дротом з підвищеним вмістом титану і азоту, які визначають його опір дії абразиву.

Предмет досліджень – вплив збільшеної кількості титану, азоту на структуроутворення та властивості абразивостійкого білого чавуну.

Основні методи дослідження. Для отримання даних про взаємозв'язок структуроутворення і властивостей абразивостійкого білого чавуну проводили:

- визначення складу сплаву, отриманого електродуговим наплавленням порошковим дротом, з використанням хімічного, спектрального аналізу;
- визначення розчинності азоту в сплаві з використанням вторинної іонної маспектрометрії, хімічного аналізу;
- дослідження мікроструктури отриманого сплаву за допомогою оптичної мікроскопії, рентгеноструктурного аналізу, вимірюванням мікротвердості, локального рентгеноспектрального аналізу;
- визначення відносної абразивної та гідроабразивної стійкості шляхом порівняння об'ємного зносу досліджуваного та еталонного зразків.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше експериментально встановлено, що застосування технології електродугового наплавлення порошковим дротом з використанням вуглецю та азоту, дозволяє отримати у білому чавуні титану у кількості до 4,2 мас.%; запропоновано схему взаємодії титану з вуглецем та азотом;

– вперше досліджено вплив вуглецю (від 2,5 до 3,5мас.%) збільшеної кількості титану (від 1 до 4,2мас.%) та азоту (від 0,02 до 0,046мас.%) на структуроутворення і експлуатаційні характеристики білого наплавленого чавуну, знайдено регресійні та графічні залежності впливу хімічного складу на зносостійкість, що дозволило отримати сплав з оптимальною мартенсито-аустенітною матрицею, зміцненою карбонітридами титану;

– застосовано графічну обробку даних маспектрального та хімічного аналізів для визначення максимальної ефективної розчинності азоту у білому титановмісному чавуні;

– вперше отримано дані про вплив швидкості охолодження сплаву E350T4AC1 при багатошаровому наплавленні на хімічний склад, структуру, твердість та зносостійкість, що дозволило оптимізувати технологію, яка забезпечує мартенсит, залишковий аустеніт, цементит, карбіди та карбонітриди титану в структурі, починаючи з другого шару.

Практичне значення отриманих результатів. У дисертаційному дослідженні було вирішено задачу створення ефективного абразивостійкого сплаву на основі заліза з підвищеним вмістом титану і азоту шляхом електродугового наплавлення із застосуванням недорогої, розповсюджені

лігатури - графіту ЕУТ, феротитану ФТи35С7, феромарганцю ФМн88, силікокальцію СК30, карбаміду, залізного порошку ПЖВ2.

На склад шихти порошкового дроту для наплавлення абразивостійкого сплаву отримано патент України № 34778.

Оптимальний сплав Е350Т4АСГ містить 3,53%С, 4,2%Ті, 0,046%N, 1,0%Mn, 1,0%Si і має мартенсито-аустенітну матрицю, зміцнену карбідами, карбонітридами титану. При випробуванні на абразивну зносостійкість за стандартною методикою ГОСТ 17367-71 сплав Е350Т4АСГ переважає напавлений матеріал «Сормайт-1» у 1,4 рази, високохромистий сплав ЧХ28 в 1,2 рази. При випробуванні за методикою, застосованою в роботі, розроблений сплав переважає сплав ЧХ28 в 1,8 рази при абразивному і в 1,9 при гідроабразивному зношуванні. Найкращу зносостійкість напавлений сплав Е350Т4АСГ показує за мінімальних кутів атаки, що дозволяє використовувати його для захисту деталей ґрунтових насосів, які не зазнають динамічного навантаження - всмоктувального патрубку, бронедиска, кришки ущільнення, кришки підшипникового вузла.

Напавлений матеріал використано для отримання за розробленою технологією захисного шару на бронедиску зі сталі 20Л ґрунтового насоса ЦПН 225-67 взамін суцільнолитих з ЧХ28. При роботі на піщано-глинястій пульпі час роботи насоса «на відмову» збільшився до 3440 годин замість 1800, установлених для деталей проточної частини зі сплаву ЧХ28, що складає 1,9 рази. Очікуваний економічний ефект при річній програмі випуску 1000 шт. складе близько 200 тисяч гривень.

Основні результати роботи використовуються в учбовому процесі при викладанні дисциплін напрямку «Прикладне матеріалознавство» Сумського державного університету.

Особистий внесок здобувача. Автором проведено аналітичний огляд існуючих матеріалів та методик захисту від абразивного зношування, обрано систему легування абразивостійкого сплаву. Доведено можливість застосування і визначено ефективну кількість титану і азоту, як легувальних елементів білого абразивостійкого чавуну. Створено установку для випробування на абразивну зносостійкість. Розроблено порошок дріт для отримання економолегованого абразивостійкого сплаву шляхом наплавлення, досліджено вплив легувальних елементів на властивості металу. Визначено технологічні умови створення напавленого шару високої ефективності на сталі 20Л за мінімальної товщини. Обґрунтовано застосовність отриманого сплаву на деталях відцентрового ґрунтового насосу.

У публікаціях особистий внесок здобувача полягає в наступному:

- проведений аналіз існуючих зносостійких матеріалів і вибір легувальних елементів для зносостійкого наплавлення [1, 2];

- обґрунтовано межі вмісту легувальних елементів, складено та виконано матрицю планування для визначення оптимального напавленого сплаву високої абразивостійкості [2];

- запропонована та обґрунтована методика визначення ефективної розчинності азоту в титановмісному наплавленому чавуні, розраховано його оптимальний вміст [4, 7, 8, 11, 12];

- розраховано вміст хімічних елементів в наплавленому економізованому абразивостійкому металі, склад шихти та виготовлений порошок дріт [5, 6];

- досліджено структурно-фазовий склад та визначено експлуатаційні показники сплаву [3, 10];

- оброблено та узагальнено результати досліджень [3, 8, 9].

Апробація результатів дослідження. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися й обговорені: на науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів, Суми 1997, 1998, 1999, 2000, 2008р; на 5-й Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування очима молодих», Суми, 26 – 29 жовтня 2005р.; на 3-й міжнародній конференції «Хімія і сучасні технології», Дніпропетровськ, 22 – 24 травня 2007р.; на міжнародній конференції, присвяченій 90-літтю Г.В. Самсонова «Материаловедение тугоплавких соединений: достижения и проблемы», Київ, 27 – 29 травня 2008р.; на Четвертій конференції молодих вчених та спеціалістів «Надтверді, композиційні матеріали та покриття: отримання, властивості, застосування», Київ, 15 –16 жовтня 2008р.; на XI міжнародній науково-технічній конференції «Нові конструкційні сталі та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів», Запоріжжя, 8 – 10 жовтня 2008р.; на наукових семінарах Сумського державного університету (м. Суми, 2005 – 2009 р.); на засіданні розширеного науково-технічного семінару інженерно-фізичного факультету Запорізького національного університету (м. Запоріжжя, 2009 р.).

Публікації. За результатами проведених досліджень опубліковано 4 статті у наукових журналах, що входять до переліку ВАК, два патенти України, 6 тез доповідей.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 158 сторінок машинописного тексту, включаючи 22 таблиці, 59 рисунків, список використаних джерел з 137 найменувань на 12 сторінках, 3 додатків на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету й завдання дисертаційного дослідження, визначено наукову новизну роботи, практичну цінність одержаних результатів, кількість публікацій та структуру дисертаційної роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих матеріалів підвищеної опірності дії абразиву, технології захисту від абразивного та гідроабразивного зношування.

Як абразивостійкі використовують леговані сталі, неметалеві матеріали, чавуни, наплавлювані сплави тощо. Технологічні, економічні властивості білого чавуну роблять його найзастосованішим для умов абразивного тертя. Для отримання потрібних характеристик білі чавуни легують хромом, марганцем, бором, нікелем, вольфрамом, ванадієм, кремнієм, інколи титаном в обмежених кількостях, або у складнолегованих системах. Загальний недолік більшості з таких сплавів – недешеві компоненти або складна багаторівнева технологія.

Аналітичний огляд показав, що для досягнення високої ефективності, абразивостійкий сплав повинен мати визначену структуру для конкретних умов зношування. При абразивному і гідроабразивному зношуванні у відсутності ударів оптимальною є структура доевтектичного чавуну з, переважно, високовуглецевого мартенситу, який зміцнений твердою надлишковою фазою. Зміцнювальна фаза, її морфологія в абразивостійких сплавах суттєво впливає на експлуатаційні характеристики. Титан поміж інших є порівняльно недорогим елементом, що може утворювати сполуки високої твердості. Використання титану як легувального елемента обмежується його високою термодинамічною активністю до кисню. Зміцнення карбідами титану (31,06...34,79ГПа) білого чавуну за умов оптимальної технології легування дозволило б створити ефективний абразивостійкий сплав.

Додаткове легування титановмісного чавуну азотом дало змогу отримати зростання опірності абразивному зношуванню шляхом впливу як на матрицю сплаву, так і на зміцнювальну фазу. Використання недорогих і розповсюджених компонентів при цьому дозволило б віднести сплав до економологованого.

Натепер у літературі відсутні дані про використання титану як основного легувального елемента білого чавуну і у кількості, вищій за 1,5мас.% (за виключенням складнолегованого наплавленого сплаву, де титану ~3мас.%). Немає також відомостей про азот у білому титановмісному чавуні та технології отримання такого сплаву.

Визначення ефективної технології отримання абразивостійкого сплаву на базі білого доевтектичного чавуну з системою легування титан - азот і встановлення механізму структуроутворення є актуальною проблемою у вирішенні практичних завдань стосовно створення економологованого сплаву для умов абразивного і гідроабразивного зношувань.

У **другому розділі** дисертації наведено об'єкти та методи дослідження. При реалізації мети та задач дослідження було визначено спосіб отримання сплаву з підвищеним вмістом титану та азоту – електродугове наплавлення порошковим дротом. Як компоненти шихти, що забезпечують отримання металу потрібного складу, обирали хімічні речовини порівняльно низької собівартості, які є розповсюдженими: графіт електродний ЕУТ

(ГОСТ-1702281), феротитан ФТи35С7 (ГОСТ 4761-91), феромарганець ФМн88 (ДСТУ 3547-97), силікокальцій СК30 (ГОСТ 4762-71), карбамід (ГОСТ 6691-77), залізний порошок ПЖВ2 (ГОСТ 9849-86).

У дослідженні використано стандартні і спеціальні методики. Визначено устаткування та методика вимірювання твердості, щільності, зносостійкості, методика кількісного аналізу металу, методи ідентифікації, методика визначення ефективного вмісту азоту в наплавленому металі, методи статистичної обробки результатів досліджень.

У **третьому розділі** проведено аналіз поведінки основних елементів системи, теоретично обґрунтована можливість легування титаном білого чавуну, визначено технологію отримання такого сплаву. Встановлено межі вмісту основних елементів: вуглецю, кремнію, марганцю, титану в сплаві для їх дослідження. Визначено границю ефективної розчинності азоту та способу його введення до титановмісного білого чавуну.

Проведено термодинамічний аналіз поведінки основних елементів, що за даними аналітичного огляду входять до системи легування білого абразивостійкого чавуну, - титану, азоту, вуглецю. Дослідження проводилось в усередненому температурному інтервалі, який за верхньою межею відповідає границі перебування заліза в рідкому агрегатному стані - до 3000К.

Застосування титану як порівняльно недорогого легувального елемента обмежується його вигоранням при типовій металургії. Збільшення температури системи до $\geq 2000\text{K}$ суттєво підвищує енергію, потрібну для утворення оксидів та нітридів титану при незначній зміні енергоємності виникнення карбідів цього елемента (рис. 1).

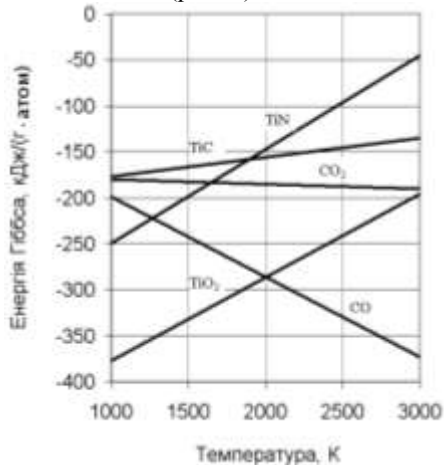


Рис. 1. Зведений графік впливу температури на енергоємність взаємодії основних елементів - складових системи, що розглядається в інтервалі температур.

За температур близько 3000K різниця між енергією утворення карбїду титану і оксиду титану зменшується з 200кДж/(г·атом) до 60кДж/(г·атом), але імовірність окислення титану і вуглецю залишається найвищою. Виключення кисню з системи і надлишок титану при 3000K дасть змогу, після сполучання титану з вуглецем, утворитися сполукам з азотом. Для виконання таких енергетичних передумов легування сплаву титаном використовували електродуговий процес. Електродугове наплавлення порошковим дротом дозволило отримати потрібну температуру, і реалізувати захист краплі та зварювальної ванни продуктами окислення вуглецю зі складу шихти.

За результатами аналітичного дослідження прийняті такі межі вмісту легувальних елементів для виконання повного факторного експерименту з визначення оптимального складу абразивостійкого сплаву:

- титан, що додавався як недорогий елемент для отримання твердої зміцнювальної фази, зважаючи на проведене термодинамічне обґрунтування та існуючі титановмісні сплави, розглядався від 1,0 до 4,0мас.%;

- вуглець обмежували від 2,5 до 3,5мас.%, зважаючи на склади відомих доєвтектичних чавунів, вимогу створення надійного захисту з окислу вуглецю та необхідність отримання структури мартенситу та залишкового аустенїту, спеціальних карбїдів з якомога меншою кількістю евтектики;

- вміст кремнію в сплавї обмежено 1,0мас.% для потоншення структури, а також зважаючи на потребу в мартенситі та недопущенні виникнення графіту;

- марганець до сплаву додано у кількості 1,0мас.% для стабілізації карбїдів, підвищення стійкості аустенїту та зменшення схильності до гарячих тріщин;

Азот у білий чавун вводився для сполучення з титаном, утворення зміцнювальної фази високої твердості і впливу на матрицю сплаву. Оптимальним способом введення азоту є застосування твердої азотовмісної речовини – карбамїду, що доданий до шихти дроту, і дозволив точно регулювати кількість азоту в металі. За температур електричної дуги карбамїд повністю розкладається, дисоціює на атомарний азот і на декілька порядків збільшується в об'ємі що, зважаючи на швидкоплинність зварювальних процесів, спричинило до отримання сплаву з вмістом азоту більше рівноважного.

Обґрунтування можливості насичення та визначення максимальної ефективної розчинності азоту в системі C-Mn-Si-Ti-N проводили шляхом графічної порівняльної обробки результатів хімічного аналізу на загальний вміст азоту в сплавї і результатів маспектрального аналізу на кількість незв'язаного азоту (рис. 2).

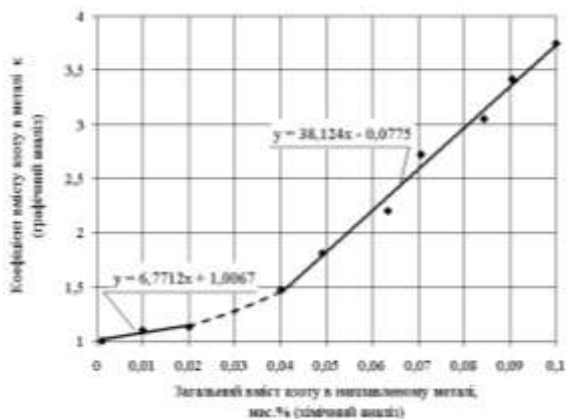


Рис. 2. Зведена залежність впливу загального вмісту азоту (хімічний аналіз) на кількість вільного азоту (маспектральний аналіз) в білому титановмісному чавуні, отриманому електродуговим наплавленням.

При максимальному вмісті елементів у сплаві - 3,5%С, 4%Ті, 1%Si, 1%Mn, - гранична ефективна розчинність азоту лежить у межах ~0,02...0,04мас. %.

У **четвертому розділі** складено та виконано повний факторний експеримент. Розглянуто вплив вуглецю, титану, азоту у складі системи С-Ті-N-Si-Mn наплавленого білого чавуну на структуру та стійкість до абразивного зношування у порівнянні зі сплавом ЧХ28. Визначено технологічні засади отримання оптимального сплаву.

Дослідження показало, що структурний стан та властивості сплавів матриці планування за незмінних параметрів наплавлення, охолодження ($v_{\text{охол.}} = 4,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$ в інтервалі $550...650^{\circ}\text{C}$) суттєво залежать від співвідношення легувальних елементів. При вмісті титану, вуглецю та азоту за нижньою межею (2,5%С, 1%Ті, 0,02%N) сплав має ледебурит, перлит, цементит, графіт і зміцнювальну дрібнодисперсну фазу (рис. 3).



Рис. 3. Структури сплавів матриці планування при мінімальному та максимальному вмісті елементів, х300: а - 2,5%С, 1%Ті, 0,02%N; б - 3,5%С, 4%Ті, 0,04%N.

При 3,5%С, 4%Ті, 0,04%N структура складається з дрібногочастого мартенситу, залишкового аустеніту, перлиту, цементиту, твердих вкраплень. Як проміжні структури отримували ферит, перлит, ледебурит, мартенсит у різних пропорціях з графітовими та твердими вкрапленнями.

Найсуттєвіший вплив на відносну зносостійкість при будь-якому співвідношенні легувальних елементів чинить титан – змінюється тип матриці сплаву та збільшується кількість зміцнювальної фази (рис. 4).

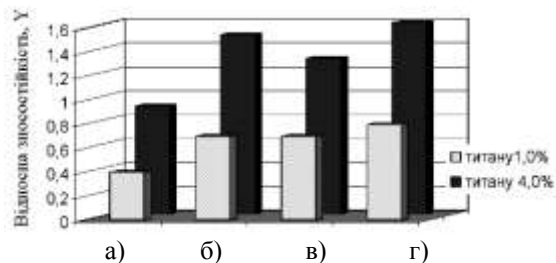


Рис. 4. Вплив збільшення кількості титану (з 1% до 4%) на відносну зносостійкість сплаву при вмісті: а - вуглецю і азоту за нижньою межею (2,5%С і 0,02%N); б - вуглецю за верхньою, азоту за нижньою межею (3,5%С і 0,02%N); в - вуглецю за нижньою, азоту за верхньою межею (2,5%С і 0,04%N); г - вуглецю і азоту за верхньою межею (3,5%С і 0,04%N).

Вуглець в системі С – Ті – N – Si – Mn впливає на зносостійкість шляхом зміни типу структури наплавленого сплаву і покращення газового захисту, що забезпечує повноту переходу титану (рис. 5).

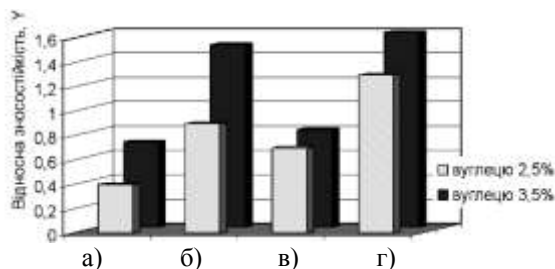


Рис. 5. Вплив збільшення кількості вуглецю (з 2,5% до 3,5%) на відносну зносостійкість сплаву при вмісті: а - титану і азоту за нижньою межею (1%Ті і 0,02%N); б - титану за верхньою і азоту за нижньою межею (4% Ті і 0,02% N); в - титану за нижньою і азоту за верхньою межею (1% Ті і 0,04%N); г - титану і азоту за верхньою межею (4% Ті і 0,04% N).

Азот безпосередньо впливає на зміцнювальну фазу, утворюючи комплексні сполуки з титаном, та підвищує стійкість аустеніту, що якісно відображається на зносостійкості сплаву (рис. 6).

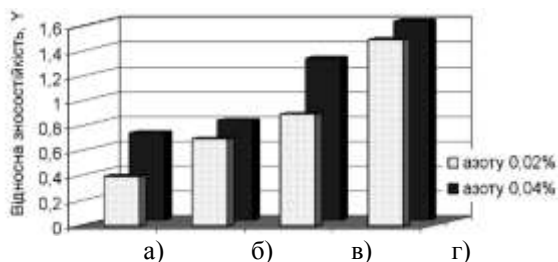


Рис. 6. Вплив збільшення кількості азоту (з 0,02% до 0,04%) на відносну зносостійкість сплаву при вмісті: а - вуглецю і титану за нижньою межею (2,5%С і 1%Ті); б - вуглецю за верхньою і титану за нижньою межею (3,5% С і 1% Ті); в - вуглецю за нижньою і титану за верхньою межею (2,5%С і 4%Ті); г - вуглецю і титану за верхньою межею (3,5% С і 4% Ті).

Отримано рівняння регресії для відносної зносостійкості по закріпленому абразиву:

$$Y=0,8962+0,1129C+0,2451Ti+0,1401N+0,0121TiC+0,0143CN+0,0414TiN+0,0630TiCN$$

Виконання кругого сходження дозволило отримати оптимальний сплав E350T4ACG, що містить 3,53мас.%С, 4,2мас.%Ті, 0,046мас.%N з кращими серед сплавів матриці планування характеристиками, – твердістю HRC60, відносною зносостійкістю 1,8 (рис. 7).



а)



б)

Рис. 7. Структура зразка сплаву E350T4ACG ($\times 300$) і фрактограма поверхні тертя по закріпленому абразиву, $\times 350$.

Подальше збільшення вмісту елементів, зокрема титану, в сплаві неможливе, зважаючи на гранично допустимий коефіцієнт заповнення порошкового дроту при використанні розповсюдженої недорогій лігатури - феротитану ФТі35С7.

Найкращу опірність дії гідроабразивному струменю зі значенням 1,9 щодо еталону з ЧХ28 сплав E350T4ACG показав при куті атаки $\alpha = 10^0$. Гідроабразивна зносостійкість сплаву зі зростанням кута атаки знижується за логарифмічною залежністю і набуває мінімуму при $\alpha \approx 60^0$ зі значенням $5,2 \text{ хв/мм}^3$ (0,0342 гр/годину) або 1,75 щодо еталона (рис. 8).

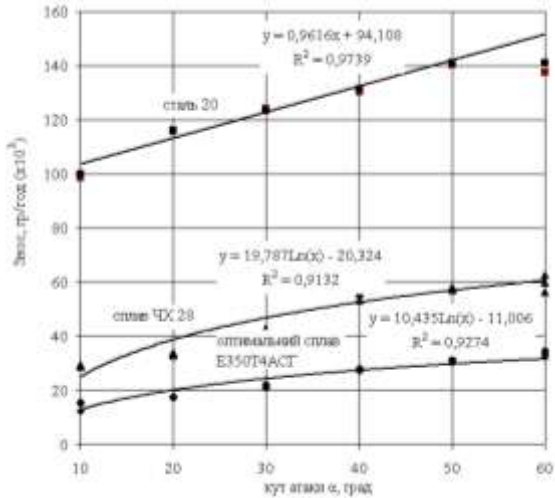


Рис. 8. Вплив кута атаки на гідроабразивну зносостійкість матеріалів.

Сплав E350T4ACF має структуру мартенситу, аустеніту, цементиту і зміцнювальної фази: карбідів, карбонітридів титану. Карбонітриди титану складають близько 20% від кількості зміцнювальної фази і умовно поділяються на два типи: на базі твердого розчину та змішані колонії TiN+TiC, де спостерігаються і вторинні фази - нітриди титану (рис. 9).

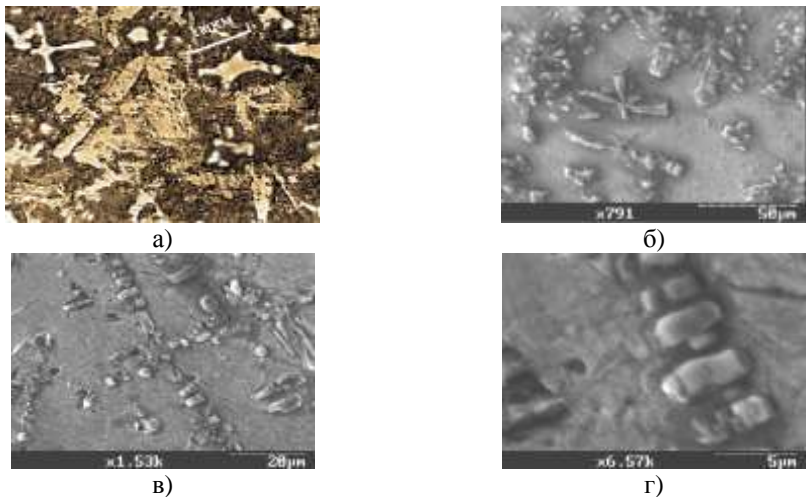


Рис. 9. Структура сплаву E350T4ACF (3,53%С, 4,2%Ti, 0,046%N):

а – травлений, $\times 800$; б – карбід титану TiC (у центрі), електрономікроскопія, $\times 791$; в – колонія TiN+TiC (у центрі), електрономікроскопія, $\times 1530$; г – первинні та вторинні фази (нітриди титану), електрономікроскопія, $\times 6570$.

Отримані результати дозволили скласти умовну схему взаємодії титану з вуглецем і азотом у білому чавуні при електродуговому наплавленні (рис.10).

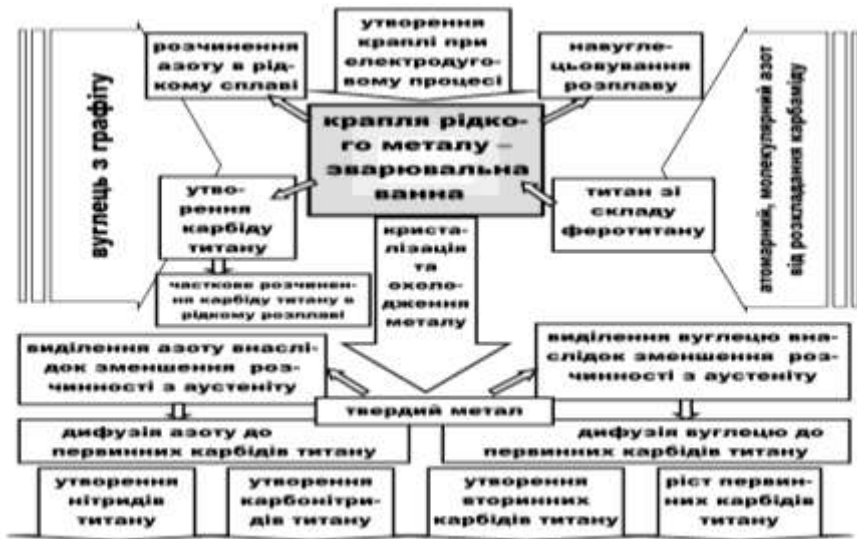


Рис. 10. Схема взаємодії титану з вуглецем і азотом у металі в білому чавуні при електродуговому наплавненні.

Випробування за ГОСТ 17367-71 сплаву E350T4ACG з існуючими зносостійкими матеріалами (як еталон обрано сталь 08кп зі структурою ферит) показало, що сплав E350T4ACG переважає сплав ЧХ28, сталь У8 (структура мартенсит, без відпуску), наплавлений сплав Сормайт-1 (рис. 11).

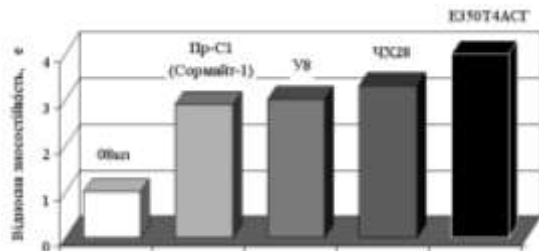


Рис. 11. Характеристика зносостійких матеріалів за ГОСТ17367-71.

Для більшості деталей величина критичного зносу не перевищує 2...3 мм, тому високі показники наплавлений сплав повинен мати на таку глибину за мінімальної товщині нанесення. При тришаровому наплавленні сплаву E350T4ACG на сталь 20Л без додаткових технологічних заходів оптимальних показників не отримано, бо суттєвим стає перемішування шарів, зміна тепловмісту об'єкта наплавлення тощо.

Для оптимізації технології досліджували вплив швидкості охолодження сплаву E350T4ACG при багат шаровому наплавленні на хімічний склад, структуру, твердість та зносостійкість.

Попереднім підігрівом створено умови, ідентичні збільшенню тепловмісту при багат шаровому наплавленні. Зменшення максимальної швидкості охолодження від $4,2^{\circ}\text{C}/\text{c}$ до $1,3^{\circ}\text{C}/\text{c}$ (в інтервалі $1100\dots900^{\circ}\text{C}$) при розігріві до 500°C призводить до втрати поверхнею до п'ятнадцяти одиниць (17%) твердості за шкалою HRC, що веде до зниження відносної зносостійкості при терті по закріпленому абразиву (еталон – сплав E350T4ACG без підігріву, охолоджений на спокійному повітрі) загалом на 12%. Непряма пропорційність зменшення абразивостійкості при втраті твердості з уповільненням швидкості охолодження пов'язана з процесами дисперсного твердіння, які частково нівелюють вплив зменшення матриці сплаву на абразивостійкість (рис. 12).



Рис. 12. Виділення вторинної фази на карбонітриді титану в сплаві E350T4ACG при охолодженні зі швидкістю $1,3^{\circ}\text{C}/\text{c}$, $\times 6410$.

Застосовано пришвидшене охолодження з максимальною швидкістю $10^{\circ}\text{C}/\text{c}$ в інтервалі $1100\dots900^{\circ}\text{C}$ і $2,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$ в інтервалі $650\dots550^{\circ}\text{C}$. За такого режиму суттєво розбавленим залишається перший нанесений шар. Структуру мартенситу, залишковий аустеніт, цементит, карбіди, карбонітриди титану отримували в наплавленому металі, починаючи з другого шару при товщині в від 3 мм (рис. 13).

У **п'ятому розділі** перевірено застосовність розробленого абразивостійкого матеріалу для захисту ґрунтових насосів.

Оптимальними для застосування сплаву E350T4ACG, що показує високу стійкість за мінімальних кутів атаки, будуть поверхні всмоктувального патрубку, броне диска, кришки ущільнення, захисної втулки.

Зміцнено броне диск насоса ЦПН 225-67 зі сталі 20Л шляхом тришарового електродугового наплавлення сплаву E350T4ACG. Після наплавлення кожного з шарів деталей охолоджувалась на повітрі до температури 100°C . Твердість поверхні після наплавлення склала HRC60. При роботі на піщано-глинястій пульпі час роботи насоса ЦПН 225-67 з наплавленим сплавом E350T4ACG броне диском «на відмову» збільшився до 3440 годин замість 1800, установлених для деталей проточної частини зі сплаву ЧХ28.

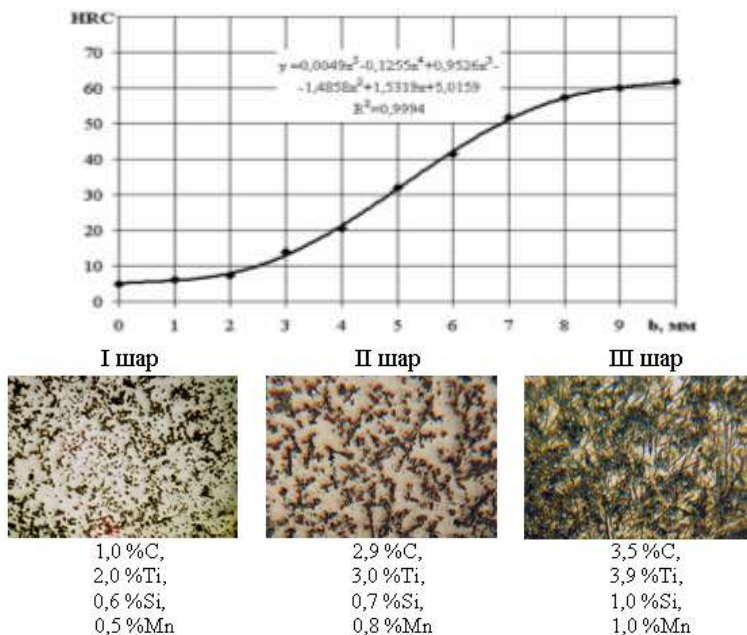


Рис. 13. Хімічний склад, структура, твердість наплавленого металу E350T4ACG-сталь 20Л ($\times 300$) з пришвидшеним охолодженням при 3-и шаровому наплавленні.

ВИСНОВКИ

1. У дисертації наведено нове вирішення задачі захисту від абразивного зношування, яке полягає в отриманні вискооефективного наплавленого металу на основі заліза, легованого титаном та азотом, що дозволяє віднести його до економолегованого.

Технологічні, економічні властивості, що притаманні чавуну, обумовлюють його застосування для умов абразивного тертя. Найширше використовують білі чавуни, леговані хромом, марганцем, бором, нікелем, вольфрамом, ванадієм, дуже рідко титаном в обмежених кількостях або в складнолегованих системах. Ефективність таких абразивостійких чавунів дуже часто не є високою, а вартість - обґрунтованою.

2. Аналітичне дослідження показало, що для високої зносостійкості важливим є оптимальність структури сплаву. За умов гідроабразивного зношування, абразивного зношування у відсутності динамічного навантаження, ефективною вважається структура високовуглецевого мартенситу, зміцненого вкрапленнями твердої фази. Вирішальними тут є

властивості зміцнювальної фази, її кількість та розташування в міцній матриці сплаву.

3. Перспективним є використання титану як легувального елемента. Він якісно впливає на структуроутворення сплаву, нерозчинний в цементиті, створює в системі з вуглецем власні карбіди TiC високої твердості. При типовій металургії застосування титану, як порівняльно недорогого легувального елемента, обмежується його високою хімічною активністю, насамперед до кисню.

4. Термодинамічно обґрунтовано можливість введення титану до сплаву у вигляді сполук з вуглецем при температурі системи більшій за 2000K, коли енергія утворення карбіду титану стає мінімальною і поступається цим показником лише сполуці з киснем.

Для отримання білого чавуну, легованого титаном, запропоновано використання електродугового процесу, що створює умови отримання сполук вуглецю з титаном вже на стадії краплі. Спосіб електродугового наплавлення порошковим дротом дозволяє проводити легування отриманого сплаву в широких межах і створювати ретельний захист газоподібними продуктами згорання, що робить мінімальною імовірність окислення титану при переході до металу.

5. За результатами аналітичного огляду встановлено межі вмісту основних елементів абразивостійкого чавуну для визначення оптимального сплаву проведенням повного факторного експерименту: вуглецю - від 2,5 до 3,5мас.%; титану - від 1,0 до 4,0мас.%; кремнію - 1,0мас.%; марганцю - 1,0мас.%.

У комплексі з титаном до складу сплаву вводили азот. У білому титановмісному чавуні це сприяє утворенню зміцнювальної фази із сполук титану – карбідів, нітридів, карбонітридів, які, зважаючи на їх підвищену твердість, збільшують абразивостійкість сплаву.

Азот уведено до наплавленого титановмісного сплаву за допомогою твердої азотовмісної речовини - карбаміду синтетичного - в складі шихти порошкового дроту. Кількість азоту визначено графічною обробкою результатів вторинної іонної маспектрометрії, хімічного і металографічного аналізів. З'ясовано, що для наплавленого білого чавуну за максимального вмісту елементів у досліджуваному діапазоні (3,5%С, 4%Ti, 1%Si, 1%Mn) гранична ефективна кількість азоту лежить у межах від 0,02 до 0,04мас.%.

6. Для отримання економолегованого сплаву обґрунтованим є використання складових порошкового дроту: графіту електродного ЕУТ (ГОСТ17022-81), феротитану ФTi35C7 (ГОСТ4761-91), феромарганцю ФMn88 (ДСТУ3547-97), силікокальцію СК30 (ГОСТ4762-71), карбаміду (ГОСТ6691-77), залізного порошку ПЖВ2 (ГОСТ 9849-86).

7. Кількісне співвідношення легувальних елементів у межах, окреслених факторним експериментом, значною мірою впливає на

структурування досліджуваних залізвуглецевих сплавів з системою легування С-Ті-Н-Мп-Si:

Доведено, що найефективнішим елементом є титан, який у комплексі з вуглицем та азотом утворює карбонітридні сполуки з твердістю близько 32ГПа. При нестачі титану в сплаві певна частина вуглецю може знаходитися у вільному вигляді.

Встановлено, що мікрولةгування азотом у межах 0,02...0,04% впливає як на твердість надлишкової фази, так і на стійкість аустеніту, що позитивно відображається на зносостійкості сплаву.

8. Знайдено рівняння регресії залежності відносної абразивної стійкості від хімічного складу сплаву. За результатами крутого сходження отримано сплав E350T4ACG з C=3,53мас.%, Ti=4,2мас.%, N=0,046мас.%, Mn=1,0мас.%, Si=1,0мас.%, що має найвищу опірність дії зв'язаному абразиву серед досліджуваних (HRC 60, відносна зносостійкість по закріпленому абразиву 1,8 – еталон ЧХ28). Найбільшу стійкість при гідроабразивному зношуванні сплав E350T4ACG має при куті атаки $\alpha=10^0$ з показником 1,9 щодо еталону з ЧХ28. Зі зростанням кута атаки зносостійкість сплаву знижується за логарифмічним законом і набуває мінімуму при $\alpha \approx 60^0$ із значенням 5,2хв/мм³ (0,0342 гр/годину) або 1,75 щодо еталону.

Структура сплаву E350T4ACG складається з мартенситу, аустеніту, цементиту і зміцнювальної фази: карбідів, карбонітридів титану.

9. Порівняльне випробування розповсюджених матеріалів і розробленого сплаву за стандартною методикою (ГОСТ 17367-71) показало, що сплав E350T4ACG переважає за зносостійкістю сталь 08кп у 4 рази; сплав Сормайт-1 у 1,4 рази, сталь У8 (гартування на мартенсит) – в 1,3 рази; сплав ЧХ 28 – в 1,2 рази.

10. Розроблено технологію наплавлення зносостійкого покриття сплавом E350T4ACG на сталь 20Л для отримання високих показників при мінімальній товщині шару.

Для забезпечення оптимальної структури, важливим є зменшення перемішування металу і зниження впливу зміни тепловмісту об'єкта наплавлення під час процесу нанесення шарів на властивості наплавленого металу. Пришвидшене охолодження (максимальна швидкість 10⁰С/с в інтервалі 1100...900⁰С і 2,5⁰С/с в інтервалі 650...550⁰С) дозволило отримати в наплавленому металі структуру мартенсит, залишковий аустеніт, цементит, карбіди, карбонітриди титану, починаючи з другого шару.

11. Зважаючи на високу стійкість до гідроабразивного зношування сплаву E350T4ACG за мінімальних кутів атаки, раціонально його застосовувати для деталей, що працюють у відповідних умовах.

Розроблено технологію підвищення гідроабразивостійкості бронедиска ґрунтового насоса ЦПН 225-67 шляхом електродугового наплавлення сплаву E350T4ACG на робочій поверхні. Диск виготовлено литвом зі сталі 20Л. Застосовуючи технологічні заходи для отримання швидкості охолодження у

визначених межах, отримано наплавлений метал з середньою твердістю поверхні HRC60. Експлуатаційні випробування насоса з наплавленим сплавом бронедиском замість литого з ЧХ28 показали збільшення зносостійкості у 1,9 рази при розробці піщано-глинястих ґрунтів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Марченко С.В. Выбор легирующих элементов для износостойкой наплавки / С.В. Марченко // Вісник СумДУ, серія «Технічні науки». - 2000. - №15. - С.110-112
2. Марченко С.В. Розробка зносостійкого металу, що містить азот / С.В. Марченко // Вісник СумДУ, серія «Технічні науки». - 2000. - №19. - С.144-148
3. Любич О.Й. Абразивная стойкость наплавленного металла с повышенным содержанием карбидов титана / О.Й. Любич, С.В. Марченко // Вісник СумДУ, серія «Технічні науки». - 2002. - №9(42). - С.95-99
4. Климов О.В. Азот і титан у білому абразивостійкому чавуні / О.В. Климов, С.В. Марченко // Нові матеріали та технології в металургії та машинобудуванні. - 2009. - №1. - С.17-21
5. Пат. 34778 Україна, В23К 35/368. Порошковий дріт для наплавлення / Любич О.Й., Марченко С.В., Пустовгар О.В.; заявник і патентотримач Сумськ. держ. університет. - № 99073827 ; заявл. 06.07.99; опубл. 15.02.01, Бюл№1.
6. Пат. 34369 Україна, В23К 35/368. Порошковий дріт для зварювання і наплавлення високоміцного чавуну / Любич О.Й., Пустовгар О.В., Марченко С.В.; заявник і патентотримач Сумськ. держ. університет. - № 99063690 ; заявл. 30.06.99; опубл. 15.02.01, Бюл№1.
7. Марченко С.В. Исследование влияния азота на свойства наплавленного металла / С.В. Марченко, О.Й. Любич : Материали научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов: вып. 1 ["Научно-техническая конференция"], (Сумы, 20-22 мая 2000 г.) Сумы, СумГУ. - 2000. - С. 285-286
8. Любич О.Й. Вплив азоту на зносостійкість чавуну, що містить титан. С.В. Марченко, О.Й. Любич : Материали научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов инженерного факультета ["Научно-техническая конференция"], (Сумы, 15-17 мая 2001 г.) Сумы, СумГУ. - 2001. - С. 162-163
9. Климов О.В. Технологія білого чавуну з системою легування С-Ti-Si-Mn-N, отриманого електродуговим переплавленням порошкового дроту / О.В. Климов С.В.Марченко : тези доповідей третьої міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених ["Хімія та сучасні технології"], (Дніпропетровськ, 22-24 травн. 2007 р.) / Український державний хіміко-технологічний університет (УДХТУ). -Д. : УДХТУ, 2007. - С. 217

10. Марченко С.В. Особливості зміцнення сполуками титану з азотом, вуглецем абразивостійкого чавуну / С.В. Марченко, О.В. Климов : тези доповідей Четвертої конференції молодих вчених та спеціалістів ["Надтверді, композиційні матеріали та покриття: отримання, властивості, застосування"], (Київ, 15-16 жовт. 2008 р.) / ІНМ НАНУ. – К. : ІНМ ім.В.М.Бакуля НАН України, 2008. – С. 40-42

11. Климов О.В. Особливості структури білих зносостійких чавунів, легованих титаном і азотом / О.В. Климов , С.В. Марченко , Д.В. Ткач : зб. матеріалів Шостої міжнародної науково-технічної конференції ["Нові конструкційні сталі та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів"], (Запоріжжя, 8-10 жовт. 2008 р.) / Запорізький національний технічний університет (ЗНТУ). – Запоріжжя : ЗНТУ, 2008. - С. 126-128

12. Марченко С.В. Получение соединений титана с углеродом и азотом в белом абразивостойком чугуна : труды международной конференции ["Материаловедение тугоплавких соединений: достижения и проблемы"], (Киев, 27-29 мая 2008 г.) / ППМ НАНУ. - К. : ППМ НАНУ, 2008. - С. 123

АНОТАЦІЯ

Марченко С.В. Підвищення зносостійкості деталей наплавленням економолегованого титановмісного залізовуглецевого сплаву. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01—«Матеріалознавство». – Запорізький національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, Запоріжжя, 2010р.

Дисертація присвячена розробці та дослідженню абразивостійкого білого чавуну. Обґрунтовано легування титаном і азотом. Електродуговим наплавленням порошковим дротом, що містить розповсюджені інгредієнти, зокрема, ФТi35С7, карбамід, отримано сплав E350T4АСГ зі структурою мартенсит, залишковий аустеніт, карбіди заліза, карбіди, карбонітриди титану.

Гідроабразивна зносостійкість при випробуваннях за методикою, прийнятою в роботі, становить 1,9 рази щодо ЧХ28 при куті атаки 10^0 . Випробування на абразивну зносостійкість за ГОСТ 17367-71 показало, що E350T4АСГ переважає наплавлений матеріал «Сормайт-1» у 1,4 рази, сплав ЧХ28 в 1,2 рази.

Ключові слова: абразивостійкий білий чавун, економолегований сплав, електродугове наплавлення, карбонітриди титану.

АННОТАЦИЯ

Марченко С.В. Повышение износостойкости деталей наплавкой экономолегированного титансодержащего железоуглеродистого сплава. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01–«Материаловедение». – Запорожский национальный технический университет Министерства образования и науки Украины, Запорожье, 2010 г.

Диссертация посвящена разработке и исследованию экономолегированного абразивостойкого материала на базе белого чугуна, полученного электродуговой наплавкой и содержащего титан и, дополнительно, азот.

Выполнены комплексные исследования, на основе которых обоснована возможность использования увеличенного количества титана как легирующего элемента белого чугуна. Титан образует собственные карбиды высокой твердости, что улучшает сопротивляемость сплава абразивному изнашиванию. В систему с титаном добавляется азот, который увеличивает твердость упрочняющей фазы, положительно влияет на структурообразование.

Применение при электродуговом процессе твердой азотсодержащей лигатуры – карбамида, как компонента порошковой проволоки, позволило получить в наплавленном металле содержание азота выше равновесного. Доказано, что при условиях электродуговой наплавки соединения углерода с титаном образуются на стадии капли, а азот соединяется с титаном при температурах ниже кристаллизации.

Количественное содержание углерода, титана и азота в рассмотренных пределах в сплаве с системой легирования C – Ti – N – Si – Mn существенно влияет на структурообразование – получали феррит, перлит, ледебурит, мартенсит в разных пропорциях с графитом и твердыми включениями.

В результате экспериментальных исследований, путем электродуговой наплавки порошковой проволокой, содержащей распространенные ингредиенты, в частности ФТи3С7, карбамид, получен оптимальный сплав E350T4ACG с C=3,53%, Ti=4,2%, N=0,046%, Mn=1,0%, Si=1,0% с HRC60. Оптимальный сплав после охлаждения со скоростью $4,5^0\text{C}/\text{с}$ имеет структуру мартенсит, аустенит, карбиды железа и упрочняющую фазу: карбиды титана, карбонитриды титана. Большинство твердых включений наплавленного сплава E350T4ACG - карбиды титана. Карбонитриды титана составляют около 20% от количества упрочняющей фазы. Условно карбонитриды титана можно разделить на два типа: на базе твердого раствора (до 0,5мкм) и такие, что образуют колонии TiN+TiC (от 2мкм). Характерным является присутствие вторичных фаз - нитридов титана при таких условиях охлаждения. Наивысшую гидроабразивную износостойкость – в 1,9 раза большую, чем ЧХ28 при испытаниях по методике, принятой в работе, сплав

показывает при угле атаки 10^0 . Испытание на абразивную износостойкость по ГОСТ 17367-71 показало, что E350T4ACГ превышает наплавленный материал «Сормайт-1» в 1,4 раза, сплав ЧХ28 в 1,2 раза.

Сплав E350T4ACГ показал высокую склонность к дисперсионному упрочнению: непрямая пропорциональность уменьшения абразивостойкости потере твердости при уменьшении скорости охлаждения связана с процессами дисперсного твердения, которые уменьшают влияние разупрочнения матрицы сплава на абразивостойкость.

Для большинства деталей величина критического износа редко превышает 2...3 мм, чем обоснованна необходимость иметь высокие показатели наплавленного слоя на такую глубину. Применяв ускоренное охлаждение (максимальная скорость $10^0\text{C}/\text{с}$ при $1100...900^0\text{C}$ и $2,5^0\text{C}/\text{с}$ при $650...550^0\text{C}$), получили в наплавленном металле структуру мартенсит, остаточный аустенит, карбиды железа, карбиды, карбонитриды титана, начиная со второго наплавленного слоя.

Разработанный сплав E350T4ACГ применяли для электродуговой наплавки рабочей поверхности бронедиска насоса ЦПН 225-67. Это позволило увеличить износостойкость бронедиска в 1,9 раза при разработке песчано-глинистых грунтов.

Ключевые слова: абразивостойкий белый чугун, экономолегированный сплав, электродуговая наплавка, карбонитриды титана.

ANNOTATION

Marchenko S.V. Improvement of details wear resistance by economically-alloyed titanium content iron-carbon composition. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of engineering science, speciality 05.02.01 – “Material Science”. – Zaporiz'kyi National Technical University of Ministry of Education and Science of Ukraine, Zaporizhia, 2010.

The thesis are devoted to the development and research of abrasive resistant white cast-iron.

The possibility of titan and nitrogen usage for alloying the white cast-iron is justified. Electro-arc welding by flux cored wire, contained well-known elements, notably ФТi35C7, carbamide, the alloy E350T4ACГ with the structure martencite, residual austenite, ferric carbide, carbides, carbonitride of titanium was obtained.

Hydro-abrasive resistance during the experiments of our method is 1,9 times according to ЧХ28 for the angle of attack 10^0 . Abrasive resistance experiment according to standard has shown that E350T4ACГ preferred weld material «Сормайт -1» for 1,4 times, composition ЧХ28 – 1,2 times.

Key words: abrasive-resistant white cast-iron, economically-alloyed composition, electric-arc welding, carbonitride of titanium.