

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента С.В. Марченка на дисертаційну роботу Ю.А. Калініна «Підвищення ресурсу швидкозношуваних деталей зносостійкими накладками з високовуглецевої низьколегованої сталі», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - матеріалознавство.

Актуальність теми дисертації.

В аналітичному розділі наведено огляд досліджень зносостійкості сталей за різних умов зношування. Приділено увагу особливостям зношування легованих сталей і чавунів. Визначено, що механізм руйнування поверхневих шарів залізовуглецевих сплавів має втомну природу, і будь-яка ділянка на поверхні зношування руйнується під дією циклічних навантажень. Абразивне зношування, як найбільш інтенсивне, характеризується високими точковими напруженнями, що виникають у зоні контакту. Від співвідношення контактних напружень і межі плинності металу інтенсивність зношування поверхні тертя відрізнятиметься на декілька порядків.

Окреслено перспективність керування структуро фазовою будовою залізовуглецевих сплавів з метою отримання оптимальної структури для захисту від багатоциклового і малоциклового режиму зношування. Зроблено висновок, що нестабільний залишковий аустеніт із вмістом вуглецю понад 1% мас. здатний до деформаційного перетворення в мартенсит деформації, який є більш зносостійким, ніж мартенсит гартування за рахунок, в т.ч., утворення коміркової субструктури, що виникає під час дії абразиву.

Поставлена задача розроблення комплексного технологічного процесу термічної обробки та з'єднання деталей з високовуглецевої низьколегованої сталі, що дозволило б підвищити термін експлуатації промислового обладнання, яке зазнає інтенсивної дії абразиву.

У зв'язку з вищезначеним тема дисертаційної роботи є *актуальною* як для теорії (визначення характеру структуроутворення високовуглецевих низьколегованих сталей, що термічно оброблені для отримання нестабільного аустеніту і з'єднані зварюванням), так і для практики (доцільності використання вказаних сплавів для ремонту обладнання, яке зазнає інтенсивного абразивного зношування).

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

Дисертація пов'язана із тематикою науково-дослідних робіт, що виконувались на кафедрі обладнання і технології зварювального виробництва Національного університету «Запорізька політехніка»:

ДБ 02712 № д.р. 0112U02021 Дослідження закономірностей зв'язку між зносостійкістю високовуглецевих низьколегованих сталей і їх складом, структурою та іншими властивостями»,

ДБ 02715 № д.р. 0115100467 Забезпечення надійності та зносостійкості матеріалів і деталей машин та обладнання, що експлуатується в екстремальних умовах».

Також робота пов'язана із тематикою науково-дослідної роботи «Технологічний розвиток як складова інноваційного розвитку економіки України» № д.р 0119U100396.

У перелічених роботах здобувач брав безпосередню участь як виконавець.

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

У дисертаційній роботі Ю.А. Калініна на основі фазово-структурного аналізу стану високовуглецевих сплавів, що містять нестабільний аустеніт,

обґрунтовано механізм деформаційного мартенситного перетворення в процесі абразивного зношування. Вперше встановлено, що за умов абразивного зношування аустеніт здатен повністю перетворюватися на мартенсит.

Уточнено кінетику бейнітного перетворення високовуглецевого нестабільного аустеніту в сталі з вмістом 1,2%С, 2,6%Mn, 1,5%Si.

Розроблено технологію приєднання пластин з нестабільним аустенітом шляхом зварювання із прискореним охолодженням. Охолодження елементів, що зварюються зі сталі 120Г3С2 у воді під час процесу зварювання, забезпечує утворення аустенітного прошарку впритул до границі сплавлення, що знижує ймовірність появи тріщин у зоні термічного впливу.

З використанням сучасних методів дослідження встановлено, що зварювання з прискореним охолодженням дозволяє отримувати зварні з'єднання зі сталі 120Г3С2, які є міцнішими за основний метал з аналогічної сталі.

Сформульовано рекомендації щодо технологічної послідовності операцій з виготовлення ремонтних накладок зі сталі 120Г3С2, їх зварювання та наступної обробки в залежності від експлуатаційних вимог.

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 у роботі, забезпечується узгодженням результатів випробовування з дослідженими передовими методами процесами структуроутворення в 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. Вдосконалено уявлення про мікроструктуру високовуглецевого нестабільного аустеніту, який зазнає деформаційного мартенситного перетворення в процесі абразивного зношування у безпосередній близькості від поверхні тертя. Вперше встановлено, що навіть після гранично можливого ступеня наклепу, аустеніт здатен повністю перетворюватися на мартенсит.

2. Уточнено кінетику бейнітного перетворення високовуглецевого нестабільного аустеніту на початкових стадіях. Вперше встановлено, що в сталі із вмістом 1,2 %C, 2,6 %Mn і 1,5 %Si бейнітне перетворення за температури 250⁰C починається раніше, ніж через одну годину ізотермічної витримки.

3. Вперше встановлено, що під час зварювання високовуглецевих низьколегованих сталей необхідно забезпечувати не уповільнене, а прискорене охолодження. Показано, що охолодження зварюваних елементів зі сталі 120Г3С2 у воді під час зварювання забезпечує утворення аустенітного прошарку впритул до границі сплавлення, який запобігає появі тріщин у зоні термічного впливу.

Основний зміст роботи

Дисертація складається з анотацій, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг становить 150 сторінок, у тому числі 130 сторінок основного тексту, 3 таблиці, 62 рисунки, список використаних джерел із 136 найменувань на 15 сторінках та 2 додатки на 5 сторінках.

У *вступі* наведено обґрунтування актуальності теми, викладено мету, завдання роботи і описано застосовані методи досліджень, сформульовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі виконано аналітичний огляд досліджень зносостійкості сталей та чавунів за різних умов інтенсивного механічного зношування та визначено мету та завдання роботи. Визначений механізм руйнування поверхневих шарів сталей та чавунів під час абразивного зношування. Обґрунтовано ефективність нестабільного залишкового аустеніту з великим вмістом вуглецю (більше 1% мас.), який здатний до деформаційного мартенситного перетворення і за умов малоциклового зношування перетворюється в мартенсит деформації в приповерхневих шарах металу і спроможний показувати більшу зносостійкість, ніж мартенсит гартування.

Визначено актуальність дослідження перетворення аустеніту на початкових етапах ізотермічної витримки з метою окреслення мінімально достатнього часу перетворення з точки зору експлуатаційної придатності матеріалу.

Окреслено завдання з вирішення проблем з'єднання загартованих зносостійких високовуглецевих низьколегованих сталей шляхом зварювання без втрати зносостійкості матеріалу як в навколошовній зоні, так і поза її межами.

У другому розділі подано дані про матеріали і методи досліджень, що застосовуються в роботі для досягнення поставлених цілей. Наведено хімічний склад та технологію отримання та обробки досліджуваної сталі 120Г3С2 для набуття нею потрібних властивостей. Зазначені методи та прилади для визначення зносостійкості, мікроструктурного аналізу, механічних випробувань тощо.

У третьому розділі досліджена приповерхнева зона загартованої сталі 120Г3С2 після абразивного зношування. Після гартування в структурі містяться нерозчинені карбіди, залишковий аустеніт, мартенсит. Співставленням дифрактограм матеріалу у вихідному стані і матеріалу зношеної поверхні доведене фазове перетворення аустеніт-мартенсит на поверхні тертя під час абразивного зношування.

Показано, що утворенню суцільного поверхневого шару мартенситу деформації передують значна пластична деформація аустеніту, сліди якої присутні на певній глибині під шаром мартенситу як перехрещені смуги ковзання мікрошліфу.

Доведено, що при абразивному зношуванні високовуглецевої низьколегованої сталі, яку загартовано на залишковий аустеніт, можливо утворення суцільного шару мартенситу деформації. Коміркова субструктура такого мартенситу додатково ускладнює руйнування зміцненої поверхні абразивними зернами.

Встановлено, що бейнітне перетворення починається менше ніж через годину після початку ізотермічної витримки загартованої від 900°C сталі, оскільки вже через 1 годину витримки в структурі спостерігаються множинні виділення бейнітного фериту голчастої морфології, які розташовано біля відпущеного мартенситу.

У четвертому розділі розроблено технологію з'єднання загартованої сталі 120Г3С2 з низьколеговою конструкційною сталлю (на прикладі 09Г2С). Технологічною особливістю є застосування способу зварювання плавленням з прискореним охолодженням зварюваних елементів у воді.

Швидке охолодження зварного з'єднання дозволяє отримати в ЗТВ повністю аустенітну структуру, яка є ідентичною початковій структурі загартованої сталі. Таким чином унеможлиблюється або мінімізується виділення карбідів з аустеніту, що запобігає утворенню мартенситу в ЗТВ. Показано, що після ручного дугового зварювання загартованої на мартеніт сталі 120Г3С2 з прискореним охолодженням у воді структура ЗТВ являє собою поступовий перехід від аустеніту до мартенситу.

Автором показаний позитивний вплив прискореного охолодження при зварюванні на міцність зварних з'єднань і на відсутність виникнення дефектів зварного з'єднання.

У п'ятому розділі досліджено механічні та експлуатаційні властивості комбінованих зварних з'єднань високовуглецевої низьколегованої сталі 120Г3С2 після термічної обробки і сталі 09Г2С, які виконано з прискореним охолодженням.

Проаналізований механізм руйнування загартованої і зневуглецьованої сталі 120Г3С2 при випробуваннях на розтяг.

Для підтвердження отриманих результатів проведено серію випробувань зварних зразків, форма яких відповідає ДСТУ ISO 4136:2014. Отримані дані показують як мінімум удвічі вищі значення міцності зварного з'єднання, ніж міцність основного матеріалу з термообробленої зносостійкої сталі 120Г3С2.

Наведено результати експлуатаційних випробувань броней дробомета, які відновлено зносостійкими накладками із загартованої сталі 120Г3С2 шляхом з'єднання зварюванням. Зносостійкість ремонтних накладок виявилася вищою, ніж сталей 45Г17ЮЗ та 110Г13Л.

Значущість результатів роботи для науки і практики полягає в комплексному аналізі результатів теоретичних розрахунків та практичних експериментів щодо процесів структуроутворення у високовуглецевих сталях з нестабільним аустенітом, який зазнає деформаційного мартенситного перетворення в процесі абразивного зношування.

Результати досліджень можуть бути застосованими для розв'язання низки наукових проблем, наприклад, створення наукових засад локального захисту швидкозношуваних поверхонь великої площини та ін.

Технологія, запропонована автором, апробована ПрАТ «Запоріжтрансформатор» технологію ремонту зношених броней лінії дробометного очищення листового та профільного прокату.

За змістом роботи можна зробити такі зауваження:

1. На ст. 38 зазначено, що: «в результаті досліджень впливу легування на зносостійкість залізовуглецевих сплавів при абразивному зношуванні встановлено, що збільшення вмісту легувальних елементів в принципі знижує зносостійкість». Треба зазначити, що така теза не враховує залізовуглецеві сплави, наприклад чавуни зі спеціальними карбідами в структурі, коли збільшення легування до певної межі навпаки підвищує зносостійкість.
2. Для визначення абразивного зношування застосовувалась методика зношування «стовпом стиснутого карбіду кремнію». На жаль, у роботі не подані параметри такого випробування (швидкість, амплітуда руху, характеристика самого абразивного матеріалу: фракція, спосіб закріплення частинок тощо).
3. При аналізі отриманих результатів і поясненні механізму високої зносостійкості сплаву з нестабільним аустенітом, на мою думку, зовсім не приділено уваги впливу температури в таких процесах. Процес різання, в т.ч. міурорізання абразивом, супроводжується значним підвищенням температур в мікрооб'ємі металу, що є прилеглим до різальної кромки (грані) і безпосередньо сприймає на себе пружно-пластичне деформування від абразиву. Ці температури залежать від багатьох чинників і можуть перевищувати тисячу градусів за Цельсієм. Було б доречними проаналізувати вплив таких температур на перетворення нестабільного аустеніту на мартенсит, які описуються в роботі.
4. Для створення і випробування зварного з'єднання в роботі використовувались електроди «RIK99», натомість точні їхні параметри, характеристики електродного металу, ними отриманого, не наводяться.
5. При визначенні оптимальної методики створення зварного з'єднання термічно обробленої сталі 120Г3С2 для забезпечення високих показників зносостійкості для прискореного охолодження в роботі застосовувалась вода як охолоджувач. Натомість точні дані про необхідну швидкість охолодження (теплівідведення) не наводяться, хоча вони були б більш

доречнішими, наприклад, у випадку застосування цієї технології для габаритного виробу складної конфігурації.

6. У роботі зустрічається незначна кількість орфографічних та стилістичних помилок.

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 викладено в 12 наукових роботах, з яких: 6 публікацій - у фахових виданнях, з яких 1 публікація у журналі, що індексується у НБД Scopus та Web of Science, та 5 публікації у фахових наукових журналах України, 6 тез доповідей на науково-технічних конференціях.

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертація Ю.А. Калініна «Підвищення ресурсу швидкозношуваних деталей зносостійкими накладками з високовуглецевої низьколегованої сталі», подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - матеріалознавство є завершеною науковою роботою, яка у сукупності може бути охарактеризована як успішне вирішення науково-практичної проблеми забезпечення формування потрібних абразивотривких властивостей сплаву 120ГЗС2 і застосуванню розробленої технології для підвищення ресурсу швидкозношуваних деталей.

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, автор дисертації – Калінін Юрій Анатолійович – 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



Підпис	<i>Марченко С.В.</i>
засвідчує	<i>підпис</i>
	відділу кадрів
	<i>Т.М. Крачун</i>



bx N 27 sig 02.10.2020p.