

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Беспалова Сергія Анатолійовича «Структурно-морфологічні принципи зносостійкості та їх реалізація в керуванні працездатністю низьколегованих сталей» подану до захисту у спеціалізовану вчену раду Д 26.062.06 в Національному авіаційному університеті на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

Актуальність обраної теми досліджень та зв'язок її з науковими програмами, планами і темами

Надійність, довговічність та тривалість експлуатації механізмів в більшості випадків пов'язані з трибологічними характеристиками матеріалів елементів рухомих спряжень. Тому на даний час виняткового значення набувають дослідження в галузі трибоматеріалознавства, одним з найважливіших завдань якого є встановлення взаємозв'язку між закономірностями процесів тертя та зношування з триботехнічними властивостями, структурним та фазовим складом матеріалів, керування структуроутворенням та механічними характеристиками з метою зменшення тертя і зносу. Однією з найважливіших проблем при цьому є розроблення принципів створення триботехнічних матеріалів з високою зносостійкістю при експлуатації за умов контактної взаємодії.

Незважаючи на поширення нових матеріалів, сталі посідають важливе місце в сучасних технологіях. Широкий спектр механічних характеристик сталей визначається їхньою мікроструктурою, фазовим складом та станом поверхні, яка формуються при термічній обробці в результаті фазових перетворень та перерозподілу вуглецю і легувальних елементів. Отже при розробленні нових та вдосконаленні існуючих технологій для підвищення зносостійкості сталевих виробів необхідно враховувати процеси трансформування структури під час тертя, а також особливості механізму взаємодії поверхонь виробів при контактній взаємодії.

Необхідно зазначити, що більшість відомих антифрикційних матеріалів розроблено емпіричним шляхом. Але набутий при цьому практичний досвід разом з теоретичними та експериментальними дослідженнями вказують на необхідність врахування не тільки комплексу фізико-механічних властивостей і фазового складу матеріалів з підвищеними трибологічними характеристиками, але й морфологічні особливості будови зміцнювальних фаз, їхній розмір та характеристики розподілу по твердому розчину. Слід зазначити, що дискретність контакту твердих тіл при терті є одним з визначальних факторів для процесів руйнування, які відбуваються на локально навантажених ділянках поверхні.

Враховуючи наведене, тема дисертаційної роботи є актуальною.

Дисертаційна робота виконувалась в Інституті металофізики ім.Г.В.Курдомова НАН України та Технічному центрі НАН України у рамках відомчих бюджетних тем: «Дослідження фізичної природи процесів структуроутворення та фазових переходів у складнолегованих сталях спеціального призначення в нерівноважних умовах» (номер державної реєстрації 0100U001580, 2000-2002 рр.), «Розробка фізичних основ електротермічної обробки малолегованих сталей евтектоїдного складу для рейок високошвидкісних ліній залізничного транспорту» (номер державної реєстрації 0106U000553, 2006-2008 рр.), «Дослідження впливу термічної обробки, холодної пластичної деформації та покриття поверхні на фізичні та медико-технічні властивості сталей та сплавів для імплантантів» (номер державної реєстрації 0107U00078, 2007-2011 рр.), «Особливості структурних станів, які формуються в сплавах при суттєво нерівноважних умовах, їх діагностика і вплив на функціональні та фізико-механічні властивості» (номер державної реєстрації 0107U002113, 2007-2011 рр.), «Технологічні основи одержання багатошарових структур в конструкційних сталях методами швидкісної електротермообробки» (номер державної реєстрації 0110U001583, 2010-2012 рр.); в рамках виконання цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій»: «Розробка наукових засад сучасних методів дослідження і діагностики мезоскопічних систем та створення пристроїв на основі багатокомпонентних металдіелектричних шарів» (номер державної реєстрації 0110U005430, 2010-2014 рр.); в рамках виконання цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми створення нових наноматеріалів і нанотехнологій»: «Розробка фізичних засад та експериментальних основ синтезу багатofункціональних наносистем на базі низьковимірних мезоскопічних структур, які утворюються в металевих та напівпровідникових матеріалах» (номер державної реєстрації 0115U002893, 2015-2019 рр.).

Наукова новизна дослідження й отриманих результатів полягає в розробленні принципів зносостійкості, що враховують зв'язок структурно-фазового та напруженого стану з геометрією контактної взаємодії низьколегованих сталей.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному.

1. Вперше розроблено основні принципи організації мікроструктури сталей з метою покращення їхніх трибологічних властивостей, які враховують морфологічні особливості будови зміцнювальних фаз, їхній розмір і характер розподілу у твердому розчині, а також параметри мікрогеометрії будови поверхні та умови дискретності контактної взаємодії при терті.

2. Вперше встановлено, що для конструкційних сталей 40X та

40ХНМ одним з визначальних факторів у розподілі та величині залишкових напружень, які виникають під час гартування, є вуглець. Ріст температури аустенізації понад 1000 °С сприяє утворенню областей з його підвищеною концентрацією, що призводить до зростання внутрішніх напружень під час мартенситного перетворення та після гартування від 1160 °С є причинами тріщиноутворень. Виявлена зростаюча нерівномірність розподілу вуглецю визначає морфологію утвореного мартенситу, збільшуючи кількість (до 15...17% та 12...14% для сталі 40Х та 40ХНМ відповідно) та розміри кристалів голчастого мартенситу (до 3...5мкм та до 1,5...3,5 мкм в поперечному перерізі для сталі 40Х та 40ХНМ відповідно), що своєю чергою впливає на морфологію карбідної фази після високого відпуску. При цьому при відпуску голчастого мартенситу великих розмірів карбідоутворення проходить в середині кристалів на мікродвійникових межах, утворюючи значні скупчення крупних карбідів (з середнім діаметром 0,12...0,2 мкм) видовженої форми, розмір, форма та місце виділення яких визначає їхню підвищену стійкість до дисоціації при пластичній деформації. Мікроб'єми матеріалу з такою морфологією будови характеризуються наявністю внутрішніх мікроспотворень, які володіють вищими, відносно оточуючої мікроструктури, механічними характеристиками, зокрема мікротвердістю, та стійкістю до руйнування при терті. Така будова мікроструктури дозволяє зменшити до 19% інтенсивність зношування як зразків досліджуваних сталей, так і до 29% спряженого з ним контртіла через зменшення коефіцієнту тертя з 0,199 до 0,164.

3. Вперше виявлено, що морфологія карбідної фази впливає на рівноважну шорсткість, структурно-геометричні параметри та несучу спроможність поверхні тертя сталей, яка формується під час контактної взаємодії, що суттєво позначається на її трибологічних характеристиках. Підвищення температури гартування до 1050 °С сприяє зниженню параметрів шорсткості, а також збільшенню функціональних параметрів несучої спроможності виступів з 10,5 до 16,7% та впадин з 88,3 до 92,8% поверхні тертя відпущеної сталі 40Х порівняно із зразками, загартованими від 860 °С.

4. Вперше показано, що метод склерометрії є чутливим до висококутових та субструктурних меж зерен, а ймовірність виявлення таких фрагментів мікроструктури пов'язана з її розмірними параметрами, рівнем навантаження на індентор та кроком вимірювання. Показано, що цей метод може бути застосований для оцінки величини, знаку та розмірів полів залишкових напружень, які формуються в структурі сталей під час гартування. Оптимальним для проведення склерометричних досліджень сталей 40Х, 40ХНМ та Х6ВФ в загартованому та відпущеному станах визначено навантаження на індентор в 20 г, а для сталі 08Г2С у литому стані – 100 г.

5. Одержали подальший розвиток питання, пов'язані з легуванням сталі 40Х нікелем та молібденом, що гальмує утворення ділянок, збагаченим

вуглецем, із зростанням температури аустенізації. Цей процес супроводжується зниженням рівня внутрішніх напружень під час гартування та відповідно зростанням стійкості сталі 40ХНМ до утворення гартувальних тріщин порівняно зі сталлю 40Х.

6. Набули подальший розвиток питання зв'язку зносостійкості сталей у литому стані з дисперсністю її дендритної структури. Виявлено, що збільшення у 2,5 рази кількості осей дендритів та відповідно зменшення відстані між ними з 500...600 до 200...250 мкм при їхній орієнтації перпендикулярно до поверхні контактної взаємодії сприяє зменшенню на 15,9% масової інтенсивності зношування з $13,7 \cdot 10^{-8}$ до $11,5 \cdot 10^{-8}$ сталі 08Г2С у литому стані, а порівняно з гомогенною структурою на 27,0%.

7. Розвинуто практику використання комп'ютерного моделювання для прогнозування трибологічних властивостей сталей. Шляхом поєднання результатів експериментів та моделювання з використанням інтелектуальних систем на основі штучних нейронних мереж, побудованих на моделі функціоналу на множині табличних функцій, було спрогнозовано зміну функціональних параметрів несучої спроможності поверхні тертя та відповідно до них і трибологічні характеристики відпущеної сталі 40Х залежно від температури її гартування. Встановлено, що відповідно до отриманої моделі найкращі показники зносостійкості досягаються при гартуванні сталі 40Х в температурному проміжку від 1050 до 1100 °С, а найгірші – при 950 °С та понад 1200 °С.

Наукова і практична цінність дисертаційної роботи

Цінним для науки є те, що розроблено принципи зносостійкості, що ґрунтуються на закономірностях зв'язку структуроутворення з геометрією трибологічного контакту. Зазначені принципи реалізовано при цілеспрямованому регулюванні фазового складу конструкційних та інструментальних сталей, що пов'язує елементи мікроструктури зі схемою контактної взаємодії поверхонь твердих тіл при терті та забезпечує високий опір зношуванню та мінімізацію пошкоджуваності поверхонь контакту.

Виявлено, що морфологія карбідної фази сталей є одним з основних факторів, який впливає на рівноважну шорсткість, структурно-геометричні параметри та несучу спроможність поверхні контакту, які формуються при терті та позначаються на їхніх трибологічних характеристиках.

На основі виконаних експериментальних та теоретичних досліджень вирішена проблема підвищення зносостійкості конструкційних сталей, які застосовуються в машинобудуванні.

1. Розроблено технологічні режими термічної обробки для підвищення зносостійкості конструкційних низьколегованих та інструментальних сталей.

2. На підставі дослідження закономірностей впливу температурно-часових умов гартування на структурно-фазовий та напружений стан

покращуваних сталей на Приватному акціонерному товаристві «Київський електровагоноремонтний завод» рекомендовано оптимальні режими термічного оброблення валу вузла малої шестерні тягового редуктора та шестерні компресора ЕК-7 електропоїзда ЕР-9М з метою покращення їхніх експлуатаційних характеристик

Ці наукові результати та методологічні принципи підвищення зносостійкості формують основні підходи та вимоги до організації мікроструктури антифрикційних матеріалів, що мають забезпечувати тривалий термін служби трибосистем, які би пов'язували їхню внутрішню будову з особливостями контактної взаємодії, зокрема її геометрії.

Структура, зміст й оформлення дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, що містять 138 рисунків та 21 таблицю, висновків, списку використаних джерел з 676 позицій (з них 78 латиницею) та 3 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 280 сторінок, а повний обсяг роботи 439 сторінок друкованого тексту.

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, а також визначенні об'єкт та предмет дослідження, сформульовані мета та завдання дослідження, наведено основні напрями вирішення завдань, викладені положення, що визначають наукову новизну і практичну значущість роботи та особистий внесок здобувача, містяться відомості щодо публікацій та апробації результатів роботи.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячений розгляду стану питання, формулюванню мети та завдання досліджень.

Як зауваження до розділу слід віднести наступне.

1. В розділі зроблено аналіз теорій тертя та зношування, зокрема адгезійні теорії Хольма, Боудена-Тейбора, Барвелла та Стронга, енергетична теорія Фляйшера, молекулярно-механічна теорія або теорія втомного зношування І.В.Крагельського, механіко-геометричні теорії тертя та зношування М.М.Хрущова, М.А.Бабічева та Кокса. Але не має посилань на структурно-енергетичну теорію Б.І.Костецького, який своїми працями вніс значний вклад в науку.

У другому розділі викладено методологію досліджень, де описано матеріали та методики досліджень. Вказано на перспективність застосування скетч-метода для оцінки структури матеріалу та залишкових напружень в матеріалі.

Як зауваження до розділу слід віднести наступне.

1. Навантаження на індентор під час склерометричних випробувань автор вимірює в грамах, що не є коректним. Навантаження вимірюється в ньютонках.

Третій розділ присвячений вивченню впливу характеру структуроутворення на зносостійкість конструкційних низьколегованих

сталей. Вивчені шляхи формування будови мікроструктури для підвищення зносостійкості металевих матеріалів. Відзначено, що для забезпечення високої зносостійкості широко використовується принцип Шарпі-Бочвара, який описує особливості розташування фаз в поверхневих шарах антифрикційних сплавів.

Дослідження, виконане в розділі, формулює основні принципи та вимоги до організації зносостійких структур.

1. Початково створена або сформована після припрацювання неоднорідність поверхні матеріалу за механічними характеристиками, розмірами та розподілом повинна відповідати оптимальній схемі контактної взаємодії вузла тертя за даних умов експлуатації.

2. Локальні ділянки мікроструктури з підвищеними механічними характеристиками, які потенційно можуть виконувати роль плям контакту, мають мати високу міцність, тріщиностійкість, в тому числі й по межах твердих фаз з матрицею.

3. Ділянки твердих фаз повинні розташовуватись в оточенні більш м'якої основи, здатної відігравати і демпфуючу роль, забезпечуючи тривалий термін служби трибосистем.

Створена таким чином гетерогенна структура, яка близька до схеми контактної взаємодії, є одним з вирішальних факторів зменшення інтенсивності зношування як зразків, так і контртіла, що підвищує зносостійкість трибосистеми в цілому.

Як зауваження до розділу слід віднести наступне.

Автор формулює гіпотезу, що зносостійкість конструкційних матеріалів залежить від розмірних параметрів мікроструктури та пов'язує мікроструктуру матеріалів зі схемою розташування плям контакту шорстких поверхонь твердих тіл при терті. Але автором не наведено в роботі як вимірювалися, або розраховувалися діаметри плям контакту та їх кількість на поверхні тертя. Які конструктивні, технологічні та експлуатаційні фактори є більш впливовими на величину та кількість плям контакту на поверхні тертя.

Четвертий розділ присвячений впливу характеру структуроутворення на зносостійкість сталей в литому стані. Дослідження проводили на зразках, вирізаних з суцільнокатаного вагонного колеса після відновлення методом електродугового наплавлення сталі 08Г2С під флюсом.

В розділі доведено, що стійкість до зношування зони з орієнтованою структурою знаходиться в прямій залежності від дисперсності первинних кристалітів. Її збільшення у 2,5 рази покращує на 15,9% зносостійкість литої дендритної структури та на 27,0% порівняно з гомогенною. Крім того, немаловажним фактором залишається відстань між об'ємами структури з підвищеними механічними характеристиками.

До недоліків розділу слід віднести.

Випробування на зносостійкість автором проводилися на машині тертя по схемі контакту «диск-колодка» в режимі ковзання. На наш погляд

найбільш доцільною схемою контакту для моделювання взаємодії реборди вагонного колеса з рейкою має бути «диск-диск» в режимі часткового проковзування. Це може суттєво вплинути на результати досліджень.

П'ятий розділ присвячено вивченню впливу характеру структуроутворення на зносостійкість інструментальних сталей. Автор, на основі отриманих результатів, робить висновок, що одним із перспективних шляхів створення більш досконалих конструкційних матеріалів на базі вже існуючих сталей і сплавів заліза вважається застосування інтенсивних методів термічного оброблення з використанням швидкісних нагрівань, які надають можливість отримувати, в умовах швидкісної аустенітизації, так звані, негомогенні стани. Аналіз результатів випробувань на зносостійкість показав перспективність структуроутворення з використанням швидкісних нагрівань.

До зауважень слід віднести недостатність випробувань на тертя та зношування інструментальних сталей з даними, які підтверджують обрану гіпотезу.

У шостому розділі здійснено моделювання трибологічних властивостей сталі 40X шляхом прогнозування функціональних властивостей поверхні моделювання її структурно-геометричних параметрів за допомогою використання штучних нейронних мереж. За допомогою електронно-мікроскопічних та стереометричних досліджень мікротопографії поверхонь контакту показано, що підвищення температури гартування до 1050 °C сприяє зниженню шорсткості та збільшенню несучої поверхні відпущених зразків сталі 40X під час тертя порівняно із зразками, загартованими від 860 °C, що є причиною зменшення коефіцієнту тертя. Встановлено, що морфологія карбідної фази впливає на рівноважну шорсткість, структурно-геометричні параметри та несучу спроможність поверхні сталі 40X, яка формується під час контактної взаємодії при терті.

До зауважень слід віднести наступне. При виборі метода моделювання автором не доведено його перспективність в порівнянні з існуючими. Крім того, в роботі не наведено підтвердження адекватності отриманих результатів моделювання даним експерименту.

Основні наукові положення і висновки дисертації

У дисертаційній роботі вирішено наукову проблему підвищення зносостійкості конструкційних низьколегованих сталей обґрунтуванням принципів побудови їх структури, які враховують зв'язок структурно-фазового та напруженого стану з геометрією контактної взаємодії, що забезпечує підвищення опору зношуванню. Вивчено закономірності впливу характеру структуроутворення на зносостійкість конструкційних та інструментальних сталей, а також обґрунтовано оптимальні режими їхнього термічного оброблення, що відображено у висновках.

Основні висновки дисертаційної роботи містять наукову новизну і практичну значимість, достатньо обґрунтовані і підтверджені теоретично і експериментально.

Перший висновок визначає взаємозв'язки між розподілом інтерметалідів в структурі бабітів з трибологічними характеристиками по відношенню до розмірів та розподілу плям контакту при взаємодії твердих тіл при терті. Апробовано основні принципи організації мікроструктури сталей з високими трибологічними характеристиками, які враховують морфологічні особливості будови зміцнювальних фаз, їхній розмір, характер розподілу у твердому розчині відповідно до параметрів мікрогеометрії будови поверхні, враховуючи умови дискретності контактної взаємодії при терті.

Другим висновком доведено, що одним з визначальних факторів в розподілі та величині залишкових напружень, які виникають під час гартування сталей, є вуглець. Доведено, що ріст температури аустенітизації сприяє утворенню областей з його підвищеною концентрацією, що призводить до зростання внутрішніх напружень під час мартенситного перетворення та є причинами тріщиноутворень.

Третій висновок доводить, що гартування сталей, через зростаючу нерівномірності розподілу вуглецю, сприяє збільшенню кількості кристалів голчастого мартенситу з мікродвійниками всередині. Мікроб'єми матеріалу з такою морфологією будови характеризуються наявністю внутрішніх мікроспотворень, які володіють вищими, відносно оточуючої мікроструктури, механічними характеристиками, зокрема мікротвердістю, та стійкістю до руйнування при терті.

Четвертим висновком встановлено формування після гартування та високого відпуску неоднорідної за будовою та механічними характеристиками поверхні тертя з відстанню 240,0...250,0 мкм між мікроб'ємами мікроструктури з підвищеними механічними характеристиками, що зменшує інтенсивність зношування та коефіцієнту тертя.

П'ятим висновком роботи доведено, що подальше збільшення температури гартування призводить до утворення ще більшої нерівномірності розподілу вуглецю з ще більшими кристалами голчастого мартенситу. Але при цьому значно збільшується відстань між мікроб'ємами матеріалу з підвищеними механічними характеристиками та зменшується їхня кількість на поверхні тертя, що знижує стійкість до зношування.

Шостим висновком доведено, що легування сталі 40X нікелем та молібденом із зростанням температури аустенітизації гальмує утворення ділянок, збагачених вуглецем, що сприяє утворенню меншої кількості та менші розміри кристалів голчастого мартенситу, меншою відстанню після гартування між мікроб'ємами мікроструктури з підвищеними механічними характеристиками. Це обумовлює меншу гетерогенність поверхні контакту, менший приріст зносостійкості.

Висновок сьомий доводить, що у формуванні литої структури з високими трибологічними характеристиками відіграють умови її кристалізації. Це забезпечується за рахунок утворення дендритної структури при формуванні неоднорідної, за механічними характеристиками поверхні тертя, шляхом чергування феритних ділянок та ділянок з підвищеним вмістом вуглецю.

Висновок восьмий встановлює, що швидкісна електротермічна обробка сталей дозволяє зберегти гетерогенність їхньої мікроструктури та отримати на міжфазних межах «тугоплавкий карбід-матриця» дисперсний мартенсит, що сприяє зміцненню зазначених міжфазних меж та підвищити до 2,2 разів трибологічні характеристики матеріалів. Подальше збільшення температури гартування призводить до дисоціації тугоплавкої карбідної фази та утворенню на її місці дисперсного легovanого мартенситу, який за твердістю незначно перевищує твердість основного мартенситу, що зменшує гетерогенність структури, знижує механічні характеристики та опір зношуванню сталей.

Дев'ятий висновок доводить, що метод склерометрії є чутливим до висококутових та субструктурних меж зерен, а ймовірність виявлення таких фрагментів мікроструктури пов'язана з її розмірними параметрами, рівнем навантаження на індентор та кроком вимірювання. Крім того, цей метод може бути застосований для оцінки величини, знаку та розмірів полів залишкових напружень, які формуються в структурі сталей після гартування.

Висновок десятий доводить поєднанням результатів експериментів та моделювання з використанням інтелектуальних систем на основі штучних нейронних мереж. Спрогнозовано зміну функціональних параметрів несучої спроможності поверхні тертя та відповідно до них і трибологічні характеристики відпущеної сталі 40X залежно від температури її гартування. Встановлено, що відповідно до отриманої моделі найкращі показники зносостійкості досягаються при гартуванні сталі 40X в температурному проміжку від 1050 до 1100 °C, а найгірші – при 950 °C та понад 1200 °C.

Висновком одинадцятим запропоновано рекомендації з підвищення зносостійкості шляхом оптимізації режимів термічного оброблення валу вузла малої шестерні тягового редуктора та шестерні компресора ЕК-7 електропоїзда ЕР-9М на ПрАТ «Київський електровагоноремонтний завод».

Загальні зауваження до дисертаційної роботи

1. Перший розділ дисертаційної роботи викладено як підручник, чи навчальний посібник. Бажано було зробити аналіз наукових робіт з обраної теми та після кожного підрозділу, як висновок, сформулювати завдання досліджень.

2. Огляд літературних джерел з обраної теми дослідження містить 676 джерел, з яких 78 є науковими роботами закордонних вчених на англійській мові. На наш погляд цього недостатньо. Причому, публікації

1960-1980 років є не актуальними. На наш погляд «глибина пошуку» для докторської дисертації не повинна перевищувати 30 років.

3. В дисертаційній роботі відсутній підрозділ з розрахунку економічного ефекту від впроваджених розробок.

Зміст дисертації та її завершеність в цілому

Дисертація містить сім розділів, висновки, додатки, список використаних джерел. Робота викладена технічно-грамотною і зрозумілою мовою з фотографіями, графіками, схемами і рисунками, які підтверджують вирішення поставлених завдань. Оцінюючи викладення матеріалу можна зробити висновок, що всі поставлені завдання в першому розділі дисертації вирішені в наступних розділах і знайшли повне відображення в висновках. За обсягом виконаних досліджень роботу можна вважати завершеною, яка має наукову новизну та практичну значимість.

Зміст автореферату дисертації відповідає змісту дисертації та не містить в собі результати кандидатської дисертації автора.

Повнота опублікування матеріалів дисертації

Основні результати дисертації опубліковані в 42 наукових працях, включаючи 24 статті у наукових фахових виданнях, з яких 12 входять до наукометричних баз даних Scopus та/або Web of Science, 2 патенти України, 16 тез доповідей на конференціях різного рівня.

Загальний висновок по дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Беспалова Сергія Анатолійовича «Структурно-морфологічні принципи зносостійкості та їх реалізація в керуванні працездатністю низьколегованих сталей» є закінченою науковою працею, де отримані нові, науково-обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, які забезпечують підвищення зносостійкості конструкційних низьколегованих сталей обґрунтуванням принципів побудови їх структури, та враховують зв'язок структурно-фазового та напруженого стану з геометрією контактної взаємодії, що забезпечує підвищення опору зношуванню.

Напрямок проведеного дослідження відповідає паспорту спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Аналіз дисертаційної роботи дозволяє стверджувати, що робота вирішує наукове завдання – розроблення принципів зносостійкості, що ґрунтуються на закономірностях зв'язку структуроутворення з геометрією контакту взаємодії та їх реалізація в керуванні працездатністю низьколегованих сталей при обґрунтуванні оптимальних режимів термічного оброблення, що є суттєвим для галузі науки, яка займається проблемами

тертя та зношування в машинах.

Викладене вище дозволяє стверджувати, що робота Беспалова С.А. «Структурно-морфологічні принципи зносостійкості та їх реалізація в керуванні працездатністю низьколегованих сталей» відповідає вимогам МОН України до докторських дисертацій, паспорту спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри транспортних технологій і логістики
Харківського національного технічного
університету сільського господарства
імені Петра Василенка,
доктор технічних наук, професор

В.А. Войтов

