

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**

на дисертаційну роботу **Кононенко Ганни Андріївни**  
«Розвиток наукових основ розробки хімічного складу та параметрів  
термічної обробки для підвищення довговічності залізничних коліс», що  
представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за  
спеціальністю 05.02.01 «Матеріалознавство»

**1. Актуальність роботи**

Сучасні тенденції розвитку залізничних вантажних перевезень пов'язані зі збільшенням навантаження на вісь, що має підвищити конкурентоспроможність вітчизняних залізниць, підвищити прибутковість перевезень. В свою чергу, збільшення навантаження на вісь може призвести до виникнення небажаних експлуатаційних дефектів залізничних коліс, наприклад підвищення їх зношуваності та зменшення ресурсу експлуатації. Для забезпечення високої надійності та довговічності залізничних коліс, необхідна розробка технології виготовлення нових коліс, які відповідають сучасним умовам експлуатації. Матеріалознавчими аспектами формування властивостей є в першу чергу хімічний склад сталі та структурний стан, який формується під впливом деформаційної та термічної обробки. Тому дисертаційна робота Кононенко Ганни Андріївни, яка спрямована на розвиток і впровадження теоретичних, методичних і технологічних основ розробки хімічного складу сталі, що ґрунтуються на подальшому розвитку теорії міжатомної взаємодії елементів, а також на вдосконаленні режиму термічної обробки коліс для підвищення їх зносостійкості й опору утворенню дефектів термічного походження на поверхні кочення обода колеса є актуальною.

**2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій**

Основні наукові положення дисертації, висновки та рекомендації у достатній мірі обґрунтовані та не суперечать загальноприйнятим науковим положенням. Для вирішення поставлених завдань в роботі були використані сучасні методи досліджень, у тому числі математичне моделювання; експериментальні дослідження й промислові випробування результатів розрахунків та розроблених технічних рішень. Для аналізу отриманих результатів використані методи статистичної обробки експериментальних даних. Достовірність наукових положень підтверджується апробацією результатів на міжнародних науково-технічних конференціях, отриманням за результатами досліджень патентів.

**3. Наукова новизна отриманих результатів**

Результати дисертаційної роботи є теоретичним узагальненням нових наукових підходів до вирішення наукової проблеми, що полягає у підвищенні

Всес. № 94-05/45

8.04.2021

стійкості до утворення експлуатаційних дефектів і механічних властивостей залізничних коліс на основі розвитку наукових положень про закономірності впливу хімічного складу і структурного стану сталей на комплекс їх службових та експлуатаційних властивостей.

До найбільш важливих наукових положень, розроблених автором дисертації слід віднести наступні:

1. Вперше встановлено закономірності фазових перетворень при безперервному охолодженні сталі хімічного складу (% мас.): 0,68 C, 0,49 Si; 0,7 Mn; 0,77 Cr; 0,22 Ni; 0,069 Mo; 0,087 V для залізничних коліс класу D відповідно до вимог стандарту AAR M-107/M-208. Визначено інтервали швидкостей охолодження, в межах яких спостерігається зміна закономірностей структуроутворення при розпаді аустеніту. Встановлено, що при швидкостях охолодження до 1 °C/c формується повністю перлітна структура, при швидкості охолодження 2 °C/c кінцева структура складається з 15% перліту, 25% бейніту, решта – мартенсит і залишковий аустеніт; при швидкостях охолодження 5 °C/c та більше розпад аустеніту проходить з утворенням мартенситу й залишкового аустеніту.

2. Отримали подальший розвиток наукові уявлення про закономірності формування однорідної мікроструктури в ободі залізничного колеса при термічній обробці. Визначені кількісні значення миттєвої швидкості охолодження по перерізу ободів коліс зі сталей при вмісті вуглецю (0,48...0,71) %, мас., які складають (2...20) °C/сек. При цих умовах охолодження забезпечується формування заданого рівня твердості та однорідного ферито-перлітного структурного стану з урахуванням впливу хімічної мікронеоднорідності, яка утворюється при кристалізації сталі.

3. Отримали подальший розвиток наукові уявлення про закономірності впливу хімічного складу та термічної обробки на механічні властивості сталей для залізничних коліс. Розроблена прогнозна модель з застосуванням параметрів міжатомної взаємодії, яка має малу параметричність, високу точність та може бути використана при виборі раціонального вмісту хімічних елементів для забезпечення необхідних механічних властивостей сталей для залізничних коліс.

4. Вперше встановлені закономірності комплексного впливу вмісту марганцю та кремнію при вмісті вуглецю (0,55...0,60)%, мас. в сталях для залізничних коліс на довговічність цих виробів. Показано, що при виконанні нерівностей  $0,8 \leq \frac{Si}{Mn} \leq 1,0$  і  $1,6 \leq Si + Mn \leq 1,8$  за вмістом кремнію та марганцю забезпечується максимальна стійкість залізничних коліс до утворення на поверхні кочення вищербин термічного походження.

5. Отримали подальший розвиток уявлення про вплив мікролегування і неметалевих включень TiC(N) на механічні властивості вуглецевих сталей з вмістом вуглецю 0,55-0,60%, мас. Встановлено, що при мікролегуванні системою (Al-Ti-N) формуються часточки TiC(N), а у прилеглих до них зонах



сталі відбувається зменшення вмісту вуглецю. Ймовірно, цим забезпечується підвищення характеристик пластичності сталі для залізничних коліс.

6. Отримали подальший розвиток уявлення про стримуючий вплив тугоплавких дисперсних включень на ріст дійсного зерна при високотемпературних витримках. Встановлено, що у вуглецевих сталях з вмістом вуглецю (0,55...0,60)% мас. та системою мікролегування (Al-Ti-N) при витримці при температурі 1260 °С протягом 2 годин розмір зерна збільшився лише в 3-4 рази, в той час, як для сталі без такого мікролегування – у 8-14 разів; при цьому кількість та розміри часточок TiC(N) значно не змінилися.

7. Вперше встановлено негативний вплив структурної неоднорідності у вигляді ділянок з бейнітною структурою (до 15%) на в'язкість руйнування  $K_{IC}$  вуглецевої сталі для залізничних коліс (C~0,47% мас.). Показано, що присутність у структурі сталі бейніту в кількості від 10 до 15% призводить до зниження в'язкості руйнування  $K_{IC}$  на 26-40% відповідно у порівнянні з цією характеристикою для сталі з рівномірною ферито-перлітною структурою (підвищення кількості бейніту в структурі в середньому на 1% викликає зниження в'язкості руйнування на 2,7%).

**4. Практичне значення отриманих результатів.** При особистій участі автора розроблено та впроваджено у промислове виробництво:

- рекомендації щодо вдосконалення технології термічного зміцнення залізничних коліс для формування однорідної ферито-перлітної структури по перерізу обода колеса зі сталей різного хімічного складу, що дозволить зменшити витрати на додаткову механічну та повторну термічну обробку цих виробів. Результати захищені патентом України UA 115114 від 17.10.2016 і впроваджені у виробництво на ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» (акт впровадження від 02.03.2018 р.);

- хімічний склад сталі та температурно-часові параметри термічної обробки коліс, що в сукупності забезпечило отримання високого комплексу механічних властивостей дослідних коліс класу D відповідно до вимог стандарту AAR M-107/M-208. Результати порівняльних випробувань зразків з коліс класу D та коліс класу C на стійкість до зношування та відшарування показали, що метал дослідних коліс класу D має більшу стійкість до відшарування на 65%, а стійкість до зношування – на 10 %. Результати захищені патентом України на винахід UA 118143 від 24.07.2017 і впроваджені у виробництво на ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» (акт впровадження від 20.01.2017 р.);

- хімічний склад сталі та температурно-часові параметри термічної обробки коліс, що в сукупності забезпечили отримання високого комплексу механічних властивостей дослідних коліс класу D+ відповідно до вимог стандарту AAR M-107/M-208 та додаткових вимог TTCI (AAR's Transportation Technology Center Incorporated): твердість на поверхні 360-420 HB, відносне подовження при (-40)°C  $\geq 15\%$ . В умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»

виготовлена дослідна партія залізничних коліс, які успішно пройшли експлуатаційні випробування на полігоні ТТСІ;

- хімічний склад нової сталі марки «А» для залізничних коліс з обмеженим вмістом вуглецю до 0,60 %, мас., з (0,8...0,9) % кремнію, (0,9...1,0) % марганцю, мікролегуванням системою (Al-Ti-N) та запропоновано параметри термічної обробки, що забезпечують твердість  $\geq 300$  НВ, границю міцності  $\geq 1100$  МПа, відносне видовження  $\geq 12\%$ , відносне звуження  $\geq 22\%$ . Розроблено проєкт технічних умов ТУ У 30.2-23365425-715:2020 «Колеса суцільнокатані діаметром 957мм з підвищеною експлуатаційною надійністю» на дослідно-промислову партію коліс, виготовлених із сталі марки «А»;

- спосіб визначення швидкостей охолодження, при яких формується певний структурний стан та рівень твердості сталі. Відповідно до цього способу проводять випробування дослідного зразка на прогартовуваність (ГОСТ 5657) методом торцевого гартування (за методом Джоміні), визначають закономірність зміни твердості та структури від відстані до поверхні, з якої виконували однобічне охолодження. У другий ідентичний зразок з тієї ж сталі на попередньо визначеній відстані, на якій структурний стан та твердість відповідають вимогам, встановлюють термопари та проводять охолодження в тих самих умовах, як і для першого зразка, із записом зміни температури під час охолодження (заявка на патент № 202003311 від 01.06.2020 р.).

## **5. Загальна характеристика роботи**

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку літературних джерел і 3 додатків. Повний обсяг роботи складає 356 сторінок, в тому числі: 274 сторінок основного тексту, 175 рисунків, 51 таблиця, список використаних джерел з 171 найменування на 17 сторінках, 3 додатки на 23 сторінках.

Структура роботи відповідає загальноприйнятому підходу до побудови дисертаційних робіт. Матеріали проведених досліджень та теоретичного обґрунтування викладені з дотриманням логіки і в достатньому ступеню аргументовані. Загальне оформлення роботи в цілому відповідає вимогам, які висувають до дисертаційних робіт. Автореферат достатньо повно відображує зміст дисертації.

Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство».

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульована мета і визначені основні задачі дослідження, розглянуті об'єкт, предмет і методи досліджень, наукова новизна та практичне значення роботи, визначено особистий внесок здобувача, представлені відомості про публікації та апробацію основних результатів роботи, наведено дані щодо структури та обсягу дисертації.



**У першому розділі** виконаний аналіз літературних джерел з тематики: аналіз впливу вмісту хімічних елементів та структурного стану на показники механічних властивостей і експлуатаційної довговічності, теорії зміцнення сталі за різними механізмами; сучасні тенденції підвищення якості залізничних коліс, перспективні вимоги до залізничних коліс. В результаті аналізу літератури були сформульовані мета та задачі досліджень, а також актуальність наукових і практичних проблем.

**У другому розділі** наведені матеріали та методики досліджень, які були використані при виконанні досліджень. Матеріалом досліджень були низько- та мікролеговані сталі для залізничних коліс з різними системами легування лабораторного і промислового способів виробництва. Описані методики дослідження мікроструктури та механічних досліджень, випробувань на стійкість до зношування, визначення припустимого інтервалу швидкостей охолодження та кінетики розпаду аустеніту при безперервному охолодженні.

**У третьому розділі** представлена методика визначення перспективних легуючих і мікролегуєчих елементів та необхідного їх вмісту для цілеспрямованого формування підвищених механічних властивостей залізничних коліс. З застосуванням квазіхімічного методу визначено межу розчинності вуглецю, марганцю і кремнію в фериті, аустеніті та цементиті сплаву системи Fe-C-Mn-Si. Встановлено, що максимальна розчинність цих елементів менша в порівнянні з їх розчинністю в відповідних бінарних системах. Встановлено закономірності впливу хімічного складу сталей для залізничних коліс на їх механічні властивості. Визначено діапазони зміни вмісту хімічних, що забезпечують необхідні службові та експлуатаційні властивості залізничних коліс, обґрунтовано ефективність мікролегування сталі для залізничних коліс ванадієм з метою підвищення їх характеристик міцності.

**У четвертому розділі** представлені результати розробки хімічного складу сталі та технологічних параметрів термічного зміцнення залізничних коліс для різних умов експлуатації. За допомогою прогнозу моделі, заснованої на встановленому зв'язку механічних властивостей з параметрами міжатомної взаємодії та узагальнення літературних даних випробувано кілька варіантів хімічного складу дослідних сталей лабораторного способу виготовлення, надані рекомендації для промислового випробування та випущені дослідні залізничні колеса, для різних умов експлуатації: з підвищеною стійкістю до зношування, які працюють в легких умовах гальмування при високих навантаженнях; з підвищеною стійкістю до зношування, які експлуатуються при високих навантаженнях за низьких температур; з підвищеною стійкістю до утворення експлуатаційних дефектів при підвищених навантаженнях та складних умовах гальмування.

У п'ятому розділі досліджено особливості кінетики розпаду аустеніту вуглецевих та низьколегованих сталей для залізничних коліс, науково обґрунтовано необхідність застосування регульованого охолодження при термічній обробці залізничних коліс залежно від хімічного складу сталей.

Встановлено, що коливання хімічного складу в межах марочного складу впливає на кінетику розпаду аустеніту та кінцевий фазовий склад та механічні властивості. Показано, що структурна неоднорідність призводить до зниження ударної в'язкості та ударної в'язкості сталей для залізничних коліс.

Експериментально визначені гранично припустимі швидкості охолодження поверхні кочення і мінімально необхідні швидкості охолодження центральних ділянок ободу залізничного колеса для досягнення високого рівня твердості та утворення однорідної мікроструктури.

Показано, що для досягнення рівномірного структурного стану за перетином ободу залізничних коліс необхідне застосування диференційованого охолодження при термічній обробці, оскільки при існуючій технології не забезпечується охолодження з оптимальними швидкостями.

## **6. Повнота відображення у опублікованих роботах основних наукових та практичних результатів дисертації**

Основний зміст дисертації достатньо повно представлені автором в 48 наукових працях: з них 1 монографія, 14 статей – в журналах, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 15 – у фахових виданнях, що відповідають переліку ДАК МОН України, 16 матеріалах наукових конференцій, 2 патентах України

Опубліковані наукові роботи, в цілому, відповідають темі дисертації, розкривають основні положення і в достатній мірі представляють отримані автором результати. Кількість і склад публікацій відповідає вимогам Державної атестаційної комісії МОН України, що пред'являються до дисертаційних робіт.

## **7. Основні зауваження по дисертаційній роботі**

В цілому дисертація Кононенко Г.А. за актуальністю теми, ступенем обґрунтованості наукових положень, теоретичною і практичною цінністю повністю відповідає вимогам стосовно докторських дисертацій, але вважаю за потрібне висловити деякі зауваження:

1. Властивості сталей при зміні їх хімічного складу та режимів термічної обробки забезпечуються кінцевою мікроструктурою: характером розподілу фаз, складом, розміром, дисперсністю карбідної фази. Нажаль в роботі майже не наведено визначення цих характеристик.

2. В роботі неодноразово наголошується, що нові колеса матимуть підвищену довговічність. Оскільки колеса експлуатуються при циклічних



навантаженнях, то довговічність в першу чергу має характеризуватись втомною міцністю. Але вказані характеристики в роботі не досліджувались.

3. Нажаль автор у дисертації майже не використовує просвітлюючу та растрову електронну мікроскопію, методи рентгеноструктурного та рентгеноспектрального аналізу для визначення складу фаз, характеру розподілу елементів, хімічної мікронеоднорідності досліджуваних сталей.

4. Одним із важливих досягнень роботи є побудова термокінетичної діаграма розпаду аустеніту запропонованої сталі. Але нажаль автором не наведено як запропоновані режими термічної обробки нової сталі співвідносяться з отриманою ТКД. Було б доцільно дослідити вплив попередньої гарячої пластичної деформації на зсув температур фазових перетворень та особливостей формування мікроструктури цих сталей.

5. В роботі наводяться результати досліджень механічних властивостей лабораторних плавок сталей дослідного хімічного складу, з аналізу яких автор робить рекомендації для промислового випробування. Вважаю, що такі рекомендації потребують більш детального пояснення, оскільки в табл. 4.3 (стор. 143) різниця між властивостями незначна і вибір не такий очевидний, а в підрозділі 4.2 рекомендований хімічний склад (с.180) не співпадає з жодним з досліджуваних (табл. 2.1, стор. 77).

6. В дисертації та авторефераті є неточності та помилки: на с.22 автореферату рис. 12, а – не повністю відображається легенда з умовними позначеннями, у розділі 5 зустрічається незрозуміле скорочення «ВГМ», яке мало б бути поясненим.

#### **8. Висновок про відповідність дисертації вимогам п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567**

Представлена дисертація Кононенко Ганни Андріївни «Розвиток наукових основ розробки хімічного складу та параметрів термічної обробки для підвищення довговічності залізничних коліс» є закінченою науковою працею, в якій отримані нові наукові та експериментально обґрунтовані результати, за допомогою яких запропоновано нове вирішення актуальної науково-практичної проблеми підвищення довговічності (стійкості до утворення експлуатаційних дефектів) і механічних властивостей залізничних коліс на основі розвитку наукових положень про закономірності впливу хімічного складу і структурного стану сталей на комплекс їх службових та експлуатаційних властивостей.

Наукова новизна та практичні результати, які винесені на захист, відповідають темі та меті дисертаційної роботи, а сама дисертація виконана на

достатньо високому науково-технічному рівні. Текст дисертації викладений з використанням сучасної науково-технічної термінології.

Результати досліджень в достатній мірі проілюстровані та доповнені таблицями. Загальні висновки відповідають результатам досліджень. Основні і найбільш важливі положення дисертаційної роботи у повній мірі представлені в публікаціях автора.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство» (п.п. 1, 2, 3, 8).

Вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 р. за № 656 та від 30.12.2015 р. за № 1159, а її автор, **Кононенко Ганна Андріївна**, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство».

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри Матеріалознавства  
та обробки матеріалів  
ДВНЗ «Придніпровська державна  
академія будівництва та архітектури»  
доктор техн. наук, доцент

Підпис В.М. Волчука засвідчує  
Учений секретар ДВНЗ ПДАБА



Волчук В.М.

Гайдар А.М.