

До Спеціалізованої Вченої ради Д 08.085.02  
при Державному вищому навчальному закладі  
«Придніпровська державна академія  
будівництва та архітектури»

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Кононенко Ганни Андріївни “Розвиток наукових основ розробки хімічного  
складу та параметрів термічної обробки для підвищення довговічності  
залізничних коліс”, представленої до захисту на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство

### Актуальність теми дисертації.

Економічне зростання країни неможливе без розвитку транспортної інфраструктури і логістичних процесів, зокрема перевезень залізничним транспортом. В умовах зростання швидкостей руху, обсягу перевезень це висуває нові вимоги до якості, надійності і терміну експлуатації рухомого складу і його основних агрегатів і деталей. Значною мірою це відноситься до забезпечення високих експлуатаційних властивостей коліс вантажних та пасажирських вагонів. Адже зазначені вище процеси, а також збільшення навантаження на вісь, маси і довжини поїздів та, треба визнати, погіршення їх технічного стану, призводять до зниження експлуатаційної стійкості і терміну служби коліс, зростання схильності до утворення дефектів. Проблема підвищення властивостей коліс має декілька складових, серед яких надзвичайно важливим і ефективним напрямком є забезпечення високих механічних і функціональних властивостей колісних сталей. Останнє можливе лише при застосуванні підходів, що базуються на оптимальному поєднанні комплексу факторів «склад-структура-технологія-властивості». Незважаючи на великий обсяг досліджень і прикладних розробок такий підхід залишається не реалізованим повною мірою.

Кононенко Г.А. зосередила увагу на створенні наукових основ керованого структуроутворення низьколегованих колісних сталей з високими властивостями на основі комплексних досліджень та обґрунтування хімічного складу сталей, методів та режимів термічної обробки, застосування яких забезпечує новий рівень механічних властивостей матеріалу та експлуатаційних властивостей виробів. Саме тому дане дисертаційне дослідження, спрямоване на вирішення зазначеної проблеми, безумовно є актуальним.

### Оцінка змісту дисертації.

Дисертація має обсяг основної частини 293 сторінки, складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків та переліків джерел посилання з 171 найменування, містить 3 додатки. Основний зміст роботи ретельно і вірно відображений у авторефераті.

*Doc. N 37-05/61*  
*12.04.2021*

Дисертація має струнку загальну структуру, логічно побудована і являє собою комплексну роботу, яка містить результати теоретичних і експериментальних досліджень від аналізу факторів, що впливають на властивості колісних сталей, процесів і закономірностей міжатомної взаємодії елементів, структуроутворення та властивостей сталей при легування та термічній обробці до розробки і обґрунтування хімічного складу сталей, при якому досягається високий рівень механічних та експлуатаційних характеристик, розробки режимів термічної обробки та результати промислових випробувань.

У першому розділі дисертації виконаний ґрунтовний аналіз впливу вмісту хімічних елементів та структурного стану на показники механічних властивостей сталей і експлуатаційної довговічності коліс, механізмів зміцнення сталі та утворення дефектів при експлуатації. Розглянуто сучасні тенденції підвищення якості залізничних коліс. Аналіз результатів сучасних наукових та прикладних досліджень визначення хімічного складу, процесів формування структури колісних сталей, впливу технологічних параметрів термічної обробки на якість матеріалів дозволив виявити основні досягнення, протиріччя та проблеми, обґрунтовано визначити напрямки та задачі дисертаційного дослідження.

У другому розділі обґрунтовується методологія досліджень для вирішення поставлених завдань та досягнення основної мети. Використано комплекс методів і методик досліджень – хімічний, мікрорентгеноспектральний, фазовий, диференціальний термічний та дилатометричний аналізи, оптична та електронна мікроскопія, механічні випробування у широкому інтервалі температур, випробування на зношуваність. Позитивною рисою дисертації є те, що автор обрав комплекс методів теоретичних та експериментальних досліджень таким чином, щоб отримані результати дозволили з високим ступенем вірогідності прогнозувати процеси структуроутворення, формування властивостей матеріалу, а також показники якості виробів.

Третій розділ дисертації присвячений обґрунтуванню вибору ефективних легуючих і мікролегуючих елементів, які забезпечують необхідні механічні властивості. Визначено межі розчинності вуглецю, марганцю і кремнію в фериті, аустеніті та цементиті сплаву системи Fe-C-Mn-Si. Виконано обчислювальні експерименти, результатом яких є визначення діапазонів вмісту хімічних елементів матричної системи, за яких забезпечується високий рівень механічних та експлуатаційних властивостей сталей та залізничних коліс.

Результати досліджень, наведені у четвертому розділі, логічно пов'язані з результатами досліджень у попередньому розділі роботи. Розроблено і обґрунтовано хімічний склад колісних сталей, режими термічної обробки залізничних коліс з підвищеною стійкістю до зношування, які працюють у різних умовах гальмування та при різних навантаженнях на вісь. Хімічний склад сталей обґрунтовано з використанням розробленої моделі, що пов'язує параметри міжатомної взаємодії та розчинності вуглецю, марганцю та кремнію в  $\alpha$ -,  $\gamma$ -залізі та цементиті. Розроблено температурно-часові параметри

термічної обробки сталей запропонованого хімічного складу. Представлено результати досліджень впливу швидкості охолодження, температури та тривалості відпуску на формування мікроструктури і механічних властивостей низьколегованих дослідних сталей. Доведено, що зносостійкість сталей дослідного складу значно перевищує зносостійкість сталі марки 2.

У наступному розділі дисертації, найбільшому за обсягом, обговорюються результати досліджень впливу параметрів термічної обробки на структуру, фазовий склад та властивості колісних сталей. 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 кожної марки сталі існує індивідуальний інтервал швидкостей охолодження при термічній обробці, при якому забезпечується виконання вимог до мікроструктури (відсутність голчастих структур мартенситу, бейніту, відманштетту) та твердості. Розроблено і обґрунтовано спосіб визначення швидкості охолодження сталі, застосування якого на практиці дозволяє прогнозувати режимів термообробки готового виробу. Доведено, що для досягнення рівномірного структурного стану за перетином ободу для колісних сталей необхідне застосування диференційованого охолодження при термічній обробці. Проведено опробування способу та режимів термічної обробки у промислових умовах, результати якого підтвердили вірність основних висновків.

#### Наукова новизна результатів.

Серед результатів, які отримані при виконанні досліджень і, безумовно, мають наукову новизну, слід зазначити наступне:

- визначені кількісні значення миттєвої швидкості охолодження по перерізу ободів коліс – від 2 до 20 К/с - зі сталей при вмісті вуглецю (0,48...0,71) %, при яких забезпечується формування заданого рівня твердості та однорідного ферито-перлітного структурного стану з урахуванням впливу хімічної мікронеоднорідності, яка утворюється при кристалізації;

- встановлено закономірності фазових перетворень при безперервному охолодженні сталі з хімічним складом 0,68 C, 0,49 Si; 0,7 Mn; 0,77 Cr; 0,22 Ni; 0,069 Mo; 0,087 V. Визначено інтервали швидкостей охолодження, в межах яких спостерігається зміна процесів структуроутворення при розпаді аустеніту. Доведено, що при швидкості охолодження до 1 К/с формується повністю перлітна структура, після охолодження зі швидкістю 2 К/с структура складається з 15% перліту, 25% бейніту, мартенситу і залишкового аустеніту, при швидкостях охолодження 5 К/с і вище розпад аустеніту проходить з утворенням мартенситу й залишкового аустеніту;

- з використанням розробленої моделі, у якій використовуються параметри міжатомної взаємодії, та експериментально визначені закономірності впливу хімічного складу сталей на їх механічні властивості.

Доведено адекватність моделі і можливість прогнозування властивостей при її застосуванні;

- встановлені закономірності комплексного впливу вмісту марганцю та кремнію при вмісті вуглецю (0,55...0,60)% в колісних сталях на довговічність коліс. Доведено, що при виконанні співвідношень  $0,8 \leq Si/Mn \leq 1$  і  $1,6 \leq Si + Mn \leq 1,8$  досягається максимальна стійкість залізничних коліс до утворення на поверхні кочення дефектів термічного походження;

- встановлено, що у сталях з вмістом вуглецю (0,55...0,60)% при мікролегуванні системою Al-Ti-N стримується ріст зерна. Після витримки при температурі 1260 °C протягом 2 годин розмір зерна збільшився лише в 3-4 рази, в той час, як для сталі без мікролегування – у 8...14 разів;

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

Новизна результатів вірно відображена у висновках дисертації.

#### Практична цінність результатів дисертації.

Результати дисертаційного дослідження є важливими і у прикладному плані.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень, встановлених закономірностей:

- розроблено рекомендації щодо вдосконалення технології термічного зміцнення залізничних коліс, при застосуванні якої забезпечується формування однорідної ферито-перлітної структури по перерізу обода колеса зі сталей різного хімічного складу. Спосіб термічного зміцнення захищено патентом України і впроваджено у виробництво на ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» (акт впровадження від 02.03.2018);

- розроблено хімічний склад сталі, захищений патентом України, та температурно-часові параметри термічної обробки коліс, що в сукупності забезпечило отримання високого комплексу механічних властивостей дослідних коліс класу D відповідно до вимог стандарту ААР М-107/М-208. Стійкість до зношування та відшарування сталей дослідних коліс класу D має на 10 % та 65%, відповідно, вища за ці характеристики коліс класу С. Результати впроваджені у виробництво на ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» (акт впровадження від 20.01.2017);

- розроблено 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;

- визначені раціональні режими і розроблено методика порівняльних досліджень на стійкість до зношування та відшарування під навантаженням металу коліс класів C і D, виготовлених за стандартом AAR M-107/M-208. Методику випробувань узгоджено через Rusin Consulting Ltd з Association of American Railroads;

- розроблено спосіб визначення швидкостей охолодження сталей, при яких формується певний структурний стан та рівень твердості;

Важливим вважаю також, що результати досліджень впроваджуються в навчальний процес в Національній металургійній академії України, Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара, Придніпровській державній академії будівництва та архітектури при підготовці бакалаврів, магістрів, аспірантів за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

#### Достовірність та обґрунтованість результатів.

Використання комплексу сучасних та взаємодоповнюючих методів вивчення структури й властивостей матеріалів, хороша кореляція даних забезпечують високу достовірність отриманих результатів.

Наукові положення, висновки та рекомендації, розвинуті у дисертації, добре обґрунтовані, базуються на глибокому аналізі явищ та процесів, що досліджуються, проведеному на сучасному рівні комплексі теоретичних та експериментальних досліджень, підтверджені практичною реалізацією результатів роботи.

Висновки, що сформульовані в роботі, не суперечать класичним уявленням щодо формування структури та властивостей залізовуглецевих сплавів.

#### Зауваження до дисертації.

Відзначаючи хороший рівень роботи, наукове та прикладне значення результатів доцільно зробити деякі зауваження:

- при дослідженні процесів, що відбуваються при мікролегуванні, доцільно було б визначити вплив розміру частинок карбонітриду титану, що утворюються, на механічні властивості та зносостійкість сталей. Вважаю недостатньо обґрунтованим висновок щодо механізму впливу утворення частинок карбонітриду титану на підвищення пластичності сталі;

- у розділі 4 зазначається, що розроблені параметри термічної обробки сталей для коліс різного функціонального призначення. Але процес досліджень, результати яких дозволили розробити ці режими, фактично не розкритий, а результати не обговорюються;

- на рис. 3.8 представлений цікавий результат щодо впливу величини відношення вмісту кремнію та марганцю на значення  $\Delta A_c$ , але його пояснення, на жаль, відсутнє;

- при дослідженні впливу швидкості охолодження на механічні властивості сталей зроблено висновок, наприклад на стор. 220, що «необхідно

призначати режими прискороного охолодження ... з урахуванням можливих локальних змін хімічного складу». Що автор має на увазі під «локальними змінами хімічного складу»? Неоднорідність хімічного складу по об'єму зразка або виробу?

- на стор. 74 зазначено, що автором використано «Розроблений і впроваджений раніше метод присадки легуючих елементів...». Ким і коли розроблений і впроваджений? У тексті відсутнє посилання;

- автором наведено рівняння (3.29) та (3.30) для визначення  $A_{c3}$  та  $\Delta A_c$ , але відсутні пояснення, як вони отримані. Як забезпечується у цих рівняннях відповідність розмірності? Крім того, у таблиці 3.2 наведені значення параметрів міжатомної взаємодії, але також не показано походження цих даних;

- деякі зауваження до оформлення дисертації. Рівняння (3.6), на яке посилається автор на стор. 115, не відноситься до визначення  $A_{c3}$ . Іноді використовується «промисловий сленг», наприклад «властивості металу зі сталі». У тексті дисертації зустрічаються орфографічні помилки.

Але зазначені зауваження не стосуються основних положень, висновків і рекомендацій дисертації, не знижують наукової та практичної цінності виконаної роботи.

#### Повнота викладу результатів у публікаціях.

За темою дисертації опубліковано колективну монографію, 28 статей, з них 8 у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science. Новизна технічних рішень підтверджена 2 патентами України. На підставі аналізу опублікованих автором робіт, а також її виступів на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях можна з упевненістю сказати, що матеріали дисертації достатньо повно висвітлені у статтях та доповідях, пройшли широку апробацію.

#### Загальний висновок.

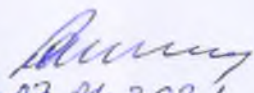
Проведений аналіз змісту і основних положень дисертації Г.А.Кононенко показує, що робота являє собою завершене дослідження, в ній отримані нові і достовірні результати, які ефективно вирішують наукову і прикладну проблему забезпечення високої надійності і ресурсу експлуатації залізничних коліс шляхом створення основ визначення і удосконалення хімічного складу і методів термічної обробки колісних сталей з високими, прогнозованими та керованими механічними і експлуатаційними властивостями, а також розширюють та поглиблюють існуючі уявлення в області формування структури та властивостей низьколегованих сталей. Вважаю за необхідне подальше використання і розвиток основних результатів роботи у рамках державних і галузевих наукових та прикладних програм.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство, тому що вона присвячена вдосконаленню існуючих матеріалів високої якості, довговічності; у ній досліджуються механічні і

функціональні властивості матеріалів, показники споживчих властивостей матеріалів в залежності від їх призначення, явища в об'ємі.

Враховуючи викладене, вважаю, що дана дисертація є завершеною науковою працею, за своїм обсягом, кількістю та якістю публікацій, науковою та практичною значимістю повністю відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 (зі змінами) та Положення про спецраду № 1059 від 14.09.2011 (зі змінами) до докторських дисертацій, має бути оцінена позитивно, а її автор, Кононенко Ганна Андріївна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри технології виробництва  
Дніпровського національного  
університету імені Олеся Гончара

 А.Ф.Санін  
17.04.2021

Підпис проф. Саніна А.Ф. засвідчую.  
Проректор з наукової роботи ДНУ,  
д.х.н., професор



 С.І.Оковитий  
09.04.2021