

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

Дана робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми, яка полягає в розвитку й впровадженні у практику теоретичних, методичних і технологічних основ розробки хімічного складу і параметрів термічної обробки для формування однорідної структури і підвищення експлуатаційної надійності та довговічності залізничних коліс, виготовлених з низько- та мікролегованих сталей перлітного класу. Матеріалознавчими аспектами формування властивостей є в першу чергу хімічний склад сталі та процеси формування структурного стану під впливом різного виду обробок. Створення методології розробки хімічного складу сталі та технологічних параметрів термічної обробки залізничних коліс для досягнення наперед заданих механічних властивостей, при яких забезпечується високий ресурс працездатності залізничних коліс у конкретних умовах експлуатації є актуальним сучасним науково-технічним завданням. Таким чином дисертаційна робота Кононенко Ганни Андріївни, є актуальною.

2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи в повній мірі обґрунтовані. Експериментальні дослідження виконані на лабораторному і промисловому обладнанні. Аналітичні дослідження виконували на комп'ютерних моделях, побудованих в сучасних системах автоматизованих розрахунків. Результати експериментів, що були виконані в умовах діючого промислового підприємства, підтвердили висновки і рекомендації, що були дані на підставі аналізу результатів розроблених математичних моделей та лабораторних досліджень.

Достовірність та обґрунтованість отриманих в роботі експериментальних даних і сформульованих на цій підставі наукових положень і висновків забезпечені використанням добре апробованих сучасних методів дослідження, зокрема мікрорентгеноспектрального, світлової та електронної мікроскопії, механічних випробувань з застосуванням сертифікованого дослідницького обладнання та чітким

Вис. № 37-05/07
9.04.2021

трактуванням отриманих результатів, які не суперечать загальноприйнятим науковим положенням.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Результати дисертаційної роботи є теоретичним узагальненням нових наукових підходів до вирішення наукової проблеми, що полягає у розвитку і впровадженні 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.

До найбільш важливих наукових положень, отриманих 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. Визначено інтервали швидкостей охолодження, в межах яких спостерігається зміна закономірностей структуроутворення при розпаді аустеніту. Встановлено, що при швидкостях охолодження до 1 °C/с формується повністю перлітна структура, при швидкості охолодження 2 °C/с кінцева структура складається з 15% перліту, 25% бейніту, решта – мартенсит і залишковий аустеніт; при швидкостях охолодження 5 °C/с 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 в сталях для залізничних коліс на довговічність цих виробів та запропоновані оптимізовані їх кількісні показники, що забезпечують максимальну стійкість залізничних коліс до утворення на поверхні кочення вищербин термічного походження.

4. Практичне значення отриманих результатів. Отримані в дисертаційній роботі результати відзначаються значною практичною цінністю. 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. Це дозволить підвищити експлуатаційну надійність коліс і дозволить зменшити витрати на додаткову механічну і повторну термічну обробку при їх виробництві;

- рекомендації щодо хімічного складу сталі та температурно-часових параметрів термічної обробки коліс, що в сукупності забезпечило отримання високого комплексу механічних властивостей дослідних коліс класу D з підвищеною стійкістю до зношування, які працюють в легких умовах гальмування при високих навантаженнях на вісь відповідно до вимог стандарту AAR M-107/M-208;

- рекомендації щодо хімічного складу сталі та основних параметрів термічної обробки коліс, що в сукупності забезпечили отримання високого комплексу механічних властивостей дослідних коліс класу D+ з підвищеною стійкістю до зношування, які працюють при високих навантаженнях на вісь за низьких температур (-40 °C) відповідно до вимог стандарту AAR M-107/M-208 та додаткових вимог TTCI (AAR's Transportation Technology Center Incorporated);

- рекомендації щодо хімічного складу нової сталі марки «А» для залізничних коліс з підвищеною стійкістю до утворення експлуатаційних дефектів при підвищених навантаженнях на вісь і складних умовах гальмування і параметрів термічної обробки, що забезпечують твердість ≥ 300 НВ, границю міцності ≥ 1100 МПа, відносне видовження $\geq 12\%$, відносне звуження $\geq 22\%$;

- визначені раціональні режими силових параметрів при випробуваннях, які б не перевищували в зоні контакту зразка і контртіла величини границі плинності матеріалу та дозволили коректно визначати стійкість до зношування і відшарування металу коліс класу C і D, виготовлених за стандартом AAR M 107/M208.

Необхідно особливо підкреслити, що більшість розроблених в дисертації рекомендацій впроваджені у виробництво на українському підприємстві-виробнику

залізничних коліс ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ», що підтверджено документами, наведеними у додатку В до дисертації (стор. 353-356). Високий рівень розробок підтверджується отриманими патентами: щодо хімічного складу сталі для суцільнокатаних коліс (UA 118143) та способу термічного зміцнення залізничних коліс (UA 115114).

5. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків по роботі, 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.

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність теми й показаний зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами, наведена мета і задачі дослідження, надані характеристики об'єкта, предмета та методів дослідження, відзначено особистий внесок здобувача, сформульована наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, наведені дані по апробацію роботи. Така послідовність викладення матеріалів відповідає вимогам до дисертацій.

У **розділі 1** дисертації виконаний аналіз основних видів експлуатаційних дефектів та механізмів їх утворення, літературний аналіз способів підвищення міцності сталі; аналіз впливу хімічного складу, структури і механічних властивостей на експлуатаційну довговічність сталі для залізничних коліс; висвітлені сучасні тенденції підвищення якості залізничних коліс та перспективні вимоги до залізничного руху залежно від умов експлуатації. В результаті аналізу літератури були сформульовані мета та задачі досліджень, а також актуальність наукових і практичних проблем.

У **розділі 2** 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 визначення механічних властивостей, методика визначення експлуатаційних властивостей сталей для залізничних коліс: випробувань на стійкість до зношування та утворення дефектів термічного походження в результаті розігріву, який виникає при гальмуванні.

У **розділі 3** викладено основні положення розробленої методики визначення легуючих і мікролегуючих елементів та рекомендованої їх концентрації для досягнення підвищених механічних властивостей залізничних коліс. З застосуванням квазіхімічного методу за результатами розрахунків визначено границю 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 двокомпонентних системах. Встановлено закономірності впливу інтегральних параметрів хімічного складу та структурного стану сталей для залізничних коліс на їх механічні властивості. Визначено діапазони зміни вмісту кремнію, марганцю та вуглецю, що забезпечують необхідні службові та експлуатаційні властивості залізничних коліс.

У розділі 4 представлені результати лабораторних та промислових досліджень, отриманих при розробці рекомендацій щодо хімічного складу сталі та технологічних параметрів термічного зміцнення залізничних коліс для різних умов експлуатації. Із застосуванням теоретичних положень, отриманих у розділі 3 випробувані дослідні сталі лабораторного способу виготовлення різного хімічного складу, 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 розділі 5 висвітлені результати дослідження впливу хімічної і структурної неоднорідності на показники надійності залізничних коліс, обґрунтовано необхідність застосування регульованого охолодження при термічній обробці залізничних коліс залежно від хімічного складу сталей, розроблено методика та визначено гранично припустимі швидкості охолодження ободу залізничного колеса для досягнення високого рівня твердості та утворення однорідної мікроструктури. Наведено результати відпрацювання в промислових умовах диференційного охолодження зі зміною витрати води при термічній обробці залізничних коліс зі сталей різного хімічного складу.

У загальних **висновках** дисертації викладено отримані в процесі дисертаційного дослідження найбільш важливі наукові та практичні результати, які сприяли розв'язанню конкретного наукового завдання.

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

Матеріали дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в фахових виданнях. Проведено апробацію та обговорення матеріалів дисертації на міжнародних та закордонних конференціях. Основний зміст дисертації достатньо повно представлений 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, у 16 матеріалах наукових конференцій, 2 патентах України.

Публікації достатньо повно відображають зміст роботи. Кількість і склад публікацій відповідає вимогам Державної атестаційної комісії МОН України, що пред'являються до дисертаційних робіт.

7. Основні зауваження по дисертаційній роботі

1) З метою підвищення основних механічних та експлуатаційних характеристик сталі за рахунок подрібнення зерна дисертантка запропонувала введення в сталь таких елементів, як алюміній, ніобій або титан, які утворюють карбіди, нітриди і карбонітриди (стр. 185). В подальшому дослідженні справді було встановлено, що при легуванні сталі для залізничних коліс з 0,55-0,6% С системою (Al-Ti-N) при кристалізації утворюються дисперсні тугоплавкі частинки карбонітридів титану (стр. 314). В той же час, з тексту роботи незрозуміло функцію алюмінію та форми існування (фазові складові) вказаного елемента в готовому сплаві. Правда, на стр. 193 вказано про наявність в складі матеріалу включень оксидів алюмінію, але в результаті проведення мікроаналізу сплаву показано, що алюміній відсутній в складі усіх його структурних складових (табл. 5.5, стр. 231).

2) Викликає деякий подив дещо завищена температура нагрівання проб під гарячу деформацію (1260 °С) (стр. 76). Як правило, максимальні значення деформаційних температур для сталей такого класу не перевищують 1200-1230 °С (див., наприклад: Ковка и штамповка. Справочник в 4-х т. Под ред. Е.И.Семенова. - М.: Машиностроение, 1985. Т. 1, табл. 1). Застосування таких високих температур нагріву у поєднанні з досить високою тривалістю витримки при такій температурі (протягом 2 годин) (стр. 129), очевидно призводить до досить помітного росту зерна в сплаві, що і підтверджено дисертанкою даними рис. 4.50.

3) При описанні методики випробувань сталі на стійкість до зношування дисертантка відзначає, що Стандартом рекомендуються тиск на контакт при проведенні випробувань на зносостійкість на рівні 2246 МПа (стр. 85). Однак, рекомендація таких параметрів тиску при випробуванні викликає сумнів внаслідок того, що ці величини значно перевищують значення не тільки границі плинності (табл. 4.7 та 4.8; 4.12; 4.13), але і границі міцності отриманих сплавів (див. - рис. 3.5; 3.9; 3.10; 3.15, тощо).

4) В тексті роботи дисертантка іноді допускає досить вільне, що межує з дискусійним, трактування деяких загальноприйнятих положень. Так, наприклад, вона відзначає: “Відомо, що підвищення границі плинності і міцності супроводжується ... зниженням ... ударної в'язкості” (стр. 169). Одним з чисельних прикладів, що суперечать

наведеному висновку, є інструментальні (зокрема - швидкорізальні) сталі, які нарівні із досить високими значеннями границь міцності та плинності, відзначаються також і достатньо високими значеннями ударної в'язкості.

5) Аналогічне зауваження відноситься і до першого пункту Загальних висновків до роботи, де авторка вказує, що "найбільш ефективним хімічним елементом для підвищення характеристик .. міцності (сталі) є вуглець, але його застосування (???) доцільне лише для легких умов гальмування" (стр. 312).

6) В розділі 2 роботи, присвяченому опису методики та матеріалів для досліджень, авторка вказує, що "матеріалами для досліджень ... були промислові плавки поточного виробництва марок 2 і Т ..., марок ER7 та ER8 ..., класів В і С ... (базові) та сталі дослідного складу лабораторного способу виробництва" (стр. 73). Однак, на мій погляд, використання виключно вузькопрофільної класифікації сталей за відсутності даних щодо їх хімічного складу суттєво знижає інформативність та погіршує легкість сприйняття результатів досліджень.

7) Як впливає з тексту дисертації, для отримання дослідних зразків сплавів відливки піддавалися наступній гарячій пластичній деформації шляхом осаджування на величину 50 % (стр. 76). В той же час, технологічна схема серійного виробництва колес передбачає їх розкатування на колесопрокатному стані (стр. 96). Вочевидь, ці дві технологічні операції суттєво відрізняються за параметрами напружено-деформованого стану матеріалу заготовки в процесі обробки, що не може не викликати відмінність в особливостях структури та властивостей матеріалів, отриманих з використанням цих схем. На жаль, дисертантка не приділила в своїй роботі належної уваги висвітленню цього питання.

8) В тексті дисертації присутні деяка небдалість у формулюваннях та русизми (наприклад - "хладноломкості" (стр. 67) - хоча далі - "холодостійкості" (там же); "Залежність вмісту марганцю та кремнію в карбіді Fe₃C" (стр. 108); та використання несистемних одиниць: Н/мм², Дж/см² (стр. 68, 69), навантаження 10 кг (стр. 96), тощо.

Зроблені зауваження, однак, не є принциповими і не впливають на загальну високу позитивну оцінку дисертації Кононенко Г.А.

8. Висновок про відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника»

Дисертація Кононенко Г.А. «Розвиток наукових основ розробки хімічного складу та параметрів термічної обробки для підвищення довговічності залізничних коліс» є закінченою науковою працею, яка виконана автором особисто на належному рівні.

Дисертація має наукову новизну і вагомую практичну цінність. В роботі вирішено актуальну науково-практичну проблему підвищення стійкості до утворення експлуатаційних дефектів залізничних коліс на основі розвитку наукових положень про закономірності впливу хімічного складу і структурного стану сталей на комплекс їх службових та експлуатаційних властивостей.

Зміст дисертації відповідає формулі та напрямам досліджень паспорта спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство». Автореферат достатньо повно відображає зміст дисертації.

На підставі вищенаведеного вважаю, що рецензована дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567 (з відповідними змінами й доповненнями), а авторка роботи, Кононенко Ганна Андріївна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство».

Офіційний опонент:

Заступник директора з наукової роботи

Інституту проблем матеріалознавства

ім. І.М. Францевича НАН України,

доктор техн. наук, проф.



Г.А. Баглюк