ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol.27, 2019, №7-9 (314-316), 75-82 https://doi.org/10.15407/steelcast2019.07.075

УДК 621.771.294:669.015.083.133

О.І. Бабаченко, д-р техн. наук, ст. наук. співр., директор, e-mail: a_babachenko@i.ua, https://orcid.org/0000-0003-4710-0343

Г.А. Кононенко, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: perlit@ua.fm, https://orcid.org/0000-0001-7446-4105

К.Г. Дьоміна, канд. техн.наук, ст. наук. співр., e-mail: katya20@ua.fm, https://orcid.org/0000-0001-9668-8169

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (Дніпро, Україна)

Розробка хімічного складу та вдосконалення технології виробництва для підвищення експлуатаційної надійності і довговічності залізничної металопродукції

Розвиток теоретичних основ та практичні розробки параметрів процесу та устаткування для термічної обробки прокату в процесі його масового виробництва – основний напрям роботи відділу проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей. Відділ під керівництвом К.Ф. Стародубова було засновано в Інституті чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, який визначено як головна організація з виробництва та якості металопродукції для залізничного транспорту. За останні роки відділом розроблено нові сталі для елементів вантажних вагонів нового покоління та технологічний процес їх термічної обробки, що забезпечує можливість виробництва високоміцного холодостійкого прокату без використання дорогих легуючих елементів. Для залізничних коліс розроблено сталі з різними системами легування для різних умов експлуатації. Розроблені параметри термічної обробки дозволяють досягти заданого комплексу властивостей. Науково обґрунтовано та підтверджено позитивний вплив підвищення ступеню деформації в центральних обсягах металу ободу на в'язкість руйнування K_{1c}. Створено модель розрахунку температурних полів в процесі прискореного охолодження ободу залізничного колеса, обґрунтовано раціональні режими термічного зміцнення залізничних коліс в залежності від хімічного складу сталі для утворення однорідної структури по перерізу. Досліджено особливості дендритної будови вихідної безперервнолитої заготовки Ø 470 мм для виробництва залізничних осей та осьових заготовок Ø 380 і 220 мм в умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» за допомогою методу оцінки деформованого стану металу. Визначено ступінь деформаційного пророблення металу по перерізу осьових заготовок та розроблено рекомендації щодо підвищення втомної міцності залізничних осей виробництва ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». В останні роки ведуться роботи щодо вдосконалення хімічного складу та технології термічної обробки залізничних рейок вітчизняного виробництва.

Ключові слова: *термічна обробка прокату, масове виробництво, нові сталі, залізничні колеса, залізничні осі, залізничні рейки.*

Стан питання. У 1948 р. у складі Дніпропетровського філіалу Інституту чорної металургії була організована термічна лабораторія, яку очолив член-кореспондент АН УРСР К.Ф. Стародубов. Таким чином було покладено початок розробки нового переділу в чорній металургії – термічної обробки прокату в процесі його масового виробництва. Одним з перших співробітників під керівництвом К.Ф. Стародубова був І.Г. Узлов. Згодом під його керівництвом виконувались науково-технічні дослідження та технологічні розробки нових процесів термічного зміцнення залізничних коліс, які враховують нові більш високі вимоги до їх експлуатаційних властивостей. З ім'ям І.Г. Узлова пов'язана теоретична розробка та практичне впровадження нової підгалузі металургії – термічної обробки прокату в умовах його масового виробництва [1].

Ще у 60-ті роки минулого сторіччя Інститут чорної металургії був визначений як головна організація з виробництва і якості металопродукції для залізничного транспорту, жорсткість умов експлуатації якого обумовлює необхідність підвищення вимог, що пред'являються споживачами до всіх його елементів, у тому числі і до залізничних осей, коліс і бандажів, елементів кузова вагонів.

Мета роботи – аналіз сучасних досягнень у напрямі підвищення показників надійності та довговічності металопродукції залізничного призначення шляхом вдосконалення існуючих та розробки нових сталей та технологій їх виробництва на прикладі Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (ІЧМ НАН України).

Методика досліджень – аналіз результатів науково-дослідних та прикладних робіт за публікаціями відділу проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей ІЧМ НАН України.

Основні результати досліджень. За останні роки в роботах, що виконувались відділом проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей Інституту (ВКС ІЧМ НАН України), отримали подальший розвиток наукові уявлення про протікання бейнітного перетворення в вуглецевих сталях при безперервному охолодженні. Встановлено, що утворення бейнітних структур в низьковуглецевих сталях можливе при швидкостях охолодження нижче критичних при наявності додаткових центрів зародження,

якими можуть служити карбонітриди титану і нітриди алюмінію (рис. 1) [2].

Визначено основні фактори, що впливають на формування заданого структурного стану (рівномірної структури голчастого фериту з одночасним стимулюванням його інтрагранулярного зародження всередині аустенітного зерна при проміжному перетворенні вуглецевих і низьколегованих сталей):

– розмір аустенітного зерна;

– кількість, розподіл, морфологія часток – центрів зародження;

– оптимальні швидкості охолодження.

Розроблено технологічний процес термічної обробки низьковуглецевих сталей масового призначення, який забезпечує можливість виробництва високоміцного холодостійкого прокату для кузовів вантажних вагонів нового покоління $\sigma_т \geq 500$ Н/мм^2, KCU$^{-60} \geq$ 29 Дж/см^2 та $\sigma_{-1} \approx 350$ Н/мм^2 без використання дорогих легуючих елементів (нікель, хром, ванадій, ніобій та ін.) – таблиця.

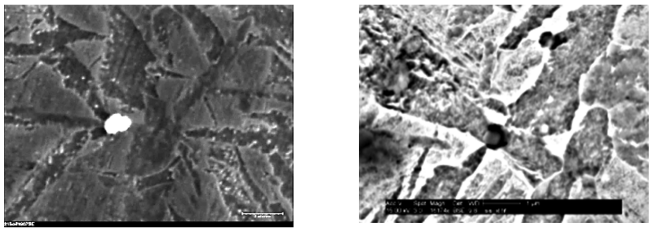


Рис. 1. Структура голчастого фериту, отримана з мікролегованої низьковуглецевої сталі в процесі бейнітного перетворення з використанням Ti (C, N) і AlN як центрів зародження голчастого фериту

Також у ВКС ІЧМ НАН України отримали розвиток напрями:

– розробка і впровадження нових процесів термічної обробки суцільнокатаних коліс, центрів, бандажів та інших виробів залізничного призначення, що забезпечують підвищення їх службових властивостей і зниження енерговитрат на їх виробництво;

– удосконалення існуючих та розробка нових марок сталей для виробництва суцільнокатаних коліс, центрів і бандажів, що забезпечують високі значення зносостійкості, втомної міцності, холодостійкості і підвищений опір термічному впливу;

– дослідження особливостей структуроутворення в процесі кристалізації та деформаційно-термічних обробок вуглецевих, мікро-, низько- і легованих сталей;

– розвиток методу оцінки ступеня деформаційного пророблення прокату з вуглецевих і низьколегованих сталей за зміною параметрів слідів дендритної структури;

– дослідження впливу структурної спадковості на формування однорідної і дрібнозернистої структури та комплекс механічних властивостей у вуглецевих і легованих сталях;

– проведення досліджень, спрямованих на визначення природи дефектів та причин їх утворення в різних видах металопродукції.

Залізничні колеса безпосередньо сприймають нормальні, динамічні та теплові навантаження при взаємодії з рейкою, умови їх роботи постійно ускладнюються з підвищенням швидкості руху та навантажень на вісь, тому вимоги до них постійно зростають. Протягом багатьох десятирічь ВКС ІЧМ НАН України займався вирішенням технологічних і технічних завдань зі створення технологій та устаткування для колесо-бандажного виробництва, в тому числі для колесопрокатного цеху Нижньодніпровського трубопрокатного заводу. І до сьогоднішнього дня ВКС ІЧМ НАН України тісно співпрацює з основним вітчизняним виробником металопродукції залізничного призначення – ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» у питаннях науково обґрунтованого вдосконалення технології виробництва для підвищення показників якості.

Одним з основних показників довговічності залізничних коліс є стійкість до утворення дефектів на поверхні кочення. З існуючих типів вищербин в останні десятиріччя найбільш поширеними є дефекти, які утворилися в результаті теплового впливу на поверхню катання колеса при гальмуванні.

На основі результатів фізичного моделювання процесу гальмування колеса встановлено нелінійну залежність глибини мартенситного шару, який утворюється при гальмуванні залізничних коліс і визначає їх стійкість до утворення на поверхні катання

Механічні властивості сталі Ст3 в різному стані у порівнянні зі сталлю аналогом 10ХСНД

Матеріал	Границя плинності, $\sigma_т$, Н/мм^2	Границя міцності, $\sigma_в$, Н/мм^2	Відносне подовження, δ_5, %	Ударна в'язкість, KCU, Дж/см^2
	не менше			
Ст3 мікролег. термічнозміцнена	660	840	18	35 (при – 60 °С)
Ст3 мікролег. гарячекатана	355	470	40	90 (при – 70 °С)
Ст3 серійна гарячекатана	255	380	26	29 (при – 20 °С)
Сталь аналог 10ХСНД	390	530	18	29 (при – 70 °С)

дефектів термічного походження, від вмісту в них вуглецю в межах 0,46–0,66 % (рис. 2):

$$t = 15{,}32\cdot(C)^2 - 14{,}15\cdot(C) + 3{,}78,$$

де t – товщина мартенситного шару, мм; С – вміст вуглецю,%.

Показано, що збільшення вмісту вуглецю призводить до зниження стійкості залізничних коліс до утворення дефектів на поверхні кочення. Аналіз досліджень світових виробників коліс показав, що найбільш перспективним напрямом удосконалення хімічного складу сталей для залізничних коліс є зниження вмісту вуглецю і використання для зміцнення інших елементів. Встановлено, що одним з таких елементів є кремній.

Розроблено нову марку «К» сталі для залізничних коліс з підвищеним до 0,85–1,05 % вмістом кремнію і марганцю до 0,90 %, мікролеговану ванадієм, що забезпечує твердість ≥ 320 НВ і підвищення на 44 % стійкості до утворення дефектів на поверхні кочення [3].

Крім марки «К» було розроблено сталі залізничного призначення з новими системами легування для різних умов експлуатації:

– сталь для високоміцних залізничних бандажів з вмістом вуглецю до 0,7 %, мікролеговану ванадієм (НВ > 320) [4];

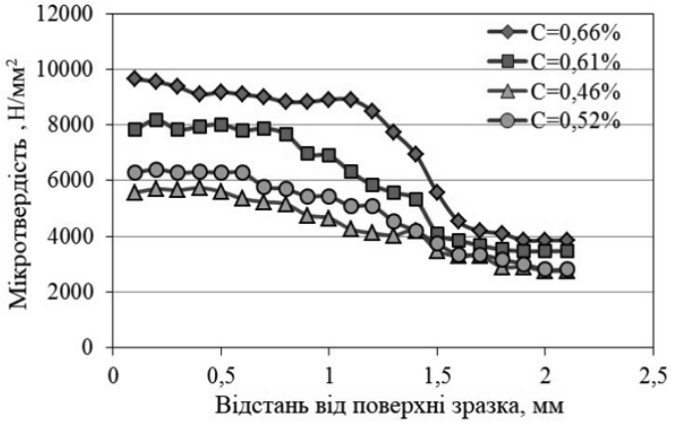
– сталь для залізничних коліс марки D по AAR M107 / M108 з вмістом вуглецю до 0,78 %, легована хромом і нікелем, з мікролегуванням молібденом (320–400 НВ, підвищена зносостійкість);

– сталь для залізничних коліс спеціального призначення марки D + з вмістом вуглецю до 0,55 %, легована хромом, нікелем і кремнієм (висока пластичність і стійкість до ударних навантажень при температурі -40 °С) [5].

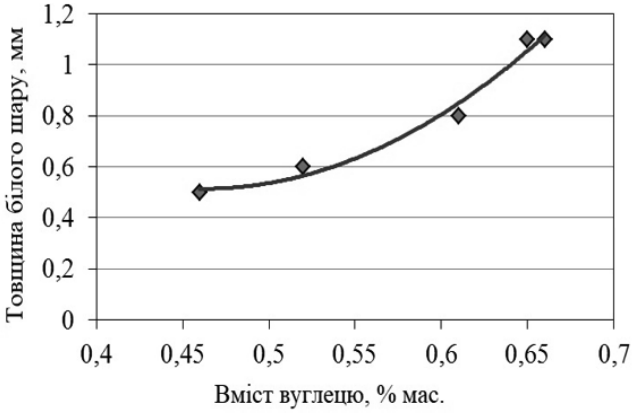
В рамках комплексного проекту «Розробка та освоєння технологій виробництва і відновлення залізничних коліс, що забезпечують подовження їх ресурсу в різних умовах експлуатації» цільової програми наукових досліджень НАН України «Надійність і довговічність матеріалів, конструкцій, обладнання та споруд» (Ресурс-2)» ІЧМ НАН України спільно з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (м. Київ), Фізико-технологічним інститутом металів та сплавів НАН України (м. Київ), Фізико-механічним інститутом ім. Г.В. Карпенка НАН України (м. Львів) проводить дослідження з удосконалення технології виробництва залізничних коліс для підвищення їх строку служби на залізницях України. В рамках цієї роботи розроблено системи легування з принципово новим способом зміцнення сталі для залізничних коліс – тугоплавкою дисперсною фазою разом з твердорозчинним зміцненням. Встановлено позитивний вплив дослідних хімічних складів на показники в'язкості та пластичності у порівнянні з високоміцною сталлю марки «Т», що норму-ється ДСТУ ГОСТ 10791-2016. Розроблено режими термічної обробки, що забезпечують високий рівень твердості та пластичності зразків дослідних сталей для залізничних коліс [6].

Для вуглецевих сталей з вмістом вуглецю 0,45-0,6 % встановлено оптимальне співвідношення кремнію і марганцю, яке забезпечує отримання однорідної і дрібнозернистої мікроструктури в готових виробах. Рекомендовано відношення вмісту марганцю до вмісту кремнію Mn %мас. / Si %мас. на рівні 1,5–2,0 рази для формування в мікроструктурі сприятливого розподілу кремнію та марганцю та зниженню різнозернистості (рис. 3).

Окрім хімічного складу важливим складником рівня показників якості та надійності коліс є режими гарячої пластичної деформації заготовки. Особливістю виробництва залізничних коліс є нерівномірна деформація по перетину обода і мала величина деформації внутрішніх областей, що потрапляють в місця відбору зразків для механічних випробувань, структура сталі яких близька до вихідного литого стану [7]. Це дуже впливає на механічні властивості ободів залізничних коліс. Руйнування обода, маючи катастрофічні наслідки, часто пов'язано з низьким рівнем в'язких властивостей сталі, які залежать від характеристик її мікроструктури, яка визначається



а



б

Рис. 2. Зміна мікротвердості по перетину зразків ободів залізничних коліс з різним вмістом вуглецю, після гальмування на стенді (*а*), залежність товщини мартенситного шару від вмісту вуглецю в сталі (*б*)

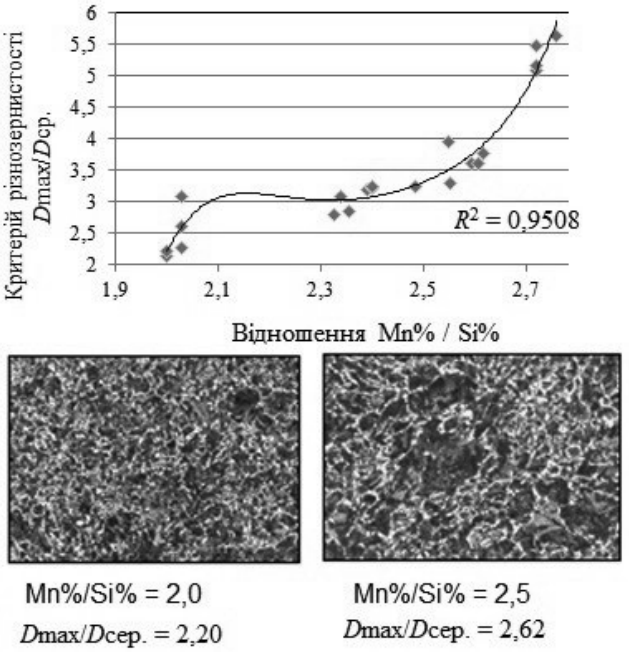


Рис. 3 Закономірність впливу відношення марганцю й кремнію у вуглецевих сталях з 0,45–0,6 % вуглецю на різнозернистість

технологією виготовлення залізничних коліс. В роботах ВКС ІЧМ НАН України було встановлено закономірності формування первинного зерна аустеніту після кристалізації вуглецевих сталей для залізничних коліс з феритно-перлітною структурою. Показано, що в литій сталі формуються первинні міжкристалітні межі – місця стиків дендритних гілок і, вторинні міжкристалітні межі, які перетинають дендрити в довільних напрямках (рис. 4). Походження міжкристалітних меж аустеніту після кристалізації під дією гарячої пластичної деформації і при перекристалізації визначає тип структури, що утворюється при його розпаді [8]. Встановлено переважне утворення перліту на первинних міжкристалітних межах аустеніту, а фериту – на вторинних. На основі цих результатів запропоновано новий режим гарячої пластичної деформації колісної заготовки при виробництві залізничних коліс в умовах колесопрокатного цеху ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ», який забезпечує підвищення в'язкості руйнування K_{1c} коліс Ø 957 мм і Ø 1098 мм відповідно на 22 % і 30 % в порівнянні з існуючою технологією виробництва.

Заключний етап виробництва, що суттєво впливає на надійність та довговічність залізничних коліс, – термічна обробка. В роботах, що виконуються в ІЧМ НАН України, було встановлено закономірності зміни температури за перетином обода залізничного колеса в процесі його прискореного охолодження в залежності від хімічного складу сталі для залізничних коліс методом кінцевих елементів [9].

Встановлено принципову можливість отримання високого комплексу міцності і пластичних властивостей колісної сталі з формуванням однорідної мікроструктури без утворення мартенситу при термічній обробці в умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». Визначено припустимі інтервали швидкостей охолодження по-

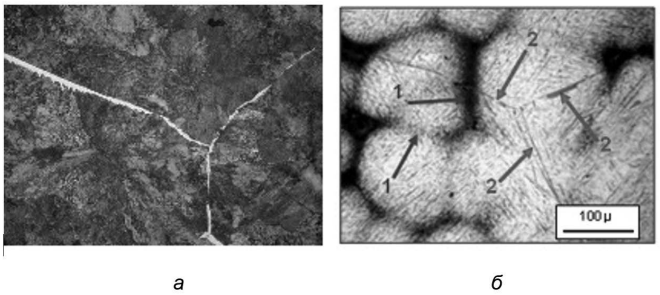


Рис. 4 Мікроструктура (*а* – травлення ніталем; *б* – травлення пікратом натрію) литої сталі з 0,52 % С після кристалізації: *1* – первинні межі (міждендритні); *2* – вторинні межі

верхневих і центральних ділянок ободу залізничних коліс при прискореному охолодженні зі сталей різного хімічного складу. Розроблено рекомендації для режимів прискореного охолодження при термічній обробці залізничних коліс різного хімічного складу з урахуванням модернізації устаткування на термоділянці колесопрокатного цеху ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ», що дозволять підвищити рівномірність структури за перетином ободу і зменшити глибину утворення голчастих мікроструктур в процесі прискореного охолодження.

З переходом виробництва металопродукції залізничного призначення на використання безперервнолитої заготовки створилась необхідність всебічного дослідження металу після кристалізації та встановлення закономірностей спадкового впливу вихідної структури на кінцевий комплекс властивостей та структурний стан після деформаційної та термічної обробки сталі. Було проведено цикл досліджень, які дозволили розширити уявлення про спадковий зв'язок хімічної мікронеоднорідності з дендритною ліквацією марганцю і кремнію в вуглецевій сталі і її вплив на особливості кінцевої структури елементів залізничних коліс, а також про природу їх утворення і трансформації в процесі деформаційно-термічної обробки [10].

Ще одним видом металопродукції залізничного призначення, підвищенням надійності і довговічності якого присвячені роботи ВКС ІЧМ НАН України є залізничні осі. Було досліджено особливості дендритної будови вихідної безперервнолитої заготовки Ø 470 мм для виробництва залізничних осей та визначено ступінь деформаційної проробки металу по перерізу осьових заготовок Ø 380 і 220 мм після прокатки на пільгерстанах в умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»; за допомогою методу оцінки деформованого стану металу за зміною щільності «слідів» дендритної структури визначено ступінь деформаційного пророблення металу по перерізу осьових заготовок. За результатами досліджень розроблено рекомендації щодо підвищення втомної міцності залізничних осей виробництва ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». Досліджено вплив параметрів пластичної деформації на показники якості (макро- і мікроструктуру, механічні властивості) напівфабрикату і готової металопродукції. Встановлено, що:

– на мінімальний коефіцієнт витяжки, необхідний для стабілізації механічних властивостей по перерізу

прокату, основний вплив має початкова макроструктура безперервнолитої заготовки;

– мінімальний коефіцієнт витяжки, необхідний для стабілізації механічних властивостей, збільшується з ростом вмісту вуглецю та легуючих елементів в сталі (в першу чергу, це відноситься до показників пластичності та ударної в'язкості);

– на проробку литої структури впливає розмір безперервнолитої заготовки, причому, через два фактори – стан макроструктури та схему напружено-деформованого стану: чим менше переріз безперервнолитої заготовки (БЛЗ), тим дрібніша і рівномірніша лита структура і більш сприятлива схема напружено-деформованого стану центральної зони заготовки при прокатці.

Отримані результати стали основою при розробці та освоєнні енерго- та ресурсозберігаючої технології, яка виключає операцію кування, нового для ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» виду продукції – важко навантажених залізничних осей.

В останні роки у ВКС ІЧМ НАН України виконуються дослідження, спрямовані на підвищення показників якості залізничних рейок [11]. Всебічно досліджено можливості відомих марок сталей для рейок залізничного призначення при принциповій зміні способу їх термічної обробки (рис. 5). Також проходять дослідження з розробки хімічного складу та режимів термічного зміцнення сталей для забезпечення в рейках значень показників якості на рівні кращих світових аналогів.

Крім того, у ВКС ІЧМ НАН України виконуються роботи з дослідження структурного стану, службових і експлуатаційних властивостей різних видів металопрокату (науково-технічний центр Інституту чорної металургії НАН України) за наступними напрямами:

– дослідження закономірностей структуроутворення при термічній і термомеханічній обробці різних видів металопрокату, проведення їх макро- і мікроструктурного аналізу;

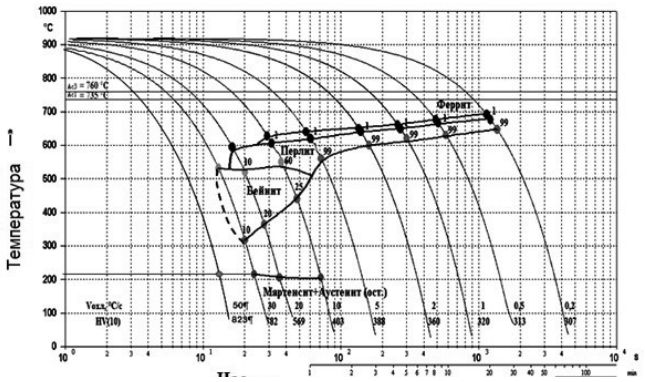


Рис. 5 Термокінетична діаграма розпаду переохолодженого аустеніту при безперервному охолодженні сталі з 0,80 % C; 0,25 % Si; 0,97 % Mn; 0,055 % V

– дослідження механічних властивостей різних видів металопрокату при статичному, динамічному і циклічному навантаженні;

– розробка методик досліджень механічних властивостей і проведення натурних випробувань металопрокату і сталевих виробів різного призначення;

– метрологічний контроль випробувальних і вимірювальних засобів відділу і їх перевірка;

– проведення сертифікаційних і арбітражних випробувань за завданнями підприємств і організацій України.

Розробки відділу конструкційних сталей з підвищення надійності та довговічності металопродукції для залізничного транспорту знаходяться на рівні кращих світових аналогів. Завдяки успішному поєднанню високого рівня фундаментальних та прикладних досліджень майже всі вони впроваджуються на металургійних підприємствах. Загальний економічний ефект від впровадження результатів досліджень ВКС тільки в умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» за останні три роки (2016–2018 рр.) склав близько 7 млн грн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины / Под ред. В.И. Большакова. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2007. 448 с.
2. *Большаков В.И., Узлов О.В., Пучиков А.В.* Особенности получения структуры игольчатого феррита в низколегированных конструкционных сталях. *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 2005. № 1. С. 63–65.
3. *Babachenko A.I., Togobitskaya D.N., Kozachyok A.S., Kononenko A.A., Knysh A.V., Snigur I.R.* Optimization of chemical composition of steel for railroad wheels providing stabilization of mechanical and increase of operational properties. *Metallurgical and Mining Industry.* 2017. № 3. P. 32–39.
4. *Узлов И.Г., Узлов К.И., Бабаченко А.И., Хулин А.Н., Кононенко А.А.* Опытно-промышленная реализация технологии производства высокопрочных локомотивных бандажей повышенной износостойкости. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр.* Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2009. Вип. 19. С. 255–264.
5. *Бабаченко А.И., Кононенко А.А., Кныш А.В., Дементьева Ж.А., Шпак Е.А., Клиновая О.Ф.* Влияние температуры испытаний на механические свойства стали для железнодорожных колес с новой системой легирования. *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов.* Дн-ск: ГВУЗ «ПГАСА», 2016. Вып. 78. С. 102–108.
6. *Бабаченко А.И., Кононенко А.А., Филиппов А.А.* Разработка химического состава стали для железнодорожных колес, обеспечивающего повышение их ресурса в различных условиях эксплуатации. Материалы 78 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (17–18 мая 2018, г. Днепр). Днепр, 2018. С. 284–286.

7. *Babachenko A.I., Demina K.G., Kononenko G.A., Khulin A.N., Golovko O.N., Ashkelianets A.V.* The influence of initial blank parameters on railway wheels manufacture with hot plastic deformation process. *Metallurgical and Mining Industry.* Ukraine. 2017. № 6. P. 25–33.
8. *Борисенко А.Ю., Кононенко А.А., Бабаченко А.И., Науменко Л.Д.* Микроструктурные исследования формирования первичного зерна аустенита после кристаллизации углеродистых сталей с 0,5–0,7 % С. *Доповіді НАН України.* 2010. № 9. С. 70–77.
9. *Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Хулін А.М.* Моделювання методом кінцевих елементів зміни температури за перетином обода в процесі термічної обробки залізничних коліс зі сталей різного хімічного складу. *Металознавство та термічна обробка металів.* 2018. № 1. 2018. С. 10–17.
10. *Бабаченко О.І., Дьоміна К.Г., Книш А.В.* та ін. Вплив режиму охолодження та хімічного складу на формування дендритної структури злитка та безперервнолитих заготовок. *Металознавство та обробка металів.* 2015. № 2. С. 16–24.
11. *Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Філоненко Н.Ю., Хулін А.М.* Розробка математичної моделі розрахунку теплового поля за перетином залізничної рейки при термічній обробці. *Сборник научных трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение».* 2018. № 104. С. 31–35.

Поступила 27.09.2019

REFERENCES

1. *Bolshakov, V.I. (Ed.)* (2007). Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine. Dnepropetrovsk: ARTPRESS, 448 p. [in Russian].
2. *Bolshakov, V.I., Uzlov, O.V., Puchikov, A.V.* (2005). Features of obtaining the needle ferrite structure in lowalloy structural steels. *Metallurgical and Mining Industry,* no. 1, pp. 63–65 [in Russian].
3. *Babachenko, A.I., Togobitskaya, D.N., Kozachyok, A.S., Kononenko, A.A., Knysh, A.V., Snigur, I.R.* (2017). Optimization of chemical composition of steel for railroad wheels providing stabilization of mechanical and increase of operational properties. *Metallurgical and Mining Industry,* no. 3, pp. 32–39 [in English].
4. *Uzlov, I.G., Uzlov, K.I., Babachenko, A.I., Khulin, A.N., Kononenko, A.A.* (2009). Experimental and industrial implementation of the technology of production of high-strength locomotive bandages with high wear resistance. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy: Collection of scientific works.* Dnepropetrovsk: ISI NAS of Ukraine, iss. 19, pp. 255–264 [in Russian].
5. *Babachenko, A.I., Kononenko, A.A., Knysh, A.V., Dementieva, J.A., Shpak, E.A., Klinovaya, O.F.* (2016). Influence of test temperature on mechanical properties of steel for railway wheels with a new alloying system. *Construction, material science, mechanical engineering: Collection of scientific works,* Dn-sk: Higher School of Public Administration "PSASA", iss. 78, pp. 102–108 [in Russian].
6. *Babachenko, A.I., Kononenko, A.A., Filippov, A.A.* (2018). Development of the chemical composition of steel for railway wheels, providing increase of their resource in different operating conditions. Proceedings of the 78th International Scientific and Practical Conference "Problems and Prospects for the Development of Railway Transport" (17–18 of May, 2018, Dnipro). Dnipro, pp. 284–286 [in Russian].
7. *Babachenko, A.I., Demina, K.G., Kononenko, A.A., Khulin, A.N., Golovko, O.N., Ashkelianets, A.V.* (2017). Influence of initial blank parameters on railway wheels production with hot plastic deformation process. *Metallurgical and Mining Industry.* Ukraine, no. 6, pp. 25–33 [in English].
8. *Borisenko, A.Yu., Kononenko, A.A., Babachenko, A.I., Naumenko, L.D.* (2010). Microstructural studies of the formation of primary austenite grain after crystallization of carbon steels with 0.5–0.7 % C. *Reports of the NAS of Ukraine,* no. 9, pp. 70–77 [in Russian].
9. *Babachenko, O.I., Kononenko, G.A., Khulin, A.M.* (2018). Finite element simulation of temperature change at the intersection of the rim in the process of heat treatment of railway wheels from steels of different chemical composition. *Metal science and heat treatment of metals,* no. 1, pp. 10–17 [in Ukrainian].
10. *Babachenko, O.I., Demina, K.G., Knysh, A.V.* et al. (2015). Influence of cooling mode and chemical composition on the formation of dendritic ingot structure and continuous casting blanks. *Metal science and metal processing,* no. 2, pp. 16–24 [in Ukrainian].
11. *Babachenko, O.I., Kononenko, G.A., Filonenko, N.Yu., Khulin, A.M.* (2018). Development of a mathematical model for the calculation of the thermal field at the intersection of the rail during heat treatment. *Collection of scientific works "Construction, material science, mechanical engineering",* no. 104, pp. 31–35 [in Ukrainian].

Received 27.09.2019

Аннотация

А.И. Бабаченко, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., директор, e-mail: a_babachenko@i.ua, https://orcid.org/0000-0003-4710-0343;
А.А. Кононенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: perlit@ua.fm, https://orcid.org/0000-0001-7446-4105; **К.Г. Демина,** канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: katya20@ua.fm, https://orcid.org/0000-0001-9668-8169

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины (Днепр, Украина)

Разработка химического состава и совершенствования технологии производства для повышения эксплуатационной надежности и долговечности железнодорожной металлопродукции

Развитие теоретических основ и практические разработки параметров процесса и оборудования для термической обработки проката в процессе его массового производства – основное направление работы отдела проблем деформационно-термической обработки конструкционных сталей. Отдел под руководством К.Ф. Стародубова был основан в Институте черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, который определен как головная организация по производству и качеству металлопродукции для железнодорожного транспорта. За последние годы отделом разработаны новые стали для элементов грузовых вагонов нового поколения и технологический процесс их термической обработки, обеспечивающей возможность производства высокопрочного хладостойкого проката без использования дорогостоящих легирующих элементов. Для железнодорожных колес разработаны стали с различными системами легирования для различных условий эксплуатации. Разработанные параметры термической обработки позволяют достичь заданного комплекса свойств. Научно обосновано и подтверждено позитивное влияние повышения степени деформации в центральных объемах металла обода на вязкость разрушения K_{1c}. Создана модель расчета температурных полей в процессе ускоренного охлаждения обода железнодорожного колеса. Для образования однородной структуры по сечению железнодорожных колес обоснованы рациональные режимы термического упрочнения в зависимости от химического состава стали. С помощью метода оценки деформированного состояния металла исследованы особенности дендритного строения исходной непрерывнолитой заготовки Ø 470 мм для производства железнодорожных осей и осевых заготовок Ø 380 и 220 мм в условиях ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ». Определена степень деформационной проработки металла по сечению осевых заготовок и разработаны рекомендации по повышению усталостной прочности железнодорожных осей производства ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ». В последние годы ведутся работы по совершенствованию химического состава и технологии термической обработки железнодорожных рельсов отечественного производства.

Ключевые слова

Термическая обработка проката, массовое производство, новые стали, железнодорожные колеса, железнодорожные оси, железнодорожные рельсы.

Summary

A.I. Babachenko, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Director, e-mail: a_babachenko@i.ua, https://orcid.org/0000-0003-4710-0343;
A.A. Kononenko, PhD (Engin.), Senior Researcher, e-mail: perlit@ua.fm, https://orcid.org/0000-0001-7446-4105; **K.G. Demina,** PhD (Engin.), Senior Researcher, e-mail: katya20@ua.fm, https://orcid.org/0000-0001-9668-8169

Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

Development of chemical composition and improvement of production technology to improve operational reliability and durability of rail metal products

The development of theoretical foundations and practical development of process parameters and equipment for heat treatment of rolled products in the process of mass production is the main area of work of the department of problems of deformation-heat treatment of structural steels. Division under the direction of K.F. Starodubov was founded at the Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine, defined as the leading organization for the production and quality of

metal products for rail transport. In recent years, the department has developed new steels for the elements of freight cars of a new generation and the technological process of their heat treatment, which provides the possibility of producing high-strength cold-resistant steel without the use of expensive alloying elements. Steel wheels with various alloying systems for various operating conditions have been developed for railway wheels. The developed heat treatment parameters make it possible to achieve a given set of properties. The positive effect of increasing the degree of deformation in the central volumes of the rim metal on the fracture toughness K_{1s} has been scientifically substantiated and confirmed. A model for calculating temperature fields in the process of accelerated cooling of a rim of a railway wheel has been created. For the formation of a homogeneous structure along the crosssection of railway wheels, rational regimes of thermal hardening depending on the chemical composition of steel are justified. Using the method of assessing the deformed state of the metal, the features of the dendritic structure of the initial continuously cast billet Ø 470 mm for the production of railway axles and axial billets Ø 380 and 220 mm in the conditions of OJSSC "INTERPIPE NTZ" were investigated. The degree of deformation study of metal over the cross section of axial billets was determined and recommendations were developed to increase the fatigue strength of railway axles manufactured by OSSC "INTERPIPE NTZ". In recent years, work is underway to improve the chemical composition and heat treatment technology of domesticmade railway rails.

Keywords

Heat treatment of rolled products, mass production, new steels, railway wheels, railway axles, railway rails.