

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2025.01.012

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОДВІЙНОГО ВІДПАЛУ НА ЯКІСТЬ ВАЛКОВИХ ЧАВУНІВ З КУЛЯСТИМ ГРАФІТОМ

Іванова Л.Х.¹, Хитько О.Ю.², Білий А.П.³, Шемет В.Ю.³

¹Український державний університет науки і технологій, д.т.н., проф., Україна

²Український державний університет науки і технологій, к.т.н., доц., Україна

³Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. Проведено дослідження впливу подвійного відпалу на структуру та властивості валкових чавунів виконання ЛШНМ-58. В результаті проведених досліджень з застосуванням складного плану, одержаного суміщенням плану 2⁴ з 4×4 латинським квадратом був обраний оптимальний режим подвійного відпалу: I стадія – температура 1000 °С, витримка 1 год; II стадія – температура 600 °С, витримка 3 год. Подвійний відпал чавунів робочого шару приводив до сфероїдизації перлітного та графітизації перлітного і евтектичного цементиту, у чавунів від шийок валків – до різнорідної за морфологією продуктів евтектоїдного перетворення структури, до складу якої входили графіт, ферит, перліт різної дисперсності, бейніт, мартенсит та фосфідна евтектика. За цього міцнісні властивості термооброблених чавунів були більшими, ніж чавунів валків у литому стані на 8...96%. В результаті проведених досліджень була розроблена, випробувана та рекомендована до впровадження технологія високотемпературного термічного оброблення прокатних валків виконання ЛШНМ-58.

Ключові слова: чавун, прокатний валок, подвійний відпал, структура, властивість

Вступ. Кафедра ливарного виробництва Українського державного університету науки і технологій понад шістдесят років займається дослідженням впливу різних факторів на якість литих чавунних валків [1-4]. Одним з важливих питань для теорії та практики виробництва чавунних прокатних валків є дослідження впливу термічного оброблення, в тому числі подвійного відпалу, на структуру та властивості валкових чавунів [5].

Мета роботи. Визначити вплив подвійного відпалу на мікроструктуру та властивості матеріалу прокатних валків, обрати оптимальний режим відпалу та провести його промислове випробовування.

Основний матеріал. Методи дослідження та обробки експериментальних даних, у тому числі режими теплової обробки, різні методи аналізу та

визначення властивостей чавуну – всі ці методичні питання були вирішені наступним чином. У лабораторних умовах теплове оброблення проводили на спеціальній установці, що включала високотемпературну піч із нагрівачами з хроміту лантану та систему автоматики. У промислових умовах термічне оброблення прокатних валків здійснювали в газових камерних печах з викочуванням подом. Зразки для дослідження мікроструктури, фізико-механічних властивостей та службових характеристик вирізали від нижнього торця бочок та нижніх шийок при механічній обробці литих прокатних валків. Мікроскопічне дослідження проводили на оптичному метало-мікроскопі Neophot 21. Будову матриці валкових чавунів оцінювали за ГОСТ 3443-87. Межу міцності при вигині $\sigma_{\text{виг}}$ зразків розмірами 10x10x55 мм визначали на універсальній машині МУП-50. Модуль пружності – характеристику конструкційної надійності чавунів визначали ультразвуковим методом на приладі УЗІС-ЛЕТІ. Величини твердості, границь міцності та модуля пружності розраховували розраховували як середню трьох випробувань.

Для оцінки впливу параметрів подвійного відпалу на структуру і властивості дослідних чавунів і вибору оптимального режиму термічного оброблення був застосований складний план, одержаний суміщенням плану 24 з 4×4 латинським квадратом. Це було викликано тим, що даний експеримент був багатофакторним, а також тим, що поряд з основними факторами (температура 1-ї стадії відпалу – С: 1000 та 900°C, 2-ї стадії – А: 700 та 600°C, тривалість 1-ї стадії – D: 3 та 1 год, 2-ї стадії – В: 6 та 3 год) був присутній фактор Т– валковий чавун з різним ступенем легованості, що було джерелом неоднорідностей. Перевірку гіпотези про незначущість усіх взаємодій проводили за критерієм Фішера.

Структура чавунів робочого шару валків у литому сталі являла собою половинчасті, а шийок – сірі чавуни. Короткочасна витримка при 900°C приводила до графітизації невеликої кількості евтектичного цементиту у чавунах робочого шару валків, в основному структура матриці після 6- та 3-годинної витримки при 700°C складалася з із зернистого перліту, цементиту та графіту. Біля графітних включень у деяких зразках спостерігали майже чисті

феритні поля. Зі збільшенням часу витримки 1-ї стадії відпалу, а також збільшенням її температури кількість структурно вільного цементиту значно скорочувалася, в основному залишалися переплавлені ділянки фосфідної евтектики, навколо яких розташовувався крупнозернистий перліт у вигляді кайми. Ферит займав центральні ділянки дендритних гілок та оточував графітні включення. У деяких місцях в центральних ділянках дендритів утворювався тонкопластинчастий перліт і троостит. Структура матриці дослідних чавунів робочого шару валків після 6-годинної витримки при 600°C виходила такою ж, як після витримки за більш високої температури 700°C. У деяких місцях перліт виходив більш розрідженим зернистим або сорбітоподібним, по границях деяких зернин аустеніту утворювалася тонка сітка цементиту.

Перша стадія відпалу зразків від шийок валків призводила до зменшення кількості фосфідної евтектики та фериту, особливо помітному з підвищенням температури і тривалості витримки за відпалу. Перліт був в основному зернистим, по границях евтектичних колоній він мав сорбітоподібну будову, зустрічалися також ділянки тонкопластинчастого перліту. За відпалу за таким параметрами: температура 1-ої стадії 1000°C, тривалість витримки 3 години, температура 2-ої стадії 600°C, тривалість витримки 6 год у структурі деяких чавунів по границях колишніх аустенітних зернин зустрічалася сітка вторинного цементиту, біля крупних графітних включень перліт мав дрібнозернисту будову, фериту не було.

Обробку одержаних експериментальних даних та визначення оптимального режиму подвійного відпалу проводили за допомогою комплексного показника якості - узагальненої функції бажаності [5,6], яка була побудована на основі аналізу літературних даних про механічні та експлуатаційні властивості чавуну для прокатних валків. Якість валків оцінювали 7 параметрами: для робочого шару прокатних валків: межа міцності при вигині, твердість, модуль пружності, термостійкість; для чавуну шийок валків: межа міцності при вигині, твердість, модуль пружності. У вихідному литому стані комплексний показник якості-узагальнена функція бажаності G

дослідних чавунів робочого шару та шийок валків дорівнював 0,302. Всього було проведено 16 режимів подвійного відпалу, комплексний показник якості - узагальнена функція бажаності G дослідних чавунів робочого шару та шийок валків після подвійного відпалу коливався у межах від 0,349 до 0,682. В результаті проведеного активного експерименту встановлено, що до оптимального режиму подвійного відпалу слід віднести такі параметри: температура 1-ої стадії 1000°C і тривалість витримки 1 год, температура 2-ої стадії 600°C і тривалість витримки 3 год, за яких комплексний показник якості - узагальнена функція бажаності G мала максимальне значення – 0,682, у 2,2 рази більшою за вихідний литий стан.

Термочасові параметри високотемпературної термічної обробки, розроблені на стадії лабораторних досліджень, були покладені в основу промислового режиму термічного оброблення прокатних валків із чавунів з кулястим графітом виконання ЛШНМ-58 (розміри бочки 0,73×1,10 м). Робочий шар таких валків в литому сталі мав звичайну для таких валків структуру, що складалася з графіту кулястої і компактної форм, перліту, будова якого характеризувалася балом ПД1,0, фериту і цементиту. Термічне оброблення проводили за таким режимом: в печі нагрівання зі швидкістю 25-50 град/год до 1000°C, витримка протягом 1 год, потім поза піччю – примусове охолодження до температури робочого шару 580-620°C в потоці повітряної або водно-повітряної суміші до охолодження. Другу стадію відпалу проводили у печі, вона включала витримку для вирівнювання температури по перерізу валків протягом 3 годин при температурі 600°C та охолодження зі швидкістю 25-30 °C/год до 100 °C. В результаті такого термічного оброблення пластинчастий перліт повністю зникав в усіх валках. Перетворення вторинного аустеніту проходило з утворенням собітоподібного та зернистого перліту. У деяких ділянках дендритних гілок за евтектичного перетворення цементит нашаровувався на надлишковому, а ферит виділявся у вигляді невеликих ділянок. Кількість евтектичного цементиту зменшувалася на 3-8%. Механічні властивості термооброблених чавунів були більшими, ніж чавунів валків у литому стані на 8...96%.

Висновки. Одним з важливих питань для теорії та практики виробництва чавунних прокатних валків є дослідження впливу їх термічного оброблення. В результаті проведених експериментів встановлено, що оптимальним режимом подвійного відпалу є: 1 стадія – температура 1000°C, витримка 1 год, 2 стадія – температура 600°C, витримка 3 год, за яких комплексний показник якості – узагальнена функція бажаності G має максимальне значення – 0,682, у 2,2 рази більшою за вихідний литий стан. В результаті проведених досліджень була розроблена, випробувана та рекомендована до впровадження технологія високотемпературного термічного оброблення прокатних валків виконання ЛШНМ-58.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кривошеєв А. Є. Литі валки. Теоретичні та технологічні основи виробництва. – М.: Металургвид, 1957. – 360 с.
2. Білай Г. Є. Дослідження впливу модифікації на кристалізацію чавуну, структури і властивостей листопрокатних валків: Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.323 / Дніпропетр. металург. і-т. – Дніпропетровськ, 1967. – 23 с.
3. Колотило Є. В. Дослідження і удосконалення виробництва листопрокатних валків з модифікованих чавунів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 / Дніпропетр. металург. і-т. – Дніпропетровськ, 1977. – 23 с.
4. Іванова Л. Х. Теоретичні основи та практичні методи одержання литих прокатних валків із комплексномодифікованих чавунів: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.16.04 / Націон. металург. академія України. – Дніпропетровськ, 2008. – 35 с.
5. Іванова Л. Х. Розробка технологічних способів зниження напружень в чавунних валках і підвищення їх міцності: дис. ... канд. техн. наук : 16.05.04 / Дніпропетр. металург. і-т. – Дніпропетровськ, 1984. – 275 с.
6. Harrington E. C. The Desirability Function // Industrial Quality Control. – 1965. – Vol.21, №10. – P. 494–498.

STUDY OF THE EFFECT OF DOUBLE ANNEALING ON THE QUALITY OF SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRONS

Liudmyla Ivanova, Yevhen Kolotylo, Andrii Bilyi, Vladyslav Shemet

Abstract. *The study of the influence of double annealing on the structure and properties of rolled cast irons of the LShNM-58 design was carried out. As a result of the studies conducted using a complex plan obtained by combining plan 24 with a 4×4 Latin square, the optimal double annealing mode was selected: stage I - temperature 1000 °C, holding*

time 1 h; stage II - temperature 600 °C, holding time 3 h. Double annealing of cast irons of the working layer led to spheroidization of pearlite and graphitization of pearlite and eutectic cementite, in cast irons from the necks of the rolls - to a structure heterogeneous in morphology of eutectoid transformation products, which included graphite, ferrite, pearlite of different dispersion, bainite, martensite and phosphide eutectic. At the same time, the strength properties of heat-treated cast irons were higher than those of cast iron rolls by 8...96%. As a result of the research, a technology for high-temperature heat treatment of rolling rolls of the LShNM-58 design was developed, tested and recommended for implementation.

Keywords: *cast iron, rolling roll, double annealing, structure, property*

REFERENCES

1. Kryvosheyev A. YE. Lyti valky. Teoretychni ta tekhnolohichni osnovy vyrobnytstva. – M.: Metalurhvyd, 1957. – 360 s. [in Ukrainian].
2. Bilay H. YE. Doslidzhennya vplyvu modyfikatsiyi na krystalizatsiyu chavunu, struktury i vlastyvostry lystoprokatnykh valkiv: Avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.323 / Dnipropetr. metalurh. i-t. – Dnipropetrovs'k, 1967.– 23 s. [in Ukrainian].
3. Kolotylo YE. V. Doslidzhennya i udoskonalennya vyrobnytstva lystoprokatnykh valkiv z modyfikovanykh chavuniv: Avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.16.04 / Dnipropetr. metalurh. i-t. – Dnipropetrovs'k, 1977.– 23 s. [in Ukrainian].
4. Ivanova L. KH. Teoretychni osnovy ta praktychni metody oderzhannya lytykh prokatnykh valkiv iz kompleksnomodyfikovanykh chavuniv: Avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.16.04 / Natsion. metalurh. akademiya Ukrayiny. – Dnipropetrovs'k, 2008. – 35 s. [in Ukrainian].
5. Ivanova L. KH. Rozrobka tekhnolohichnykh sposobiv znyzhennya napruzhen' v chavunnykh valkakh i pidvyshchennya yikh mitsnosti: dys. ... kand. tekhn. nauk : 16.05.04 / Dnipropetr. metalurh. i-t. – Dnipropetrovs'k, 1984. – 275 s. [in Ukrainian].
6. Harrington E. C. The Desirability Function // Industrial Quality Control.– 1965.– Vol.21, №10.– P. 494–498.