

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВСТАНОВЛЕННЯ ВПЛИВУ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ НА СТРУКТУРУ ВАЛКОВИХ ЧАВУНІВ

Іванова Л.Х.¹ [ORCID], Селівьорстов В.Ю.² [ORCID],

Хитько О.Ю.³ [ORCID], Білий А.П.⁴ [ORCID]

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

²Український державний університет науки і технологій, д.т.н., проф., Україна

³Український державний університет науки і технологій, к.т.н., доц., Україна

⁴Український державний університет науки і технологій, к.т.н., доц., Україна

Анотація. Метою досліджень було встановлення карбідоутворюючої здатності різних РЗМ у білих валкових чавунах. Для досягнення цієї мети була поставлена наступна задача – установити вплив хімічних елементів церієвої та ітрієвої підгруп РЗМ на мікроструктуру валкового чавуну. Обґрунтувати вибір РЗМ для обробки білих валкових чавунів. Виявлені закономірності впливу рідкісноземельних елементів церієвої підгрупи – самарію та церію та ітрієвої підгрупи – гадолінію та ітрію при швидкості охолодження, що має місце у валковій ливарній формі на процеси структуроутворення білих чавунів для прокатних валків. Встановлені закономірності впливу рідкісноземельних елементів підгруп на процеси структуроутворення білих чавунів для прокатних валків: карбідоутворююча здатність РЗМ ітрієвої підгрупи була у 5,2 рази більшою за церієву підгрупу.

Ключові слова: валковий чавун, рідкісноземельний метал, структурний складник, карбідоутворююча здатність, модифікування чавуну, мікроструктура чавуну, структуроутворення

Вступ. Чавунні прокатні валки є складними виливками, в яких поверхневий робочий шар представлений білим (або половинчастим з кулястим або пластинчастим графітом), а серцевина – сірим чавуном з графітом таких же форм [1]. Якість литих чавунних валків, їх службові властивості залежать від багатьох факторів, але, головним чином, від фізико-хімічних властивостей застосовуваних розплавів і процесів, що протікають у період затвердіння та подальшого охолодження в ливарній формі. Застосовувані на прокатних станах нині валки з модифікованого чавуну різноманітні за розмірами та призначенням, виготовляються з різною

структурою та механічними властивостями. Кафедра ливарного виробництва Українського державного університету науки і технологій понад шістдесят років займається дослідженням впливу різних факторів на якість литих чавунних валків. [2-4]. Одним з важливих питань для теорії та практики виробництва чавунних прокатних валків є дослідження впливу рідкісноземельних металів на структуру валкових чавунів.

Мета роботи. Визначити вплив двох підгруп рідкісноземельних металів на структуру матеріалу прокатних валків, обрати перспективну групу рідкісноземельних металів.

Основний матеріал. Для виконання поставлених у роботі завдань використовували стандартні методи контролю, апробовані методи дослідження та сучасне обладнання для отримання чавунів, проведення хімічного, металографічного аналізу. Мікроскопічне дослідження проводили на оптичних метало-мікроскопах МІМ-8М та Neophot 21 при збільшеннях 12...1300. Шліфи досліджували до та після травлення. Як основний травник використовували 2% -ний розчин азотної кислоти в етиловому спирті (ніталь). Кількість структурних складників визначали точковим методом Глаголева у 20 полях зору зі збільшенням 400, що забезпечувало достатню достовірність. Мікротвердість структурних складових чавунів визначали на приладі ПМТ-3 за ГОСТ 9450-76 при навантаженні 0,49Н та збільшенні 487. Точність вимірювання діагоналі відбитка становила 0,07 мкм. Мікротвердість структурних складових чавунів визначали на приладі ПМТ-3 за ГОСТ 9450-76 при навантаженні 0,49Н та збільшенні 487. Точність вимірювання діагоналі відбитка становила 0,07 мкм. Величину мікротвердості розраховували як середню 50 вимірів. Для модифікування чавунних розплавів використовували індивідуальні РЗМ із вмістом домішок %: церій – 0,41, ітрій – 0,24, гадоліній – 0,29, самарій – 0,46. Було проведено серію плавок на чавуні постійного хімічного складу: С 3,49; Si 0,30; Mn 0,05; P 0,005; S 0,2; Fe решта після кристалізації зі швидкістю охолодження 5,5 град/с.

Мікроструктура вихідного немодифікованого чавуну. Зразок з немодифікованого чавуну після кристалізації мав структуру доевтектичного

білого чавуну (БЧ): дендрити аустеніту були оточені ледебуритною евтектикою стільникового типу з мікротвердістю H_{50} 7512 МПа. Евтектоїдне перетворення аустеніту проходило з утворенням трооститу, мікротвердість якого була 3883 МПа, рідко зустрічалися ділянки пластинчастого перліту. Перетворення ледебуритного аустеніту частіше відбувалося з поділом фаз, цементит нашаровувався на евтектичному, ферит виділявся окремо.

Мікроструктура чавунів, модифікованих РЗМ церієвої групи. Дослідження проводили на доевтектичних чавунах, виплавлених на постійній шихті. При модифікуванні досліджуваного базового чавуну зростаючими кількостями самарію чавун з його залишковим вмістом 0,094% мав структуру доевтектичного БЧ, у порівнянні з базовим чавуном зросла кількість аустеніту до 40,5%, а також знизилася кількість ледебуриту М7 і підвищилася його мікроледебуриту і Па8 мікро. При евтектоїдному перетворенні утворювався троостит з вищою мікротвердістю H_{50} 3991 МПа.

При підвищенні концентрації елемента-модифікатора до 0,198% при кристалізації більшість рідини перетворювалася на аустеніт, кількість якого досягала 56,2%. Решта рідини, що залишилася, зазнавала евтектичного перетворення з утворенням тонкого ледебуриту і ділянок з конгломератною структурою. Після затвердіння при охолодженні від евтектичної до евтектоїдної температури відбувалося виділення вторинного цементиту, який ріс в аустеніті у вигляді пластин. Евтектоїдне перетворення проходило в основному з утворенням тонкодиференційованого перліту (трооститу). Значення мікротвердості карбідної фази і мартенситу в чавунах із залишковим вмістом самарію 0,198% були в середньому на 10% вище порівняно з чавуном, що містить 0,094% модифікатора. Подальше підвищення концентрації самарію в чавуні (до 0,423%) призводило до різкого зменшення кількості ледебуриту, майже вся евтектична рідина зазнавала розпаду з утворенням конгломератної структури, тобто спостерігалось роздільне зростання дендритів аустеніту та цементитних пластин. Дрібні ледебуритні колонії зустрічалися дуже рідко. Після затвердіння вторинний цементит виділявся у вигляді пластин. Крім того, деякі дендритні гілки аустеніту переохолоджувалися до температури

мартенситної області. При вмістах самарію 0,821% кристалізація ледебуриту повністю придушувалася, евтектичне перетворення проходило з поділом фаз. Кількість мартенситу у структурі чавуну зростала.

При модифікуванні базового чавуну церієм отримані близькі результати щодо зміни структури матриці. У межах досліджених концентрацій (0,113...0,948%) було отримано БЧ, у матриці яких кількість перліту зростала від 66,4 до 72,5%. У чавуні із вмістом церію 0,113% порівняно з базовим чавуном зросла кількість аустеніту та знизилася кількість ледебуриту (30,6%), а також його мікротвердість до 6992 МПа. При евтектоїдному перетворенні утворювався перліт з нижчою мікротвердістю H_{50} 3790 МПа. При підвищенні вмісту церію до 0,208 і 0,392% при кристалізації більшість рідини перетворювалася на аустеніт, кількість якого досягала 68,0%. Решта рідини, що залишилася, зазнавала евтектичного перетворення з утворенням тонкого ледебуриту і ділянок з конгломератною структурою.

Евтектоїдне перетворення проходило в основному з утворенням тонкодіфференційованого перліту (трооститу) з мікротвердістю 4280 МПа. Слід зазначити, що з концентраціях 0,113...0,392% в ледебуритних колоніях зустрічався аномальний ферит. При вмістах церію 0,651 і 0,948% кристалізація ледебуриту в чавуні повністю придушувалася, евтектичне перетворення проходило з поділом фаз. Мікротвердість карбідів досягала максимальних значень – 9463 та 9571 МПа відповідно. При евтектоїдному перетворенні утворювався троостит з мікротвердістю 4373 МПа.

Таким чином, а) максимальну кількість карбідів (без урахування карбідів у ледебуриті стільникового типу) було отримано при 0,821% самарію, 0,948% церію; б) середній вміст РЗМ цієї підгрупи становив 0,885%; в) середній вміст карбідної складової – 27,1%.

Мікроструктура чавунів, модифікованих РЗМ ітрієвої групи. У первинній структурі чавуну з залишковим вмістом 0,020% гадолінію дендрити аустеніту займали 34,5%, решта 65,5% припадали на ледебурит і цементит, що був продуктом роздільної кристалізації евтектичних фаз.

Існують критичні вмісти індивідуальних РЗМ, які забезпечували максимальну кількість карбідів у структурі чавуну. Середній залишковий вміст елементів ітрієвої підгрупи в чавуні було на 8% менше, ніж церієвої. Максимальна кількість карбідів (без урахування карбідів у ледебуриті стільникового типу) була отримана при 0,900% гадолінію та 0,731% ітрію. Середній вміст РЗМ цієї підгрупи становив 0,816%. Середній вміст карбідної складової 36,4%, що на 34% більше, ніж церієвої підгрупи.

Подальше підвищення вмісту індивідуальних РЗМ сприяло зменшенню кількості надлишкових карбідів у структурі чавунів. У чавунах із залишковим вмістом гадолінію 0,190; 0,900 і 1,446% при евтектичній кристалізації відбувався повний поділ фаз, і первинна структура складалася з дендритів аустеніту та цементиту. Вторинний цементит при подальшому охолодженні після затвердіння виділявся з аустеніту як тонких пластин. Евтектоїдне перетворення аустеніту при малому вмісті гадолінію призводило до утворення тонкого перліту з мікротвердістю 3883 МПа. Зі збільшенням вмісту гадолінію в чавуні мікротвердість перліту зростала, у структурі утворювався троостит, мікротвердість якого досягала 5120 МПа.

Вплив модифікування ітрієм було аналогічним впливу самарію: воно виражалось в зменшенні кількості ледебуриту, кристалізація якого повністю пригнічувалася при 0,731% ітрію, збільшенні мікротвердості цементиту і матриці (трооститу), в перетворенні частини аустеніту в мартенсит, частка якого.

Отже, для модифікування БЧ існують критичні змісти індивідуальних РЗМ, що забезпечували максимальну кількість карбідів у структурі БЧ. Так, максимальна кількість карбідів (без урахування карбідів у ледебуриті стільникового типу) була отримана при 0,314% самарію та 0,900% гадолінію, а також при 0,731% ітрію, 0,651% церію. Подальше підвищення вмісту індивідуальних РЗМ сприяло зменшенню кількості надлишкових карбідів у структурі чавунів. Як випливає з даних кількісного металографічного аналізу, при постійній швидкості охолодження кількість та тип структурних складових чавуну залежать від виду та залишкового вмісту індивідуального РЗМ.

Визначення карбідоутворюючої здатності РЗМ. Металографічний аналіз модифікованих індивідуальними РЗМ чавунів та розрахунок середніх відносних величин кількості карбідної складової на одиницю залишкового вмісту РЗМ показали, що за карбідоутворювальною здатністю досліджуваних РЗМ ітрієвої групи мали в середньому показник $845+747=796$, а досліджуваний $193+114=154$.

Таким чином, в інтервалі досліджених концентрацій РЗМ їх вплив на структурні зміни валкового БЧ був аналогічним. Модифікування білого чавуну РЗМ забезпечувало зміну типу карбідної евтектики та дисперсності перліту. Найбільша зміна структури модифікованого БЧ спостерігалася при залишковому вмісті самарію 0,423% або гадолінію 0,190%, а також ітрію 0,731%, і церію 0,651%. Підвищення дисперсності та мікротвердості перліту, поява в структурах мартенситу та пластинкова будова карбідної евтектики повинні сприяти підвищенню зносостійкості та міцності БЧ. Таким чином, незважаючи на те, що середній залишковий вміст елементів ітрієвої підгрупи в чавуні було на 8% менше, карбідоутворююча здатність цієї підгрупи була у 5.2 рази більшою за церієву підгрупу. Зазначені індивідуальні особливості РЗМ необхідно враховувати при виборі вискоефективних складів КМ.

Висновки

Виявлені закономірності впливу рідкісноземельних елементів церієвої підгрупи – самарію та церію та ітрієвої підгрупи – гадолінію та ітрію на процеси структуроутворення білих чавунів для прокатних валків.

Встановлено, що в інтервалі досліджених концентрацій РЗМ та швидкості охолодження вплив РЗМ на структурні зміни валкового БЧ був аналогічним. Модифікування білого чавуну РЗМ забезпечувало зміну типу карбідної евтектики та дисперсності перліту. Карбідоутворююча здатність РЗМ ітрієвої підгрупи була у 5,2 рази більшою. Це дало можливість обґрунтувати тип основу комплексного модифікатора для досягнення необхідних властивостей матеріалу прокатних валків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кривошеев 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.

SYSTEM APPROACH TO DETERMINING THE EFFECT OF RARE-EARTH METALS ON THE STRUCTURE OF ROLL CAST IRONS

Lyudmila Ivanova, Vadim Selivorstov, Alexander Khitko, Alexander Belyi

Abstract. *The aim of the study is to determine the carbide-forming ability of various rare-earth metals in white roll cast irons. To achieve this goal, the following task was formulated: to establish the influence of chemical elements of the cerium and yttrium subgroups of rare-earth metals on the microstructure of roll cast iron, as well as to substantiate the selection of rare-earth metals for the treatment of white roll cast irons.*

Regularities of the influence of rare-earth elements of the cerium subgroup (samarium and cerium) and the yttrium subgroup (gadolinium and yttrium) on the structure formation processes of white cast irons for rolling rolls under cooling rates typical for roll casting molds have been established. It has been shown that the individual effects of the studied subgroups of rare-earth metals on the microstructure differ in terms of their residual content ranges.

Modification of white cast iron with rare-earth metals leads to changes in the type of carbide eutectic and the dispersion of pearlite. It has been established that the carbide-forming ability of rare-earth metals of the yttrium subgroup is 5.2 times higher than that of the cerium subgroup. This made it possible to substantiate the composition of the base of a complex modifier to achieve the required properties of roll materials.

Keywords: *roll cast iron, rare-earth metal, structural constituent, carbide-forming ability, cast iron modification, cast iron microstructure*

REFERENCE

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 valkyv: 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 valkyv 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 valkyv iz kompleksnomodyfikovanykh chavuniv: Avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.16.04 / Natsion. metalurh. akademiya Ukrayiny. – Dnipropetrovs'k, 2008. – 35 s. [in Ukrainian].