

МОДИФІКУВАННЯ ЧАВУНІВ ДИСПРОЗІЄМ

Л. Х. Іванова, д.т.н., проф., Д. В. Муха, асп., А. В. Страшна, студ.

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

Постановка проблеми. Металургійна промисловість [1] є однією з основних галузей, що споживають рідкісноземельні метали (РЗМ) у великих кількостях. РЗМ використовуються при виробництві високоміцних чавунів, чавунів з низьким вмістом сірки тощо. Присадка РЗМ у чавуні проявляється специфічним чином. Відомо, що присадкою РЗМ у чавуні надають, наприклад, значний вплив на графітизацію, кристалізацію та ін. Світове споживання РЗМ сьогодні складає 70...75% від загального їх виробництва, тобто відбувається регулярне накопичення незатребуваних РЗМ. В НМетАУ протягом понад шестидесяти років проводяться дослідження по впливу РЗМ, на структуру і властивості чавунних прокатних валків.

Фізичні властивості РЗМ, а також дані про їх кристалічні структури вперше були узагальнені Г.Шнейдером і докладені на симпозіумі з РЗМ в 1959 році в Чикаго [2], так, наприклад, диспрозій (лат. Dysprosium) Dy - хімічний елемент III групи періодичної системи; відноситься до РЗЕ (ітрієвої групи лантанодів). Атомний номер 66, атомна маса 162,5; радіус нейтронного атома 0,177 нм. Теплопровідність 11,5 Вт/(м·К), густина 8,55 г/см³, температура плавлення 1685К (1412°C), температура кипіння 2835К (2562°C), ТКЛР = 1,18 × 10⁻⁶ К⁻¹. Елемент відкритий в 1866 р. французьким хіміком П. Е. Лекока де Буабодраном. Межа текучості 225 МПа при 20°C. На повітрі диспрозій повільно окислюється при ~ 20°C, швидко – при температурі більше за 100°C. Диспрозій – феромагнетик, точка Кюрі 88,3К; легко піддається механічній обробці.

В Україні в якості основного модифікатора для отримання високоміцного чавуну застосовується чистий магній або комплексні модифікатори на його основі. При обробці валкового розплаву магнієм виникають труднощі, пов'язані з інтенсивним його випаром. Особливості впливу такого РЗМ як диспрозій на фізико-механічні та експлуатаційні властивості валкових чавунів практично відсутні.

Метою роботи визначення впливу диспрозію на фізико-механічні та експлуатаційні властивості валкових чавунів.

На першому етапі дослідили вплив модифікування диспрозієм та іншими РЗМ (ітрії, церій) на відбіл валкового чавуну. Після розплавлення та перегрівання вихідного металу в індукційній печі проводили позапічне модифікування кожним з рідкісноземельних металів (диспрозієм, церієм та ітрієм) у кількості 0,2 мас.%. Вплив дослідних модифікаторів на відбіл був якісно однаковим, однак більша величина загального та чистого відбілу була одержана при модифікуванні чавуну диспрозієм.

Вплив модифікування диспрозієм на твердість чавуну досліджували при литті у піщану форму, у кокіль та після охолодження розплаву з піччю. Проведеними дослідженнями встановлено, що обробка розплавів диспрозієм приводила до утворення в зразках структури білого чавуну при охолодженні в піщаній формі (табл. 1).

Таблиця 1

Результати досліджень при литті у піщану форму

Номер зразка	Присадка диспрозію, % по масі	Твердість НВ	Мікротвердість структурних складових, МПа		
			карбід	перліт	мартенсит
0	-	420	6870	2830	-
1	1,5	455	8090	3110	-
2	3,0	466	8570	3300	4030
3	4,5	489	8910	3510	4840
4	6,0	516	7510	3190	4780

Твердість валкового чавуну зі збільшенням присадки від 1,5 до 6 % по масі збільшувалася на 8...29%.

При литті у кокінь невеликі присадки диспрозію (0,2 та 0,4%) призводили до помітного зменшення твердості на 9...4%. Мінімальна твердість була отримана при присадці 0,4%. Збільшення присадки диспрозію з 0,8 до 1,6% призводило до підвищення твердості до 372...444 НВ. При присадці диспрозію 3% отримано найкращий показник твердості, який перевищує вихідне значення на 14%.

У чавунах, які охолоджували з піччю, невеликі присадки диспрозію також приводили до помітного зменшення твердості на 7...10%. Мінімальна твердість була отримана при присадці 0,2% диспрозію. Це було зумовлено зміною форми включень графіту і структури матриці. Збільшення присадки диспрозію до 0,2...1,0% призводило до підвищення твердості в порівнянні з твердістю вихідного чавуну, але рівень значень був менший, ніж при литті чавунів у кокінь. Збільшення присадки вище критичного сприяло різкому підвищенню твердості, що було пов'язано з утворенням в структурі чавуну карбідної фази.

На другому етапі досліджень розробили новий склад чавуну для прокатних валків з підвищеною твердістю [3]. У лабораторних умовах були відлиті зразки з чавуну вихідного (табл. 2, чавун 1) та нового складу (табл. 2, чавуни 2...8).

Таблиця 2

Узагальнені дані по випробуванню дослідних чавунів

№	Вміст хімічних елементів, мас. %								Твердість HSD
	C	Si	Mn	Ce	Y	La	Nd	Dy	
1	3,4	1,6	0,8	0,04	0,02	0,06	0,03	-	62
2	3,5	1,8	0,8	0,04	0,02	0,04	0,03	0,02	63
3	3,5	0,8	0,8	0,04	0,04	0,04	0,05	0,07	65
4	2,8	1,8	0,5	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	64
5	3,8	0,8	0,5	0,04	0,02	0,05	0,03	0,07	64,5
6	3,1	1,3	0,6	0,05	0,03	0,05	0,04	0,02	64
7	3,15	1,3	0,6	0,05	0,03	0,04	0,04	0,05	64,5
8	3,1	1,3	0,6	0,05	0,03	0,04	0,04	0,07	65

Для одержання зразків з чавунів вихідного та нового складу плавку проводили в індукційній печі ЛПЗ-67М з кислото футерівкою. Модифікувальні елементи (церій, ітрій, лантан, неодим, диспрозій) завантажували у ківш перед випуском металу. Церій вводили у вигляді фероцерію, ітрій та диспрозій – металевими

ми, лантан і неодим – у вигляді лантан-неодимової лігатури такого складу, мас. %: (лантан+неодим) 45, кремній 40, кальцій 0,4; залізо – решта. Чавуни при температурі 1500°C випускали у ківш з необхідним наважками модифікаторів та при досягненні температури 1300...1340°C заливали у кокільні форми. Виливки мали розміри: діаметр 20, висота 70 мм.

Виливки з вихідного чавуну мали високу твердість, однак масивні цементитні виділення в структурі робочого шару, що представляли собою грубий конгломерат евтектичних фаз, були центрами зародження та поширення тріщин при експлуатації валків.

У міру підвищення монолітності цементиту відбувалося зниження опірності чавуну крихкому руйнуванню, що призводило до викрашування і відколу буртів калібрів, а також до поперечних поломок по бочці валків. До числа недоліків валків, відлитих з цього чавуну, слід віднести також виділення в шийках валків структурно вільних карбідів, що знижували їх міцність і збільшували твердість, що ускладнювало їх механічну обробку і часто призводило до відламування шийок при експлуатації валків.

Модифікування диспрозієм призводило до зміни типу евтектики, тобто одержання пластиноподібної замість ледебуритної, а також до підвищення дисперсності матриці, що сприяло збільшенню твердості. При вмістах менше за 0,02% диспрозію кристалізація ледебуриду повністю не придушувалася, а при вмістах вище за 0,07% – у структурі виділялася велика кількість неметалевих включень, які зменшували твердість чавуну. Твердість модифікованого диспрозієм чавуну була вище, ніж вихідного, на 2...5%.

Таким чином, характер зміни твердості був однаковим при модифікуванні доевтектичних, евтектичних та заевтектичних чавунів диспрозієм, а також як при литті у піщану форму, кокіль та при охолодженні модифікованого сплаву з піччю.

На третьому етапі з метою одержання білого чавуну з високими властивостями, в тому числі термостійкістю, в чавун вводили диспрозію у кількості 0,04 – 0,18 мас. %.

При встановленні необхідної кількості диспрозію ураховували, що диспрозію є одним з найсильніших елементів-модифікаторів. Модифікування диспрозієм призводить до повного подавлення кристалізації ледебуриду, підвищенню дисперсності продуктів розпаду аустеніту, збільшенню мікротвердості матриці та карбідної фази. Збільшення вмісту диспрозію вище верхньої границі призводить до утворення великої кількості неметалевих включень, які зменшують фізико-механічні та службові властивості. При вмістах диспрозію нижче нижньої границі кристалізація ледебуриду повністю не подавлюється та зносостійкість такого чавуну зменшується.

Для оцінки термостійкості такого чавуну і його структурного стану, у порівнянні з вихідним, отримали експериментальний чавун з застосуванням вихідного базового чавуну. Експериментальні плавки проводили в силітовій печі, вага шихти 200 г. Після розплавлення шихти, зчищували шлак періоду плавлення, заміряли температуру та вводили диспрозію у вигляді диспрозію металевого. При температурі 1330°C чавун заливали у кокільні форми. Виливки мали розміри: діаметр 20 мм та висоту 70 мм. З цих виливків вирізали зразки для хімічного аналізу, металографічних досліджень, випробування термостійкості, зносостійкості та межі при вигині. Термостійкість сплаву визначали після 100 циклічних нагрівань до температури 650±10°C та охолодження у водяній ванні при температурі 20±2°C, максимально наближуючись до теплової роботи валків. Хімічний

аналіз та властивості вихідного та модифікованого диспрозієм чавуну наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Узагальнені дані по випробовуванню властивостей дослідних чавунів

№ сплаву	Хімічний склад, мас.%						Властивості		
	C	Si	Mn	Ce	Y	Dy	Зносостійкість, г	$\sigma_B^{виг}$ МПа	Термостійкість, мм/см ²
1	2,8	1,8	0,8	0,06	0,05	0,20	0,025	735	6,95
2	3,5	2,5	0,8	0,8	0,15	0,04	0,029	760	6,7
3	3,1	1,3	0,6	0,05	0,03	0,12	0,028	745	6,85
4	3,2	1,08	0,55	0,04	0,03	-	0,053	525	10,5
5	3,2	1,11	0,55	0,08	0,07	-	0,052	530	9,5

Як видно з таблиці термостійкість експериментальних чавунів (табл. 3, чавун 1-3) у порівнянні з вихідним чавуном (табл. 3, чавун 4,5) збільшилася на 30...33%. Крім того, зносостійкість запропонованого чавуну була вище, ніж відомого, на 45-52%, а границя міцності при вигині на 41-44%. Склад нового чавуну був запатентований [4].

Висновки

1. Аналіз сучасного стану ливарного виробництва показав, що розробки практичних методів одержання чавунних виливків, в тому числі литих прокатних валків із чавунних розплавів, оброблених рідкісноземельними металами, є актуальними. Світове споживання РЗМ сьогодні складає 70...75% від загального їх виробництва, тобто відбувається регулярне накопичення незатребуваних РЗМ.

2. Вплив модифікування рідких РЗМ на відбіл чавуну був якісно однаковим. Більша величина загального та чистого відбілу була одержана при модифікуванні чавуну диспрозієм.

3. Дослідження впливу диспрозію на твердість чавунів показало, що характер зміни твердості був однаковим при модифікуванні різних чавунів, а також при литті у піщану форму, кокіль та при охолодженні модифікованого сплаву з пічкою: при невеликих присадках – до 0,4% РЗМ твердість зменшувалася, а при збільшенні присадки – збільшувалася на 2...14%.

4. Вплив диспрозію на білі валкові чавуни показав збільшення термостійкості у порівнянні з вихідним чавуном на 27...30%.

Список використаних джерел

1. Запалка Д., Волны О. Редкоземельные металлы и возможности их использования в металлургии: Обзор по системе Информсталь/Ин-т «Черметинформация». – М., 1990. – Вып. 8(365). – 20 с.

2. Приданцев М.В. Влияние примесей и редкоземельных элементов на свойства сплавов / М.В. Приданцев. – М.: Металлургиздат, 1962. – 208 с.

3. Пат. 98996 Україна, МПК⁷ C22C 37/10. Чавун для прокатних валків / Іванова Л.Х., Колотило С.В., Хричиков В.Є. [та ін.] (Україна); заявник та патентовласник Нац. метал. акад. України. – з. № a201010187; Заявл. 18.08.2010; Опубл. 10.07.2012. Бюл. №13. – 3 с.

4. Пат. 104671 Україна, МПК⁷ C22C 37/06, C22C 37/10. Чавун / Іванова Л.Х., Колотило С.В., Хричиков В.Є. [та ін.] (Україна); заявник та патентовласник Нац. метал. акад. України. – з. № a201211583; Заявл. 08.10.2012; Опубл. 25.02.2014. Бюл. №4. – 3 с.