

ступінь феритизування металевої основи, що, загалом, дозволяє значно поліпшити показники якості литих виробів і підвищити їх конкурентоздатність на ринку.

Список літератури

1. Бунин К.П., Малиночка Я.Н., Таран Ю.Н. Основы металлографии чугуна. – М.: Металлургия. – 1969. – 416 с.
2. Stets W., Löblich H., Gassner G., Schumacher P. Solution strengthened ferritic ductile cast iron properties, production and application // International Journal of Metalcasting. – April 2014, Vol. 8, Issue 2, pp. 35-40. <https://doi.org/10.1007/BF03355580>.
3. Stan S., Riposan I., Chisamera M., Stan I. Solidification characteristics of silicon-alloyed ductile cast irons // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2019, Vol. 28, Issue 1, pp. 278-286. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3828-2>.

УДК 669.131.7:621.74:66.046.516:669.15-196.5

**В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинський, Н. П. Моїсеєва, В. О. Овсянников, С. М. Мед-
відь**

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

E-mail: otdel.vch@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ СТАЛЕВИХ ВІДХОДІВ ПРИ ОТРИМАННІ ПЕРЛІТНОГО ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ З ПІДВИЩЕНОЮ ПЛАСТИЧНІСТЮ

Діючі в Україні стандарти ДСТУ 3925-99 та ДСТУ EN 1563:2018 передбачають отримання двох марок перлітного високоміцного чавуну ВЧ700-2 і ВЧ800- 2 з регламентованим мінімальним тимчасовим опором під час розтягування σ_B , відповідно, 700 МПа і 800 МПа та відносним видовженням $\delta \geq 2 \%$, що в багатьох випадках не відповідають вимогам до матеріалів для сучасної техніки. Сьогодні світові лідери в галузі високоміцного чавуну створили і успішно виготовляють деталі з нових марок перлітного високоміцного чавуну типу ВЧ700-10; ВЧ800-10; ВЧ850-5, що мають підвищене в 2,5-5 разів відносне видовження [1]. Збільшення пластичності забезпечує підвищення циклічної довговічності виробів та поліпшує їх оброблюваність різанням.

Стабільні структура та високі механічні властивості високоміцного чавуну у виливках досягаються при використанні чистих по шкідливим домішкам шихтових матеріалів. Економічно вигідно виключати з шихти чушкові доменні чавуни і замінювати їх відходами холодного штампування відповідних марок сталей. Перспективним напрямком розвитку технологій перлітного високоміцного чавуну підвищеної пластичності є застосування для модифікування феросиліцій-магній-кальцієвих лігатур, яке сприяє збільшенню кількості центрів кристалізування графіту, зменшує схильність тонкостінних виливків до утворення відбілу, знижує об'ємну усадку, підвищує пластичність та ударну в'язкість матеріалу виливків [2]. Метою роботи було дослідження і оптимізування технологічних параметрів отримання перлітного високоміцного чавуну з підвищеною пластичністю.

Дослідження проводили на базовому синтетичному чавуні, який одержували переплавом пакетованих відходів листової штампованої сталі з масовою часткою 0,08 % C, 0,2-0,3 % Si, 0,08-0,11 % Mn, 0,03 % S, 0,02 % P з добавкою графітової стружки для науглецювання і феросиліцію. Хімічний склад виплавленого синтетичного чавуну (в мас. %: 0,58 Si; 0,1 Mn; 0,02 P; 0,026 S) відрізнявся від виплавленого з переробного чавуну марки ПЛ2, головним чином, меншими у 4 рази масовими частками фосфору і марганцю. Вміст інших хімічних елементів, включаючи сірку, відрізнявся мало. Модифікувально-рафінувальне оброблення розплаву чавуну проводили у ковші феросиліцій-магній-кальцієвою лігатурою ФСМг7К4 з флюсувальною добавкою флюориту кальцію марки ФК-92, яка знижує температуру і в'язкість шлаку, що утворюється під час реакційної взаємодії лігатури з розплавом. Для порівняння використовували також традиційний для технологій одержання перлітного високоміцного чавуну процес модифікування нікель-магнієвою лігатурою НіМг15 спільно з феросиліцієм ФС75. Дані по хімічному складу, структурі і механічним властивостям високоміцних чавунів, виплавлених зі сталевих відходів за двома варіантами процесів модифікування, наведені у таблиці. Для одержання перлітної металевої основи (більше 92 % перліту) і підвищення міцності застосовували легування міддю в кількості 1,2 % (при модифікуванні лігатурою ФСМг7К4) і 0,45 % (при модифікуванні лігатурою НіМг15). У високоміцному чавуні мідь в рази перевершує нікель по перлітизувальній здатності і майже в 4 рази дешевша.

Після термічного оброблення – нормалізування (нагрів в печі до 850+20 °С, витримка 2 години, охолодження на повітрі) – при однаковій структурі металевої основи (92 % перліту і 8 % фериту) механічні властивості одержаних високоміцних чавунів були наступні: для варіанту модифікування ФСМг7К4 – $\sigma_B = 883$ МПа; $\delta = 7,2$ %;

ЛИТВО.МЕТАЛУРГІЯ. 2024

КС = 65,5 Дж/см²; 255 НВ; у варіанті модифікування лігатурою NiMg15 з ФС75 – $\sigma_B = 790$ МПа; $\delta = 3,8$ %; КС = 21,3 Дж/см²; 269 НВ.

Таблиця – Хімічний склад, структура металевої основи і механічні властивості по-різному модифікованих високоміцних чавунів, виплавлених із сталевих відходів

Спосіб модифікування	Масова частка елементу, %				Структура, %		Показники механічних властивостей			
	Si	Mn	Ni	Cu	Ферит	Перліт	σ_B , МПа	δ , %	КС, Дж/см ²	НВ
1,5% NiMg15 + 1% ФС75	2,19	0,08	1,10	0,42	$\frac{45}{8}$	$\frac{55}{92}$	$\frac{650}{790}$	$\frac{5,8}{3,8}$	$\frac{32,8}{21,3}$	$\frac{217}{269}$
2,0% ФСМг7К4	2,34	0,11	0,05	1,12	$\frac{55}{8}$	$\frac{45}{92}$	$\frac{695}{883}$	$\frac{9,0}{7,2}$	$\frac{55,4}{65,5}$	$\frac{207}{255}$

*у чисельнику наведено дані для зразків у литому стані, в знаменнику – після нормалізування.

Таким чином, в умовах застосування синтетичного чавуну (із відходів сталі) з низьким вмістом фосфору 0,02% і марганцю 0,1% встановлено, що модифікування феросиліцій-магній-кальцієвою лігатурою, в порівнянні з традиційним процесом модифікування нікель-магнієвою лігатурою і феросиліцієм, дозволяє підвищити показники механічних властивостей перлітного високоміцного чавуну: опір під час розтягування σ_B на 12 %, відносне видовження δ на 90 %, ударну в'язкість КС у 2,1 рази. В результаті застосування для легування замість нікелю більш дешевої міді досягається значний економічний ефект. Вирішення проблеми одержання литих виробів без структурно-вільного цементиту (відбілу) дозволяє значно знизити витрати на термічне оброблення – виключити з технологічного процесу енергоємну операцію високотемпературного графітизувального відпалу для його розкладання.

Список літератури

- Zanardi F., Bonollo F., Angella G., et al. A contribution to new material standards for ductile irons and austempered ductile irons. *International Journal of Metalcasting*. 2017, Vol. 11, is. 1, pp. 136-147. <https://doi.org/10.1007/s40962-016-0095-6>.
- Бубликов В. Б. Кальций в высокопрочном чугуна. *Процессы литья*. 2007. № 5. С. 4–10.