

дилися в більш вузькому інтервалі (від 217 HB до 269 HB, відповідно). Хімічний склад, структуру и механічні властивості дослідних виливків представлено в табл. 1.

Таблиця 1. Хімічний склад, структура та показники механічних властивостей високоміцного чавуну в дослідних виливках колінчастого валу (чисельник – в литому стані, знаменник – після нормалізації)

Варіант модифікування	Масова частка елемента, %				Кількість перліту, %	Значення показників механічних властивостей			
	C	Si	Mn	Ni		$\sigma_B$ , МПа	HB	$\delta$ , %	КС, Дж/см <sup>2</sup>
1,5% NiMgCe + 1,0% ФС75	3,78	2,75	0,38	0,95	55	591,5	217	6,0	35,3
					92	728,9	269	4,0	18,6
1,5% FeSiMgCa	3,75	2,72	0,36	0,89	45	656,3	212	9,2	57,9
					90	829,0	255	6,5	39,2

Таким чином, високоміцний чавун, отриманий модифікуванням FeSiMgCa-лігатурою, перевершує модифікований NiMgCe-лігатурою і феросиліцієм за показниками тимчасового опору під час розтягування, відносного видовження та ударної в'язкості. Використання процесу комплексного модифікуючого і рафінуючого оброблення розплаву забезпечило підвищення показників механічних властивостей термооброблених колінчастих валів з високоміцного чавуну –  $\sigma_B$  на 13,8%;  $\delta$  на 62%; КС на 111%.

**Бубликов В.Б., Бачинський Ю.Д., Ясинський О.О., Нестерук О.П.**  
(ФТІМС НАН України, м. Київ)

**ВИСОКОКРЕМНІЄВИЙ ВИСОКОМІЦНИЙ ЧАВУН – НОВИЙ  
ПРОГРЕСИВНИЙ КОНСТРУКЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ**

E-mail: ot.del.vch@gmail.com

Широке застосування високоміцного чавуну з кулястим графітом в сучасній високотехнологічній техніці потребує створення нових марок цього унікального литого конструкційного матеріалу і технологій отримання з них литих виробів підвищеної якості. Для виробів з феритно-перлітних високоміцних чавунів ВЧ500-7 та ВЧ600-3 вирішуються завдання підвищення в 2,0...2,5 рази пластичності за одночасного поліпшення їх оброблюваності різанням на станках-автоматах. У складі високоміцного чавуну кремній поряд з вуглецем є основним графітізуювальним елементом і його масова частка згідно з діючим стандартом не повинна перевищувати 2,8...2,9%. Перспективним напрямком вирішення вказаних завдань є створення марок високоміцного чавуну з більш високою кількістю кремнію, який виступатиме легувальним елементом, що зміцнює  $\alpha$ -твердий розчин, тобто ферит. Зміна механічних властивостей, яка спостерігається при підвищенні масової частки кремнію, з одного боку, пояснюється зміною співвідношення перліт/ферит в металевій основі, а

з іншого – зміцненням твердого розчину. Зменшення міцності і твердості перлітно-феритної металевої основи пов'язане зі зменшенням кількості перліту, а подальше збільшення міцності і твердості феритної металевої основи є результатом легування кремнієм твердого розчину. Однак за певної критичної масової частки кремнію в розплаві, яка значно залежить від кількості шкідливих домішок (фосфору, сірки та ін.), ефективності процесу модифікування, швидкості охолодження виливків і інших технологічних факторів, відбувається окрихчування високоміцного чавуну та зниження його пластичності і ударної в'язкості. Сучасні прогресивні технологічні рішення дозволяють ефективно використовувати оптимальну кількість кремнію в процесах отримання нових марок високоміцного чавуну [1, 2].

Проведено дослідження впливу кремнію в кількості від 2,5 % до 4,2 %. Плавки проводили в індукційній електропечі ICT-016 методом переплаву переробного високоякісного чавуну ПБК2 (%: 3,97 C; 0,68 Si; 0,29 Mn; 0,11 Cr; 0,013 S; 0,055 P; решта Fe). Заданий вміст кремнію у вихідному чавуні отримували введенням розрахункової кількості феросиліцію ФС75. Модифікування проводили в ковші лігатурою FeSiMgCaRE (%: 7,1 Mg; 8,4 Ca; 48,1 Si; 2,0 PЗМ; решта Fe). Для визначення механічних властивостей відливали клиновидну пробу з товщиною основи 25 мм.

Наведені в табл. 1 результати свідчать, що із збільшенням масової частки кремнію підвищуються такі показники механічних властивостей як  $\sigma_B$  та  $\sigma_{0,2}$ . Значення показника відносного видовження  $\delta$  за кількості кремнію від 3,1% до 3,7% досить високі (від 16,6% до 19,7%), а при 4,2% Si зменшується до 12,1%.

Таблиця 1. Вплив кремнію на механічні властивості ВЧ

Масова частка Si, %	Значення показника		
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
2,5	526	350	13,7
3,1	552	403	16,6
3,4	570	443	19,7
3,7	605	468	19,3
4,2	630	485	12,1

Таким чином, легування кремнієм у кількості від 3,1% до 4,2% забезпечує отримання феритного високоміцного чавуну з більш оптимальним співвідношенням показників міцності за відносного видовження, яке перевершує передбачені стандартом ДСТУ3925-99 для феритно-перлітних марок ВЧ500-7 та ВЧ600-3.

#### Література:

1. Бубликов В. Б., Нарівський А. В., Бачинський Ю. Д., Ясинський О. О. Легований кремнієм високоміцний чавун та його застосування // Процеси лиття. – 2020, №1, с. 20-29.

2. W. Stets, H. Löblich, G. Gassner, P. Schumacher. Solution strengthened ferritic ductile cast iron properties, production and application // International Journal of Metalcasting. – April 2014, Vol. 8, Issue 2, pp. 35-40.

**Бубликов В.Б., Берчук Д.М., Овсянников В.О.**

*(ФТІМС НАН України, м. Київ)*

**ЗАСТОСУВАННЯ FeSiMgCa ЛІГАТУРИ ПРИ ОДЕРЖАННІ  
ТОНКОСТІННОГО ЛИТВА З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ**

**E-mail: ot.del.vch@gmail.com**

Високоміцний чавун з кулястим графітом є прогресивним литим конструкційним матеріалом, що має широкі можливості застосування у сучасних конструкціях та обладнанні. Внутрішньоформове модифікування забезпечує найбільш оптимальне для властивостей високоміцного чавуну структуроутворення. Воно дозволяє додатково підвищити ступінь графітизації і дисперсність структури за рахунок збільшення швидкості охолодження без утворення цементиту. Диспергування металевої основи забезпечує поліпшення таких механічних характеристик, як міцність, пластичність, ударна в'язкість.

Підвищення властивостей високоміцного чавуну і вдосконалення технології його виробництва – це, також, підвищення ефективності модифікаторів. Проведене термодинамічне дослідження рафінувальної здатності активних модифікувальних елементів свідчить, що кальцій є найбільш активним десульфуратором і розкислювачем, ніж Ba, Mg, Sr, PЗМ, через що покращується модифікувальна та рафінувальна здатність лігатури. Кальцій зменшує переохолодження, зумовлене введенням магнію, запобігає утворенню зернограничної крихкості, в результаті чого підвищується пластичність, втомна міцність, зменшується анізотропія механічних властивостей високоміцного чавуну у виливках. Тому, перспективним є використання магній-кальцієвої лігатури для модифікування при одержанні високоміцного чавуну.

Вивчали ефективність модифікування комплексної феросиліцій-магній-кальцієвої лігатури в ковші та ливарній формі при одержанні ступінчастої проби з товщиною стінки зразків від 2,5 мм до 10 мм.

Встановлено, що після ковшового модифікування ступінь сфероїдизації графіту в структурі зразків ступінчастої проби склав 80...85%, кількість цементиту становила від 15% до 40%, а фериту – до 10%.

При модифікуванні феросиліцій-магній-кальцієвою лігатурою FeSiMg<sub>2,5</sub>Ca<sub>2,5</sub> ступінь сфероїдизації вкраплень графіту в перерізі ступені товщиною 2,5 мм складає 95%, а в інших ступенях – знижується до 90%. При цьому кількість фериту становить 65% для 2,5 мм перерізу і зменшується до 53% при збільшенні товщини до 10 мм.

При модифікуванні FeSiMg<sub>7</sub>Ca<sub>7</sub> у всіх перерізах спостерігається ступінь сфероїдизації графіту на рівні 95...97%. Цей модифікатор також забезпечує найбільший (порівняно з попередніми варіантами оброблення) рівень інокуляції, визначений щільністю розподілу вкраплень кулястого графіту на 1 мм<sup>2</sup> площі шліфа.