

В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинський, О. П. Нестерук, В. О. Овсянников

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

E-mail: otdel.vch@gmail.com

ОТРИМАННЯ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗМІЦНЕНОГО ЛЕГУВАННЯМ КРЕМНІЄМ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

У високоміцному чавуні кремній є основним графітувальним елементом і його масова частка зазвичай не перевищує 3,0 %. При більшій масовій частці в розплаві кремній виступає легувальним елементом для чавуну [1]. Атоми кремнію замінюють атоми заліза в кристалічній решітці і в чавуні утворюється твердий розчин заміщення. В даний час активно ведуться роботи по використанню легування кремнієм з метою зміцнення твердого розчину для одержання високоміцних чавунів з кулястим графітом з підвищеним рівнем механічних властивостей і поліпшеним механічним обробленням [2, 3]. Кремній в оптимальній його кількості ефективно використовується для легування розплаву в процесах отримання нових марок високоміцного чавуну.

У промислових умовах розплав для отримання високоміцного чавуну виплавляли в індукційній електропечі ІЧТ-10. У якості шихти використовували 50 % передільного високоякісного чавуну марки ПВКЗ та 50 % звороту від виробництва високоміцного чавуну. Використання такої шихти дозволяло отримати вихідний розплав з низькою масовою часткою шкідливих домішок – $S \leq 0,012\%$ і $P \leq 0,05\%$. Виплавлений розплав модифікували феросиліцій-магнієвою лігатурою ФСМг7 у ковші ємністю 2,5 т рідкого чавуну, який далі транспортували на заливальну ділянку ливарного конвеєра. Там метал переливали у встановлений на гвинтовому підйомнику ковш ємністю 80 кг чавуну для заливання ливарних форм, в яких отримували корпусні виливки масою ~4,1 кг з товщиною стінок 4-15 мм. Дослідження проводили на зразках високоміцного чавуну, вирізаних із стінки виливків товщиною 10 мм. Високоміцний чавун у виливках мав наступну масову частку хімічних елементів (%): 3,41-3,56 C; 2,60-4,10 Si; 0,31-0,44 Mn; 0,041-0,055 Mg; 0,011-0,012 S; 0,05-0,06 P; решта Fe.

Результати дослідження впливу кремнію на механічні властивості високоміцного чавуну представлені у таблиці. Враховуючи рівень показників механічних властивостей, отримані експериментальні дані були розділені на 3 групи по вмісту кремнію: 1 – 2,60-2,85 %; 2 – 3,10-3,80 %; 3 – 3,90-4,10 %. У структурі виливків цементиту не

виявлено, а включення кулястого графіту форми ШГф5, ШГф4 мали щільність розподілу 110-130 шт./мм². З підвищенням масової частки кремнію кількість фериту у структурі металевої основи збільшується з 55-65 % до 80-94 % (решту складає перліт). При зміні масової частки кремнію у високоміцному чавуні від 2,6 %

Таблиця – Вплив кремнію на механічні властивості високоміцного чавуну

№ з/п	Масова частка Si, %	Механічні властивості						Витримка модифікованого розплаву у ковші, хв.
		σ_B , МПа	$\sigma_{Bсер.}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,2сер.}$, МПа	δ , %	$\delta_{сер.}$, %	
1	2,60	544	547,0	403	408,0	10,4	11,0	5
	2,85	550		414		11,7		10
2	3,10	565	573,4	414	428,0	15,9	15,8	20
	3,50	585		446		16,1		11
	3,50	585		420		15,5		16
	3,80	575		460		15,8		6
3	3,90	583	586,0	476	470,7	8,9	9,6	5
	3,95	590		460		11,0		10
	4,10	585		476		8,9		16

до 4,1 % тимчасовий опір під час розтягування σ_B збільшується на 7,3 % (з 547 МПа до 586 МПа), а його умовна границя плинності $\sigma_{0,2}$ – на 15,4 % (з 408,0 МПа до 470,7 МПа). Максимальне відносне видовження $\delta = 15,5-16,1$ % досягається у другому діапазоні вмісту кремнію і перевищує показники першого та третього діапазонів на 46 % і 39 %, відповідно.

Таким чином встановлено, що використання легування чавуну кремнієм у кількості 3,1-3,8 % в умовах розробленої технології на основі застосування ковшового модифікування феросиліцій-магнієвою лігатурою забезпечує отримання у виливках з товщиною стінки 10 мм високоміцного чавуну з вищими механічними властивостями ($\sigma_B = 570$ МПа; $\sigma_{0,2} = 425$ МПа при $\delta = 15,8$ %), ніж передбачено стандартом ДСТУ3925-99 для марки ВЧ500-7. Експериментально показано (див. табл.), що тривалість розливання модифікованого розплаву в ливарні форми може досягати 20 хвилин при збереженні у структурі виливків ступеня сфероїдизування графіту понад 85 % без суттєвої зміни рівня механічних властивостей розробленого високоміцного чавуну. Зі збільшенням масової частки кремнію в високоміцному чавуні збільшується кількість графітної фази, знижується схильність до утворення відбілу і усадкових дефектів, підвищується

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.