

мікрооб'ємах менша ніж при макродеформації стисненням та, що модифікування досліджуваної сталі 17X14Г19АФ нанорозмірними частками VN позитивно впливає на стійкість до кавітаційного зношування, оскільки наклепування відбувається рівномірно по всій поверхні досліджуваного зразка (рис. в). Показано, що доцільно використовувати залежності формування дислокаційної структури при об'ємному механічному деформуванні для аналізу її формування при деформації в мікрооб'ємах металу при кавітаційній дії. Встановлено, що при обох видах деформації в Fe – Cr – Mn – N сталі зі стабільним аустенітом і попереднім дисперсійним зміцненням деформаційне зміцнення відбувається дислокаційним шляхом за механізмом Орована.

УДК 669.162.275:669.112:542.65

### **Оптимізація вмісту кремнію в FeSiMg лігатурах для сфероїдируючої обробки розплавів чавуну**

**Ю. Д. Бачинський**

Покращення структуроутворення тонкостінних виливків з товщиною стінок 2 – 3 мм та виливків з перепадом товщини стінок від 2 до 10 – 12 мм має велике практичне значення для розвитку всіх галузей промисловості України, особливо машинобудування. Отримання таких виливків з високоміцного чавуну з кулястим графітом, взамін сталі, сплавів кольорових металів, сірого та ковкого чавунів, забезпечує зменшення їх маси при підвищенні властивостей, ефективності роботи та економії енергоресурсів (бензину, дизельного пального, тощо).

Однак в Україні високоміцний чавун не має великої популярності застосування і частка виливків з нього на порядок нижча, ніж середньосвітова, з причини використання технології модифікування у відкритих ковшах, яка має низький (25 – 35 % мас.) ступінь переходу магнію, незадовільну екологію, нестабільність одержання якісних виливків з товщиною стінки менше 10 мм в литому стані. Проблему можна вирішити використанням модифікування розплаву в передкристалізаційному періоді, при якому активізується створення значної кількості додаткових центрів кристалізації, а характерний для тонкостінних виливків прискорений тепловідвід сприяє фіксації дії модифікування на кристалізацію. Важливу роль при цьому відіграють хімічний і фазовий склад феросиліцій-магнієвої лігатури.

Більшість феросиліцій-магнієвих лігатур для сфероїдируючої обробки чавуну містить 43 – 48 % мас. кремнію, який формує необхідну кількість стабільних силіцидів Mg, Ca, Ce, та інших елементів в якості центрів інокуляції кулястого графіту у виливках з товщиною стінок від 5 мм. При литті тонкостінних (2 – 3 мм) виливків металоємність однієї форми виявляється невеликою, в результаті чого тривалість заливання скорочується до 4 – 6 с, а кількість центрів формування кулястого графіту – недостатньою

для запобігання утворенню небажаного цементиту, для усунення якого треба проводити графітизуючий відпал готового виробу. Тому актуальними є дослідження кінетичних режимів розчинення лігатур в залізо-високовуглецевих розплавах і оптимізація їх хімічного складу, які забезпечать технологічно прийнятну інерційність ефективного модифікування, покращення структуроутворення і підвищення механічних властивостей чавуну з кулястим графітом.

Досліджено швидкість розчинення лігатур типу ФСМг7 в розплаві чавуну з температурами 1400 °С і 1350 °С. Досліджені лігатури, окрім незначної різниці за вмістом магнію і кремнію, відрізнялися присутністю різних структурних складових з температурою плавлення ~1410 °С – FeSi в першій лігатурі (фазовий склад, у %,  $62,12\text{FeSi}_2 + 19,36\text{FeSi} + 17,77\text{Mg}_2\text{Si} + 0,75\text{SiPЗМСа}$ ) і Si в другій ( $49,68\text{FeSi}_2 + 24,69\text{Si} + 23,21\text{Mg}_2\text{Si} + 2,42\text{SiPЗМСа}$ ). Встановлено, що для обох температур розплаву відбувається значно інтенсивніше розчинення лігатури з фазою Si, ніж лігатури з фазою FeSi. Це пояснюється дією механізму дифузійного плавлення фази Si, яка, в результаті зустрічного дифузійного переносу кремнію лігатури в чавун і заліза чавуну в лігатуру, швидше переходить у лебоїт FeSi<sub>2</sub> з температурою плавлення 1220 °С, ніж фаза FeSi – в Fe<sub>2</sub>Si.

На основі досліджень оптимізовано хімічний склад залізо-кремній-магнієвої лігатури за вмістом кремнію – запропоновано його вміст підвищити до 55 – 60 %. Склад отриманої лігатури – 59,3 % FeSi<sub>2</sub> + 26,4 % Si + 14,2 % Mg<sub>2</sub>Si.

Хімічний склад, структура та механічні властивості високоміцного чавуну, модифікованого в формі FeSiMg лігатурами з різним вмістом кремнію при отриманні виливка з товщиною стінок 12 мм

% Si в лігатурі	Вміст елемента в чавуні, %				Структура металевої основи, %	Механічні властивості		
	C	Si	Mn	Mg		σ <sub>в</sub> , МПа	σ <sub>0,2</sub> , МПа	δ, %
45,6	3,81	2,48	0,43	0,041	П30 (Ф70)	564	418	8,6
60,0	3,86	2,73	0,39	0,039	П10 (Ф90)	541	396	12,7

Примітка: П – перліт, Ф – ферит.

Модифікування висококремнієвою лігатурою ФСМг7 в кількості 1,0 % від маси розплаву забезпечує отримання в стінці завтовшки 2,0 мм високоміцного чавуну з феритно-перлітною металевою основою (55 – 60 % фериту) без структурно-вільного цементиту за рахунок більшого приросту кількості кремнію в перших порціях обробленого розплаву. В стінках товщиною більше 3,0 мм кількість фериту досягає 90 – 95 %. Щільність розподілу включень кулястого графіту в структурі ВЧ вважається критерієм оцінки графітизуючої дії FeSiMg лігатур. Обробка розплаву феросиліцій-магнієвою лігатурою оптимізованого вмісту кремнію забезпечує високий рівень графітизації структури тонкостінних виливків – в стінці товщиною 2,0 мм кількість включень кулястого графіту досягла 1680 шт/мм<sup>2</sup>, а у 3,0 і 12,0 мм стінках – 1180 і 780 шт/мм<sup>2</sup> відповідно.

Оптимізована лігатура ФСМг7 характеризується меншою інерційністю взаємодії і, як результат, більшою швидкістю плавлення у початковому періоді, сприяючи покращенню графітизації і феритизації чавуну та підвищенню його пластичності.



Молоді обличчя української науки.

УДК 621.746.5:533.9

### **Чисельне імітаційне моделювання теплового поля в процесі лиття стосовно ливарно-плазмової технології**

**О. В. Шматко**

Конкурентоспроможність більшості промислових підприємств багато в чому визначається ресурсом роботи обладнання, що використовується. Особливо гостро проблема стоїть в гірничодобувній промисловості, де техніка працює в умовах інтенсивного абразивного і ударно-абразивного зношування. Одним з варіантів вирішення проблеми є використання біметалевих виробів, комплекс властивостей яких забезпечує підвищення їх конструкційних і зносостійких характеристик.

Безперервна ливарно-плазмова технологія отримання біметалевих конструкцій дозволяє отримувати прості вироби типу «смуга біметалева», яка використовується для зносостійкого посилення ковшів гірничодобувної і землерийної техніки.

В рамках розробки технології, для скорочення витрат на проведення практичних експериментів, було проведено імітаційне чисельне моделювання з метою визначення необхідних температурних параметрів процесу заливки в ливарній системі і кристалізаторі. Для розрахунку брали початкові дані для двох варіантів:

- заливання на не нагріту сталеву полосу (не оброблену плазмовим джерелом):  $T_{ст} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- заливання на нагріту сталеву полосу (оброблену плазмовим джерелом):  $T_{ст} = 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вибір температури нагріву обумовлений нижньою межею області дифузійного з'єднання рідкого металу з твердою заготівкою. Отримані розрахункові дані дають можливість визначити зміну температурного поля від часу в області кристалізації розплаву на сталевій смузі. У першому випадку температура підкладки в зоні контакту з розплавом знаходиться в межах від  $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , що свідчить про обмеження можливого дифузійного з'єднання рідкого металу з твердою заготівкою. У