



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОРРЕКТИРОВКИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧУГУНА ПРИ ПЛАВКЕ В ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Давулов Ш.Б., Таджиев Н.Х.

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

Конструкционные чугуны - уникальные сплавы. Область их применения охватывает большинство отраслей народного хозяйства благодаря удачному сочетанию эксплуатационных и технологических свойств. Особой и преобладающей областью применения чугунов является машиностроение, подавляющее большинство корпусных отливок для которого изготавливается из этого сплава. Кроме того, технологичность чугуна позволяет управлять свойствами за счет эффективного регулирования процессов структурообразования на этапе выплавки и последующей температурно-временной обработки. Это дает возможность повысить механические свойства или придать специальные характеристики для конкретных условий эксплуатации: износостойкость, жаропрочность, коррозионная стойкость, особые магнитные характеристики [1].

Наличие в чугунах графитной фазы различной морфологии позволяет варьировать комплексом их свойств в очень широких пределах и конкурировать со сталью в литом и деформированном состоянии, а также с другими материалами. Конечная структура и свойства чугуна зависят не только от процесса выплавки металла, но и от способа литья. Коррекция химического состава чугуна при его выплавке является одной из ключевых технологических операций, которая влияет на качество готовой продукции и эффективность ее производства. Основное требование к процедуре коррекции химического состава расплава чугуна заключается в том, что продолжительность ее выполнения должна быть по возможности минимальной и безошибочной.

Структурообразование в чугуне изучается уже давно, однако с развитием технологий и исследовательского оборудования появляется возможность проводить более глубокие теоретические и практические исследования, что и предопределило выбор темы данной статьи.

Различные методы плавления и внепечной обработки чугунов с целью улучшения формы вкраплений графита, управления их размерами и процессами распределения в металлической матрице описывают в своих трудах Ровин С.Л., Калиниченко А.С., Долгий Л.П., Шейнерт В.А., Лузгин В.И., Петров А.Ю.

Над вопросами оптимизации химического и гранулометрического состава для различного по функциональному назначению серого или белого чугуна в литейной форме трудятся Ковалько М.С., Волочко А.Г., Зизико А.В., Рубаник В.В., Квятковский С.А.

Однако, несмотря на имеющиеся труды и наработки, ряд вопросов в



данной предметной плоскости остается открытым. В частности, отсутствие информации о характеристиках ферросплавов и других добавок, необходимых для использования при коррекции химического состава чугуна, затрудняет их эффективное применение в автоматических системах управления технологическим процессом изготовления металлопродукции.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении возможностей усовершенствования технологии корректировки химического состава чугуна при плавке в индукционных тигельных печах.

Основным этапом процедуры доведения состава чугуна до необходимой кондиции является расчет количества соответствующих материалов, присадок для внесения в расплав с целью увеличения содержания конкретных элементов в чугуне [2]. Например, расчет порции ферромарганца, необходимой для добавления в расплав жидкого чугуна, чтобы повысить содержание Mn до требуемой величины. Искомой функцией в таком расчете является масса (объем, количество) материала, которую нужно внести в расплав для получения требуемого содержания в чугуне корректируемого химического элемента.

Итак, обозначим массу корректирующей добавки материала Δq_m . Аргументами являются масса расплава чугуна печи q , кг; требуемое содержание анализируемого элемента в чугуне $E_ч$, %; содержание элемента в расплаве, по результатам измерения химического состава пробы, отобранной из ванны расплава, $E_з$, %; содержание элемента в материале, который применяется для корректировки этого элемента, E_m , %; величина угара $Y_г$, %, элемента, содержание которого корректируется, в процессе добавления в расплав корректирующего материала. Величина ΔE , на которую необходимо увеличить содержание элемента, определяется как $\Delta E = E_ч - E_з$, %.

Формула для расчета Δq_m имеет вид:

$$\Delta q_m = \frac{100 \cdot q \cdot \Delta E}{E_m(100 - Y_г)} \text{ или } \Delta q_m = \frac{100 \cdot q \cdot (E_ч - E_з)}{E_m(100 - Y_г)}$$

Необходимо отметить, что переменные E_m и $Y_г$ в выше представленных формулах являются случайными величинами. Величины q и $E_з$ в каждом случае целесообразно принимать за условно постоянные, достоверность которых определяется точностью аппаратуры, применяемой для их контроля. Результаты экспресс-анализа содержания $E_з$ химических элементов в расплаве чугуна определяет направление и объем корректировки состава чугуна. Величина $E_ч$ необходимого содержания конкретного элемента в составе чугуна устанавливается в самом начале. Она является «точкой прицеливания» в процедуре коррекции его химического состава.

Рассмотрим особенности применения данной методики на практике. Химический состав серого (СЧ) и высокопрочного чугуна (ВЧ) опытных плавов приведен в табл. 1. Плавка осуществлялась в индукционной тигельной печи.

Таблица 1 Химический состав чугуна

| Сплав | Содержание, % масс | | | | | | | |
|-------|--------------------|---------|---------------|-----|-----|------|------|-----------------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | S | P | Mg |
| СЧ | 2,9–3,1 | 1,5–1,9 | 0,7–0,9 | 0,1 | 0,1 | 0,02 | 0,02 | – |
| ВЧ | 3,5–3,7 | 3,2–3,5 | 0,45– 0,55 | 0,1 | 0,1 | 0,02 | 0,02 | 0,035– 0,050 |

Следует отметить, что химический состав СЧ подобран так, чтобы получить высокие показатели прочности в исследуемых тонкостенных отливках. Для ВЧ выбор верхнего предела содержания углерода связан с особенностями технологии литья по полистирольным моделям. При заливке чугуна с содержанием углерода выше 3,7 % часть углерода, образующаяся в результате термодеструкции пенополистирола и не успевающая удаляться вакуумной системой через противопопригарное покрытие в песок, не усваивалась расплавом, а выделялась на поверхности отливки. Это приводило к появлению таких дефектов отливки, как углеродные раковины, складчатость, пленки пироуглерода. Кроме того, повышенное содержание углерода способствует получению ферритной структуры. На герметичность также влияет степень сфероидизации графита - более высокая гидроплотность наблюдается у чугуна с шаровидной формой графита.

Металлографический анализ чугуна проводили с использованием микроскопа МИМ-8. Образцы для механических испытаний изготавливали из приливных проб. Испытания на растяжение проводили согласно EN 10002-1:2006. Твердость измеряли согласно ISO 6506-1:2007. Типичная микроструктура отливок, полученных из СЧ, представлена на рис. 1.

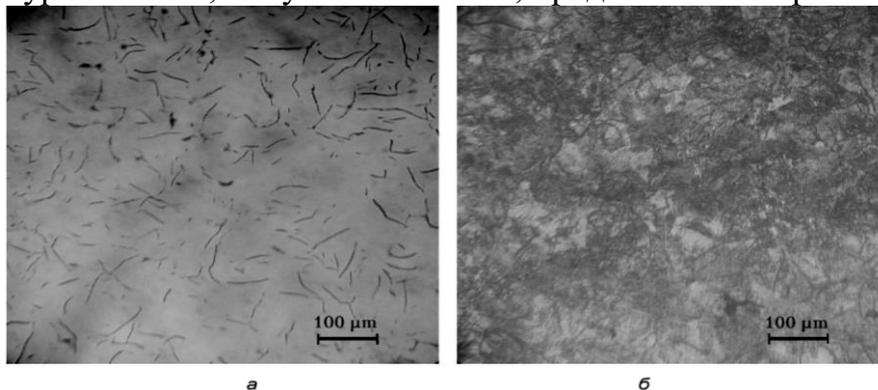


Рис. 1 Микроструктура отливок из СЧ: не травленная (а), травленная (б)

Как свидетельствует рис. 1, в структуре присутствует пластинчатый графит формы ПГф1 и ПГф2 (рис. 1, а). Размер графитовых вкраплений 45-90 мкм, распределение - ПГр1, количество ПГ2-ПГ4. Металлическая матрица - перлит дисперсностью Пд0,3 (рис. 1, б), феррит 2-8 %. Цементит в структуре отсутствует.

На рис. 2 показана типичная микроструктура отливок из ВЧ.

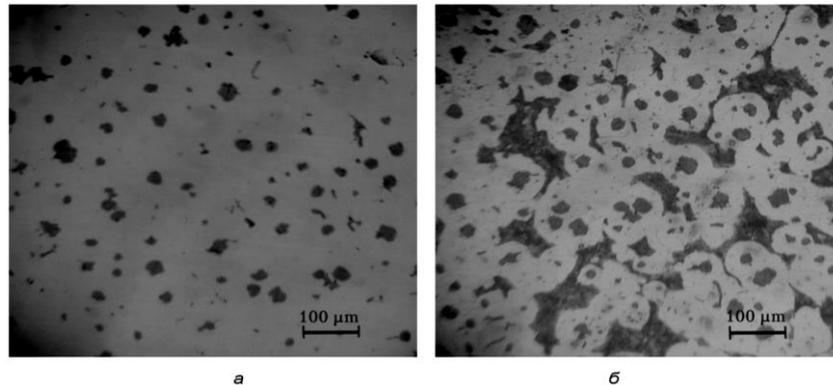


Рис. 2 Микроструктура отливок из ВЧ: не травленная (а), травленная (б)

Согласно рис. 2 в структуре ВЧ присутствует шаровидный графит формы ШГф5 и ШГф4 (рис. 2, а). Степень сфероидизации графита - 90%. Размер графитовых вкраплений 15-25 мкм, распределение - ШГр1, количество ШГ2-ШГ4. Металлическая матрица феррит (70 %) + перлит (30 %) (рис. 2, б).

Испытания на гидроплотность показали, что отливки из СЧ и ВЧ выдерживают испытательное давление жидкости в 40 МПа. Испытания на растяжение показали, что СЧ характеризуется прочностью в 305-320 МПа. Твердость СЧ составляла 196-220 НВ. Временное сопротивление при растяжении ВЧ составляло 460-480 МПа, относительное удлинение - 5-8 %, а твердость - 175-204 НВ.

Таким образом, для получения стабильного химического состава чугуна при его плавке в индукционной тигельной печи необходимо придерживаться оптимального порядка загрузки шихты и использовать карбюризаторы на основе графита, которые характеризуются низким содержанием золы и примесей, с размером частиц 1,0-5,0 мм.

Литература:

1. Туракулов М.Р. Разработка эффективной технологии получения синтетического чугуна в индукционной тигельной печи // Universum: технические науки. 2022. № 6-2 (99). С. 30-33.
2. Лузгин В.И. Высокопроизводительные индукционные печи средней частоты для плавки чугуна и стали // Промышленная энергетика. 2022. № 9. С. 20-27.