

УДК 669.714

А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук,  
В.А. ШЕЙНЕРТ,  
В.А. СМЕТКИН, канд. пед. наук,  
А.А. АНДРУШЕВИЧ, канд. техн. наук,  
И.Л. КУЛИНИЧ (БНТУ)

### ОСОБЕННОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СЕРОГО ЧУГУНА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В настоящее время для модифицирования структуры металлов и их сплавов находят все большее применение наноматериалы в виде соединений активных элементов (нитриды, карбиды, оксиды, карбонитриды и др.). Главным преимуществом таких модификаторов является большое количество частиц, приходящихся на единицу объема расплава, что в значительной степени определяет эффективность измельчения кристаллической структуры обрабатываемого сплава, и как следствие, значительное повышение прочностных и эксплуатационных свойств отливок. Анализируя литературные источники по данному вопросу, необходимо отметить уже достигнутые успехи в практике наномодифицирования литейных сплавов [1, 2].

Интересные результаты получены в работе [1] по модифицированию чугуна СЧ 25 ультрадисперсными порошками оксидов тугоплавких металлов и криолита. Установлено, что после введения такого модификатора характер распределения пластинчатого графита приобретает вид колоний дендритного направленного строения с размером пластинчатого графита в 2 раза меньше по сравнению с немодифицированным образцом. При этом увеличивается дисперсность перлита с 0,57 до 0,32 мкм и повышается предел прочности на 90 МПа при сохранении твердости чугуна равной  $207 \text{ НВ} \pm 5 \%$ .

Ранее проведенные исследования показали перспективность применения ультрадисперсных порошков нитрида титана в составах

брикетированных модификаторов-раскислителей на основе алюминия при выплавке углеродистой стали [2].

Установлено, что для достижения максимального эффекта применения наночастиц актуальным является вопрос эффективного их ввода в составы модификаторов. Один из таких способов ввода, предусматривающий предварительное смешивание компонентов, их брикетирование и последующую экструзию в прутки диаметром 3–5 мм, был реализован нами в лабораторных условиях [3]. Анализ результатов проведенных исследований показал, что в экструдированных образцах модификатора на основе олова распределение нанопорошка оксида иттрия в матрице гораздо более равномерное по сравнению с аналогичными материалами, полученными методами сплавления и прессования порошковых смесей [4]. Следовательно, следует ожидать более эффективного влияния таких наночастиц на формирование микроструктуры в литейных сплавах. Строение металлической основы чугуна связано с эвтектоидным превращением и обуславливается преимущественно временем и длиной пути диффузии атомов углерода при распаде аустенита. Известно, что аустенит распадается несколько ниже температуры эвтектоидного превращения и при неблагоприятном сочетании различных факторов процесс может происходить с образованием перлитной металлической основы включений пластинчатого графита. Этому процессу способствует наличие в чугуне таких металлов как медь, никель и олово.

Целью настоящей работы являлось исследование особенностей структурообразования в чугуне с пластинчатым графитом при использовании модификатора на основе олова с добавками наночастиц оксида иттрия.

Плавка чугуна осуществлялась в индукционной тигельной печи ИСТ-006. В качестве основных шихтовых материалов использовали рафинированный доменный передельный чугун, стальной лом. После расплавления и перегрева чугуна в индукционной печи до температуры 1450 С производился выпуск плавки и разливка по литейным формам. Модификатор в виде прутка диаметром 5 мм. (рисунк 1), полученный методом экструзии, вводился в ковш под струю жидкого чугуна в количестве 0,15 %.



Рисунок 1– Общий вид модификатора на основе олова с добавками наночастиц оксида иттрия

Для исследования химического состава, структуры, технологических и механических свойств немодифицированного и модифицированного чугуна отливались необходимые образцы.

Отбор проб и подготовку шлифов для исследования структуры немодифицированных и модифицированных образцов серого чугуна осуществляли по ГОСТ 3443-87. Измерения твердости проводили по методу Бринелля при нагрузке 30 000 Н на твердомере ТШ-2М. Склонность чугуна к отбелу изучали на специальных клиновых пробах, отлитых в стержневую форму. Обобщенные результаты представлены в таблице 1.

Исходный сплав содержал 3,49 % углерода, 1,86 % кремния, незначительное количество марганца. Качество полученного серого чугуна оценивали по морфологическим характеристикам и распределению пластинчатого графита, фазовому составу матричной основы, дисперсности пластин перлита. Установлено, что металлическая основа исходного сплава состояла в основном из перлита и незначительного количества феррита (8 %), структура графита – пластинчатая завихренная (ПГф2), с длиной включений не более 45 мкм. В модифицированном чугуне металлическая основа состояла из перлита более высокой дисперсности (рисунок 2).

При сравнительном анализе микроструктуры образцов в первую очередь заметны изменения в характере распределения и размере пластинчатого графита (рисунок 3). Модифицирование чугуна позволило уменьшить размер графитной фазы до 25 мкм.

Таблица 1 – Сравнительные результаты исследований химического состава, структуры, твердости и технологических свойств чугунов

Состав чугуна		Отбел, мм	Твердость, НВ			Микроструктура						
			Толщина стенки отливки, мм			Металл. основа		Графит				
C	Si	Sn	5	15	25	45	Пер- лит	Фер- рит	Фор- ма ППф	Рас- пред. ППр	Размер ППд	Кол-во ПП
3,49	1,86	0,03	207	196	173	162	П92	Ф6	ПГф2	ПГр1, 3	ПГд45	ПГ4, 6
3,6	1,9	0,14	229	203	191	187	П100	0	ПГф2	ПГр1	ПГд25	ПГ6

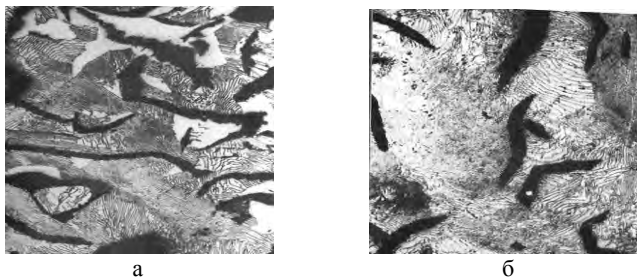


Рисунок 2 – Структура металлической основы исходного (а) и модифицированного (б) чугуна,  $\times 500$

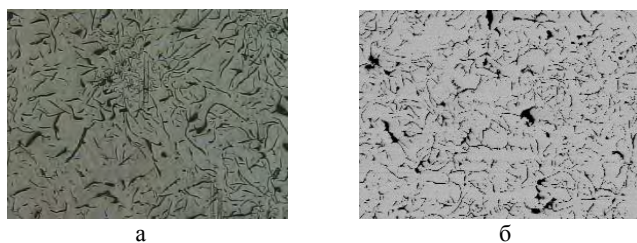


Рисунок 3 – Структура графита в исходном (а) и модифицированном (б) чугуне,  $\times 100$

Измерение дисперсности перлита в чугунах проводили согласно ГОСТ 8233-56. Установлено, что дисперсность пластин перлита в немодифицированном чугуне составила 0,57 мкм, а после введения модификатора она увеличилась до 0,32 мкм (рисунок 4).

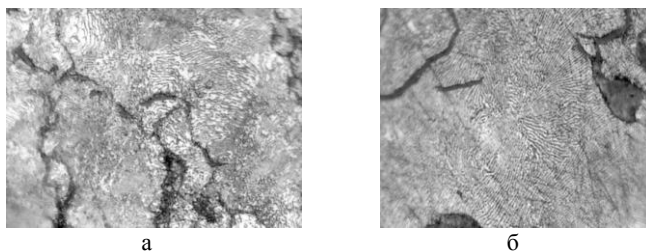


Рисунок 4 – Дисперсность перлита в исходном (а) и модифицированном (б) чугуне

Твердость базового чугуна в образцах составила 167–207 НВ в зависимости от толщины стенки. Модифицирование сплава позволило за счет воздействия в первую очередь олова повысить твердость до 187–229 НВ. Следует также отметить, что склонность модифицированного чугуна к отбелу снизилась незначительно (с 8,0 до 6,5 мм). Это в первую очередь связано с наличием в составе модификатора перлитизирующего элемента олова.

Таким образом, модифицирование серого чугуна присадкой на основе олова, содержащей оксид иттрия, позволяет изменить характер распределения и размеры пластинчатого графита, повысить однородность металлической основы сплава, повысить дисперсность перлита и улучшить его механические и технологические свойства.

Результаты исследований дают основание рекомендовать данный модификатор для внепечной обработки серого чугуна с целью повышения качественных характеристик отливок.

## Литература

**1. Влияние модифицирования** ультрадисперсными порошками оксидов тугоплавких металлов и криолита на структуру, механические свойства и разрушение чугуна СЧ25 / А.П. Зыкова [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 2014. – Т. 57, № 11 – С. 37–42.

**2. Пути повышения** эффективности модификаторов – раскислителей / А.Г. Слуцкий [и др.] // Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.: в 2 ч. – Минск: БНТУ, 2013. – Вып. 34, ч. 1. – С. 62–71.

**3. Перспективы использования** наноразмерных порошков для получения модифицирующих лигатур / А.Г. Слуцкий [и др.] // Литье и металлургия. – 2015. – № 1. – С.115–118.

**4. Перспективы использования** нанодисперстных порошков соединений активных элементов при получении литейных сплавов / А.Г. Слуцкий [и др.] // Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2014. – Вып. 35. – С. 74–82.