

УДК 621.745.55:
669.1

O.S. Komarov,
N.I. Urbanovich,
V.I. Volosatikov,
T.D. Komarova

Аннотация

The Summary

Ультрадисперсные включения в составе модификаторов для серого чугуна Superdispersed Inclusions in Inoculant Compositions for Gray Cast Iron

О.С. Комаров, Н.И. Урбанович, В.И. Волосатиков,
Т.Д. Комарова (Белорусский национальный технический
университет, г. Минск)

Показано, что ввод углерода в состав модификатора и повышение степени его дисперсии благодаря напылению на тугоплавкие частицы или благодаря механическому легированию повышает эффективность модификатора для серого чугуна.

Ключевые слова

Модификатор, ультрадисперсные частицы, углерод, порошок, проволока, таблетка.

It is shown that introduction carbon into modifier composition and increase of its dispersion degree due to spatter on high-melting particles or due to mechanical alloying increases modifier efficiency for grey cast iron.

Key words

Inoculant, superdispersed particles, carbon, powder, wire, tablet.

В Респ. Беларусь на машиностроительных заводах ежегодно выплавляется ~ 800 тыс. т отливок из серого чугуна (СЧ). Известно, что для получения высококачественных чугунов широко применяют модифицирование. В настоящий момент в связи с дефицитом литейных чугунов в состав шихты для получения расплава вводят передельные чугуны, стальной и чугунный лом, стружку, что неизбежно приводит к нарушению воспроизводимости результатов модифицирования, снижению его эффективности и, как следствие, росту брака по отбелу, образованию мелкого междендритного графита, снижающего прочность и износостойкость литых чугунных изделий.

В связи с изложенным, исследования, направленные на совершенствование структуры и свойств чугунных отливок, весьма актуальны.

Особый интерес у исследователей вызывает высокая модифицирующая способность ультрадисперсных по-

рошков тугоплавких соединений и графита [1].

Ультрадисперсные порошки нитрида титана и нитрида иттрия существенно улучшают структуру и свойства стали [2]. Порошки карбидов, нитридов и силицидов различных металлов, полученные плазмохимическим синтезом, используемые в качестве модификаторов, измельчают структуру и устраняют отбел в отливках из СЧ [3]. При этом, их эффективность повышается по мере роста дисперсности. Фулеренсодержащие лигатуры и мелкодисперсный прессованный модификатор применяют для ликвидации отбела и изменения наследственности чугуна [4].

Цель работы – повышение эффективности модифицирования как средства управления макро- и микроструктурой литых заготовок из СЧ применением в качестве модификаторов тугоплавких ультрадисперсных частиц (УДЧ), плакированных углеродом, а также за счет использования порошка и компактного

Номер образца	Состав модификатора, %	Глубина отбела h , мм	Вид и способ ввода модификатора
0	Без модификатора	3,5	—
1	0,1Al	1,4	Al-порошок – таблетка
2	0,1(Al+10%BN)	2,2	Al-порошок, механически легированный УДЧ. BN-таблетка
3	0,1(Al+10%BN+6%C)	1,0	Al-порошок, механически легированный УДЧ BN и C – таблетка
4	0,1(Al+10%BN+6%C+3%Bi)	3,2	Al-порошок, механически легированный УДЧ BN и C и Bi – таблетка
5*	0,1Al		Al-проволока
6	0,1(Al+ 6%C)	0,5	Al-пруток, механически легированный C
7	0,1[90%Al+10%(BN+C)]	1,1	Таблетка из 90% Al-порошка и 10% УДЧ BN, плакированных C магнетронным методом
8	0,1[90%Al+10%(TiN+C)]	1,2	—

* Отбел по всему контуру клиновидной пробы, в торце узкой части пробы глубина отбела 4 мм.

материала из Al, механически легированных тугоплавкими УДЧ и углеродом.

В качестве тугоплавких УДЧ применяли нитрид бора BN и нитрид

титана TiN, размер частиц которых составил 2...20 мкм. Частицы порошка BN плакировали углеродом магнетронным методом в течение 4 ч в среде азота, а частиц TiN – в среде

аргона 5 ч.

Механическое легирование Al-порошка частицами BN, TiN и углеродом осуществляли в атриторе 3 ч при скорости вращения мешалки 350 мин⁻¹ в среде бензина. Таким способом получили механически легированный Al-порошок трех составов 0, 1, 6 (таблица).

Механически легированный компактный материал готовили в две стадии. На стадии I Al-порошок и C обрабатывали в энергонапряженной мельнице на основе механореактора гидрационного типа в течение 3 ч, в результате чего получали гранулированную композицию со средним размером гранул 200 мкм, с однородным распределением углерода в Al-матрице. На стадии II проводили компактирование полученных гранул горячим прессованием (экструзией), в результате чего получали пруток \varnothing 8 мм.

Для изучения влияния составов модификаторов на макро- и микроструктуру СЧ отливали исходные образцы в виде стержней \varnothing 20 мм из сплава, состава, %: C – 3,2; Si – 1,89; Mn – 0,30; Cr < 0,18; Cu – 2,24; S – 0,09; P – 0,13%.

Навески исходного чугуна массой по 600 г переплавляли в графито-шамотных тиглях в силитовой печи, при этом, расплав модифицировали разными добавками при 1450°C (0,1% от массы расплава) с помощью кварцевой трубки, на конце которой крепили конверты из железной фольги с размещенным в нем модификатором.

Для лучшего усвоения порошкообразных добавок их брикетировали в специальной пресс-форме холодным прессованием, получали таблетки \varnothing 10 мм и толщиной 3...5 мм. После ввода модификатора в расплав и выдержки его в печи в течение 1 мин заливали стержневые формы клиновидных проб на отбел и кварцевые ампулы \varnothing 18 мм.

На рис. 1 – примеры макрострук-

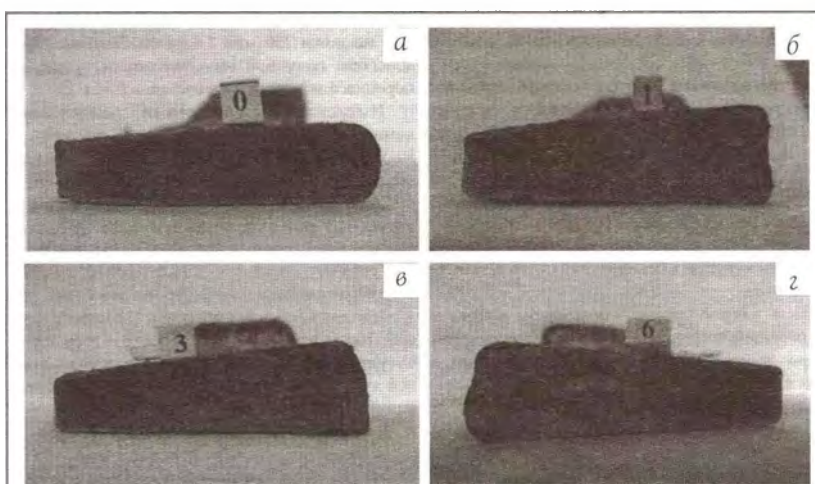


Рис. 1. Макроструктура клиновидной пробы на отбел из СЧ: **а** – без добавки; **б** – 0,1% Al-порошка; **в** – 0,1% (Al + 10% BN + 6% C) механически легированного порошка; **г** – 0,1% (Al + 6% C) компактного материала в виде прутка

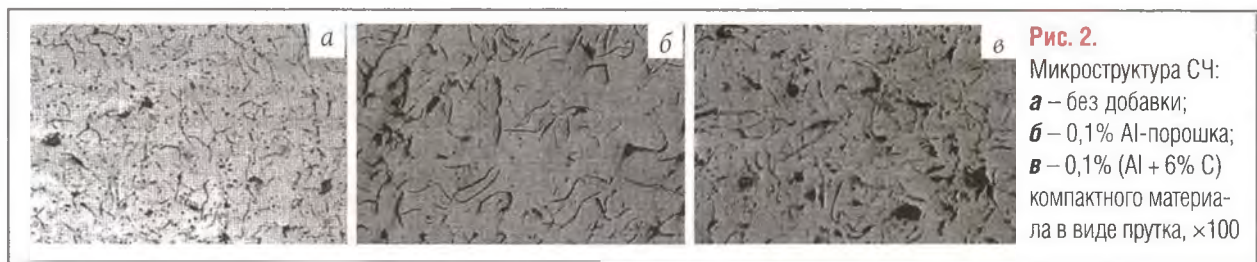


Рис. 2. Микроструктура СЧ:
а – без добавки;
б – 0,1% Al-порошка;
в – 0,1% (Al + 6% С) компактного материала в виде прутка, $\times 100$

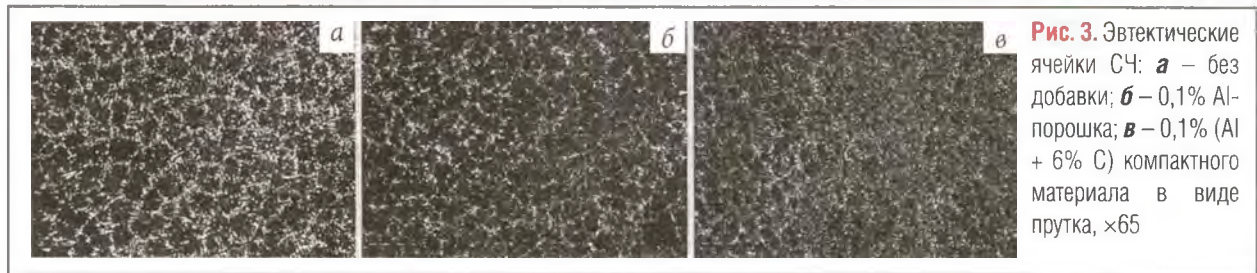


Рис. 3. Эвтектические ячейки СЧ: **а** – без добавки; **б** – 0,1% Al-порошка; **в** – 0,1% (Al + 6% С) компактного материала в виде прутка, $\times 65$

тур клиновидных проб на отбел из СЧ. Анализ макроструктуры изломов клиновидных проб, критерием которого служила глубина отбела h , мм, показал (см. **таблицу**), что лучшие результаты по глубине отбела имеют пробы, расплав которых обрабатывали модификаторами, содержащими тугоплавкие УДЧ и С. Из них наименьший отбел ($h = 0,5$ мм) имеет проба из расплава, модифицированного полуфабрикатом в виде Al-прутка, механически легированного углеродом.

На **рис. 2** – микроструктуры исходного чугуна и модифицированного 0,1% Al-порошка; 0,1% (Al + 6% С) компактного материала в виде прутка.

Структура исходного чугуна имеет смешанное сетчатое и междендритное точечное распределение включений графита пластинчатой завихренной формы; структура чугуна, модифицированного только Al-порошком, имеет неравномерное распределение пластинчатого завихренного графита. Однако структура чугуна, модифицированного полуфабрикатом в виде Al-прутка, механически легированного углеродом, характеризуется равномерно распределенным графитом пластинчатой завихренной формы. При этом, наблюдается сокращение дли-

ны пластинок графитных включений и увеличение их толщины, что, по общепринятому представлению, способствует повышению прочностных характеристик СЧ.

Важный фактор, свидетельствующий об эффективности модификатора, увеличение числа эвтектических ячеек в модифицированном чугуне. Для выявления количества эвтектических ячеек n на единичной поверхности образца изготавливали шлифы из литых образцов, полученных в кварцевых ампулах. (см. **ниже**)

Состав модификатора, %	n , мм ²
0. Без модификатора.....	12,8
1. 0,1% Al-порошка таблетированного.....	16,64
6. 0,1% (Al + 6% С) компактного материала в виде прутка.....	27,52

Как следует из приведенных результатов, неметаллические включения и, особенно, графит – эффективное средство борьбы с отбелом и неблагоприятной микроструктурой в отливках из СЧ. Но приведенные результаты не дают ответ на вопрос о степени влияния дисперсности этих частиц и графита на процесс структурообразования. Кроме того, карбиды и нитриды бора и титана – дороги и дефицитны, поэтому необходимо было проверить возможность применения в составе добавки дешевого и

доступного Al_2O_3 . В связи с этим проведены еще две серии экспериментов, в ходе которых Al-порошок (Al_n) с размером гранул до 2 мкм смешивали с оксидом алюминия и графитом, обрабатывали по описанной выше технологии и в виде брикетов вводили в расплав чугуна. УДЧ (< 500 нм) получали золь-гель-методом из пересыщенного раствора $NaAlO_2$, а порошок наноразмерного графита (нГр) – размолом нанотрубок. В качестве исходного использовали чугуны с более низким С. Результаты

экспериментов этой серии (1...7) приведены **ниже**.

На **рис. 3** – структуры эвтектических ячеек исходного чугуна, модифицированного 0,1% Al-порошка и 0,1%(Al + 6% С) компактного материала в виде прутка. Как показал анализ структур, наибольшее количество эвтектических ячеек ($n = 27,52$) имеет чугун, модифицированный полуфабрикатом в виде Al-прутка, механически легированного углеродом.

В связи с этим проведено еще две серии экспериментов, в ходе которых

Состав и добавка, %	Отбел, мм
1. Без добавки.....	9,5/ 17
2. 5УДЧ Al_2O_3 +95 $Al_{пор}$	3,8/ 9
3. 5КР Al_2O_3 +95 $Al_{пор}$	11/ 16
4. 5УДЧ Al_2O_3 +5 наноГр+90 $Al_{пор}$	3,5/ 7
5. 5УДЧ Al_2O_3 +5 Гр+90 $Al_{пор}$	1,3/ 3,4
6. 5 наноГр+95 $Al_{пор}$	6/ 9
7. 5 Гр+95 $Al_{пор}$	5,3/ 8,4
8. 5УДЧ Al_2O_3 +5 наноГр+90 $Al_{пор}$	23/ 29
9. 5УДЧ Al_2O_3 +5 Гр +90 $Al_{пор}$	5/ 7
10. 5 наноГр+95 $Al_{пор}$	18/ 22
11. 5 Гр+95 $Al_{пор}$	8/ 16
12. Без добавки.....	32/ 40

Примечания. 1. КР – крупная фракция (> 100 мкм). 2. Гр – графит обычного помола. 3. В числителе – полный отбел, знаменателе – половинчатый. 4. n , $Al_{пор}$ – порошковый алюминий.

алюминиевый порошок, с размером гранул до 2 мкм смешивали с оксидом алюминия и графитом, обрабатывали по описанной выше технологии и в виде брикетов вводили в расплав чугуна.

Ультрадисперсный порошок Al_2O_3 (размер частиц до 500нм) получали золь-гель методом из пересыщенного раствора $NaAlO_2$, а порошок наноразмерного графита – размолот нанотрубок. Для большей наглядности результатов в качестве исходного использовали чугун с более низким углеродным эквивалентом состава, %: С-2,9; Si-1,7; Mn-0,3; Cr-0,11; Cu-1,95; S-0,08; P-0,12 в процентах по массе). Результаты экспериментов этой серии приведены выше (опыты 1...7).

Полный отбел соответствует чисто ледебуритной структуре, а половинчатый, также измеренный от поверхности охлаждения, включает и смешанную (ледебурит + перлит-графит) структуру.

Опыты 8...12 проведены с целью контрольной проверки результатов опытов 1...7. При этом, в качестве исходного выбран чугун состава, %: С - 2,84; Si - 1,64; Mn - 0,84; Cr - 0,12; S и P - 0,1

Как следует из приведенных результатов, тугоплавкие УДЧ, внесенные в расплав имплантированными в поро-

шинки алюминия, являются эффективными модификаторами серого чугуна, способствуя увеличению числа центров кристаллизации, что приводит к ликвидации междендритного графита и устранению отбела. Графит, введенный вместе с ними, усиливает модифицирующий эффект, но применение его наноразмерных частиц менее эффективно, чем крупных.

Вывод

Показано, что введение в состав модификатора углерода и увеличение степени его дисперсности за счет напыления на тугоплавкие частицы или механического легирования повышает эффективность модификатора для СЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.П. Комшук, Д.Б. Фойгт, А.П. Черепанов, А.В. Амелин. Модифицирование непрерывнолитой стали тугоплавкими соединениями// Сталь, №4, 2009, с.65-68.

2. В.Е. Хрычиков, В.Г. Калинин. Ультрадисперсные модификаторы для повышения качества отливок// Литейное производство, №7, 2007, с.2-5.

3. С.В. Матвеев, А.И. Орехова, Е.В. Чершнева. Изменение наследственности чугуна с помощью модификатора на основе фуллеренов// Литейное производство, №3. 2009. с.2-3.

4. М.В. Пикунов, С.В. Матвеев, А.И. Орехова. Изменение наследственности свойств чугуна с помощью мелкодисперсного прессованного модификатора// Труды международного симпозиума «Наследственность в литейных процессах» – Самара, 2008.

Сведения об авторах

Комаров Олег Сидорович – профессор, д-р техн. наук кафедры ПМСиТМ, БНТУ, Тел.: 331 25 48;

E-mail: Komarov_metolit@tut.by

Урбанович Наталья Ивановна – зав. сектором НИИЛ НКМ, доцент, канд. техн. наук

Волосатиков Виктор Игоревич – с.н.с, канд. техн. наук, доцент

Комарова Тамара Дмитриевна – студентка 3 курс, МТФ