



УДК 669.15

Поступила 26.12.2016

КОМПЛЕКСНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ СЕРОГО ЧУГУНА COMPLEX MODIFICATION OF GRAY CAST IRON

*О. С. КОМАРОВ, Е. В. РОЗЕНБЕРГ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: komarov_metolit@tut.by,
К. Э. БАРАНОВСКИЙ, ГП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», г. Минск, Беларусь, ул. Я. Коласа, 24*

*O. S. KOMAROV, E. V. ROZENBERG, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: komarov_metolit@tut.by,
K. E. BARANOWSKI, Scientific and Technological Park of the BNTU «Polytechnic», Minsk, Belarus, 24, Kolasa str.*

Исследовали влияния комплексного модификатора химически-активными и поверхностно-активными добавками серого чугуна на величину отбела и ширину зоны половинчатого чугуна. В процессе исследований определяли ширину зоны отбела и половинчатой структуры в торцевой части стержней различного диаметра, отлитых на массивной стальной плите, а также в стандартных клиновых пробах. Установлено, что дополнительное введение поверхностно-активного висмута в состав различных графитизирующих модификаторов способствовало сокращению ширины зоны полного отбела и зоны половинчатого чугуна. Установлено, что комплексные модификаторы, состоящие из химически-активных и поверхностно-активных компонентов, эффективны в борьбе с отбелом в отливках из серого чугуна и могут рекомендоваться для применения в литейных цехах предприятий машиностроительного профиля для получения качественных отливок.

The influence of the complex modifier by chemical – active and surface-active additives of gray cast iron on the size of chill and on the width of molted iron zone was researched. The width of a chill zone and molted iron zones were measured at chank ends of various diameter cores. The cores were casted on a massive steel plate and also in standard chill tests. It was established that additional adding of surface-active bismuth in structure of various graphitizing modifiers promoted to reduce the width a chill zone and molted iron zones. It was established that the complex modifiers consisting of chemical – active and surface-active components are effective in fight with chill in cast iron castings and can be recommended for application in foundry shops of the entities of a machine-building profile for production of high-quality castings.

Ключевые слова. Серый чугун, ледебурит, отбел, структура, модифицирование.

Keywords. Gray cast iron, ledeburite, chill, structure, modification.

Модифицирование является одним из наиболее простых и дешевых способов управления первичной структурой литейных сплавов. Особенно актуально оно для серого чугуна, так как позволяет устранить отбел в тонкостенных отливках, появление которого ухудшает обрабатываемость отливок и требует проведения дополнительной термической обработки с целью разложения цементита в отбеленных частях отливки.

Наибольшее распространение в качестве модификаторов получили добавки на основе кремния, дополнительно содержащие барий, стронций, кальций, редкоземельные и другие химически-активные элементы. Исследователи сходятся во мнении, что механизм действия так называемых графитизирующих добавок связан с локальными перенасыщениями, которые возникают в расплаве чугуна при растворении кремния, и с «загрязнением» расплава чугуна неметаллическими включениями (сульфиды, оксиды, нитриды и карбиды), образующимися в расплаве вследствие ввода химически-активных компонентов [1].

Помимо химически-активных модификаторов, в практике литейного производства применяются поверхностно-активные элементы (Te, Bi, Sb и др.), которые задерживают рост центров кристаллизации при охлаждении расплава, вследствие чего увеличивается его переохлаждение, что стимулирует появле-

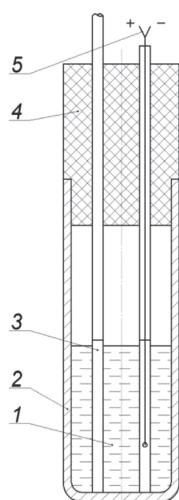


Рис. 1. Устройство для проведения экспериментов: 1 – расплав образца; 2 – ампула; 3 – кварцевая трубка; 4 – пробка; 5 – термопара

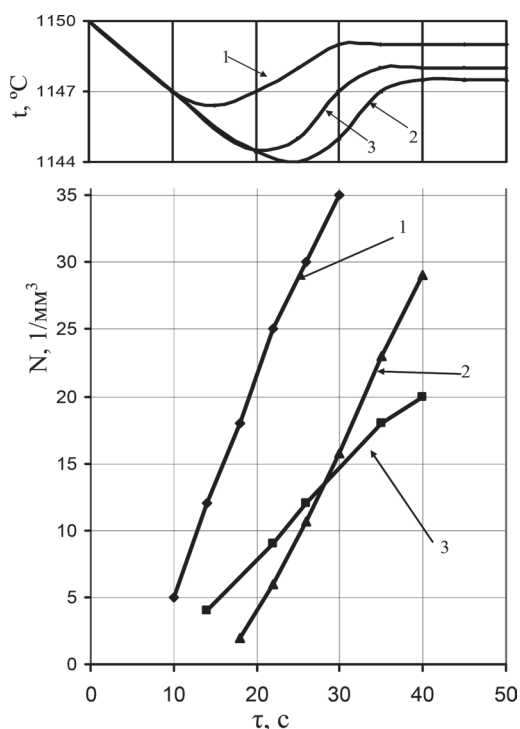


Рис. 2. Влияние добавок Се и Вi на образование центров кристаллизации в чугунах: 1 – добавка 0,1% Се; 2 – добавка 0,002% Вi; 3 – исходный чугун

ние новых зародышей. Считается, что в сером чугунах модифицирование поверхностно-активными элементами может повысить риск появления отбела в связи со снижением температуры расплава ниже температуры образования ледебурита. Можно представить такую ситуацию, что при введении комплексного модификатора (химически-активный вместе с поверхностно-активными веществами) первые уменьшат переохлаждение, увеличивая число центров, а вторые, замедляя их рост, увеличат переохлаждение, вызовут образование новых зародышей, что, в конечном итоге, делает модифицирование более эффективным [2].

С целью непосредственного изучения влияния добавок церия и висмута на процесс зарождения центров кристаллизации проведена серия экспериментов с закалкой образцов в начальной стадии кристаллизации. В ходе проведения опытов (рис. 1) образцы чугуна 1 состава 3,6% С; 1,9% Si; 0,6% Mn; 0,02% S; 0,05% P плавил в кварцевых ампулах 2 диаметром 23 мм.

При температуре 1400 °С в расплав вводили 0,1% Се или 0,02% Вi. Эталонный образец не модифицировали. Через отверстия в керамической пробке 4, закрывающей ампулу сверху, при температуре 1200 °С в чугун вводили шесть кварцевых трубок 3 внутренним диаметром 3 мм. В одной из них находилась хромель-алюмелевая термопара 5 диаметром 0,2 мм, защищенная кварцевым наконечником диаметром 1 мм. Пять трубок, не содержащих термопар, поочередно извлекали на начальных стадиях кристаллизации эвтектики и закачивали в холодной воде. Полученные образцы исследовали под микроскопом в нескольких сечениях. Результаты подсчета количества центров кристаллизации приведены на рис. 2 (в исходном чугунах 3, с добавкой церия 1, с добавкой висмута 2).

Здесь же показаны кривые изменения температуры на начальных стадиях кристаллизации. Как и следовало ожидать, добавка церия снизила переохлаждение и увеличила число центров кристаллизации (кривая 1). Висмут задержал начало процесса кристаллизации, тем не менее, он способствовал увеличению конечного числа эвтектических ячеек (кривая 2) по сравнению с исходным чугуном (кривая 3).

Важно отметить, что при превышении необходимого количества добавки поверхностно-активного вещества существует опасность повышения отбела за счет резкого увеличения переохлаждения и попадания в температурную зону образования цементита. В связи с изложенным выше представляло интерес исследовать совместное влияние химически- и поверхностно-активных добавок (современный графитизирующий модификатор для чугунов с добавкой висмута) на величину отбела в серых чугунах. Ис-

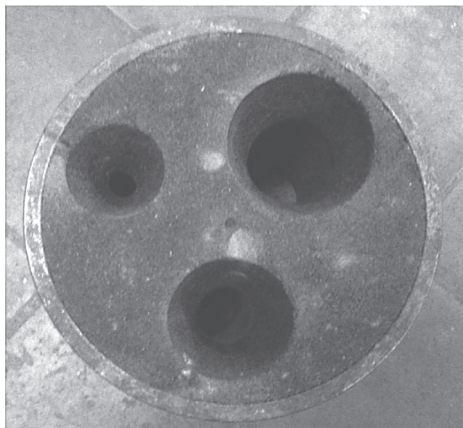
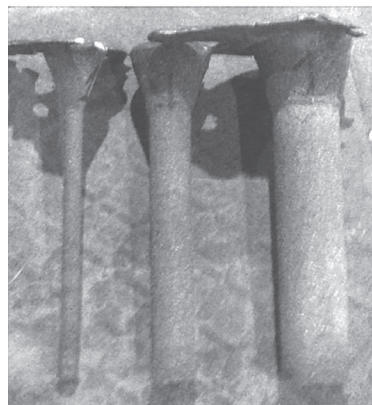
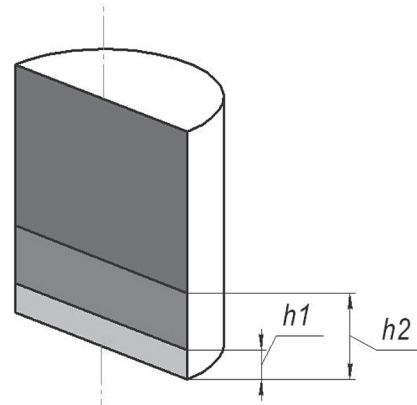


Рис. 3. Форма из холоднотвердеющей смеси

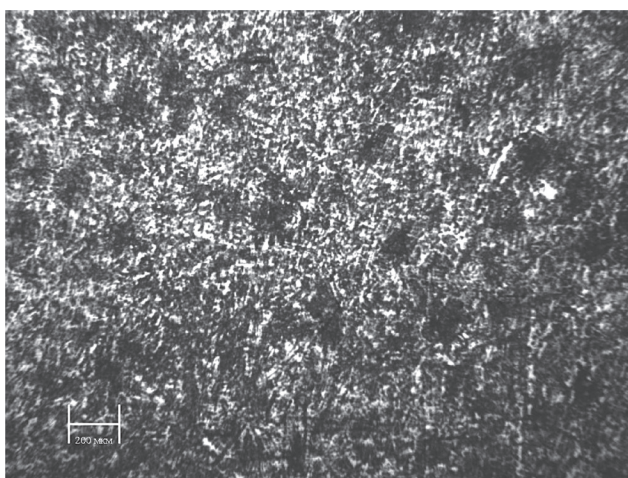


a

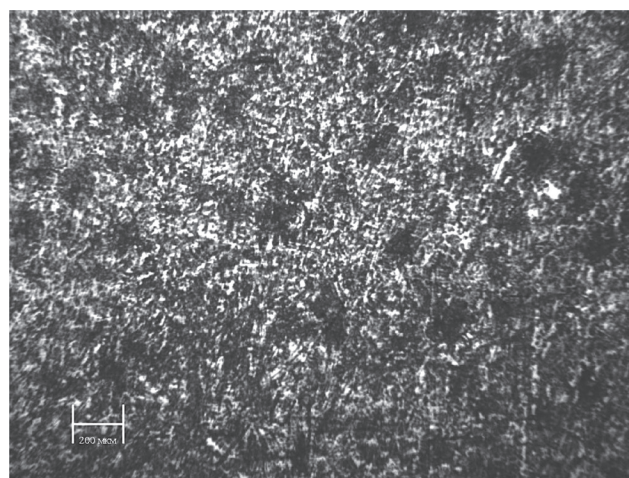


б

Рис. 4. Образцы чугуна: *a* – отливки; *б* – «шлиф»



a



б

Рис. 5. Микроструктура образцов диаметром 40 мм на одинаковом расстоянии от холодильника (3,0–3,5 мм). $\times 50$: *a* – с добавкой графитизирующего модификатора; *б* – графитизирующий модификатор с добавкой Bi

следования проводили при модифицировании чугуна (2,9% C; 2% Si; 0,82% Mn; 0,12% Cr; 0,12% S; 0,08% P; 0,15% Cu) индукционной плавки.

Расплав заливали в формы из холоднотвердеющей смеси (ХТС) со сквозными цилиндрическими образцами диаметром 40, 25 и 10 мм (рис. 3). Формы устанавливали на чугунную плиту-холодильник, предварительно окрашенную противопригарной краской.

Заливали три формы: без модифицирования; 0,2% графитизирующего модификатора «Hibacal» (Индия); 0,2% графитизирующего модификатора «Hibacal» + 0,04% поверхностно-активного элемента Bi.

Из нижней части отливок (рис. 4, *a*) изготавливали шлифы в продольном направлении (рис. 4, *б*). После травления [3] шлифов на оптическом микроскопе при увеличении 50 определяли зону полного отбела h_1 и ширину переходной зоны (содержание цементита 5%) h_2 (рис. 4, *б*). Отсчет ширины зон производили от торцевой поверхности образцов, прилегавшей к холодильнику. Результаты исследования образцов диаметром 25 мм приведены в табл. 1, а образцов диаметром 40 мм – в табл. 2.

Таблица 1. Отбел в образцах диаметром 25 мм

Отбел	Без добавок	0,2% модификатора	0,2% модификатора + 0,05% Bi
Полный отбел, мм	18–19	3	3
Переходная зона, мм	31–32	10	10

Таблица 2. Отбел в образцах диаметром 40 мм

Отбел	Без добавок	0,2% модификатора	0,2% модификатора + 0,05% Bi
Полный отбел, мм	18–19	1,5–2,0	2
Переходная зона, мм	28–29	5–6	3

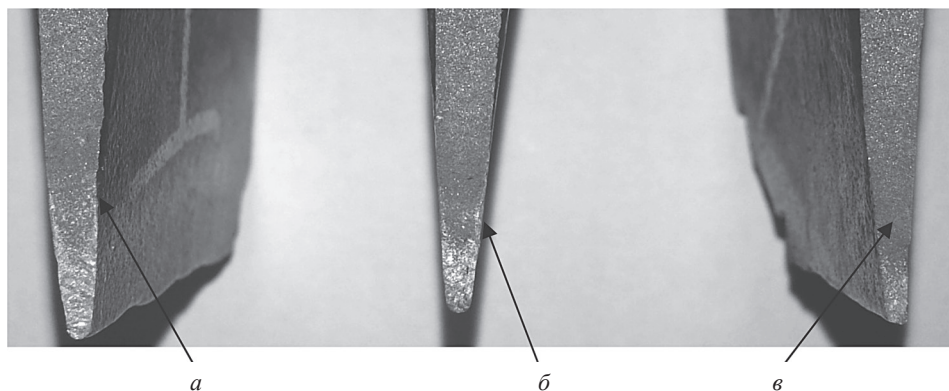


Рис. 6. Клиновидные пробы на отбел: *a* – 0,2% графитизирующего модификатора производства РФ; *б* – 0,2% графитизирующего модификатора; *в* – 0,2% графитизирующего модификатора с 0,005% висмута

В образце диаметром 10 мм (не модифицированном, модифицированном и модифицированном с добавкой висмута) по всей длине наблюдали структуру ледебурита. В образцах диаметром 25 мм в связи с большой скоростью охлаждения висмут не способствовал устранению отбела. Его положительное влияние сказалось в образце диаметром 40 мм путем резкого сокращения ширины переходной зоны. На рис. 5 приведены структуры образцов диаметром 40 мм на одинаковом удалении от холодильника (3,0–3,5 мм). В образце без добавок модификатора наблюдалась структура ледебурита, с добавкой модификатора «Нібасал» – структура цементит + графитная эвтектика (рис. 5, *a*), а в комплексно-модифицированном образце на этом участке количество цементита не превышает 5% (рис. 5, *б*).

Для проверки результатов в промышленных условиях эксперименты проводили в литейном цеху № 1 ОАО «МТЗ».

Обработку расплава серого чугуна состава 3,38% С; 2,06% Si; 0,73% Mn; 0,18% Cr; 0,17% Cu; 0,07% P; 0,08% S проводили модификаторами в заливочном ковше. Вводили смесевой графитизирующий модификатор, разработанный совместно с БНТУ и ООО «ПолитегМет», а также тот же модификатор с добавлением 0,005% Вi. Для сравнения результатов изготавливали образцы по принятой на заводе технологии модифицирования (графитизирующий модификатор производства РФ).

Величину отбела определяли на клиновидных пробах (рис. 6, табл. 3). Из рисунка и таблицы видно, что комплексное модифицирование более эффективно снижает величину отбела и ширину зоны половинчатого чугуна по сравнению с модифицированием химически-активными добавками.

Т а б л и ц а 3. Отбел в клиновидных пробах

Вводимый модификатор	Полный отбел, мм
0,3% графитизирующего модификатора производства РФ (заводская технология)	9
0,3% графитизирующего модификатора	7
0,3% графитизирующего модификатора с 0,005% висмута	4

Из таблицы следует, что добавление 0,005% Вi к модификатору снижает отбел.

Эксперименты показали, что комплексное модифицирование чугуна с высоким углеродным эквивалентом более эффективно, чем чугуна с низким содержанием углерода и кремния. Это можно объяснить тем, что, чем меньше углеродный эквивалент чугуна, тем ближе к температуре образования ледебурита протекает эвтектическое превращение в чугуне. Введение поверхностно-активной добавки замедляет рост эвтектических колоний, способствуя переохлаждению расплава и зарождению ледебурита. В связи с этим важным фактором становится величина добавки, которая должна уменьшаться для чугунов с низким углеродным эквивалентом.

Выводы

Исследования непосредственного влияния химически-активной (Се) и поверхностно-активной добавки (Вi) на процесс зарождения центров кристаллизации аустенито-графитной эвтектики показали, что они способствуют увеличению конечного числа эвтектических ячеек, при этом химически-активные добавки снижают величину переохлаждения, а поверхностно-активные увеличивают.

Установлено, что в отливках из серого чугуна комплексное модифицирование химически- и поверхностно-активными веществами более эффективно в борьбе с отбелом, но применять его желательно для чугунов с высоким углеродным эквивалентом и для отливок со сравнительно толстыми стенками, а величину добавки висмута корректировать исходя из конкретных условий производства.

Литература

1. **Некоторые** вопросы теории встречного модифицирования чугуна / А. В. Афонаськин, О. Д. Опалихина, А. А. Жуков // Изв. вузов. Черная металлургия. 1991. № 7. С. 12–13.
2. **Комаров О. С.** Термокинетические основы кристаллизации чугуна / О. С. Комаров Мн.: Наука и техника, 1982. 262 с.
3. **Способы** металлографического травления: Справ. изд.: Пер. с нем. М. Беккерт, Х. Клемм. 2-е изд. М.: Металлургия, 1988. 400 с.

References

1. **Afonas'kin A. V., Opalihin O. D., Zhukov A. A.** Nekotorye voprosy teorii vstrechnogo modifitsirovaniya chuguna [Some questions of the theory of counter modification of cast iron]. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya = News of Higher Educational Institutions. Chernaya metallurgy*, 1991, no. 7, pp. 12–13.
2. **Komarov O. S.** *Termokineticheskie osnovy kristallizatsii chuguna* [Thermokinetic foundations of iron crystallization]. Minsk, Nauka i tehnika Publ, 1982. 262 p.
3. **Sposoby metallograficheskogo travleniya** [Methods metallographic etching]. Spravochnik. Perevod s nemeckogo. M. Bekkert, H. Klemm. 2-e izdanie Moscow, Metallurgija Publ, 1988. 400 p.