

УДК 621.74

**О.С. Комаров, К.Э. Барановский, И.Б. Проворова,  
Е.В. Розенберг, Н.И. Урбанович**

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

**П.Ю. Дувалов**

Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев

**ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ, ХРОМИСТЫХ И СЕРЫХ ЧУГУНОВ  
КОМПЛЕКСНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ  
ПОВЕРХНОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

В практике литейного производства нашло широкое применение введение химически активных элементов (Са, Al, ЩЗМ, РЗМ) в расплавы сталей и чугунов [1]. Применение модификаторов, содержащих эти элементы, приводит к уменьшению зоны трансформации, измельчению зерна, а следовательно, к улучшению механических свойств отливок.

Авторы считают, что поверхностно-активные элементы (ПАЭ) (Bi, Te, Sb и др.) в составе комплексных модификаторов должны увеличить модифицирующий эффект [2]. В то же время комплексное модифицирование с использованием ПАЭ не получило широкого распространения.

Одной из целей проведенных исследований являлась оценка влияния поверхностно-активного элемента в составе комплексного модификатора на макро- и микроструктуру углеродистой стали.

Исследовали влияние комплексного модификатора на структуру стали 30Л. Плавку проводили в печи ИСТ 0,4 с кислой футеровкой. Расплав заливали в окрашенный краской (слой  $\approx 0,5$  мм) кокиль с толщиной стенок 25 мм. Размер получаемого слитка  $50 \times 50 \times 125$  мм. В качестве прибыли использовали чашу из стержневой смеси, равную объёму слитка. Модифицирование расплава проводили при переливе из печи в заливочный ковш емкостью 30 кг. Без модифицирования макроструктура стали представляла собой сквозную трансформацию, а балл зерна был №3. При модифицировании комплексным модификатором, содержащим Al, Ti, В, трансформационная структура оставалась, но измельчалось зерно до балла №4. При дополнительном введении поверхностно-

активного элемента транскристаллизация устраняется полностью с изменением размера зерна до балла №6.

На рис. 1 приведены макроструктуры стали, полученные при использовании комплексного модификатора (рис. 1, а) и совместном введении комплексного модификатора и 0,005% поверхностно-активного компонента (Vi) (рис, 1, б). Как видно из рис. 1, модифицирование комплексом элементов приводит к устранению транскристаллизации и изменяет размер зерна на 2 балла (рис. 2).

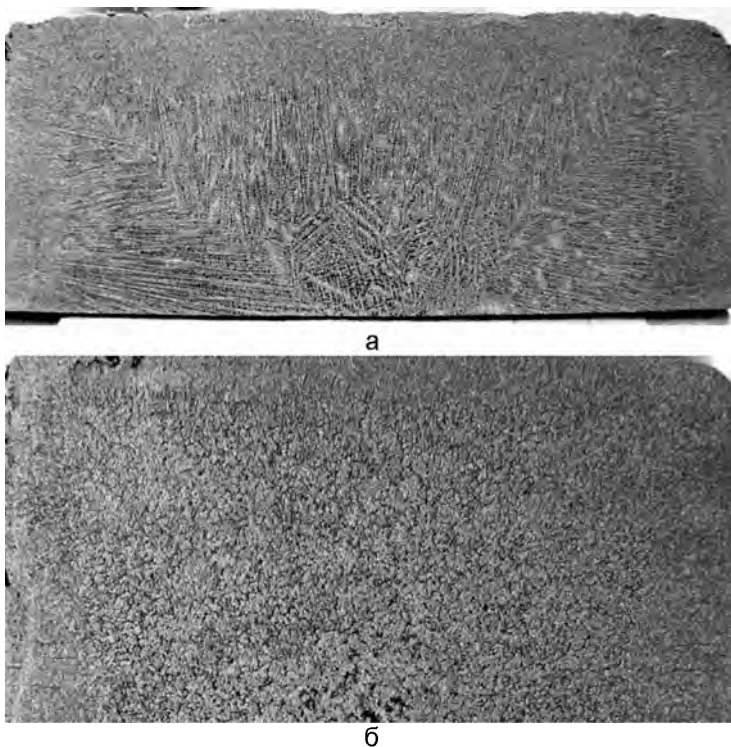


Рис. 1. Макроструктура сталей:  
а – немодифицированный; б – модифицированный

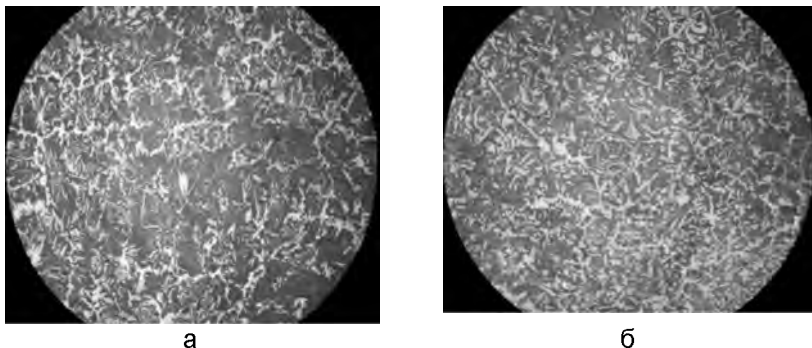


Рис. 2. Микроструктура литой стали:  
а – немодифицированный; б – модифицированный

Из полученных результатов можно сделать вывод, что комплексный модификатор, содержащий поверхностно-активный элемент, оказывает более эффективное влияние на макро- и микроструктуры углеродистой стали.

Считается, что  $Bi$  в сталях является негативной примесью. Для оценки влияния небольших количеств  $Bi$  на механические свойства углеродистой стали в заводских условиях (ОАО «Минский тракторный завод») была проведена серия экспериментов. В ковш со сталью 45Л, емкостью 400 кг, перед разливкой вводилась добавка 0,005%  $Bi$ , отливались образцы для механических испытаний (трефы). После стандартной термической обработки вырезались образцы и по заводской технологии определялись механические свойства. В табл. 1 приведены усредненные результаты 5 опытов.

Таблица 1

Механические свойства.

Добавка, %	Твердость НВ	Врем.сопр. МПа	Предел текуч. МПа	Отнс. удл. %	Отнс. суж. %
0	207	683	382	17,6	17
0,005% $Bi$	207	682	382	24,8	20
0.2% комплексного модификатора + 0,005% $Bi$	207	690	410	28	28,6

По результатам испытаний можно сказать, что столь малая добавка  $W$  практически не влияет на механические свойства стали.

Поверхностноактивные элементы в углеродистых сталях могут быть использованы для устранения транскристаллитной структуры, измельчения зерна и повышения механических свойств. Наилучший результат, по мнению авторов, может быть достигнут при комплексном модифицировании ЦЗМ совместно с ПАЭ.

Современные тенденции развития промышленности требуют повышения ресурса работы деталей машин, работающих в условиях абразивного износа. Износостойкие хромистые чугуны (ИЧХ) являются одним из наиболее распространенных износостойких материалов. Ресурс работы деталей из ИЧХ определяется их структурой, твердостью и, в значительной степени, количеством, размером и морфологией специальных карбидов.

В настоящее время в СНГ и Республике Беларусь в основном используются доэвтектические чугуны, содержащие 2,2-3% углерода и соответственно 25-30% карбидов: ИЧХ28Н2, ИЧХ16М3, ИЧХ18.

Известно, что износостойкость ИЧХ линейно повышается с увеличением содержания углерода (количества карбидов). Поэтому одним из методов резкого увеличения износостойкости ИЧХ является использование заэвтектических чугунов, содержащих 3,8-4,0% углерода и соответственно 50-52% карбидов. Но использование заэвтектических чугунов, изготовленных по обычной технологии, приводит к резкому снижению износостойкости и механических свойств, что связано с наличием в структуре первичных карбидов, размер которых превышает в 5-10 раз эвтектические карбиды [3]. Значительно повысить ресурс работы деталей из заэвтектических ИЧХ можно за счет использования комплекса легирующих и модифицирующих добавок, позволяющих измельчить первичные карбиды в заэвтектических чугунах до размеров, сопоставимых с эвтектическими карбидами.

Для проверки технологической схемы управления структурой заэвтектического высокохромистого чугуна, содержащего 3,9-4,0% С, была проведена серия экспериментов. Комплексный модификатор, состоящий из химически активного вещества и поверхностно активного вещества в количествах: 0,05, 0,1, 0,15, 0,2% был перед заливкой добавлен в расплав хромистого чугуна (3,92% С, 17,5% Cr, 0,4% Ni, 0,4% Mo). Температура ввода модификатора составляла 1400 °С. Модифицирование привело к измельчению как заэвтектических, так и эвтектических карбидов. На рис. 3 показана зависи-

мость размера (толщины) заэвтектических карбидов от количества комплексного модификатора, на рисунке также показана немодифицированная и модифицированная структура чугуна (0,2% модификатора).

Как видно из рис. 3, модифицирование уменьшает размер заэвтектических карбидов в 6 раз. Наиболее эффективно введение 0,15% модификатора. Дальнейшее увеличение количества модификатора не приводит к значительному измельчению структуры. Модифицирование уменьшило размер эвтектических карбидов в 2–2,5 раза, но в меньшей степени, чем размер заэвтектических карбидов.

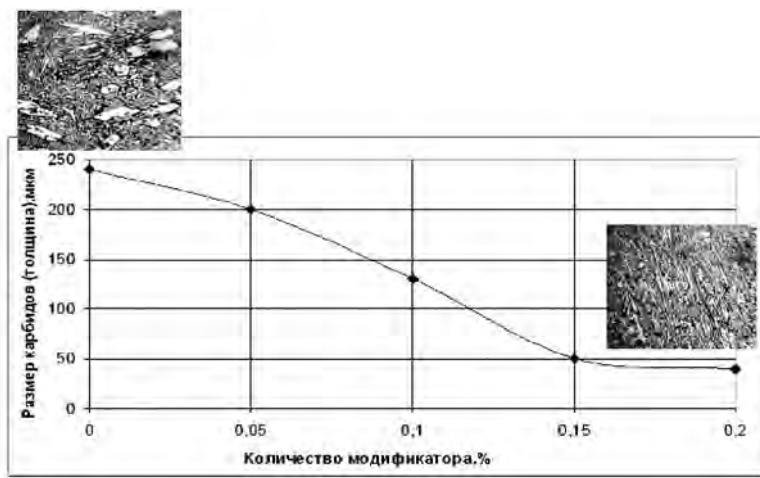


Рис. 3. Зависимость размера заэвтектических карбидов от количества комплексного модификатора

Проведенные исследования показали эффективность модифицирования заэвтектических чугунов, содержащих 3,9–4,0% С. Изготовлены экспериментальные детали из заэвтектического чугуна, содержащего 50–52% карбидов. Предварительные испытания показали увеличение износостойкости по сравнению со стандартными чугунами.

Обработка расплава ИЧХ модификатором, содержащим поверхностноактивный элемент, позволяет измельчить заэвтектические карбиды, что сложно реализовать при использовании других модификаторов.

Модифицирующая обработка особенно актуальна для серого чугуна, так как позволяет устранить отбел в тонкостенных отливках. Наибольшее распространение в качестве модификаторов получили добавки на основе кремния, дополнительно содержащие барий, стронций, кальций, редкоземельные и другие химически-активные элементы.

В связи с изложенным выше, представляло интерес исследование совместного влияния химически и поверхностноактивных добавок (современный графитизирующий модификатор для чугунов + ПАЭ) на величину отбела в серых чугунах [4].

Исследование проводилось в промышленных условиях (литейный цех №1 ОАО «Минский тракторный завод»). Обработку расплава серого чугуна состава (% по массе): 3.38 С; 2.06 Si; 0.73 Mn; 0.18 Cr; 0.17 Cu; 0.07 P; 0.008 S осуществляли модификаторами (0.3%) при переливе из раздаточного в заливочный ковш емкостью 400 кг. Расплав обрабатывался:

1) по принятой на заводе технологии модифицирования (графитизирующий модификатор производства РФ);

2) графитизирующий модификатор совместной разработки БНТУ и ООО «ПолитегМет» г. Минск;

3) графитизирующий модификатор совместной разработки БНТУ и ООО «ПолитегМет» г. Минск, с добавлением 0.005% ПАЭ.

Величину отбела определяли на клиновидных пробах. Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 4, из которых следует, что комплексное модифицирование более эффективно снижает величину отбела по сравнению с графитизирующими модификаторами.

Комплексное модифицирование с использованием поверхностно активных элементов более эффективно в борьбе с отбелом в отливках из серого чугуна. Положительное влияние ПАЭ также проявилось в виде резкого сокращения ширины половинчатой зоны (содержание цементита до 5%).

Таблица 2

Отбел в клиновидных пробах

№	Модификатор	Отбел, мм
1	0.3% графитизирующий модификатор производства РФ (заводская технология)	9
2	0.3% графитизирующий модификатор БНТУ, ООО «ПолитегМет» г. Минск	7
3	0.3% графитизирующий модификатор БНТУ, ООО «ПолитегМет» г. Минск + 0.005% ПАЭ	4

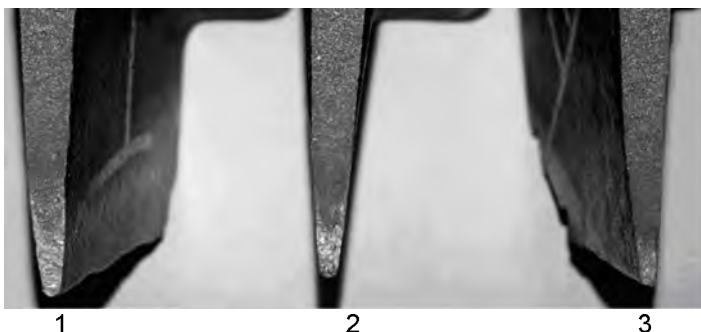


Рис. 4. Клиновидные пробы на отбел:

- 1 – 0.3% графитизирующий модификатор производства РФ;
- 2 – 0.3% графитизирующий модификатор;
- 3 – 0.3% графитизирующий модификатор + 0.005% ПАЭ

Из описанных выше результатов можно сделать выводы, что применение поверхностноактивных элементов в составе модификаторов для углеродистых сталей, износостойких и серых чугунов усиливает эффективность модификаторов, содержащих химически активные вещества.

#### Список литературы

1. Влияние технологических параметров модифицирования комплексными модификаторами на свойства отливок / И.Д. Андреев, А.В. Афонаскин, Г.Ю. Бажова, В.Д. Дородный // Литейное производство. – 2002. – №6. – С.13-15.
2. Комаров О.С. Термокинетические основы кристаллизации чугуна. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 262 с.
3. Повышение износостойкости хромистых чугунов/ К.Э. Барановский, Н.И. Урбанович, И.Б. Проворова, И.А. Басалай // Горная механика и машиностроение. – 2014. – №2. – С. 34-38.
4. Некоторые вопросы теории встречного модифицирования чугуна / А.В. Афонаськин, О.Д. Опалихина, А.А. Жуков // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1991. – №7. – С. 12-13.