

**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАФИТА****Т. С. Скобло, С. А. Бурцев, \*Н. М. Александрова***Харьковский национальный технический университет**сельского хозяйства им. П. Василенко,**\*ЦНИИЧермет им. Бардина, Россия*

Известно [1], что центрами кристаллизации графита являются неметаллические включения. Согласно данным, в качестве возможных центров гетерогенного образования зародышей графита в расплаве чугуна могут выступать два вида находящихся в нём неметаллических включений: сульфиды и оксисиликаты в виде простых или сложных соединений, образование которых термодинамически возможно при обработке в ковше модификаторами промышленных чугунов. Исследования показали, что способность сульфидов служить центрами образования зародышей графита может быть усилена за счет свойств основных элементов-модификаторов преобразовывать сульфиды марганца в сложные соединения  $(Mn, X)S$ , где  $(X = Ca, Sr, Ba)$ . Они имеют сходство кристаллической решетки с решеткой графита, обладают при этом низкой склонностью к коагуляции, высокой стабильностью и благоприятным соотношением величин межфазной энергии между ними и расплавом.

Однако количество включений графита в закристаллизовавшемся материале на порядок выше, чем выявленное [1] содержание в нём сульфидов, что ставит под сомнение их роль в качестве единственно возможных центров кристаллизации графита. При рентгеноструктурном исследовании расплавов промышленного чугуна различного химического состава и его выдержке в течение длительного времени обнаруживаются и линии графита,  $G$  [2–3]. Можно предположить, что и такие включения также являются центрами дальнейшей кристаллизации  $G$ , так как имеют одинаковую кристаллическую решётку.

Вместе с тем неизвестно, как расположены включения, являющиеся центрами кристаллизации, недостаточно информации об их составе.

*Целью работы* является исследование графитных включений в соответствии с наличием компонентов в модификаторе графитизирующихся сплавов.

В задачи исследования входит анализ включений графита на содержание основных компонентов Fe, Si и модифицирующих расплав добавок.

Очень важно для обеспечения графита в сплаве иметь необходимый уровень концентрации графитизирующего компонента Si.

Исследования формирования графита проводили на высокопрочном чугуне и графитизированной стали.

Исследовали высокопрочный чугун состава: C 2,8–3,5 %, Si 1,5–2,5 %, Cr 0,2–0,6 %, Ni 0,8–2,5 %, P до 0,12 %, S до 0,08 %.

Модифицирование проводили РЗМ и никель-магниевого лигатурой.

Графитизированная нелегированная сталь имела следующий состав: 1,5 % C; 1,6 % Si; 0,6 % Mn; 0,05 % S и 0,05 % P, модифицировали FeSi.

Исследования проводили с использованием микрорентгено-спектрального анализатора и эмиссионной микроскопии. В последнем случае исследовали место преимущественной повышенной концентрации Si и Fe в графите и вблизи него по отдельности (рис. 1–5), а затем осуществляли совмещение выявленных зон.

Выявление и оценку распределения компонентов и напряжений решали путем комплексного анализа с применением различных методик: электроннооптической установки EF – 6 фирмы Karl Zeiss, Камбакс, ХА – 50А. Контраст изображения получали не только за счет геометрического профиля поверхности, но и благодаря свойствам материала или отдельных структурных составляющих, отличающихся определенной работой выхода электронов. Эти характеристики материала зависят от химического состава и физического состояния поверхности, ориентации структуры, температуры объекта. Термоэлектронную эмиссию достигали с помощью радиационного излучателя. При этом объект может нагреваться до 2000 °С. Работа выхода электронов зависит от ориентации металлографических плоскостей. Тонкие пленки (моноатомный слой) кристаллографических веществ на поверхности исследуемого образца значительно изменяют эффективную работу выхода электронов. Нанесение на исследуемую поверхность с помощью вакуумного испарения слоя Ba, Sz, Cs, Rd приводит к значительному снижению работы выхода электронов, благодаря чему появляется возможность наблюдать термоэлектронную эмиссию при относительно низких температурах начиная с 700 °С.

Совместив методы оптической, высокотемпературной микроскопии промозлектронной эмиссии, определяли размеры, форму и тип включений, их роль в зарождении кристаллов графита.

В результате исследований установлено, что графит в графитизированной стали выделяется на включениях повышенной концентрацией кремния (высококонтрированное кремнистое железо), поскольку места их преимущественного расположения совпадают (см. рис. 1–5).

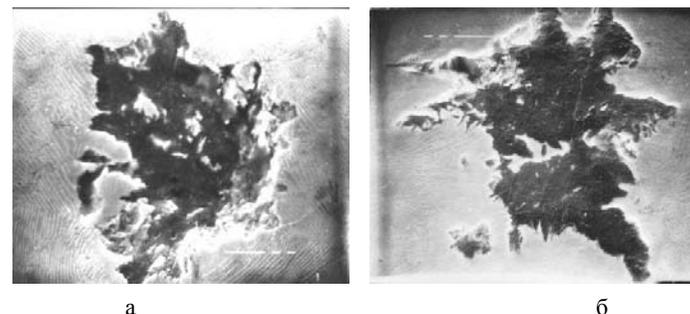
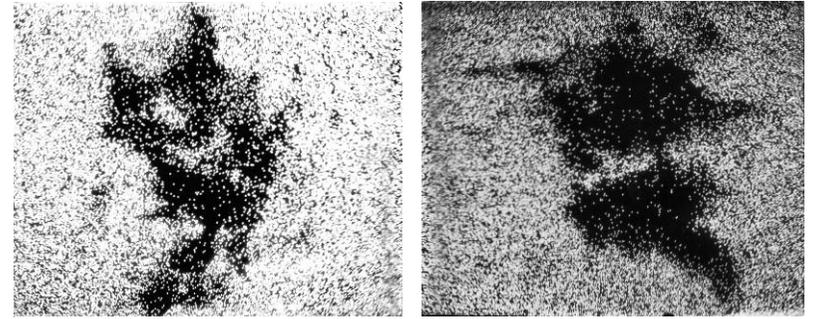
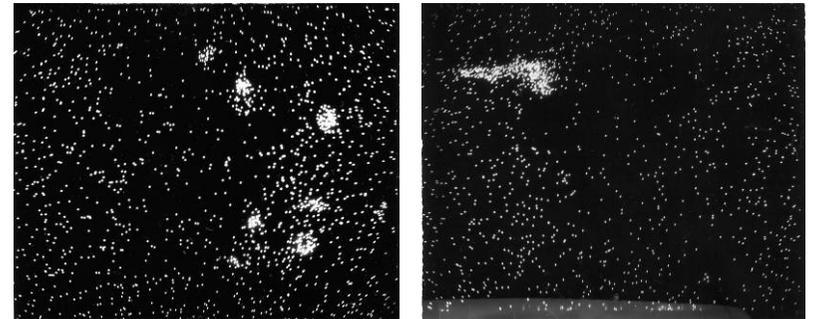


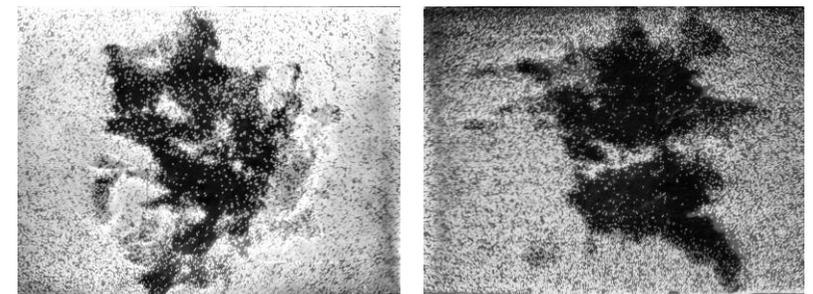
Рис. 1. Изображения во вторичных электронах,  $\times 1000$



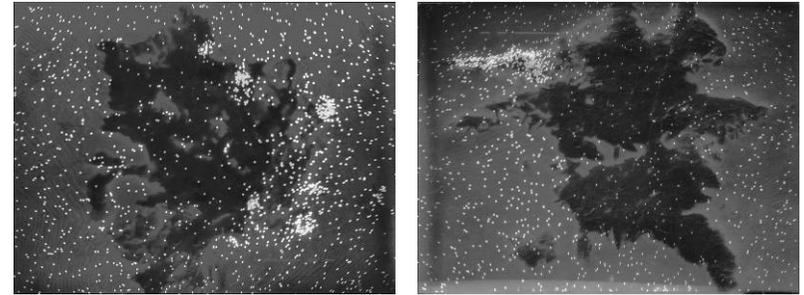
а б  
Рис. 2. Излучения  $Fe_{k\alpha}$ . Внутри графита – основной металл,  $\times 1000$



а б  
Рис. 3. Излучения  $Si_{k\alpha} \times 1000$ . Включения кремния



а б  
Рис. 4. Изображения во вторичных электронах + Излучения  $Fe_{k\alpha}$ . Внутри графита – основной металл  $\times 1000$  (совмещено рис. 1а, 2а и 2а, 2б)



а б  
Рис. 5. Излучения  $Si_{ka}$ . Включения кремния + Изображения во вторичных электронах  $\times 1000$  (совмещенная картина рис.1а, 3а и 1б, 3б)

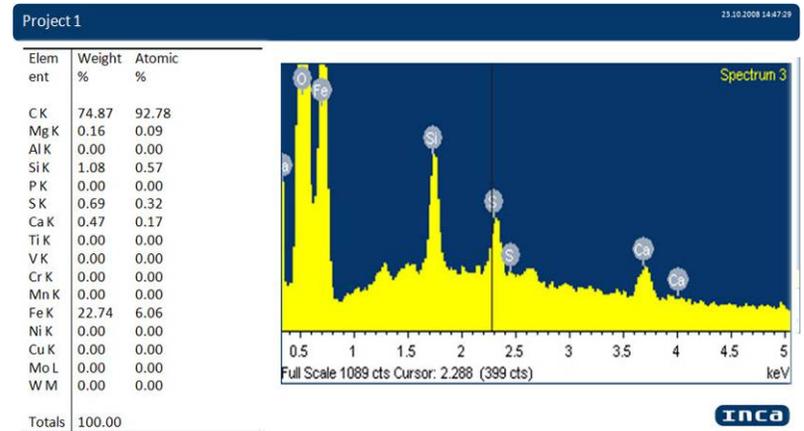


Рис. 6. Распределения компонентов в зонах включений графита высокопрочного чугуна

Анализ отливок методом микрорентгеноспектрального анализ в высокопрочном чугуне показал, что в различных зонах включений графита концентрация углерода изменяется в пределах 3,67–19,75 % при плавочном анализе 3,0 %. Можно предположить, что максимальная концентрация этого компонента связана с наличием карбида кремния, а также частичным захватом расположенного под анализируемым зерном включения графита.

В ряде участков выявлено наличие кислорода, что свидетельствует о центрах кристаллизации на оксидах – Mg, Ca и Si, а также – MgS.

Анализом установлено, что концентрация кислорода изменяется то 0 до

17 %, кремния – до 1,08 %, магния – до 0,16 % кальция – до 0,47 %, серы – до 0,69 %. Поскольку марганец отсутствует, то наличие соединений сульфидов может быть отнесено к соединению MgS (см. рис. 6).

В результате проведенных исследований установлены качественные и количественные характеристики неметаллических включений, находящихся в графите при модифицировании высокоуглеродистых сплавов.

#### **Литература**

1. Скаланд Т. Механизмы зародышеобразования в высокопрочном чугуна / Т. Скаланд; Elkem ASA, Foundry Products.– Норвегия, 2006. – С. 5– 24.
2. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках / Н. Г. Гиршович. – М.; Л.: Машиностроение, 1966. – 562 с.
3. Бунин К. П. Основы металлографии чугуна / К. П. Бунин, Я. Н. Малиночка, Ю. Н. Таран. – М. : Металлургия, 1969.– 414 с.