УДК 669.111.225

Канд. техн. наук В. Г. Іванов

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

БУДОВА ВКРАПЛЕНЬ ГРАФІТУ У СИНТЕТИЧНИХ ЧАВУНАХ

Представлено дані про будову вкраплень графіту у заевтектичних синтетичних чавунах, що виплавлені на шихтових матеріалах підвищеної чистоти. Встановлено, що компактні вкраплення графіту у синтетичному чавуні мають таблитчату будову. Виявлено три морфологічних різновиди форми графіту, що спостерігаються у високоміцних чавунах: чітко огранована кристалічна (часто шестигранна), агрегати кристалів різної форми, іноді, що не оконтурені кристалографічними площинами та плівкова (прихованокристалічна).

Ключові слова: *синтетичний чавун, кулястий графіт, морфологія, петрографічний аналіз, таблитчата форма.*

Вступ

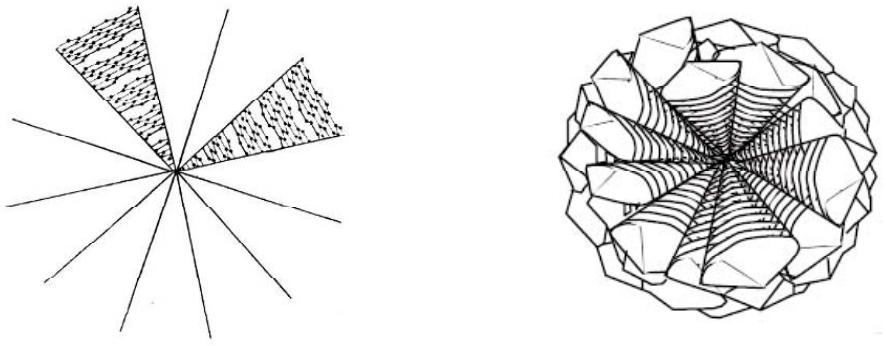
Чавун з кулястим графітом є найперспективнішим конструкційним матеріалом завдяки поєднанню високих службових та технологічних властивостей. Однак, на жаль, до сьогодення не створено єдиної достовірної теорії будування графіту у чавунах, що гальмує створення оптимальних технологічних процесів виготовлення виливків.

Огляд літератури

За історично сформованими уявленнями будова вкраплень кулястого графіту у чавунах є секторіально-пірамідальною (рис. 1 *а*). За цією схемою елементарні кристали графіту витягнуті у радіальному напрямку у вигляді пірамід або конусів зросту, основу яких складають гексагональні базові площини кристалічної гратки, що співпадають з поверхнею вкраплення, а вершини сходяться у центрі, уявляючи таким чином сукупність перистих кристалів, променисто спрямованих з одного центру [1–3]. Пізніше був запропонований гелікоїдальний механізм зростання гексагональних пірамід або конусів за гвинтовими дислокаціями (рис. 1 *б* [4]).

Застосування інших методів дослідження та нового сучасного дослідного обладнання відкриває нові відомості про будову вкраплень графіту у чавунах. Так у роботі [5] використання дифракційно-рентгенівського методу дозволило встановити, що кулясті вкраплення графіту у чавунах мають не кристалічну, а перехідну форму, так звану турбостратну пошарову структуру. Як відомо [6], у турбостратній структурі відсутня закономірна орієнтація шарів відносно гексагональної вісі. Основою турбостратної структури є базисні площі, будова яких аналогічна графітовим площинам. Певна кількість площин може з'єднуватися у пакети. На відміну від ідеального графіту у пакетах турбостратної структури площини розташовані під різними кутами відносно одна одної. Пакети за структурою не можна віднести до кристалів, тому що в них відсутня трьохмірна впорядкованість. Тому пакети є двомірними кристалами і турбостратну структуру тільки умовно називають кристалічною [6].

Через те механізми утворення кулястих вкраплень графіту, що були засновані на кристалографічних міркуваннях ще мають багато питань і є суперечливими.



а *б*

Рис. 1. Схеми будови кулястого графіту:

а – секторіально-пірамідальна [1, 2]; *б* – гелікоїдальна [4]

© В. Г. Іванов, 2016

Постановка задачі

У цій роботі вивчали будову вкраплень графіту у синтетичному чавуні, що виплавляли на шихтових матеріалах з мінімальною кількістю шкідливих домішок. Додатково до металографічного та мікрорентгеноспектрального методів для вивчення будови вкраплень графіту у високоміцному чавуні використовували петрографічний метод. Останній дає можливість вивчати вкраплення графіту не тільки на шліфі у відбивному світлі, але і в прохідному – після екстрагування вкраплень з поверхні шліфа. Крім того, цей метод дозволяє відстежити трансформацію вкраплень графіту, їх морфологію на всіх етапах виробництва високоміцного чавуну.

Матеріали і методи

Технологія отримання дослідного чавуну була аналогічною, що була наведена у попередній роботі [7]. Отриманий метал мав такий остаточний хімічний склад (мас. частка, %): 4,59 C; 2,48 Si; 0,042 Mn; 0,042 Cr; 0,92 Ni; 0,472 Cu; 0,012 P; 0,005 S; 0,04 % $Mg_{зал}$.

Металографічний аналіз зразків чавуну проводили з використанням мікроскопів МІМ-7, Axiovert 200 M (Carl Zeiss). Мікрорентгеноспектральний аналіз проводили за допомогою електронного растрового мікроскопа SUPRA 40 WDS (Karl Zeiss).

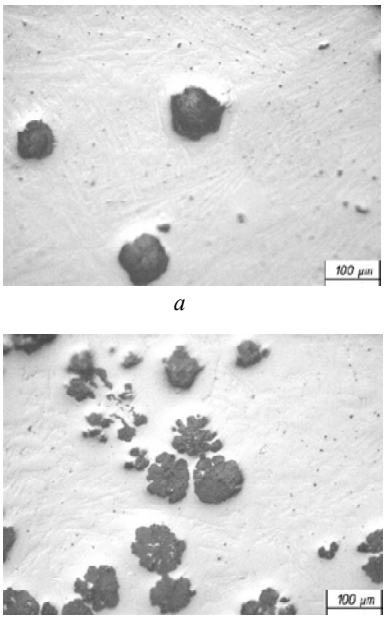
Петрографічні дослідження виконували у відбитому світлі на мікроскопі МБИ-6 при збільшеннях 90–1900. Екстрагування вкраплень кулястого графіту з поверхні шліфа здійснювали за допомогою препараторської голки під стереоскопічним мікроскопом МБС-2. Оптичні властивості виділених вкраплень визначали з використанням стандартних наборів імерсійних рідин на кристалооптичному мікроскопі МИН-8 при збільшеннях 100–1000 разів за методикою, запропонованою у роботі [8]. У прохідному світлі визначали форму, розміри та інші властивості графітових вкраплень.

Експерименти

Вкраплення кулястого графіту у синтетичному чавуні отримували за допомогою нікель-магнієвої лігатури. Після її засвоєння відбирали проби металу за допомогою кварцових трубок діаметром 5 мм. Потім з відібраних заготовок виготовляли шліфи для металографічного аналізу та мікрорентгеноспектрального аналізу. Заевтектичний склад чавуну вибирався навмисно для дослідження виділення графіту у якості ведучої фази. Також додатково проводили фрактографічний аналіз зламів зразків дослідного чавуну.

Результати

На рис. 2 зображена типова мікроструктура дослідного чавуну, де видно, що наряду зі звичайним кулястим графітом, спостерігався також, так званий, «підірваний» графіт (exploded graphite). Утворення останнього пов'язують з підвищеною чистотою шихтових матеріалів, надлишком рідкоземельних елементів, високим вуглецевим еквівалентом або потовщеним перерізом виливка.



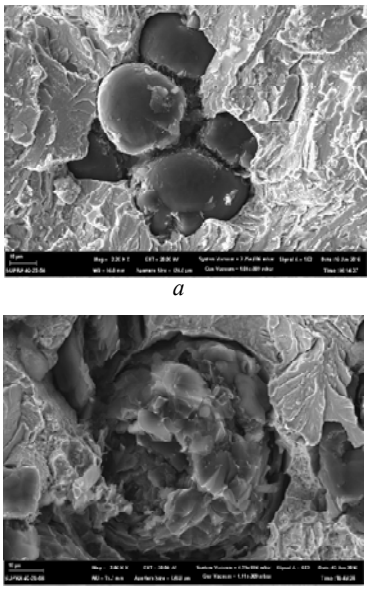
а

б

Рис. 2. Форма вкраплень графіту у дослідному чавуні:

а – кулястий графіт; *б* – «підірваний» графіт

На рис. 3 наведені злами зразків чавуну, що показують внутрішню будову графітових вкраплень у чавунах. Наведені включення графіту відрізняються великою різноманітністю будови центральної і периферійної зон, наявністю пір і розривів, присутністю сторонніх фаз і з'єднань.



а

б

Рис. 3. Морфологія вкраплень графіту на зламах дослідного чавуну:

а – зовнішня поверхня вкраплень графіту; *б* – внутрішня будова вкраплень графіту

Обговорення

Дослідження графітових вкраплень у синтетичних чавунах виявило їх аналогічну внутрішню будову, що спостерігалася у високоміцних чавунах, виплавлених на звичайних шихтових матеріалах. Встановлено, що у включеннях графіт має таблитчату форму (агрегати тонких листочків, прямокутних або шестикутних пластинок) і складається з безлічі дрібних частинок різної форми. Найтонші пластини графіту світло-сірого кольору прозорі, анізотропні, показник світлопереломлювання $N = 1{,}98$ і вище. На периферії вкраплень графіту відкладалися крупні таблитчаті кристали, у а центрі – дрібні.

Пластинки, нашаровуючись одна на іншу, утворюють пакети – агрегати різної форми. Ці агрегати вже непрозорі, ізотропні, сірого кольору з матовою поверхнею. Найбільш розповсюджена, що часто спостерігалася, була шестигранна форма. При цьому, одні з таких агрегатів мають рівновеликі грані, нерідко наближаючись до окружності (кола), інші – різновеликі. Останні утворюють різні комбінації – призми з пірамідальними вершинами.

Поряд з відміченими шестигранними формами присутні й інші ,у тому числі неправильні – частинки без кристалографічних контурів або плівкові з металоподібним блиском.

Виявлено три морфологічних різновиди форми графіту, що спостерігаються у високоміцних чавунах: чітко огранована кристалічна (часто шестигранна), агрегати кристалів різної форми, іноді, що не оконтурені кристалографічними площинами та плівкова (прихованокристалічна).

Висновки

Встановлено, що будова кулястого вкраплення графіту складається з первинного кристалічного графіту, що утворює агрегати кристалів – крупні на периферії та дрібні у центрі, та вторинного плівкового графіту.

Подяка. Автор висловлює щиру вдячність канд. техн. наук В. П. Пірожковій (ЗНТУ) та Ю. М. Бортнікову (ПАТ «Дніпроспецсталь») за допомогу у проведенні досліджень.

Список літератури

1. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках / Н. Г. Гиршович. – М.- Л. : Машиностроение, 1966. – 563 с.
2. Morrogh, H. Graphite formation in cast irons and in nickel–carbon and cobalt–carbon alloys / H. Morrogh, WJ. Williams // J Iron Steel Inst. – 1947. – № 155. – P. 321–371.
3. Бунин К. П. Чугун с шаровидным графитом / К. П. Бунин, Ю. Н. Таран, А. В. Черновол. – К. : Изд-во АН УССР, 1955. – 99 с.
4. Double DD. Growth structure of various forms of graphite / DD. Double, A. Hellawell // The Metallurgy of Cast Iron, / B. Lux, I. Minkoff, F. Mollard (Eds.), St. Saphorin, Switzerland: Georgi Publishing Company, 1975. – P. 509–525.
5. Pencea I. New aspects regarding the structure of spheroidal cast iron carbon inclusions revealed by WAXD investigations / I. Pencea, D. M. Єtefrnescu, R. Ruxanda, F. V. Anghelina //Key Engineering Materials. – 2011. – Т. 457. – С. 120–125.
6. Мелешко, А. И. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты / А. И. Мелешко, С. П. Половников С. П. – М. : САЙНС-ПРЕСС. 2007. – 192 с.
7. Іванов В. Г. Морфологія графіту у заевтектичному синтетичному чавуні / В. Г. Іванов, В. С. Голтвяница // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2015. – № 2 – С. 23–27.
8. Лунёв В. В. Неметаллические включения в сталях, чугунах и ферросплавах / В. В. Лунёв, В. П. Пирожкова, С. Г. Грищенко. – Запорожье : Днепровский металлург, 2006. – 348 с.

Одержано 25.05.2016

Иванов В.Г. Строение включений графита в синтетических чугунах

Представлены данные о строении включений графита в заэвтектических синтетических чугунах, выплавленных на шихтовых материалах повышенной чистоты. Установлено, что компактные включения графита в синтетическом чугуне имеют таблитчатое строение. Выявлено три морфологические разновидности графита, наблюдаемые в высокопрочных чугунах: четко ограненная кристаллическая (часто шестигранная), агрегаты кристаллов различной формы, иногда, не оконтуренные кристаллографическими плоскостями и пленочная (скрытокристаллическая).

Ключевые слова: *синтетический чугун, шаровидный графит, морфология, петрографический анализ, таблитчатая форма.*

Ivanov V. The structure of graphite inclusions in synthetic iron

The data on the structure of graphite inclusions in hypereutectic synthetic cast iron melted using the high purity raw materials were presented. The compact graphite inclusions in the synthetic cast iron have a tabular structure was found. Three morphological graphite types are observed in ductile irons: well-faceted crystalline (often hexagonal), aggregates of different crystal shapes, sometimes, non-contoured by crystallographic planes and film-type (cryptocrystalline) were revealed.

Key words: *synthetic cast iron, spherical graphite, morphology, petrographic analysis, tabular shape*