

УДК 669.111.2:669.162.624

ІВАНОВ Валерій Григорович, доцент, кандидат технічних наук

ПРОЖКОВА Валентина Петрівна, старший науковий співробітник, кандидат технічних наук

ЛУНЬОВ Валентин Васильович, завідувач кафедри, доктор технічних наук

ВПЛИВ СІРКИ НА МОРФОЛОГІЮ ГРАФІТУ В ЧАВУНАХ

Запорізький національний технічний університет

Досліджено вплив сірки на морфологію графітової фази у сірих та високоміцних чавунах. Петрографічними та металографічними методами дослідження встановлено, що високий вміст вуглецю та кремнію у чавунах, а також нестача за киснем, підвищують активність сірки, яка може утворювати сполуки із цими елементами та входити у складні тверді розчини. У сірих чавунах сірка пригнічує поверхневу активність монооксиду кремнію, що відповідає за морфологію пластинчатого графіту, та може спотворювати його форму, адсорбуючись на поверхні полікристалічних вкраплень. У високоміцних чавунах морфологію графіту обумовлює також збіднений за киснем субоксид магнію (Mg_2O). Сірка, у разі її надвисокої концентрації (більше ніж 0,02 %), буде вступати у взаємодію, насамперед з магнієм, і заважати утворенню монооксиду магнію.

Ключові слова: чавун, сірка, кисень, морфологія, вкраплення графіту

Вступ. У чавунах сірка є поверхнево-активною домішкою, що суттєво впливає на морфологію графіту. Залежність розподілу та форми вкраплень графіту від вмісту сірки проявляється дуже складно та своєрідно [1]. За незначної кількості сірки (до 0,002 %) графіт утворюється дрібним, міждендритним і навіть може бути компактним або кулястим. За її вмістом у межах 0,03-0,10 %, тобто в яких вона зазвичай зустрічається у промислових сірих чавунах, розміри графіту збільшуються, він стає пластинчастим, рівномірно розподіленим. За надвисокої концентрації сірки пластинчастий графіт вироджується на аномальний сітчастий, знову може з'являтися компактний або кулястий графіт, але вже у поєднанні з карбідами або взагалі може зникати повністю.

Під час виробництва високоміцного чавуну з кулястим графітом роль сірки також має вирішальне значення. Відомо [2], що для гарантованого утворення кулястого графіту у високоміцних чавунах перед обробкою магнієм вміст сірки не повинен перевищувати 0,02 %. Окрім того, надлишок сірки у високоміцних чавунах сприяє утворенню специфічних вад у виливах – «чорних плям», що різко погіршують фізико-механічні властивості чавунів.

Таким чином, вплив сірки на морфологію графіту важко переоцінити, механізм її впливу залишається багато в чому нез'ясованим і потребує додаткових досліджень.

Огляд літератури та постановка задачі. Сірка необмежено розчиняється у рідкому та дуже мало розчиняється у твердому залізі. У присутності вуглецю розчинність сірки знижу-

ється і потрійна евтектика (0,17 % C; 31,7 % S; решта залізо) проявляється вже за концентрації 0,02 % S. Температура плавлення евтектики складає 975 °C і може знижуватися за наявності інших домішок. Характер розподілу сірки дуже суперечний і залежить від багатьох факторів: хімічного складу чавуну, швидкості його охолодження, умов плавки та ін. Експериментально встановлено, що сірка переважно розташовується на межах евтектичних зерен та у графіті, хоча також може розчинятися в аустеніті (фериті) та, особливо, у цементиті [1].

У чавунах вплив сірки завжди розглядають разом із марганцем, який нейтралізує її шкідливий вплив. Внаслідок високої хімічної спорідненості вони утворюють сульфід марганцю та заліза. Вважається навіть [3], що утворення сульфідів марганцю створює так звані «зародки» графіту, з яких потім зростають пластинчасті вкраплення. Наполягають, що під час кристалізації чавуну між кристалічними ґратками сульфідів (насамперед, марганцю) та графіту існує кристалогеометрична відповідність.

Але в інших роботах встановлено [4], що сульфідні вкраплення у чавуні можуть також сумісно кристалізуватися із пластинками графіту або навіть відтіснятися у міжкристалічний простір первинної структури чавуну [5].

У структурі сірих чавунів експериментально встановлено сульфідні декількох типів: ті, що розташовані за периферією пластинок графіту (тип 1); ті, що знаходяться всередині пластинок (тип 2); ті, що сумісно кристалізуються із розташованою поряд пластинкою графіту (тип 3). Причому сульфідні типу 1 більш тугоплавкі та збагачені марганцем, сульфідні типів 2 та 3 є біднішими за марганцем та збагачені залізом [4].

Під час визначення ролі впливу сірки на форму полікристалічних вкраплень графіту вважають, що вона переважно адсорбується на його призматичних гранях, майже припиняючи зростання за товщиною. Внаслідок цього вкраплення графіту утворюються тільки пластинчастими за рахунок росту переважно базисних пластин. Очищення граней графіту за допомогою уведення елементів з високою спорідненістю до цих шкідливих домішок, наприклад, магнію, церію тощо, сприяє вирівнюванню швидкості зростання базисних і призматичних граней і вкраплення графіту утворюються компактними або навіть кулястими. Така точка зору не спричинює заперечень та підтримується більшістю вітчизняних та закордонних науковців [6,7].

Але разом з тим відомо, що іноді надлишок сірки, навпаки сприяє утворенню компактного графіту [8-10]. Таку парадоксальну дію сірки, як поверхнево-активного елементу, спостерігають у ковких чавунах і пов'язують із впливом на дифузію вуглецю під час відпалу. Так, за низького значення співвідношення сірки до марганцю, дифузія вуглецю до зростаючих включень графіту призводить до утворення його розгалужених пластинчастих вкраплень. За високого вмісту сірки у розчині (тобто високого співвідношення сірки до марганцю), вона адсорбується на межах зерен і блоків, перекриваючи шляхи прискореної та нерівномірної доставки вуглецю до зародків графіту. Таким чином, за умови рівномірного надходження вуглецю з усіх сторін графіт стає компактным [10].

Також цікавим є вивчення ролі сірки разом з киснем – елемента, що суттєво впливає на поверхневі явища та загалом на фізико-хімічні властивості рідкого чавуну. Експериментально доведено [11], що низький вміст сірки і кисню (не більш 10 ppm) та значне переохолодження чавуну є необхідними умовами для утворення графіту кулястої форми.

Термодинамічними розрахунками підтверджується [12], що морфологія графіту залежить від активності сірки та кисню. Показано, що за активності сірки та кисню нижче ніж $2,3 \cdot 10^{-3}$ та $3 \cdot 10^{-7}$ відповідно, під час модифікування церієм утворюється кулястий графіт. За збільшенням активності кисню утворюються не тільки сульфіди церію (CeS), а і комплексні сполуки Ce_2O_2S або Ce_2O_3 . За збільшенням активності сірки виявлено сполуки типу Ce_3S_4 або Ce_2S_3 . При цьому у чавуні створюється вермикулярний або лускоподібний графіт. Такі дані одержано за уповільненим охолодженням.

Окрім низького вмісту сірки та кисню, також невід'ємною умовою змінювання морфології графіту є швидкість охолодження рідкого чавуну. Підвищення швидкості охолодження сприяє збільшенню компактності графіту в чавунах, що було оброблено магнієм або церієм [13,14].

Таким чином, відомі експериментальні дані та висунуті механізми впливу сірки на морфологію графіту часто мають дуже складний, а іноді і суперечливий характер, та не пояснюють усю різноманітність процесів, що відбуваються у чавунах за наявності цього елемента. Особливу зацікавленість спричинює взаємодія сірки з компонентами чавуну та утворення оксисульфідних вкраплень або складних твердих розчинів перемінного складу [15], які безсумнівно впливають на морфологію графіту під час кристалізації та твердіння чавуну.

З такої точки зору вплив сірки на морфологію графіту в чавунах майже не розглядали у науковій літературі. Залучення петрографічного методу в поєднанні з електронною растровою мікроскопією дозволить з'ясувати природу цих твердих розчинів і механізм впливу сірки на морфологію графіту в чавунах.

Мета та завдання. У роботі досліджували вплив сірки на морфологію графіту в чавунах та висунуто механізм її дії на утворення та формування графітової фази.

Для досягнення поставленої цілі треба виконати мікрорентгеноспектральний аналіз вкраплень графіту з метою визначення розподілу сірки у структурі чавунів, а також виконати петрографічні дослідження сульфідних сполук у промислових та синтетичних чавунах.

Матеріали та методика досліджень. Для дослідження використовували сірі та високоміцні чавуни, які відповідали за хімічним складом маркам СЧ10 (СОУ МПП 77.140.80-311:2009) та ВЧ 500-2 (ДСТУ 3925-99).

Плавку чавуну виконували у високочастотній індукційній печі з кислотою футерівкою місткістю 30 кг. Як шихту використовували переробний чавун марки ПЛ-2, чавунний та сталевий брухт і феросиліцій ФС45.

Під час одержання синтетичного чавуну як шихтові матеріали використовували спеціально підготовлені металеві брикети порошку заліза (ПЖР 3.200.28, ГОСТ 9849-86) та малозольного графіту. Плавку виконували у відкритій індукційній печі в алундовому тиглі. Для доведення складу чавуну за кремнієм використовували кристалічний кремній. Вміст сірки у синтетичному чавуні складав 0,005 %.

Для одержання кулястого графіту використовували нікель-магнієву лігатуру (15 % *Mg*, 0,6 % *Ce*), що попередньо виготовляли з електролітичного нікелю, первинного магнію та фероцерію під барієвим флюсом.

З дослідних чавунів відливали стандартні проби для визначення властивостей та хімічного складу, з яких потім готували шліфи для металографічних та петрографічних досліджень.

Структуру чавуну досліджували на металографічних мікроскопах «MIM-8M» і «Zeiss Axiovert 200 MAT». Мікрорентгеноспектральний аналіз виконували за допомогою електронного растрового мікроскопу «SUPRA 40 WDS (Karl Zeiss)». Природу графітових вкраплень, їх мікроструктуру та морфологію вивчали металографічним та петрографічним методами з додатковим використанням мікроскопів «MIM-8» та «МБІ-6».

Результати досліджень. Як встановлено у попередніх дослідженнях [15], у сірих чавунах,

одержаних з використанням чушкових чавунів, сірка вступає у взаємодію з марганцем з утворенням сульфідів. Причому у сірому чавуні сульфід марганцю можуть зустрічатися різної кристалічної форми: три-, чотири- або шестигранні, але іноді спостерігаються також вкраплення з аморфною мікроструктурою [15].

Також встановлено, що сульфід може містити домішки інших елементів, насамперед кисню, утворюючи тверді розчини перемінного складу: *FeS-MnS*, *FeO-FeS*, *MnO-MnS*, *FeS-MnO-MnS* та ін., що відрізняються ступенем прозорості та кольором.

Результатами мікрорентгеноспектрального аналізу сірих чавунів виявлено, що сірку головним чином розчинено у металевій матриці, а у графітових вкрапленнях її концентрація є значно меншою та має дуже нестабільний хаотичний характер (рис. 1,а). Останнє підтверджується результатами локального мікрорентгенового аналізу (рис. 2, табл. 1).

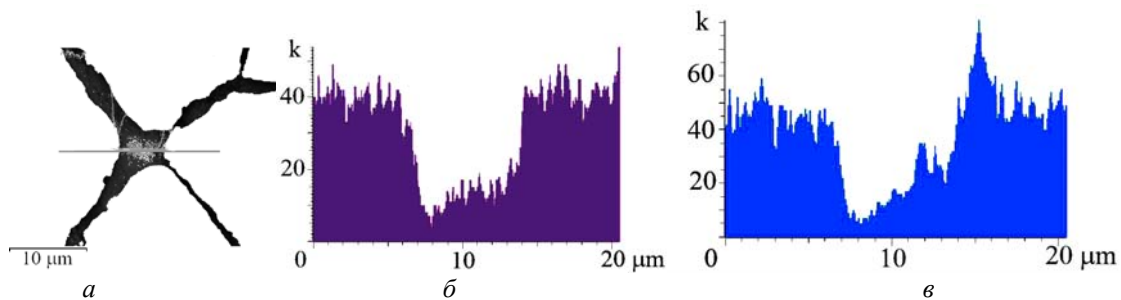


Рисунок 1 – Розподіл сірки та кисню у сірому чавуні:

а - пластинчатий графіт та лінія сканування; *б* - розподіл сірки; *в* - розподіл кисню

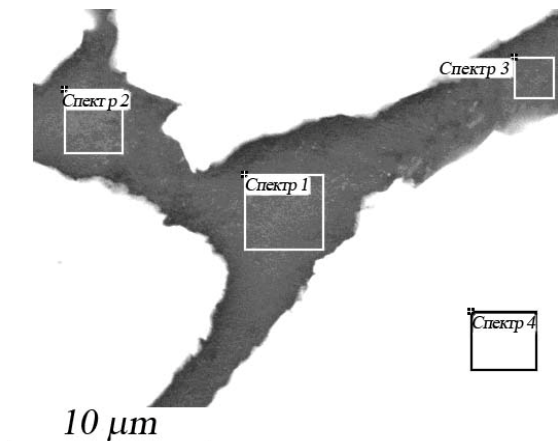


Рисунок 2 – Области локального мікрорентгеноспектрального аналізу

Таблиця 1 – Результати локального мікрорентгеноспектрального аналізу (відповідно рис. 2)

Місце аналізу	Вміст хімічних елементів, мас. частка, %						
	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Si</i>	<i>S</i>	<i>Ca</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>
Спектр 1	92,85	5,31	0,05	0,03	-	-	1,76
Спектр 2	93,39	4,29	0,01	-	-	-	2,31
Спектр 3	88,50	5,80	0,08	-	0,05	-	5,57
Спектр 4	1,61	-	3,26	0,19	-	1,00	93,94

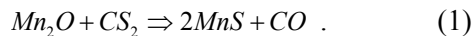
Слід також привернути увагу на те, що у місцях аналізу, де спостерігають наявність сірки, часто є відсутньою будь-яка наявність марганцю (спектр 1, табл. 1). Натомість завжди фіксується наявність кисню, а також заліза та кремнію.

Відомо [15], що сульфід заліза та марганцю за наявності кисню розчиняються у оксиді заліза (II), утворюючи оксисульфідні вкраплення або тверді розчини перемінного складу, при чо-

му морфологія сульфідів марганцю залежить від вмісту кисню.

Такі сульфідні є слабо прозорими або дуже прозорими, мають сіривато-зелене зафарблення та яскраво-зелений колір, що характерно за наявності Mn_2O . Різна ступінь прозорості, а також наявність у їх складі кисню та вуглецю дозволяє віднести їх до твердих розчинів типу $Mn-S-C-O$. Наявність високого вмісту вуглецю та кремнію посилюють активність сірки, вона може утворювати за високої температури малостійкі сполуки з киснем (SO_2 , SO , S_2O_3), вуглецем (CS_2 , CS), кремнієм (SiS , SiS_2).

У рідкому чавуні внаслідок високого вмісту сильних розкислювачів (насамперед, кремнію) існує дефіцит кисню та внаслідок цього створюються умови для виникнення оксидів зниженої валентності, наприклад SiO , Mn_2O та ін. Навіть за певних умов може відбуватися реакція перетворення оксисульфідів на сульфід кристалічної форми



Такі сульфідні марганцю мають правильну кристалічну форму (трьох-, чотирьох- або шестигранну). Реакція (1) не завжди відбувається до кінця та її розвиток залежить від фізико-хімічних умов розплаву.

Аналогічну картину спостерігають і у промислових високоміцних чавунах. Іноді наявність

Таблиця 2 – Результати локального мікрорентгеноспектрального аналізу (відповідно рис. 3)

Місце аналізу	Вміст хімічних елементів, мас. частка, %									
	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Ni	Всього
Спектр 1	85,70	0,75	3,61	2,39	0,19	3,88	2,89	0,59	-	100,00
Спектр 2	6,87	-	-	0,25	2,03	-	-	89,43	1,42	100,00
Спектр 3	94,97	3,45	-	-	-	-	-	1,58	-	100,00
Спектр 4	95,87	3,31	-	-	-	-	-	0,82	-	100,00
Спектр 5	95,52	3,41	-	-	-	-	-	1,07	-	100,00

В інших точках сірка за її невисоким загальним вмістом у чавуні (менш ніж 0,005 %) та високої швидкості охолодження взагалі не ідентифікувалася у графітових вкрапленнях [16]. Мабуть вона відтіснялася у міждедритний простір первинних кристалів аустеніту, створюючи комплексні сульфідні або оксисульфідні магнію.

Таким чином, не відкидаючи можливість утворення графітових вкраплень у чавунах на сульфідних марганцю (у сірих чавунах) чи магнію (у високоміцних чавунах), слід зазначити, що такий механізм не є єдиною можливістю. На наш погляд дія сірки є аналогічною дії іншого поверхневого елементу – кисню. Так, у сірих чавунах головну роль відіграє монооксид кремнію (SiO), а сірка за високої концентрації пригнічує його

концентраційних піків магнію та сірки у центрі кулястих вкраплень графіту дає змогу вважати, що саме сульфід магнію є зародком кулястого графіту. Проте наявність підвищених концентрацій магнію та сірки може спостерігатися не обов'язково у центрі вкраплення, що було підтверджено нами раніше [16,17]. Для ілюстрації цього на рис. 3 показано точки локального мікрорентгеноспектрального аналізу синтетичного чавуну, а у табл. 2 наведено результати. Встановлено, що концентраційні піки магнію та сірки (спектр 1) розташовано на периферії кулястого вкраплення графіту.

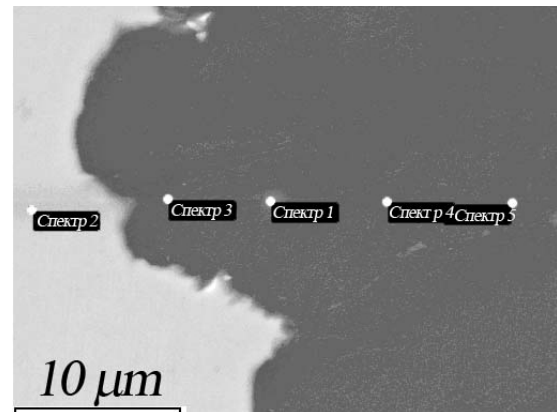


Рисунок 3 – Місця локального мікрорентгеноспектрального аналізу синтетичного високоміцного чавуну

активність та зменшує розгалуженість пластинчатого графіту.

У високоміцних чавунах формування кулястих вкраплень відбувається також за участі збідненого за киснем поверхнево-активного монооксиду магнію (Mg_2O). Сірка у разі її надвисокої концентрації (більше ніж 0,02 %) буде вступати у взаємодію з магнієм і заважати утворенню монооксиду магнію.

Висновки.

1. Результатами виконаних досліджень сірих та високоміцних чавунів встановлено, що сірка головним чином розподіляється у металевій матриці, утворюючи не тільки сполуки (головним чином сульфідні марганцю або магнію) з елементами, до яких має високу спорідненість, а і вхо-

дячи у складні тверді розчини на основі заліза, кремнію та кисню. У графітових вкрапленнях наявність сірки існує у значно менших концентраціях.

2. У сірих чавунах головну роль у формоутворенні пластинчатих вкраплень відіграє поверхнево-активний монооксид кремнію (SiO). За наявності великого вмісту вуглецю та кремнію зростає активність сірки, яка може утворювати з

ними сполуки, обумовлюючи утворення правильних кристалічних сульфідів марганцю та пригнічувати розростання пластин графіту. У високомісних чавунах морфологію графіту обумовлює також збіднений за киснем монооксид магнію. Сірка у разі її надвисокої концентрації (більше ніж 0,02 %) буде вступати у взаємодію насамперед з магнієм і заважати утворенню монооксиду магнію.

Бібліографічний список

1. **Гиршович, Н. Г.** Кристаллизация и свойства чугуна в отливках [Текст] / Н. Г. Гиршович. – М. : Машиностроение, 1966. – 563 с.
2. **Горшков, А. А.** Справочник по изготовлению отливок из высокопрочного чугуна [Текст] / А. А. Горшков, М. В. Волощенко, В. В. Дубров, О. Ю. Крамаренко; под общ. ред. А. А. Горшкова. – Москва – Киев : Машгиз, 1961. – 300 с.
3. **Riposan, I.** Three-stage model for nucleation of graphite in grey cast iron [Text] / I. Riposan, M. Chisamera, S. Stan etc. // Materials Science and Technology. – 2010. – Vol. 26, No. 12. – Pp. 1439-1447.
4. **Жуков, А. А.** О сокристаллизации графита и сульфидов в сером чугуне [Текст] / А. А. Жуков, С. М. Иваненко, В. А. Кузьменко, А. Б. Янченко // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1990. – № 11. – С. 77-78.
5. **Любченко, А. П.** Высокопрочные чугуны [Текст] / А. П. Любченко. – М. : Металлургия. 1982. – 120 с.
6. **Skaland, T.** Nucleation Mechanisms in Ductile Iron [Text] / T. Skaland // Processing of the AFS cast iron inoculation conference. 2005. Schaumburg, Illinois, September 20-30. – Pp. 13-30.
7. **Найдек, В. Л.** Шаровидный графит в чугунах [Текст] / В. Л. Найдек, И. Г. Неижко, В. П. Гаврилюк // Процессы литья. – 2012. – № 5. – С. 33-42.
8. **Давыдов, С. В.** Технология наномодифицирования чугуна на основе поверхностно-активных элементов. Ч.1 [Текст] / С. В. Давыдов // Вестник БГТУ. – 2004. – № 3. – С. 98-106.
9. **Давыдов, С. В.** Технология наномодифицирования чугуна на основе поверхностно-активных элементов. Ч. 2 [Текст] / С. В. Давыдов // Вестник БГТУ. – 2004. – № 4. – С. 34-49.
10. **Савуляк, В. І.** Економічні технології високомісних графітованих сплавів заліза [Текст] монографія / В. І. Савуляк, О. Б. Янченко. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 160 с.
11. **Lux, B.** On the theory of nodular graphite formation in cast iron [Text] / B. Lux // AFS Cast Metals Research Journal. – 1972. – No. 8. – Pp. 25-38.
12. **Subramanian, S. V.** Graphite morphology control in cast iron [Text] / S. V. Subramanian, D. A. R. Kay, G. R. Purdy // MRS Online Proceedings Library Archive. – 1984. – No. 34. – Pp. 47-56.
13. **Argo, D.** Structural transitions in directionally solidified graphitic cast irons [Text] / D. Argo, J. E. Gruzleski // Materials Science and Technology. – 1986. – Vol. 2, No. 10. – Pp. 1019-1024.
14. **Stefanescu, D. M.** Mat. Res. Soc. Sym. Proc. [Text] / D. M. Stefanescu // The Physical Metallurgy of Cast Iron. – 1989. – Vol. 34. – Pp. 151-154.
15. **Пирожкова, В. П.** Атлас микроструктур неметаллических включений [Текст] / В. П. Пирожкова, М. Ю. Яценко, В. В. Лунев, С. Г. Грищенко. – Запорожье : Днепровский металлург, 2012. – 167 с.
16. **Іванов, В. Г.** Розподіл магнію у синтетичному високомісному чавуні [Текст] / В. Г. Іванов // Металургія : Наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2016. – Вип. 2 (36). – С. 5-10.
17. **Іванов, В. Г.** Розподіл хімічних елементів у структурі високомісного чавуну для маслотної заготовки поршневої кілець [Текст] / В. Г. Іванов // Вестник двигателестроения. – 2016. – № 1. – С. 121-128.

ІВАНОВ Валерій Григорьевич, кандидат технічних наук, доцент кафедри машин і технології литейного виробництва, Запорізький національний технічний університет (Запорожье, Україна). E-mail: ivanov@zntu.edu.ua

ПІРОЖКОВА Валентина Петровна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри машин і технології литейного виробництва, Запорізький національний технічний університет (Запорожье, Україна). E-mail: valentina.pirozhkova29@gmail.com

ЛУНЕВ Валентин Васильевич, завідувач кафедри машин і технології литейного виробництва, Запорізький національний технічний університет, доктор технічних наук (Запорожье, Україна). E-mail: yana_vas@zntu.edu.ua

ВЛИЯНИЕ СЕРЫ НА МОРФОЛОГИЮ ГРАФИТА В ЧУГУНАХ

Исследовано влияние серы на морфологию графитовой фазы в серых и высокопрочных чугунах. Петрографическими и металлографическими методами исследования установлено, что высокое содержание углерода и кремния в чугунах, а также дефицит кислорода, повышают активность серы, которая может образовывать соединения с этими элементами и входить в сложные твердые растворы. В серых чугунах сера подавляет поверхностную активность монооксида кремния, отвечающего за морфологию пластинчатого графита, и может исказить его форму, адсорбируясь на поверхности поликристаллических включений. В высокопрочных чугунах морфологию графита обуславливает также обедненный по кислороду субоксид магния (Mg_2O). Сера, в случае ее сверхвысокой концентрации (более 0,02 %), будет вступать во взаимодействие, прежде всего с магнием, и мешать образованию субоксида магния.

Ключевые слова: чугун, сера, кислород, морфология, включения графита

IVANOV Valeriy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Machines and Technology of Casting Production, Zaporizhskij National Technical University (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: ivanov@zntu.edu.ua

PIROZHKOVA Valentina, Candidate of Technical Sciences, Senior Staff Scientist of Department of Machines and Technology of Casting Production, Zaporizhskij National Technical University (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: valentina.pirozhkova29@gmail.com

LUNEV Valentin, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Machines and Technology of Casting Production, Zaporizhskij National Technical University (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: yana_vas@zntu.edu.ua

INFLUENCE OF SULPHUR ON MORPHOLOGY OF GRAPHITE IN CAST-IRONS

The influence of sulfur on the morphology of the graphite phase in gray and high-strength cast irons was investigated. Petrographic and metallographic methods of investigation have established that a high content of carbon and silicon in cast iron as well as oxygen shortage increase the sulfur activity, which can form compounds with these elements and enter complex solid solutions. In gray cast iron sulfur suppresses the surface activity of silicon monooxide which is responsible for the morphology of lamellar graphite, and can distort its shape by adsorbing on the surface of polycrystalline inclusions. In high-strength cast irons the morphology of graphite also determines the oxygen-depleted magnesium suboxide (Mg_2O). Sulfur, in the case of its ultrahigh concentration (more than 0.02 %), will interact, primarily with magnesium, and interfere with the formation of magnesium suboxide.

Key words: cast iron, sulfur, oxygen, morphology, graphite inclusions.

Стаття надійшла до редакції 31.08.2017 р.
Рецензент, проф. С.І. Цивірко

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>