УДК 669.157
В.Савуляк, О.Янченко
Вінницький національний технічний університет

ТЕХНОЛОГІЯ СТАБІЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРУКТУРИ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АНТИФРИКЦІЙНИХ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ ЗУСТРІЧНИМ МОДИФІКУВАННЯМ

На основі систематизації і узагальнення відомостей про модифікування чавунів в умовах немодернізованого виробництва створені технології, що дозволяють зменшити собівартість виготовлення як вже освоєної, так і нової металопродукції при забезпеченні необхідного рівня якості, а також забезпечити підвищення спеціальних властивостей продукції при збільшених вимогах до працездатності та ресурсу.

Ключові слова: *чавун, модифікування, графітизація, аустемпування, мікроструктура, лігатура.*

На сьогоднішній день металургія традиційно є базовою галуззю економіки України [1]. Основними напрямами наукових розробок є: зменшення енергоємності, матеріаломісткості і собівартості металургійного виробництва, створення нового вигляду і підвищення якості металопродукції. Прикладом технологічно стабільного процесу є виробництво феритного ковкого чавуну, що має вікову історію з часів його винаходу Бойденом. Перший інтервал стабільності – «біла» мікроструктура вихідних виливків. Дійсно, останні не можуть бути вибілені на, наприклад, 120%. «Запас вибілюваності» гарантує стабільність технології навіть при достатньому розмаху коливань внутрішніх і зовнішніх чинників (хімічний склад металу, його спадкові властивості, вологість вагранкового дуття, день тижня і тому подібне).

Другий інтервал стабільності – перша стадія графітизації. «Запас вибілюваності», як відомо, не псує метал, що досяг бажаного двофазного аустеніто-графітного стану. Третій інтервал - охолоджування під час проміжної стадії графітизації, коли «із запасом» запобігається випадання вторинного цементиту. Четвертий інтервал - друга графітизація, коли перевідпалити метал неможливо [2]. Виробництво високоміцного чавуну з кулястим графітом (ЧКГ) є технологічно недостатньо стабільним процесом, що вимагає високої технологічної дисципліни на всіх його стадіях. Ще менш «надійним» є виробництво чавуну з вермікулярним графітом (ЧВГ) – ця технологія на вістрі ножа, яка тому і не приживається в країнах СНД і ряді інших. В той же час існують технологічно стабільні процеси виробництва сплавів з компактними формами графіту, що відрізняються властивостями не нижче чим в ЧКГ, або ЧВГ [3]. Такими є лита графітизована сталь і чавун з дрібнодисперсним компактним графітом (ЧДКГ) [3,4]. У сучасних умовах нестабільності вихідних шихтових металів, що посилюється, дефіциту і дорожнечі магнію і комплексних сфероїдизувальних модифікаторів вказані два типи сплавів мають право на нішу у рядку з іншими графітовмісними сплавами заліза. ЧДКГ відрізняється від класичного ковкого чавуну підвищеним вмістом кремнію. В цьому випадку первинний вибіл виливків досягається за рахунок підвищення вмісту сірки в металі, його мікролегування вісмутом, телуром або їх сполуками (або лігатурою [5]). Дуже вигідне в цьому випадку кокільне литво, яке не лише стабілізує процес отримання повністю вибілених литих заготовок, але і сприяє диспергуванню ледебуритної структури. Цей чинник також прискорює графітизуючий відпал і зменшує хімічну мікронеоднорідність металу по кремнію і марганцю після відпалу [6]. Таким чином, використовуючи легування чавуну сіркою, як потужним технологічним інструментом можна, в принципі, досягти таких цілей:

- вибілу чавуну у виливках при його твердінні незважаючи на високий вміст в ньому вуглецю і кремнію (характерно, наприклад, для звичайного вагранкового сірого чавуну);
- швидкої графітизації у твердому стані з утворенням компактного графіту замість пластинчастого в аналогічному чавуні, виплавленому традиційним способом [7].

Устаткування і методи проведення випробувань і досліджень

Дослідні плавки проводилися на такому устаткуванні: плавку металу здійснювали в індукційній плавильній печі ИСТ-006 з кислим тиглем ємкістю 50 кг. Як шихта використовувався переробний чавун з низьким вмістом вуглецю від 3,0% до 3,8% і кремнію від 1,5% до 1,9%, при цьому сума вуглецю і кремнію змінювалася незначно (від 5,0 до 5,3%), оскільки одночасне

збільшення вмісту цих елементів викликає сильне збільшення швидкості графітизації і утворення половинчастої або навіть сірої структури виливків. У роботі використовувалося таке лабораторне випробувальне устаткування: розривні машини Р-10 (визначення тимчасового опору на розрив $\sigma_т$ і відносного подовження δ); твердомір ТБ 5006 (визначення твердості за Брінелем); спектроаналізатор ПС-115; металографічний світловий мікроскоп МИМ-8; електронний скануючий мікроскоп РЕММА 106И з блоком рентгенівського енергодисперсійного аналізатора ЕДАР (аналіз мікроструктури і графітних включень).

Результати досліджень і їх обговорення

Відомо, що при підвищеному вмісті кремнію в ковкому чавуні форма включень вуглецю відпалу погіршується, але при легуванні металу сіркою ця форма знов покращується. Цим важелем і можна успішно користуватися при створенні і розвитку нових технологічних процесів. Ці процеси легко здійснюються при виробництві тонкостінних або кокільних виливків, що твердіють при більших швидкостях охолоджування. В інших випадках цього важеля може виявитися недостатньо, у виливку випадають кулясті евтектичні колонії дрібнодисперсного пластинчастого або кораловидного графіту. Після графітизуючого відпалу ці кулевидні рихлі пластівчасті включення набирають вигляду, показаного на рис. 1. Механічні властивості чавуну виходять зниженими.

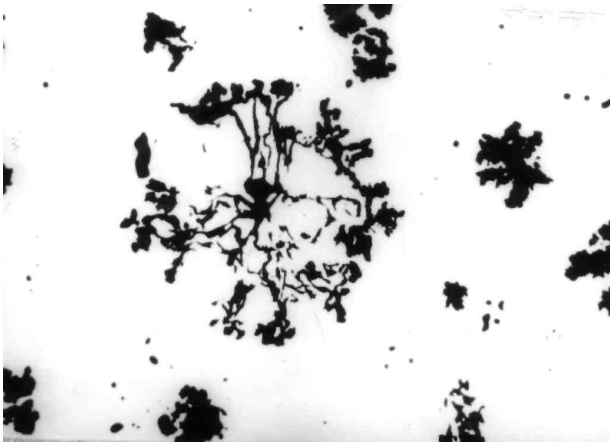

Рис. 1. Куляста колонія пластинчастого евтектичного графіту в неповністю вибіленому чавуні після графітизуючого відпалу. Товщина стінки литої проби 40мм. Шліф не травлений.× 100

Для боротьби з цим явищем розроблений метод додаткового модифікування чавуну сильнодіючими вибілюючими присадками Bi і Te. У цьому плані дуже перспективна присадка сполукою Bi_2Te_3 (що містить 50% Bi і 50% Te). Ця сполука має порівняно високу температуру плавлення із-за міцності сил зв'язку метал-металоїд і відповідно низьку пружність пари Bi і Te. Тому втрати при введенні лігатури в рідкий чавун мінімальні. Цьому сприяє також те, що дана лігатура має щільність дещо вищу, ніж в рідкого чавуну і вона тоне в нім. Після розчинення в рідкому металі сполука Bi_2Te_3 повністю дисоціює через те, що зв'язки $Fe\text{-}Te$ трохи міцніші за зв'язки $Bi\text{-}Te$. Модифікування високосірчистих чавунів вісмутом або лігатурою $Bi\text{-}Te$ практично не впливає на тривалість графітизуючого відпалу.

На рис.2 наведені мікроструктури такого чавуну, що відрізняється підвищеним вмістом кремнію, сірки і пониженим вмістом марганцю (у % за масою: 3,05 C; 2,95 Si; 0,35 Mn; 0,238 S; 0,056 P). Для запобігання утворення сірої структури рідкий чавун оброблено 0,01% Bi_2Te_3. Перша стадія відпалу повністю завершилася при 1223К за 20 хв. Другої стадії (тобто відпалу на феритну структуру) фактично немає – вона вельми швидко протекла при охолоджуванні через критичний інтервал внаслідок високого вмісту Si в металі.

©В.Савуляк, О.Янченко

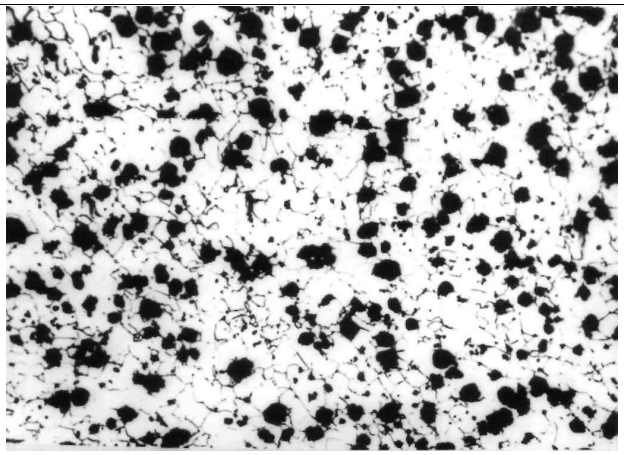

Рис. 2. Відпалений сірчистий висококремнистий білий чавун, оброблений 0,01% лігатури *Bi+Te*. Товщина стінки литої проби 40мм. Шліф травлений ніталем. × 100

У табл. 1 наведені рекомендуємі режими графітизуючого відпалу сірчистих чавунів з двома різними рівнями вмісту кремнію. Крем'янисті чавуни в цьому випадку оброблені Bi_2Te_3 для стабілізації крізного відбілу у виливках. Високий вміст кремнію в сплавах дозволив використовувати самовідпал виливків замість графітизуючого відпалу. Він полягав в «гарячому» вибиванні виливків і встановленні їх в теплоізольований термостат при 1253К з поступовим охолодженням в нім до 1223К протягом 2 годин, після чого подальше охолодження на перлітну або перліто-феритну структуру виконувалося на повітрі. Така енергозбережна технологія дозволяє повністю завершувати першу стадію графітизації (а якщо необхідно і другу стадію) без витрат енергоносіїв. Деякий її недолік полягає в тому, що структура вуглецю відпалу виходить в цьому випадку менш рівномірною, включення графіту рідшими, більш великими і менш компактними.

Таблиця 1

Режими графітизуючого відпалу сірчистих чавунів з різними рівнями вмісту кремнію

Найменування чавунів	Оптимальна тривалість графітизуючого відпалу, год.					
	на перліт		на ферит			
			1123К		1223К	
	1123К	1223К	1 стадія	2 стадія (охолодження)	1 стадія	2 стадія (охолодження)
Середньокремнисті (~ 1,8% *Si*)	2,0	0,5	2,0	120	0,5	120
Висококремнисті (~ 3,0% *Si*)	0,5	0,33	0,5	240	0.33	240

Таблиця 2

Механічні властивості сплавів

Хімічний склад, % *						Тривалість відпалу при 1223-1253К	Механічні властивості			
C	Si	Mn	Cu	S	P		$\delta_в$, МПа	$\delta_{0.2}$, МПа	δ, %	HB
2.92	2.54	0.41	-	0.28	0.08	2	710	650	2	230
3.28	2.76	0.44	-	0.35	0.10	1	550	500	2.6	210
2.90	3.55	0.40	-	0.33	0.09	0.5	470	430	5.5	200
3.12	3.97	0.37	-	0.40	0.08	0.25	490	460	6.5	180
2.90	2.48	0.33	1.21	0.39	0.08	1	760	700	2.5	240

3.32	2.56	0.33	0.92	0.36	0.09	1	660	630	2	220
2.95	3.60	0.25	1.27	0.41	0.07	0.25	880	820	2	230
2.96	3.98	0.25	1.16	0.37	0.09	0.25	770	750	2.5	230
2.92	3.70	0.33	-	0.37	0.09	2 (само-відпал)	610	-	2.2	210
3.27	3.00	0.44	-	0.47	0.12	2 (само-відпал)	510	-	2.0	200

Механічні властивості отриманих сплавів приведені в таблиці. 2. До неї включені також і мідносірчані чавуни, отримані введенням сірки в метал у вигляді лігатури $Fe - C - Cu - S$ [8,9]. Як видно з табл. 2 в пропонуємому класі сплавів досягнуті механічні властивості, що є проміжними між властивостями високоміцних і ковких чавунів, з одного боку, і сірих чавунів, з іншого. Слід зазначити, що ці нові сплави відрізняються підвищеною зносостійкістю, хорошими антифрикційними властивостями, припрацьовуємістю і оброблюваністю різанням [10]. Вони поступаються ковким феритним чавунам в холодостійкості через підвищений вміст кремнію.

Технологічна стабільність процесів виробництва пропонованого нового класу чавунів полягає в наступному. На стадії виробництва виливків з білого чавуну ця стабільність обумовлена тим, що неможливо отримувати відбіл, що перевищує 100%. Високий вміст сірки в металі і використання модифікування чавуну сильнодіючими вибілюючими елементами – вісмутом і телуром – дозволяють гарантовано утримувати вміст графіту в литому металі нижче 0.05-0.1%, тобто лише у вигляді дисперсних центрів графітизації. В цьому випадку навіть при існуючих коливаннях внутрішніх і зовнішніх параметрів сучасних недосконалих технологічних процесів це істотно стабілізує дану стадію технологічного процесу [9,11]. Швидке протікання першої стадії графітизуючого відпалу забезпечує стабільність на цьому рівні технологічного процесу. З досягненням термодинамічної рівноваги аустеніт + графіт деяке подовження першої стадії графітизації (наприклад, до 0,5 год замість 0,33) не вносить яких-небудь змін в систему і забезпечує необхідний «запас стабільності» цієї стадії. Швидке протікання проміжної стадії відпалу гарантує систему від випадання вторинного цементиту. Швидке протікання другої стадії графітизації забезпечує необхідний «запас стабільності», оскільки вміст фериту в металевій матриці чавуну не може перевищити 100% [13].

Висновки.

1. Розроблена технологія отримання залізовуглецевих сплавів, що має два інтервали стабільності, що дозволяє отримувати сплави з певними механічними властивостями не зважаючи на коливання внутрішніх і зовнішніх чинників (хімічного складу, спадкових властивостей, вологості вагранкового дуття і ін.).

2. Графітизовані чавуни є добрим легованим кремнієм матеріалом для аустемпування. Графітна фаза є резервом і джерелом вуглецю для насичення ним аустеніту в кількості, яка може регулюватися температурою і тривалістю аустенізації.

3. Графітизована сталь є цінним конструкційним, інструментальним і тріботехнічним матеріалом, який повинен мати нішу і свій ареал серед інших машинобудівних матеріалів.

4. Доцільно використовувати підвищену стабільність переохолодженого «первинного» аустеніту для організації його перетворення на потрібні структури.

5. Отримані результати з легування графітизованої сталі міддю, сіркою рядом інших елементів говорять про доцільність такого легування.

©В.Савуляк, О.Янченко

1. Большаков В.И., Тубольцев Л.Г. Состояние и перспективы развития черной металлургии Украины на основе энергосберегающих технологий/ В.И. Большаков, Л.Г. Тубольцев//Металлургическая и горнорудная промышленность, 2006, № 2.– С.1–5.
2. Жуков А.А. Технологически стабильные процессы получения бейнитного чугуна/ А.А. Жуков, А.Б. Янченко//Литейное производство. 1993. №12. - С.8-9.
3. Жуков А.А. Технологически стабильные процессы получения бейнитного чугуна с пластинчатым и компактным графитом/ А.А. Жуков, А.Б. Янченко// Процессы литья. 1993, №1. - С.108.
4. Жуков А.А. Технологически стабильные процессы получения чугунных отливок повышенной прочности и пластичности/ А.А. Жуков, А.Б. Янченко, С.В. Давыдов// Литейное производство. 1992, №1. - С.12-14.
5. Иваненко С.М., Жуков А.А, Епур Т.И. Открытия, изобретения. 1992, №12. Авт. свидетельство №1723174.
6. Zhukov A.A. Certain topics of the present state of the theory of graphitization of cast iron// Giessereiforschung. 1992, No3. -P.106-112.
7. Жуков А.А. Технологически стабильный процесс получения чугуна с компактным графитом и закаленным на бейнитную структуру/ А.А. Жуков, А.Б. Янченко, Г.Ю. Шульте. Сб. тезисов докладов Украинской научно-практической конференции "Технологические методы повышения эксплуатационных свойств деталей машин". Севастополь, Харьков. Изд.завода ФЭД. 1992. - С.32-35.
8. Жуков А.А. Перспективы использования отходов медноникелевого производства для легирования чугуна/ А.А. Жуков, В.А. Шалашов, А.Н. Квятковский, С.В. Давыдов//Технология, организация и экономика машиностроительного производства. 1982, №4. С.1-3.
9. Жуков А.А.Высокосернистые и серно-медистые антифрикционные чугуны улучшенной обрабатываемости резанием/ А.А. Жуков, В.И. Савуляк, И.О Пахнющий// Металловедение и термическая обработка металлов. 1998, №3. -С.3.
10. Жуков А.А. О влиянии элементов на равновесные температуры эвтектических превращений/ А.А. Жуков, В.И. Савуляк, Т.Ф. Архипова//Металловедение и термическая обработка металлов. 2000, №2. -С.6.
11. Савуляк В.И. Антифрикционная среднеуглеродистая графитизи-рованная сталь// Проблемы трибологии. 2001, №1. – С.67-69.
12. Савуляк В.І. Побудова та аналіз моделей металевих сплавів/ В. І. Савуляк, А. О. Жуков, Г. О. Чорна. - Вінниця: УНІВЕРСУМ, 1999. - 200 с.
13. Жуков А.А. Влияние серы на фазовые превращения в чугунах, получаемых по новым ресурсосберегающим технологиям/ А. А. Жуков, А. Б. Янченко, Г. Ю. Шульте, В. С. Бондарь, О. Д. Опалихина.// Процессы литья. 1994, №2 – С.112-117.