

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ МАТЕРІАЛИ (БІЛІ ТА СТАБІЛЬНО-ПОЛОВИНЧАСТІ ЧАВУНИ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, МІКРОСТРУКТУРА) І ПРИНЦИП ШАРПІ-БОЧВАРА

А.О. ЖУКОВ¹, Ю.Ю. ЖИГУЦ², Г.І. СІЛЬМАН³,
Л.І. АГАПОВА¹

¹Вінницький Державний технічний університет, Вінниця, Україна

²Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна

³Брянська технологічна академія, Брянськ, Росія

²Вінниця, 86021, Україна

Нелеговані білі чавуни мають велику крихкість, що пов'язано з їх ледебуритною структурою, в якій матриця-основа цементитна. Після проведення гарячого пластичного деформування матриця роздрібнюється і структура стає відповідною принципу Шарпі-Бочвара. Інакше, досягнути цього ж результату можна легуванням білого чавуну такими елементами як V, Nb або Ti. Карбіди утворені після легування білого чавуну подрібнюють суцільну крихку матрицю. Таким чином з'являється можливість отримувати пластичний білий чавун, який може бути використаний не тільки у технологіях литва, але і для кування, зварювання, наплавлення. Крім цього у роботі розглядаються леговані стабільно-половинчасті чавуни і карбідосталі з точки зору принципу Шарпі-Бочвара.

Вступ

Виливки із звичайного білого чавуну дуже крихкі під дією динамічних механічних навантажень і тому рідко використовуються. Якщо білий чавун легований до певної ступені VC, NbC або TiC, то основа евтектики вже не буде карбідною (як у ледебуриті) і карбіди VC, NbC і TiC стають включеннями у перлітній, феритній або аустенітній матриці.

Таким чином ми отримуємо пластичні білі чавуни, які мають "інвертовану" мікроструктуру і легко піддаються холодному та гарячому деформуванню.

Другий напрямок підвищення міцності матеріалів у перспективі з багатьма практичними результатами відноситься до стабільно-половинчастих чавунів, в яких тільки частина вуглецю зв'язана у стабільні карбіди VC, NbC або TiC (інколи вони мають дендритну форму). Залишок вуглецю знаходиться у вигляді твердого розчину і графіту. Коли останній має пластинчасту будову, то дендрити, що не

вміщують графіт, зміцнюють евтектику метал+графіт таким же чином, як сталева арматура зміцнює крихкий бетон.

Якщо графіт глобуляризований магнієм або рідкісноземельними металами, то частково графітізовані чавуни мають ще більшу зносостійкість, пов'язану з тим, що тверда карбідна фаза рівномірно розподілена у пластичній матриці. Такий чавун набуває хороших антифрикційних властивостей, зберігаючи при цьому високу оброблюваність різанням, не дивлячись на те, що він трохи твердіший ніж звичайний високоміцний чавун з глобулярним графітом.

Інша область використання цих матеріалів охоплює зварювання сірого, ковкого і високоміцного чавунів. Коли білий чавун з'являється, як звичайно, на границі із зоною термічного впливу (ЗТВ) йому надають пластичність домішками V, Nb та Ti і тоді процес зварювання не веде до утворення тріщин, які зустрічаються на практиці при зварюванні чавунів. Це приводить до того, що зварювальний шов

може стати міцнішим і більш в'язким ніж зварюваний метал. Теж саме відноситься і до технології зміцнення сплавів наплавкою.

У даній статті дається також короткий огляд двох нових неординарних технологій виготовлення литих або литокованих (методом "autoforg") деталей, які засновано на найновіших винаходах.

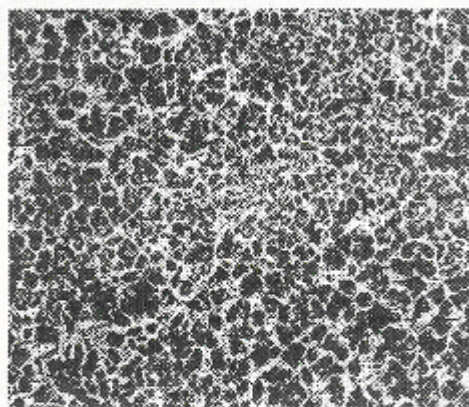
Загальні проблеми

В нелегованих евтектичних білих чавунах крихка цементитна матриця звичайно вміщує в значній мірі ізольовані включення аустеніту у вигляді стовпчиків (які при охолодженні переходять у перліт, ферит або інші продукти перетворення). Не дивлячись на те, що кількість такого аустеніту складає приблизно 50% (і навіть більше у доевтектичних чавунах), його висока пластичність і ударна в'язкість не можуть ефективно використовуватись у зв'язку з ізоляцією цих стовпчиків один від одного. На рис.1 показано, що зниження вмісту вуглецю у сплаві до 2,5% або дуже повільне охолодження литого металу не спроможні змінити такий тип мікроструктури, а вона як відомо не відповідає принципу Шарпі-Бочвара (бажана зміна спостерігалась тільки у високолегованих марганцевих чавунах [1]). І виключно гаряче деформування білого чавуна здатне зруйнувати вище вказаний ледебуритний візерунок і дозволяє отримувати мікроструктури, які починають відповідати принципу Шарпі-Бочвара (пластична матриця + карбіди) [2-7].

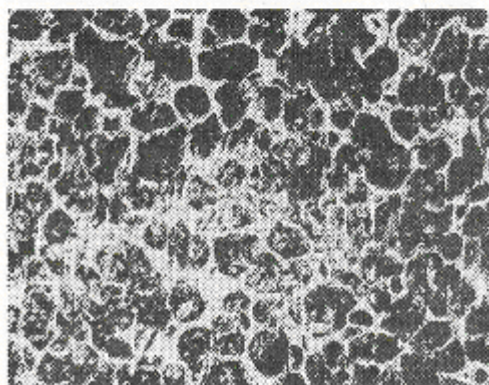
Кування прокатних валків з білого чавуну у цьому випадку виконується на початку при малому ковальському тиску, для того, щоб зруйнувати цементитну сітку по границі "зерен", і тільки після цього процес кування може бути продовжено при високому ковальському тиску.

На рис.2 показано мікроструктуру білого чавуну до і після гарячого деформування. У зв'язку з тим, що білий чавун вміщував дуже мало Cr, кування сприяло графітизації цементиту [2] (див.

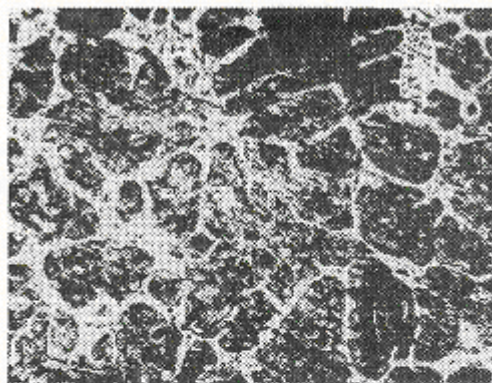
рис.2, г). Коли ж вміст Cr було підвищено у всіх наступних виплавках до 1% - графітизації вдалося повністю запобігти.



а



б



в

Рис.1. Мікроструктура білого чавуну (2,5% C; 0,6% Si; 1,0% Cr), що затверднув при швидкостях охолодження: а - 175°C/хв (лиття в кокіль); б - 25°C/хв (лиття в піщані форми); в - 4,5°C/хв (твердіння у печі з моделюванням охолодження крупного прокатного валку). Травлення виконане ніталем (нижче використано в основному травлення ніталем, тому вказуватись будуть тільки інші травники), х50

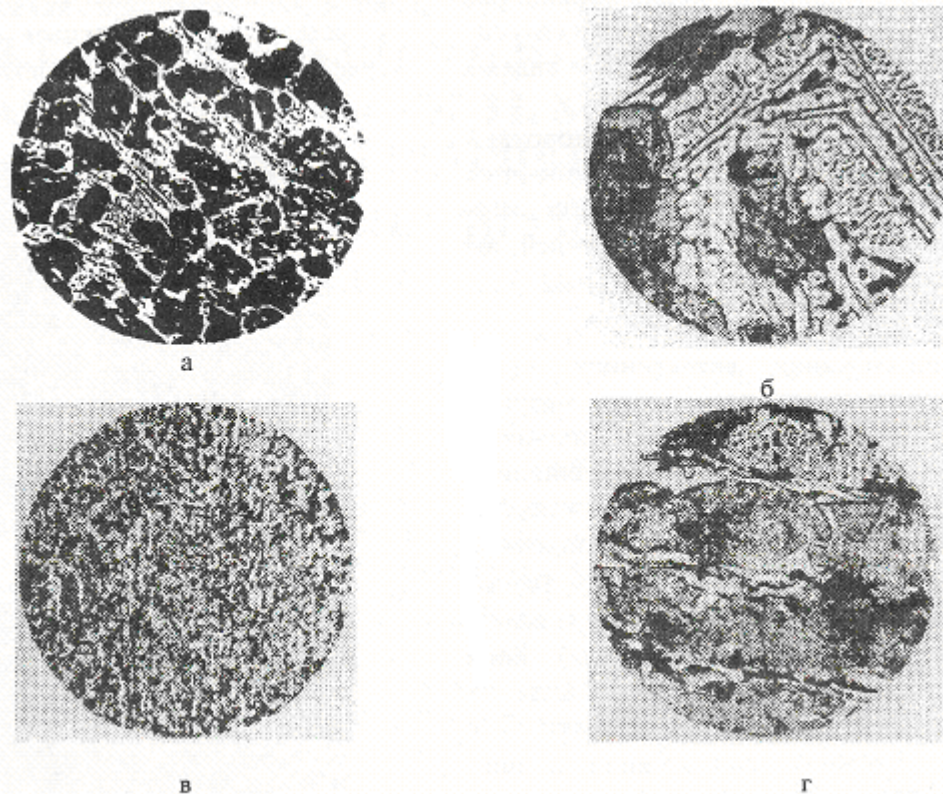


Рис.2. Мікроструктура білого чавуну (3% C; 0,6% Si; 0,4% Cr) до (а та б) і після (в та г) 60% гарячого деформування, (а та б x100; в та г x400)

Легування білого чавуну достатньою кількістю V або Nb робить його мікроструктуру відповідною до принципу Шарпі-Бочвара [1,8,9]. Це було вперше показано у японській роботі переклад [1], у якій було знайдено посилання на те, що легування білого чавуну V і Mn дозволяє отримати в ньому відносно видовження 8%. Як у наступному було нами знайдено, таке високе значення видовження можливо отримувати тільки після корінної зміни у розподілі структурних складових (рис.3): в результаті аустенітна фаза перетворилася у суцільну безперервну пластичну і удароміцну матрицю, в той час як карбіди ванадію VC¹ утворили більш менш (скоріше більше ніж менше) ізольовані включення

¹ Ступінь нестехіометричності X звичайно складає 0,12 для VC і досягає 0,25 для V₄C₃. Нижче цей карбід умовно буде позначено формулою VC

у вигляді дрібних стержнів (рис.3, б), тонких пластинок (рис.3, в) або компактних сфероїдів (особливо при додатковому легуванні Ni [1]).

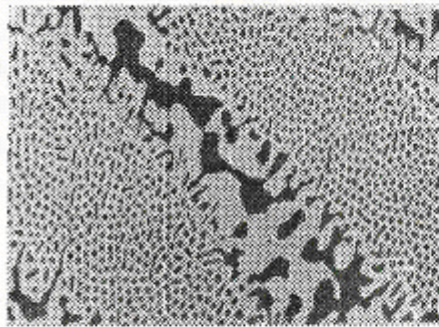
На рис.3. г наведено доєвтектичну мікроструктуру з надлишковими аустенітними дендритами, при цьому перліт залишився не травленим (білим) в результаті заміни травлення ніталем, окисленням мікрошліфа гарячим повітрям.

Було показано також, що малі домішки Ti сприяли формуванню ще більш компактних включень VC [1,10,1]. Додаткове легування такими елементами як Si, Cu, Ni, Al (що підвищують коефіцієнт активності вуглецю²) дозволяє знизити критичну концентрацію ванадію при якій мікроструктура білих чавунів отримується повністю "інвертованою", тобто такою, коли більше не залишається

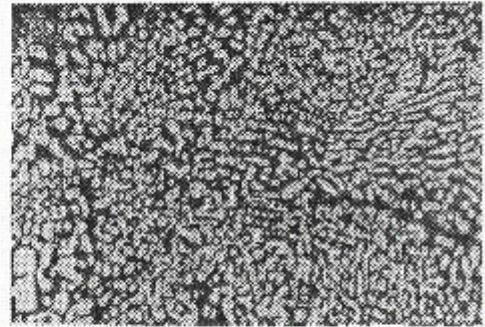
² При умові вибору графіту у якості стандартного стану вуглецю

цементиту МЗС по границям "зерен"

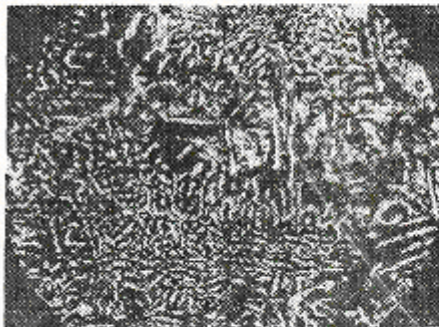
(рис.4) [1,8,9].



а



б



в



г

Рис.3. Мікроструктура евтектик (а, б і в) і доевтектичного білого чавуну (д): а - нелегований чавун з 4,2% С (x200); б - легований з 3,2% С і 9,3% V (x200); в - легований чавун з 3,0% С і 8,4% V (x500); г - легований чавун з 2,3% С і 5,3% V (x50); г - замість травлення ніталем окислення гарячим повітрям

На рис. 4 прямі лінії фактично являються конодами у відповідних ізотермічних розрізах діаграм стану. Конода 1, яка відноситься до потрібної системи Fe-C-V описується рівнянням

$$(V\%)_{min} = 4,5 (C\%) - 5,3 \quad (1)$$

Для комплексно легованих білих чавунів ця формула перетворюється у

$$(V\%)_{min} = [4,5 - 0,12Cr - 0,40(Si + Al) - 0,15(Cu + Ni)]C - 5,3 - 0,41(Mn + 2Cr) \quad (2)$$

У рівнянні (2) символ елемента одночасно показує його вміст у процентах по масі.

Формули (1) і (2) вказують, що у сплавах з повністю "інвертованою" структурою карбідної евтектики ми повинні мати

$$(V\%) > (V\%)_{min} \quad (3)$$

На рис.3,в показано мікроструктури такого сплаву, коли у даному окремому випадку ми маємо $(V\%)_{min}$; у той час як фактичний вміст ванадію дорівнюється 8,4%. У доевтектичному чавуні

показаному на рис.3,г $(V\%)_{min} = 5,05$ при фактичному вмісті 5,3% V.

На рис.5 показано частково інвертовану структуру білого чавуну у якому вміст ванадію нижче ніж $(V\%)_{min}$. В ній додатково до інвертованої евтектики аустеніт (соорбіт при кімнатній температурі) + VC, ще спостерігається деяка кількість цементиту, головним чином у вигляді сітки. Але виявлено, що достатньо додати 0,6% Ti у подібний сплав і цементит з границі зерен усувається, а більша частина стовпчиків VC перетворюється у більш менш рівновісні включення (рис.5), які добре видно навіть на не травлених полірованих мікрошліфах у зв'язку з великою різницею мікротвердості сорбіто-перлітної матриці (~HV 300) і карбідної фази VC (~HV 2000).

Якщо вміст ванадію набагато більший ніж $(V\%)_{min}$, то цей елемент витісняє