

18 % перевищують значення для високоміцного чавуну, отриманого зі звичайного переробного чавуну ПЛ2 ($\sigma_B = 600$ МПа, $\delta = 5,5$ %) з масовою часткою S = 0,03 % та P = 0,1 %, а відносно видовження – у понад 2 рази. Отримані результати відповідають сучасним передовим розробкам широко відомих фірм «Georg Fischer» (Швейцарія), «Meehanite» (Англія), «Zanardi» (Італія) та інших з виготовлення відповідальних деталей різного функціонального призначення.

Таким чином експериментально підтверджено, що кращими шихтовими матеріалами для виробництва легованого нікелем високоміцного чавуну марки ВЧ700-10 з підвищеним рівнем пластичності є рафіновані позапічним обробленням ливарні та переробні доменні чавуни. Показано, що при виплавці базового чавуну додавання в шихту відходів сталей відповідного складу дозволяє частково, а в більшості випадків і повністю, відмовитися від вартісних чушкових чавунів. Розроблені параметри одержання високоякісного вихідного розплаву з використанням в шихті від 30 % до 60 % сталевих відходів і графіту для науглецювання. Найбільш сприятливе поєднання міцності та пластичності високоміцного чавуну забезпечують відходи сталей 11ЮА, 08кп, електротехнічної сталі та інших.

УДК 669.131.7:669-154.9:669-153.62

**В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинський, О. П. Нестерук, В. О. Овсянников,
Н. П. Моїсєєва**

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ
otdel.vch@gmail.com

ВПЛИВ ЗМЕНШЕННЯ МАСОВОЇ ЧАСТКИ КРЕМНІЮ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАС- ТИВОСТІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ З КУЛЯСТИМ ГРАФІТОМ

Технології отримання високоміцного чавуну, які впроваджувались кілька десятиліть тому, вважаються застарілими і не завжди забезпечують одержання високоміцного чавуну з заданим оптимальним співвідношенням міцності, пластичності та ударної в'язкості для сучасної техніки. Існуючі технологічні процеси потребують використання в шихті дорогих рафінованих доменних чавунів та проведення енергоємного двохстадійного відпалу, що значно збільшує витрати на виробництво. Нині актуальними є дослідження, спрямовані на підвищення пластичних властивостей високоміц-

них чавунів шляхом застосування вискоєфективного внутрішньоформового модифікування, що дає можливість значно зменшити масову частку кремнію у металі до рівня, за якого у виливках під час кристалізації тільки починають утворюватися структурно-вільні карбіди. Процес внутрішньоформового модифікування на відміну традиційних процесів ковшового модифікування, протікає в реакційній камері ливарної форми, при цьому виключається інтенсивне окислення модифікувальних елементів киснем повітря, а витрата лігатури знижується мінімум у 2 рази. При внутрішньоформовому модифікуванні значний вплив на перебіг кристалізації має зниження на 60-100 °С температури взаємодії лігатури з розплавом і скорочення до мінімуму проміжку часу від модифікування до початку затвердіння виливка, що забезпечує підвищення ефективності модифікування. Модифікування в ливарній формі дозволяє найбільш повно реалізувати потенціал комплексних лігатур щодо збільшення числа центрів кристалізації та зменшення кристалізаційного переохолодження, зумовленого введенням у розплав магнію, та створює максимально сприятливі умови для утворення великої кількості зародків графіту, зростання їх у формі сфероїдів та формування дрібнокристалічної структури. Такий характер кристалізації запобігає утворенню структурно-вільних карбідів та інтенсифікує феритизування металевої основи.

Підвищена графітизувальна здатність внутрішньоформового модифікування створює об'єктивні передумови для застосування високоміцних чавунів в якості матеріалу тонкостінних виливків. Для отримання даних про зміну структури та властивостей модифікованого у формі високоміцного чавуну у виливках при зміні масової частки кремнію від 1,3 % до 2,3 % проведено спеціальне дослідження. Вихідний розплав отримували в електропечі ICT-016 переплавом чавуну, що містив, % (за масою): 4,4 C; 0,21 Si; 0,3 Mn; 0,022 S; 0,073 P; 0,05 Cr. У піщаній формі відливали клиноподібні проби з товщиною основи 25 мм. Внутрішньоформове модифікування розплаву чавуну із температурою (1425 ± 10) °С проводили в реакційній камері, розташованій між стояком і відцентровим шлаковиком.

Дані металографічних досліджень та механічних випробувань зразків, що були вирізані з нижньої частини проб, після внутрішньоформового модифікування порівнювали з даними, отриманими після модифікування в ковші. При ковшовому модифікуванні кількість включень кулястого графіту склала 96 шт/мм² при середньому їх діаметрі 47 мкм, а при внутрішньоформовому модифікуванні кількість включень графіту збільшилася у понад 4 рази і становила 409 шт/мм², а діаметр їх зменшився до 30 мкм. Значне зниження схильності виливків до утворення відбілу при внутрішньоформовому

модифікуванні розширює діапазон регулювання властивостей металу виливків за рахунок зниження масової частки кремнію у розплаві. Встановлено, що, порівняно з ковшовим, внутрішньоформове модифікування дозволяє знизити мінімальну масову частку кремнію у сплаві з 2,3 % до 1,3 %, тобто на 1 %, без утворення відбілу.

Результати механічних випробувань зразків металу ВЧ після внутрішньоформового модифікування свідчать, що навіть при зменшенні масової частки кремнію до 1,3 % вже у литому стані досягається досить сприятливе поєднання міцнісних і пластичних властивостей (тимчасовий опір під час розтягування $\sigma_v \geq 480$ МПа, відносне видовження $\delta \geq 15,0$ %). Застосування графітизувального відпалу дозволяє отримати поєднання міцності $\sigma_v \geq 400$ МПа, характерної для феритного чавуну, зі значно вищим відносним видовженням ($\delta \geq 24$ %). Низьокремнієвий високоміцний чавун відрізняється також покращеною оброблюваністю різанням.

В результаті проведених досліджень виявлено можливість суттєвого збільшення пластичності модифікованого у ливарній формі високоміцного чавуну з кулястим графітом за рахунок зменшення масової частки кремнію.

УДК 669.131.7:669.046.516.4:669.15-198

В. Б. Бубликов, Д. М. Берчук, О. О. Ясинський, С. М. Медвідь

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

otdel.vch@gmail.com

ВНУТРІШНЬОФОРМОВЕ МОДИФІКУВАННЯ НІКЕЛЬ-МАГНІЄВОЮ ЛІГАТУРОЮ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Для отримання деяких стандартних марок високоміцного чавуну (ДСТУ 3925-99) і для підвищення спеціальних властивостей (ударо-, холодно-, зносостійкості та інших) рекомендується легування нікелем, незважаючи на його високу вартість. Зміцнення твердого розчину легуванням нікелем дозволяє підвищити показники міцності високоміцних чавунів з усіма типами металевої основи. Для цього застосовують сфероїдизувальне модифікування розплаву нікель-магнієвими лігатурами, щільність яких наближається до щільності рідкого чавуну. При модифікуванні у відкритих ковшах вони забезпечують кращий перехід магнію в чавун, порівняно з кремній-магнієвими лігатурами, щільність яких у два рази менша за щільність рідкого чавуну. Як правило, одночасно з нікель-магнієвою лігатурою в ковш вводять графітизувальний модифікатор