

Ю. П. Скоробагатько

Физическое модифицирование заэвтектических алюминиевых сплавов с использованием электромагнитного воздействия

Резюме

Исследовано влияние электромагнитного воздействия на структуру и свойства заэвтектического алюминиевого сплава марки А390. Установлено, что данная обработка способствует измельчению структуры, в частности первичных кристаллов кремния, и повышению механических свойств.

Iu. P. Skorobatko

Physical modification of hypereutectic aluminium alloys with using of electromagnetic action

Summary

The influence of electromagnetic action on the structure and properties of hypereutectic aluminium alloy А390 is investigated. It is established, that such processing allows to refine the structure, in particular grains of primary silicon, and to rise the mechanical properties.

УДК 669.162.275:539.52

Технологічні аспекти підвищення пластичності високоміцного чавуну

Д. М. Берчук*, кандидат технічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ



Вивчено вплив швидкості охолодження на структуру і механічні властивості високоміцного чавуну при внутрішньоформовому та ковшовому модифікуванні лігатурою ФСМг-7. Показано, що в порівнянні з ковшовим, внутрішньоформове модифікування більш, ніж у три рази збільшує кількість включень кулястого графіту, і більш ніж у два рази кількість фериту, в результаті чого міцність при розтягуванні знижується на 15 – 20 %, а відносне подовження збільшується в 1,5 – 2,0 рази. Це дозволяє одержувати вилівки з феритного високоміцного чавуну без проведення енергоємної термічної обробки – графітузуючого відпалу.

Високоміцний чавун, завдяки оптимальному поєднанню ливарних, фізико-механічних та службових властивостей, а також економічності його виробництва, широко застосовується в конструкціях сучасних машин і обладнання. Цей унікальний

*Друга премія ім. А. А. Горшкова.

Науковий керівник роботи д.т.н. В. Б. Бубліков.

литий матеріал відкриває більші порівняно зі сталлю можливості для створення прогресивних конструкцій, зменшення їх маси, поліпшення оброблюваності різанням, підвищення коефіцієнта використання металу, зниження вартості. Найважливішу роль в отриманні високоміцного чавуну відіграє процес модифікування. В результаті модифікування змінюються хімічний склад, будова, фізико-хімічні властивості рідкого чавуну і створюються умови для формування в процесі кристалізації кулястого графіту.

Рівень виробництва високоміцного чавуну в Україні значною мірою визначається застосуванням застарілих технологій модифікування розплаву магнієвими лігатурами у відкритих ковшах, які характеризуються низьким засвоєнням магнію (30 – 35 %), незадовільною екологією і недостатньою стабільністю.

Аналіз тенденцій розвитку свідчить, що найбільш перспективними є «пізні» методи модифікування в проточних реакторах, суміщені з операцією заливки ливарних форм [1, 2]. В результаті скорочення до мінімуму інтервалу часу від модифікування розплаву до його кристалізації пізні модифікування забезпечує більш високий рівень модифікуючого впливу на структуроутворення високоміцного чавуну при значно меншій витраті модифікатора [3]. Проточні реактори можуть розташовуватися між установкою для заливання і ливарною формою (РЕМ-процес), в ливниковій чаші і безпосередньо в ливарній формі. Найбільш перспективним для діючих чавуноливарних цехів України представляється не потребує високим рівнем механізації, автоматизації, моніторингу та управління, процес модифікування в проточних реакторах, розташованих безпосередньо в ливарних формах. Внутрішньоформове модифікування є екологічно чистим процесом, забезпечує перехід магнію з лігатур в метал виливків на рівні 70 – 85 % і усуває характерну для ковшових методів проблему демодифікації розплаву. Одночасно з цим внутрішньоформове модифікування забезпечує найбільш оптимальне для властивостей високоміцного чавуну структуроутворення, що дозволяє використовувати тонкостінні виливки без високотемпературного графітізуючого відпалу. Незважаючи на очевидні переваги, пізні методи модифікування розплаву магнієвими лігатурами поки не набули широкого поширення, в першу чергу з причини недостатньої вивченості надзвичайно складних гідродинамічних і тепломасообмінних процесів у проточних реакторах, що визначають кінетику переходу модифікуючих елементів у метал відливок, що перешкоджає в багатьох випадках успішному здійсненню технологічних процесів.

В результаті диспергування металевої основи забезпечується поліпшення механічних характеристик, таких як міцність, пластичність, ударна в'язкість. Одним з факторів застосування на практиці для подрібнення структури металів і сплавів, є модифікування [4]. Перехід з ковшового на внутрішньоформове модифікування, завдяки більш високому рівню модифікуючого впливу на структуроутворення дозволяє більшою мірою впливати на ступінь графітізації і дисперсності структури, підвищуючи пластичність високоміцного чавуну. Подрібненню структури також сприяє збільшення швидкості охолодження. Вплив швидкості охолодження на подрібнення структури обмежена утворенням цементиту при кристалізації виливків. У поєднанні з високою графітізуючою здатністю пізнього модифікування регулювання швидкості охолодження дозволяє розширити діапазон управління структуроутворенням високоміцного чавуну.

Враховуючи вищевикладене, є актуальним дослідити вплив технологічних факторів на формування фазово-структурного складу високоміцного чавуну з кулястим графітом в залежності від швидкості охолодження.

Мета роботи полягала у вивченні впливу швидкості охолодження на структуру і механічні властивості високоміцного чавуну при внутрішньоформовому та ковшовому модифікуванні лігатурою ФСМг-7.

Плавки проводили в індукційній електропечі з кислотою футеровкою ємністю 160 кг. В якості шихтових матеріалів застосовували переробний чушковий чавун

ПЛ1, ПЛ2, відходи електротехнічної сталі Е13, зворот високоміцного чавуну. Додавання графітової стружки забезпечило науглецювання розплаву до необхідного рівня вмісту в ньому вуглецю. Заданий вміст кремнію в чавуні перед модифікуванням забезпечує добавкою в піч в кінці плавки розрахункової кількості феросиліцію.

Хімічний склад чавуну в дослідних плавках коливався в наступних межах (% мас. частка): 3,2 – 3,8 С; 2,3 – 3,0 Si; 0,19 – 0,38 Mn; 0,10 – 0,14 Cr; 0,011 – 0,018 S; 0,07 – 0,09 Р.

Модифікування здійснювали лігатурою марки ФСМг-7 в ливарній формі і в ковші в кількості відповідно 1,2 і 2,0 % від маси розплаву, що заливається. Для фільтрації модифікованого у формі розплаву чавуну використовували сітку з кремнеземної склотканини марки КС-11ЛА.

Відливали стандартні клиноподібні проби товщиною біля основи 5, 10, 15, 20, 25 мм в сирі піщано-глинисті форми.

З метою визначення швидкості охолодження були записані графіки охолодження проб. Середня швидкість охолодження в інтервалі часу від початку кристалізації до кінця евтектоїдного перетворення складала для проб товщиною 5, 10, 15, 20 і 25 мм, відповідно, 1,25, 0,6, 0,32, 0,23, 0,17 °С/с (рис. 1). Методом регресійного аналізу отримано рівняння, що описує залежність швидкості охолодження

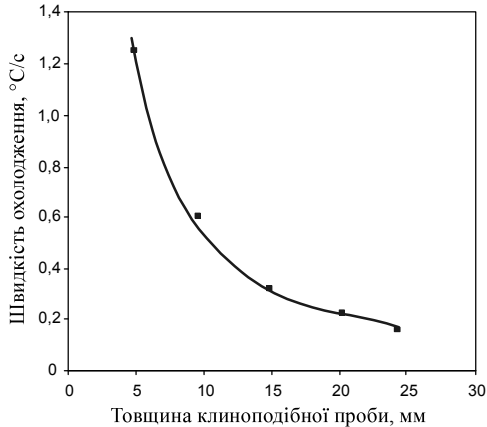


Рис. 1. Залежності швидкості охолодження від ($V_{охол}$) від товщини перерізу (δ): товщини основи клиноподібної проби.

$$V_{охол} = -0,159177 + 7,04769 / \delta \quad (1)$$

За експериментальними даними отримані математичні рівняння у вигляді поліномів другого порядку і побудовані графіки (рис. 2), які адекватно описують вплив швидкості охолодження (1,25, 0,6, 0,32, 0,23, 0,17 °С/с) клиноподібних проб на кількість включень кулястого графіту N, кількість фериту F, твердість НВ, межу міцності (σ_B), відносне подовження δ при внутрішньоформовому та ковшовому модифікуванні.

$$N_1 = 179,304 + 723,458 \times V - 270,948 \times V^2, \quad R = 97,77, \quad (2)$$

$$N_2 = 6,14364 + 302,122 \times V - 120,966 \times V^2, \quad R = 93,78, \quad (3)$$

$$F_1 = 104,035 - 64,8783 \times V + 25,8986 \times V^2, \quad R = 92,35, \quad (4)$$

$$F_2 = 63,7048 - 87,2634 \times V + 34,0548 \times V^2, \quad R = 95,17, \quad (5)$$

$$\sigma_{B1} = 375,301 + 448,221 \times V - 212,703 \times V^2, \quad R = 93,95, \quad (6)$$

$$\sigma_{B2} = 395,379 + 892,107 \times V - 656,912 \times V^2, \quad R = 83,07, \quad (7)$$

$$\delta_1 = 19,8268 - 15,5036 \times V + 7,28315 \times V^2, \quad R = 71,07, \quad (8)$$

$$\delta_2 = 11,6307 - 9,84039 \times V, \quad R = 42,18, \quad (9)$$

$$HB_1 = 149,301 + 122,679 \times V - 61,5144 \times V^2, \quad R = 80,64, \quad (10)$$

$$HB_2 = 166,249 + 328,087 \times V - 277,6 \times V^2, \quad R = 88,74, \quad (11)$$

де N_1 , F_1 , σ_{B1} , δ_1 , HB_1 – параметри структури і механічні властивості при внутрішньоформовому модифікуванні;

N_2 , F_2 , σ_{B2} , δ_2 , HB_2 – параметри структури і механічні властивості при ковшовому модифікуванні;

R – коефіцієнт кореляції, %.

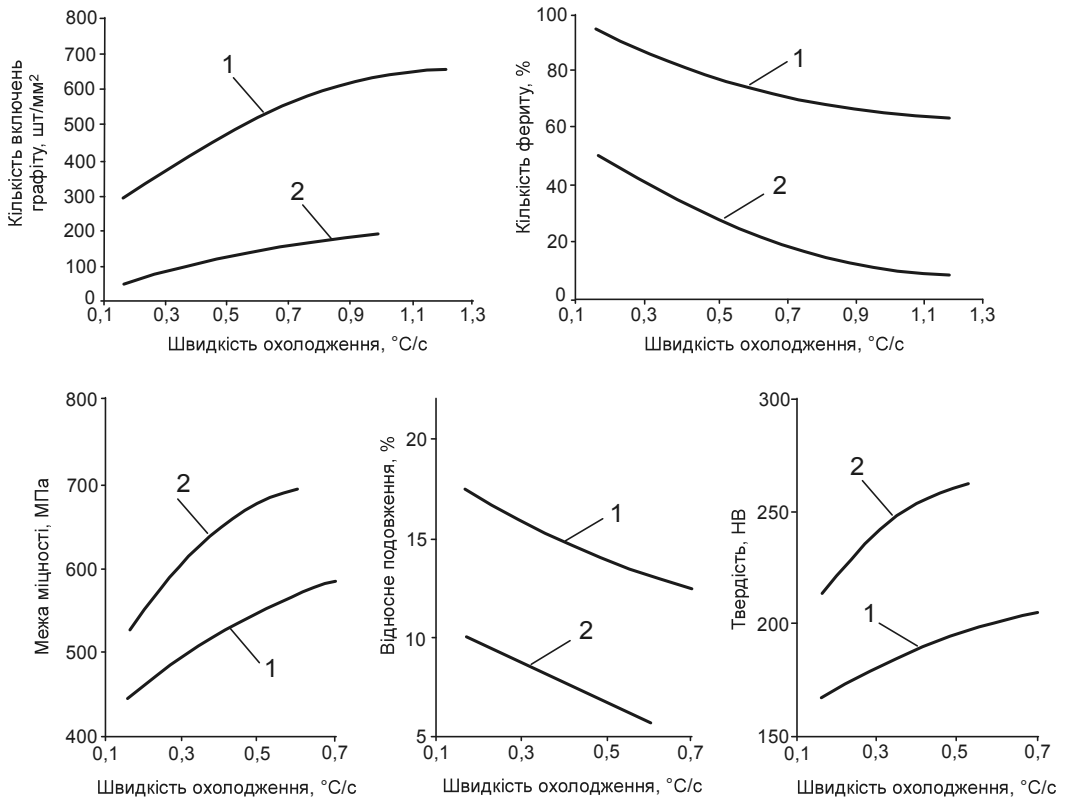


Рис. 2. Вплив швидкості охолодження на структуру і механічні властивості високоміцного чавуну при внутрішньоформовому (1) і ковшовому (2) модифікуванні.

Ці залежності справедливі для наступних областей визначення: $N_1 = 0,2 - 1,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$; $N_2 = 0,2 - 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$; $F_1 = 0,2 - 1,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$; $F_2 = 0,2 - 1,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$; $HB_1 = 0,2 - 0,7 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$; $HB_2 = 0,2 - 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$; $\sigma_{в1} = 0,2 - 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$; $\sigma_{в2} = 0,2 - 0,6 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$; $\delta_1 = 0,2 - 0,7 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$. Відносне подовження при ковшовому модифікуванні (δ_2) характеризується слабкою функціональною залежністю.

Про більш високу графітизуючу здатність внутрішньоформового модифікування свідчить значно більша кількість включень кулястого графіту, що утворюється при кристалізації. Для внутрішньоформового модифікування кількість включень кулястого графіту досягає 700 шт./мм², а при ковшовому – 200 шт./мм². Зі збільшенням швидкості охолодження від 0,17 до 1,25 °C/c, що відповідає діапазону товщин клиновидних проб від 25 до 5 мм, кількість фериту зменшується від 95 до 65 % при внутрішньоформовому модифікуванні і від 45 до 10 % при ковшовому. Через наявність цементиту в структурі клиноподібної проби, що швидко охолоджується, товщиною 5 мм з високоміцного чавуну, отриманого ковшовим модифікуванням, механічні властивості не визначали.

У порівнянні з внутрішньоформовим при ковшовому модифікуванні межа міцності в середньому на 100 МПа вища, завдяки меншій кількості фериту в металевій основі. При внутрішньоформовому модифікуванні з підвищенням швидкості охолодження міцність зростає, а в діапазоні швидкостей охолодження 0,60 – 1,25 °C/c, що відповідає товщині проб 5 – 10 мм, змінюється незначно. Зміна відносного подовження при ковшовому модифікуванні характеризується значним розкидом даних.

При внутрішньоформовому модифікуванні відносно подовження значно вище і в дослідженому діапазоні швидкостей охолодження знаходиться в межах 11,5 – 17,5 %. Твердість закономірно зростає і пропорційна зростанню межі міцності. При ковшовому модифікуванні в дослідженому діапазоні швидкостей твердість не перевищує 263 НВ, а при внутрішньоформовому модифікуванні – 210 НВ.

Відображені у вигляді графіків закономірності свідчать, що кількість включень кулястого графіту, що утворюється при внутрішньоформовому модифікуванні, в 3 рази більше, ніж при ковшовому. З підвищенням щільності розподілу включень кулястого графіту скорочуються шляхи дифузії вуглецю з аустеніту до графітових включень, що сприяє збільшенню кількості фериту. У порівнянні з ковшовим при внутрішньоформовому модифікуванні кількість фериту залежно від швидкості охолодження збільшується в 2 – 5 разів. Внаслідок цього виливки з отриманого внутрішньоформовим модифікуванням високоміцного чавуну відрізняються від модифікованого в ковші в 1,5 – 2,0 рази більшим відносним подовженням і зниженими на 15 – 20 % міцністю і твердістю. Сприятливе поєднання міцності і пластичності при меншій твердості виливків, отриманих із застосуванням внутрішньоформового модифікування, забезпечує поліпшену оброблюваність різанням.

Висновки Перехід від технології ковшового модифікування до технології внутрішньоформового модифікування дозволяє отримувати високоміцний чавун з більш високим відносним видовженням. У порівнянні з ковшовим внутрішньоформове модифікування більш, ніж у три рази, збільшує кількість включень кулястого графіту і більш, ніж у два рази, кількість фериту, в результаті чого міцність при розтягуванні знижується на 15 – 20 %, а відносно подовження збільшується в 1,5 – 2,0 рази. Це дозволяє одержувати виливки з феритного високоміцного чавуну без проведення енергоємної термічної обробки – графітізуючого відпалу.

Література

1. Lerner Y.S., Riabov M.V. Iron Inoculation / An Overview of Methods. // Modern casting, – 1999. – № 6. – P. 37 – 41.
2. Csenka J.M. Ductile Iron Trends: reducing costs, Improving Quality. // Modern casting. – 2002. – № 5. – P. 27 – 29.
3. Бубликов В.Б. Повышение модифицирующего воздействия на структурообразование высокопрочного чугуна. // Литейн. пр-во. – 2003. – № 8. – С. 20 – 22.
4. Арзамасов Б. Н., Мухин Г. Г. Материаловедение. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 646 с.

Одержано 24.05.11

Д. М. Берчук

Технологические аспекты повышения пластичности высокопрочного чугуна

Резюме

Изучено влияние скорости охлаждения на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна при внутриформенном и ковшовом модифицировании лигатурой ФСМг-7. Показано, что по сравнению с ковшовым, внутриформенное модифицирование более чем в три раза увеличивает количество включений шаровидного графита и более чем в два раза количество феррита, в результате чего прочность при растяжении снижается на 15 – 20 %, а относительное удлинение увеличивается в 1,5 – 2,0 раза, что позволяет получать отливки из ферритного высокопрочного чугуна без проведения энергоёмкой термической обработки – графитизирующего отжига.

D. M. Berchuk

Technological aspects of ductile iron plasticity increasing

Summary

The effect of cooling rate on the structure and mechanical properties of ductile cast iron at the in-mould and ladle modifying with Mg7 – FeSi master alloy is studied. It is shown that compared with ladle modifying, in-mould modifying increases more than three times the number of spheroidal graphite inclusions and more than twice the amount of ferrite, resulting in reducing tensile strength by 15 – 20 % and increasing the elongation by 1,5 – 2,0 times that allows to produce castings of ferritic ductile cast iron without energy-intensive heat treatment – graphitizing annealing.

УДК 621.745

Вплив міді, магнію та цинку на структуру випливів з піноалюмінію

А. А. Яблонський*

Національний технічний університет України «КПІ», Київ



В роботі досліджено вплив міді, магнію та цинку на густину, пористість та відношення густин за висотою піноалюмінієвого випливу. Встановлено, що всі легуючі елементи позитивно впливають на кількість пороутворювача, засвоєного розплавом. Сплави алюмінію з цими металами мали набагато кращі показники у порівнянні з алюмінієм технічної чистоти. В статті наведено приклади перспективного застосування піноалюмінію.

Піноалюміній є відносно новим композиційним матеріалом. Пориста структура піноалюмінію забезпечує цей матеріал унікальною комбінацією властивостей, які не характерні для монолітних матеріалів. Серед них – високий коефіцієнт поглинання енергії удару чи вібрації та мала вага виробів при достатньо високій міцності.

Ці властивості пінометалів залежать від розміру, кількості та однорідності пор у випливу. Так, межа міцності при стисканні $\sigma_{ст}$ піноалюмінію з густиною 400 кг/м³ дорівнює 4,0 – 4,5 МПа, а з підвищенням густини до 1800 кг/м³ міцність пропорційно зростає до значення $\sigma_{ст} = 40 – 45$ МПа. І хоча перші дослідження по створенню цього матеріалу почались ще 1949 року, активне промислове впровадження почалося лише протягом останнього десятиріччя [1, 2].

*Третя премія ім. А. А. Горшкова.

Науковий керівник роботи д.т.н., професор В. Г. Могилатенко.