УДК 621.745.55

Г.А. Баглюк[1], д-р. техн.наук, проф., В.Я. Куровський[1], О.Й. Шинський[2], д-р. техн.наук
1 - Інститут проблем матеріалознавства НАН України, м. Київ, України
2 - Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ПРЕСУВАННЯ ПОРОШКОВИХ МОДИФІКАТОРІВ НА КІНЕТИКУ ЇХ РОЗЧИНЕННЯ В РОЗПЛАВІ ЧАВУНУ

Приведены результаты исследования кинетики растворения брикетированных порошковых модификаторов различного состава, полученных при разных давлениях прессования. Показано, что повышение пористости брикета приводит к существенному уменьшению теплофизических характеристик материала, что замедляет его нагрев и растворение, и интегральной характеристики межчастичной контактной прочности материала модификатора, который приводит к ускорению процесса деструкции брикета в расплаве, а интенсивность растворения обусловливается доминирующим влиянием одного из этих факторов. Увеличение содержания легкоплавкой лигатуры приводит к повышению интенсивности растворения, тогда как дополнительное введение магния несколько замедляет растворение.

The results of investigations for kinetics of briquetted powdered modifier of different composition, produced at different pressing pressures dissolution are presented. It is shown that increasing of briquette porosity results in essential reduction of material thermophysical properties, that inhibits its heating and dissolution, as well as the integral parameters of interparticle contact toughness of the modifier material, which results in acceleration of briquette destruction process in a melt, but intensity of dissolution is stipulated by dominant influence from one of these factors. Increase of low-melt master alloy contents results in rising of dissolution intensity, while additional insertion of magnesium somewhat delays the dissolution.

Високоміцний чавун з кулястим графітом, що характеризується сполученням високих технологічних, фізико-механічних і експлуатаційних характеристик, широко застосовується взамін сталевого лиття та поковок, ковкого і сірого чавуну, забезпечуючи надійність і довговічність виробів у різних режимах експлуатації. Відмінні риси ЧШГ у порівнянні зі сталлю – більш високе відношення границі текучості до межі міцності при розтяганні, рівне 0,70-0,80 (проти 0,50-0,55 для сталі), досить високий модуль пружності, що досягає (180-190)·10^3 МПа, низька чутливість до концентраторів напруг, підвищена (в 1,5-3,5 рази) циклічна в'язкість і інші, у ряді випадків дозволяють вважати цей конструкційний матеріал навіть більш ефективним, ніж сталь [1-3]. Крім того, висока рідкотекучість цього матеріалу відкриває можливості для розширення номенклатури виробів з нього, зниження перетину і маси виливків, та підвищення тим самим їх твердості.

Одним з основних факторів, що впливають на стан литої структури і рівня фізико-механічних властивостей високоміцного чавуну, є режим модифікування розплаву при виготовленні з нього виливків [4-6].

Найпоширенішою залишається технологія модифікування чавуну кусковими плавленими лігатурами в ковшах, яка, будучи досить простою, має, однак, ряд істотних недоліків, пов'язаних зі значним димовиділенням, відносно низьким і нестабільним засвоєнням магнію. Істотним недоліком застосування модифікаторів з магнієм у вигляді кускових литих лігатур, є також значна втрата дорогого магнію на випаровування (ступінь засвоєння його при виплавці лігатури становить 60-90 %), нестабільний склад лігатури та високі (до 20-40 %) відходи при подрібнюванні кускової лігатури до необхідних фракцій.

Відзначені недоліки значною мірою усуваються або мінімізуються при модифікуванні розплаву в ливарній формі з використанням модифікуючих брикетів, що одержуються з використанням методів порошкової металургії [7]. Технологія одержання магнійвміщуючих брикетованих модифікаторів включає операцію пресування брикетів необхідної маси, форми та хімічного складу з відповідних компонентів порошкової шихти, внаслідок чого практично виключаються втрати дрібнодисперсной фракції, як у випадку подрібнення литих лігатур, а завдяки стабільному вмісту магнію в брикетах їх відносна витрата для одержання високоміцного чавуну на 15-25 % менше, ніж при використанні литої кускової лігатури з аналогічним вмістом магнію.

Шляхом зміни вмісту окремих компонентів шихти, а також тиску пресування вдається регулювати в широких межах щільність брикетів. Однак, очевидно, що брикети з різним хімічним складом і різною щільністю будуть мати також різні значення як контактної міжчасткової міцності і температури плавлення, так і теплопровідності, що неминуче позначиться на інтенсивності їх розчинення в рідкому металі. Вказана теза визначила основну мету роботи, яка полягає в дослідженні впливу складу брикетованих модифікаторів і їх пористості на кінетику розчинення брикетів у розплавах чавуну.

Для вивчення особливостей розчинення брикетів з порошкових сумішей різного складу методом механічного змішування в барабанному змішувачі були підготовлені кілька складів шихти з різним співвідношенням компонентів.

Основним компонентом, під дією якого в розплаві чавуну графіт набуває кулеподібної форми, а при охолоджені розплаву утворюється структура високоміцного чавуну, є магній, який є сильним сфероідизатором графіту [3, 4]. Магній вводився в шихту як у вигляді порошку магнію марки МПФ-1 (ГОСТ 6001-79), так і у складі високодисперсної лігатури марки ФСМг7 (пилоподібні відходи, отримані після подрібнення кускової плавленої лігатури), склад якої

наведений у табл.1. Порошок лігатури змішували з порошком заліза марки ПЖВР3.200, а в деяких складах шихти додавали порошкоподібний плавиковий шпат (CaF_2).

Таблиця 1

Хімічний склад лігатури ФСМг-7 (масс. %)

Mg	Ca	Al	Fe	РЗМ	Si
7,6	0,34	0,84	39,1	0,64	51,5

З порошкових сумішей різних складів (табл. 2) під тиском 200, 400 та 600 МПа пресували брикети циліндричної форми діаметром 40 мм і висотою близько 20 мм з різною пористістю та визначали їх густину і пористість.

Для визначення характеру розчинення брикетів в залежності від складу і пористості брикет модифікатора примусово занурювався в розплав чавуну з фіксованою температурою 1450±10 ^{0}C, а час розчинення брикету в процесі модифікування оцінювався по барботації сплаву та наявності піроэфекту, що свідчив про взаємодію магнію з чавуном. Хімічний склад вихідного розплаву чавуну: 3,8÷4,0 % C; 2,0÷2,2 % Si; 0,3÷0,4 % Mn; 0,05 % P; 0,02÷0,04 % S; Fe – інше.

Вміст порошку магнію в брикетах варіювався в діапазоні 0÷10 % (мас.). Збільшення вмісту магнію понад 10 % є нерациональним внаслідок прояву інтенсивного піроефекту при розчиненні магнію в розплаві.

Перша група досліджуваних модифікуючих брикетів складалася із суміші порошків лігатури ФСМг-7 та заліза (табл. 2., суміші № 2-5). Як видно з рис. 1.а. залежність часу розчинення від пористості брикету для всіх складів досліджених в першій серії експериментів модифікаторів має вигляд кривої з мінімумом в інтервалі пористостей 17-20 %.

Таку закономірність можна пояснити приймаючи до уваги наступні міркування. Основні положення теорії розчинення твердих речовин у розплавах визначають такі основні параметри, що впливають на кінетику процесу розчинення при модифікуванні магнійвміщуючими брикетами, як величина поверхні контакту тверда речовина-розплав, температура розплаву, а також фізичні властивості чавуну і лігатури (густина, температура плавлення, концентрація насичення, питома теплоємність, коефіцієнти теплопровідності і температуропровідности, коефіцієнт дифузії, кінематична в'язкість і ін.) [3, 4]. В той же час, на відміну від литих кускових модифікаторів, використання їх порошкових брикетованих аналогів супроводжується впливом на кінетику розчинення додаткових факторів, які можуть сповільнювати чи прискорювати процес розчинення. Одним з таких факторів є наявність пористості брикету: збільшення пористості призводить до суттєвого зменшення як коефіцієнту теплопровідності матеріалу, що сповільнює його нагрів та розчинення, так і інтегральної характеристики міжчасткової контактної міцності матеріалу модифікатору, що, навпаки, призводить до прискорення процесу деструкції брикету в розплаві.

Таблиця 2

Склад порошкових сумішей для виготовлення брикетованих модифікаторів

Шихта, №	Вміст елементів , % (мас.)				Теоретична густина, г/см³
	Mg	CaF_2	Лігатура ФСМг-7	Fe	
2	--	--	20	80	6,26
3	--	--	40	60	5,23
4	--	--	60	40	4,49
5	--	--	80	20	3,93
8	4	5	60	31	4,00
9	6	5	60	29	3,87
10	8	5	60	27	3,74
11	10	5	60	25	3,62
13	10	2	60	28	3,69
14	10	4	60	26	3,64
15	10	6	60	24	3,59
16	10	8	60	22	3,54
17	10	5	20	65	4,68
18	10	5	35	50	4,22
19	10	5	40	45	4,08
20	10	5	60	25	3,62
21	10	5	80	5	3,25

Таким чином, інтенсивність розчинення брикету, за інших рівних умов, обумовлюється домінуючим впливом одного з відзначених факторів. Приймаючи до уваги таке пояснення, можна зробити висновок, що при збільшенні пористості брикетів із суміші порошків заліза та лігатури (№ 2-5) з 12-15 % до 17-20 % превалюючим є вплив зменшення міжчасткової контактної міцності, тоді як в діапазоні більших значень пористостей стає більш суттєвим зниження теплофізичних характеристик матеріалу брикету (рис. 1.а.).

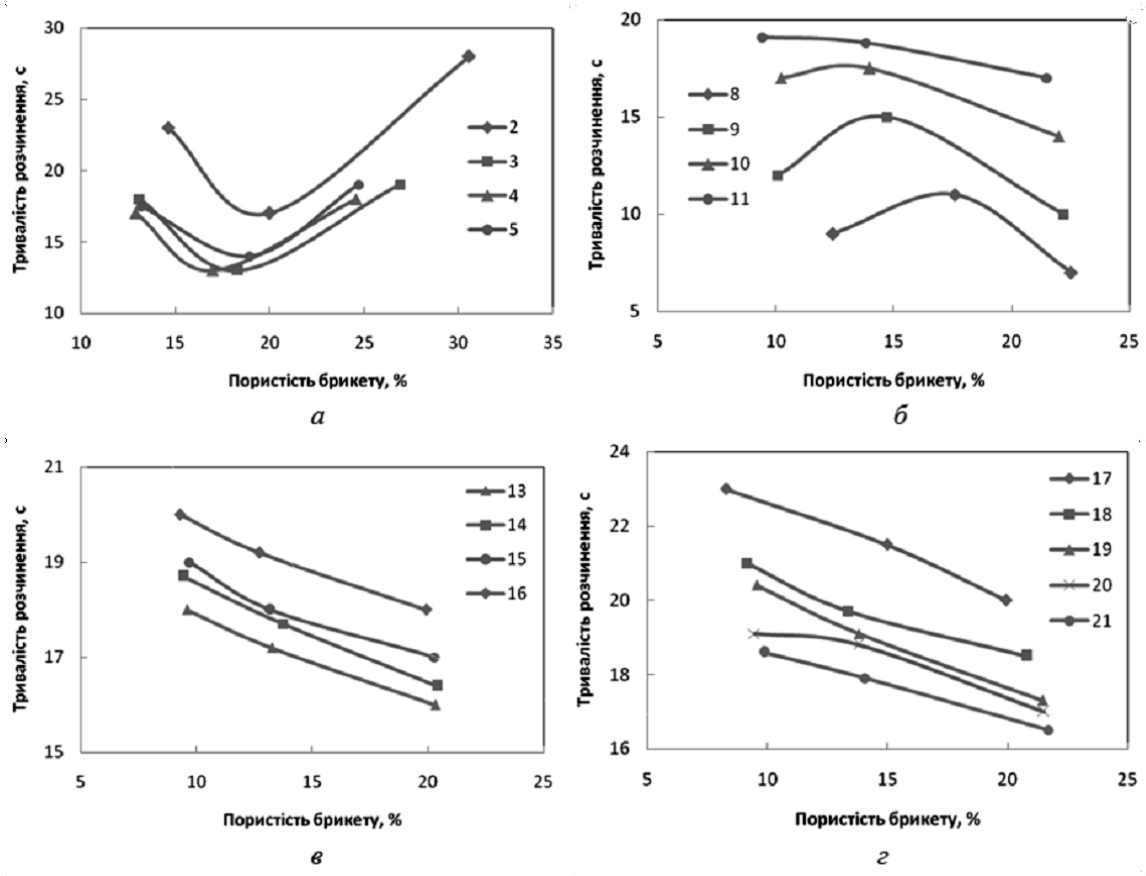


Рис. 1. Залежність тривалості рочинення брикетів від їх пористості. Нумерація кривих на рисунках відповідає номерам складів модифікаторів з табл. 2

Аналіз впливу складу брикетів на процеси їх розчинення в розплаві показав, що тривалість розчинення модифікатора № 2 з мінімальним вмістом відносно легкоплавкої лігатури (20 %) суттєво перевищує відповідну характеристику для більш насичених лігатурою модифікаторів (№ 3-5, табл. 1.) для всіх величин пористості брикетів. В той же час, склад модифікуючих брикетів з більш високолегованих порошкових сумішей несуттєво впливає на інтенсивність їх розчинення в розплаві (рис. 1.а.).

Звертає на себе увагу, також, що пористість брикетів з мінімальним вмістом лігатури (шихта № 2) помітно перевищує відповідні значення пористості для брикетів, спресованих при однакових значеннях тиску пресування із шихти з більшим вмістом лігатури (рис. 2.а). Значне підвищення пористості таких брикетів супроводжується суттєвим збільшенням тривалості їх розчинення, причому при менших значеннях тиску пресування та, відповідно, більших значеннях пористості брикетів, ця розбіжність збільшується (рис. 1.а).

Додаткове введення порошку магнію в шихту (№ 8-11) дозволяє суттєво зменшити пористість брикетів (рис. 2.б.), причому із збільшенням вмісту Mg в шихті, пористіть пресовок зменшується внаслідок високої пластичності останнього [8]. В результаті цього суттєво підвищується міжчасткова контактна міцність матеріалу брикету у порівнянні з брикетами, спресованими із суміші порошків заліза та крихкого порошку лігатури (№ 2-5). Це призводить до кардинальної зміни характеру залежності тривалості розчинення брикетів від їх пористості: якщо при використанні пресовок, отриманих із шихти без додаткового магнію в діапазоні менших значень пористостей відбувається зменшення часу розчинення брикету із збільшенням пористості (рис. 1.а.), то в результаті введення в шихту магнію та CaF_2 спостерігається зворотна тенденція (рис. 1.б.).

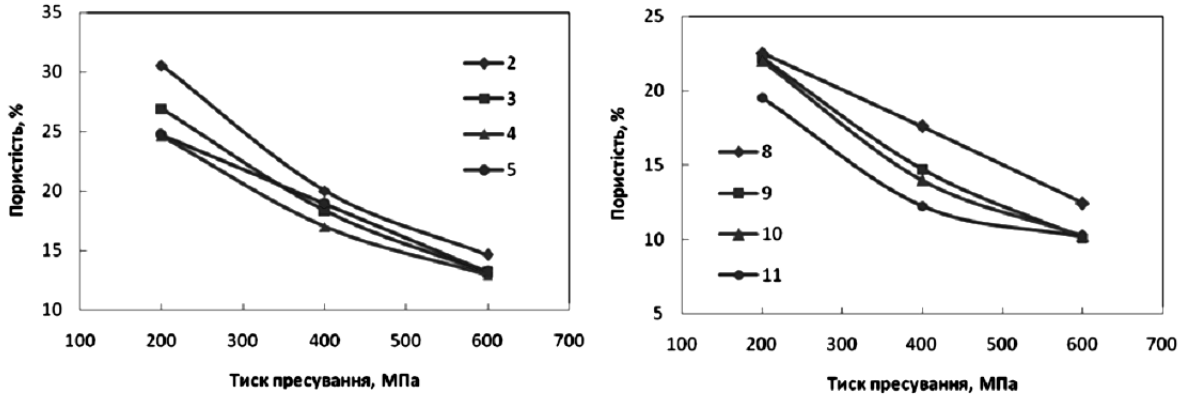
Внаслідок достатньо високої міжчасткової міцності таких брикетів превалюючим є зменшення теплофізичних характеристик брикетів із збільшенням їх пористості, що призводить до відповідного збільшення тривалості їх розчинення, і лише при значеннях пористі понад 15-17 % інтенсивність розчинення підвищується.

Із підвищенням вмісту магнію в шихті відбувається деяке збільшення тривалості розчинення брикетів в результаті необхідності додаткової витрати енергії на випаровування магнію при розчиненні брикету, що не в повній мірі компенсується екзотермічним характером взаємодії останнього з розплавом та призводить до локального зниження температури розплаву навкруги брикета. В той же час, підвищення вмісту магнію в шихті призводить до зменшення ступені екстремальності характеру залежності тривалості розчинення брикету від його пористості.

Слід відзначити також суттєве зменшення тривалості розчинення брикетів з мінімальним вмістом магнію (№ 8) у порівнянні з брикетами без додаткового магнію (№ 2-5).

Для зменшення в сплаві кількості неметалевих вкраплень, оксидів та інших шкідливих компонентів (сірка, фосфор та ін.) в склад модифікуючих брикетів додається деяка кількість синтетичного флюсу (в нашому випадку – плавиковий шпат CaF_2). Аналіз залежності інтенсивності розчинення брикетів від концентрації флюсу в складі шихти показало несуттєвий вплив кількості CaF_2 в на тривалість розчинення брикету (рис. 1,в). Враховуючи дані [8],

у відповідності до яких вміст флюсу в шихті практично не впливає на пористість пресовок при однакових значеннях тиску пресування, деяке незначне підвищення тривалості розчинення брикету із збільшенням вмісту флюсу від 2 до 8 % (мас.) пов'язано, вочевидь, із зниженням його теплопровідності.



а *б*

Рис. 2. Залежність пористості брикетів від від тиску їх пресування

Дослідження впливу співвідношення вмісту порошків лігатури та заліза в шихті на тривалість розчинення брикетів для варіантів шихти (№ 17-21) із оптимальним вмістом магнію (10 %) та флюсу (5 %) показали (рис. 1,г), що брикети з більшим вмістом лігатури швидше розчиняються внаслідок більшої легкоплавкості лігатури у порівнянні із залізом. В той же час, для цієї групи модифікаторів не проявляється екстремальний характер кривої залежності тривалості розчинення від пористості, як для аналогічних брикетів без порошків магнію та флюсу (№ 2-5) (рис. 1.а).

Таким чином, отримані результати показали, що на інтенсивність розчинення брикетованих модифікаторів в розплаві чавуну, за інших рівних умов, впливає як хімічний склад модифікатору, так і величина пористості брикету. Збільшення вмісту легкоплавкої лігатури призводить до підвищення інтенсивності розчинення, тоді як додаткове введення магнію дещо сповільняє розчинення. Підвищення пористості брикету призводить до суттєвого зменшення теплофізичних характеристик матеріалу, що сповільнює його нагрів та розчинення, і інтегральної характеристики міжчасткової контактної міцності матеріалу модифікатору, що призводить до прискорення процесу деструкції брикету в розплаві, а інтенсивність розчинення обумовлюється домінуючим впливом одного з цих факторів.

Список літератури

1. Александров Н.Н. Высококачественные чугуны для отливок. – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.
2. Шебатинов М.П., Абраменко Ю.Е., Бех Н.И. Высокопрочный чугун в автомобилестроении. – М. :Машиностроение, 1988. – 216 с.
3. Литовка В.И. Повышение качества высокопрочного чугуна в отливках. – К.: Наука думка, 1987. – 208 с.
4. Гольдийейн Я.Е., Мидин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
5. Литовка В.И., Венгер В.В., Руденко Н.Г. и др. Внутриформенное модифицирование при получении автомобильных отливок из чугунов с шаровидным графитом // Литейное производство. – 1986. – №2. – С. 9–12.
6. Щебатинов М.П. Роль модификаторов в процессе формирования включений графита шаровидной формы // Литейное производство. – 1979. – №1. – С.2–4.
7. Литовка В. И., Маслюк В. А., Куровский В. Я. и др. Получение высокопрочного чугуна с применением брикетированных модификаторов // Литейное производство. – 2003. – № 8 – С.7–12.
8. Куровський В.Я., Баглюк Г.А., Шинський О.Й. Вплив компонентного складу та параметрів пресування на властивості брикетованих модифікаторів // Наукові нотатки. Міжвузівський збірн. (за напрямом «Інженерна механіка»). Вип. 25, ч. ІІ. – Луцьк, 2009. – С.128-133.