

PACS numbers: 75.50.Bb, 81.07.Wx, 81.10.Fq, 81.30.Fb, 81.40.Lm

Вплив технологічних параметрів внутрішньоформового модифікування порошковими брикетованими модифікаторами на структуру та властивості виливків з високоміцного чавуну

Г. А. Баглюк, [В. Я. Куровський](#), О. Й. Шинський, М. Я. Терещенко,
А. П. Тіщенко

*Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України,
вул. Омеляна Прицака, 3,
03142 Київ, Україна*

В роботі наведено результати дослідження впливу компонентного складу, маси та конфігурації порошкових брикетованих модифікаторів на структуру та властивості високоміцного чавуну, одержаного методом внутрішньоформового модифікування. Модифікування розтопу забезпечували за рахунок встановлених на ливниках модифікувальних вставок — циліндричних втулок двох конфігурацій: з осьовим циліндричним отвором та отвором у вигляді конусної поверхні (діяфрагма), спресованих із двох варіантів сумішей порошоків магнію, феросиліцію, заліза та плавикового шпату (CaF_2). Маса модифікувальних вставок варіювалася від 25 до 100 г. Результати досліджень показали, що використання модифікувальної вставки у вигляді діяфрагми забезпечує підвищення середнього вмісту Магнію у виливку та міцності одержаного чавуну у порівнянні із гладкою втулкою для всіх значень маси вставки, а також підвищення рівномірності розподілу Магнію по довжині виливка для варіантів вставок підвищеної маси (75 та 100 г). Збільшення маси модифікувальної втулки приводить до підвищення рівня міцності стопу.

Ключові слова: чавун, розтоп, модифікатор, порошок, графіт, структура,

Corresponding author: Hennadiy Anatoliyovych Bagliuk
E-mail: gbag@ukr.net

*I. M. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science, N.A.S. of Ukraine,
3 Omeljan Pritsak Str., UA-03142 Kyiv, Ukraine*

Citation: H. A. Bagliuk, V. Ya. Kurovs'kyy, O. Y. Shyns'kyy, M. Ya. Tereshchenko, and A. P. Tishchenko, Influence of Technological Parameters of In-Mould Modification with Powder Briquetted Modifiers on the Structure and Properties of High-Strength Cast Iron Castings, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 45, No. 3: 343–357 (2023) (in Ukrainian).
DOI: [10.15407/mfint.45.03.0343](https://doi.org/10.15407/mfint.45.03.0343)

міцність, твердість.

The results of the study of the impact of the component composition, mass and configuration of powder-briquetted modifiers on the structure and properties of high-strength cast iron obtained by the method of intraform modification are presented. Modification of the melt is provided at the expense of modifying inserts—cylindrical bushings of two configurations—with an axial cylindrical opening and a hole in the form of a conical surface (diaphragm) pressed from two variants of mixtures of magnesium, FeSi, Fe and CaF₂. The mass of modifying inserts varies from 25 to 100 g. The results of the studies show that the use of a modifying insert in the form of a diaphragm provides an increase in the average content of magnesium in casting and strength of the resulting cast iron compared to the smooth sleeve for all values of mass inserts, besides increasing of uniform distribution of magnesium along the length of the casting for variants of high-mass inserts (75 and 100 g). Increasing the weight of the modifying sleeve leads to an increase in the level of alloy strength.

Key words: cast iron, melt, modifier, powder, graphite, structure, strength, hardness.

(Отримано 22 грудня 2022 р.; остаточн. варіант — 12 січня 2023 р.)

1. ВСТУП

Високоміцний чавун з кулястим графітом характеризується поєднанням високих технологічних, фізико-механічних та експлуатаційних характеристик, широко застосовується замість крицевого лиття, поковок, ковкого та сірого чавуну, забезпечуючи надійність і довговічність виробів у різних режимах експлуатації. Відмінні особливості чавуну з кулястим графітом порівняно зі крицею: більш високе відношення межі плинності до межі міцності при розтягуванні, що дорівнює 0,70–0,80 (проти 0,50–0,55 для криці), достатньо високий модуль пружності, що сягає 180–190 ГПа, низька чутливість до концентраторів напружень, підвищена циклічна міцність тощо, уможливають вважати цей конструкційний матеріал перспективним конкурентом криці при роботі в найрізноманітніших умовах експлуатації. Крім того, висока рідкоплинність чавунів відкриває можливості значного розширення номенклатури виробів з нього, пониження перерізів і маси виливків, а нижча температура топлення в порівнянні з крицею, в кінцевому підсумку є потужним резервом у плані ресурсозбереження та пониження енерговитрат і, зрештою, собівартости виробів при забезпеченні високої якості [1–5].

Найбільш поширеною технологією модифікування розтопу чавуну сьогодні є його оброблення кусковими топленими лігатурами та модифікаторами в ковші [1–3, 6], яка, будучи достатньо простою з

технологічної точки зору, має, однак, ряд істотних недоліків, пов'язаних, зокрема, зі екологічними проблемами, обумовленими інтенсивним піроефектом та значним димовиділенням, та відносно низьким і нестабільним засвоєнням Магнію внаслідок значної втрати останнього на випаровування (ступінь засвоєння Mg при витопці модифікатору та власне ковшовому модифікуванні не перевищує, як правило, 60–75%) [5–8].

Серед відомих та використовуваних на практиці способів модифікування чавунів одним з найбільш ефективних, економічно вигідних та екологічно чистих для одержання якісних чавунних виливків із заданими структурою та комплексом властивостей є процес внутрішньоформового модифікування (in-mould процес).

При цьому способі процес модифікування здійснюється безпосередньо у момент заливання порожнини ливарної форми вихідним рідким чавуном, для чого у ливниковій системі на шляху руху розтопу до виливку передбачена проміжна реакційна камера, в яку перед складання форми закладають розрахункова кількість дробленого модифікатора. Під час заливання ливарної форми модифікатор в реакційній камері послідовно розчиняється в потоці рідкого чавуну і, переміщуючись в об'єм виливка, остаточно засвоюється розтопом [8–13].

При in-mould-процесі знижується витрата модифікатора (засвоєння Mg складає 80–85% і більше), спрощується виробничий процес, мінімізуються можливості викиду металу, піроефект і димовиділення.

Проте досить тривала практика застосування ливарниками цієї операції свідчить, що її ефективність не завжди реалізується в повному обсязі. Так, основними недоліками цього процесу є ускладнення конструкції ливниково-модифікувальної системи та його нестабільність у часі, обумовлена тим, що при високій швидкості заливання форм базовий сірий чавун, як правило, встигає заповнити нижню частину порожнини форми за інкубаційний період прогріву верхнього шару модифікатора, який розміщено в реакційній камері до настання температури його топлення. Внаслідок цього частина форми заповнюється недомодифікованим розтопом, в результаті чого виливок може складатися з двох різних видів чавуну (модифікованого і немодифікованого) [14].

Крім того, при виготовленні виливків з високоміцного чавуну з кулястим графітом в однакових виробничих умовах за однією технологією, але при використанні різних партій лігатур однієї і тієї ж марки, можна отримувати литий чавун з різницею міцності до 40% [13, 15].

Зазначені недоліки значною мірою усуваються або мінімізуються при модифікуванні розтопу у ливарній формі з використанням брикетованих модифікаторів, які виготовляють з використанням ме-

тодів порошкової металургії [7, 16–18]. Технологія одержання брикетованих модифікаторів, яка включає операцію пресування брикетів необхідної маси, форми та хемічного складу з відповідних компонентів порошкової шихти, забезпечує не тільки стабільний вміст елементів у брикеті, а й уможлиблює варіювати форму, розміри, масу та хемічний склад брикетів у значно більш широкому діапазоні у порівнянні з кусковими модифікаторами, гнучко адаптуючи їх до умов конкретного ливарного виробництва.

При цьому, дисперсні частинки порошку, з яких пресуються брикети-модифікатори, внаслідок пропорційності їх розмірів з критичним радіусом зародка і відповідності кристалічної ґратниці частинок модифікатора з ґратницею фази, що кристалізується, відіграють роль додаткових активних центрів кристалізації. Тому, однією з переваг використання порошкових брикетованих модифікаторів є також можливість використання в якості одного з компонентів порошкової суміші, що використовується для пресування брикетів, ультра- або нанодисперсних порошоків, внаслідок чого практично виключаються втрати дрібнодисперсної фракції модифікатора, як у випадку подрібнення литих лігатур [7, 8].

Проведені численні експериментальні дослідження з використання технологічних варіантів внутрішньоформового оброблення вихідних рідких чавунів порошковими брикетованими графітувальними, карбідостабілізувальними і сфероїдизувальними модифікаторами підтвердили їх більш високу ефективність порівняно з обробкою вихідних рідких чавунів кусковими модифікаторами в реакційних камерах, виконаних у вигляді порожнини в піщано-глинистій формі [7, 8, 13].

При модифікуванні в ливарній формі важливим завданням є забезпечення рівномірного розчинення і, по можливості, повного або максимального засвоєння вихідним чавуном модифікувальних елементів. При оптимальному поєднанні температури та швидкості заливання форми металом весь об'єм реакційної камери рівномірно і повністю розчиняється в струмені чавуну, що призводить до кардинальної зміни мікроструктури, механічних та спеціальних властивостей базового стопу.

На процеси структуроутворення в модифікованому чавуні, а, отже, на форму, кількість і характер розподілу включень графіту, а також на структуру металевої основи, які в основному визначають рівень механічних та інших експлуатаційних властивостей чавуну в литих деталях, поряд з хемічним складом базового чавуну вирішальне значення мають тип і хемічний та ґранулометричний склад використовуюваного модифікатора чи лігатури [13].

Не зважаючи на здавалося б достатню вивченість питання, наявні в літературі відомості більшою мірою присвячені дослідженню впливу на структуру чавуну хемічного складу та концентрації мо-

дифікатору у розтопі, тоді як дані про вплив конфігурації та розмірів брикетів-модифікаторів на особливості структуроутворення стопу суттєво обмежені.

Так, зокрема, в [1, 19] внутрішньоформове модифікування реалізується шляхом використання порошкових брикетів циліндричної форми з наскрізним отвором, який поміщають у ливник, причому вісь наскрізного отвору співвісна з напрямком ливника. Під час заливки розтоплений метал контактує з внутрішньою стінкою брикету і розчиняє його. Автори [1] відзначають, що ефективність інокуляції залежить від діаметра наскрізного отвору брикету, а також від швидкості заливки, температури металу та типу інокулянту.

Автори патенту № 4867227 (США) використовують ту саму ідею, хоча блок брикетів-інокулянтів розміщений поперек ливника та закріплений у двох протилежних заглибленнях [1]. Конструкція ливникової системи включає попередньо визначений зазор між брикетами та стінками ливника, через який розтоп, розчиняючи брикет, затікає в ливарну форму.

Враховуючи вищенаведене, метою даної роботи було оцінка можливостей впливу компонентного складу, маси та конфігурації порошкових брикетованих модифікаторів на структуру та властивості високоміцного чавуну, отриманого методом внутрішньоформового модифікування.

2. МАТЕРІЯЛИ ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Експериментальне дослідження процесу модифікування розтопу порошковими брикетованими модифікаторами проводили з використанням технології лиття по моделях, що газифікуються, у вигляді пластин розміром 100×200×20 мм, виготовлених із суспензійного спіненого пінополістиролу.

Для модифікування розтопу із суміші порошків відповідних складів пресуванням під тиском 300 МПа виготовляли модифікувальні вставки двох конфігурацій: циліндричних втулок із зовнішнім діаметром 40 мм та внутрішнім — 30 мм (рис. 1, а) і втулок із зовнішнім діаметром 41 мм з внутрішньою конусною поверхнею з мінімальним діаметром отвору конусної частини 16 мм (діафрагми) (рис. 1, б).

Як вихідну сировину для виготовлення вставок-модифікаторів використовували порошкові суміші двох компонентних складів (табл. 1).

При виборі складових шихти враховували наступні положення. Основним компонентом, під дією якого в розтопі чавуну графіт набуває сфероподібної форми, а при охолодженні розтопу утворюється структура високоміцного чавуну, є Магній, який є сильним сфероїдизатором графіту [1–6]. Модифікувальну дію феросиліцію

пов'язують з наявністю в ньому Кальцію та Алюмінію, які активно взаємодіють з Оксигеном і Нітрогеном розтопу, утворюючи тяжкотопкі сполуки. Крім того, після модифікування феросилієм в розтопі утворюються локальні мікрооб'єми, збагачені графітом [5]. Для зменшення в стопі кількості неметалевих вкраплень, оксидів та інших шкідливих компонентів (Сульфур, Фосфор та ін.), в склад модифікувальних брикетів додавали синтетичний флюс — плавиковий шпат CaF_2 .

Порошок заліза виконує функцію пластичного зв'язувального в шихті, значний вміст якої складає твердий та крихкий феросиліцій, підвищуючи густину та технологічну міцність пресовок.

Пінополістиролові моделі з прикріпленими ливниками збирали в модельні блоки, а спресовані вставки-модифікатори встановлювали в живильнику ливникової системи. Модельні блоки склалися з 4 частин, в ливник кожної з яких встановлено модифікувальну вставку однакового складу, але різної маси: 25, 50, 75 та 100 г, що відповідало значенням 0,5, 1,0, 1,5 та 2% від маси оброблюваного розтопу.

Ливникову систему розраховували таким чином, щоб забезпечити підйом металу у формі зі швидкістю близько 3,0 см/с. Загальний вигляд модельного блоку із закріпленими на ливниках вставками-модифікаторами представлено на рис. 2. Така конструкція модельних блоків забезпечувала можливість роздільного незалежного модифікування окремих виливків у складі модельного блоку різною концентрацією модифікатора у межах однієї заливки, що, зокрема, неможливо реалізувати при використанні внутрішньоконвального модифікування.

На поверхню моделей наносили протипригарне покриття на основі дистен-сіліманіту.



Рис. 1. Ескізи модифікувальних вставок, спресованих з порошку: циліндрична втулка (тип 1) (а), із внутрішнім конусом (діафрагма) (тип 2) (б).

Fig. 1. Sketches of modifying inserts pressed from powder: cylindrical sleeve (type 1) (a), with an internal cone (diaphragm) (type 2) (b).

ТАБЛИЦЯ 1. Компонентний вміст варіантів шихти для пресування вставок-модифікаторів.

TABLE 1. Component content of charge options for pressing inserts-modifiers.

№	Mg	Феросиліцій ФС75	CaF ₂	Fe
1	10	45	2	43
2	15	45	2	38

Моделі разом з приєднаною до неї ливниковою системою збирали і формували в сухий кварцовий пісок в спеціальних вакуумованих ливарних контейнерах.

В якості вихідного шихтового матеріалу для експериментальних досліджень використовували чушковий чавун наступного складу (% мас.): С — 3,4–3,6, Si — 1,6–1,8, Mn — 0,3–0,5, S — 0,01–0,015, P — 0,07. Топлення чавуну здійснювали в індукційній печі з місткістю тигля 60 кг. Температура розтопу перед заливкою форми становила $1350 \pm 10^\circ\text{C}$.

Після остигання блоки з дослідними виливками виймали з контейнера і передавали на розрізку.

Для оцінки рівномірності розчинення модифікувальної вставки в

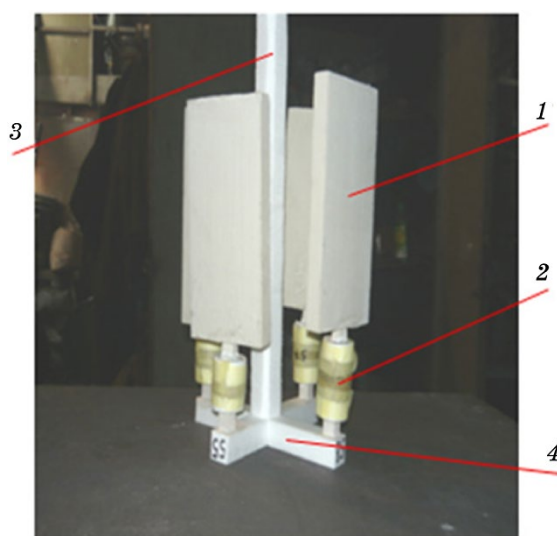


Рис. 2. Модельний блок із пінополістиролу: 1 — ливарна модель (пластина), 2 — модифікувальна вставка, 3 — стояк, 4 — ливник.

Fig. 2. Model block made of expanded polystyrene: 1—foundry model (plate), 2—modifying insert, 3—riser, 4—a caster.

процесі її взаємодії з потоком розтопленого металу та заповненні порожнини форми з кожної виливки вирізали темплат по всій довжині пластини та за допомогою спектральної аналізи визначали вміст Магнію в залежності від відстані від живильника через кожні 2 см уздовж виливка.

Складові мікроструктури оцінювали відповідно до ГОСТ 3443-87 та шкали для визначення ступеня сфероїдизації графіту [5] як середні значення на мікрошліфі, що визначалися в 3 полях зору.

Міцність одержаних чавунів визначали випробуванням на розтяг згідно ГОСТ 1497-84 (ISO 6892-84), а твердість — за Брінеллевою методою (\varnothing кульки — 5 мм).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

При модифікуванні в ливарній формі важливою задачею є забезпечення рівномірного розчинення і, по можливості, повного або максимального засвоєння модифікувальних елементів вихідним чавуном. Як показали результати експериментів, при використанні застосованої схеми модифікування при правильно вибраній масі та геометрії модифікувальної вставки, процес її розчинення закінчується одночасно із закінченням заливання форми. Це добре помітно на макрошліфі зрізу ділянки ливника з модифікувальною вставкою (рис. 3), на якому спостерігається з одного боку чавун із пластинчастим графітом, а з іншого — з компактним графітом. Світлі точки є

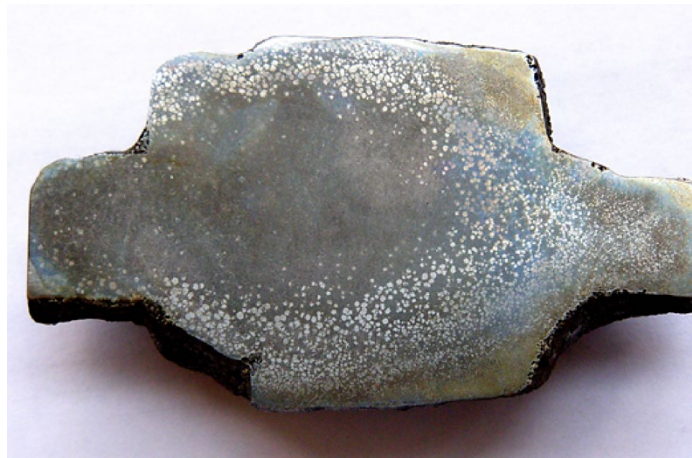


Рис. 3. Макроструктура ділянки ливника з модифікувальною вставкою після заливання розтопу.

Fig. 3. Macrostructure of the caster area with the modifying insert after pouring the melt.

колоніями дисперсного «переохолодженого» графіту в феритній металевій основі. Вміст Магнію на вході в камеру складає 0,005%, а на виході — 0,043%.

Відмічений факт вказує на те, що в цьому випадку модифікатор витрачається тільки на частину форми, зайняту вилівками та живильником, а частина форми, що складається із стояка та ливникової чаші, залишається немодифікованою, що забезпечує можливість пониження витрати використовуваного модифікатора в 1,5–2 рази у порівнянні з внутрішньоковшовим модифікуванням.

Результати оцінки розподілу Магнію по довжині пластини в залежності від відстані до живильника та компонентного складу модифікатора показали, що в разі використання модифікувальної вставки типу 1 з 10% Mg та 43% Fe для відносно високих значень маси вставки (100 та 75 г), відзначається помітне зменшення лока-

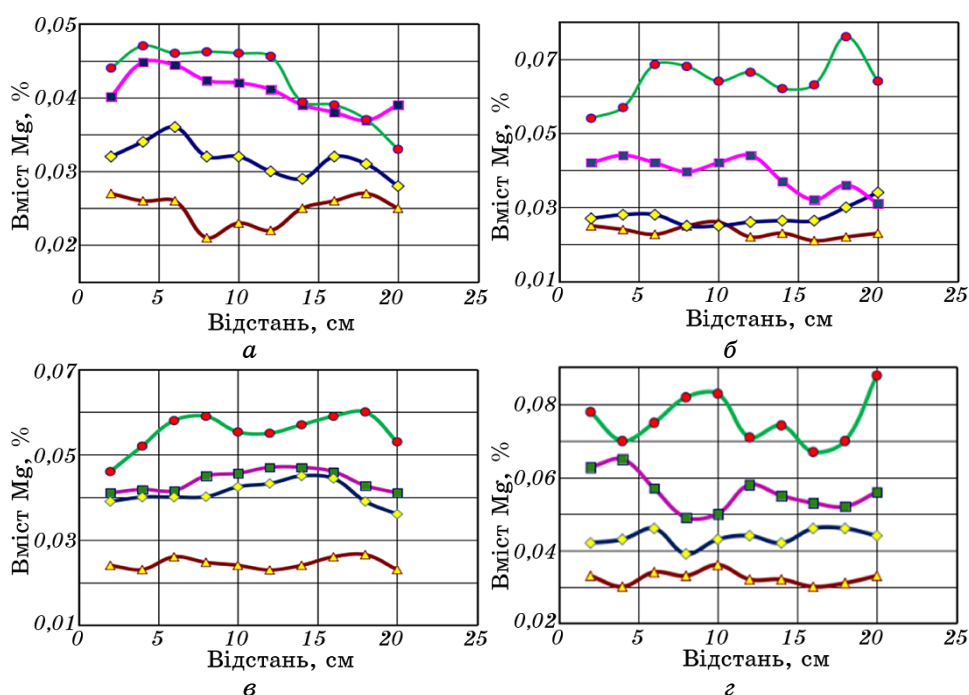


Рис. 4. Залежність вмісту Mg по довжині вилівок, отриманих з використанням модифікувальних вставок з конфігурацією гладкої втулки (а, в) та діафрагми (б, г), спресованих із порошкових сумішей з 10 (а, б) та 15% Mg (в, г).

Fig. 4. Dependence of Mg content on the length of castings obtained using of modifying inserts with the configuration of a smooth sleeve (а, в) and a diaphragm (б, г), made from consolidated powder mixtures with 10 (а, б) and 15% Mg (в, г).

льного вмісту Магнію у відливці з $\cong 0,46\%$ до $\cong 0,35\%$ зі збільшенням відстані від живильника (рис. 4, *a*). При використанні модифікувальних вставок меншої маси (50 та 25 г) відмічений ефект проявляється значно меншою мірою (для 50 г) або практично зникає (для 25 г). При використанні ж модифікувальної вставки типу 2 (діафрагма) вміст Магнію по повздовжньому перерізу відливки практично стабільний для всіх значень маси вставок (рис. 4, *б*).

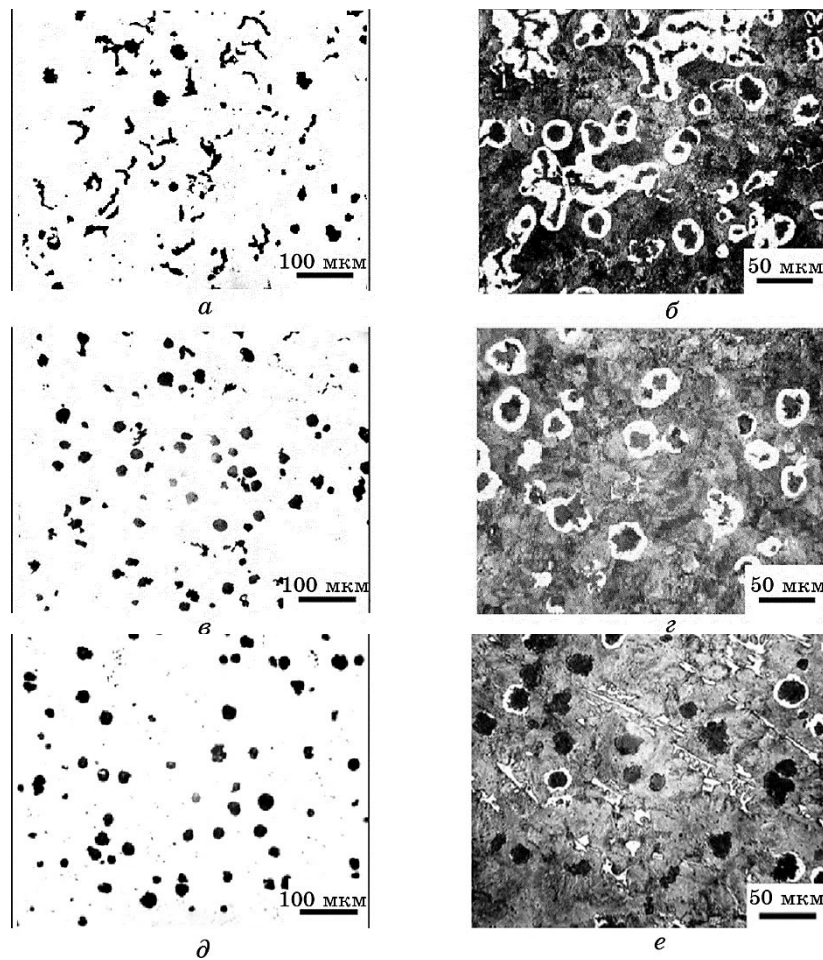


Рис. 5. Форма графіту (*a*, *в*, *д*) та мікроструктура металевої основи чавуну (*б*, *з*, *е*), отриманого з використанням модифікувальних вставок масою 25 (*a*, *б*), 75 (*в*, *з*) та 100 г (*д*, *е*).

Fig. 5. The shape of graphite (*a*, *в*, *д*) and the microstructure of the metal base of cast iron (*б*, *з*, *е*), obtained with the use of mass modifying inserts 25 (*a*, *б*), 75 (*в*, *з*) and 100 g (*д*, *е*).

В разі збільшення в складі вихідної шихти вмісту Mg до 15% та відповідного зменшення вмісту Fe, помітного зменшення вмісту Mg у виливку із збільшенням відстані від живильника не відзначається (рис. 4, *в, з*), що зумовлено деяким підвищенням ступеня екзотермічності процесу взаємодії розтопу з модифікатором при збільшенні вмісту Магнію в останньому.

При цьому, практично для всіх значень маси вставок, середній вміст Магнію при використанні вставки у формі діафрагми (рис. 4, *б, з, е*) помітно вище у порівнянні із втулкою (рис. 4, *а, в, д*). Це зумовлено деяким збільшенням місцевого гідравлічного опору розтопу металу в стояку на початковому етапі заливання внаслідок меншого діаметра отвору внутрішнього конуса брикету, що приводить до деякого зменшення швидкості потоку розтопу на початкових етапах заливки та сприяє підвищенню ступеня засвоєння Магнію. Крім того, внаслідок меншого значення товщини найтоншого перерізу брикету для конусної вставки у порівнянні із циліндричною на початковому етапі заливки відбувається більш швидкий локальний прогрів, топлення матеріалу брикету та модифікування розтопу на більш ранній стадії заповнення форми.

Для всіх досліджених складів модифікувальних вставок зі збільшенням маси останніх відбувається відповідне підвищення середнього вмісту Магнію у виливку.

За результатами вивчення мікроструктури виливків, отриманих із застосуванням модифікувальних вставок різного компонентного складу, можна відзначити наступне. Незалежно від форми вставки у мікроструктурі виливків, оброблених вставками масою 25 г (що складає близько 0,5% від маси обробленого металу) спостерігається вермикулярний графіт (рис. 5, *а*) у матриці, що включає 70–75% перліту) і 25–30% фериту (рис. 5, *б*).

При використанні модифікувальних вставок масою 50 та 75 г у виливках, отриманих після обробки модифікатором з 10% Магнію, спостерігається компактний і неправильний кулястий графіт зі ступенем сфероїдизації 80–85% та незначним вмістом вермикулярного графіту (рис. 5, *в*). Металева основа складалася із суміші перліту (80%) і фериту (20%) (рис. 5, *з*).

Аналогічний характер структури зразків з виливка, обробленого модифікатором з 15% Mg та при збільшенні маси модифікувальної втулки до 100 г, але ступінь сфероїдизації графіту в ньому збільшується до 90% (рис. 5, *д*). Відзначається також деяке підвищення вмісту перлітної складової металевої основи (до 85–90%) із відповідним зменшенням вмісту фериту (до 10–15%).

В разі використання модифікувальних вставок масою у 100 г в структурі металевої фази стопу разом із перлітною та феритною складовими виділяється також до 5–8% цементитної фази (рис. 5, *е*).

Незалежно від маси використаної модифікувальної вставки, се-

редній розмір включень кулястого графіту складає 25 мкм, а вміст графітної фази по площі шліфа складає близько 8–10%.

Відмічені особливості структури чавунів, отриманих з використанням модифікувальних вставок різної конфігурації та різних компонентних складів, обумовлює також і основні механічні властивості стопів. Як можна бачити з рис. 6, *а, б*, для всіх варіантів маси модифікувальної вставки міцність стопу, отриманого з використанням модифікувальної вставки у вигляді діяфрагми, дещо перевищує міцність чавуну, одержаного модифікуванням циліндричною вставкою. Для обох конфігурацій вставок міцність чавуну, отриманого з розтопу, модифікованого вставкою масою 25 г (365–380 МПа), незначно перевищує міцність сірого (немодифікованого) чавуну, яка знаходиться на рівні 250–300 МПа. Помітне підвищення рівня міцності (до 455–490 МПа) спостерігається при збільшен-

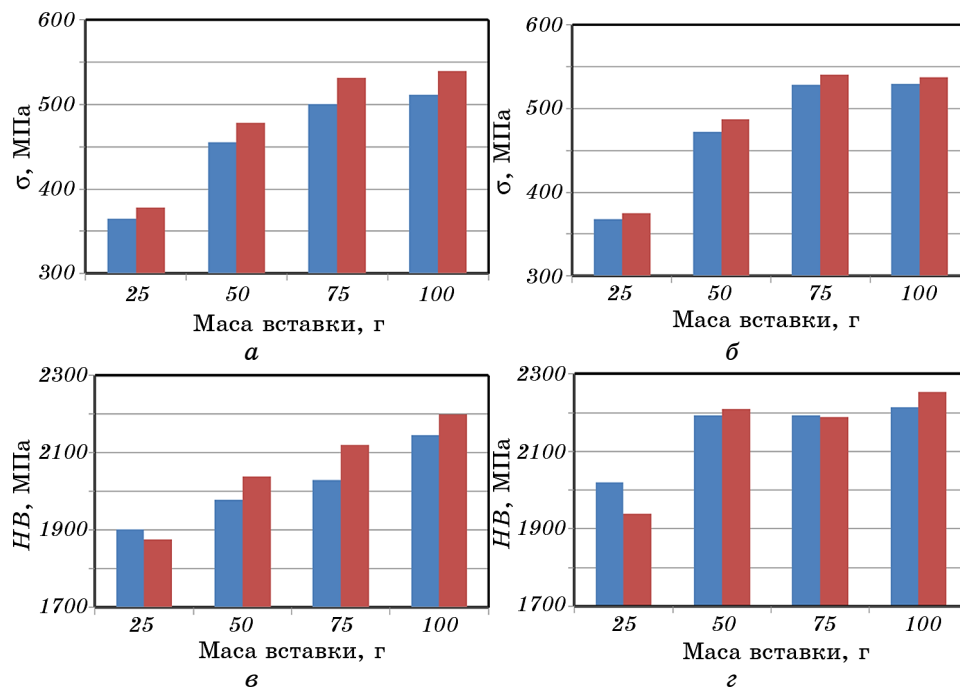


Рис. 6. Залежність міцності (*а, б*) та твердості (*в, г*) чавунів, отриманих з використанням модифікувальних вставок з конфігурацією гладкої втулки (■) та діяфрагми (■), спресованих із порошкових сумішей з 10 (*а, в*) та 15% Mg (*б, г*).

Fig. 6. Dependence of the strength (*a, б*) and hardness (*в, г*) of cast irons obtained using modifying inserts with the configuration of a smooth sleeve (■) and a diaphragm (■), pressed from powder mixtures with 10 (*a, в*) and 15% Mg (*б, г*).

ні маси модифікувальної вставки до 50 г. Збільшення маси модифікувальної втулки до 75 та 100 г приводить до відповідного підвищення рівня міцності чавуну до 500–540 МПа.

Збільшення маси модифікувальної вставки призводить також і до деякого підвищення значень твердості чавуну, обробленого модифікатором з 10% Mg (рис. 6, е). В той же час, для варіанту модифікатора з 15% Mg твердість помітно підвищується лише при збільшенні маси модифікувальної вставки від 25 до 50 г, тоді як подальше збільшення її маси до 75 та 100 г впливає на зміну параметра твердості вкрай незначною мірою (рис. 6, з).

На відміну від параметрів міцності, конфігурація модифікувальних вставок значно меншою мірою впливає на твердість отриманих з їх використанням чавунів (хоча загальна закономірність більш високої твердості при використанні конусних модифікувальних вставок також відмічається).

4. ВИСНОВКИ

1. Для всіх значень маси модифікувальних вставок середній вміст Магнію у виливку при використанні вставки у вигляді втулки із внутрішньою конусною поверхнею (діафрагми) помітно вище у порівнянні із вставкою у формі гладкої втулки. Збільшення маси модифікувальної втулки призводить до підвищення рівня міцності стопу.

2. Використання модифікувальної вставки у формі діафрагми призводить до підвищення рівномірності розподілу Магнію по довжині виливка для вставок підвищеної маси (75 та 100 г), виготовлених із шихти з 10% Mg. При використанні модифікувальних вставок меншої маси (50 та 25 г) та збільшення вмісту Mg в складі вихідної шихти до 15% відмічений ефект проявляється значно меншою мірою.

3. Для всіх варіантів маси модифікувальної вставки міцність чавуну, отриманого з використанням модифікувальної вставки у вигляді діафрагми, перевищує міцність стопу, одержаного модифікуванням вставкою у формі гладкої втулки.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. J. O. Olawale, S. A. Ibitoye, and K. M. Oluwasegun, *Int. J. Sci. Eng. Research*, **7**, No. 9: 397 (2016).
2. P. Chaengkham and P. Srichandr, *J. Mater. Processing Technology*, **211**, No. 8: 1372 (2011).
3. B. I. Imasogie, *Ife J. Technology*, **23**, No. 2: 24 (2015).
4. *Ductile Iron Handbook* (Des Plaines: American Foundry Society: 1993).
5. В. И. Литовка, *Повышение качества высокопрочного чугуна в отливках*

- (Київ: Наукова думка: 1987).
6. Е. В. Ковалевич, Л. А. Петров, В. В. Андреев, *Литейное производство*, № 2: 2 (2014).
 7. Г. А. Баглюк, В. Я. Куровський, *Наукові нотатки*, № 58: 15 (2017).
 8. E. V. Zakharchenko, O. I. Shinsky, G. A. Baglyuk, S. I. Klimenko, V. Ya. Kurovsky, E. A. Sirenko, and A. L. Goncharov, *Nauka Innov.*, **15**, No. 1: 53 (2019).
 9. Y. S. Lerner, L. S. Aubrey, and D. Craig, *Foundry Trade J.*, **9**: 24 (2001).
 10. Т. Расуниак and R. Kaczorowski, *Arch. Foundry Eng.*, **1**: 101 (2010).
 11. М. А. Фесенко and А. М. Фесенко, *Progress in Physics of Metals*, **21**, No. 1: 83 (2020).
 12. Т. Расуниак and R. Kaczorowski, *Archives of Foundry Eng.*, **10**, Iss. 1: 101 (2010).
 13. М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко, В. А. Косячков, В. Г. Могилатенко, *Процессы литья*, № 1: 44 (2013).
 14. М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко, В. Г. Могилатенко, *Теорія і практика металургії*, № 6: 40 (2019).
 15. В. Н. Чуватин, А. А. Колпаков, *Литейщик России*, № 2: 13 (2004).
 16. В. Я. Куровський, Г. А. Баглюк, О. И. Шинский, *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*, № 10, ч. 1: 112 (2010).
 17. В. И. Литовка, В. А. Маслюк, В. Я. Куровский, *Литейное производство*, № 8: 7 (2003).
 18. V. Ya. Kurovskiy and G. A. Bagliuk, *10th Int. Congress Proceedings 'Machines. Technologies. Materials' (Sept. 10–12, 2013)* (Varna: 2013), vol. **1**, p. 93.
 19. Г. А. Баглюк, О. И. Шинский, Н. Я. Терещенко, В. Я. Куровский, *Технология металлов*, № 12: 3 (2018).
 20. G. A. Baglyuk and V. Y. Kurovskii, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, **56**: 123 (2017).

REFERENCES

1. J. O. Olawale, S. A. Ibitoye, and K. M. Oluwasegun, *Int. J. Sci. Eng. Research*, **7**, No. 9: 397 (2016).
2. P. Chaengkham and P. Srichandr, *J. Mater. Processing Technology*, **211**, No. 8: 1372 (2011).
3. B. I. Imasogie, *Ife J. Technology*, **23**, No. 2: 24 (2015).
4. *Ductile Iron Handbook* (Des Plaines: American Foundry Society: 1993).
5. V. I. Litovka, *Povyshenie Kachestva Vysokoprochnogo Chuguna v Otlivkakh* [Improving the Quality of High-Strength Cast Iron in Castings] (Kyiv: Naukova Dumka: 1987) (in Russian).
6. E. V. Kovalevich, L. A. Petrov, and V. V. Andreev, *Liteynoe Proizvodstvo*, No. 2: 2 (2014) (in Russian).
7. G. A. Baglyuk and V. Ya. Kurovs'kyu, *Naukovi Notatky*, No. 58: 15 (2017) (in Ukrainian).
8. E. V. Zakharchenko, O. I. Shinsky, G. A. Baglyuk, S. I. Klimenko, V. Ya. Kurovsky, E. A. Sirenko, and A. L. Goncharov, *Nauka Innov.*, **15**, No. 1: 53 (2019).
9. Y. S. Lerner, L. S. Aubrey, and D. Craig, *Foundry Trade J.*, **9**: 24 (2001).

10. T. Pacyniak and R. Kaczorowski, *Arch. Foundry Eng.*, **1**: 101 (2010).
11. M. A. Fesenko and A. M. Fesenko, *Progress in Physics of Metals*, **21**, No. 1: 83 (2020).
12. T. Pacyniak and R. Kaczorowski, *Archives of Foundry Eng.*, **10**, Iss. 1: 101 (2010).
13. M. A. Fesenko, A. N. Fesenko, V. A. Kosyachkov, and V. G. Mogilatenko, *Protsessy Lit'ya*, No. 1: 44 (2013) (in Russian).
14. M. A. Fesenko, A. N. Fesenko, and V. H. Mohylatenko, *Teoriya i Praktyka Metalurhiyi*, No. 6: 40 (2019) (in Ukrainian).
15. V. N. Chuvatin and A. A. Kolpakov, *Liteyshchik Rossii*, No. 2: 13 (2004) (in Russian).
16. V. Ya. Kurovskyy, H. A. Bahlyuk, and O. Y. Shynskyy, *Visnyk Shkhidnoukrayins'koho Natsional'noho Universytetu im. V. Dalya*, No. 10, part 1: 112 (2010) (in Ukrainian).
17. V. I. Litovka, V. A. Maslyuk, and V. Ya. Kurovskiy, *Liteynoe Proizvodstvo*, No. 8: 7 (2003) (in Russian).
18. V. Ya. Kurovskiy and G. A. Bagliuk, *10th Int. Congress Proceedings 'Machines. Technologies. Materials' (Sept. 10–12, 2013)* (Varna: 2013), vol. 1, p. 93.
19. G. A. Baglyuk, O. I. Shinskiy, N. Ya. Tereshchenko, and V. Ya. Kurovskiy, *Tekhnologiya Metallov*, No. 12: 3 (2018) (in Russian).
20. G. A. Baglyuk and V. Y. Kurovskii, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, **56**: 123 (2017).