

УДК 621.74.046

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.74469

## СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ДВОШАРОВИХ ЧАВУННИХ ВИЛИВКІВ З РОБОЧОЮ ЗНОСОСТІЙКОЮ ТА МОНТАЖНОЮ В'ЯЗКОЮ ЧАСТИНАМИ ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ УДАРНО-АБРАЗИВНОГО ЗНОСУ

© М. А. Фесенко, І. В. Лук'яненко, К. В. Фесенко, А. М. Верховлюк

*В роботі запропоновано та досліджено спосіб отримання виливків з робочою твердою зносостійкою поверхнею з вибіленого чавуну та монтажною частиною з в'язкого ударостійкого високоміцного чавуну з кулястим графітом з одного вихідного розплаву, які призначені для роботи в умовах ударно-абразивного зносу. Наведені технологічні умови процесу, які забезпечують диференціацію структури та властивостей чавуну по перерізу стінок виливка розміром до 50 мм*

**Ключові слова:** спосіб, виливок, вибілений чавун, високоміцний чавун, твердість, зносостійкість, в'язкість, ударостійкість

*The work proposed and investigated a method for producing castings with working hard wear-resistant surface of the chilled cast iron and the mounting portion of the viscous shock-resistant high-strength ductile cast iron melt from a single source, which are designed to work in conditions of impact-abrasive wear. Given technological process conditions provide the structure and differentiation properties in iron castings section walls up to 50 mm*

**Keywords:** method, casting, chilled cast iron, ductile cast iron, hardness, wear resistance, toughness, impact resistance

### 1. Вступ

В ливарному виробництві розповсюдженим конструкційним матеріалом для виготовлення деталей різного призначення є чавун. Частина литих деталей (випливи) із чавуну в світовому виробництві складає 70 % [1, 2], що обумовлено найбільш сприятливим поєднанням в ньому технологічних, механічних і експлуатаційних властивостей. Крім цього, чавун є доступним, недефіцитним і дешевим матеріалом [2, 3].

У світовій та вітчизняній практиці даний матеріал широко використовується при виготовленні монолітних виливків з однорідною структурою та властивостями, наприклад: блоків циліндрів двигунів, поршнів, поршневих кілець, гальмівних барабанів, дисків зчеплення, кронштейнів, кришок підшипників, маточин коліс, деталей механообробних верстатів, тубінгів, корпусів вітряних установок, опалювальних радіаторів, виробів господарчого та художнього призначення тощо [3–5].

Перспективним та економічно виправданим напрямком використання чавуну є застосування його для отримання виливків з диференційованою структурою та властивостями, наприклад: деталей робочих елементів валкових, шоківих, молоткових дробарок, зубів ковша екскаватора, зубів розпушувачів ґрунтів, лемехів, насадок відбійних молотків, броньованих плит, прокатних валків тощо [6, 7].

### 2. Аналіз літературних даних

Матеріал робочих поверхонь деталей з диференційованою структурою та властивостями повинен забезпечувати високу твердість та зносостійкість, а серцевини або монтажної частини пластичність, в'язкість для поліпшеної оброблюваності різанням, а також ударостійкість для попередження руйнування деталі при навантаженні.

Серед дешевих твердих та зносостійких конструкційних матеріалів окреме місце належить чавуну схильному до кристалізації з вибіленням із карбідами заліза у складі ледебуритної евтектики (БЧ), твердість якого складає 400...450 НВ [8]. Високою ударостійкістю (400...600 кДж/м<sup>2</sup>) та задовільною оброблюваністю різанням відзначається високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧ) ферито-перлітного або феритного класу з твердістю 140...220 НВ [9].

На практиці чавунні виливки з робочою частиною з твердого зносостійкого матеріалу та монтажною частиною з м'якого матеріалу отримуються різними способами: одночасним або послідовним заливанням в форму з попередньо встановленою розділовою перегородкою різних розплавів, шляхом послідовного заливання ливарних форм двома різними за хімічним складом і властивостями сплавами через автономні ливникові системи, відцентровим способом лиття деталей пошаровим заливанням форм рідкими сплавами різного хімічного складу, виливанням рідкого залишку з наступним доливанням серцевини розплавом іншого складу [10, 11].

Необхідність установа двох плавильних агрегатів для виплавлення різних сплавів або виплавлення та подальше позапічне оброблення частини (порції) вихідного рідкого металу, а також синхронізація процесів виплавлення та розливання різних сплавів є істотними недоліками перерахованих способів.

Найбільш простим способом, який може усунути перелічені недоліки є отримання чавунних виливків з диференційованою структурою та властивостями шляхом заливання одного вихідного розплаву у металеву форму (кокіль) або в разову (піщану) ливарну форму з розташованим у ній металевим холодильником [12, 13].

У промисловості такий спосіб найпоширеніше використовується при отриманні виливків з поєднан-

ням в одній частині зносостійкого вибіленого нелегованого або легovanого чавунів, а в іншій частині з сірого чавуну, схильного до кристалізації з виділенням графіту у вільному стані (СЧ) [14].

Поєднання вибіленого зносостійкого чавуну з карбідами заліза в складі ледебуритної евтектики та м'якого але крихкого сірого чавуну з пластинчастим графітом у одній деталі доцільно, якщо вона працює лише в умовах помірного безударно-абразивного зносу. Для виливків, що працюють в умовах ударно-абразивного зносу перспективним, а також технічно виправданим є поєднання зносостійкого чавуну схильного до кристалізації з вибіленням з ударостійким високоміцним чавуном з кулястим графітом. Однак інформація щодо впровадження у виробництво технологій отримання виливків з диференційованою структурою та властивостями з комбінацією в окремих їх частинах таких матеріалів практично відсутня.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є дослідження нового способу отримання чавунних виливків з робочою частиною з твердого зносостійкого вибіленого чавуну та в'язкою монтажною частиною з високоміцного чавуну з кулястим графітом із вихідного розплаву, виплавленому в одному плавильному агрегаті.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

1) проведені дослідження щодо реалізації запропонованого способу отримання виливків з диференційованою структурою та властивостями з одного вихідного розплаву;

2) досліджено вплив технологічних параметрів на процес диференціації структури та властивостей у виливках, які кристалізувалися в одній частині з твердого зносостійкого чавуну та в іншій частині з в'язкого ударостійкого високоміцного чавуну з кулястим графітом.

### 4. Матеріали та методи дослідження

В роботі запропоновано новий спосіб отримання чавунних виливків з диференційованими стру-

ктурою та властивостями з одного вихідного розплаву, який базується на методі внутрішньоформового модифікування розплаву в реакційній камері ливникової системи ливарної форми.

Сутність способу отримання виливків з диференційованою структурою та властивостями полягає у заливанні ливарної форми вихідним чавуном, схильним до кристалізації з виділенням графіту у вільному стані (СЧ), який піддається сфероїдизувальному модифікуванню у реакційній камері ливникової системи та прямує у порожнину ливарної форми, з попередньо встановленим в неї холодильником (кокіль) для забезпечення прискореного тепловідведення від частини виливка де повинна сформуватися зносостійка тверда поверхня (БЧ). Інша частина виливка кристалізується з в'язкого ударостійкого високоміцного чавуну з кулястим графітом (ВЧ) (рис. 1).

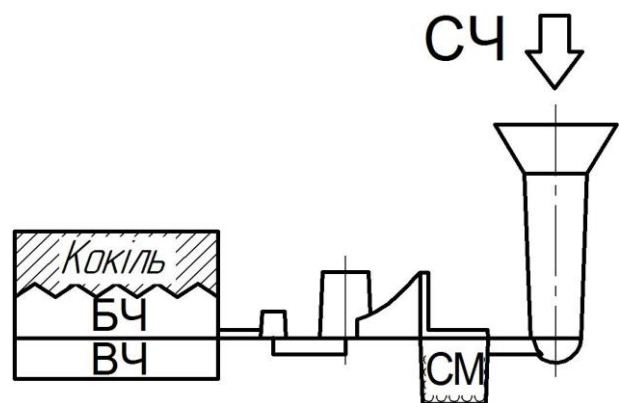


Рис. 1. Технологічний варіант виготовлення шаруватого чавунного виливка: СЧ – сірий чавун, схильний до кристалізації з виділенням графіту у вільному стані; БЧ – вибілений твердий зносостійкий чавун; ВЧ – високоміцний чавун з кулястим графітом; СМ – сфероїдизувальний модифікатор

В умовах експерименту об'єктом дослідження обрано виливок у вигляді ступінчастої проби з перерізами стінок 5, 10, 20, 30, 40 та 50 мм, загальна маса якої складала  $5,0 \pm 0,2$  кг (рис. 2).

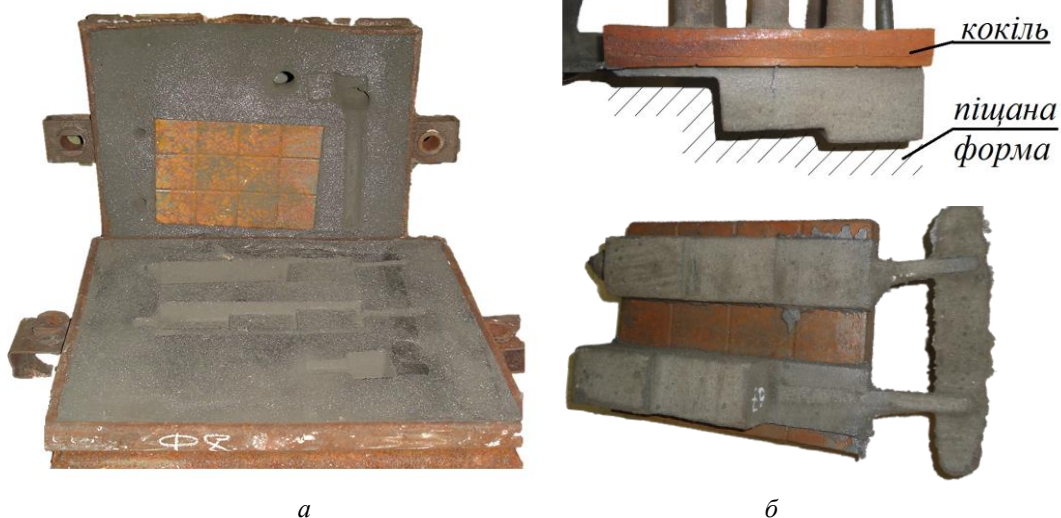


Рис. 2. Об'єкт дослідження: а – загальний вид ливарної форми для отримання експериментальної ступінчастої форми; б – загальний вид ступінчастої проби з холодильником

Вихідний чавун, схильний до кристалізації з виділенням графіту у вільному стані (СЧ) наступного хімічного складу 3,6...4,0 % С; 0,45...0,8 % Si; 0,3...0,5 % Mn; до 0,04 Р; до 0,015 % S, виплавляли в індукційній печі марки ІЧТ-006 та заливали при температурі  $1420 \pm 10$  °С у сухі піщано-глинясті ливарні форми (рис. 2, а). В якості модифікатора для сфероїдизувального оброблення вихідного розплаву чавуну застосовували сплав марки ФСМг7 у кількості 2,0 % від маси виливка. Для забезпечення прискореного тепловідведення від частини виливка де формувалася зносостійка тверда поверхня використовували зовнішній холодильник у вигляді чавунної плити товщиною 25 мм (рис. 2).

**5. Результати досліджень процесу отримання чавунних виливків з диференційованою структурою та властивостями**

Аналізи результатів проведених досліджень показали, що після сфероїдизувального модифікування вихідного розплаву (СЧ) та заповнення ним порожнини ливарної форми з попередньо встановленим чавунним холодильником (кокілем) перерізи ступінчастих проб товщиною 5 та 10 мм кристалізуються монолітними з наскрізним вибіленням із перліто-цементитною мікроструктурою серед якої виділяються дрібнодисперсні вclusions графіту кулястої форми (рис. 3, а, б).

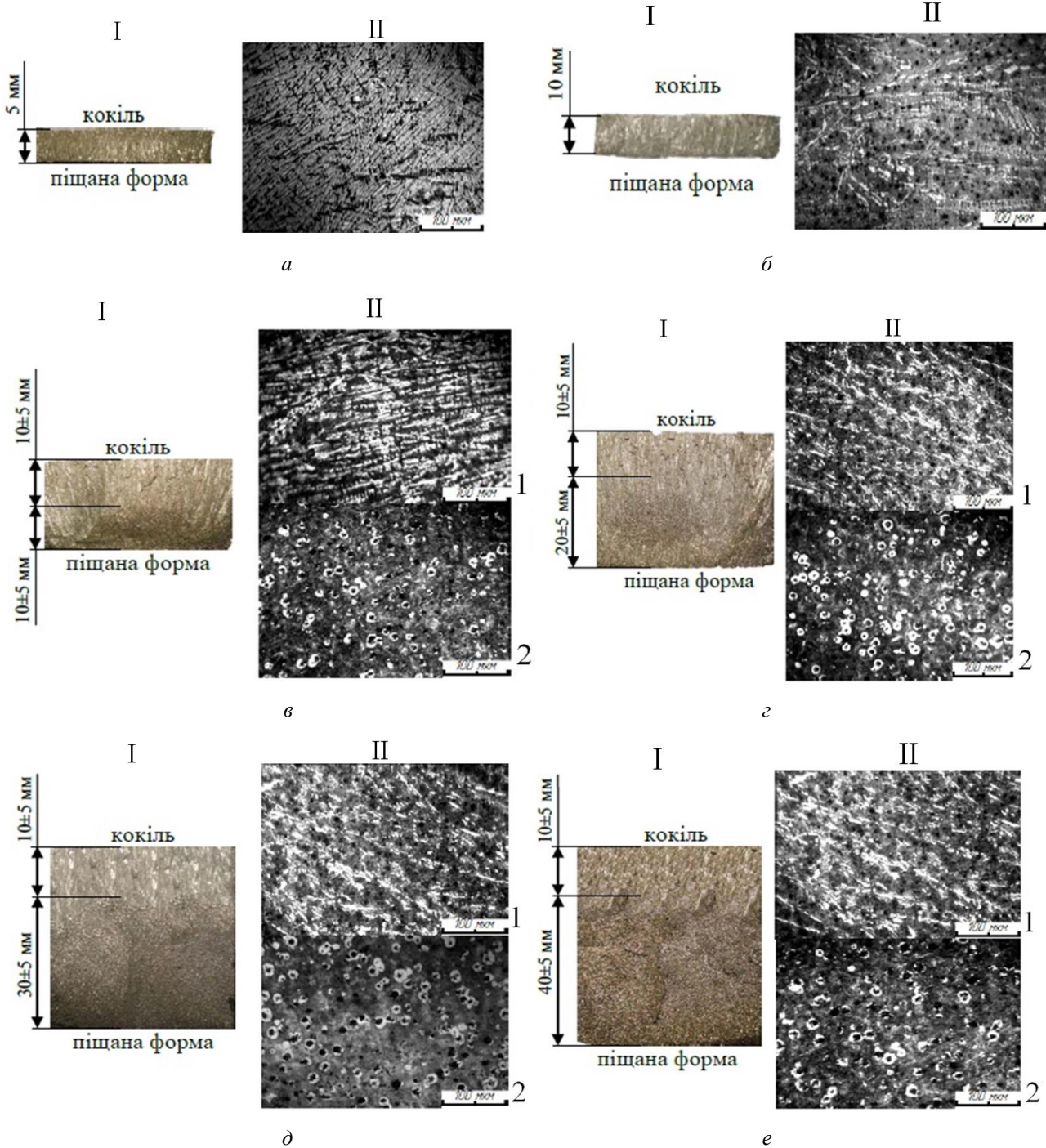


Рис. 3. Макроструктура зламу (I) та мікроструктура чавуну (II) в перерізах ступінчастої проби а – 5 мм; б – 10 мм; в – 20 мм; г – 30 мм; д – 40 мм; е – 50 мм: 1 – з боку кокілю, 2 – з боку піщаної форми



В перерізах ступінчастих проб товщиною від 20 до 50 мм спостерігається диференціація структури та властивостей між протилежними їх поверхнями (з боку чавунного кокілю та з боку піщаної форми). При цьому твердий зносостійкий шар вилівка з боку кокілю з вибіленого чавуну (БЧ) формується товщиною  $10 \pm 5$  мм (рис. 3). Мікроструктура вибіленого шару чавуну у вилівку складається з перліту та цементиту з включеннями дрібнодисперсного графіту кулястої форми (рис. 3, *в-е*, 1). В таких же перерізах ступінчастих проб з боку піщаної ливарної форми сплав на товщину 5...35 мм кристалізується з світло-сірим кольором зламу, характерним

для високоміцного чавуну. Мікроструктура чавуну складається з графіту кулястої форми в перлітоферитній металевій матриці, без евтектичних карбідів заліза (рис. 3, *в-е*, 2). Твердість поверхонь стінок ступінчастої проби товщиною 5...50 мм в литому стані з боку кокілю знижується від 450 до 380 НВ за рахунок виділення включень графіту кулястої форми (рис. 4, крива 1). З боку піщаної форми твердість поверхонь стінок з високоміцного чавуну знижується від 450 до 260 НВ (рис. 4, крива 2), за рахунок збільшення розміру графітових включень та доли м'якого фериту у переважно перлітній металевій матриці (рис. 4).

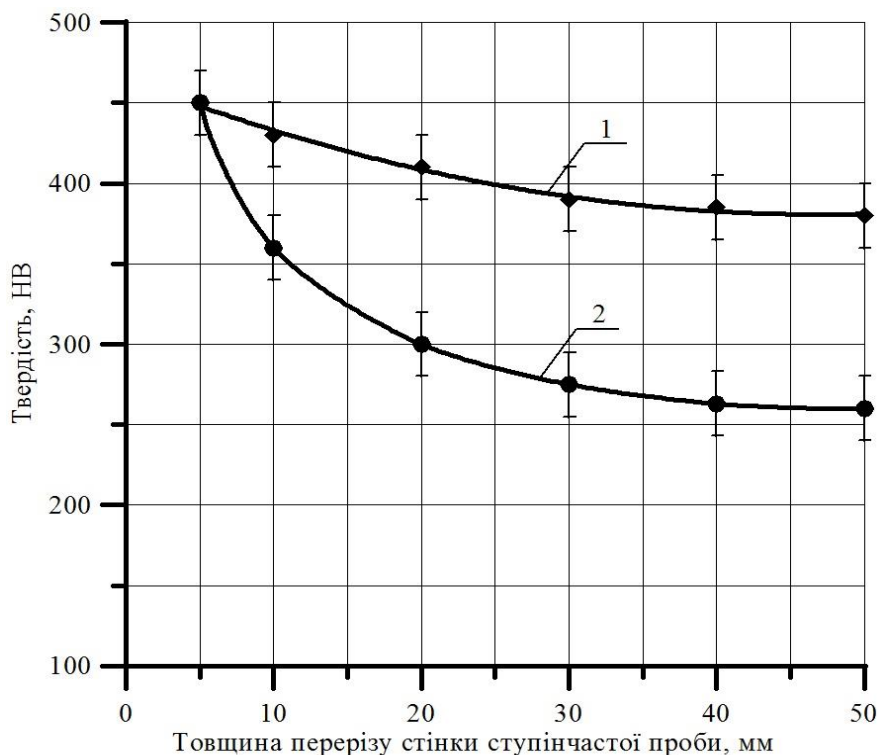


Рис. 4. Твердість чавуну, модифікованого феросиліцій-магнієвим сплавом ФСМг7:  
1 – у литому стані з боку кокілю; 2 – у литому стані з боку піщаної форми

Високоміцний чавун з кулястим графітом з переважно перлітною матрицею, отриманою в умовах експерименту може вважатися недостатньо надійною основою для робочого зносостійкого шару деталі в разі експлуатації її в умовах ударних навантажень за рахунок низьких пластичних характеристик матеріалу.

Тому для збільшення феритної складової в частинах виливків з високоміцного чавуну, що забезпечить підвищення їх в'язкості та пластичності, ступінчасті проби додатково піддавали низькотемпературному відпалу на ферит за наступним режимом: нагрівання зразків разом з піччою до температури 780...800 °С, витримкою за цієї температури протягом 3...4 годин та охолодженням з піччою до кімнатної температури.

Після низькотемпературного відпалу мікроструктура в частині ступінчастих проб з високоміцного ча-

вуну складалася переважно з феритної металевій матриці із часткою фериту 80...90 % (рис. 5, *в-е*, 2), а в частині проб з вибіленого чавуну структура залишалась перліто-цементитною з дрібнодисперсними включеннями графіту кулястої форми (рис. 5, *в-е*, 1).

Різниця твердості між твердою зносостійкою робочою поверхнею та монтажною в'язкою частиною з високоміцного чавуну виливків ступінчастих проб після низькотемпературного відпалу збільшується до 190...210 НВ (рис. 6) за рахунок збільшення феритної складової в мікроструктурі високоміцного чавуну.

Такий високоміцний чавун з кулястим графітом може вважатися достатньо надійною основою для робочого твердого зносостійкого шару деталі в разі експлуатації її в умовах ударних навантажень.

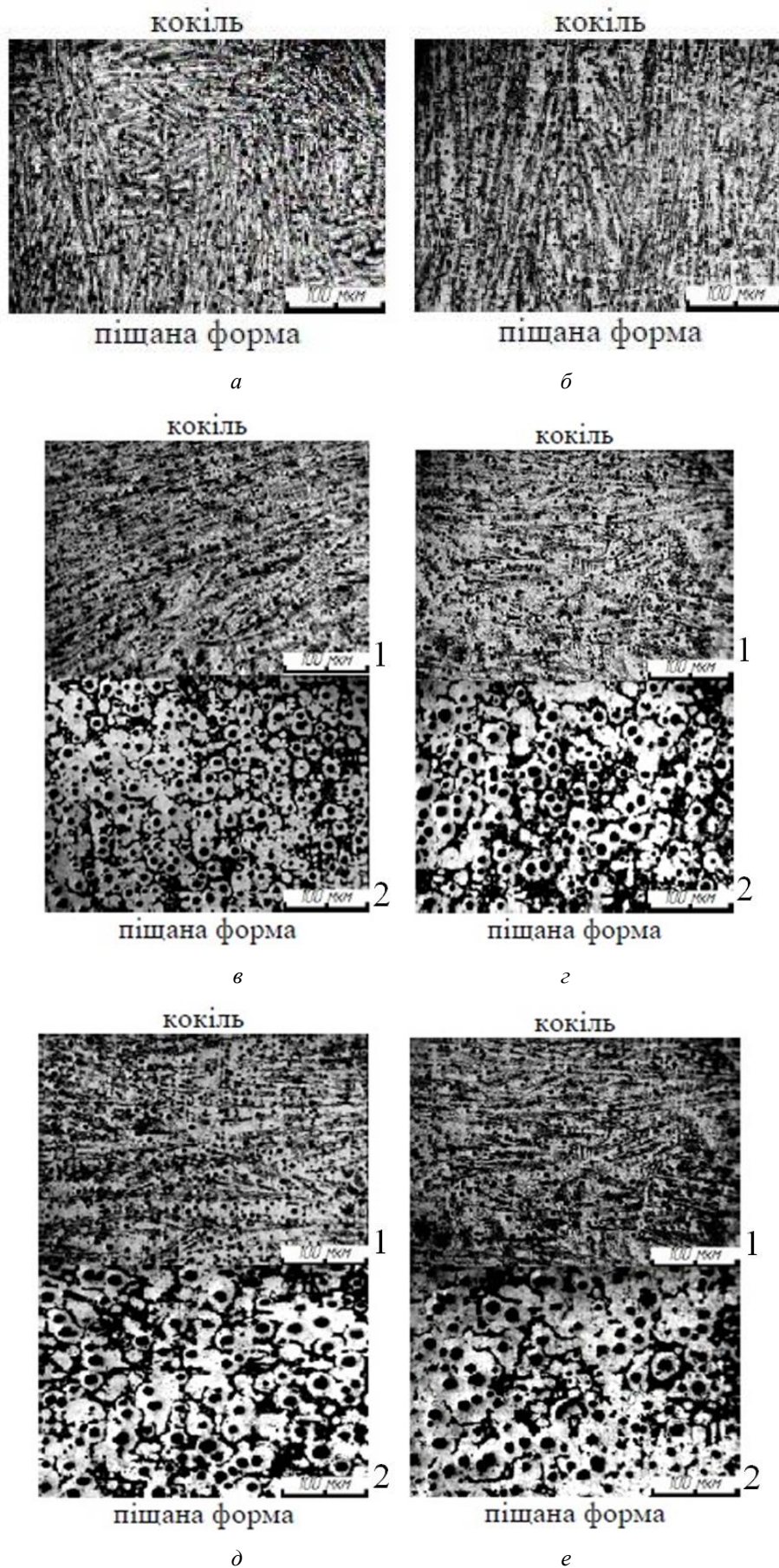


Рис. 5. Мікроструктура чавуну після низькотемпературного відпалу на ферит, у перерізах ступінчастої проби: *a* – 5 мм; *б* – 10 мм; *в* – 20 мм; *г* – 30 мм; *д* – 40 мм; *е* – 50 мм: 1 – з боку кокілю, 2 – з боку піщаної форми

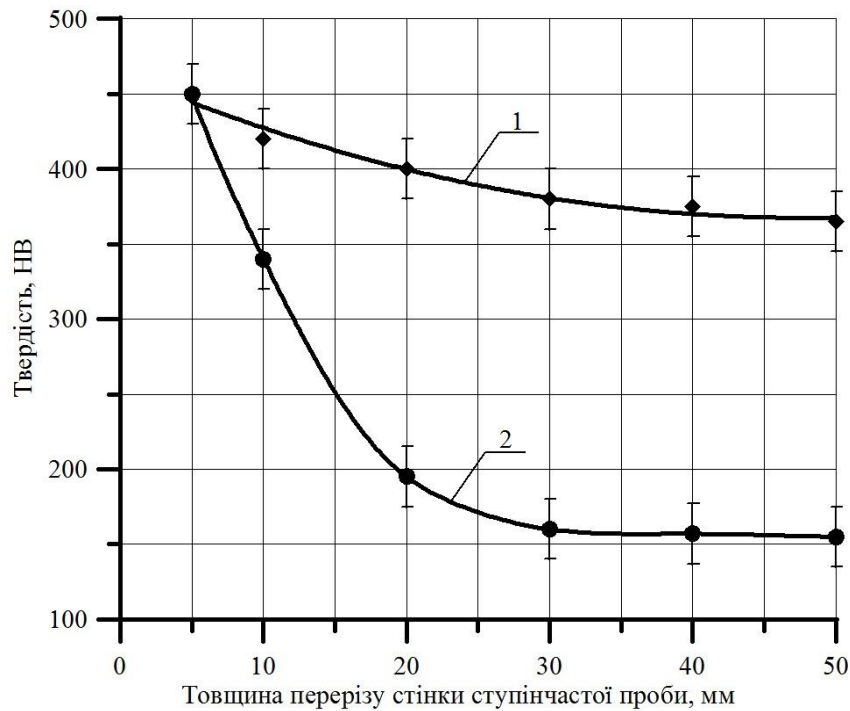


Рис. 6. Твердість чавуну у перерізах ступінчастої проби 5, 10, 20, 30, 40 та 50 мм після низькотемпературного відпалу на ферит: 1 – з боку кокілю; 2 – з боку піщаної форми

## 6. Висновки

Таким чином, в роботі запропоновано та досліджено новий спосіб отримання виливків з диференційованою структурою та властивостями, які виготовляються методом внутрішньоформового модифікування вихідного розплаву, виплавленого в одному плавильному агрегаті. Встановлено, що диференціація структури та властивостей у виливках в одній частині яких кристалізується твердий зносостійкий вибілений чавун (БЧ), а в іншій частині в'язкий ударостійкий високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧ) досягається в перерізах проб з товщиною стінок від 20 до 50 мм. При цьому різниця твердості протилежних поверхонь виливків ступінчастих проб складає 120...140 НВ та може бути підвищена до 190...210 НВ низькотемпературним відпалом на ферит.

Результати досліджень свідчать про перспективність застосування запропонованого способу на промислових підприємствах при виготовленні деталей, які працюють в умовах ударно-абразивного зносу. Запропонований спосіб дозволяє значно спростити процес виготовлення виливків з диференційованою структурою та властивостями, скоротити витрату дефіцитних матеріалів, знизити собівартість отримання виливків, а також виключає необхідність установа в ливарних цехах додаткового обладнання.

## Література

1. 49-Census of World casting production [Text]. – Modern casting. – 2015. – P. 26–31.
2. Александров, Н. Н. Современные конструкционные материалы – ключ к ускоренной модернизации предприятий [Текст] / Н. Н. Александров, Н. И. Бех, Ф. А. Нуралиев, М. В. Радченко // Литейное производство. – 2015. – № 10. – С. 6–12.

3. Худокормов, Д. Н. Производство отливок из чугуна [Текст] / Д. Н. Худокормов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1987. – 197 с.

4. Смирнов, М. Ю. Исследование литейного производства стран Скандинавии на примере отливок насосов [Текст] / М. Ю. Смирнов // Литейное производство. – 2015. – № 6. – С. 36–39.

5. Епархин, О. М. Повышение качества литых износостойких деталей [Текст] / О. М. Епархин, В. А. Алов, А. Н. Попков, А. П. Мельников, М. И. Карпенко, У. С. Хомец // Литейное производство. – 2015. – № 5. – С. 2–5.

6. Фесенко, М. А. Внутриформенное модифицирование для получения чугуновых отливок с дифференцированными структурой и свойствами [Текст] / М. А. Фесенко, А. М. Фесенко, В. А. Косячков // Литейное производство. – 2010. – № 1. – С. 7–13.

7. Фесенко, Е. В. Новый способ получения двухслойных отливок с износостойкой рабочей поверхностью и вязкой ударостойкой сердцевиной [Текст] / Е. В. Фесенко, М. М. Ямшинский, М. А. Фесенко // Metallurgiya mashinostroeniya. – 2016. – № 1. – С. 30–33.

8. Гарбер, М. Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация [Текст] / М. Е. Гарбер. – М.: Машиностроение, 2010. – 280 с.

9. Бубликов, В. Б. Высокопрочному чугуну – 60 [Текст] / В. Б. Бубликов // Литейное производство. – 2008. – № 11. – С. 2–8.

10. Костенко, Г. Д. Износостойкие биметаллические отливки на основе сплавов железа [Текст] / Г. Д. Костенко, О. А. Пеликан, Д. Г. Костенко // Metall и литье Украины. – 1998. – № 9-10. – С. 30–33.

11. Фесенко, А. Н. Получение двухслойных отливок из базового расплава чугуна способом промывки [Текст] / А. Н. Фесенко, М. А. Фесенко, В. А. Корсун, В. К. Мисько // Вісник ДДМА. – 2016. – № 1 (37). – С. 96–100.

12. Жижкина, Н. А. Исследование качества рабочего слоя прокатных валков [Текст] / Н. А. Жижкина // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2009. – Вип. 4/2009 (57). – С. 72–75.

13. Хрычиков, В. Е. Особенности процесса образования усадочной пористости в бочке чугуна прокатного валка [Текст] / В. Е. Хрычиков, Е. В. Меняйло, Ю. А. Мухомов, Д. В. Якимов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 6. – С. 35–40.

14. Гуцин, Н. С. Износостойкие легированные хромом чугуны со специальными свойствами [Текст] / Н. С. Гуцин, В. Н. Куликов, Ф. А. Нуралиев, В. А. Тахиров // *Литейное производство*. – 2015. – № 4. – С. 7–11.

#### References

1. 49-Census of World casting production (2015). *Modern casting*, 26–31.

2. Aleksandrov, N. N., Beh, N. I., Nuraliev, F. A., Radchenko, M. V. (2015). *Sovremennye konstrukcionnye materialy – kljuch k uskorennoj modernizacii predpriyatij*. *Litejnoe proizvodstvo*, 10, 6–12.

3. Hudokormov, D. N. (1987). *Proizvodstvo otlivok iz chuguna*. Minsk: Vyshnejshaja shkola, 197.

4. Smirnov, M. Ju. (2015). *Issledovanie litejnogo proizvodstva stran Skandinavii na primere otlivok nasosov*. *Litejnoe proizvodstvo*, 6, 36–39.

5. Eparhin, O. M., Alov, V. A., Popkov, A. N., Mel'nikov, A. P., Karpenko, M. I., Homec, U. S. (2015). *Povyshenie kachestva lityh iznosostojkijh detalej*. *Litejnoe proizvodstvo*, 5, 2–5.

6. Fesenko, M. A., Fesenko, A. M., Kosjachkov, V. A. (2010). *Vnutrifirmennoe modifitsirovanie dlja poluchenija chugunnych otlivok s differencirovannymi strukturoj i svojstvami*. *Litejnoe proizvodstvo*, 1, 7–13.

7. Fesenko, E. V., Jamshinskij, M. M., Fesenko, M. A. (2016). *Novyj sposob poluchenija dvouhslonnyh otlivok s iznosostojkoj rabochej poverhnost'ju i vjazkoj udarostojkoj serdcevinoy*. *Metallurgija mashinostroenija*, 1, 30–33.

8. Garber, M. E. (2010). *Iznosostojkie belye chuguny: svojstva, struktura, tehnologija, jekspluatacija*. Moscow: Mashinostroenie, 280.

9. Bublikov, V. B. (2008). *Vysokoprochnomu chugunu – 60*. *Litejnoe proizvodstvo*, 11, 2–8.

10. Kostenko, G. D., Pelikan, O. A., Kostenko, D. G. (1998). *Iznosostojkie bimetallicheskie otlivki na osnove splavov zheleza*. *Metall i lit'e Ukrainy*, 9-10, 30–33.

11. Fesenko, A. N., Fesenko, M. A., Korsun, V. A., Mis'ko, V. K. (2016). *Poluchenie dvouhslonnyh otlivok iz bazovogo rasplava chuguna sposobom promyvki*. *Visnik DDMA*, 1 (37), 96–100.

12. Zhizhkina, N. A. (2009). *Issledovanie kachestva rabocheho sloja prokatnyh valkov*. *Visnik KDPU im. M. Ostrogradskogo*, 4/2009 (57), 72–75.

13. Hrychikov, V. E., Menjajlo, E. V., Muxenkov, Ju. A., Jakimova, D. V. (2012). *Osobennosti processa obrazovanija usadochnoj poristosti v bochke chugunного prokatного valka*. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*, 6, 35–40.

14. Gushhin, N. S., Kulikov, V. N., Nuraliev, F. A., Tahirov, V. A. (2015). *Iznosostojkie legirovannye hromom chuguny so special'nymi svojstvami*. *Litejnoe proizvodstvo*, 4, 7–11.

*Дата надходження рукопису 15.06.2016*

**Фесенко Максим Анатолійович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: fesenkoma@mail.ru

**Лук'яненко Іван Віталійович**, аспірант, кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: i11031989@yandex.ru

**Фесенко Катерина Валеріївна**, кандидат технічних наук, інженер 1-ї категорії, кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: fesenkoev87@gmail.com

**Верховлюк Анатолій Михайлович**, доктор технічних наук, професор, кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: vam@ptima.kiev.ua