

Армування виливків за технологією лиття за моделями, що газифікуються

П. Б. Калюжний, кандидат технічних наук

В. А. Слюсарев

* Д. О. Калашник

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

* Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ

Наведено огляд методів виготовлення металевих композитних виливків, зокрема з використанням лиття за моделями, що газифікуються. Показані переваги застосування лиття за моделями, що газифікуються, для одержання литих макроармованих конструкцій із залізо-вуглецевих сплавів.

Стрімкий розвиток науки і техніки сприяє появі нових високопродуктивних механізмів і машин, які часто вимагають деталей з диференційованими властивостями. Наприклад, поєднання м'якої серцевини з твердим зовнішнім шаром, висока зносостійкість робочого шару, підвищена жаровиностійкість або теплопровідність поверхневого шару тощо. Отримання диференційованих властивостей в деталях можливе механічною або хіміко-термічною обробкою, литтям або комбінованими способами [1]. Однак, зона з'єднання частин виробів часто буває нестійкою і нещільною, що скорочує термін їх служби. Найбільшу надійність і довговічність виробів з диференційованими властивостями можна отримати методом лиття. У цьому випадку з'єднання шарів вилівка відбувається за рахунок їх підплавлення та взаємного дифузійного проникнення, що дозволяє використовувати виріб при високих механічних навантаженнях.

Значного розвитку набув спосіб відцентрового лиття біметалевих виливків, коли в ливарну форму послідовно заливається два метали зі спеціальними присадками для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей, а кристалізація сплавів відбувається в умовах дії відцентрових сил. При стаціонарному способі виробництва біметалевих виливків заливка другого шару металу в форму здійснюється після утворення кірки металу першого шару. Удосконалюються способи виробництва двошарових виливків із використанням роздільчої перегородки, коли, в одному варіанті, в ливарну форму з перегородкою заливають сплави різного хімічного складу. А в іншому варіанті [2], в форму заливається один базовий розплав, який проходячи через різні ливникові канали, модифікується необхідними присадками для отримання заданої структури і властивостей в кожній з частин вилівка.

Шляхом синтезу спеціальних способів лиття з'являються нові методи біметалевого лиття. Так суміщенням з литтям за моделями, що газифікуються (ЛГМ), за рідкофазним методом були виготовлені біметалеві вкладиші для кульового млина [3]. Виливок виготовлявся шляхом послідовної заливки двох сплавів – високохромистого чавуну та низьковуглецевої сталі – в форму з пінополістироловою моделлю через автономні ливникові системи. Дослідження області з'єднання біметалевого виливка показали, що два рідких метали не змішуються між собою, а їх спільна межа являє собою міцне металеве з'єднання. Отриманий композитний виливок після термообробки поєднував у собі високу твердість (> 61 HRC), високу корозійну зносостійкість, ударну в'язкість ($> 16,5$ Дж/см²) і міцність на згин (> 1600 МПа). Результати промислового випробування показали, що термін служби біметалевого вкладиша в 3 рази більший, ніж вкладиша, виготовленого з легованої сталі.

Останнім часом для поліпшення службових властивостей литих сплавів все частіше використовується метод, суть якого полягає в зміцненні (армуванні) литої заготовки елементами (арматурою), які можуть мати форму окремих дисперсних включень, макрочасток, стрижнів, волокон, сіток та інше. Питання армування сталевих і чавунних виливків і зміцнення їх поверхні розглядаються в роботах [4, 5], в яких відзначається підвищення службових характеристик виливків і їх поверхневих шарів.

Як армуючі елементи можуть застосовуватися металеві та неметалеві матеріали. Багато успішних досліджень стосується отримання литих композитів на основі алюмінію з керамічними імплантатами. Мала вивченість композитів з неметалевими частками на основі залізобуглецевих сплавів пов'язана з труднощами рівномірного розподілу неметалевих частинок в сплаві. Причиною цього є їх висока температура заливання, яка призводить до розпаду керамічних заготовок і неконтрольованого розподілу часток в об'ємі виливка. Однак є приклади успішних спроб одержання композитного чавунного виливка, армованого керамічними частками корунду (Al_2O_3), з високою зносостійкістю [6]. В даному прикладі рівномірний розподіл корунду в певній частині виливка досягнуто за рахунок застосування рідкого скла для з'єднання частинок в заготовку, яку установлювали в порожнину ливарної форми. Проте використання різного роду зв'язувальних компонентів для з'єднання армуючих частинок призводить до утворення сторонніх включень, які негативно позначаються на міжфазному з'єднанні матричний сплав – арматура, і як наслідок на службових властивостях композитного виливка.

Новим і перспективним напрямком армування виливків за ЛГМ-процесом є виготовлення пінополістиролових моделей з імплантатами, які спеціально вводяться в модель з полістиролу, тобто легуючими та модифікуючими добавками – порошкоподібними металевими присадками, які при випалюванні моделі переходять в метал виливків. Метод дозволяє керувати структурою та властивостями виливків, одержувати виливки з диференційованими за перетином властивостями і, в підсумку, створювати

новий клас виливків з функціональним поверхневим шаром – зносостійким, антифрикційним, корозійностійким [1]. Дослідження способу мікроармування за допомогою ЛГМ проводилися у ФТІМС НАН України [7, 8]. Наприклад, зміцнення алюмінієвого матричного сплаву інтерметалідом FeCr [7], порошок якого вводився в розплав через модель, що газифікується, показало ефективність методу. Армування твердими сталевими гранулами мідних сплавів за допомогою ЛГМ-процесу [8] дало змогу отримати композити з високою зносостійкістю. Стабільність і високу несучу здатність цих литих композитів в широкому інтервалі температур і навантажень забезпечує армуюча фаза, а пластична матриця сприяє утворенню на сполучених поверхнях трибосистеми розділових плівок, які знижують роботу тертя. Результати даних досліджень є підтвердженням перспективи виготовлення композитних виливків з диференційованими властивостями за ЛГМ-процесом.

Успішно застосовується також поверхнєве зміцнення виливків за моделями, що газифікуються. Для цього на поверхні пінополістиролової моделі наноситься покриття, яке містить легуючі елементи. Під час заливання металу відбувається фізико-хімічна взаємодія розплаву з легуючим покриттям, внаслідок чого формується шар, який має властивості, відмінні від основного металу. Перевагою ЛГМ для поверхневого зміцнення є простота у нанесенні покриття, оскільки воно наноситься на пінополістиролову модель, а не на формують поверхню форми, як при традиційному литті у піщані порожнисті форми. Наприклад, виготовлення чавунного виливка за моделями, що газифікуються, з поверхневим легуванням ванадієм [9] дозволило отримати на локальних поверхнях виливка твердість в межах 48 – 61 HRC, при цьому за рахунок використання ЛГМ вдалося зменшити трудомісткість виробництва композитного виливка.

Наразі більшість існуючих досліджень присвячена розробці композитів на основі алюмінію. Дослідження композитних матеріалів на основі залізобуглецевих сплавів носять епізодичний характер, але саме сталь та чавун для певних виробів не можуть бути замінені на інші композитні матеріали на базі кольорових металів чи сплавів. Крім того чавун є дешевим конструкційним матеріалом з хорошими ливарними властивостями, тому з економічної та технологічної точки зору доцільно виготовляти композитні деталі на основі чавуну.

Найбільш універсальною технологією одержання чавунних виливків широкої номенклатури та серійності є ЛГМ-процес, який забезпечує:

- високу геометричну точність виливків;
- високу якість поверхні виливків;
- порівняно невисоку вартість технологічного оснащення;
- відсутність застосування формувальних і стрижневих сумішей;
- відсутність застосування зв'язувальних матеріалів;
- економію матеріальних і енергетичних ресурсів на 35 – 40% порівняно з литтям в піщані порожнисті форми;
- високий ступінь автоматизації процесу;

- високу екологічну безпеку.

Таким чином з наведеного слідує, що ЛГМ має переваги для виготовлення композитних виливків із чавуну з армуючими елементами, головними з яких є наступні:

1. Наявність разової пінополістиролової моделі дозволяє спростити процес розміщення армуючих елементів в об'ємі виливка чи в його певній частині;

2. Висока точність способу ЛГМ дозволяє отримувати литі заготовки, які в подальшому можуть застосовуватися без механічної обробки, що є важливо для деталей зі зносостійкою поверхнею, яка дуже важко оброблюється;

3. Просторова необмеженість геометрії виливка, який одержують у формі з сухого піску, що не має роз'єму форми та стрижнів, дає можливість виготовляти складні фасонні конструкції з диференціацією властивостей в різних їх частинах.

Варіантами практичного застосування макроармування за ЛГМ є деталі з високою зносостійкою поверхнею (типу бурових долот, коронок). Відомо [10], що об'ємне армування бурових долот частинками твердого сплаву у вигляді пластин, брикетів або компонентів довільної форми, які містяться у спеціальних каркасах та розташовуються в порожнині ливарної форми, а потім заливаються розплавленим металом. Це дозволило підвищити стійкість і працездатність бурового інструменту. Однак, як відмічають самі ж автори, через велику трудомісткість та складність реалізації технологічного процесу об'ємне армування бурових долот не набуло широкого промислового використання. На нашу думку, об'ємне армування за технологією ЛГМ дозволить значно спростити технологічний процес, оскільки за рахунок використання одноразових моделей відпадає необхідність використання спеціальних каркасів для армуючих елементів. У випадку ЛГМ армуючі елементи розміщують в пінополістироловій моделі в робочій частині деталі, а основна частина долота при цьому виготовляється з високоміцного чавуну або вуглецевої сталі.

Іншим варіантом застосування макроармування є литі композитні деталі зміцнені армуючими елементами у вигляді сіток, волокон чи стрижнів. Відомо [4], що використання сталеві сітки для армування чавунних виливків дає можливість отримувати литі заготовки з сірого чавуну, механічні властивості яких подібні механічним властивостям виливків із легованого чавуну. Так при армуванні чавуну СЧ20 дротовою сіткою можна збільшити тимчасовий опір розриву, σ_b до 400 – 500 МПа.

Наприклад, деталі трубопровідної арматури, робочий тиск яких становить понад 3,0 МПа, виготовляються наразі зі сталі. Це обумовлено певними вимогами до в'язкості, міцності та пластичності сплаву. Якщо армувати чавун з кулястим графітом сіткою зі сталі, то можна добитися необхідних властивостей і при цьому знизити вартість виготовлення виробу.

Макроармування в технологіях лиття за моделями, що газифікуються, є перспективним технологічним процесом і потребує подальших досліджень для прогнозування необхідних властивостей у армованому виливку.

Проведений огляд показує очевидні переваги застосування цього методу лиття для виготовлення широкої номенклатури литих сталевих виробів з високою конструктивною міцністю і експлуатаційними властивостями.

Література

1. Пупань Л.И., Кононенко В.И. Перспективные технологии получения и обработки материалов. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 261 с.
2. Фесенко М.А., Косячков В.А, Фесенко А.Н., Фесенко Е.В. Получение двухслойных и двухсторонних чугуновых отливок методом внутрiformенного модифицирования расплава // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2014. – №1 (32). – С. 149–152.
3. Xiao Xiaofeng, Ye Shengping, Yin Weixin, Zhou Xiaoguang, Xue Qiong. High Cr white cast iron / carbon steel bimetal liner by lost foam casting with liquid-liquid composite process. China Foudry, 2012. – 10. No. 2, 136 – 142.
4. Ефимов В.А. Специальные способы литья. Справ. / Под. общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
5. Марукович Е.И., Карпенко М.И. Износостойкие сплавы. – М.: Машиностроение, 2005. – 482 с.
6. A. Dulska, A. Studnicki, J. Szajnar. Reinforcing cast iron with composite insert. Archives of Metallurgy and Materials – 2017. – Vol. 6. – Issue 1. – С. 355 – 357.
7. Гаврилюк В.П., Шинский О.И., Ткачук И.В., Небожак И.А. Исследование возможности получения монолитных износостойких композиционных отливок с износостойким композиционным слоем по ЛГМ-процессу // Процессы литья. – 2000. – №3. – С. 86 – 91.
8. Shinsky O.I. New Directions in the Theory and Practice of Lost Foam Process. 62 Int. Foundry Congress, Philadelphia, 1996. – ref. 31. – P. 1 – 10.
9. Zhu Zheng, Song Hui, Xu Guo. Study on Vanadizing Process on the Surface of Evaporation Cast Iron. Foundry Technology. – 2006. – No. 1. – P. 8 – 10.
10. Шуляр І.О. Технологічні шляхи підвищення якості армованої зони виливків бурового інструменту // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2013. – № 1 (63). – С. 74 – 81.

References

1. Pupan' L.I., Kononenko V.I. Perspektivnye tehnologii poluchenija i obrabotki materialov: Ucheb. posobie [Perspective technologies of obtaining and processing of materials]. Kharkiv: NTU «KPI», 2008, 261 p. [in Russian].
2. Fesenko M.A., Kosjachkov V.A, Fesenko A.N., Fesenko E.V. Poluchenie dvuhstojnyh i dvuhstoronnih chugunnych otlivok metodom vnutriformennogo modifitsirovanija rasplava [Preparation of two-layer and double-sided cast iron castings in-mold melt modification method]. Visnyk Donbas'koi derzhavnoi mashynobudivnoi akademii [Bulletin of the Donbass State Engineering Academy], 2014, No. 1 (32), 149–152 [in Russian].
3. Xiao Xiaofeng, Ye Shengping, Yin Weixin, Zhou Xiaoguang, Xue Qiong. High Cr white cast iron / carbon steel bimetal liner by lost foam casting with liquid-liquid composite process. China Foudry. – 2012. – Vol. 10. – No. 2. – P. 136 – 142.

4. Efimov V. A. Special'nye sposoby lit'ja: Spravochnik [Special methods of casting]. Moscow: Mashinostroenie, 1991, 736 p. [in Russian].
5. Marukovich E.I., Karpenko M.I. Iznosostojkie splavy [Wear-resistant alloys]. Moscow: Mashinostroenie, 2005. – 482 p. [in Russian].
6. A. Dulaska, A. Studnicki, J. Szajnar. Reinforcing cast iron with composite insert. Archives of Metallurgy and Materials. – 2017. – Vol. 6. – Issue 1. – P. 355 – 357.
7. Gavriljuk V.P., Shinsky O.I., Tkachuk I.V., Nebozhak I.A. Issledovanie vozmozhnosti poluchenija monolitnyh iznosostojkih kompozicionnyh otlivok s iznosostojkim kompozicionnym sloem po LGM-processu [Investigation of the possibility of obtaining monolithic wear-resistant composite castings with a wear-resistant composite layer by LFC-process]. Processy lit'ja [Casting Processes], 2000, No. 3, 86-91 [in Russian].
8. Shinsky O.I. i in. New Directions in the Theory and Practice of Lost Foam Process. 62 Int. Foundry Congress, Philadelphia 1996, ref. 31, 1-10.
9. Zhu Zheng, Song Hui, Xu Guo. Study on Vanadizing Process on the Surface of Evaporation Cast Iron. Foundry Technology, 2006, No. 1, 8-10.
10. Shuliar I.O. Tekhnolohichni shliakhy pidvyschennia iakosti armovanoi zony vylyvktiv burovoho instrumentu [Technological ways to improve the quality of the reinforced zone of the drilling tool casting]. Visnyk Chernihivs'koho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu [Bulletin of the Chernihiv State Technological University], 2013, No. 1 (63), 74-81 [in Ukrainian].

Одержано 24.11.17

П. Б. Калюжный, В. А. Слюсарев, Д. А. Калашник

Армирование отливок по технологии литья по газифицируемым моделям

Резюме

Рассмотрены Р методы изготовления металлических композитных отливок, в частности с использованием литья по газифицируемым моделям. Показаны преимущества применения литья по газифицируемым моделям для получения литых макроармированных конструкций из железоуглеродистых сплавов.

P. B. Kaliuzhnyi, V. A. Sliusarev, D. O. Kalashnyk

Casting reinforcement by lost-foam casting technology

Summary

The review of manufacturing methods of metal composite castings, in particular with use of lost-foam casting is given. The advantages of using lost-foam casting for producing cast macro-reinforced structures of iron-carbon alloys are shown.