

УДК 621.745.55

DOI: 10.20535/1810-0546.2017.6.98850

О.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинський*, Г.Є. Федоров

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

ВИРОБНИЦТВО ВИЛИВКІВ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПОВЕРХНІ

Problems. Surface layers get the most intensive external influences during the operation of molded parts of machines and mechanisms, therefore their structure and properties determine the operability of products as a whole. To achieve high surface strength and durability of parts, various technological processes are used in the industry, but most of them do not make it possible to obtain a surface layer with the desired properties of the required thickness. In this case, more promising can be the technological process of surface alloying (the manufacture of products with differentiated surface properties).

Objective. The aim of the paper is to develop a technological process for the production of castings with specified surface properties.

Methods. Each core was coated with an alloying coating, coated cores were dried in the air during the day, the mold and cores were heated and collected just before pouring them with metal.

Results. It is necessary to use ferromanganese, ferrotitanium and ferrochrome for the manufacture of wear-resistant parts, which allow obtaining on the casting surface an alloyed layer with a thickness up to 12 mm and hardness up to 68 NRA. Such process parameters fully meet the operational requirements for products that operate under abrasive or water abrasion wear.

Conclusions. To increase the hardness of the working surfaces, certain chemical elements, ferroalloys and chemical compounds such as carbides, borides and nitrides can be used as fillers of alloying coatings.

Keywords: surface alloying; structure; phase composition; steel.

Вступ

До литих деталей сучасних машин і механізмів, які працюють у різних агресивних середовищах, висуваються підвищені вимоги щодо твердості, зносостійкості, стійкості проти корозії та ерозії за різних температур тощо. Строк експлуатації окремих литих деталей значною мірою визначає надійність машин і механізмів та їх продуктивність [1].

Аналізом експлуатації великої кількості литих деталей машин і механізмів, які працюють в умовах інтенсивного зносу, високих температур й агресивних середовищ (теплоенергетика, металургія, гірничо-збагачувальна, хімічна та інші галузі) установлено, що технології їх виготовлення з використанням об'ємного легування металу не завжди себе виправдовують, а у багатьох випадках і недоцільні, оскільки у таких деталях поверхневий шар лише невеликої товщини зношується, окиснюється або пошкоджується в процесі експлуатації. Це призводить до невиправданих витрат дорогих високолегованих сплавів. Наприклад, аналізом показників витрат металу на одиницю виробленої електроенергії тепловими електростанціями України установлено, що протягом року безповоротно втрачаються тисячі тонн металу литих деталей

високої собівартості. Очевидно, що в цих випадках здебільшого достатньо було б забезпечити високі експлуатаційні характеристики лише робочих поверхонь таких деталей.

Для досягнення високої поверхневої міцності та зносостійкості литих деталей у машинобудуванні використовують різні види оброблення: термічне, хіміко-термічне, лазерне тощо. Часто застосовують електрохімічні покриття та наплавлення на поверхні виробів металу зі спеціальними властивостями. Проте багатьма з цих методів не вдається одержати шар із потрібними властивостями товщиною понад 0,3 мм. Така товщина недостатня особливо для тривалої експлуатації великих деталей. За даними [2], товщина поверхневого шару із спеціальними властивостями має бути не менше 5–10 мм. Наплавленням на поверхні деталі можна одержати шар такої товщини, але цей процес дуже трудомісткий, дорогий, і, крім того, на деяких поверхнях деталей наплавлення металу здійснити практично неможливо.

Для вирішення цієї проблеми перспективними можуть бути способи виробництва виливків із нелегованих сплавів на основі заліза з поверхневим композиційним або легованим шаром, який утворюється під час формування вилівка в ливарній формі.

*corresponding author: yamshinskiy@iff.kpi.ua

У цій роботі досліджено перспективність одержання легованого шару максимальної товщини із потрібними властивостями поверхневим легуванням окремими хімічними елементами та їх сумішами. Суть цього методу полягає в тому, що на робочі поверхні ливарної форми або стрижня під час виготовлення виливків, які працюють, наприклад, в умовах інтенсивного зносу, наносять легувальні покриття у вигляді фарб, паст, облицювального шару або використовують твердосплавні вставки. Залитий у форму метал у першому випадку взаємодіє з легувальним покриттям, унаслідок чого поверхня виливка насичується відповідними елементами з утворенням заданої структури [3, 4], а в другому випадку вставки заливаються металом і міцно утримуються в ньому під час експлуатації литої деталі. Перша технологія дає можливість отримувати на поверхнях виливків легований шар, який міцно з'єднаний із основним металом і має високий опір зносу або чинить опір високим температурам і агресивним середовищам. Порівняно з іншими способами підвищення властивостей поверхні виробів цей процес має певні переваги, а під час виготовлення деталей із робочими поверхнями, які не піддаються механічному обробленню, – найбільш ефективний [5–8].

Проте під час виготовлення виливків із поверхневим легованим шаром необхідної товщини слід враховувати безліч факторів: температуру сплаву, що заливається у форму, яка має бути достатньо високою, щоб відбувалося розплавлення й розчинення легувального покриття під дією тепла рідкого металу; товщину легувального покриття, яке має визначатися температурою його плавлення, гранулометричним складом наповнювача, властивостями зв'язувального компонента тощо [9–11].

Крім того, необхідною умовою для утворення легованого шару необхідної товщини, має бути тривалий контакт основного металу в рідкому стані з легувальним покриттям. Провідними процесами формування легованого шару в цьому випадку можуть бути розплавлення й розчинення легувального покриття, а також фільтрація основного металу через покриття. Виходячи із цього положення, можна запропонувати два механізми поверхневого легування виливків у формі, які можуть здійснюватися одночасно або окремо один від одного:

- якщо температура плавлення легувального покриття нижча за температуру основного металу, що заливається у форму, то утворення

легованого шару здійснюється внаслідок розплавлення покриття, його перемішування з основним металом і подальшими дифузійними процесами;

- якщо температура плавлення легувального покриття вища за температуру основного металу, то легований шар може формуватися внаслідок проникнення розплаву в пори покриття з подальшими дифузійними процесами перенесення легувальних елементів із покриття в основу металу й часткового розчинення компонентів покриття.

Очевидно, що поверхнєве легування виливків доцільно здійснювати нанесенням на робочі поверхні форм і стрижнів легувальних покриттів, температура плавлення яких має бути нижчою температури, що заливається у форму. Для виробництва великих товстостінних виливків можна використовувати вставки з тугоплавких матеріалів, які є побічним продуктом, наприклад під час виготовлення твердосплавної оснастки.

Постановка задачі

Метою роботи є розроблення нового способу виробництва виливків із заданими диференційованими властивостями поверхні. Для досягнення цієї мети необхідно вибрати ефективні феросплави для приготування легувальних покриттів, дослідити процеси взаємодії рідкого металу з шаром легувального покриття, нанесеного на робочу поверхню ливарної форми або стрижня, й установити основні закономірності формування легованого шару на поверхні виливка та перехідної зони.

Методика дослідження

На підставі аналізу геометрії та габаритних розмірів литих деталей машин і механізмів, які піддаються інтенсивному зносу, встановлено, що середня товщина стінок виливків знаходиться в межах 30–40 мм, тому для вивчення процесів поверхневого легування використано зразки з розмірами 85×35×40 мм, які мають спеціальні переходи для полегшення процесу відокремлення їх від загального блока. Для приготування легувальних покриттів використовували метали, феросплави та їх механічні суміші. Товщину легувального покриття змінювали від 3 до 7 мм, користуючись спеціальними рамками необхідної висоти. Стрижні з нанесеним покриттям підсушували на повітрі протя-

гом доби з подальшим підігріванням у камерній сушарці. Напівформи сушили в сушарці за температури 200–220 °С протягом 4 год. Складання форм виконували за температури 40–50 °С безпосередньо перед заливанням їх металом. Таку ж температуру мали й стрижні. Як метал основи в дослідях використовували середньовуглецеву ливарну сталь 30Л.

Основні результати досліджень

У роботі досліджено вплив окремих хімічних елементів у вигляді феросплавів на процеси виготовлення виливків із диференційованими властивостями поверхні використанням поверхневого легування в ливарній формі.

Марганець. Як уже відзначалось, для приготування легувальних покриттів можна використовувати чисті метали, феросплави та їх суміші з температурою плавлення, нижчою температури плавлення вуглецевої сталі. Досліджено зміну товщини легованого шару залежно від товщини легувального покриття, виготовленого з використанням низьковуглецевого ФМн1,5 і високовуглецевого ФМн78А феромарганцю приблизно з однаковим вмістом марганцю (фракція 0315). Результати досліджень показано на рис. 1.

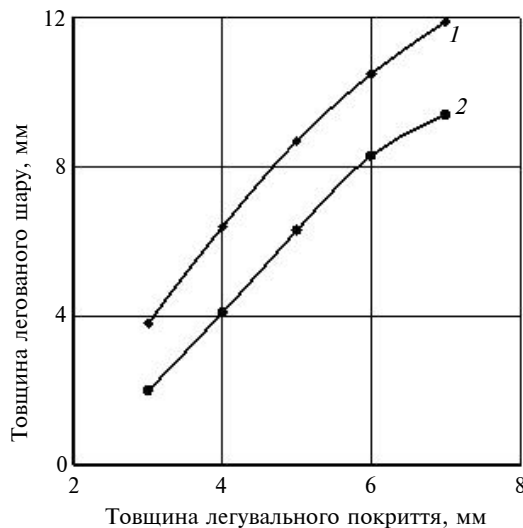


Рис. 1. Зміна товщини легованого шару залежно від товщини легувального покриття: 1 – ФМн78А; 2 – ФМн1,5

Установлено, що максимальну товщину легованого шару можна одержати, використовуючи як наповнювач легувальне покриття, високовуглецевий феромарганець ФМн78А. За

товщини легувального покриття 7 мм товщина легованого шару досягає 12 мм.

Це пояснюється низькою температурою плавлення покриття, що сприяє практично повному його використанню, тобто повному розплавленню й змішуванню з поверхневим шаром металу основи.

Такий же характер зміни товщини легувального шару залежно від товщини легувального покриття зберігається й для низьковуглецевого феромарганцю ФМн1,5. Проте товщина легованого шару дещо зменшується, хоча залишається досить високою (9,5 мм за товщини покриття 7 мм). Зменшення товщини легованого шару можна пояснити деяким підвищенням температури плавлення такого феромарганцю, внаслідок чого не все легувальне покриття розплавляється під дією тепла розплаву, хоча температура розплаву перед заливанням у формі залишається сталою.

Отже, можна зробити висновок, а разом із тим і дати рекомендацію: для зносостійкого поверхневого легування з економічного боку краще використовувати дешевий високовуглецевий феромарганець, який забезпечує стабільність процесу поверхневого легування й сприяє утворенню надійного легованого шару значної товщини.

Практичний інтерес становить зміна твердості легованого шару по його товщині. Результати досліджень залежності твердості легованого покриття від товщини легованого шару для ФМн78А показано на рис. 2.

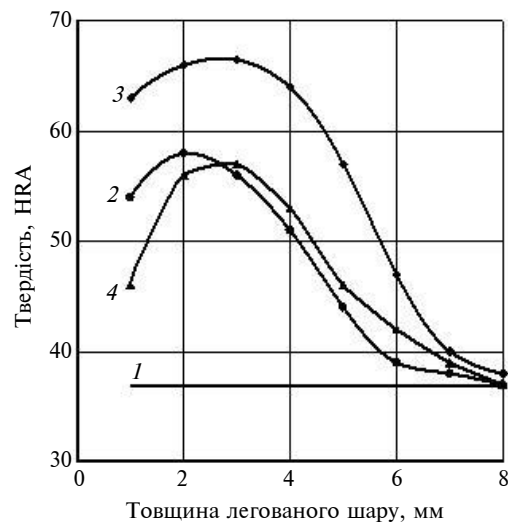


Рис. 2. Вплив феромарганцю (ФМн78А) на твердість легованого шару: 1 – твердість основи; 2 – фракція 02; 3 – фракція 0315; 4 – фракція 04

Установлено, що максимальна твердість легованого шару має місце після використання феромарганцю фракції 0315 і досягає 68 HRA. Це майже вдвічі більше, ніж твердість основи. Дещо менші значення твердості мають місце після використання фракцій цього ж феромарганцю 02 та 04 (див. рис. 2).

Такий вплив марганцю на зміну твердості залежно від фракції феромарганцю можна, очевидно, пояснити так: під час використання фракції 0315 одночасно відбуваються процеси розплавлення легувального покриття та проникнення рідкого металу в капіляри легувального покриття з подальшим розплавленням та утворенням карбідів марганцю (Mn_3C), складних карбідів заліза й марганцю ($FeMn_3C$) і твердого розчину, що й сприяє істотному підвищенню твердості легованого шару. Співвідношення карбідів заліза та марганцю до твердого розчину для таких сплавів знаходиться на рівні 1:3.

Під час використання фракції 02 здійснюється розплавлення легувального покриття, починаючи з його поверхні (просочування покриття розплавом мінімальне), а тому структуроутворення зсувається в бік збільшення твердого розчину. Під час використання фракції 04 на перше місце виходять процеси просочування легувального покриття рідким металом з утворенням твердого розчину, внаслідок чого твердість легованого шару посідає проміжне значення.

За зміною твердості можна з певною достовірністю визначити товщину легованого шару разом із його перехідною зоною.

Отже, для одержання максимальної твердості легованого шару та його товщини під час використання високовуглецевого феромарганцю ФМн78А як наповнювача легувального покриття необхідно використовувати фракцію 0315.

Титан. Відомо, що титан належить до елементів, які одночасно утворюють твердий розчин, карбіди, нітриди, оксиди, та сприяє дисперсійному твердненню залізвуглецевих сплавів. Очевидно, що теоретичний і практичний інтерес титан становить як компонент легувального покриття.

Досліджено вплив феротитану ФТи30А фракцій 02, 0315 і 04 на процес утворення легованого шару та його твердість. Результати досліджень показано на рис. 3.

Як і під час використання феромарганцю, установлено, що максимальну твердість має легований шар товщиною близько 8 мм, який утворюється після використання феротитану ФТи30А фракції 0315. Твердість легованого

шару досягає 58 HRA, що вище в 1,5 разу твердості основи металу.

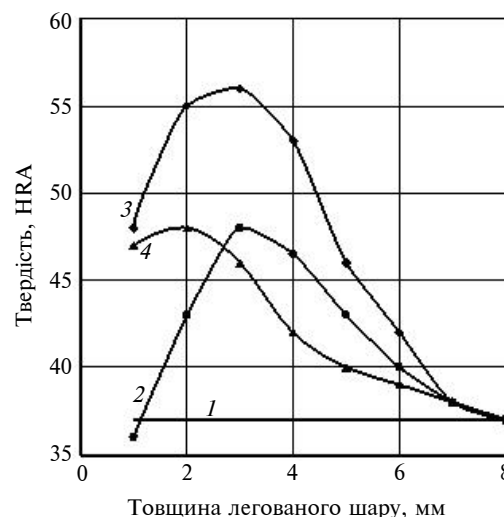


Рис. 3. Вплив феротитану (ФТи30А) на твердість легованого шару: 1 – твердість основи; 2 – фракція 02; 3 – фракція 0315; 4 – фракція 04

Під час використання фракції 02 твердість на поверхні легованого шару дещо нижча основи, очевидно внаслідок утворення легованого титаном фериту. З ростом товщини шару збільшується кількість карбонітридів титану в легованому шарі, й твердість його підвищується. Така ж залежність зберігається під час використання феротитану фракції 0315.

Отже, для одержання максимальної твердості легованого шару, утвореного після використання феротитану, легувальне покриття необхідно виготовляти на основі фракції 0315.

Хром. Хром належить до елементів, які утворюють із залізом безперервний ряд розчинів і складні карбіди. За даними [1, 4], хром може істотно підвищувати твердість легованого шару. Промисловістю випускається велика гама ферохромів із різним вмістом вуглецю, а значить, і з різною температурою плавлення, тому в роботі використано як наповнювач легувального покриття високовуглецевий ферохром ФХ800А. Результати досліджень показано на рис. 4.

Як і для попередніх легувальних елементів (марганцю і титану), зміна твердості легованого шару відбувається за такими ж законами. Різниця полягає тільки в тому, що ферохром ФХ800А має меншу температуру плавлення, тому більше розчиняється в рідкому металі основи, утворює складні карбіди й сприяє підвищенню твердості до 64 HRA (див. рис. 4).

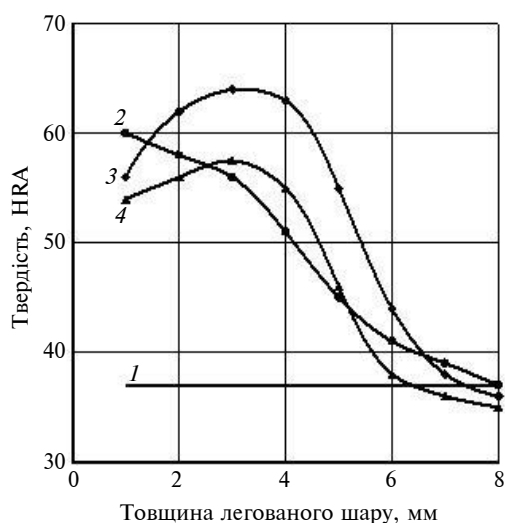


Рис. 4. Вплив ферохрому (ФХ800А) на твердість легованого шару: 1 – твердість основи; 2 – фракція 02; 3 – фракція 0315; 4 – фракція 04

Висновки

Виробництво литих деталей, які працюють в умовах інтенсивного зносу, можна здійснювати з використанням технологічних процесів поверхневого легування, тобто виготовляти вироби з диференційованими властивостями поверхні або окремих їх частин. Процеси дають можливість істотно економити дорогі феросплави, які використовуються під час об'ємного легування сплавів.

Для виготовлення зносостійких деталей слід використовувати феромарганець, феротитан і ферохром, які дають змогу одержувати на поверхні виливків легований шар товщиною до 12 мм із твердістю до 68 HRa. Такі параметри процесу повною мірою відповідають експлуатаційним вимогам до виробів, які працюють в умовах абразивного або гідроабразивного зносу.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні методології отримання виливків із диференційованими властивостями поверхні за допомогою тугоплавких металів та їх механічних сумішей.

Список літератури

1. *Технология* нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на стальные детали / М.А. Гурьев, Д.С. Фильчаков, И.А. Гармаева та ін. // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1. – С. 73–78.
2. *Мартюшев Н.В.* О возможности легирования поверхности отливок нанопорошками // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. – С. 122–129.
3. *Ямшинський М.М., Федоров, Г.Є., Платонов Є.О.* Сучасні технологічні аспекти виготовлення виливків із диференційованими властивостями поверхні // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2004. – № 6. – С. 21–26.
4. *Гурьев М.А., Околович Г.А.* Поверхностное упрочнение стальных деталей при литье по газифицируемому моделям // Ползуновский вестник. – 2010. – № 2. – С. 102–106.
5. *Olawale S.F., Olaitan L.A., Abiodun S.A.* Optimization of carburized UNS G10170 steel process parameters using taguchi approach and response surface model (RSM) // J. Minerals Mater. Characterization Eng. – 2014. – 2, № 6. – P. 566–578.
6. *Sigma phase formation and embrittlement of cast iron-chromium-nickel (Fe-Cr-Ni) alloys* / A.M. Babakr, A. Al-Ahmari, K. Al-Jumayyah, F. Habiby // J. Minerals Mater. Characterization Eng. – 2008. – 7, № 2. – P. 127–145.
7. *Совершенствование* технологии изготовления отливок с дифференцированными свойствами поверхности / М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров, Е.А. Платонов, А.Е. Кузьменко // Вісник ДДМА. – 2006. – № 3. – С. 14–19.
8. *Moreira R.R., Soares T.F., Ribeiro J.* Electrochemical investigation of corrosion on AISI 316 stainless steel and AISI 1010 carbon steel: Study of the behaviour of imidazole and benzimidazole as corrosion inhibitors // Adv. Chem. Eng. Sci. – 2014. – 4, № 4. – P. 503–514.
9. *Raj A.K.* On high-temperature materials: A case on creep and oxidation of a fully austenitic heat-resistant superalloy stainless steel sheet // J. Materials. – 2013. – 2013. – Article ID 124649.
10. *Oliver D.C., Sephton M.* External corrosion resistance of steel and ferritic stainless steel exhaust systems // J. South African Institute of Mining and Metallurgy. – 2003. – March. – P. 93–100.
11. *Исследование* связующих компонентов обмазки для поверхностного легирования отливок в форме / М.М. Ямшинский, В.Г. Могилатенко, И.А. Власюк, Т.В. Бурлака // Металл и литье Украины. – 2012. – № 9. – С. 17–20.
12. *Corrosion* resistance of sintered duplex stainless steel evaluated by electrochemical method / L.A. Dobrzański, Z. Brytan, M. Actis Grande, M. Rosso // J. Achiev. Materials Manufacturing Eng. – 2006. – 19, № 1. – P. 38–45.

References

- [1] M.A. Guriev *et al.*, “The technology of applying multi-hardening coatings on steel parts”, *Polzunovskij Vestnik*, no. 1, pp. 73–78, 2012 (in Russian).
- [2] N.V. Martyushev, “On the possibility of doping the surface of castings nanopowders”, *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovanija*, no. 4, pp. 122–129, 2013 (in Russian).
- [3] M.M. Yamshinskij *et al.*, “Modern technological aspects of manufacturing castings from differentiated surface properties”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 6, pp. 21–26, 2004 (in Ukrainian).
- [4] M.A. Guriev and G.A. Okolovich, “Surface hardening of steel parts with lost foam casting”, *Polzunovskij Vestnik*, no. 2, pp. 102–106, 2010 (in Russian).
- [5] O.S. Fatoba *et al.*, “Optimization of carburized UNS G10170 steel process parameters using taguchi approach and response surface model (RSM)”, *J. Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 2, no. 6, pp. 566–578, 2014. doi: 10.4236/jmmce.2014.26058
- [6] A.M. Babakr *et al.*, “Sigma phase formation and embrittlement of cast iron-chromium-nickel (Fe-Cr-Ni) alloys”, *J. Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 127–145, 2008. doi: 10.4236/jmmce.2008.72011
- [7] M.M. Yamshinskij *et al.*, “Improving the production of castings technology with differentiation properties of the surface”, *Visnyk DDMA*, no. 3, pp. 14–19, 2006 (in Ukrainian).
- [8] R.R. Moreira *et al.*, “Moreira. Electrochemical investigation of corrosion on AISI 316 stainless steel and AISI 1010 carbon steel: Study of the behaviour of imidazole and benzimidazole as corrosion inhibitors”, *Adv. Chem. Eng. Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 503–514, 2014. doi: 10.4236/aces.2014.44052
- [9] A.K. Raj, “On high-temperature materials: a case on creep and oxidation of a fully austenitic heat-resistant superalloy stainless steel sheet”, *J. Materials*, vol. 2013, Article ID 124649, 2013. doi: 10.1155/2013/124649
- [10] D.C. Oliver and M. Sephton, “External corrosion resistance of steel and ferritic stainless steel exhaust systems”, *J. South African Institute of Mining and Metallurgy*, March, pp. 93–100, 2003.
- [11] M.M. Yamshinskij *et al.*, “The Exploration of coating binders for surface alloying of castings in the form”, *Metall i Lit'e Ukrainy*, no. 9, pp. 17–20, 2012 (in Ukrainian).
- [12] L.A. Dobrzański *et al.*, “Corrosion resistance of sintered duplex stainless steel evaluated by electrochemical method”, *J. Achiev. Materials Manufacturing Eng.*, vol. 19, no. 1, pp. 38–45, 2006.

О.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров

ОТРИМАННЯ ВИЛИВКІВ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПОВЕРХНІ

Проблематика. Під час експлуатації литих деталей машин і механізмів найінтенсивнішим зовнішнім впливом піддаються поверхневі шари, тому саме їх структура й властивості визначають працездатність виробів у цілому. Для досягнення високої поверхневої міцності та зносостійкості деталей у промисловості використовують різні технологічні процеси, проте більшість із них не дають змоги одержати поверхневий шар із потрібними властивостями необхідної товщини. У цьому разі перспективним може бути технологічний процес поверхневого легування, тобто виготовлення виробів із диференційованими властивостями поверхні.

Мета дослідження. Розроблення технологічного процесу виробництва виливків із заданими властивостями поверхні.

Методика реалізації. На кожний стрижень наносили легувальне покриття. Стрижні з нанесеним покриттям протягом доби підсушували на повітрі. Форму та стрижні підігрівали та складали безпосередньо перед заливанням їх металом.

Результати досліджень. Для виготовлення зносостійких деталей слід використовувати феромарганець, феротитан і ферохром, які дають змогу одержувати на поверхні виливків легований шар товщиною до 12 мм із твердістю до 68 HRA. Такі параметри процесу повною мірою відповідають експлуатаційним вимогам до виробів, які працюють в умовах абразивного або гідроабразивного зносу.

Висновки. Для підвищення твердості робочих поверхонь як наповнювачі легувальних покриттів можна використовувати окремі хімічні елементи, феросплави та хімічні сполуки: карбіди, бориди і нітриди.

Ключові слова: поверхневе легування; структура; фазовий склад; сталь.

А.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров

ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПОВЕРХНОСТИ

Проблематика. Во время эксплуатации литых деталей машин и механизмов наиболее интенсивным внешним воздействием подвергаются поверхностные слои, поэтому именно их структура и свойства определяют работоспособность изделий в целом. Для достижения высокой поверхностной прочности и износостойкости деталей в промышленности используют различные технологические процессы, однако большинство из них не дают возможности получить поверхностный слой с нужными свойствами необходимой толщины. В этом случае перспективным может быть технологический процесс поверхностного легирования, то есть изготовление изделий с дифференцированными свойствами поверхности.

Цель исследования. Разработка технологического процесса изготовления отливок с заданными свойствами поверхности.

Методика реализации. На каждый стержень наносили легирующее покрытие. Стержни с нанесенным покрытием в течение суток подсушивали на воздухе. Форму и стержни подогревали и собирали непосредственно перед заливкой их металлом.

Результаты исследований. Для изготовления износостойких деталей необходимо использовать ферромарганец, ферротитан и феррохром, которые позволяют получить на поверхности отливки легируемый слой толщиной до 12 мм с твердостью до 68 HRA. Такие параметры процесса в полной мере соответствуют эксплуатационным требованиям к изделиям, которые работают в условиях абразивного или гидроабразивного износа.

Выводы. Для повышения твердости рабочих поверхностей в качестве наполнителей легирующих покрытий можно использовать отдельные химические элементы, ферросплавы и химические соединения: карбиды, бориды и нитриды.

Ключевые слова: поверхностное легирование; структура; фазовый состав; сталь.

Рекомендована Радою
інженерно-фізичного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
13 квітня 2017 року