

# Ковальчук О.Г.

(Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ)

ПОВЕРХНЕВЕ ЛЕГУВАННЯ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ

E-mail: alex-kovalchuk@email.ua

## Анотація

*У статті розглядаються методи отримання виливків з диференційними властивостями поверхні, отриманих поверхневим легуванням при литті. Утворення легованого шару відбувається в результаті взаємодії розплавленого металу з легувальним покриттям, який нанесений на поверхню ливарної форми.*

**Ключові слова:** : поверхнєве легування, структура, фазовий склад, сталь.

До деталей сучасних машин і механізмів пред'являються підвищені вимоги щодо твердості, стійкості проти корозії і ерозії в різних агресивних середовищах та ін. Більшість таких деталей виготовляють з використанням литих заготовок, тобто виливків. Термін служби окремих литих деталей в значній мірі визначає надійність машин і їх продуктивність [1].

Під час експлуатації деталей машин найбільш інтенсивним зовнішнім впливам піддаються поверхневі шари, тому найчастіше структура і властивості саме поверхневих шарів дають змогу визначити вплив на працездатність виробів в цілому.

Для досягнення високої поверхневої міцності і зносостійкості литих деталей в машинобудуванні використовують різні види оброблення: термічне, хіміко-термічне, лазерне та ін., а також застосовують електрохімічні покриття і наплавлення на поверхні виробів металу із спеціальними властивостями. Проте багатьма з цих методів не вдається одержати шар з потрібними властивостями завтовшки більше 0,3 мм, що недостатньо, особливо для тривалої експлуатації крупних деталей. За даними [2] товщина поверхневого шару із спеціальними властивостями повинна 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.

Перспективними методами покращення може бути в якості деталей виробництво виливків із нелегованих сплавів на основі заліза з поверхневим композиційним або легованим шаром, який утворюється під час формування виливка в ливарній формі.

Одержання шару із потрібними властивостями такої товщини поверхневим легуванням вивчена в даній роботі. Суть цього методу полягає у тому, що на робочі поверхні форми або стрижня при виготовленні виливків, які працюють, наприклад,

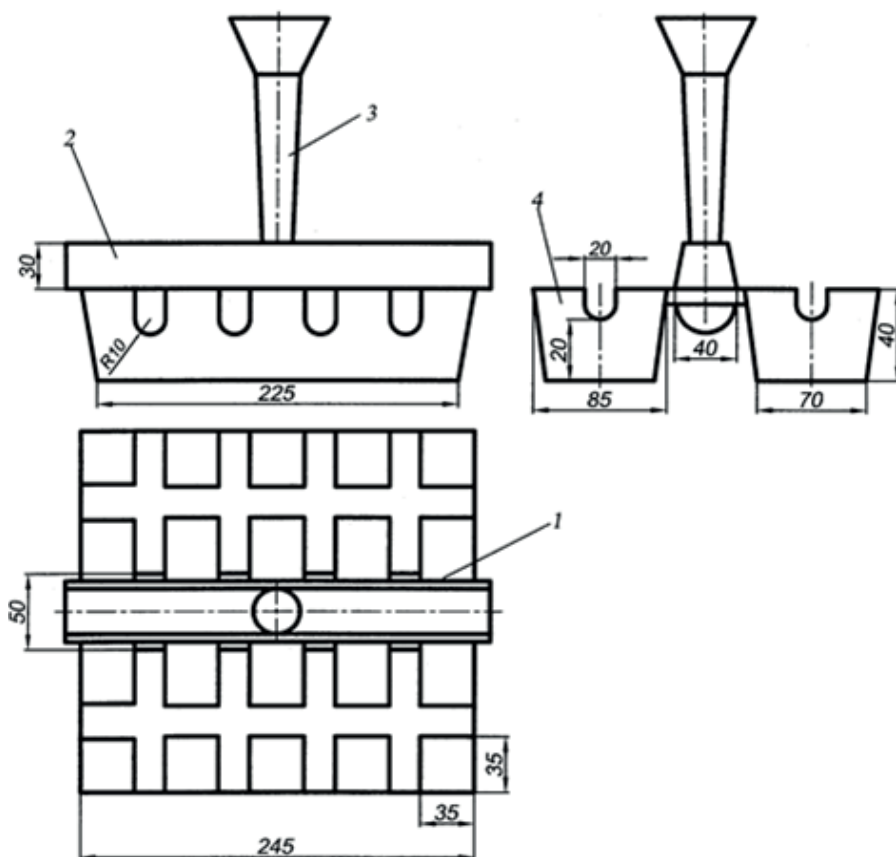
в умовах інтенсивного зносу, наносять легувальні покриття у вигляді фарб, паст, облицювального шару або використовують вставки, наповнювачами яких є відповідні легувальні елементи або їх суміші. Залитий у форму метал взаємодіє з легувальним покриттям, внаслідок чого поверхня виливка насичується відповідними елементами із утворенням вимогової структури [3, 4].

Така технологія на поверхнях виливків легований шар, який міцно з'єднаний із основним металом і має високий опір зносу або високотемпературній корозії. У порівнянні з іншими способами підвищення поверхневої міцності цей процес має певні переваги, а при виготовленні деталей із робочими поверхнями, які не піддаються механічному обробленню – найбільш ефективний [5-8].

На підставі аналізу геометрії та розмірів литих деталей машин і механізмів, які піддаються інтенсивному зносу або окисленню, встановлено, що середня товщина стінок виливків знаходиться у межах 30...40 мм. Тому для вивчення процесів поверхневого легування вибрані зразки з пережимами розмірами 85 × 35 × 40 мм. Блок зразків наведений на рис.1.

Для приготування легувальних покриттів використовували метали (марганець металевий, алюміній, залізний порошок), феросплави (феромарганець ФМн78А і ФМн1,5, ферохром ФХ650А і ФХ800А) та їх механічні суміші різних фракцій: < 02; 02; 0315; 04; 063; 1,0. Як зв'язувальний компонент використовували рідке скло щільністю 1,3 г/см<sup>3</sup> в кількості 3...6% залежно від гранулометричного складу наповнювача [3].

Товщину легувального покриття змінювали від 3 до 7 мм. Легувальне покриття наносили на стрижні, виготовлені із рідко скляної суміші (90% Орхівського піску, 4% бентоніту і 6% рідкого скла) та просушені при температурі 240°C протягом двох годин.



**Рис. 1** Блок зразків з елементами ливникової системи:  
1 – живильник; 2 – колектор; 3 – стояк; 4 – блок зразків

На кожний стрижень наносили по 5 різних покриттів за складом і товщиною. Стрижні з нанесеним покриттям протягом доби підсушували на повітрі, а перед використанням їх прожарювали в камерній печі при температурі 300°C протягом двох годин.

Для зменшення утрат тепла, яке відбирає форма від рідкого металу, здійснювали об'ємне сушіння форм у сушарці при температурі 200...250°C. Проставлення стрижнів у форми і збирання останніх здійснювали безпосередньо за декілька хвилин до заливання металом. Форма у зібраному вигляді наведена на рис. 2.

Температуру металу основи варіювали від 1580 до 1630°C. Для створення відновлювальної атмосфери в ливарній формі використовували вуглецевміщувальні добавки.

Під час вивчення процесів жаростійкого поверхневого легування з урахуванням умов експлуатації жаростійких деталей котлоагрегатів теплових електростанцій (насадок пальників, газових сопел, мазутових форсунок та ін.) та впливу легувальних елементів на жаростійкість сплавів на основі заліза використовували алюмінієвий порошок і високовуглецевий ферохром марок ФХ650А і ФХ800 (які мають порівняно низьку температуру плавлення).

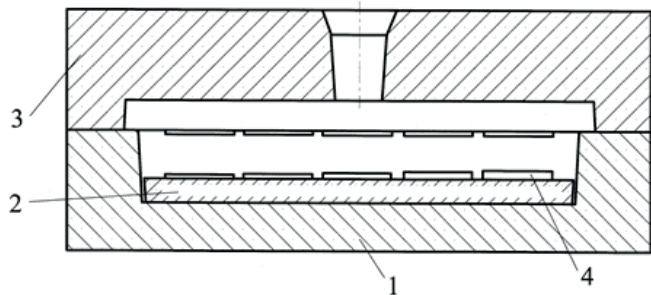
Попередніми дослідженнями впливу алюмінію на окислюваність заліза встановлено [9-12], що присадка до 2% Al до заліза помітно знижує втрати сплаву на утворення окалини, а сплав з 8% Al має такий же високий опір окисленню, як і нікель-хромовий сплав з 80% нікелю і 20% хрому.

Хром є основним елементом, який входить до складу жаростійких і жароміцних сталей і сплавів. Збільшення його вмісту в залізі зсуває початок інтенсивного окислення сталі у бік вищих температур.

Алюміній – елемент, який найефективніше підвищує жаростійкість заліза і залізохромистих сплавів. Маючи високу хімічну активність, алюміній інтенсивно реагує з киснем і утворює на поверхні виробу міцну захисну плівку оксидів  $Al_2O_3$  із температурою плавлення 2050°C. Висока швидкість дифузії алюмінію у фериті і мала провідність шару оксиду  $Al_2O_3$  ( $Cr_2O_3$ ,  $FeO$ ) обумовлюють при додаванні в хромисту сталь алюмінію значне зниження швидкості утворення окалини. В цьому випадку на поверхні металу формується окалина із оксидів хрому та алюмінію.

Встановлено, що алюміній, не дивлячись на можливе утворення плівок оксидів в процесі взаємодії основи металу, тобто розплаву, із матеріалом покриття (в ливарній формі завжди є повітря), позитивно впливає на утворення легованого шару, товщина якого досягає максимального значення при товщині легувального покриття 6 мм (рис. 3). Товщина легованого шару при цьому досягає 5 мм. Проте подальше збільшення товщини легувального покриття призводить до зменшення товщини легованого шару, очевидно, в результаті втрати з часом температури металом основи і різкого зниження теплопровідності утвореного легованого алюмінієм шару.

Такий же характер зміни товщини легованого шару і при використанні як легувального покриття механічної суміші ферохрому та алюмінію. Не дивлячись на підвищення температури плавлення такого



**Рис. 2** Ливарна форма для дослідження процесів поверхневого легування: 1 – нижня півформа; 2 – стрижень; 3 – верхня півформа; 4 – легувальне покриття

покриття, товщина легованого шару перевищує 4 мм, що повною мірою задовольняє вимогам, які пред'являються до жаростійких литих деталей.

Дещо менша товщина легованого шару (до 1,5...2,0 мм) утворюється при використуванні ферохрому як наповнювача легувального покриття.

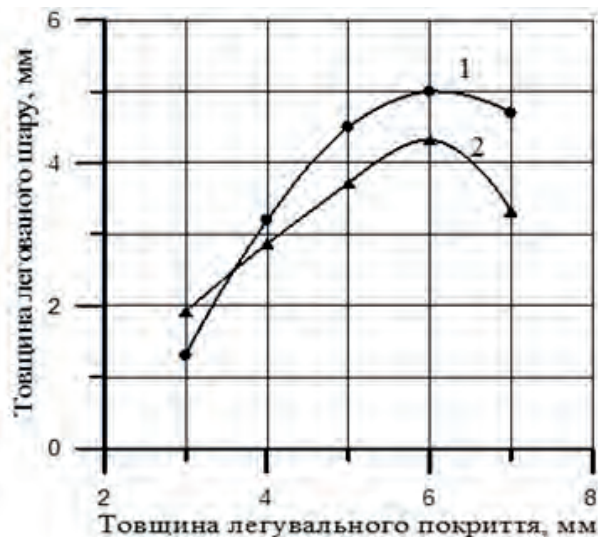
Оскільки в дослідах використовували порошки фракцій 04 і 063, то можна припустити, що поверхневе легування здійснювалося як внаслідок часткового розплавлення компонентів покриття, так і внаслідок капілярного проникнення рідкого металу в пори покриття з подальшим розплавленням та розчиненням його компонентів в металі основи.

Вивчено вплив різних факторів на процеси утворення легованого шару на поверхні виливків: товщина легувального покриття, гранулометричного складу вихідних компонентів, температури металу основи перед заливанням його у форми, відновної атмосфери в ливарній формі та ін.

Зміна товщини легованого шару від гранулометричного складу при однаковій товщині легувального покриття наведена на рис. 4.

Дослідження впливу алюмінію і високовуглецевого ферохрому на утворення легованого шару показали, що не дивлячись на різні температури плавлення легувальних покриттів на їх основі, кращі результати одержані при використуванні ферохрому. Очевидно це можна пояснити меншою здатністю хрому утворювати оксидні плівки на межі розділу „легувальне покриття - розплав”, що покращує безпосередній контакт часточок ферохрому із рідким металом, внаслідок чого ці часточки швидше розчиняються і утворюють легований шар більшої товщини.

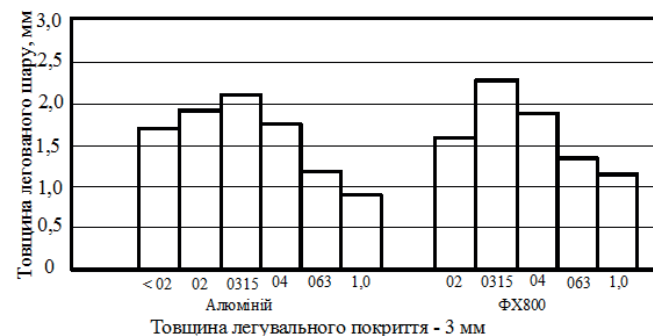
Виходячи з вимог щодо тривалості експлуатації виробів для жаростійкого поверхневого легування доцільно використовувати механічну суміш алюмінію і ферохрому. Наявність в легованому шарі хрому і алюмінію в процесі експлуатації деталей при високих температурах і в агресивних



**Рис. 3** Зміна товщини легованого шару залежно від товщини легуючого покриття:

1 – алюміній фракції 063  
2 – ФХ650А (80%) + алюміній (20%)

середовища сприяє утворенню на поверхні виробів захисних плівок  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  або шпінелі  $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$ , що подовжує термін експлуатації жаростійких виробів.



**Рис. 4.** Зміна товщини легованого шару від гранулометричного складу легуючого покриття

Дослідження процесів зносостійкого поверхневого легування здійснювали з використанням окремих феросплавів, до складу яких входять карбідоутворювальні елементи (марганець, бор, титан, хром), і їх сумішей.

Зміна товщини легованого шару залежно від товщини легувального покриття при використуванні різних марок феромарганцю представлена на рис. 5. В дослідах використана дрібнодисперсна фракція (< 0,2) низьковуглецевого, ФМн1,5, і високовуглецевого, ФМн78А, феромарганцю з приблизно однаковим вмістом марганцю. Кращі результати одержані при використуванні високовуглецевого феромарганцю ФМн78А фракцій < 02; 02 і 0315, чистого марганцю Мн965 – фракцій 0315; 04; 063 і механічної суміші, мас.ч.: Мн965 – 50; ФХ650А – 6; ФТн30А – 15; ФБ10 – 10; залізний порошок ПЖР-3 – 9; електродний бій – 8 фракцій < 02; 02 і 0315.



**Рис. 5** Зміна товщини легованого шару залежно від товщини легуючого покриття:

- 1 – феромарганець низьковуглецевий ФМн 1,5;  
2 – феромарганець високовуглецевий ФМн 78А

Товщина легованого шару досягає 10...12 мм при товщині легуючого покриття 4...6 мм. Твердість легованого шару (без термооброблення) в 2,5...2,8 рази вища за твердість основи вилівка (сталь 35Л).

Гранулометричний склад легуючого покриття суттєво впливає на товщину легованого шару і вибирається залежно від температури плавлення компонентів покриття і перегріву металу основи перед заливанням його у форму. Для жаростійкого поверхневого легування необхідно використовувати механічну суміш Al та ферохрому.

Отже для зносостійкого поверхневого легування доцільно використовувати високовуглецевий феромарганець, чистий марганець марки Мн965 або механічну суміш карбідоутворювальних елементів.

### Висновки

1. Дослідженнями процесів поверхневого легування встановлено можливість виготовлення жаростійких вилівок з диференційними властивостями поверхні.
2. Для досягнення на вилівках зносостійкого шару максимальної товщини необхідно використовувати ФМн, товщина легованого шару при цьому досягає 4,5...5,0 мм, що цілком задовольняє вимогам, які пред'являються до жаростійких вилівок. Оптимальна товщина легуючого покриття – 3...5 мм.
3. Максимальна твердість поверхні вилівка досягається при використанні високовуглецевого феромарганцю ФМн78А та механічної суміші карбідоутворювальних елементів. Товщина шару при цьому досягає 10...12 мм.

4. Перспективним зв'язувальним компонентом для приготування якісного легуючого покриття є рідке скло.

5. Товщина легованого шару на поверхні вилівок залежить від товщини легуючого покриття, температури його плавлення, гранулометричного складу і температури металу, що заливається у форму, яка повинна знаходитися у межах 1580...1630°C.

### Література

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 / Н. В. Мартюшев. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №4. – С. 122–129.
3. Ямшинський М.М., Федоров, Г.Є., Платонов Є.О. Сучасні технологічні аспекти виготовлення вилівок із диференційованими властивостями поверхні // Наукові вісті Національного технічного університету «КПІ». – 2004, №6. – С. 21–26.
4. Гурьев М. А. Поверхностное упрочнение стальных деталей при литье по газифицируемым моделям / М. А. Гурьев, Г. А. Околович. // Ползуновский вестник. – 2010. – №2. – С. 102–106.
5. Olawale Samuel Fatoba. Optimization of Carburized UNS G10170 Steel Process Parameters Using Taguchi Approach and Response Surface Model (RSM) / Olawale Samuel Fatoba, Olaitan Lukman Akanji, Abiodun Samson Aasa // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. – 2014. – №2. – С. 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-Jumayiah, F. Habiby // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2008. – №7. – С. 127–145.
7. Ямшинский М. М., Федоров Г.Е., Платонов Е.А., Кузьменко А.Е. Совершенствование технологии изготовления отливок с дифференцированными свойствами поверхности // Вісник ДДМА – 2006, №3. – С. 14–19.
8. Roberta R. 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 / Roberta R. Moreira, Thiago F. Soares, Josimar Ribeiro // Advances in Chemical Engineering and Science. – 2014. – №4. – С. 503–514.

9. Kanni Raj. On High-Temperature Materials: A Case on Creep and Oxidation of a Fully Austenitic Heat-Resistant Superalloy Stainless Steel Sheet / A. Kanni Raj // Journal of Materials. – 2013. – №12. – С. 1–6.

10. D.C. Oliver. External corrosion resistance of steel and ferritic stainless steel exhaust systems / D.C. Oliver, D.C. Oliver // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. – 2003. – №3. – С. 93–100.

11. Ямшинский М. М., Могилатенко В. Г., Власюк И. А., Бурлака Т. В. Исследование связующих компонентов обмазки для поверхностного легирования отливок в форме // Металл и литье Украины №9 2012. – 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 // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2006. – №19. – С. 38–45.