

УДК 621.74

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-7-302-59-63

*Д. Ю. Гребнев, Н. И. Габельченко, Е. Ю. Карпова, Р. В. Салфетников***УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ
ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ*****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: lp@vstu.ru

В статье рассматривается процесс упрочнения поверхности отливок методом поверхностного легирования при литье по газифицируемым моделям. Процесс литья по газифицируемым моделям (ЛГМ процесс) был запатентован в США в 1958 году и быстро получил признание за свои многочисленные преимущества, такие как низкая стоимость, высокая точность отливок, низкая трудоемкость и экологическая безопасность. ЛГМ позволяет получать отливки различных размеров и из различных сплавов с высокой размерной точностью.

Одним из легкоосуществимых перспективных методов повышения конкурентоспособности процесса ЛГМ является производство армированных, биметаллических и поверхностно-легированных отливок.

Исследования, проведенные специалистами ВолгГТУ, показали, что поверхностное легирование позволяет устранить горячие трещины, увеличить конструкционную прочность, твердость и износостойкость, повысить коррозионную стойкость и улучшить антифрикционные свойства отливок. Были разработаны и испытаны различные легирующие составы, наносимые на поверхности пенополистироловых моделей, включая ферромарганец, никель-медные порошки и карбид вольфрама.

Результаты микроструктурных исследований показали, что легированные слои на стальных и чугуновых отливках обладают высокой твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью. Таким образом, ЛГМ процесс с вакуумированием формы и поверхностным легированием позволяет получать отливки с улучшенными функциональными характеристиками, что открывает новые возможности для применения этой технологии в литейном производстве.

Ключевые слова: литье по газифицируемым моделям, поверхностное легирование, упрочнение отливок, износостойкость, коррозионная стойкость, пенополистироловые модели, функциональные покрытия

*D. Yu. Grebnev, N. I. Gabelchenko, E. Yu. Karpova, R. V. Salfetnikov***STRENGTHENING THE SURFACE OF CASTINGS
DURING LOST FOAM CASTING PROCESS****Volgograd State Technical University**

The article examines the process of surface hardening of castings through surface alloying in lost foam casting. The lost foam casting (LFC) process was patented in the USA in 1958 and quickly gained recognition for its numerous advantages, including low cost, high casting precision, low labor intensity, and environmental safety. LFC enables production of castings in various sizes and alloys with high dimensional accuracy.

One of the most readily implementable and promising methods to enhance the competitiveness of the LFC process is the production of reinforced, bimetallic, and surface-alloyed castings.

Research conducted by specialists at Volgograd State Technical University has demonstrated that surface alloying can eliminate hot cracks, increase structural strength, hardness and wear resistance, improve corrosion resistance, and enhance anti-friction properties of castings. Various alloying compositions have been developed and tested for application on polystyrene pattern surfaces, including ferromanganese, nickel-copper powders, and tungsten carbide.

Microstructural analysis results have shown that alloyed layers on steel and cast iron castings possess high hardness, wear resistance, and corrosion resistance. Thus, the LFC process with mold vacuuming and surface alloying enables production of castings with improved functional characteristics, opening new possibilities for applying this technology in foundry production.

Keywords: lost foam casting, surface alloying, strengthening of castings, wear resistance, corrosion resistance, polystyrene patterns, functional coatings

Введение

Процесс литья по газифицируемым моделям (ЛГМ процесс) запатентован в США в 1958 году. Литейщики сразу оценили многочисленные преимущества процесса ЛГМ:

- низкие затраты на материалы, оборудование, оснастку и организацию производства;
- высокую точность отливок, сопоставимую с литьем по выплавляемым моделям;
- низкую трудоемкость;

© Гребнев Д. Ю., Габельченко Н. И., Карпова Е. Ю., Салфетников Р. В., 2025.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке ВолгГТУ (из средств программы развития «Приоритет 2030» по соглашению № 075-15-2025-063) в рамках научного проекта № 8/632-24

– экологическую безопасность.

ЛГМ процессом возможно получение отливок весом от нескольких грамм до нескольких тонн с высокой размерной точностью из различных сплавов.

Технологический процесс ЛГМ постоянно совершенствуется. Главные достижения ученых и технологов в совершенствовании процесса:

– создание пенополистирола низкой плотности и, соответственно, низкой газотворности специально для использования в литейном производстве;

– применение процесса вакуумирования форм для ЛГМ процесса.

Основные усовершенствования ЛГМ процесса приходятся на конец прошлого века. Одним из легко осуществимых и перспективных методов повышения конкурентоспособности процесса ЛГМ является производство армированных, биметаллических и поверхностно легированных отливок.

Получение качественных композиционных отливок ЛГМ процессом обеспечивается следующими факторами:

– использованием сухого песка с низкой теплопередачей;

– восстановительной атмосферой в форме;

– особенностями движения газовых потоков в полости литейной формы.

В работах, проведенных специалистами литейной кафедры ВолгГТУ, [1–23] были получены уникальные результаты по поверхностному легированию железо-углеродистых отливок

в литейных формах из различных материалов. Поверхностным легированием достигнуты следующие результаты:

1. Устранение горячих трещин на стальных отливках.

2. Значительное увеличение конструкционной прочности чугунных отливок и отливок из углеродистых сталей.

3. Повышение твердости поверхности и, соответственно, износостойкости отливок.

4. Увеличение коррозионной стойкости.

5. Одновременное повышение коррозионной стойкости и износостойкости.

6. Полное устранение пригара.

7. Повышение антифрикционных свойств в поверхности отливок.

8. Снижение твердости поверхности и, соответственно, повышение механической обрабатываемости отливок.

9. Снижение «кромочного» отбела в мелких чугунных отливках.

Методика исследования

Работой по адаптации достигнутых ранее положительных результатов по поверхностному легированию отливок к условиям литья по газифицируемым моделям предусматривалось нанесение порошковых легирующих композиций на поверхности пенополистироловых моделей (рис. 1), сушка легирующих составов, получение литейных форм, заливка форм железоуглеродистыми сплавами, очистку пробных отливок и изготовление образцов для металлографических исследований.

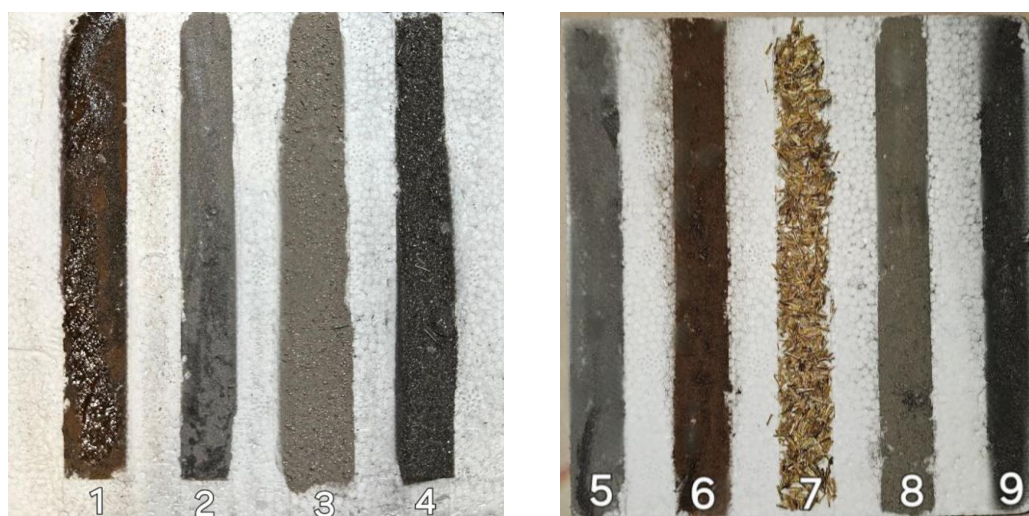


Рис. 1. Пенополистироловые модели с нанесенными на них поверхностно-легирующими составами:

1 – ферромарганец среднеуглеродистый ФМн88; 2 – порошок марки ПГС-27; 3 – порошок марки ПГ10Н01;

4 – ферромарганец высокоуглеродистый ФМн78; 5 – порошок никель-медный НПЧ-3;

6 – порошок никель-медный + 15 % графита; 7 – стружка бронзы марки БрФЖ94;

8 – порошок никель-медный + ПГС-27 (35–40 %); 9 – порошок никель-медный + карбид вольфрама (40 %)

В качестве связующего для легирующих порошков использовалось жидкое стекло, модифицированное для повышения флюсующих свойств. Возможно применение других литейных связующих. Литейная форма изготавливалась из кварцевого песка марки $2K_2O_3O_3$ и жидкого стекла в количестве 6 %. Отверждение из-за наличия в формах пенополистироловых моделей осуществлялось длительной конвективной сушкой при низких температурах 50–60 °С. Время сушки форм 16 часов. Для удаления газов в форме насверливалось большое количество газоотводящих отверстий. Заливка готовых форм проводилась сталью марки 45Л и серым чугуном марки СЧ20.

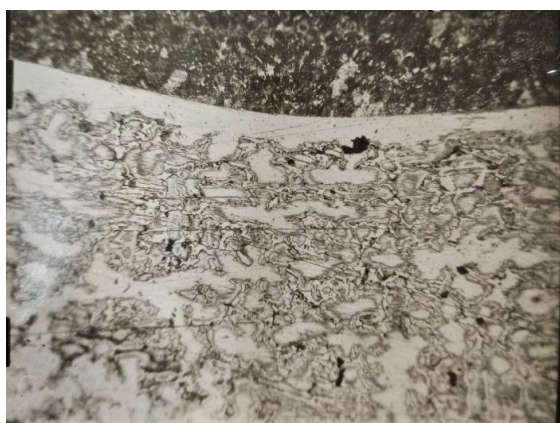
Результаты исследования

На стальной отливке получены качественные, легированные слои с высокой твердостью и износостойкостью. Твердость поверхностного легированного слоя, составляет:

- ПГС-27 – HRC 69–64
- углеродистый ферромарганец ФМн68 – HRC 55–60
- ПГ10Н01 – HRC 40–45

Микроструктуры поверхности легированных слоев на стальных экспериментальных отливках представлены на рис. 2.

Номер позиции соответствует определенной легирующей композиции (1 – металл без нанесения слоя).



2



3



4

Рис. 2. Микроструктура поверхностно легированных слоев на стальной отливке $\times 200$:
2 – легирование хромистым порошком ПГС-27; 3 – легирование никель-хромистым порошком ПГ10Н01;
4 – легирование порошком ферромарганца ФМн78

На поверхности чугунных отливок получены качественные коррозионностойкие, износостойкие, антифрикционные слои. Твердость поверхности чугунных отливок удалось регу-

лировать в пределах от HB176 до HB 400–420.

Микроструктуры легированных слоев представлены на рис. 3.

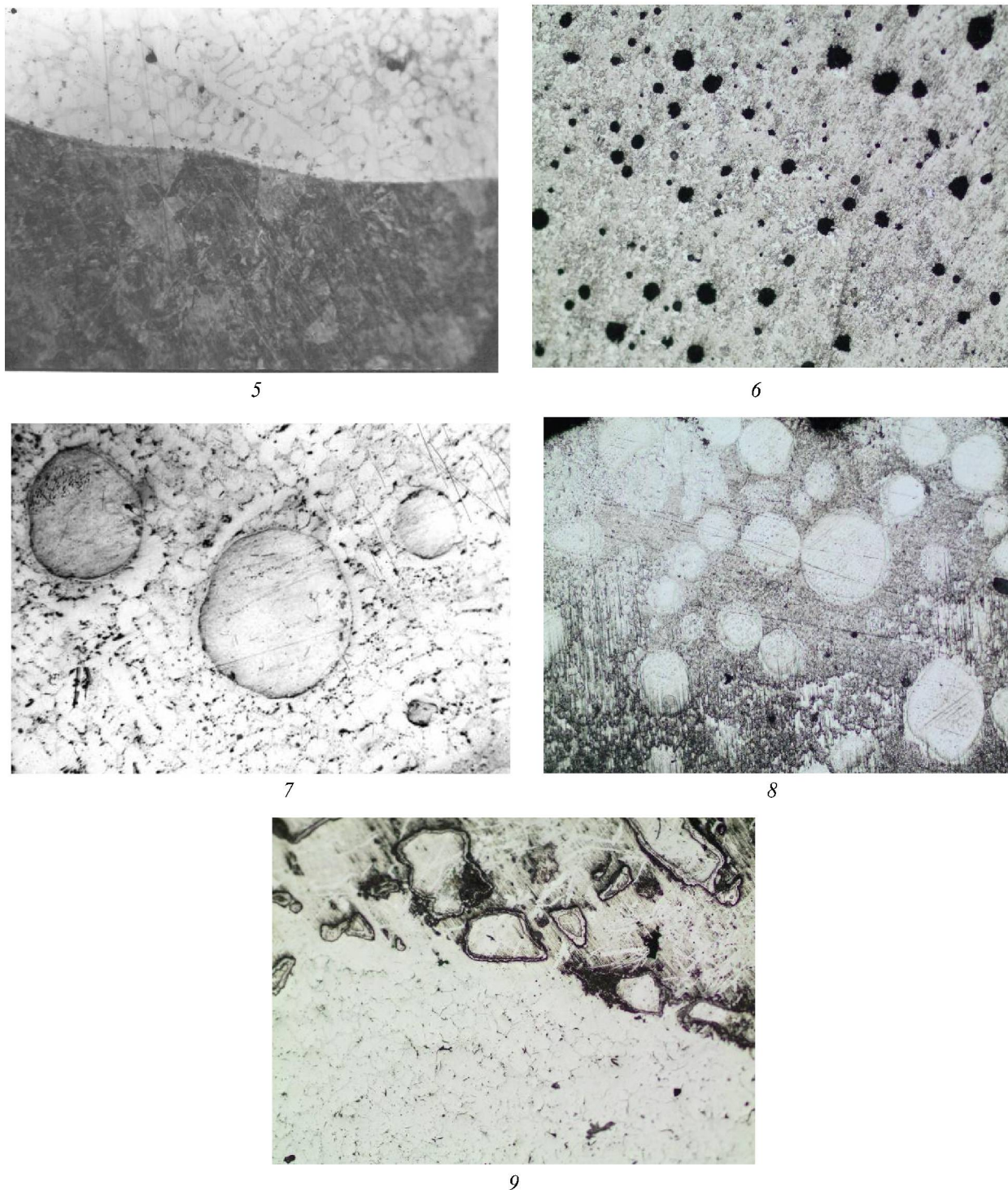


Рис. 3. Микроструктуры функциональных слоев на поверхности чугуных отливок $\times 200$:

- 5 – коррозионностойкий никель-медный слой НВ-196; 6 – антифрикционный слой: никель-медный сплав 15 % графит;
 7 – слой с пониженной твердостью для улучшения механической обрабатываемости. Включения меди в структуре чугуна НВ176;
 8 – износостойкий псевдосплав: никель-медная основа + порошок ПГС-27 НВ-350;
 9 – износостойкий псевдосплав. Никель-медная основа + 40 % карбида вольфрама НВ420

Выводы

1. На поверхности отливок полученных ЛГМ – процессом возможно получение различных функциональных покрытий.

2. При производстве поверхностно легированных отливок ЛГМ процессом с вакуумированием формы ожидается получение функциональных слоев повышенного качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наплавка износостойкого слоя на детали почвообрабатывающего инструмента в литейной форме / Ю. В. Гребнев, В. В. Шлепин, Г. Г. Захаров, И. Е. Афонин, В. П. Каляева, О. А. Богатырева // Литейное производство. – 2000. – № 4. – С. 11–12.
2. Поверхностное легирование деталей порошковыми материалами в литейной форме / Е. И. Тескер, В. А. Гурьев, Ю. В. Гребнев, Е. И. Афолина, С. Е. Тескер // Физика и химия обработки материалов. – 2004. – № 4. – 48–51.
3. Поверхностное легирование отливок углеродом в литейной форме / В. Ф. Жаркова, Н. А. Кидалов, Ю. В. Гребнев, А. С. Родин, А. В. Симаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (136) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении» ; вып. 9). – С. 132–134.
4. Кидалов, Н. А. Поверхностное легирование отливки «звено гусеницы» в форме / Н. А. Кидалов, Ю. В. Гребнев, В. Ф. Жаркова // Литейное производство. – 2015. – № 5. – С. 9–10.
5. Разработка высокоэффективной технологии изготовления рабочих органов почвообрабатывающих машин / Ю. В. Гребнев, В. Ф. Жаркова, Д. Ю. Гребнев, Н. О. Антонов, А. Ю. Тарабановский // Научный взгляд в будущее (Украина). – 2020. – Вып. 17, т. 1. – 16–19.
6. Совершенствование процесса поверхностного легирования отливок с использованием газопламенного напыления / Н. И. Габельченко, Д. Ю. Гребнев, В. Ф. Жаркова, Ю. В. Гребнев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 7 (254) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Металлургия»). – С. 53–56.