

О. И. Пономаренко, д-р техн. наук, проф.; Е. А. Костик, канд. техн. наук, доцент (Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина); Г. Е. Федоров, канд. техн. наук, доцент (Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина)

## Изготовление отливок с дифференцированными свойствами поверхности

Установлено, что для экономии легирующих элементов и сохранения высокой износостойкости литых деталей машин и механизмов во многих случаях целесообразно заменять объемное легирование поверхностным, позволяющим в процессе изготовления отливок получать износостойкий слой с высокой твердостью толщиной 8–2 мм. Наилучшими и дешевыми материалами для получения отливок с высокой износостойкостью поверхности являются порошки высокоуглеродистого ферромарганца, чистого марганца и механических смесей таких компонентов: ферромарганца, марганца, высокоуглеродистого феррохрома, ферротитана, ферробора и железного порошка в различных соотношениях. Гранулометрический состав таких порошков должен находиться в пределах 0,2–0,315 мм. В качестве связующего компонента для приготовления покрытия следует использовать жидкое стекло плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** Ферромарганец, феррохром, механическая смесь, износостойкость, поверхностное легирование

Встановлено, що для економії легувальних елементів і збереження високої зносостійкості литих деталей машин і механізмів у багатьох випадках доцільно замінити об'ємне легування поверхневим, яке дає можливість у процесі виготовлення виливків одержувати зносостійкий шар з високою твердістю товщиною 8–12 мм. Найкращими та дешевими матеріалами для одержання виливків з високою зносостійкістю поверхні є порошки високовуглецевого ферромарганцю, чистого марганцю та механічних сумішей таких компонентів: ферромарганцю, марганцю, високовуглецевого феррохрому, ферротитану, ферробору та залізного порошку в різних співвідношеннях. Гранулометричний склад таких порошків має знаходитися в межах 0,2–0,315 мм. Як зв'язувальний компонент для приготування покриття слід використовувати рідке скло густиною 1,3 г/см<sup>3</sup>.

**Ключові слова:** Ферромарганець, ферохром, механічна суміш, зносостійкість, поверхнєве легування

Found that to save alloying elements and maintaining a high wear resistance cast parts of machines and mechanisms, in many cases, it is advisable to replace the bulk doping to the surface, allowing in the process of manufacturing castings and wear resistant layer with high hardness in the thickness 8–12 mm. Best and cheapest materials to produce castings with high wear resistance surfaces are powders of high-carbon ferromanganese, manganese, and pure mechanical mixtures of such components: ferromanganese, manganese, high-carbon ferrochrome, ferrotitanium, ferrobore and iron powder in different ratios. Granulometric composition of such powders should be in the range of 0.2–0.315 mm. As a binder to prepare the coating, should use liquid glass density of 1.3 g/cm<sup>3</sup>.

**Keywords:** Ferromanganese, ferrochrome, mechanical mixture, wear resistance, surface alloying

### Введение и постановка задачи исследований

К деталям современных машин и механизмов, работающих в экстремальных условиях, предъявляют повышенные требования относительно механических и специальных свойств – твердости, износостойкости, коррозионной стойкости, стойкости против эрозии в различных агрессивных средах и др. Большинство таких деталей изготавливают с использованием литых заготовок, т. е. отливок. Срок службы литых деталей в значительной степени определяет надежность машин и их производительность.

Для достижения высоких поверхностной прочности и износостойкости литых деталей в маши-

ностроении используют различные виды обработки: химико-термическую, лазерную и др., а также электрохимические покрытия и специальные наплавки. Однако первыми методами не удается получить слой с нужными свойствами толщиной более 0,5 мм, что явно недостаточно, особенно для крупных деталей [1–3]. Наплавлением на поверхности детали можно получить слой значительной толщины, однако этот процесс трудоемкий, дорогой и, кроме того, технологически неудобный – на некоторых поверхностях деталей наплавление осуществить практически невозможно.

Анализом эксплуатации значительного количества литых деталей машин и механизмов, работающих в условиях интенсивного износа,

высоких температур и агрессивных сред (теплоэнергетика, металлургия, горно-обогатительная и химическая отрасли и др.) установлено, что технологии их изготовления с использованием объемного легирования сплавов далеко не всегда себя оправдывают, а во многих случаях экономически вредны, поскольку лишь небольшая толщина таких деталей изнашивается, окисляется или повреждается вследствие внешних воздействий.

Это приводит к неоправданным расходам дорогих легирующих элементов, входящих в составы высоколегированных сплавов. Ежегодно безвозвратно расходуются тысячи тонн металла литых деталей высокой стоимости. Очевидно, что в этих случаях достаточно было бы

обеспечить высокие эксплуатационные характеристики только рабочих поверхностей таких деталей.

Для достижения этой цели перспективными могут быть способы производства отливок из нелегированных сплавов на основе железа с поверхностным композиционным или легированным слоем, который образуется во время формирования заготовки в литейной форме, при этом толщина поверхностного слоя со специальными свойствами отливки может достигать 8–10 мм [1, 3].

Перспективным направлением развития технологии получения отливок с дифференцированными свойствами является поверхностное легирование, которое заключается в применении красок и паст, наносимых на поверхность литейной формы перед заливкой ее углеродистым расплавом.

Авторами [1] исследованы процессы износостойкого поверхностного легирования с использованием некоторых ферросплавов, в состав которых входят карбидообразующие элементы. Такие исследования дали положительные результаты и подтвердили целесообразность использования ферросплавов в качестве наполнителей легирующих покрытий. Это позволило продолжить исследования в этом направлении [4, 6].

Для достижения легированного слоя необходимой толщины перспективными могут быть ферросплавы, температуры плавления которых максимально приближаются к температурам заливаемого в форму расплава или ниже их. Для поверхностного износостойкого легирования – это чистый марганец, ферромарганец или ферротитан различных фракций, а для жаростойкого – алюминий и среднеуглеродистый феррохром.

### Основная часть

Как уже отмечалось, процесс поверхностного легирования осуществляют путем нанесения на поверхности форм и стержней паст, красок, облицовочных смесей или вставок, наполнителями которых являются легирующие компоненты. Во время взаимодействия с металлом, который заливается в форму, они образуют легированный поверхностный слой со специальными свойствами определенной толщины.

Исследовано процессы износостойкого поверхностного легиро-

вания с использованием отдельных ферросплавов, в состав которых входили карбидообразующие элементы (марганец, бор, титан, ванадий, хром) и их смесей.

Изучено влияние мелкодисперсной фракции (<0,2) низкоуглеродистого (ФМн1,5) и высокоуглеродистого (ФМн78А) ферромарганца с приблизительно одинаковым содержанием марганца на образование легированного слоя. Результаты исследований представлены на рис. 1.

Наилучшие результаты получены при использовании высокоуглеродистого ферромарганца ФМн78А фракций (<02). Толщина легированного слоя достигает 10–12 мм при толщине легирующего покрытия 6–7 мм. Твердость легированного слоя (без термообработки) – в 2,5–2,8 раза выше твердости основного металла отливки (Сталь 35Л).

В качестве связующего компонента использовали жидкое стекло плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup> и технический лигносульфонат, разбавленный водой в соотношении 1:1, в количестве 3–6 %. Количество связующего компонента определяли в зависимости от гранулометрического состава наполнителя покрытия: чем мельче фракция, тем больше расходуется связующего компонента. Установлено, что луч-

шим связующим компонентом для приготовления легирующего покрытия и нанесения его на стенки формы является жидкое стекло.

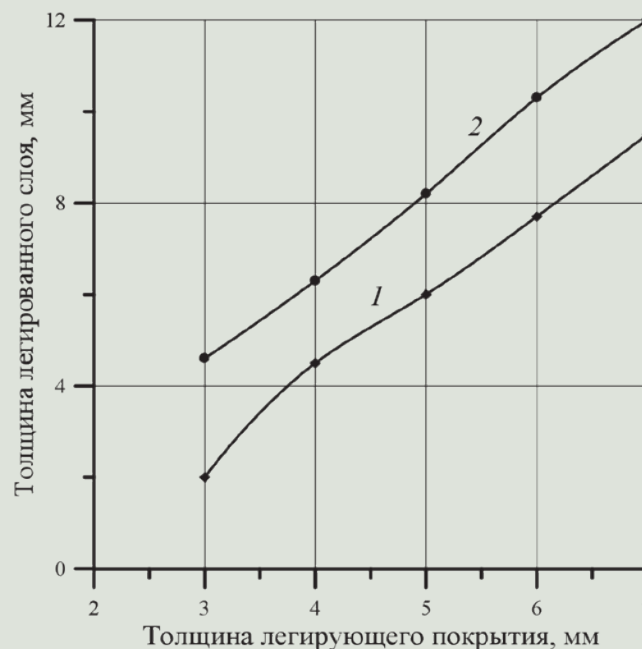
Отмечено, что гранулометрический состав легирующего покрытия существенно влияет на толщину легированного слоя. Его необходимо выбирать в зависимости от температуры плавления компонентов покрытия и перегрева расплава перед заливкой его в форму.

Известно, что титан относится к элементам, который в сплаве на основе железа одновременно образует твердый раствор с железом, карбиды, нитриды, оксиды и кроме этого способствует дисперсионному твердению металла.

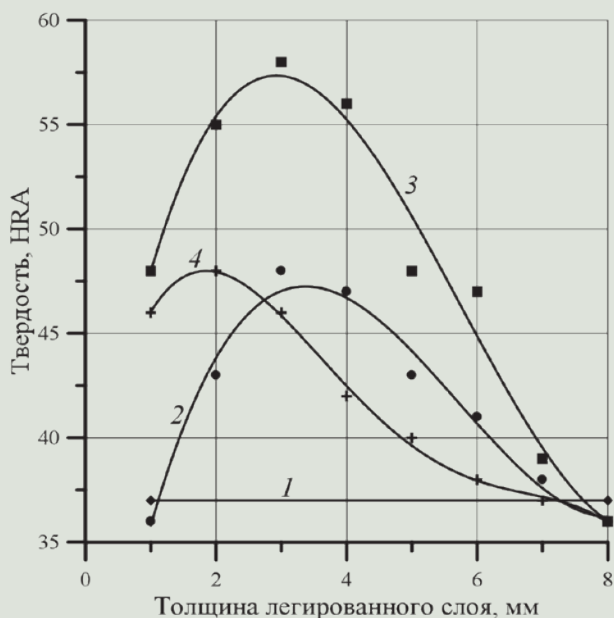
Изучено влияние ферротитана марки ФТн30А фракций 02; 0315; 04 в качестве наполнителя легирующего покрытия.

Установлено, что максимальную твердость имеет легированный слой, образованный после использования ФТн30А фракции 0315. Его твердость достигает 58 НРА, что выше в 1,5 раза в сравнении с твердостью основы металла (рис. 2).

При использовании фракции 02 твердость легированного слоя ниже, чем основы, очевидно в результате образования легированного титаном феррита. С ростом толщины слоя увеличивается количество карбонитридов титана в



**Рис. 1. Изменение толщины легированного слоя в зависимости от толщины легирующего покрытия:** 1 – ферромарганец низкоуглеродистый ФМн1,5; 2 – ферромарганец высокоуглеродистый ФМн78А (Условия опыта: фракция (<02), температура заливаемого расплава – 1560 °С)



**Рис. 2. Влияние титана (ФТi30А) на твердость легированного слоя (толщина легирующего покрытия – 3 мм): 1 – твердость основы; 2 – фракция 02; 3 – фракция 0315; 4 – фракция 04**

легированном слое и твердость его повышается. Такая же зависимость сохраняется после использования ферротитана фракции 0315.

Следовательно, для получения максимальной твердости легированного титаном слоя, необходимо использовать покрытие на основе фракции 0315.

Хром относится к элементам, которые образуют с железом непрерывный ряд растворов и слож-

ные карбиды, что существенно повышает твердость легированного металла.

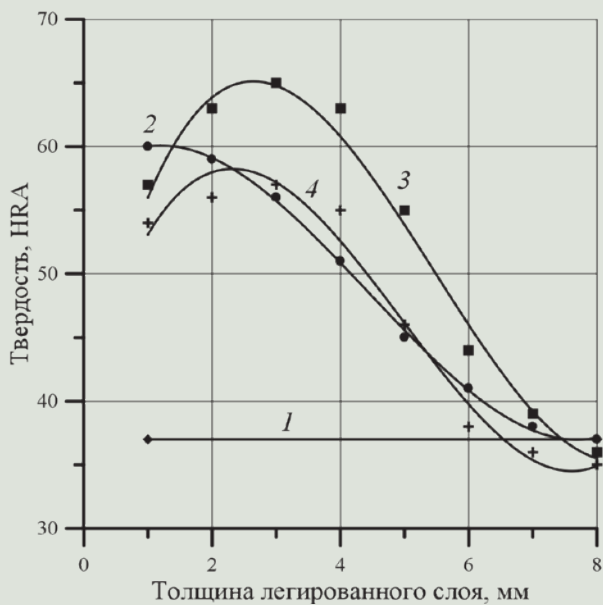
Промышленность выпускает большую гамму феррохромов с разным содержанием углерода, а значит и с разной температурой плавления. В работе использованы в качестве наполнителя легирующего покрытия высокоуглеродистый (ФХ800А) и низкоуглеродистый (ФХ015А) феррохромы.

Установлено, что изменение твердости легированного слоя осуществляется также как и для титана (рис. 3). Разница состоит только в том, что феррохром ФХ800А, имея меньшую температуру плавления, больше растворяется в жидком металле основы и способствует повышению твердости.

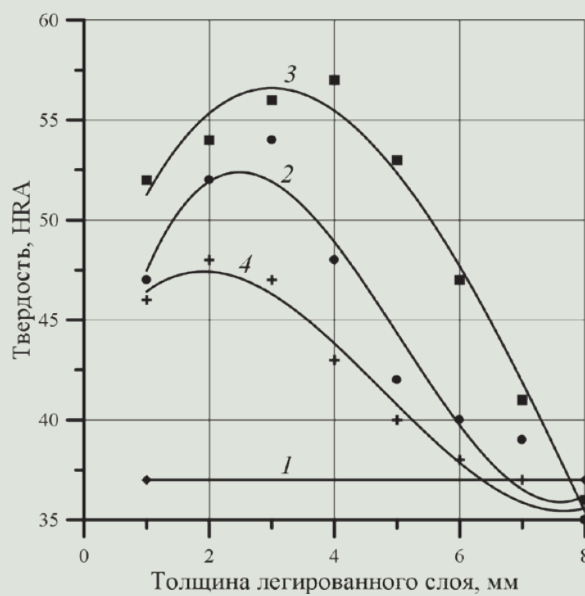
Для ФХ800А максимальная твердость составляет 64 HRA, а для ФХ015А – 56 HRA, при этом для ФХ015 максимум твердости смещается вправо в сравнении с ФХ800А.

Такая незначительная разница в твердости и толщине легированного слоя позволяет сделать вывод, что в качестве наполнителя легирующего покрытия можно использовать как высокоуглеродистый, так и низкоуглеродистый феррохром. Особенно это касается механических смесей. Однако с точки зрения приготовления порошков целесообразно использовать высокоуглеродистый феррохром, поскольку он легче поддается измельчению и дешевле, а повышенное содержание в нем углерода способствует дополнительному образованию карбидов.

В работе изучена возможность использования механических смесей основных карбидообразующих элементов для поверхностного износостойкого легирования. Содержание компонентов в смесях приведено в табл. 1, а их расчетный химический состав – в табл. 2.



а)



б)

**Рис. 3. Влияние хрома на твердость легированного слоя (толщина легирующего покрытия – 3 мм): а) – ФХ800А; б) – ФХ15А**

1 – твердость основы; 2 – фракция 02; 3 – фракция 0315; 4 – фракция 04

Результаты влияния легирующих покрытий на основе механических смесей на толщину легированного слоя и его твердость представлены на рис. 4.

Во всех опытах использовали покрытие толщиной 3 мм фракции – 0315.

Механические смеси различаются содержанием хрома, марганца, титана, бора, углерода и железа. Исходя из такого соотношения компонентов в смесях, температуры плавления их разные: наивысшая – у покрытия № 1, наименьшая – у покрытия № 5.

Этим и объясняются наилучшие результаты, полученные после использования покрытия № 5.

Глубина легированного слоя зависит, преимущественно, от начальной глубины проникновения жидкого металла в поры покрытия. Поскольку легирующее покрытие представляет собой достаточно мощный холодильник (особенно толщиной 5–7 мм), то глубина проникновения расплава в поры покрытия в значительной мере будет зависеть от температуры и жидкотекучести металла основы. Поэтому при выборе состава смесей и их фракций необходимо, прежде всего, руководствоваться этими факторами.

Анализом полученных результатов установлено, что для износостойкого поверхностного легирования можно использовать любую из испытанных смесей. Выбор ее зависит от необходимой толщины износостойкого слоя на детали и наличия соответствующей фракции ферросплава.

Исследовано процессы поверхностного легирования с использованием химических соединений легирующих элементов.

Промышленность Украины выпускает различные химические соединения: карбиды, бориды, нитриды и др., которые представляют интерес для технологий поверхностного легирования.

Изучено влияние некоторых химических соединений на твердость и толщину износостойкого слоя. Результаты исследований представлены на рис. 5.

Установлено, что все изученные химические соединения способствуют повышению твердости поверхности отливки, но наилучшие результаты получены после использования смеси карбидов хрома и ванадия. Твердость на поверхности легированного слоя достига-

Таблица 1. Механические смеси для легирующих покрытий

| Индекс покрытия | Содержание компонентов в смеси, масс. ч. |        |        |      |                 |
|-----------------|--|--------|--------|------|-----------------|
|                 | Мн965                                    | ФХ650А | ФТн30А | ФБ10 | электродный бой |
| 1               | 20                                       | 49     | 20     | 10   | 1               |
| 2               | 30                                       | 45     | 16     | 8    | 1               |
| 3               | 40                                       | 39     | 13     | 7    | 1               |
| 4               | 50                                       | 34     | 10     | 5    | 1               |
| 5               | 60                                       | 29     | 7      | 3    | 1               |

Таблица 2. Расчетный химический состав легирующих покрытий

| Индекс покрытия | Содержание элементов (расч), % |      |      |     |     |       |
|-----------------|--------------------------------|------|------|-----|-----|-------|
|                 | Cr                             | Mn   | C    | Ti  | P   | Fe    |
| 1               | 34,3                           | 19,2 | 4,10 | 6,0 | 1,0 | 35,40 |
| 2               | 31,5                           | 28,8 | 3,65 | 4,8 | 0,8 | 30,45 |
| 3               | 27,3                           | 38,4 | 3,28 | 3,9 | 0,7 | 26,42 |
| 4               | 23,8                           | 47,0 | 2,80 | 3,0 | 0,5 | 24,15 |
| 5               | 20,6                           | 57,6 | 2,40 | 2,1 | 0,3 | 17,00 |

Примечание: В механической смеси содержится 2,0 % плавикового шпата для образования флюса.

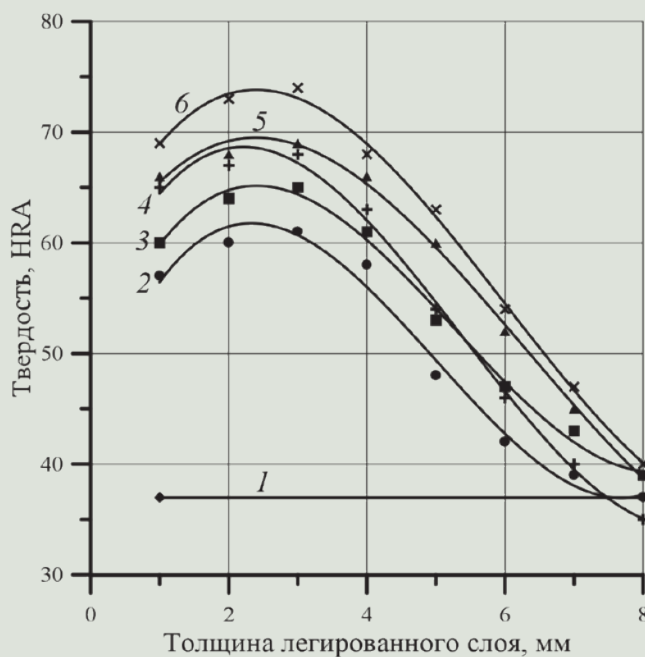


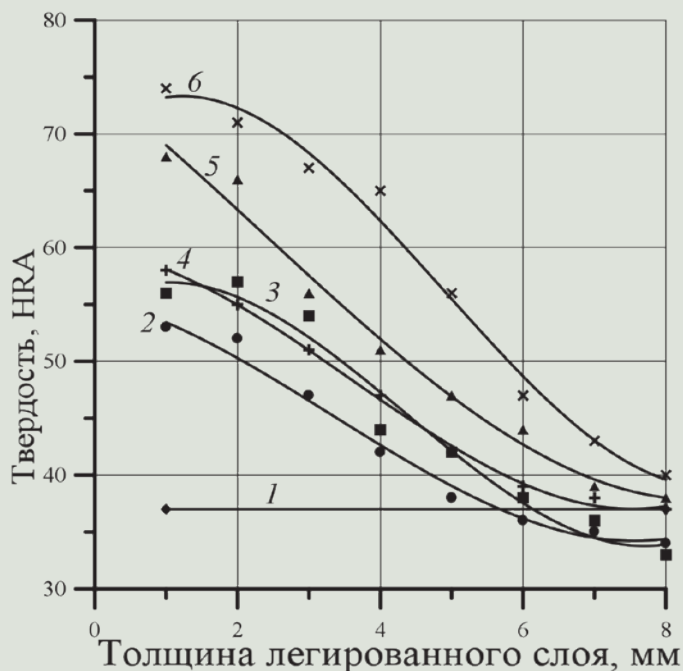
Рис. 4. Влияние механических смесей на образование легированного слоя и его твердость: 1 – твердость основы; 2 – смесь № 1; 3 – смесь № 2; 4 – смесь № 3; 5 – смесь № 4; 6 – смесь № 5

ет 73 HRA, что вдвое больше, чем твердость основы.

Исследованием структуры установлено, что практически во всех случаях образуется переходной слой, который обеспечивает прочную связь основы с износостойким легированным слоем (рис. 6).

Таким образом, доказана целесообразность использования химических соединений в качестве наполнителей легирующих покрытий для поверхностного упрочнения сплавов на основе железа.

Неметаллические включения являются основной плавочной характеристикой, которая определяет все механические свойства сплавов. Это в полной мере относится и к легированному слою. Определены индексы загрязненности некоторых образцов. Анализ полученных результатов показывает, что процессы поверхностного легирования не сопровождаются существенным загрязнением металла неметаллическими включениями, а во многих случаях индекс



**Рис. 5. Влияние химических соединений легирующих элементов на твердость износостойкого слоя:**  
 1 – твердость основы; 2 – TiB<sub>2</sub> (фракция 01); 3 – VC (фракция 02); 4 – Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (фракция 01); 5 – VC (фракция 01); 6 – 50 % Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> + 50 % VC (фракция 02)

загрязненности легированного слоя значительно ниже, чем металла основы.

Следовательно, для износостойкого поверхностного легирования целесообразно использовать высокоуглеродистый ферромарганец, чистый марганец марки Mn965, механические смеси карбидообразующих элементов или химические соединения легирующих элементов.

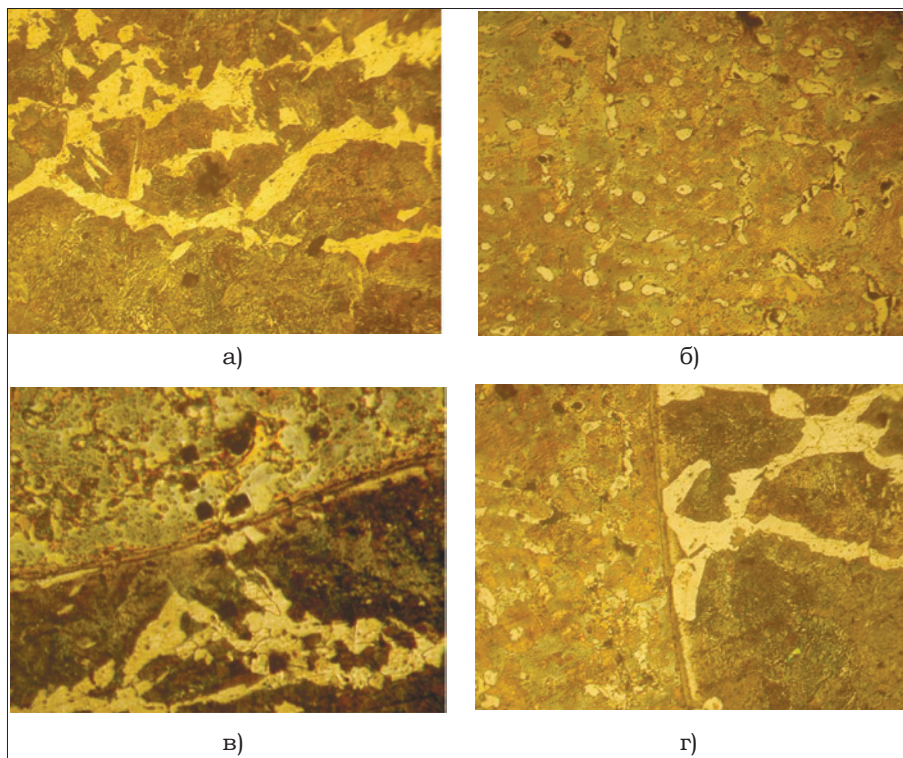
### Выводы

Таким образом, по результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Исследованиями процессов поверхностного легирования установлена возможность производства литых деталей с дифференцированными свойствами поверхности.

2. Для износостойкого поверхностного легирования целесообразно использовать порошки ферросплавов, в состав которых входят карбидообразующие элементы, механические смеси на их основе и отдельные химические соединения легирующих элементов.

3. Толщина легированного слоя на поверхности отливок зависит от толщины легирующего покрытия, температуры его плавления, грану-



**Рис. 6. Микроструктуры исследованных образцов с использованием ФМн78А фракции 0315 (×100): а – основа сплава; б – легированный слой; в, г – переходной слой**

лометрического состава и температуры заливаемого в форму металла.

### Список литературы:

1. Ямшинский М. М. Методи підвищення литих жаростійких

деталей / М. М. Ямшинський, Г. Є. Федоров // Наукові вісті Національного технічного університету «КПІ». – 2004. – № 4. – С. 98–104.

2. Богачев В. М. Легирование поверхности отливок при затвердевании / В. М. Богачев, В. Г. Грузин // Литейное производство. – 1957. – № 5. – С. 29–30.

3. Тихий В. А. Исследование механизма и разработка технологии процессов поверхностного легирования отливок / Тихий В. А.: дис. ... канд. техн. наук. – 1975.

4. Ямшинский М. М. Сучасні технологічні аспекти виготовлення виливків із диференційованими властивостями поверхні / Ямшинський М. М., Федоров Г. Є., Платонов Є. О. // Наукові вісті Національного технічного університету «КПІ». – 2004. – № 6 – С. 69–75.

5. Михайлов А. М. Поверхностное легирование фасонных отливок / А. М. Михайлов, В. Г. Грузин // Литейное производство. – 1957. – № 6. – С. 18–20.

6. Ямшинский М. М. Изготовление отливок с дифференцированными

свойствами поверхности / М. М. Ямшинський, Г. Є. Федоров, Е. А. Платонов // Металл и литье Украины. – 2004. – № 12. – С. 22–25.