

Исследование процессов износостойкого поверхностного легирования

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 и толщиной до 12 мм. Наилучшими и дешевыми материалами для получения отливок с дифференцированными свойствами поверхности являются порошки ферромарганца, феррохрома и ферротитана, а также их механические смеси. Гранулометрический состав таких порошков должен находиться в пределах 0,315–0,4 мм. В качестве связующего компонента для приготовления покрытия следует использовать жидкое стекло плотностью 1,3 г/см³ в количестве 4–6 %.

Ключевые слова: поверхностное легирование, ферромарганец, феррохром, ферротитан, износостойкость.

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), установлено, что технологии их изготовления с использованием объемного легирования не всегда себя оправдывают, а во многих случаях и вредны, поскольку лишь небольшая толщина таких деталей изнашивается, окисляется или повреждается. Это приводит к неоправданному расходу дорогих высоколегированных сплавов.

Ежегодно безвозвратно расходуются тысячи тонн металла литых деталей высокой себестоимости. 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. Толщина поверхностного слоя со специальными свойствами таких отливок может достигать 8–10 мм [1, 2].

Перспективным направлением развития технологии получения отливок с дифференцированными свойствами является поверхностное легирование, которое заключается в применении красок и паст, наносимых на определенные поверхности литейной формы или стержня. В этом случае форму целесообразно заливать дешевым среднеуглеродистым сплавом.

Анализом литературы о процессах поверхностного легирования установлено, что для получения отливки с заданными свойствами поверхности можно использовать чистые металлы (особенно в тех случаях, когда температуры их плавления ниже температуры заливаемого в форму расплава), а также различные лигатуры и ферросплавы. Например, для износостойкого легирования могут быть перспектив-

ными ферросплавы, в состав которых входят хром, марганец, титан и другие, недорогие и недефицитные карбидообразующие элементы.

Гранулометрический состав компонентов легирующего покрытия существенно влияет на толщину легированного слоя и выбирается в зависимости от температуры плавления покрытия и возможного перегрева металла основы перед заливкой его в форму.

В качестве связующего компонента в работе использовали жидкое стекло плотностью 1,3 г/см³ в количестве 3–6 %. Количество связующего компонента зависит от гранулометрического состава наполнителя: чем мельче наполнитель, тем больше использует жидкого стекла.

Изучено влияние карбидообразующих элементов, входящих в состав сравнительно дешевых ферросплавов, на процессы поверхностного легирования отливок в литейной форме.

Марганец. Теоретический и практический интерес представляют исследования влияния отдельных наполнителей на основе марганца различных фракций на толщину легированного слоя. В качестве наполнителей легирующих покрытий использованы высокоуглеродистый ферромарганец ФМн78, низкоуглеродистый – ФМн1,5 и марганец Мн965. Во всех опытах использовали легирующие покрытия толщиной 3 мм, а в качестве основы будущих отливок – среднеуглеродистую сталь 30Л. Температура заливаемой в форму стали составляла 1580 ± 10 °С.

Результаты исследований показаны на рис. 1.

Установлено, что повышение гранулометрического состава легирующего покрытия способствует уменьшению толщины легированного слоя для всех компонентов. Наилучшие результаты получены после использования ферромарганца ФМн78, несколько ниже – марганца Мн965, а наименьшая толщина легированного слоя имеет место при использовании ферромарганца ФМн1,5. Для всех компонентов очевидное их расплавление под действием температуры

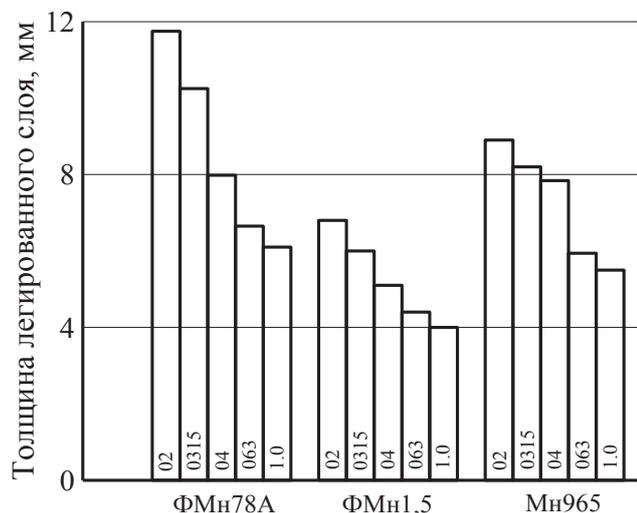


Рис. 1. Изменение толщины легированного слоя в зависимости от фракции наполнителя легирующего покрытия

расплава, поскольку их температуры плавления значительно ниже. Однако теплосодержания жидкого металла не хватает для полного расплавления легирующих покрытий, приготовленных на основе более крупных фракций. Это подтверждено визуальным анализом полученных образцов: с увеличением размеров фракции количество легирующего покрытия, которое не расплавилось, увеличивается, а толщина легированного слоя уменьшается (см. рис. 1).

Таким образом, для полного расплавления легирующего покрытия на основе марганца необходимо повышать температуру расплава и увеличивать скорость заполнения литейной формы для сохранения его теплосодержания.

Изменение толщины легированного слоя в зависимости от толщины легирующего покрытия при использовании различных компонентов, содержащих марганец, показано на рис. 2. Использовано мелкодисперсную фракцию (0,2) всех компонентов легирующего покрытия.

Установлено, что наибольшую толщину легированного слоя можно получить при использовании высокоуглеродистого ферромарганца FMn78 в качестве наполнителя легирующего покрытия. При толщине легирующего покрытия 7 мм толщина легированного слоя достигает 12 мм. Это объясняется низкой температурой плавления покрытия, что способствует практически полному его расплавлению и смешиванию с металлом основы.

Такой же характер изменения толщины легированного слоя от толщины легирующего покрытия сохраняется и для других компонентов. Однако толщина легированного слоя уменьшается, хотя остается достаточно высокой (10,6 мм для Mn965 и 9,5 мм – для FMn1,5 при толщине покрытия 7 мм). Уменьшение толщины легированного слоя можно объяснить повышением температуры плавления FMn1,5, а использование марганца Mn965 способствует образованию легированного слоя с большей концентрацией марганца и увеличением переходной зоны вследствие быстрого плавления марганца.

Таким образом, для износостойкого поверхностного легирования с экономической точки зрения целесо-

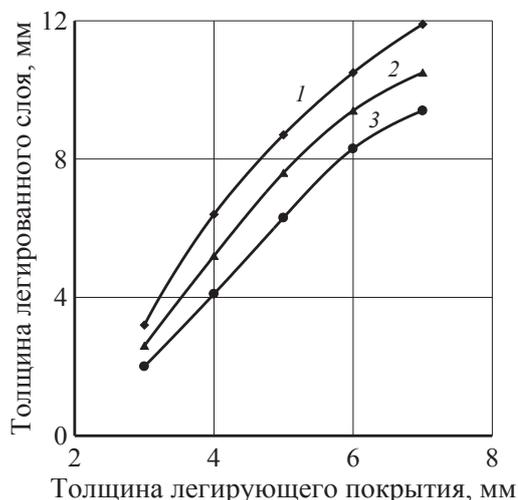


Рис. 2. Изменение толщины легированного слоя в зависимости от толщины легирующего покрытия (фракция 02): 1 – FMn78; 2 – Mn965; 3 – FMn1,5

образно использовать дешевый высокоуглеродистый ферромарганец FMn78, который обеспечивает стабильность процесса поверхностного легирования и способствует образованию легированного слоя достаточной толщины. Может быть использован марганец марки Mn965.

Поскольку лучшие результаты получены при использовании ферромарганца FMn78, то практический интерес представляет изменение твердости легированного слоя по его толщине.

Результаты исследования твердости легированного слоя показаны на рис. 3.

Установлено, что максимальная твердость легированного слоя на глубине 2–3 мм достигает 68 HRA после использования ферромарганца фракции 0315 при толщине легирующего покрытия 3 мм. Это почти вдвое больше, чем твердость основного металла. Несколько меньшие значения твердости легирован-

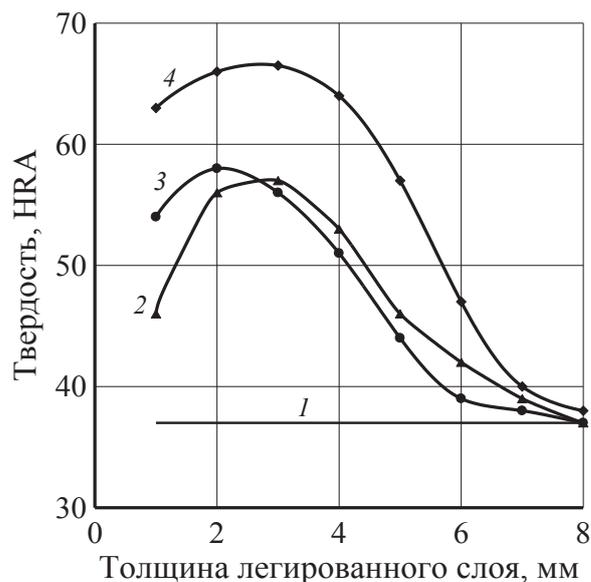


Рис. 3. Изменение твердости легированного слоя по его толщине в зависимости от использованной фракции FMn78: 1 – твердость основы; 2 – фракция 04; 3 – фракция 02; 4 – фракция 0315

ного слоя получены после использования фракций 02 и 04 с такой же толщиной легирующего покрытия и на такой же глубине.

Такое влияние марганца на твердость легируемого слоя в зависимости от фракции ферромарганца можно объяснить так: при использовании фракции 0315 одновременно осуществляются процессы расплавления легирующего покрытия и проникновения жидкого металла в его капилляры с последующим окончательным расплавлением частичек ферромарганца и образованием карбидов марганца и твердого раствора, что способствует наибольшему повышению твердости легируемого слоя.

При использовании фракции 02 осуществляется расплавление легирующего покрытия, начиная с его поверхности (проникновение жидкого металла в покрытие минимальное), поэтому структурообразование сдвигается в сторону увеличения твердого раствора, что и уменьшает твердость поверхностного слоя.

При использовании фракции 04 жидкий металл в большей степени проникает в легирующее покрытие, расплавляет его частично, поэтому твердость поверхности легируемого слоя несколько ниже, хотя остается достаточно высокой.

Следовательно, максимальную твердость легируемого слоя (без термической обработки) достаточной толщины можно получить после использования высокоуглеродистого ферромарганца ФМн78 фракции 0315 в качестве наполнителя легирующего покрытия толщиной 2–4 мм.

Титан. В сплавах на основе железа одновременно образует твердый раствор, карбиды, нитриды, оксиды и способствует дисперсионному твердению.

Изучена целесообразность использования ферротитана ФТи30А фракций 02; 0315; 04 в качестве наполнителя легирующего покрытия для образования легируемого слоя с высокой поверхностной твердостью. Результаты исследований показаны на рис. 4.

Установлено, что максимальную твердость имеет легируемый слой, образованный после использования ФТи30А фракции 0315 толщиной легирующего покрытия 3 мм. Твердость легируемого слоя достигает 57 HRA, что выше, чем в 1,5 раза по сравнению с твердостью основы металла.

При использовании фракции 02 твердость поверхности легируемого слоя ниже, чем основы, вследствие расплавления покрытия и образования легируемого титаном феррита. С увеличением толщины легируемого слоя увеличивается количество карбонитридов титана и твердость его повышается. Такая же зависимость сохраняется после использования ферротитана фракции 04.

Таким образом, для получения максимальных твердости и толщины легируемого слоя целесообразно для поверхностного легирования использовать ферротитан марки ФТи30А фракции 0315 и толщиной легирующего покрытия 2–3 мм.

Хром. Образует с железом непрерывный ряд растворов и сложные карбиды, что способствует существенному повышению твердости легируемого металла.

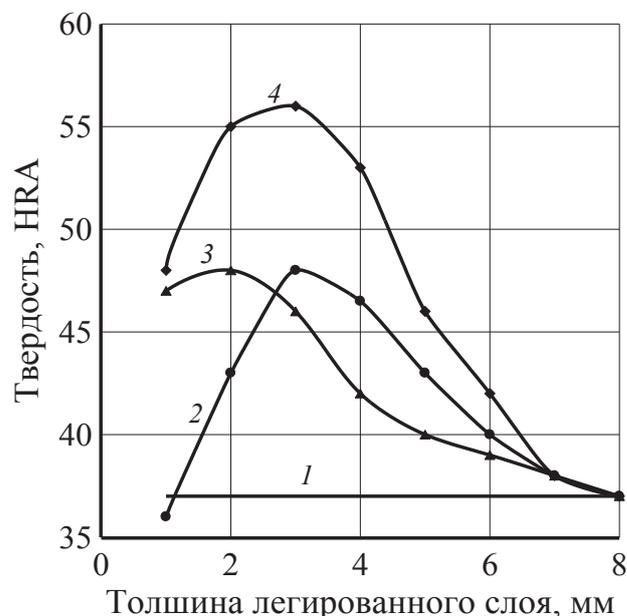


Рис. 4. Изменение твердости легируемого слоя по его толщине в зависимости от использованной фракции ФТи30А: 1 – твердость основы; 2 – фракция 02; 3 – фракция 04; 4 – фракция 0315

Промышленность выпускает большую гамму феррохромов с различным содержанием углерода, а значит, и с разной температурой плавления. В работе в качестве наполнителей легирующих покрытий использованы высокоуглеродистый феррохром ФХ800А и низкоуглеродистый – ФХ015А.

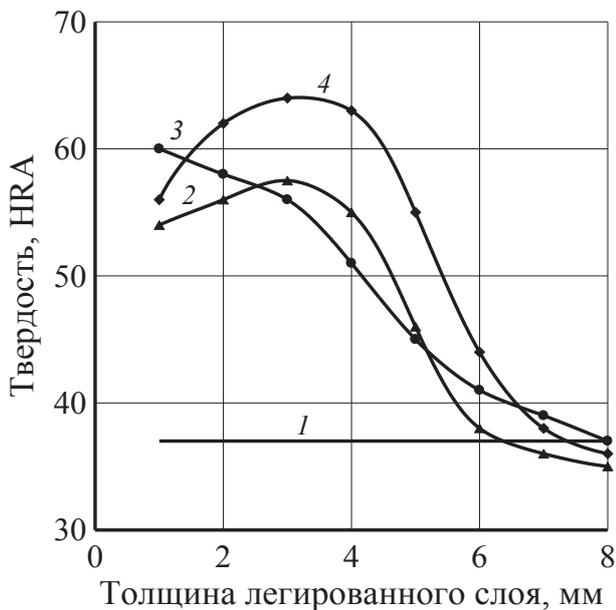
Результаты исследований показаны на рис. 5.

Как и для предыдущих легирующих элементов (марганца и титана) изменение твердости легируемого слоя по его толщине имеет такой же характер. Разница состоит только в том, что феррохром ФХ800А имеет меньшую температуру плавления, чем ФХ015, поэтому больше растворяется в жидком металле и способствует повышению твердости: для ФХ800А максимальная твердость составляет 64 HRA, а для ФХ015А – 56 HRA. Толщина легируемого слоя для ФХ015 также уменьшается (см. рис. 5).

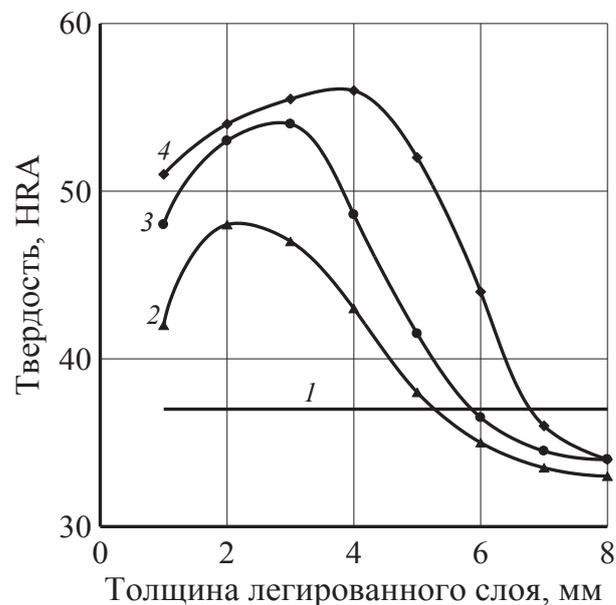
Однако, такая незначительная разница в твердости и толщине легируемого слоя дает возможность сделать вывод, что в качестве наполнителя легирующего покрытия можно использовать как высокоуглеродистые, так и низкоуглеродистые феррохромы, хотя с точки зрения трудоемкости приготовления порошков и стоимости, целесообразнее использовать высокоуглеродистые феррохромы, поскольку они дешевле и легче измельчаются.

Исследованием структур установлено, что во всех случаях образуется переходный слой, который обеспечивает прочную связь основы с износостойким легируемым слоем (рис. 6).

Установлено, что для всех наполнителей лучшие результаты дают покрытия фракций 0315 и 04, поскольку осуществляется проникновение расплава в легирующее покрытие с последующим расплавлением и растворением компонентов покрытия. В то же время неплохие результаты дают покрытия на основе фракции 02, особенно в случаях, когда превали-

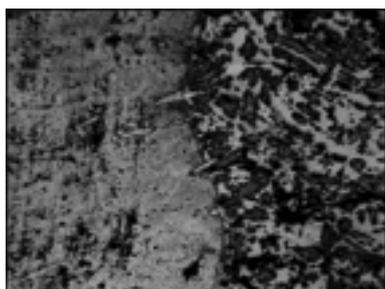


а



б

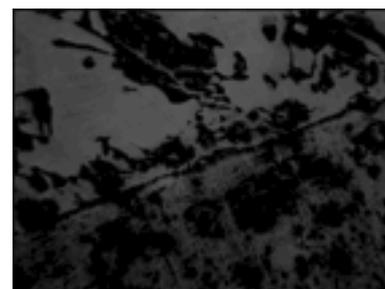
Рис. 5. Изменение твердости легированного слоя по его толщине в зависимости от использованной фракции: ФХ800А (а), ФХ15А (б): 1 – твердость основы; 2 – фракция 04; 3 – фракция 02; 4 – фракция 0315



а



б



в

Рис. 6. Влияние ФХ800А (а), ФМн78 (б) и ФТи35А (в) на образование переходного слоя в структуре металла

рует расплавление компонентов легирующего покрытия под действием тепла жидкого металла (ФМн78, Мн965).

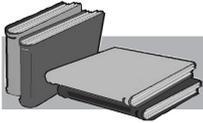
Глубина легированного слоя зависит, главным образом, от начальной глубины проникновения жидкого металла в поры покрытия. Поскольку легирующее покрытие представляет собой достаточно мощный холодильник (особенно толщиной 5–7 мм), то глубина проникновения расплава в поры покрытия в значительной степени будет зависеть от температуры и жидкотекучести металла основы. Поэтому при выборе составов покрытий и их фракций необходимо, прежде всего, руководствоваться такими факторами, как температура заливки металла и литейной формы.

Полученные результаты дают право сделать вывод, что толщину легирующего покрытия и его гра-

дулометрический состав необходимо выбирать в зависимости от требуемой толщины износостойкого легированного слоя с учетом толщины стенки реальных литых деталей.

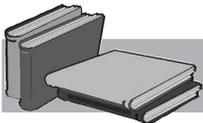
Таким образом, для износостойкого поверхностного легирования целесообразно использовать порошки ферросплавов, в состав которых входят карбидообразующие элементы, механические смеси на их основе и отдельные химические соединения легирующих элементов.

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



ЛИТЕРАТУРА

1. *Мартушев Н. В.* О возможности легирования поверхности отливок нанопорошками // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. – С. 122–129.
2. *Ямшинський М. М., Федоров Г. Є., Платонов Є. О.* Сучасні технологічні аспекти виготовлення виливків із диференційованими властивостями поверхні // Наукові вісті Національного технічного університету «КПІ». – 2004. – № 6. – С. 21–26.
3. *Гурьев М. А., Околович Г. А.* Поверхностное упрочнение стальных деталей при литье по газифицируемым моделям // Ползуновский вестник. – 2010. – № 2. – С. 102–106.
4. *Olawale Samuel Fatoba, Olaitan Lukman Akanji, Abiodun Samson Aasa.* Optimization of Carburized UNS G10170 Steel Process Parameters Using Taguchi Approach and Response Surface Model (RSM) // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. – 2014. – № 2. – С. 566–578.
5. *Babakr A. M., Al-Ahmarī A., Al-Jumayyah K., Habiby F.* Sigma Phase Formation and Embrittlement of Cast Iron-Chromium-Nickel (Fe-Cr-Ni) Alloys // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2008. – № 7. – С. 127–145.
6. *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.
7. *Roberta R. Moreira, Thiago F. Soares, Josimar Ribeiro.* Electrochemical Investigation of Corrosion on AISI 316 Stainless Steel and AISI 1010 Carbon Steel: Study of the Behaviour of Imid-azole and Benzimidazole as Corrosion Inhibitors // Advances in Chemical Engineering and Science. – 2014. – № 4. – С. 503–514.
8. *Kanni Raj.* On High-Temperature Materials: A Case on Creep and Oxidation of a Fully Austenitic Heat-Resistant Superalloy Stainless Steel Sheet // Journal of Materials. – 2013. – № 12. – С. 1–6.



REFERENCES

1. *Martiushev N. V.* (2013). O vozmozhnosti legirovaniia poverkhnosti otlivok nanoporoshkami [On the possibility of alloying the surface of castings with nanopowders]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, no. 4, pp. 122–129 [in Russian].
2. *Yamshyns'kii M. M., Fedorov G. E., Platonov E. O.* (2004). Suchasni tekhnolohichni aspekty vyhotovlennia vylivkiv iz dyferentsiiovanymy vlastyvostyami poverkhni [Modern technological aspects of manufacturing castings from differentiated surface properties]. *Naukovi visti Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KPI»*, no. 6, pp. 21–26 [in Ukrainian].
3. *Gur'ev M. A.* (2010). Poverkhnostnoe uprochnenie stal'nykh detalei pri lyt'e po gazyfitsyruemym modeliam [Surface hardening of steel parts when casting on gasified models]. *Polzunovskii vestnyk*, no. 2, pp. 102–106 [in Russian].
4. *Olawale Samuel Fatoba, Olaitan Lukman Akanji, Abiodun Samson Aasa* (2014). Optimization of Carburized UNS G10170 Steel Process Parameters Using Taguchi Approach and Response Surface Model (RSM). *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, no. 2, pp. 566–578 [in English].
5. *Babakr A. M., Al-Ahmarī A., Al-Jumayyah K., Habiby F.* (2008). Sigma Phase Formation and Embrittlement of Cast Iron-Chromium-Nickel (Fe-Cr-Ni) Alloys. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, no. 7, pp. 127–145 [in English].
6. *Yamshynskij M. M., Fedorov H. E., Platonov E. A., Kuz'menko A. E.* (2006). Sovershenstvovanie tekhnologii izgotovleniia otlivok s differentsirovannymy svoystvamy poverkhnosti [Perfection of technology of manufacturing of castings with differentiated properties of surface]. *Visnyk DDMA*, no. 3, pp. 14–19 [in Ukrainian].
7. *Roberta R. Moreira, Thiago F. Soares, Josimar Ribeiro* (2014). Electrochemical Investigation of Corrosion on AISI 316 Stainless Steel and AISI 1010 Carbon Steel: Study of the Behaviour of Imid-azole and Benzimidazole as Corrosion Inhibitors. *Advances in Chemical Engineering and Science*, no. 4, pp. 503–514 [in English].
8. *Kanni Raj* (2013). On High-Temperature Materials: A Case on Creep and Oxidation of a Fully Austenitic Heat-Resistant Superalloy Stainless Steel Sheet. *Journal of Materials*, no. 12, pp. 1–6 [in English].

Анотація

Ковальчук О. Г., Ямшинський М. М., Федоров Г. Є.
Дослідження процесів зносостійкого поверхневого легування

Установлено, що для економії легувальних елементів і збереження високої зносостійкості литих деталей машин і механізмів у багатьох випадках доцільно замінювати об'ємне легування поверхневим, що дозволяє в процесі виготовлення виливків одержувати зносостійкий шар з високою твердістю і товщиною до 12 мм. Найкращими й дешевими матеріалами для отримання виливків із диференційованими властивостями поверхні є порошки феромарганцю, ферохрому та феротитану, а також їх механічні суміші. Гранулометричний склад таких порошоків повинен знаходитися у межах 0,315–0,4 мм. Як зв'язувальний компонент для приготування покриття слід використовувати рідке скло густиною 1,3 г/см³ в кількості 4–6 %.

Ключові слова

Поверхнєве легування, феромарганець, ферохром, феротитан, зносостійкість.

It has been established that in order to save alloying elements and keep high wear-resistance of cast parts of machines and mechanisms, in many cases it is more reasonable to replace volumetric alloying with surface alloying that allows in the process of casting to obtain a wear-resistant layer with high hardness and thickness up to 12 mm. The best and cheapest materials for obtaining castings with differentiated properties of the surface are powders of ferromanganese, ferrochrome and ferrotitanium, as well as their mechanical mixtures. The granulometric composition of such powders should be in the range of 0.315–0.4 mm. A liquid glass with a density of 1.3 g/cm³ in the amount of 4–6 % should be used as a binding agent for the preparation of the coating.

Оформление рукописи для опубликования в журнале «Металл и литье Украины»:

Материалы для публикации необходимо подавать на русском языке в формате, поддерживаемом Microsoft Word, размер страницы А4, книжная ориентация, шрифт – Arial, 10, междустрочный интервал – 1,5. Объем статьи – не более 10 стр., рисунков – не более 5.

Рукопись должна содержать:

- УДК;
- фамилии и инициалы всех авторов (на русском, украинском и английском языках);
- ученую степень, должность каждого автора;
- полное название учреждения(й), в котором(ых) работает(ют) автор(ы);
- E-mail каждого автора;
- название статьи (на русском, украинском и английском языках);
- аннотации (на русском, украинском и английском языках);
- ключевые слова (не менее шести) – на русском, украинском и английском языках;
- предлагаемая структура текста (Arial 10, прямой) научной статьи:
«Введение», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы»;
- таблицы должны иметь порядковый номер (Arial 10, курсив) и заголовок (Arial 10, п/ж), текст в таблице (Arial 9, прямой), примечания к таблицам размещаются непосредственно под таблицей (Arial 8, курсивом);
- формулы (Arial 11, русские символы – прямым, английские – курсивом, греческие – Symbol 12, прямым) должны набираться в специальной программе Math Type и иметь порядковый номер (Arial 10, прямой);
- рисунки, схемы, диаграммы и другие графические материалы должны быть черно-белыми, четкими, контрастными (с разрешением как минимум 300 dpi), и сделаны отдельными файлами со стандартными графическими расширениями jpeg или tiff, обязательно иметь номер и подрисуночную подпись (Arial 9, прямой); все громоздкие надписи на рисунке следует заменять цифровыми или буквенными обозначениями, объяснение которых необходимо выносить в подрисуночную подпись;
- список литературы на 2 языках: русском и английском – References (Arial 9);
- ссылки нумеруются в порядке их упоминания в тексте, где они обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках (например – [1]).