

ПОВЕРХНОСТНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Рассмотрено влияние поверхностного легирования на коррозионную стойкость и износостойкость. Установлена взаимосвязь между структурой, фазовым составом поверхностного слоя и эксплуатационными показателями деталей.

Ключевые слова: графит, поверхностное легирование, упрочнение, жаростойкость, адгезионная прочность, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, диффузия, микроструктура, поверхностный слой, коррозионная стойкость, износостойкость.

Введение

Поверхностное легирование материалов широко используется в технике для повышения эксплуатационных характеристик деталей машин. Поверхностно легированные материалы [1] имеют более высокие эксплуатационные характеристики, чем неупрочненные. В условиях современного развития экономики Украины особо остро стоит проблема создания новых конструкционных материалов, способных работать в условиях высоких температур, химического сопротивления и больших динамических нагрузок [1]. Большинство деталей машин подвержено изгибу и кручению, при которых напряжения растут в направлении к поверхности. Разрушение деталей в процессе эксплуатации, как

правило, начинается с поверхности, где расположены основные источники концентрации напряжений. Поэтому особенно важно повышать прочность именно поверхностных и приповерхностных слоёв [2]. Долговечность деталей и узлов, работающих в агрессивных средах при высоких температурах, во многом зависит от состава, структуры и свойств поверхностного слоя [3–5]. Разработка эффективных процессов создания слоев с повышенными эксплуатационными характеристиками диффузионных процессов основана на глубоком изучении диффузионных процессов, на развитии теории переноса элементов при насыщении ими поверхностных слоев металлов, сплавов и на их основе интерметаллидов, глубоком изучении механизмов фор-

мирования диффузионных слоев, исследования химического и фазового состава, структуры и механических свойств поверхности материала [1].

Анализ литературных данных и постановка проблемы

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) представляет собой высокоинтенсивное экзотермическое взаимодействие химических элементов в конденсированной фазе, способное к самопроизвольному распространению в виде волны горения [6]. Благодаря высоким технологическим и физическим (тепловые свойства, электрические и магнитные характеристики) свойствам высокоуглеродистых материалов, используемых в качестве деталей ответственного назначения, применяется комплексное поверхностное легирование кремнием и бором в условиях теплового самовоспламенения, заключающегося в совмещении химических транспортных реакций с процессом теплового самовоспламенения порошковых смесей [5–6].

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является разработка технологии поверхностного СВС-легирования высокоуглеродистых конструкционных материалов для деталей ответственного назначения с целью повышения коррозионной стойкости и износостойкости.

Материалы и методика исследования

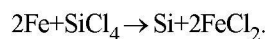
В качестве исследуемых материалов были выбраны чугун ВЧ 45-5, (ДСТУ 3925-99) и электродный графит ЭГ. В качестве источника тепла для протекания процесса диффузионного насыщения были использованы порошки окислов Cr_2O_3 и SiO_2 . Дисперсность порошков составляла 100–350 мкм. Поверхностное упрочне-

ние образцов в условиях СВС осуществляли в реакторе открытого типа. Температуру СВС-смеси контролировали вольфрам-рениевой термопарой ВР-5 в защитном чехле, введенной непосредственно в ее объем. Микроструктура упрочненного слоя исследовалась на световом микроскопе «Neophot-21». Фазовый анализ осуществляли на рентгеноспектральном микроанализаторе MS-46, оснащенный приставкой электронного микроскопа ME 76. Испытание на коррозионную стойкость определяли по изменению массы образцов до и после испытаний, испытание на износостойкость проводили по ГОСТ 23.224-86.

Результаты исследований и их обсуждение

1 Коррозионная стойкость защитных диффузионных слоев

Силицирование чугуна повышает его коррозионную стойкость в 10 %-ном растворе H_2SO_4 до 3,5 раз (рис. 1). Скорость коррозии в указанном растворе после силицирования составляет 20 мг/дм² в сутки. Чугун силицируется по обменной реакции с тетрахлоридом кремния без участия водорода в качестве восстановителя и без реакций диспропорционирования:



При силицировании в реакторе создается такая температура, чтобы обеспечивалась заданная концентрация кремния в диффузионном слое и соответствующая структура слоя. Установлено, что оптимальное давление паров SiCl_4 находится в пределах 10–20 Па, а температура процесса должна составлять 1000 °С. Наилучшую коррозионную стойкость обеспечивает диффузионный слой, поверхность которого представляет собой упорядоченный твердый раствор Fe_3Si_3 (α' -фаза), а внутренний – твердый раствор кремния в железе (α -фаза).

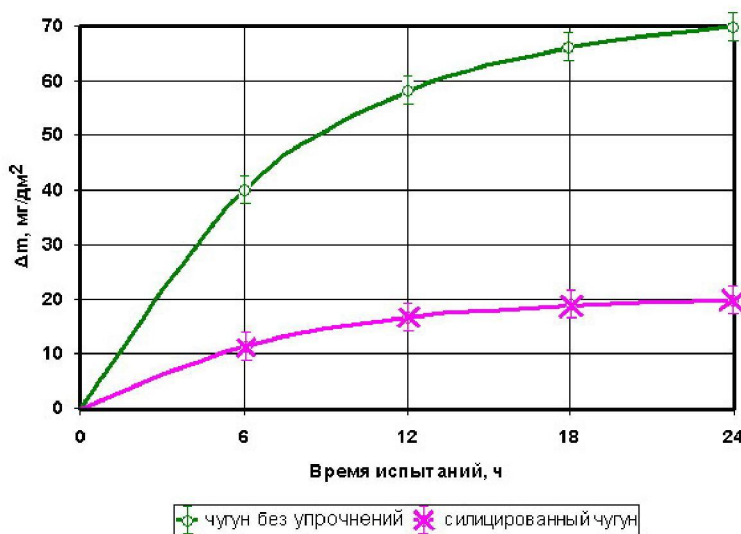


Рис. 1. Коррозионная стойкость чугуна без покрытий и силицированного (с добавлением в шихту 10%Si) в 10%-ном растворе H_2SO_4 . Материал подложки – чугун марки ВЧ 45-5

С целью повышения коррозионной стойкости защитные покрытия легировали бором и никелем. При осаждении легирующих элементов получают плотные, беспористые, эластичные покрытия, легированные Ni-B, толщиной до 200 мкм, с содержанием бора 1,5 % (рис. 2). Свойства защитных силицированных покрытий, содержащих никель и бор:

1. Устойчивость к коррозии.
2. Повышенная поверхностная твердость.
3. Высокая устойчивость к окислению при повышенных температурах.

Как оказалось экспериментально, силицирование графита дало еще больший эффект (рис. 3–4).

Микротвердость образующихся фаз показана в табл. 1. В результате установлена зависимость коррозионной стойкости поверхности упрочняемых деталей от содержания кремния, бора и никеля в шихте. Выявлено и экспериментально доказано, что силицирование чугуна при содержании кремния в шихте в количестве 10 % приводит к увеличению коррозионной стойкости в 3,2–3,5 раз, а добавка дополнительно бора в количестве 15 % в шихту и оксида никеля в количестве 0,5 % приводит к увеличению коррозионной стойкости чугуна в 3,8–4,2 раза.

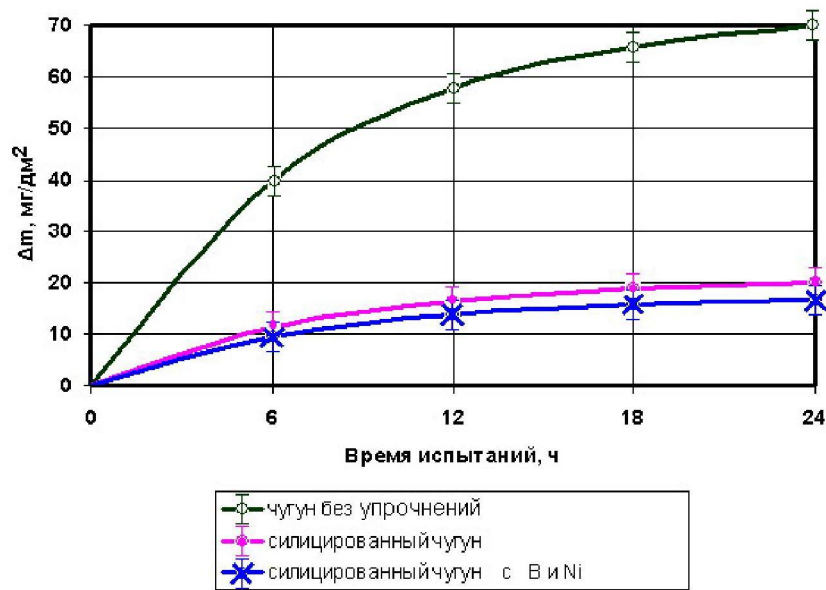


Рис. 2. Коррозионная стойкость в 10 %-ном растворе H_2SO_4 чугуна без покрытий; силицированного (с добавлением в шихту 10 %Si) и силицированного (также 10 %Si) с легируемыми элементами (15 % В и 0,5 %NiO) в 10 %-ном растворе H_2SO_4 . Материал подложки – чугун марки ВЧ 45-5

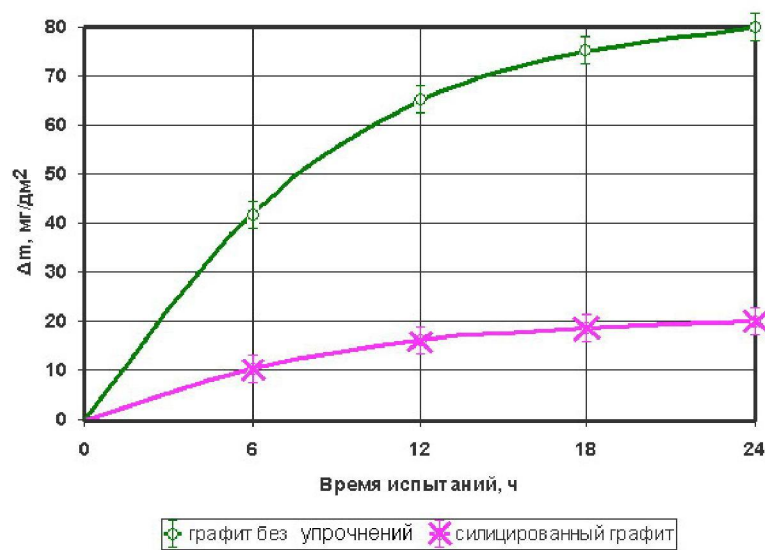


Рис. 3. Коррозионная стойкость в 10 %-ном растворе H_2SO_4 графита без покрытий и силицированного (с добавлением в шихту 10 %Si). Материал подложки – графит марки ЭГ

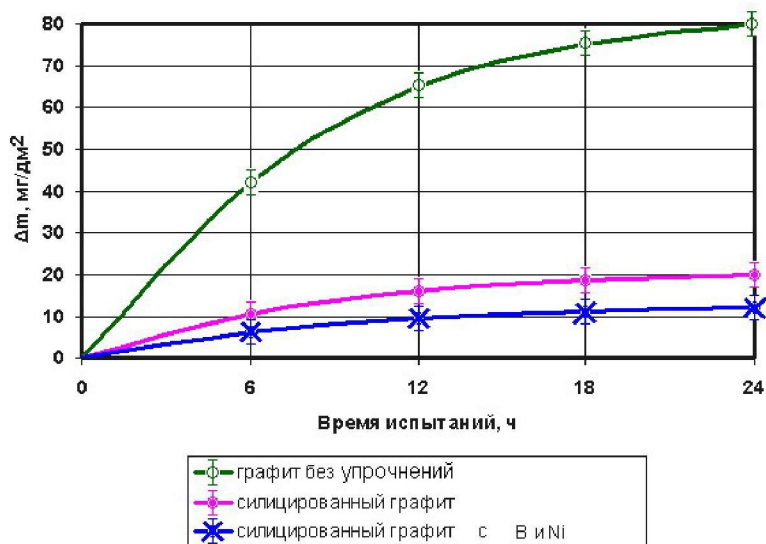


Рис. 4. Коррозионная стойкость в 10 %-ном растворе H_2SO_4 графита без покрытий, силицированного (с добавлением в шихту 10 %Si) и силицированного (также 10 %Si) с легированными элементами (15 % В и 0,5 %Ni). Материал подложки – графит марки ЭГ

Таблица 1 – Микротвердость образующихся фаз

Фаза	Микротвердость H_{100} , МПа
Ni_3B	11900
Ni_2B	14300
Ni_4B_3	14860
NiB	15460
NiB_2	33600

2 Износостойкость защитных покрытий

Изнашивание защитных покрытий на материале ВЧ 45-5 при сухом трении проводилось при скорости скольжения контртела (сталь 30ХГСА) 1,02 м/с и удельном давлении 7,5 МПа на пути 500 м при времени испытаний 8,17 мин (рис. 5, а). В условиях граничного трения испытания проводились при той же скорости и удельном давлении с подачей масла 20 капель в минуту (масло индустриальное И-20) на пути трения $1,4 \times 10^4$ м при времени испытаний 3,81 ч (рис. 5, б). Скорость и продолжительность испытания при обоих видах трения были установлены опытным путем, исходя из необходимости получения надежных и воспроизводимых результатов при малой продолжительности испытания.

Из данных рисунков видно, что наибольшей износостойкостью обладают упрочненные образцы, легированные 14 % Cr. В силу того, что хром входит в состав хромистой составляющей, которая отвечает за температурный фактор, то дальнейшее увеличение содержания хрома (при содержании ХС 20 %) в данной технологии не представляется возможным. Введение бора в шихту способствует равномерному распределению мелкодисперсных карбидов по сечению слоя и является активным аустенизатором. Наружный борированный диффузионный слой представляет собой FeB, а внутренний – Fe_2B .

При такой технологии на поверхности исследуемых образцов формируются достаточно однородные слои

с эффективной глубиной 150–200 мкм, которые представляют собой высокодисперсную структуру с равномерным распределением частиц упрочняющих фаз.

Высокая износостойкость поверхности в первую очередь определяется карбидной фазой и достигается при:

- максимальном количестве карбидов;
- максимальной твердости карбидов, превосходящей твердость абразива;
- минимальном размере карбидов;
- тригональных карбидах типа Cr_7C_3 , ориентированных осью перпендикулярно изнашиваемой поверхности;
- нанесении слоев с большим количеством ($\geq 40\%$) заэвтектических карбидов при условии их значительного измельчения и удовлетворительных механических свойствах сплавов.

При всех видах износа карбидная фаза должна отличаться минимальным размером, компактной структурой, максимальной твердостью.

Выводы

1. Установлена зависимость коррозионной стойкости поверхности упрочняемых деталей от содержания кремния, бора и никеля в шихте. Выявлено и экспериментально доказано, что силицирование чугуна при содержании кремния в шихте в количестве 10 % приводит к увеличению коррозионной стойкости в 3,2–3,5 раз, а добавка дополнительно бора в количестве 15 % в шихту и оксида никеля в количестве 0,5 % приводит к увеличению коррозионной стойкости чугуна в 3,8–4,2 раза.

2. Установлена зависимость износостойкости поверхности упрочняемых деталей от содержания хрома в шихте. Выявлено, что благодаря содержанию хрома в шихте в количестве 14 % удалось повысить износостойкость поверхностного слоя в 2,4–2,7 раза.

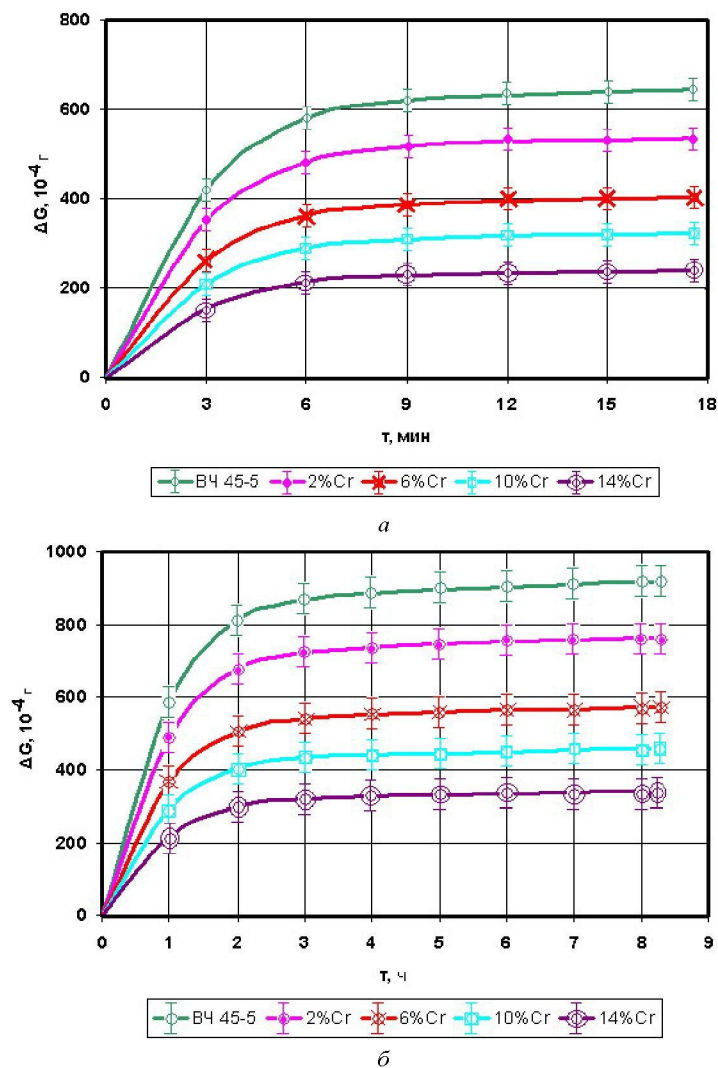


Рис. 5. Зависимость износостойкости на материале ВЧ 45-5 без покрытия и с различным содержанием хрома на покрытии при сухом трении (а) и в условиях граничного трения с подачей масла (б)

Список литературы

1. Абраимов Н. В. Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов / Абраимов Н. В., Елисеев Ю. С. – М. : Интермет Инжиниринг, 2001. – 622 с.
2. Пугачева Н. Б. Технология поверхностного упрочнения и нанесения покрытий / Пугачева Н. Б. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2008 – 3 с.
3. Космос и технологии : учебник / [Санин Ф., Джур Е., Санин А., Хуторный В.В.]. – Д. : АРТ-ПРЕСС, 2007. – 456 с.
4. Удовицкий В. И. Антифрикционное пористое силицирование углеродистых сталей : учебник / В. И. Удовицкий М. : Машиностроение, 1977. – 191 с.
5. Ворошнин Л. Антифрикционные диффузионные покрытия : учебник / Ворошнин Л. – Минск : Наука и техника, 1981 – 295 с.
6. Мержанов А. Процессы горения и синтеза материалов : учебник / Мержанов А. – Черногловка : ИСМАН, 1998. – 512 с.

Одержано 04.09.2013

Ткаченко С.М. Поверхневе легування конструкційних матеріалів відповідального призначення з високовуглецевих метеріалів з метою підвищення корозійної стійкості та зносостійкості

Розглянуто вплив поверхневого легування на корозійну стійкість і зносостійкість. Встановлено взаємозв'язок між структурою, фазовим складом поверхневого шару і показниками міцності.

Ключові слова: графіт, поверхневе легування, зміцнення, жаростійкість, адгезійна міцність, саморозповсюджувальний високотемпературний синтез, дифузія, мікроструктура, поверхневий шар, корозійна стійкість, зносостійкість.

Tkachenko S. Surface alloying of construction materials of responsible setting from high-carbon materials with the purpose of increasing corrosion and wear resistance.

Influence of the surface alloying on corrosion and wear resistance is described. Interconnection between structure, phase composition of surface layer and mechanical properties is established.

Key words: carbon, surface alloying, work-hardening, heat-resistance, adhesion strength, self-propagating high temperature synthesis, diffusion, microstructure, surface layer, corrosion resistance, wear resistance.
