

Влияние ТВЧ на физико-механические свойства композиционных электрохимических покрытий

Г. В. Гурьянов, Ю. Е. Кисель

Брянская государственная сельскохозяйственная академия,
Брянская обл., с. Кокино, 243365, Россия, e-mail: YPK2@mail.ru

Исследовано влияние термической обработки на некоторые механические свойства композиционных электрохимических покрытий на основе железа с дисперсными включениями карбида бора. Показано, что термическая обработка приводит к изменению микроструктуры композитов и активации физико-химических реакций между частицами наполнителя и матрицей. Установлено, что благодаря термообработке увеличивается износостойкость покрытий.

Ключевые слова: композиционные электрохимические покрытия, структура, износостойкость, микротвердость, дисперсная фаза, механические свойства.

УДК 631.3.004.67:621.35.035.4

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время достаточно широко распространена в практике ремонтного производства технология восстановления и упрочнения деталей машин композиционными электрохимическими покрытиями (КЭП). КЭП получают совместным электролизом металлов (железо, хром, никель и другие) и твердых дисперсных неметаллических соединений (карбиды, бориды, нитриды и другие) [1–3]. Благодаря сочетанию упругопластических свойств матрицы и высокой твердости и прочности дисперсной фазы (ДФ) КЭП имеет в десятки раз более высокую износостойкость в сравнении с «чистыми» покрытиями. Однако недостатком КЭП является низкая прочность связи между компонентами гетерогенного материала, вследствие чего прочностной потенциал композита используется не полностью. Вместе с тем указанный недостаток можно преодолеть электротермической обработкой деталей с покрытиями с помощью ТВЧ [4].

Поэтому цель работы – исследование влияния обработки ТВЧ на некоторые физико-механические свойства КЭП.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

КЭП получали из электролитов-суспензий (ЭС) на основе хлористого железа. В качестве ДФ служил микропорошок карбида бора промышленного изготовления (марки М14). Подробная технология получения КЭП изложена в работах [4–6]. Покрытия толщиной 0,05–1,0 мм после стабилизации структуры в течение 20 суток хранения обрабатывали на установке типа ИЗ-250-66 от 2 до 20 секунд. Температуру нагрева T (от 200 до 1200°C) контролировали пирометрически. Изучали влияние термообработки на структуру КЭП, микротвердость, электросопротивление, износостойкость, предел прочности

при растяжении, остаточные внутренние напряжения (ВН). Исследование электросопротивления, прочности на растяжение выполняли на материале, отделенном от подложки. Прочность на растяжение КЭП изучали на образцах в виде колец [7]. Микроструктуру – на поперечных шлифах образцов после термообработки и механических испытаний. ВН определяли методом гибкого катода на пластинах 100×10×0,5 мм [8, 9].

При испытании на растяжение кольцевые образцы помещали в специальное самоустанавливающееся приспособление и разрушали на разрывной машине Р-500 [7]. Прочность покрытий σ_b устанавливали по формуле $\sigma_b = P/A$, где P – разрушающая нагрузка; A – площадь поперечного сечения образца. Электросопротивление R (Ом) КЭП определяли по четырехконтактной схеме с помощью моста одинарного типа Р333 с точностью до 1×10^{-4} Ом [9]. Абразивная износостойкость исследовалась в соответствии с ГОСТ 23.208-79 на специально разработанной установке [6]. Время проведения испытаний определялось необходимостью получения ощутимой величины износа J (мг), который определяли весовым методом с погрешностью 5×10^{-3} кг. Исследование морфологии и микроструктуры КЭП проводили с помощью микроскопов МИМ-8 и МБС-9. Микротвердость H_n измеряли на ПМТ-3. Повторность испытаний в опытах составляла от 3 до 20. Опытные данные обрабатывали методами математической статистики. Для построения функциональных зависимостей использовали регрессионный анализ [10, 11].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

КЭП до обработки ТВЧ получались качественными, плотными, без слоев и трещин

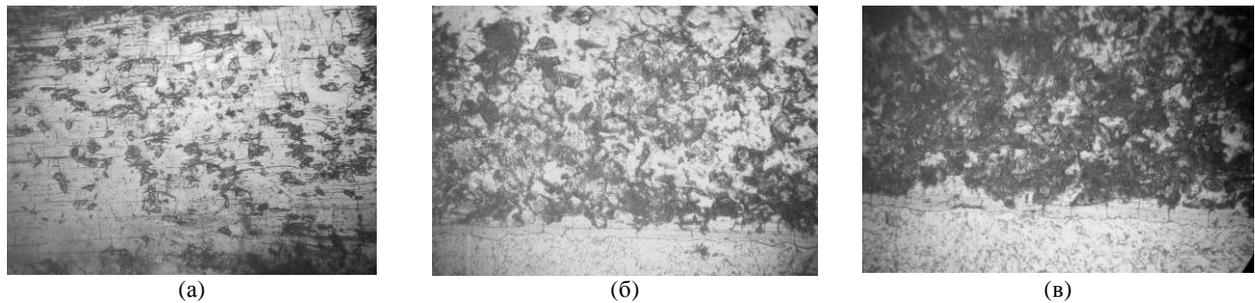


Рис. 1. Влияние температуры нагрева КЭП железо-карбид бора ТВЧ на их структуру ($\times 400$): (а) – без обработки; (б) – при 600–650°C; (в) – при 800–850°C.

(рис. 1). Содержание ДФ в покрытии составляло 22–24% (об.). Особенности микроструктуры были равномерное распределение дисперсной фазы и отсутствие частиц в начальных слоях покрытия вблизи границы раздела с подложкой, что согласуется с литературными данными и подтверждает незначительное влияние частиц на сцепление покрытия с основой [1–3].

При нагреве образцов ТВЧ до 350–450°C значительных изменений во внешнем виде поверхности и структуре КЭП не наблюдалось. При нагреве более 450–550°C образцы покрывались налетом оксидов железа и других продуктов взаимодействия компонентов композиции с атмосферой и растворенными в металле газами. Температура 600–650°C соответствует началу взаимодействия бора и углерода с железом, в результате которого образуются растворы замещения, уменьшаются параметры решетки и изменяется объем сплава (см. рис. 1) [12, 13]. Значительные изменения морфологии и структуры КЭП железо-карбид бора при высокотемпературной обработке (более 800–850°C) свидетельствовали о протекании диффузионных процессов и об образовании новых фаз. В структуре появлялись крупные кристаллические образования различной формы, которые не травились раствором азотной кислоты. В матрице композита происходило «залечивание» мелких пор (см. рис. 1).

Структурные и фазовые изменения КЭП железо-карбид бора при нагреве приводили к увеличению ВН (рис. 2). Зависимость ВН от температуры нагрева ТВЧ имела асимптотический характер, в котором можно выделить: I – область низкотемпературного нагрева с незначительным изменением ВН; II – переходную область с резким увеличением ВН; III – область высокотемпературного нагрева с установившимися высокими ВН.

Исследования показали, что предел прочности при растяжении материала КЭП зависел от температуры нагрева. Причем зависимость $\sigma_b = f(T)$ проходила через максимум при температуре 600–700°C: $\sigma_b = -0,00123T^2 + 0,482T + 3,696$ (рис. 3). Следует заметить, максимальное значе-

ние предела прочности достигало 75–80 МПа, что несколько превышает прочность «чистого» металлургического железа (70 МПа) [14].

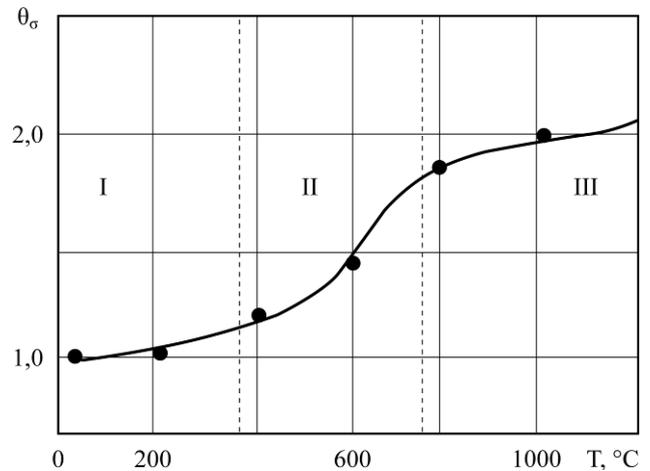


Рис. 2. Зависимость относительных ВН ($\theta_\sigma = \sigma/\sigma_0$, где σ – ВН после термической обработки; σ_0 – ВН, обусловленные условиями получения покрытий) КЭП от температуры нагрева.

Электросопротивление КЭП уменьшалось, а затем, пройдя через минимум при температуре 600–650°C, несколько возрастало по зависимости: $R = 0,0011T^2 - 0,0142T + 0,687$ (см. рис. 3). Плавное увеличение прочности и снижение электросопротивления КЭП при температурах нагрева поверхности от 20 до 600°C можно объяснить уменьшением микроискажений кристаллической решетки, которое обусловлено миграцией вакансий к свободным поверхностям и границам зерен и аннигиляцией на них, выходом из осадка протонированного и молекулярного водорода, разложением и миграцией из покрытий гидроксидов железа и других химсорбированных соединений [2, 3, 14].

Увеличение электросопротивления КЭП может быть связано с проявлением химического взаимодействия дисперсных частиц карбида бора и железа. При этом образуются карбиды и бориды железа, имеющие электрические свойства, отличные от исходных компонентов КЭП, проникновение бора и углерода в кристаллическую решетку железа также приводит к увеличению ее микроискажений. В наших опытах началом ак-

тивного образования боридов и карбидов в гетерогенном материале можно считать температуру 600–650°C, при которой начинается рост электросопротивления КЭП.

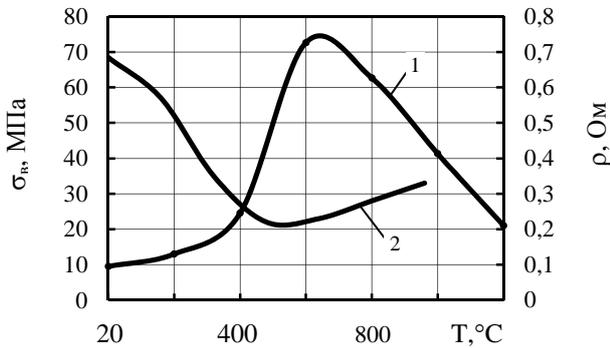


Рис. 3. Зависимость предела прочности при растяжении (1) и электросопротивления (2) КЭП от температуры нагрева образцов.

Абразивная износостойкость КЭП также зависела от интенсивности термической обработки поверхности: $J = 0,0031T^2 - 0,0279T + 10,3$ (рис. 4). Износ КЭП железо-карбид бора с увеличением температуры нагрева поверхности КЭП до 600–700°C уменьшался, а затем увеличивался. Сопоставляя изменения свойств и структуры КЭП с их абразивной износостойкостью, можно предположить, что уменьшение износа при нагреве обусловлено улучшением структуры матрицы и ростом химических связей между матрицей и ДФ, благодаря чему последняя прочно удерживается матрицей и формирует особую морфологию рабочей поверхности образцов.

Вместе с тем, когда нагрев ТВЧ приводит к «растворению» частиц дисперсной фазы в матрице с образованием новых соединений, значительным ростом ВН, падением прочности и твердости осадков, происходят их ускоренное разрушение под нагрузкой и уменьшение износостойкости. Образование новых химических соединений не приводит к значительному падению микротвердости при температурах выше 800–900°C. В связи с этим абразивная износостойкость резко не падала, как у «чистых» покрытий. Однако можно считать, что эта область температур электротермической обработки КЭП выходит за оптимальную.

Исследования влияния термообработки ТВЧ на ударную вязкость стали с покрытиями показали, что увеличение нагрева приводило к ее снижению (рис. 5). Необходимо отметить, что наибольшее снижение ударной вязкости вызывают «чистые» покрытия. Они обладают развитой сеткой трещин, которые играют роль надрезов. По данным работы [8], образцы, составленные из пластин по высоте, значительно превосходят по ударной вязкости целые. Повышение

ударной вязкости составных образцов объясняется как увеличением объема металла, получающего пластическую деформацию, так и экранирующим влиянием плоскости разъема. Трещина в сплошном образце, вызывая резкую концентрацию напряжений, приводит к быстрому разрушению при ударных испытаниях. В составных образцах (к которым можно отнести образцы с покрытием) появление трещины вызовет концентрацию напряжений и разрушение только покрытия, а ее влияние как фактора концентрации напряжений экранируется плоскостью разъема.

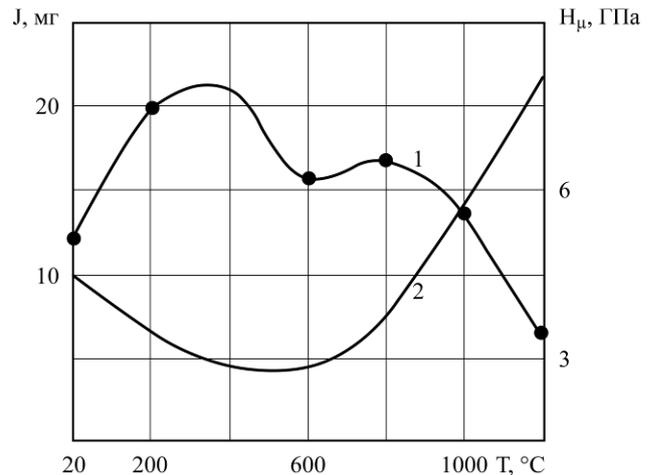


Рис. 4. Зависимость механических свойств КЭП от температуры нагрева образцов: 1 – износ; 2 – микротвердость.

а, Нм/см²

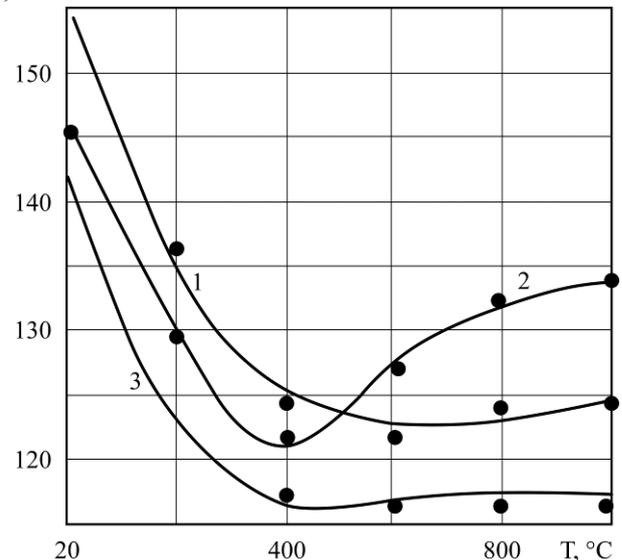


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости образцов с покрытиями от температуры обработки: 1 – без покрытия; 2 – КЭП; 3 – «чистое» электролитическое железо.

Образцы с КЭП обладали большей ударной вязкостью в сравнении с «чистыми» покрытиями, так как КЭП имели меньшую трещиноватость и большую прочность при незначительном влиянии на прочность сцепления с основой. Термообработка образцов с «чистыми» покрытиями и КЭП приводила к различным эффектам. При нагреве образцов с «чистыми» покрытиями

до 400–450°C в результате взаимной диффузии происходили увеличение прочности сцепления и, вероятно, снижение экранирующего влияния границы покрытия и подложки. Таким образом, после термообработки трещиноватость покрытия в значительной мере становилась трещиноватостью образца, что значительно снижало его ударную вязкость. У КЭП нагрев до 500–600°C увеличивал не только прочность сцепления, но и одновременно прочность покрытий, что дополнительно уменьшало влияние последних на ударную вязкость образцов.

Таким образом, следует считать, что нагрев КЭП ТВЧ с целью повышения механических свойств целесообразно проводить до температуры 600–650°C, при которой улучшается структура матрицы, формируется прочная поверхностная взаимосвязь между матрицей и ДФ, сохраняются высокие прочностные и эксплуатационные свойства включений [12, 13].

ВЫВОДЫ

– Обработка ТВЧ повышает предел прочности КЭП при растяжении в 4–6 раз и их износостойкость в 2–2,5 раза по сравнению с покрытиями без обработки. Это позволяет их рекомендовать для восстановления и повышения долговечности деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания.

– Наибольшая прочность и износостойкость КЭП отвечают условиям образования прочных связей между матрицей и ДФ.

– Термообработку КЭП ТВЧ можно рекомендовать для деталей почвообрабатывающей техники (лемеха, лапы культиваторов, зубья экскаваторов и другие). Для деталей машин, работающих в условиях циклических нагрузок, термическая обработка не желательна. Для таких деталей более целесообразна термообработка лазерным излучением, которая затрагивает только тонкие поверхностные слои на поверхности КЭП без значительных изменений внутренних напряжений, о чем будет изложено в следующей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайфулин Р.С. *Неорганические композиционные материалы*. М.: Химия, 1983. 304 с.
2. Гурьянов Г.В. *Электроосаждение износостойких композиций*. Кишинев: Штиинца, 1986. 240 с.
3. Бородин И.Н. *Упрочнение деталей композиционными покрытиями*. М.: Машиностроение, 1982. 141 с.

4. Кисель Ю.Е., Гурьянов Г.В. Влияние дисперсной фазы на коэффициент вариации микротвердости композиционных электрохимических покрытий. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2009, (3), 13–21.
5. Кисель Ю.Е., Гурьянов Г.В. Структура и некоторые прочностные свойства электролитических сплавов железа. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2009, (7), 25–30.
6. Кисель Ю.Е., Гурьянов Г.В. Повышение износостойкости деталей машин композиционными электрохимическими покрытиями. *Тракторы и сельхозмашины*. 2009, (10), 39–42.
7. Юдина Е.М. *Повышение ресурса восстановленных деталей сельскохозяйственной техники композиционными гальваническими покрытиями на основе железа*. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Кишинев. 1993. 21 с.
8. Ташкин А.Е. *Исследование влияния условий электролиза на некоторые основные механические характеристики электролитических железных покрытий*. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Каунас. 1970. 19 с.
9. Гамбург Ю.Д. *Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов*. М.: Янус-К, 1997. 384 с.
10. Колемаев В.А., Староверов О.В., Турундаевский В.Б. *Теория вероятностей и математическая статистика*. М.: Высшая школа, 1991. 400 с.
11. Юдин М.И. *Планирование эксперимента и обработка его результатов*. Краснодар: КГАУ, 2004. 239 с.
12. Ляхович Л.С., Ворошнин Л.Г. *Борирование стали*. М.: Металлургия, 1967. 122 с.
13. Уманский Я.С., Финкельштейн Б.Н., Блантер М.Е. и др. *Физическое металловедение*. М.: Металлургия, 1955. 721 с.
14. Петров Ю.Н., Гурьянов Г.В., Бобанова Ж.И. *Электролитическое осаждение железа*. Кишинев: Штиинца, 1990. 195 с.

Поступила 15.03.13
После доработки 09.12.13

Summary

Under investigation was the influence of thermal processing on some mechanical properties of composite electrochemical coatings on the base of iron with disperse inclusions of boron carbide. The thermal processing was shown to bring about changes in the microstructure of composites and activation of physical and chemical reactions between filler particles and a matrix. It was found out that, due to thermal processing, the wear resistance of coatings increases.

Keywords: composite electrochemical coatings, structure, wear resistance, microhardness, dispersed phase, mechanical properties.