

УДК 621.762.08.09

**ПОВЕДЕНИЕ ОКСИДИРОВАННЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ТРЕНИИ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ****А.А. Джафарова**

*Азербайджанский Технический Университет  
AZ Баку, пр. Г.Джавида, 25 e-mail: [afetceferova8@gmail.com](mailto:afetceferova8@gmail.com)*

*Поступила в редакцию 04.06.2018*

*В статье рассматриваются закономерности влияния агрессивной среды на процессы трения и изнашивания оксидированных порошковых композитов на основе железа. Установлено, что в агрессивных средах электрохимические процессы на порошковых материалах протекают значительно быстрее, чем на компактных материалах. Однако процесс оксидирования железомедьграфита несколько улучшает его коррозионную стойкость. Изучена зависимость износа и коррозионной потери от нагрузки на образце при трении оксидированных компактного и пористого железомедьграфита в 0.001н. растворе HCl. Установлено, что при трении в агрессивной среде разрушение поверхности образца происходит не только за счет механического взаимодействия материала и контртела, но и за счет анодного растворения металла.*

**Ключевые слова:** оксиды, паротермическое оксидирование, электрохимические явления, трение, износ.

**ВВЕДЕНИЕ**

Оксидирование порошковых железомедьграфитов или железомедьграфита позволяет создать на поверхности и в порах деталей специальную защитную пленку оксида типа магнетита ( $Fe_3O_4$ ). Это позволяет обеспечить деталям необходимую герметичность, а также значительно улучшить их декоративный вид [1-3].

Кроме обеспечения герметичности пористых материалов на основе железа, оксидирование применяется для защиты их от атмосферной коррозии. Оксидирование не только повышает сопротивление атмосферной коррозии, но также заметно изменяет и механические свойства порошковых изделий [4-5]. Твердость и прочность на сжатие в результате оксидирования повышаются, а относительное удлинение падает. Повышение поверхностной твердости изделий оксидированием сопровождается улучшением

износостойкости [6]. Изучение закономерностей влияния среды на процессы трения и изнашивания приобретает большое значение в связи с рядом научных и инженерных проблем. К ним относятся, с одной стороны, прикладные задачи обеспечения высокой долговечности и надежности узлов трения различных машин, с другой - проблемы, связанные с исследованием физико-химических явлений в зоне трения и созданием теоретических основ управления процессами трения и износа. Одна из таких проблем связана с коррозионно-механическим износом деталей, изготовленных методом порошковой металлургии. Цель данного исследования - изучение влияния агрессивной среды на процессы трения и изнашивания оксидированных порошковых композитов на основе железа.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Коррозионно-механический износ характеризуется, как правило, совокупностью двух взаимно связанных процессов: химического или, если внешняя среда электропроводна, электрохимического взаимодействия металла с агрессивной средой и механического износа, происходящего вследствие разрушения, в первую очередь, защитной пленки или удаления продуктов коррозии с поверхности трения.

Исследования проводили по такой схеме: определяли общий износ при различных нагрузках; для каждой из этих нагрузок регистрировали электродный потенциал, установившийся во времени и являющийся энергетической характеристикой поверхности трения в данных условиях; после определения электродного потенциала снимали анодную поляризационную кривую

$i_a = f(E)$ , где  $E$  – потенциал, установленный для каждой нагрузки. Для исследований применяли образцы из ЖГр1.5Д2, изготовленные двукратным прессованием (близко компактным) и

однократным холодным прессованием (пористые), затем после спекания их подвергали оксидированию в среде перегретого водяного пара при температуре 570<sup>0</sup>С по специальному режиму, приведенной в работе [5]. Оба материала имеют одинаковый химический состав и, следовательно, результаты исследований порошкового и компактного железа вполне сравнимы.

Образцы из порошковой шихты ЖГр1.5Д2 прессовали в холодном состоянии под давлением 700 Мпа и спекали в эндотермическом газе (18-20% СО, 40% Н<sub>2</sub>, остальное N<sub>2</sub>) при 1150<sup>0</sup>С с изотермической выдержкой при этой температуре в течение 1.0 часа. Качество спекания определяли по электропроводности, характеризующей состояние межчастичного контакта. Электропроводность для материалов пористостью 10-25% составила (0.8-0.6)·10<sup>3</sup> См/м.

Затем часть этих образцов подвергали горячему прессованию при температуре 1100<sup>0</sup>С в среде эндогаза. Плотность этих образцов достигала плотности компактного материала аналогичного состава.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследования, проведенные нами, показали, что в агрессивных средах электрохимические процессы на порошковых материалах протекают значительно быстрее, чем на компактных материалах аналогичного химического состава. Однако процесс оксидирования порошковых материалов несколько улучшает их коррозионную стойкость. Этот вывод подтверждается анодными поляризационными кривыми, полученными на образцах из оксидированного порошкового материала марки ЖГр1.5Д2 (порошок графита 1.5%, порошок меди 2.0% и порошок железа – остальное) с различной пористостью в 0.001н растворе НСl на потенциостате IVIUM STAT.

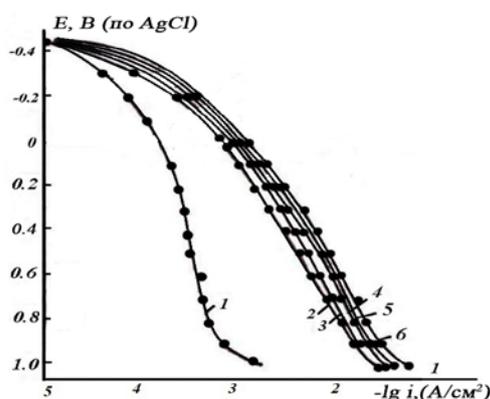
Скорость анодного процесса у оксидированного ЖГр1.5Д2 примерно на порядок выше, чем у оксидированного компактного материала аналогичного состава. Более отрицательный потенциал коррозии порошкового материала свидетельствует о том, что термодинамическая возможность протекания коррозионных процессов на пористом материале выше, чем на компактном (рис. 1).

Исследования микроструктуры порошкового материала до и после коррозии (рис.2), проведенные на металлографическом микроскопе Неофот 21, показали, что коррозионные трещины в оксидированных порошковых материалах развиваются по границам бывших частиц.

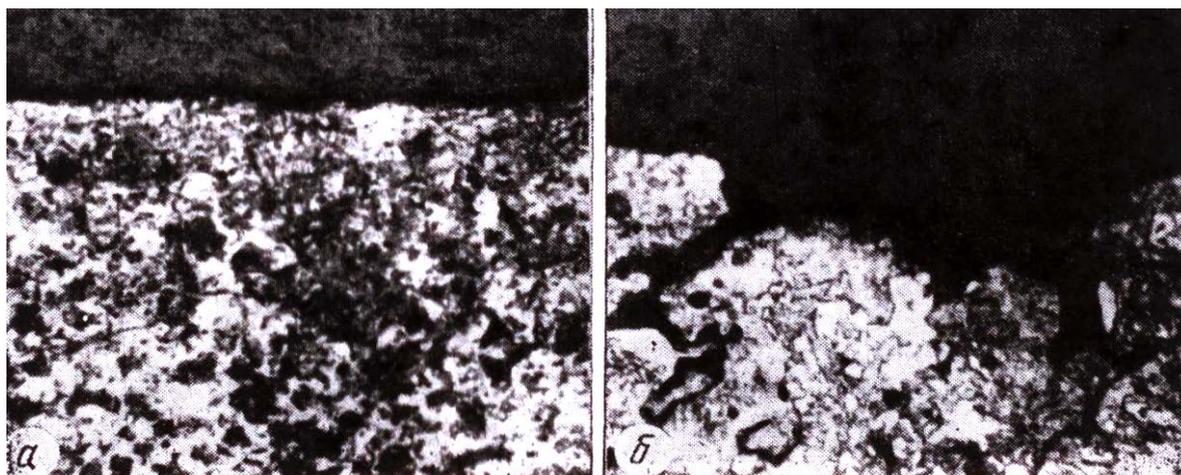
Это позволяет охарактеризовать коррозию порошковых материалов как межчастичную. Указанный характер разрушения объясняется тем, что в условиях электрохимической коррозии межчастичных контактов материал обладает повышенной каталитической и адсорбционной активностью, то есть процесс растворения происходит на межчастичном контакте. Аналогичная картина наблюдается при коррозии оксидированных порошковых материалов в щелочной и нейтральной средах. Это согласуется с теорией электрохимической

коррозии порошкового материала и моделью микрогальванического элемента.

Полученные результаты позволяют сделать предположение о том, что при трении оксидированных порошковых материалов в агрессивной среде износ, возникающий за счет электрохимического или химического взаимодействия материала со средой, может оказаться весьма существенным, значительно большим, чем в тех же условиях на оксидированных компактных порошковых материалах аналогичного химического состава.



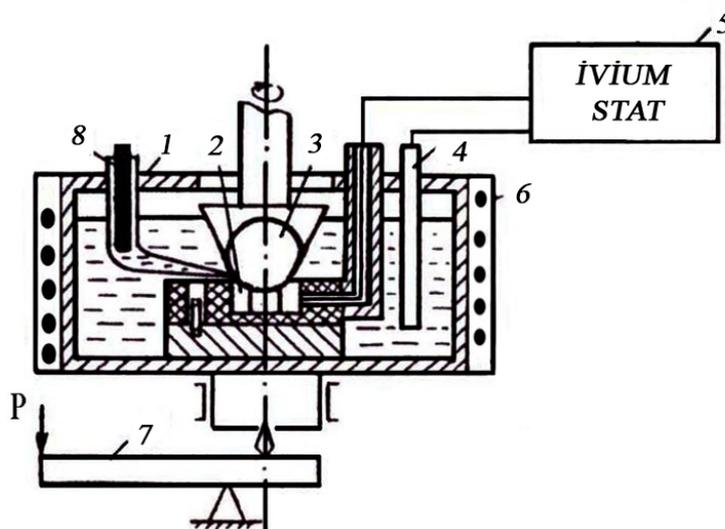
**Рис. 1.** Анодные поляризационные кривые образцов из компактного и пористого ЖГр1.5Д2 с различной пористостью в 0.001-н. растворе  $HCl$ :  
1-компактный материал; 2-6 – пористое железо с пористостью 5; 8; 15; 20; 25%, соответственно



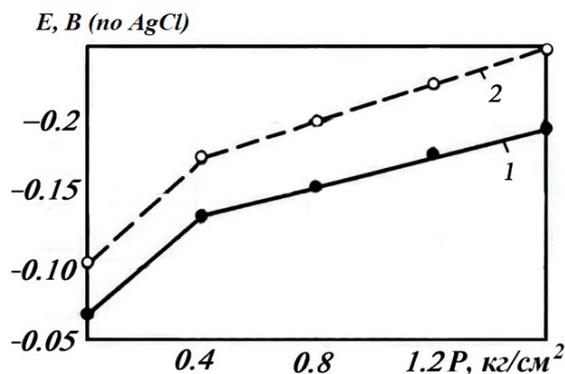
**Рис. 2.** Микроструктура оксидированного пористого железа в исходном состоянии (а) и после коррозии в 0.001-н. растворе  $HCl$  (б)  $\times 200$

Для подтверждения высказанного предположения было изучено электрохимическое поведение оксидированных порошковых материалов при трении в жидких агрессивных средах и определена доля электрохимических потерь в общем износе. Исследования проводили на установке, разработанной и изготовленной в Институте Катализа и Неорганической Химии Национальной АН Азербайджана. Установка состоит из машины трения с устройством для определения и записи момента трения. Кроме механической части, установка содержит электрохимическую ячейку, состоящей из рабочего электрода, электрода сравнения и вспомогательного электрода для измерения параметров электродной системы. Для снятия поляризационных кривых использовали потенциостат IVIUM STAT, который управлялся компьютером (рис. 3). Зависимость электродного потенциала от нагрузки при трении образцов из

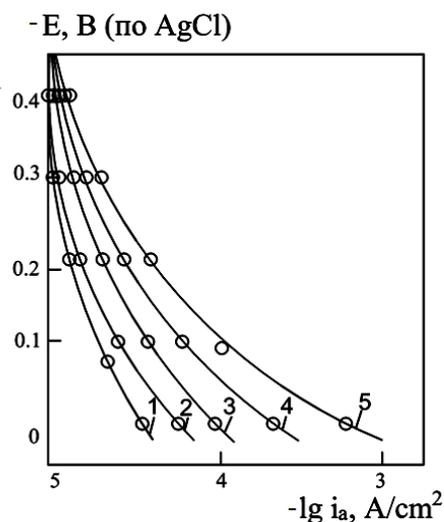
оксидированных компактного и порошкового материалов марки ЖГр 1.5Д2 в 0.001н растворе HCl показана на рис. 4. С ростом нагрузки электродный потенциал смещается в сторону отрицательных значений, что указывает на протекание процесса с кислородной деполяризацией, то есть активизации анодного процесса растворения металла. Интенсивность смещения потенциала в отрицательном направлении у пористого материала выше, чем у компактного. Следует отметить, что уменьшение  $E_a$  с ростом нагрузки на образец приводит к убыли изобарно-изотермического потенциала и, следовательно, к активизации анодного процесса, особенно на пористых материалах, для которых величина смещения больше. Действительно, характер поляризационных кривых (рис.5) показывает, что при трении пористых материалов электрохимические процессы протекают значительно быстрее, чем на компактных.



**Рис. 3.** Электрохимическая ячейка для исследования процессов трения в жидких агрессивных средах: 1- ячейка; 2 - рабочий электрод (образец); 3 - контртело; 4 - вспомогательный электрод; 5 - потенциостат; 6 - нагреватель; 7 - рычаг механизма нагружения; 8 - электрод сравнения



**Рис. 4.** Зависимость электродного потенциала от нагрузки при трении компактного (1) и пористого (2) ЖГр1.5Д2 (пористость 15%) в 0.001н растворе HCl



**Рис. 5.** Анодные поляризационные характеристики при трении ЖГр1.5Д2 в 0.001-н. растворе HCl: 1-компактный материал (давление при трении 0.15 МПа; 2-5 - пористое железо (пористость 15%), давление при трении 0.04; 0.08; 0.12; 0.14; 0.15 МПа соответственно

При снятии поляризационных кривых сначала задавался потенциал, затем измерялся ток. Плотность анодного тока, соответствующая потенциалу, установившемуся при определенной нагрузке, является плотностью тока коррозионного процесса, то есть долей электрохимических потерь в общем износе. Расчет этих потерь производили следующим образом.

Определяли общий массовый износ образцов

$$m = v \cdot \rho(V_1 - V_2),$$

где  $v$  - относительная плотность спеченного оксидированного материала;  $\rho$  - плотность спеченного оксидированного материала,  $\text{г/см}^3$ ;  $V_1$  и  $V_2$  - объем образца до и после износа  $\text{см}^3$ .

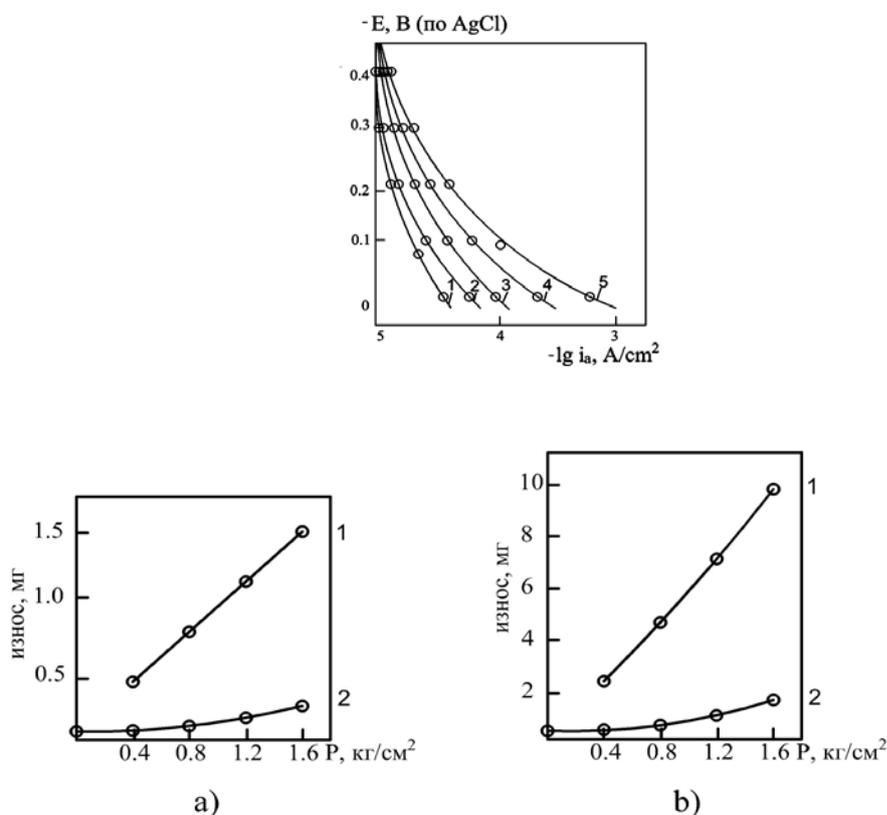
Электрохимические потери рассчитывали по закону Фарадея

$$G = \frac{M}{m/l} \frac{Q}{F},$$

где  $M$  - атомарная масса реагента, г;  $l$  - стехиометрическое число в уравнении реакции  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$ ;  $m$  - число электронов, участвующих в электрохимической реакции;  $Q$  - количество электричества, проходящего через электрод,  $Q = i_q \tau$ ,  $i_q$  - плотность анодного тока, определяемая по поляризационным кривым с учетом шероховатости пористого материала. В нашем случае для компактного материала  $i_q$  составляет  $8.5 \cdot 10^{-5}$ , для пористого  $3.5 \cdot 10^{-4}$  А/см<sup>2</sup>,  $\tau$  - время реакции, с.

Была изучена зависимость износа и электрохимических потерь от нагрузки на образце при трении оксидированных компактного и пористого материала в 0.001-н растворе HCl (рис. 6). Данные

получали при трении образцов, видимая площадь поверхности которых составляла 0.2 см<sup>2</sup>. При трении в агрессивной среде разрушение поверхности происходит не только за счет механического взаимодействия материала и контртела, но и за счет анодного растворения металла (электрохимические потери). У пористого материала и общий износ, и электрохимические потери выше, чем у компактного. Это подтверждает предположение о повышенной активности первого при трении в агрессивных средах. В общем износе учитывали электрохимические потери, связанные только с протеканием анодного процесса. Как указывалось выше, активными анодами в пористых материалах являются многочисленные контакты, которые разрушаются. В результате ослабляется связь между частицами и интенсифицируется процесс механического износа при трении.



**Рис. 6.** Зависимость износа от давления на образец при трении компактного (а) и пористого (б) ЖГр1.5Д2 (пористость 15%) в 0.001н. растворе HCl: 1-общий износ; 2 - электрохимические потери за счет анодного процесса.

### ВЫВОДЫ

При трении в жидких агрессивных средах окисленный пористый материал проявляет повышенную электрохимическую активность по сравнению с компактным аналогичного состава. Интенсификация процесса износа пористого материала при трении в жидких

агрессивных средах происходит, во-первых, за счет электрохимической реакции  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$ , во-вторых, вследствие разупрочнения материала в результате анодного процесса на межчастичных контактах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мамедов А.Т. Порошковые материалы конструкционного и антифрикционного назначения. Баку, Элм, 1991, 188 с.
2. Мамедов А.Т. Конструкционные и антифрикционные порошковые материалы. Баку, Элм, 2005, 458 с.
3. Намазов С.Н., Джафарова А.А., Абдулазимова Е.А. Легирование порошковых материалов на основе железа, подвергаемых окислению. // *Металлургическая и горнорудная промышленность, Днепропетровск*, 2017, №2, с. 38-40.
4. А.С. 954189 (СССР). Способ изготовления спеченных изделий из железографитовых материалов. А.Т.Мамедов. – опубл. Б.И.1982, №32.
5. Намазов С.Н., Джафарова А.А., Тагиев Т.А. Получение порошкового железографита с последующим окислением. // *Ученые записки АзТУ*, 2016, №3, том 1, с. 122-129.
6. Кофтелев В.Т. и др. Опыт паротермического окисления порошковых деталей на волжском автозаводе. // *Порошковая металлургия*, 1989, №9. с.90-94.

### REFEFENCES

1. Mamedov A.T. Powder materials of construction and anti-frictional assignment. Baku: Elm Publ., 1991, 188 p. (In Azerbaijan).
2. Mamedov A.T. Construction anti-frictional powder materials. Baku: Elm Publ., 2005, 458 p. (In Azerbaijan).
3. Namazov S.N., Dzhafarova A.A., Abdulazimova E.A. . Alloying of powder materials on the basis of oxidation-subjected iron. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost' - Metallurgical and Mining Industry*. 2017, no. 2, pp. 38-40. (In Ukraine).
4. Mamedov A.T. Method for manufacturing sintered products from iron-graphite materials. A.S. (USSR). B.I.1982, no. 32.
5. Namazov S.N., Dzhafarova A.A., Tagiev T.A. Production of powder iron-graphite with subsequent oxidation. *Azerbaijan Technical University. Scientific proceedings*. 2016, vol.1, no. 3, pp. 122-129.
6. Koftelev V.T. et al. Experience of steam thermal oxidation of powder details at the Volzhsk car works. *Poroshkovaja metallurgija - Powder Metallurgy*. 1989, no. 9. pp. 90-94. (In Russian).

### **BEHAVIOR OF OXIDIZED POWDER COMPOSITES BY FRICTION IN HOSTILE ENVIRONMENT**

**A.A. Jafarova**

*Azerbaijan Technical University*  
25, Huseyn Javid Ave., Baku Az 1143, e-mail: [afetceferova8@gmail.com](mailto:afetceferova8@gmail.com)

*The article examines regularities of the influence of hostile environment on iron-based and attrition of oxidated powder composites. It found that in the hostile environment electrochemical processes proceed on powder materials much faster than on compact materials. However, the process of oxidation of ferrous graphite slightly improves its corrosion resistance.*

*Dependence of attrition and corrosion losses upon loading on a sample by friction of oxidated compact and porous ferro-copper-graphite in 0.001N in the HCL solution is studied. It revealed that by friction in the hostile environment the destruction of sample surface occurs not only at the expense of mechanical interaction between material and counterbody but also because of anode dissolution of metal.*

**Keywords:** oxides, steam thermal oxidation, electrochemical events, attrition, friction.

### **OKSIDLƏŞDIRİLMİŞ OVUNTU KOMPOZİTLƏRİN AQRƏSSİV MÜHİTDƏ SÜRTÜNMDƏ DAVRANIŞI**

**A.A. Cəfərova**

*Azərbaycan Texniki Universiteti*

*Az 1143, Bakı, H. Cavid pr., 25, e-mail: [afetceferova8@gmail.com](mailto:afetceferova8@gmail.com)*

*Məqalədə dəmir əsaslı ovuntu kompozitlərin sürtünmə və yeyilmə proseslərinə aqrəssiv mühitin təsirinin qanunauyğunluqlarına baxılır. Müəyyən olunmuşdur ki, aqrəssiv mühitlərdə ovuntu materiallarında elektrokimyəvi proseslər kompakt materiallara nisbətən xeyli sürətlə baş verir. Lakin dəmirmisqrafitin oksidləşdirməsi prosesi korroziyaya dözümlüyü bir qədər yaxşılaşdırır. Oksidləşdirilmiş kompakt və məsaməli dəmirqrafitin 0.001N HCl məhlulunda sürtünmə nəticəsində nümunədə yeyilmənin və elektrokimyəvi itkilərin yükdən asılılığı öyrənilib. Müəyyən olunmuşdur ki, aqrəssiv mühitdə sürtünmədə səthin dağılması nəinki materialın və kontrcismnin mexaniki qarşılıqlı təsiri hesabına, həm də metalın anod həll olması (elektrokimyəvi itkilər) hesabına baş verir.*

**Açar sözlər:** oksidlər, buxartermiki oksidləşdirmə, sürtünmə, yeyilmə, elektrokimyəvi hadisələr