

# Стирающая способность электрохимической железной связки о твердую абразивную поверхность с частицами окиси алюминия

Т.В. Борцой

*Институт прикладной физики АН Молдовы,  
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова, e-mail: [bortzoi\\_tudor@yahoo.com](mailto:bortzoi_tudor@yahoo.com)*

Представлены результаты исследования стирающей способности железных поверхностей при трении о твердую абразивную поверхность с частицами окиси алюминия на керамической связке. Показано, что частицы абразивной поверхности значительно больше истираются при трении о поверхность чистого железа, чем о легированные никелем или кобальтом, а их отрыв из керамической связки происходит при значительно меньших нагрузках. Установлено, что парциальный коэффициент трения абразивной поверхности значительно больше при трении об обычные железные осадки, чем о легированные никелем или кобальтом.

УДК 621.359

## ВВЕДЕНИЕ

Технологию фиксации электрохимическими металлами частиц керамики или алмаза широко применяют для изготовления шлифовальных кругов, сверл, метчиков, напильников, шарошек и др. Электрохимическая связка способствует формированию оптимальных функциональных свойств режущей поверхности, рассеиванию тепла и снижению шума при обработке, увеличению срока службы инструмента и производительности обработки. У инструментов на электрохимической связке более низкая стоимость по сравнению с инструментами, получаемыми методом спекания, более высокие режущая способность и точность обработки. Электрохимическую связку в основном используют при формировании поверхностей правящих инструментов. Функциональным свойством правящего абразивного инструмента является восстановление режущих способностей шлифовальных кругов и их геометрической формы, то есть способность править абразивные поверхности с наименьшим износом [1–3].

Очевидно, что для правящего инструмента способность связки стирать с наименьшим износом частицы абразивной поверхности также является одним из его функциональных свойств.

Отметим, что под стирающей способностью далее будем понимать свойство материала обеспечивать высокую адгезионную силу при его скольжении по другому материалу.

В некоторых случаях связкой абразивного инструмента служит электрохимическое железо [4]. Так, для формирования поверхности абразивного инструмента применяют в основном водные растворы хлористого железа, которые широко используют в технологиях осаждения износостойких железных покрытий. Причем абразивные частицы могут быть фиксированы чистыми или легированными осадками железа, в частности кобальтом или никелем [5].

Для правящих абразивных инструментов железная связка не нашла широкого применения. По-видимому, это объясняется слабой изученностью их стирающей способности.

Выбор связки для правящего инструмента можно обосновывать, по крайней мере, на основе исследований ее стирающей способности об абразивную поверхность.

В связи с этим цель данной работы – изучение при трении-скольжении стирающей способности некоторых электрохимических железных осадков о твердую абразивную поверхность с частицами окиси алюминия на керамической связке.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Стирающую способность оценивали у поверхностей, состоящих:

1) из чистых железных осадков, полученных в среднеконцентрированных водных растворах кремнефтористо-хлористого железа состава, г/л:  $\text{FeSiF}_6 \sim 200 + \text{FeCl}_2 \sim 200\text{--}250$  и при следующих условиях электролиза:  $i = 20 \text{ А/дм}^2$ ,  $T = 50^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 1,2$  [6];

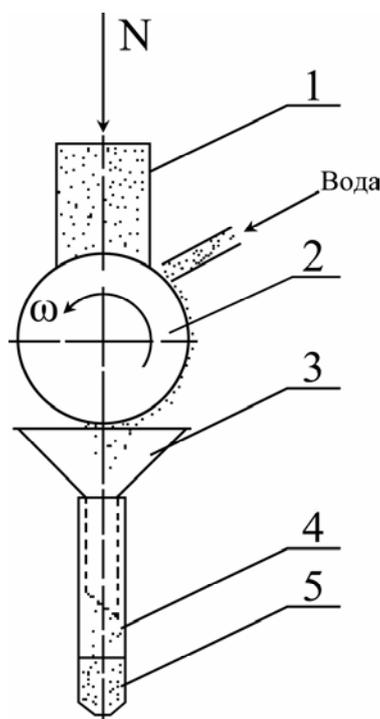
2) из легированных железных осадков, полученных в среднеконцентрированных водных растворах хлористого железа с добавками 40–50 г/л солей сульфата кобальта [7] и никеля [8];

3) из стали 45, нормализованной до  $\text{HV} = 2 \text{ ГПа}$  ( $\text{HRC} = 52\text{--}55$ ).

В качестве истираемой поверхности использовали брусок марки К8 10-125 25А6ПС М19 КБ ГОСТ 2456-82 (Российская Федерация).

Оценку стирающей способности железных поверхностей определяли при условиях трения-скольжения с преимущественным преобладанием процесса шлифования вершин абразивных частиц. Приложенная к абразивным зернам нагрузка не превышала те силы, которые удерживают их в связке, но была достаточной для шлифования их до уровня связки [9].

На рис. 1 представлена схема тестирования стирающей способности железных осадков. Процесс испытания осуществляли следующим образом. Образец 2 в виде ролика  $\varnothing 40$  мм и шириной 15 мм устанавливается на валу машины трения. На цилиндрическую поверхность ролика сверху давила абразивная поверхность 1 в виде колодки с контактной поверхностью  $10 \times 10$  мм. На трущуюся поверхность ролика подавалась дистиллированная вода для смыва и последующего сбора продуктов износа 5 посредством воронки 3 и пробирки 4.



**Рис. 1.** Схема тестирования стирающей способности материалов об абразивную поверхность в условиях трения-скольжения.

Параметры режима и условий трения были выбраны на основе общепринятых величин в триботехнике для такого вида абразивных испытаний, в том числе скорость скольжения  $V_{cp} = 0,27$  м/с, усилия нормального нагружения абразивной поверхности, МПа: 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0.

Износ поверхностей определялся при постоянном количестве циклов (1000 оборотов вала), а вид изнашивания – по характеру изменения величины момента трения и исследованием продуктов износа.

Собранные в пробирке 4 продукты износа 5 подвергали центрифугированию, высушиванию и взвешиванию. Затем железную часть продуктов износа из пробирки растворяли соляной кислотой, а нерастворимые керамические остатки центрифугировали, промывали дистиллированной водой, высушивали и взвешивали.

Отметим, что при трении-скольжении абразивных частиц о металлическую связку возникают силы, которые, с одной стороны, приводят к их истиранию, а с другой – к зарождению и развитию трещин в связке и к ее истиранию.

Можно предположить, что истирание частиц возникает вследствие действия изгибающих сил адгезии. При этом энергия трения, затрачиваемая на абразивную поверхность, приходится в основном на микроскалывание вершин этих частиц.

В связи с вышесказанным можно предположить, что расход энергии на изнашивание абразивных частиц линейно связан с количеством их истирания. Поэтому аналитическую связь между параметрами изнашивания пары трения и параметрами их износа мы можем оценивать через коэффициент трения и коэффициент его парциальных величин в абсолютных ( $f_i$ ) и относительных ( $U_{f_i}$ ) значениях, определяемых как отношения:

$$f_i = f \cdot \left( \frac{V_i}{\sum_{1 \rightarrow n}^i V_i} \right) \quad (1)$$

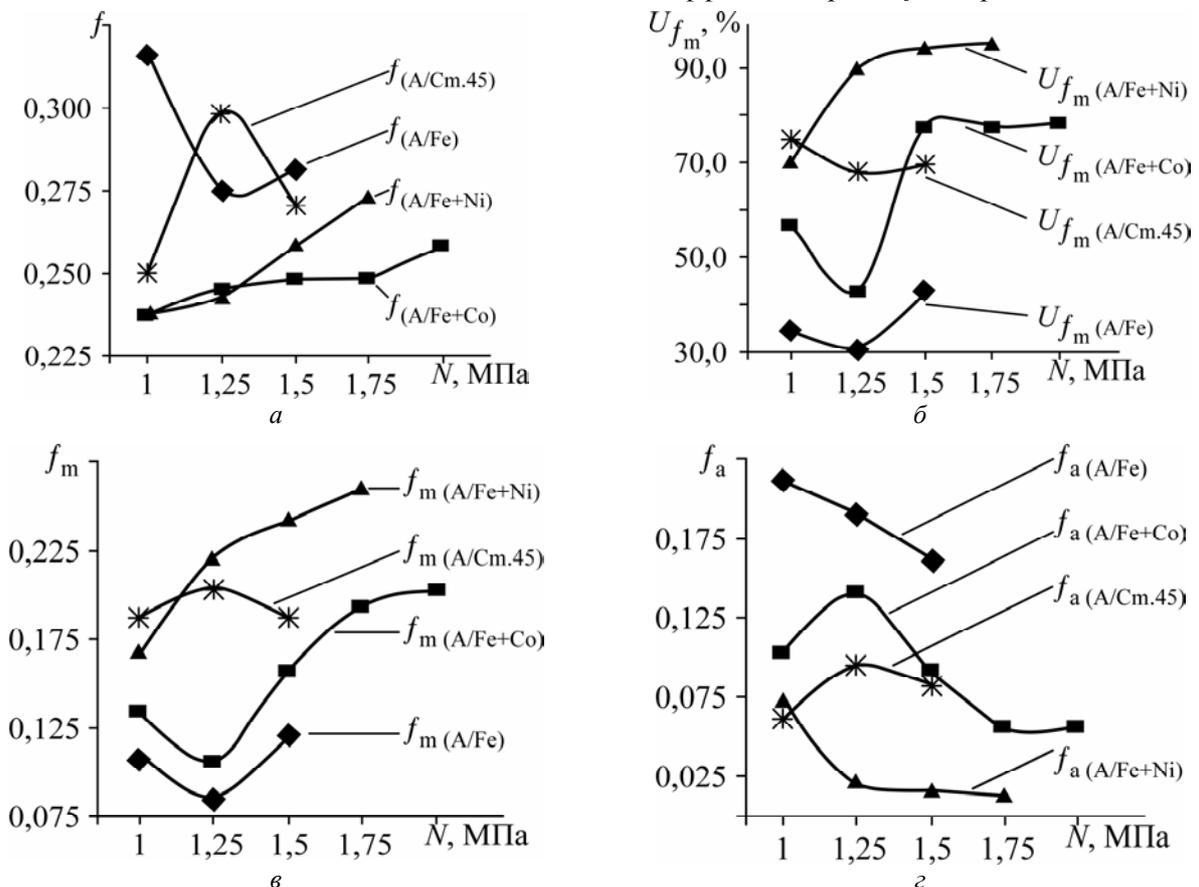
и

$$U_{f_i} = (f_i / f) \cdot 100\% , \quad (2)$$

где  $f$  – коэффициент трения в контакте;  $V_i$  – объем износа  $i$ -го компонента, образующего внешние границы объема материала тела или контртела (абразивные частицы со связкой; поры абразивного материала; железный осадок);  $\sum_{1 \rightarrow n}^i V_i$  – общий объем изношенных компонентов материала тела и контртела.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что в зависимости от интенсивности трибологических нагрузок наибольший коэффициент трения  $f$  с частицами окиси алюминия имеют поверхности чистого железнения (А/Fe), а при средних нагрузках  $N$  – и со сталью Ст.45 (А/Ст.45). Легированные железные поверхности имеют наименьший коэффициент трения  $f$ . Причем у поверхности, легированной кобальтом (А/Fe+Co), самый низкий и наиболее стабильный коэффициент трения  $f$  (см. рис. 2,а).



**Рис. 2.** Зависимость от нормальной нагрузки  $N$ : а) коэффициента трения в контакте  $f$ ; б) относительной величины парциального коэффициента трения железной поверхности  $U_{f_m}$ ; в) парциального коэффициента трения  $f_m$  железных материалов; г) парциального коэффициента трения  $f_a$  абразивной поверхности.

По-видимому, поверхность из чистого железнения и из Ст.45 воспринимает на единицу объема относительно больше энергии трения, чем поверхности, легированные никелем или кобальтом.

Доля парциальных коэффициентов трения  $U_{f_m}$  (рис. 2,б) поверхности чистого железнения  $U_{f_m(A/Fe)}$  является самой низкой и в зависимости от нормальной нагрузки составляет около 30–43% от коэффициента трения контакта. Причем минимум доли парциальных коэффициентов трения чистого железнения  $U_{f_m(A/Fe)}$  достигается в диапазоне нагрузок 1,25 МПа. Железные по-

верхности, легированные никелем, имеют наибольшую долю парциальных коэффициентов трения  $U_{f_m}$  и в зависимости от нагрузки трения составляют 70–95% от коэффициента трения контакта. При средних и высоких нагрузках трения доля парциальных коэффициентов трения Ст.45 и поверхностей, легированных кобальтом, составляет в пределах 70–80% (см. рис. 2,б). Также являются наименьшими и абсолютные значения парциальных коэффициентов трения чистого железнения  $f_m(A/Fe)$ . Парциальные коэффициенты трения для поверхностей, легированных никелем ( $f_m(A/Fe + Ni)$ ), значительно ниже, чем у Ст.45 ( $f_m(A/Ст.45)$ ) и легированных кобальтом ( $f_m(A/Fe + Co)$ ) (см. рис. 2,в).

Вероятнее всего, поверхности чистого железнения и легированные кобальтом при малых нагрузках воспринимают на единицу объема меньше энергии трения, чем Ст.45 и образцы, легированные никелем.

В то же время отметим, что при нагрузке в пределах 1,25 МПа поверхности из чистого железнения и легированные кобальтом имеют парциальные коэффициенты трения с минимальным значением, а из Ст.45 – с максимальным значением (см. рис. 2,в).

Наибольшие абсолютные значения парциальных коэффициентов трения окиси алюминия выявлены в паре с чистым железнением  $f_a(A/Fe)$ , а наименьшие (более чем в 2–5 раз) – в паре с абразивом, легированным никелем  $f_a(A/Fe + Ni)$ , и со Ст.45  $f_m(A/Ст.45)$ . При нагрузках около 1,25 МПа поверхность окиси алюминия в паре с железненной поверхностью, легированной кобальтом, и с поверхностью из Ст.45 имеет парциальный коэффициент трения с максимальным значением. Кроме того, связка абразивной поверхности в паре с поверхностью чистого железнения разрушается при значительно меньшей нагрузке (1,75 МПа), чем с легированной никелем (2,0 МПа) и кобальтом (см. рис. 2,г).

По-видимому, частица окиси алюминия в паре с чистым железнением воспринимает на единицу объема значительно больше энергии трения, чем в паре с другими железненными поверхностями. Этот вывод подтверждается и фактом отрывания из связки абразивных частиц при невысоких нормальных нагрузках в паре с поверхностью чистого железнения.

Таким образом, стирающая способность чистых железненных поверхностей значительно выше, чем у легированных поверхностей и Ст.45. Кроме того, поверхности чистого железнения могут разрушать керамическую связку и обновлять абразивную поверхность при меньших нагрузках, чем железненные поверхности, легированные никелем или кобальтом.

## ВЫВОДЫ

В результате исследования стирающей способности железненных поверхностей при трении о твердую абразивную поверхность с частицами окиси алюминия на керамической связке установлено, что:

1. Частицы абразивной поверхности значительно больше истираются при трении о поверхности, образованные чистым железнением, чем о железненные поверхности, легированные никелем или кобальтом. Кроме того, при трении о чистые железные поверхности отрыв абразивных частиц из керамической связки происходит при меньших нагрузках, чем при трении о легированные поверхности.

2. Абразивная поверхность при трении-скольжении о поверхности, образованные обычным железнением, имеет коэффициент трения значительно больший, чем при трении о железненные поверхности, легированные никелем или кобальтом. В то же время абсолютные и относительные парциальные коэффициенты трения у поверхности чистого железнения значительно меньше, чем у легированных поверхностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Елинек Т.В. Успехи гальванотехники. Обзор мировой литературы за 1998–1999 гг. *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2000, **8**(1), 9–14.
2. Колчеганов Н.А. *Алмазный инструмент: состояние и перспективы развития*. М., 1990. 38 с.
3. Байкалов А.К., Сукуенник И.Л. *Алмазный правящий инструмент на гальванической связке*. Киев: Наукова думка, 1976. 204 с.
4. Садаков Г.А., Дюбанкова Э.Н. Применение гальванопластики при изготовлении алмазного инструмента. *Гальванотехника и обработка поверхности*. 1994, **3**(1), 29–31.

5. Гурьянов Г.В. *Электроосаждение износостойких композиций*. Кишинев: Штиинца, 1985. 240 с.
6. Bortsoi T.V. Relaxation Processes of the Remaining Tension Formation in Iron Electrochemical Deposits. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2009, **45**(3), 225–228.
7. Андреева Л.Н. Электроосаждение сплава железо-кобальт. *Восстановление и упрочнение деталей машин износостойкими покрытиями*. Кишинев: Штиинца, 1995. С. 9–16.
8. Гологан В.Ф., Аждер В.В., Жавгуряну В.Н. *Повышение долговечности деталей машин износостойкими покрытиями*. Кишинев, 1979. 112 с.
9. Borțoi Tudor. Brevet de invenție 3087, G 01 N 3/56. *Procedeu de încercare la uzură abrazivă și metodă de determinare a concentrației fazei disperse a materialului compozițional cu rezistență maximă la uzură*. MD. 30.06.2006, BOPI nr.6/2006.

Поступила 03.10.11

### Summary

The paper reports on the study of the abrasiveness of surfaces with electrochemical iron deposition on friction with hard surfaces with particles of aluminum oxide on the ceramic bond. The abrasive surface particles are shown to be more abraded on friction/sliding with the surface of pure electrolytic iron deposition than on friction with the surface doped with nickel or cobalt; in addition, lower loads are required for their tearing off the ceramic bond. It is established that the partial friction coefficient of the abrasive surface is much higher on friction on usual iron deposition than on friction on surfaces doped with nickel or cobalt.

---