
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 620.179
DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-4-374-377

ОЦЕНКА ИЗНОСА ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ

А. Н. БЕЛЯКОВ¹, Ю. А. ФАДИН¹, А. Д. БЫКОВА¹,
М. А. МАРКОВ², А. А. ШЕПЕЛЕВСКИЙ¹

¹Институт проблем машиноведения РАН, 199178, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: fadinspb@yandex.ru

²НИЦ „Курчатовский институт“ — ЦНИИ КМ „Прометей“, 191015, Санкт-Петербург, Россия

Предложен метод количественной оценки износа твердых тел, основанный на явлении акустической эмиссии. Преимущество этого метода заключается в том, что оценку степени износа можно проводить непосредственно при трении твердых тел. Метод может быть использован для оценки покрытий из материалов толщиной от единиц до нескольких десятков микрон. Работоспособность метода была проверена на покрытии из нитрида титана на титановой подложке.

Ключевые слова: поверхность, износ, акустическая эмиссия, фурье-спектр, относительная износостойкость, тонкое покрытие

Разработке новых технологических методов нанесения защитных покрытий уделяется большое внимание [1—4]. Не менее важной задачей является разработка методов оценки механических свойств тонких покрытий [5, 6]. На стадии разработки эти материалы, как правило, имеются в небольших количествах, они имеют нестандартную форму и поэтому испытательное оборудование также должно быть нестандартным.

Методики оценки износостойкости материалов с тонкими покрытиями должны быть очень деликатными. Нагрузки на стандартных машинах трения очень велики и истирание материала происходит практически мгновенно. В методику испытаний на износ, предназначенную для оценки очень малых количеств вещества, должны быть положены новые принципы. Для этих целей воспользуемся наработками, полученными при помощи метода акустической эмиссии [7].

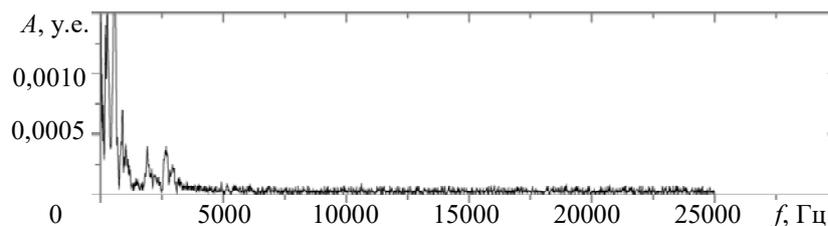
Ранее было показано, что в условиях трения метод акустической эмиссии (АЭ) может использоваться для оценивания весьма малых количеств вещества. Суть метода сводится к тому, что при трении происходит контактное взаимодействие материалов, приводящее к повышению механических упругих напряжений, а затем к разрушению контактирующих поверхностей. Разрушение всегда начинается с образования трещин, а далее происходит отделение частиц вещества. Для того чтобы появилась трещина, нужна работа [8], когда трещина сформировалась, запасенная энергия выделяется частично в виде акустической энергии. На этом этапе уже прослеживается связь между размерами (или массой) отделяющихся частиц и энергией акустических сигналов.

Если вещества очень мало, например, на стадии разработки нового материала или новой технологии, более рационально получить сразу какой-нибудь сложный параметр нового вещества, например, интенсивность изнашивания. Она определяется как отношение линейного

износа к пути трения или как отношение изношенного объема одного тела к произведению пути трения на площадь поверхности контакта двух тел.

Интересно оценить интенсивность изнашивания тонкой пленки на пути в несколько миллиметров. Для этого дорожка трения на поверхности тонкой пленки должна быть ювелирных размеров. Такую дорожку глубиной менее толщины покрытия можно выполнить острым иглоподобным индентором. Для оценки интенсивности изнашивания необходимо разработать методику определения глубины дорожки трения (царапины). В настоящей работе царапина создавалась специальным индентором из инструментальной стали. В каждом опыте проводилось две царапины. Одна глубокая, через всю толщину поверхностной пленки до подложки, она служила для калибровки метода АЭ. Другая — неглубокая, только в пределах нанесенной пленки, служила для оценки трибологических свойств материала, по ней же оценивалась глубина царапины. Далее методом акустической эмиссии [7, 9] определялся изношенный объем для каждой царапины.

Для записи акустического сигнала необходимо, чтобы неподвижный образец с покрытием контактировал с пьезопреобразователем GT300, обеспечивая регистрацию акустического сигнала во время трения. Акустический сигнал записывался на цифровой осциллограф „АКТАКОМ 3107“. Заметим, что для большинства материалов полезный интервал частот акустического сигнала, описывающего явления изнашивания, попадает в диапазон частот от 1 до 3 кГц. Для выделения полезного частотного диапазона рассматривается фурье-спектр зарегистрированного акустического сигнала (см. рисунок).



Как установлено в работе [9], массовый износ Δm описывается выражением

$$\Delta m = \alpha \sum_{f_p}^{f_q} S_i^2(f),$$

где α — коэффициент пропорциональности (калибровочный), S_i — спектральные составляющие акустического сигнала, f_p — начальная частота рассматриваемого диапазона, f_q — конечная частота диапазона. Для обработки акустических сигналов использовались программы Origin или MatLab.

Коэффициент пропорциональности, для каждого материала свой, используется для оцифровки и преобразования данных акустических измерений в износ.

Сначала определяется износ материала покрытия, который соответствует глубокой царапине. Предполагается, что толщина и плотность покрытия известны, также можно определить с помощью измерительного микроскопа длину и ширину глубокой царапины. Таким образом, есть все данные, чтобы подсчитать массу вещества большой царапины. Если известна акустическая энергия, которая была зафиксирована при нанесении глубокой царапины, можно определить α . Зная величину акустической энергии, соответствующей неглубокой царапине, и коэффициент пропорциональности, можно найти массу неглубокой царапины. Зная массу, длину и ширину неглубокой царапины, можно найти ее среднюю глубину. Как итог — зная глубину царапины и ее длину, можно найти относительную износостойкость покрытия.

Экспериментальная проверка предложенного подхода проводилась на покрытии из нитрида титана на титане. Толщина покрытия достигала 20 мкм.

Получено вполне правдоподобное значение относительной износостойкости покрытия — 10^{10} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москвитин Г. В., Биргер Е. М., Поляков А. Н., Полякова Г. Н. Научно-технические технологии нанесения упрочняющих покрытий // *Металлообработка*. 2015. № 2.1(85). С. 44—49.
2. Трефилова Н. В. Анализ современных методов нанесения защитных покрытий // *Современные научно-технические технологии*. 2014. № 10. С. 67—67.
3. Суминов А. В., Эпельфельд А. В., Людин В. Б., Крит Б. Л., Борисов А. М. Микродуговое оксидирование (Теория, техника, оборудование). М.: Экомет, 2005. 368 с.
4. Берлин Е. Б., Сейдман Л. А. Получение тонких пленок реактивным магнетронным напылением. М.: Техносфера, 2014. 260 с.
5. Holmberg K., Matthews A. *Coatings tribology*. Elsevier Science, 1994. 457 p.
6. Novak R., Polcar T. Tribological analysis of thin films by pin-on-disc: Evaluation of friction and wear measurement uncertainty // *Tribology International*. 2014. Vol. 74. P. 154—163.
7. Фадин Ю. А. Применение акустической эмиссии для оценки массового износа // *Трение и износ*. 2008. Т. 29, № 1. С. 29—32.
8. Нотт Дж. Ф. Основы механики разрушения. М.: Металлургия, 1978. 256 с.
9. Безенкина О. С. Кинетика изнашивания керамик: автореф. ... канд техн. наук. СПб: Институт проблем машиноведения РАН, 2013. 17 с.

Сведения об авторах

- Антон Николаевич Беляков** — аспирант; Институт проблем машиноведения РАН, E-mail: anton_belyakov_n@mail.ru
- Юрий Александрович Фадин** — д-р техн. наук; Институт проблем машиноведения РАН, зав. лабораторией, E-mail: fadinspb@yandex.ru
- Алина Дмитриевна Быкова** — аспирант; Институт проблем машиноведения РАН, E-mail: bykova.ad@gmail.com
- Михаил Александрович Марков** — канд. техн. наук; НИЦ „Курчатовский институт“ — ЦНИИ КМ „Прометей“, ст. науч. сотрудник, E-mail: barca0688@mail.ru
- Андрей Алексеевич Шепелевский** — канд. физ.-мат. наук.; Институт проблем машиноведения РАН, ст. науч. сотрудник; E-mail: spbc63@yandex.ru

Поступила в редакцию
03.02.2020 г.

Ссылка для цитирования: Беляков А. Н., Фадин Ю. А., Быкова А. Д., Марков М. А., Шепелевский А. А. Оценка износа тонких покрытий // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2020. Т. 63, № 4. С. 374—377.

EVALUATION OF THIN COATINGS WEAR

A. N. Belyakov¹, Yu. A. Fadin¹, A. D. Bykova¹, M. A. Markov², A. A. Shepelevskiy¹

¹*Institute for Problems in Mechanical Engineering of the RAS, 199178, St. Petersburg, Russia*
E-mail: fadinspb@yandex.ru

²*Central Research Institute of Structural Materials "Prometey" of National Research Center "Kurchatov Institute", 191015, St. Petersburg, Russia*

A new method is proposed for quantifying the wear of solids based on the acoustic emission phenomenon. The advantage of this method over others is that assessment of the amount of wear can be made directly in the friction of solids. The proposed method can be used to evaluate coatings of materials with thicknesses from units to several tens of microns. The performance of the method idea was tested on a titanium nitride coating on a titanium substrate.

Keywords: surface, wear, acoustic emission, Fourier spectrum, relative wear resistance, thin coating

REFERENCES

1. Moskvitin G.V., Birger E.M., Polyakov A.N., Polyakova G.N. *Metalloobrabotka*, 2015, no. 2.1(85), pp. 44–49. (in Russ.)
2. Trefilova N.V. *Modern high technologies*, 2014, no. 10, pp. 67–67. (in Russ.)
3. Suminov A.V., Epel'fel'd A.V., Lyudin V.B., Krit B.L., Borisov A.M. *Mikrodugovoye oksidirovaniye (Teoriya, tekhnika, oborudovaniye)* (Microarc Oxidation (Theory, Technique, Equipment)), Moscow, 2005, 368 p. (in Russ.)
4. Berlin E.B., Seidman L.A. *Polucheniye tonkikh plenok reaktivnym magnetronnym napyleniyem* (Production of Thin Films by Reactive Magnetron Sputtering), Moscow, 2014, 260 p. (in Russ.)
5. Holmberg K., Matthews A. *Coatings tribology*, Elsevier Science, 1994, 457 p.
6. Novak R., Polcar T. *Tribology International*, 2014, vol. 74, pp. 154–163.
7. Fadin Yu.A. *Friction and Wear*, 2008, no. 1(29), pp. 29–32. (in Russ.)
8. Knott J.F. *Fundamentals of Fracture Mechanics*, Butterworths, 1979.
9. Bezenkina O.S. *Kinetika iznashivaniya keramik* (Ceramics Wear Kinetics), Extended abstract of candidate's thesis, St. Petersburg, 2013, 17 p. (in Russ.)

Data on authors

- Anton N. Belyakov** — Post-Graduate Student; Institute for Problems in Mechanical Engineering of the RAS; E-mail: anton_belyakov_n@mail.ru
- Yury A. Fadin** — Dr. Sci.; Institute for Problems in Mechanical Engineering of the RAS, Head of Laboratory; E-mail: fadinspb@yandex.ru
- Alina D. Bykova** — Post-Graduate Student; Institute for Problems in Mechanical Engineering of the RAS; E-mail: bykova.ad@gmail.com
- Mikhail A. Markov** — PhD; Central Research Institute of Structural Materials "Prometei" of National Research Center "Kurchatov Institute", Senior Researcher; E-mail: barca0688@mail.ru
- Andrey A. Shepelevskiy** — PhD; Institute for Problems in Mechanical Engineering of the RAS, Senior Researcher; E-mail: spbc63@yandex.ru

For citation: Belyakov A. N., Fadin Yu. A., Bykova A. D., Markov M. A., Shepelevskiy A. A. Evaluation of thin coatings wear. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 4. P. 374—377 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-4-374-377