

ПРИРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОМ ТРЕНИИ

А. Д. БЫКОВА¹, Ю. А. ФАДИН¹, А. О. ПОЗДНЯКОВ², А. Н. БЕЛЯКОВ¹,
М. А. МАРКОВ³, А. А. ШЕПЕЛЕВСКИЙ¹

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

² *Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, Россия*

³ *НИЦ „Курчатовский институт“ — ЦНИИ КМ „Прометей“, 191015, Санкт-Петербург, Россия*

Предложен подход к построению опорной кривой, основанный на явлении акустической эмиссии, источником информации при этом является акустическое излучение, возникающее при взаимодействии поверхностных шероховатостей вследствие трения. Рассмотрены особенности образования опорных кривых для материалов обоих контактирующих тел. Выполнено сравнение традиционного способа построения опорных кривых на основе обработки данных профилограмм и подхода, основанного на регистрации данных акустической эмиссии при трении. Используя возвратно-поступательный способ трения, возможно одновременно строить опорные поверхности обоих контртел, участвующих в трении. Предполагается, что этот подход облегчит исследование механизмов трения различных материалов. Показано, что приработка мягкого и твердого материала приводит к установлению размеров пятен микроконтактов и шероховатости на поверхности трения, пропорциональных соотношению прочности материалов пары трения на сдвиг.

Ключевые слова: *профилограмма, опорная кривая профиля, поверхность, акустическая эмиссия, прочность на сдвиг*

К настоящему времени накоплено много разрозненных экспериментальных данных по формированию рельефа трущихся поверхностей. В то же время многие вопросы остаются нерешенными. Согласно общим подходам, поверхности твердых тел прирабатываются в результате трения и устанавливается равновесная шероховатость [1]. Эта шероховатость может быть как больше, так и меньше первоначальной. Вопросы о том, есть ли критерии для оценки времени окончания приработки поверхностей или можно предсказать уровень шероховатости контактирующих поверхностей, остаются не решенными.

Базовые сведения о том, как происходит приработка, приведены в довольно старых публикациях [1—3]. Чуть подробнее описаны методы измерения и оценки рельефа поверхности [4], разработано несколько международных стандартов, регламентирующих эти методы измерений [5]. Наиболее существенные результаты получены в 1933 г. Абботом и Файерстоуном [6], они показали, как распределяется вещество в приповерхностных слоях самых различных материалов при трении, и предложили способ перерасчета данных рельефа поверхности в опорную кривую. В настоящее время понятие опорной кривой широко используется в трибологических исследованиях [7, 8]. Опорная кривая строится с помощью щупового профилометра по специальной методике. Построение опорной кривой занимает довольно много времени. Важной задачей является вопрос можно ли этот процесс упростить. Другой интересный вопрос состоит в том, каковы причины равновесной шероховатости. Поэтому цель настоящей работы заключается в исследовании этих вопросов.

Изучение механизма трения предполагает одновременное исследование сразу обоих тел. Для этих целей удобно применять акустические методы, такой подход активно используется

в трибологии [9—11]. Необходимо только обеспечить удобное крепление датчиков к твердым телам.

Для экспериментов в настоящей работе выбраны: сталь 45, алюминий АМЦ, баббит Б83, из которых составлены трибологические пары. Неподвижные образцы изготовлены в виде пластин размером 10×3 см, подвижные — из стали в форме параллелепипедов с поверхностью контакта площадью 2×20 мм. Опыты проводились при возвратно-поступательном трении с помощью специального лабораторного устройства. Нагрузка 35 Н, длина хода 20 мм, частота смены направления 2 Гц. Эксперимент организован следующим образом. Обе контактирующие поверхности в каждой трибологической паре имели перед началом трения одинаковую шероховатость $R_a = 0,1$ мкм. Оба образца были снабжены пьезоэлектрическими датчиками GT-300. Информация, которая поступала с датчиков во время трения, записывалась в память компьютера через входные устройства осциллографа АКТАКОМ 3107. Перед проведением эксперимента на трение и по его окончании проводилось профилометрирование каждой контактной поверхности. Трение проводилось в условиях смазки маслом М20. Профилограммы снимались на портативном профилометре TR-200 на разных базовых длинах — 12,5, 4 и 0,25 мм, вдоль и поперек дорожки трения, перед началом трения и после определенной временной экспозиции (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 мин).

На рис. 1, а представлена запись низкочастотного акустического сигнала, возникающего в момент трения двух тел: контртела из алюминиевого сплава АМЦ и контртела из стали 20 (не показано) на пути, равном базовой длине измерения профиля. На рис. 1, б приведен перестроенный по амплитуде акустической эмиссии A сигнал рис. 1, а.

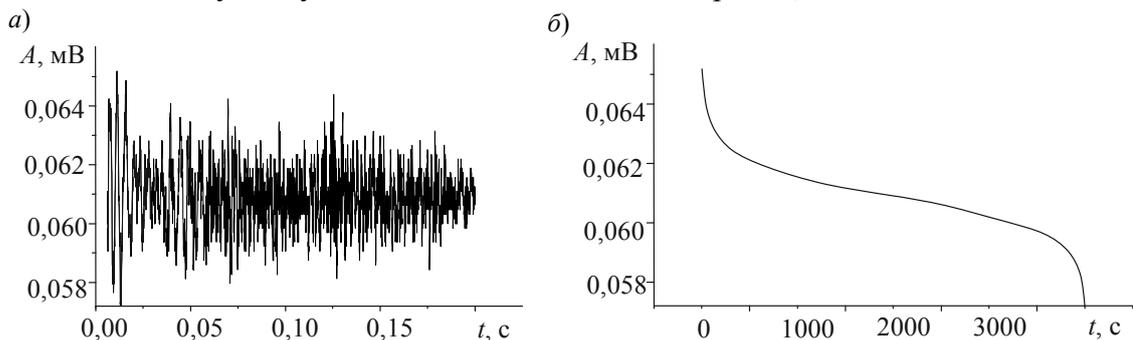


Рис. 1

На таком же базовом пути L и уже без регистрации акустического сигнала построен рис. 2 (а — профилограмма, б — опорная кривая). Эти данные получены на образце, приведенном на рис. 1. Рис. 1, б и 2, б очень похожи — коэффициент корреляции кривых 0,98. Это вполне ожидаемо, потому что в основу измерений приборов положено одно и то же число поверхностных шероховатостей. На рисунке представлены перестроенные амплитудные зависимости шероховатостей: одна выполнена по Абботу—Файерстоуну C , а другая аналогичным способом, но уже по акустическим данным h .

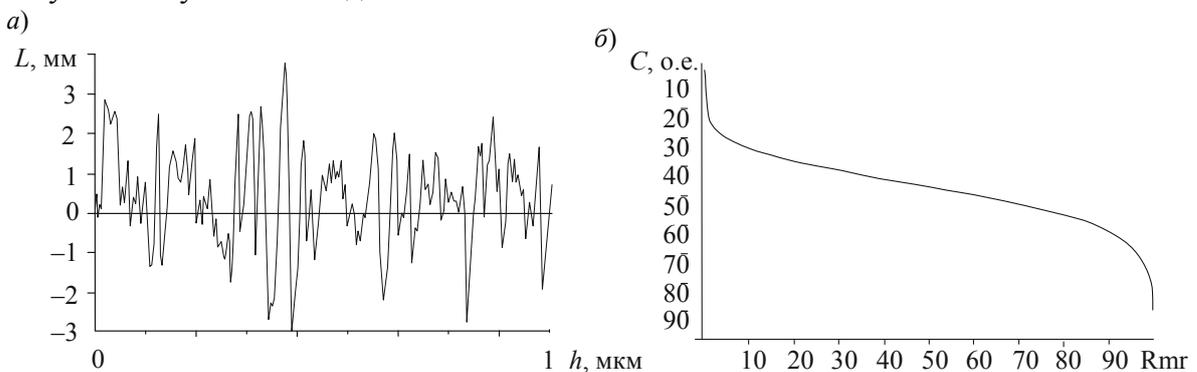


Рис. 2

На рис. 3 и 4 приведены фрагменты профилограмм, полученных при длительном возвратно-поступательном движении контртел в масле (*а* — профилограмма, *б* — опорная кривая. На рис. 4 приведен фрагмент профиля более мягкого и менее прочного алюминиевого материала неподвижного контртела, а на рис. 3 показан профиль более прочного материала подвижного контртела из стали 45. Эти профили были получены в результате возвратно-поступательного трения в течение 60 мин. Своеобразие приработки при возвратно-поступательном трении заключается в многократных проходах выступающих шероховатостей по одному и тому же пути. При этом шероховатости более мягкого тела „раскатываются“ на участки определенного размера (плато). Шероховатости более твердого тела (стали) раскатываются на площадки значительно меньшей длины.

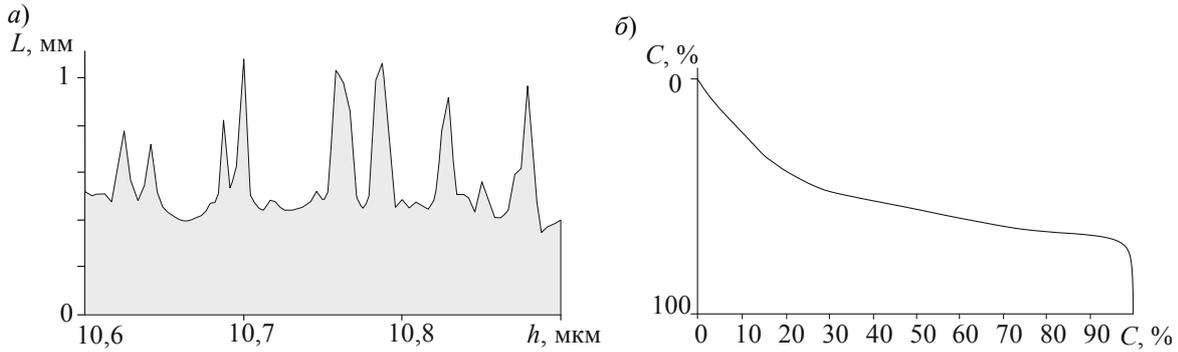


Рис. 3

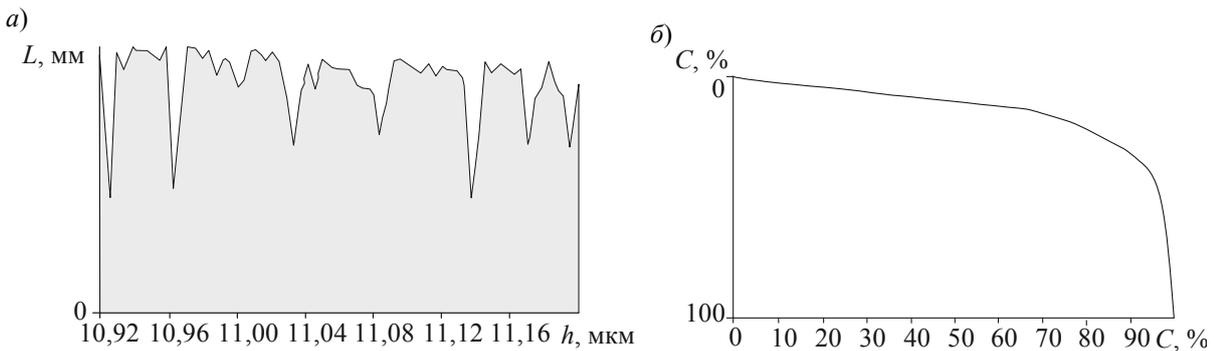


Рис. 4

Профили поверхности в поперечном направлении качественно не отличаются от профилей, полученных в продольном направлении. Полученные плоские участки приработанных поверхностей характеризуются двумя размерами — вдоль направления приработки l_1 и поперек l_2 . Размер l_1 сильно зависит от свойств материала, в то время как l_2 практически не зависит. В среднем для конкретного материала при постоянных условиях опыта размер l_1 практически не менялся от времени. Обнаружено, что в процессе приработки на поверхности более пластичного материала появляются пятна практически одного и того же размера. Сначала пятна приработки появляются только в отдельных местах поверхности (по-видимому, наиболее выступающих), а в конце они покрывают практически всю поверхность. Также ведет себя и более твердая поверхность, только размеры пятен приработки меньше. Можно предположить, что такие пятна возникают сразу в результате одного физического явления, например, скола. Механизм этого явления следующий. Шероховатость более твердого и прочного материала давит при трении на шероховатость более мягкого и менее прочного с силой, равной силе трения. Наблюдения показывают, что максимальный размер частиц износа обусловлен соотношением прочностей контактирующих материалов и силы трения. Поскольку сила трения параллельна направлению движения, она в данном случае обеспечивает процессы разрушения материала в подповерхностной области.

В таблице приведены соотношения размеров контртел трибологической пары, полученные на всех использованных материалах.

Материал	Прочность на сдвиг, МПа	Соотношение размеров областей микроконтакта
Сталь45/Сталь45	300	1
АМц/Сталь45	60	7
Баббит/Сталь45	50	9

Закключение. Установлено, что опорная кривая может быть определена по акустическим данным. Размер пятен микроконтакта и соответственно равновесной шероховатости материалов после приработки пропорционален соотношению их прочностей на сдвиг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.
2. Комбалов В. С. Влияние шероховатости твердых тел на трение и износ. М.: Наука, 1974. 112 с.
3. Демкин Н. Б. Контактное состояние шероховатых поверхностей. М.: Наука, 1970. 227 с.
4. Карташев А. И. Шероховатость поверхности и методы ее измерения. М.: Стандарты, 1964. 164 с.
5. Табенкин А. Н., Тарасов С. Б., Степанов С. Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт. СПб: Изд-во Политехнического ун-та, 2007. 136 с.
6. Abbott E. J., Firestone F. A. Specifying surface quality: a method based on accurate measurement and comparison // Mechanical Engineering. 1933. Vol. 55. P. 569—572.
7. Kundrak J., Gyani K., Bana V. Roughness of ground and hard-turned surfaces on the basis of 3D parameters // Intern. J. of Advanced Manufacturing Technology. 2008. Vol. 38. P. 110—119.
8. Salcedo M. C., Coral I. B., Guillermo V. O. Characterization of Surface Topography with Abbott Firestone Curve // Contemporary Engineering Sciences. 2018. Vol. 11, N 68. P. 3397—3407.
9. Рубцов В. Е., Колубаев Е. А., Колубаев А. В., Попов В. Л. Использование акустической эмиссии для анализа процессов изнашивания при трении скольжения // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39, вып. 4. С. 76—80.
10. Колубаев А. В., Колубаев Е. А., Вагин И. Н., Сизова О. В. Генерация звука при трении скольжения // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31, вып. 19. С. 6—12.
11. Tan C. K., Mba D. Correlation between Acoustic Emission activity and asperity contact during meshing of spur gears under partial elasto-hydrodynamic lubrication // Tribology letters. 2005. Vol. 20. P. 63—67.

Сведения об авторах

- Алина Дмитриевна Быкова** — аспирант; Институт проблем машиноведения РАН, E-mail: bykova.ad@gmail.com
- Юрий Александрович Фадин** — д-р техн. наук; Институт проблем машиноведения РАН, зав. лабораторией, E-mail: fadinspb@yandex.ru
- Алексей Олегович Поздняков** — канд. физ.-мат. наук; Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, ст. науч. сотрудник, E-mail: ao.pozd@mail.ioffe.ru
- Антон Николаевич Беляков** — аспирант; Институт проблем машиноведения РАН, зав. лабораторией, E-mail: anton_belyakov_n@mail.ru
- 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: Быкова А. Д., Фадин Ю. А., Беляков А. Н., Марков М. А., Шепелевский А. А. Приработка материалов при возвратно-поступательном трении // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 4. С. 310—314.

RUNNING-IN OF MATERIALS UNDER RECIPROCATING FRICTION

A. D. Bykova¹, Yu. A. Fadin¹, A. O. Pozdnyakov², A. N. Belyakov¹, M. A. Markov³, A. A. Shepelevskiy¹¹Institute for Problems in Mechanical Engineering of the RAS, 199178, St. Petersburg, Russia
E-mail: fadinspb@yandex.ru²Ioffe Institute, 194021, St. Petersburg, Russia³Central Research Institute of Structural Materials "Prometey" of National Research Center "Kurchatov Institute", 191015, St. Petersburg, Russia

A new approach to constructing a reference curve based on the acoustic emission phenomenon is considered. The approach uses the acoustic radiation arising from the interaction of surface roughness during friction as a source of information. Several features of the reference curve formation for materials of the both contacting bodies are considered. A comparison is made of the traditional method of reference curve formation based on processing of profilogram data with the new method based on acoustic emission data recorded under friction. Employment of reciprocal-friction method makes it possible to construct simultaneously the supporting surfaces for both bodies involved in friction. It is assumed that this method will be a help in study of friction mechanisms of various materials. It is shown that running-in of soft and hard material leads to formation of the friction surface roughness with microcontact stain of the sizes proportional to the ratio of parameters of the friction pair materials strength to the shear.

Keywords: profilogram, profile reference curve, surface, acoustic emission, shear strength

REFERENCES

1. Kragel'skiy I.V., Dobychin M.N., Kombalov V.S. *Osnovy raschetov na trenie i iznos* (Bases of Calculations on Friction and Wear), Moscow, 1977, 526 p. (in Russ.)
2. Kombalov V.S. *Vliyaniye sherokhovatosti tverdykh tel na treniye i iznos* (The Effect of Roughness of Solids on Friction and Wear), Moscow, 1974, 112 p. (in Russ.)
3. Demkin N.B. *Kontaktirovaniye sherokhovatykh poverkhnostey* (Engagement of Rough Surfaces), Moscow, 1970, 227 p. (in Russ.)
4. Kartashev A.I. *Sherokhovatost' poverkhnosti i metody yeyo izmereniya* (Surface Roughness and Methods for Measuring It), Moscow, 1964, 164 p. (in Russ.)
5. Tabenkin A.N., Tarasov S.B., Stepanov S.N. *Sherokhovatost', volnistost', profil'. Mezhdunarodnyy opyt* (Roughness, Waviness, Profile. International Experience), St. Petersburg, 2007, 136 p. (in Russ.)
6. Abbott E.J., Firestone F.A. *Mechanical Engineering*, 1933, vol. 55, pp. 569–572.
7. Kundrak J., Gyani. K., Bana V. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008, vol. 38, pp. 110–119.
8. Salcedo M.C., Coral I.B., Guillermo V.O. *Contemporary Engineering Sciences*, 2018, no. 11(68), pp. 3397–3407.
9. Rubtsov V.E., Kolubaev E.A., Kolubaev A.V., Popov V.L. *Technical Physics Letters*, 2013, no. 2(39), pp. 223–225.
10. Kolubaev A.V., Kolubaev E.A., Vagin I.N., Sizova O.V. *Technical Physics Letters*, 2005, no. 10(31), pp. 813–816.
11. Tan C.K., Mba D. *Tribology letters*, 2005, vol. 20, pp. 63–67.

Data on authors

- Alina D. Bykova** — Post-Graduate Student; Institute for Problems in Mechanical Engineering of the RAS; E-mail: bykova.ad@gmail.com
- Yury A. Fadin** — Dr. Sci.; Institute for Problems in Mechanical Engineering of the RAS, Head of Laboratory; E-mail: fadinspb@yandex.ru
- Alexey O. Pozdnyakov** — PhD; Ioffe Institute, Senior Researcher; E-mail: ao.pozd@mail.ioffe.ru
- Anton N. Belyakov** — Post-Graduate Student; Institute for Problems in Mechanical Engineering of the RAS; E-mail: anton_belyakov_n@mail.ru
- Mikhail A. Markov** — PhD; Central Research Institute of Structural Materials „Prometey“ 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: Bykova A. D., Fadin Yu. A., Pozdnyakov A. O., Belyakov A. N., Markov M. A., Shepelevskiy A. A. Running-in of materials under reciprocating friction. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 4. P. 310–314 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-4-310-314