

Брыков М.Н.,***Ефременко В.Г.****

*Запорожский национальный технический университет

**Приазовский государственный технический университет

E-mail: <brykov@zntu.edu.ua>

**О ПРОБЛЕМНЫХ ТЕРМИНАХ
ТРИБОЛОГИИ**

УДК 621.891

Изложено и обосновано мнение о потенциальных проблемах, связанных с применением терминов «изнашивание», «износ», «износостойкость» в том виде, в котором они сформулированы в ГОСТ 27674-88 и ДСТУ 2823-94. Предложены новые варианты определения данных терминов.

Ключевые слова: процесс изнашивания, износ, сопротивление износу, корректная формулировка.

Трибология, как и любая другая система знаний, опирается на ряд фундаментальных положений, среди которых наиболее важны термины и определения. Ошибки в формулировках всегда приводят к нежелательным последствиям, но для трибологии некорректные определения наиболее опасны. В связи с этим авторы настоящей работы считают необходимым изложить свое мнение о некоторых широко используемых терминах в области трения и изнашивания, которые, как показывает исследовательская практика, не всегда корректно отражают существо происходящих явлений и определяемых величин.

Общие рассуждения об изнашивании и износе

Пусть два тела находятся в контакте под нагрузкой P (рис. 1).

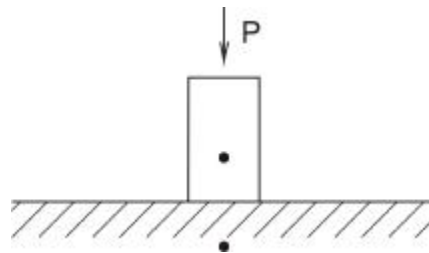


Рис. 1 – Схема трения двух тел: исходное состояние

В результате относительного перемещения тел на расстояние l некоторый объем V на поверхности тел будет разрушен и отделится от тел в виде мелких частиц (рис. 2).

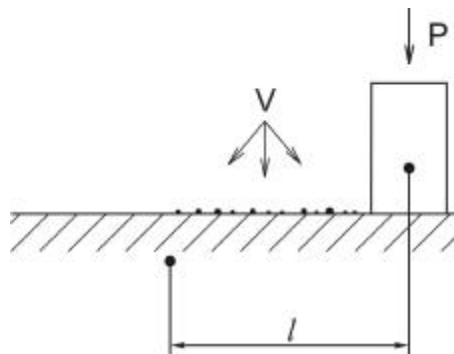


Рис. 2 – Схема трения двух тел: перемещение тел на расстояние l

Объем частиц разрушенного (изношенного) материала составляет:

$$V = kPl, \quad (1)$$

где коэффициент k есть постоянная величина для постоянных условий трения. Его можно рассматривать как вероятность того, что разрушение некоторого микрообъема материала произойдет при

единичном взаимодействии микровыступов поверхностей. Как правило, значения коэффициента k находятся в диапазоне от 10^{-2} до 10^{-8} [1].

В 1953 г. Архард [2] привел следующее обоснование выражения (1).

Рассмотрим две поверхности, находящиеся в скользящем контакте под нагрузкой P . Допустим, микровыступы поверхностей пластически деформируются в процессе взаимодействия, и для каждого случая взаимодействия существует некоторая вероятность того, что частица износа будет отделена. Допустим также, что микровыступы имеют радиус a (рис. 3).

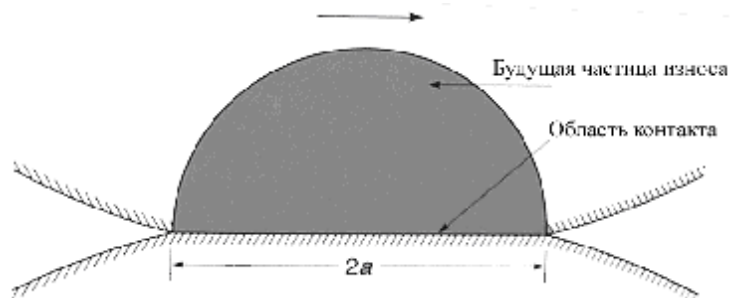


Рис. 3 – Гипотетическая модель образования полусферической частицы износа в случае скользящего контакта поверхностей [1]

Условие пластической деформации микровыступа материала под нагрузкой P :

$$P = \pi a^2 H, \quad (2)$$

где H – среднее контактное напряжение в условиях полной пластичности или твердость наименее твердого материала.

В результате взаимодействия микровыступов частица износа объемом dV может появиться с некоторой вероятностью. Размеры частицы будут пропорциональны размерам области контакта. Частицы имеют примерно одинаковые размеры во всех трех направлениях, поэтому dV пропорционален a^3 . В предположении, что частица износа имеет полусферическую форму с радиусом, равным радиусу контакта, получаем:

$$dV = \frac{2}{3} \pi a^3. \quad (3)$$

Предполагается, что контакт существует до перемещения тел на расстояние:

$$dl = 2a, \quad (4)$$

после чего он разрывается, и нагрузка воспринимается другим контактом.

Из выражений (2), (3), (4) следует, что:

$$\frac{dV}{dl} = \frac{1}{3} \frac{P}{H}.$$

Отсюда:

$$dV = \frac{1}{3} \frac{P}{H} dl.$$

Отделение частицы износа за каждый акт взаимодействия микровыступов происходит с некоторой вероятностью z , поэтому с учетом:

$$k = z \frac{1}{3H}$$

приходим к выражению (1), т.е. к объему V , изношенному на расстоянии l .

Из выражения (1) следуют важные выводы, а именно, если условия трения остаются постоянными, то:

- износ V не зависит от формы контакта;
- износ V прямо пропорционален нагрузке P ;
- износ V постоянен, если постоянен путь трения l , и не зависит от скорости скольжения.

Таким образом, если условия трения и путь трения остаются постоянными, изношенный объем также остается постоянным.

С точки зрения локализации процессов разрушения можно подразделить на объемное и поверхностное. Поэтому изнашивание является частным случаем разрушения, т.к. отделение частиц износа с поверхности трения есть поверхностное разрушение.

Поскольку разрушение может сопровождаться деформацией, необходимо определить, является ли деформация частным случаем разрушения, или это самостоятельное явление. Данная задача только кажется тривиальной.

«Твердое тело под действием внешних усилий в большей или меньшей степени меняет свои размеры и форму, т.е. деформируется... Если действующие на твердое тело усилия достаточно велики, то, пройдя некоторую стадию деформирования, тело разрушается, т.е. теряет свою целостность – распадается на отдельные части. Свойство твердого тела оказывать сопротивление деформированию называется его жесткостью, а разрушению – прочностью» [3].

Аналогичные по смыслу определения приведены в [4]:

«Деформация (от лат. *deformatio* – искажение) – изменение формы или размеров тела (или части тела под действием внешних сил...».

«Разрушение материала – макроскопическое нарушение сплошности материала в результате тех или иных воздействий на него. Р. часто развивается одновременно с упругой и пластической деформацией...».

Таким образом, анализ определений приводит к утверждению, что разрушение и деформация есть различные явления. Поэтому процессы деформации нельзя относить к разрушению.

Анализ стандартизованных терминов

В государствах стран СНГ термины и определения в области трения и изнашивания стандартизованы ГОСТ 27674-88. В Украине действует практически аналогичный ДСТУ 2823-94. Рассмотрим некоторые термины, определенные этими документами, на примере ГОСТ 27674-88.

Изнашивание – процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличения его остаточной деформации, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

В соответствии с определением **изнашивание** – это процесс, результатом которого является **износ**.

Износ – результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. Примечание. Значение износа может выражаться в единицах длины, объема, массы и др.

Приведенные определения относят процесс деформации поверхности тела к изнашиванию. Но если изнашивание есть частный случай разрушения, то деформацию к изнашиванию относить нельзя. Поэтому изнашиванием фактически является только процесс отделения материала от поверхности твердого тела, а процесс поверхностной деформации лишь сопутствует изнашиванию.

В соответствии с (1) результатом изнашивания (разрушения поверхности) является потеря объема материала. Естественно, что определить величину изношенного объема можно лишь по потере массы или изменению размеров тела. Причем, в некоторых случаях определение износа по изменению линейных размеров тела приводит к столь существенным погрешностям, что исчезает возможность проводить исследования [5]. Только определение изношенного объема по потере массы тела позволяет свести погрешности до приемлемого уровня [6].

Учитывая, что результатом изнашивания является именно потеря объема тела, а деформацию нельзя относить к изнашиванию, корректные, на наш взгляд, определения формулируются так:

изнашивание – процесс отделения материала с поверхности твердого тела в условиях трения, проявляющийся в постепенном изменении объема тела;

износ – результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. Примечание. Значение износа определяют в единицах объема путем измерения потери массы или изменения линейных размеров тела.

Далее рассмотрим термины, характеризующие процесс изнашивания. Этими терминами в ГОСТ 27674-88 являются **скорость изнашивания** и **интенсивность изнашивания**.

Скорость изнашивания – отношение значения износа к интервалу времени, на котором он возник.

Интенсивность изнашивания – отношение значения износа к обусловленному пути, на котором он возник, или объему выполненной работы.

Необходимо отметить отличие формулировки последнего термина в ДСТУ 2823-94:

інтенсивність зношування – відношення величини зносу до шляху тертя, вдовж якого відбувалося зношування.

Мы рассматриваем только ту часть определения термина **интенсивность изнашивания**, которая является общей для обоих стандартов. Вопрос о том, почему в определении ДСТУ 2823-94 не упоминается объем выполненной работы, здесь не обсуждается.

Пусть износ одного материала на фиксированном пути трения ($l = 30$ м) при постоянных условиях трения (c и P) составил 1 мм^3 , а износ второго материала в тех же условиях трения – 2 мм^3 . Отсюда:

$$\text{Интенсивность изнашивания}_1 = \frac{1 \text{ мм}^3}{30 \text{ м}}.$$

$$\text{Интенсивность изнашивания}_2 = \frac{2 \text{ мм}^3}{30 \text{ м}}.$$

Способность материала сопротивляться изнашиванию характеризует **износостойкость**.

Износостойкость – свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания.

В соответствии с определением износостойкость может быть выражена как через интенсивность изнашивания, так и через скорость изнашивания. Если выражать износостойкость как величину, обратную интенсивности изнашивания, то для примера, рассмотренного выше, получим:

$$\text{Износостойкость}_1 = \frac{30 \text{ м}}{1 \text{ мм}^3} = 30 \frac{\text{м}}{\text{мм}^3}.$$

$$\text{Износостойкость}_2 = \frac{30 \text{ м}}{2 \text{ мм}^3} = 15 \frac{\text{м}}{\text{мм}^3}.$$

Теперь рассмотрим скорость изнашивания. Очевидно, что скорость изнашивания некоторого материала даже в постоянных условиях трения может быть различной при различной скорости относительного перемещения тел, поскольку в соответствии с (1) износ данного материала зависит от пути трения, а не от скорости скольжения. Известно, что существуют диапазоны скоростей скольжения в трибосистемах, когда условия трения (коэффициент k , см. 1) остаются неизменными.

Допустим, что материал 1 из приведенного выше примера изнашивается на пути трения 30 м при различной скорости скольжения (при условии сохранения постоянства коэффициента k). В первом случае скорость скольжения составляет 1 м/с, а во втором – 2 м/с. Поскольку условия трения приняты постоянными, то в обоих случаях на постоянном пути трения 30 м износ материала составит, как уже указывали, 1 мм^3 . Какова же будет износостойкость материала, если, согласно ГОСТ 27674-88, выражать ее как величину, обратную скорости изнашивания? Определим сначала скорость изнашивания:

$$\text{Скорость изнашивания}_1 = \frac{1 \text{ мм}^3}{30 \text{ с}} = \frac{1}{30} \frac{\text{мм}^3}{\text{с}}.$$

$$\text{Скорость изнашивания}_2 = \frac{1 \text{ мм}^3}{15 \text{ с}} = \frac{1}{15} \frac{\text{мм}^3}{\text{с}}.$$

Тогда износостойкость материала 1 для разной скорости изнашивания:

$$\text{Износостойкость}_1^1 = 30 \frac{\text{с}}{\text{мм}^3}.$$

$$\text{Износостойкость}_1^2 = 15 \frac{\text{с}}{\text{мм}^3}.$$

Мы получили результат, согласно которому износостойкость одного и того же материала в одних и тех же условиях трения **различна** при различной скорости относительного перемещения тел. Этого не может быть, поскольку справедливо выражение (1), т.е. износ материала постоянен при постоянстве условий и пути трения. Следовательно, должна быть постоянна и износостойкость материала.

Таким образом, анализ определений, предлагаемых ГОСТ 27674-88 и ДСТУ 2823-94, показывает, что пользоваться ими нужно осмотрительно. Конечно, при постоянной скорости относительного перемещения тел, износостойкость материала можно выражать как величину, обратную **скорости изнашивания**, т.е. в с/мм^3 (или производных единицах). Это может быть полезно в случаях, когда путь трения невозможно точно зафиксировать, например, при полевых испытаниях рабочих органов сельскохозяйственных машин. Однако в этом случае необходимо поддерживать строго постоянную скорость скольжения во избежание путаницы с числами износостойкости. Тем не менее, в принципе износостойкость материала следует выражать как величину, обратную **интенсивности изнашивания**, т.е. в м/мм^3 или производных единицах.

Выводы

Анализ существующих представлений об изнашивании и износе приводит к выводу о некоторой некорректности стандартизованных определений терминов *изнашивание*, *износ*, *износостойкость* (ГОСТ 27674-88, ДСТУ 2823-94). Применение существующих определений этих терминов может привести к проблемам в проведении трибологических исследований.

Предлагаются следующие варианты определений:

изнашивание – процесс отделения материала с поверхности твердого тела в условиях трения, проявляющийся в постепенном изменении объема тела;

износ – результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. Примечание. Значение износа определяют в единицах объема путем измерения потери массы или изменения линейных размеров тела;

износостойкость – свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной интенсивности изнашивания.

Литература

1. Bhushan B. Introduction to tribology / Bhushan B. - New York : John Wiley & Sons, 2002. - 732 p.
2. Archard J.F. Contact and Rubbing of flat surfaces // J. Appl. Phys. – 24. – P.981-988.
3. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие: В 4 т. / Под общей ред. Панасюка В. В. – Киев : Наук. думка, 1988. – Т. 1 : Основы механики разрушения / Панасюк В. В., Андрейкив А. Е., Партон В. З. – 1988. – 488 с.
4. Политехнический словарь / Редкол.: А. Ю. Ишлинский (гл.ред) и др. - 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Советская энциклопедия, 1989. - 656 с.
5. Кроха В.А., Планида В.Е. Оценка точности стандартных испытаний на абразивную износостойкость // Трение и износ. - 1988. - Т.9. - №6. - С.1128-1133.
6. Брыков М. Н. Повышение точности определения величины износа при испытаниях на машине Х4-Б / М. Н. Брыков // Problems of Tribology. - 1996. - № 2. - С. 7-11.

Поступила в редакцію 22.01.2013

Brykov M.N., Efremenko V.G. **On problematic wordings in tribology.**

Widely used tribological terms “wear process”, “wear”, “wear resistance” are analyzed in wording applied in GOST 27674-88 and DSTU 2823-94. It is shown, that term “wear process” combines such processes as destruction and deformation. Although deformation frequently precedes destruction, they are quite different phenomena and it is not correct to associate both of them with “wear process” term. It is highlighted that “wear” term should be distinguished only as a result of “wear process” evaluated by material volume loss. Therefore the volume unit is the only could be applied to “wear” term, which may be determined via mass loss or linear dimensions change. According to GOST 27674-88 and DSTU 2823-94 the “wear resistance” is determined to be inversely proportional to wear rate or wear intensity. As it is shown in article, the wear resistance can be correct calculated only as a value inversely proportional to wear intensity.

Key words: wear process, wear, wear resistance, correct wording.

Reference

1. Bhushan B. Introduction to tribology, New York, John Wiley & Sons, 2002, 732 p.
2. Archard J.F. Contact and Rubbing of flat surfaces, J. Appl. Phys. No 24, pp.981-988.
3. Panasjuk V. V., Andrejkiv A. E., Parton V. Mehanika razrushenija i prochnost' materialov, Sprav. posobie: V 4 t, Kiev, Nauk. dumka, 1988. T. 1 : Osnovy mehaniki razrushenija, 488 p.
4. Ishlinskij A. J. Politehnicheskij slovar', M., Sovetskaja jenciklopedija, 1989, 656 p.
5. Kroha V.A., Planida V.E. Ocenka tochnosti standartnyh ispytanij na abrazivnuju iznosostojkost', Trenie i iznos, 1988. T.9. No 6, pp.1128-1133.
6. Brykov M. N. Povyshenie tochnosti opredelenija velichiny iznosa pri ispytaniyah na mashine Kh4-B. Problems of Tribology, 1996, No 2, pp. 7-11.