



Научная статья

УДК 620.178.16; 621.78

DOI: 10.36652/0202-3350-2022-23-7-309-311

## Влияние параметров структуры материала на его абразивную износостойкость

**Мукаддас Ибадуллаевна Мамасалиева***Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, mamasaliyevamuqaddas@gmail.com*

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы влияния структуры материала на его абразивную износостойкость с позиции энергетической теории трения и изнашивания.

**Ключевые слова:** деформация, износостойкость, абразивный износ, энергия, коэффициент трения

**Для цитирования:** Мамасалиева М.И. Влияние параметров структуры материала на его абразивную износостойкость // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2022. Т. 23, № 7. С. 309–311. DOI: 10.36652/0202-3350-2022-23-7-309-311.

Original article

## Influence of material structure parameters on its abrasive wear resistance

**Mukaddas I. Mamasaliev***Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan, mamasaliyevamuqaddas@gmail.com*

**Abstract.** The article discusses the influence of the structure of the material on its abrasive wear resistance from the standpoint of the energy theory of friction and wear.

**Keywords:** deformation, wear resistance, abrasive wear, energy, coefficient of friction

### Введение

Одна из основных задач, стоящих перед промышленностью и народным хозяйством Республики Узбекистан, — повышение качества и эффективности машиностроительного производства на основе создания новых и модернизированных изделий, подготовки чертежей конструкций, способствующих обеспечению необходимой технологичности и высокого качества соединений в узлах машин.

Наиболее распространенной неизбежной причиной выхода из строя деталей машин яв-

ляется их износ, изменяющий важнейшие характеристики машин: понижается мощность двигателей, увеличивается расход горюче-смазочных материалов, падают производительность и тяговые качества машин, повышается расход энергии на производимой машиной продукции и т.д.

Эксплуатация техники в климатических условиях республик Средней Азии, характеризующихся высокими температурами, интенсивной солнечной радиацией, сильными ветрами и пыльными бурями, низкой влажностью воздуха, приводит к резкому в 1,5–2,0 раза по

сравнению с зоной умеренного климата снижении работоспособности машин и механизмов.

В запыленном воздухе размер частиц пыли колеблется в широких пределах 0,005...0,6 мм и более, пыль содержит до 80...95 % кварца и окисей алюминия, кальция, железа. Срок службы машин в таких условиях резко сокращается, интенсивность изнашивания деталей увеличивается в 2...10 раз, причем около 80 % их выбывает из строя вследствие абразивного износа. Высокая износостойкость быстро изнашивающихся деталей — залог обеспечения надежности и долговечности машин [1].

Существуют несколько методов расчета деталей машин на изнашивание, некоторые из них основываются на известных свойствах материалов (твердость, прочность, модуль упругости и т.п.), а другие имеют вид сложных уравнений с многочисленными коэффициентами, определяемыми экспериментальным путем.

Исходя из основных факторов, влияющих на протекающий процесс, изнашивание подразделяют на механический, тепловой, окислительный, усталостный, абразивный, кавитационный и тому подобные виды изнашивания. Подразделение изнашивания на такие виды носит условный характер и отражает только преобладающую причину возникновения изнашивания. Процесс изнашивания (разрушение микрообъема материала) определяется накоплением энергии на поверхностном слое и подчиняется закону сохранения энергии. Анализ природы изнашивания поверхности детали с точки зрения распределения энергии обобщает в себе все вышеперечисленные виды изнашивания [2].

### Энергетический баланс процесса изнашивания

Согласно энергетической теории изнашивания для каждого материала существует своя постоянная критическая энергоемкость, которая показывает, сколько энергии может содержать единица объема материала. Энергия, подаваемая к материалу извне, независимо от ее вида (механическая, тепловая или химическая), при достижении критического значения приводит к разрушению энергетически насыщенного объема материала. Таким образом, при достижении критического значения энергии, накапливаемой на поверхностных слоях материала, происходит процесс изнашивания, т.е. на не-

большом объеме поверхности трущейся детали значение энергии превышает критическое, образуются новые поверхности и микрообъем отделяется от поверхности в виде частицы износа. В конечном счете, поверхность возвращается в равновесное энергетическое состояние.

Основная часть энергии  $E_{тр}$ , затраченной на процесс трения, превращается в теплоту  $Q$  и рассеивается в окружающую среду. Только определенная часть расходуется на повышение внутренней энергии  $E_M$  поверхностных слоев:

$$E_{тр} = Q + E_M. \quad (1)$$

Энергия  $E_M$ , накапливаемая в процессе трения на поверхности детали, в основном расходуется на повышение внутренней энергии материала поверхности  $E_{сд}$  и непосредственно на процесс разрушения  $E_p$ :

$$E_M = E_{сд} + E_p. \quad (2)$$

Для расчета количества энергии, накопленной поверхностью материала в процессе трения, необходимо умножить изменение напряженного состояния поверхности на микрообъем, где происходило изменение этого напряжения:

$$E_{сд} = V_d (\sigma_k - \sigma_n) = V_d \Delta\sigma. \quad (3)$$

Количество энергии, расходуемой на изнашивание материала, можно найти из равенства:

$$E_p = V_{изн} E^*. \quad (4)$$

Если критическую энергоемкость материала приравнять к скрытой энергии плавления материала  $E^* = Q_{пл}$ , то уравнение (2) примет вид:

$$E_M = V_d \Delta\sigma + V_{изн} E^*; \quad (5)$$

$$V_{изн} = (E_M - V_d \Delta\sigma) / E^*. \quad (6)$$

Каждая абразивная частица может передать на поверхность трения количество энергии, не превышающей ее прочность. Если критическая энергоемкость микрообъема трущейся поверхности меньше передаваемой абразивной частицей энергии ( $E^* < E_a$ ), то абразивная частица несколько раз может совершить акт разрушения поверхностных микрообъемов. В противном случае ( $E^* > E_a$ ) трущиеся поверхности могут сопротивляться до разрушения самих абразивных зерен. Таким образом, абразивная износо-



стойкость пар трения зависит от энергоемкости материалов поверхностей, а изнашивание происходит тогда, когда количество энергии, подаваемой извне, достаточно для образования микротрещин и их развития. Число рабочих циклов абразивных частиц, необходимых для реализации вышеперечисленных процессов, определяли из соотношения:

$$m = E_m / E_a = E_m / (e_a n). \quad (7)$$

Для расчета количества абразивных частиц, взаимодействующих с поверхностями трения, воспользуемся формулой [1]:

$$n = 6m' / \pi d_{\text{ср}}^3 \rho_a. \quad (8)$$

Число рабочих циклов также можно найти из соотношения количества энергии, затрачиваемой на плавление материала и абразивных частиц:

$$m = (T_{\text{пл м}} c_{\text{р м}} + Q_{\text{пл м}}) / (T_{\text{пл а}} c_{\text{р а}} + Q_{\text{пл а}}). \quad (9)$$

Таким образом:

$$m E_a = V_d \Delta \sigma + V_{\text{изн}} Q_{\text{пл}}. \quad (10)$$

Объемный износ:

$$V_{\text{изн}} = (m E_a - V_d \Delta \sigma) / Q_{\text{пл}}. \quad (11)$$

Распределение энергии, передаваемое абразивными частицами между трущимися поверхностями, можно определить из равенства [2]:

$$\alpha = 1 - \frac{1}{1 + K_s \psi}, \quad (12)$$

где  $\psi = \frac{\rho_1 \lambda_2}{\rho_2 \lambda_1}$ .

Из энергии, передаваемой абразивной частицей, часть  $\alpha$  переходит на первую неподвижную поверхность, а часть  $(1 - \alpha)$  — на вторую подвижную поверхность.

Объемный износ поверхностей определяем по формулам:

$$V_{\text{изн1}} = \sum_{i=1}^n [m_i E_a \alpha - V_{\text{дi}} (\sigma_{\text{к}} - \sigma_{\text{н}})] / Q_{\text{плi}}; \quad (13)$$

$$V_{\text{изн2}} = \sum_{i=1}^n [m_i E_a (1 - \alpha) - V_{\text{дi}} (\sigma_{\text{к}} - \sigma_{\text{н}})] / Q_{\text{плi}}.$$

Объемный износ деталей обратно пропорционален скрытой теплоте плавления материала. Чем больше энергии может накопить поверхностный слой детали без разрушения, тем меньше будет объем износа [1].

Известно, что структуры материалов неоднородны. Они состоят из различных фаз, таких как перлит, аустенит, мартенсит и др. С увеличением числа абразивных частиц, попавших между трущимися деталями, и энергии, необходимой для их разрушения, возрастает объемный износ материала. Поэтому на поверхностях деталей, работающих под влиянием абразивных частиц, необходимо создавать фазы, обладающие большой энергоемкостью.

### Заключение

Закон изнашивания материалов должен выражать в аналитической форме зависимость износа (или скорости износа) от многочисленных факторов (все эти закономерности необходимо описывать во времени). Общие закономерности, охватывающие некоторый диапазон условий изнашивания и выраженные в аналитической форме, позволяют решать многие вопросы расчета и прогнозирования качества изделий [6].

Долговечность работы узлов зависит от конструктивного решения, технологии изготовления их деталей, а также от соблюдения условий и правил технической эксплуатации машин.

### Список источников

1. **Махкамов К.Х.** Расчет износостойкости машин: учебное пособие. Ташкент: ТашГТУ, 2002.
2. **Чичинадзе А.В.** Расчет и исследование внешнего трения при торможении. Москва: Наука, 1967. 232 с.
3. **Войнов Б.А.** Износостойкие сплавы и покрытия. Москва: Машиностроение, 1980. 116 с.
4. **Износостойкость** и структура твердых наплавов / М.М. Хрушев [и др.]. Москва: Машиностроение, 1981. 94 с.
5. **Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н.** Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. Москва: Металлургия, 1982. 629 с.
6. **Мамасалиева М.И.** Оценка деформации поверхностей трения зубьев шестерен в процессе изнашивания // Композиционные материалы. 2021. № 2. С. 218–220.

*Статья поступила в редакцию 11.03.22; одобрена после рецензирования 28.03.22; принята к публикации 14.04.22.*