

С. Б. РАТНЕР

О ПОКАЗАТЕЛЕ ИСТИРАНИЯ РЕЗИНЫ И ЕГО СВЯЗИ С КОЭФФИЦИЕНТОМ ТРЕНИЯ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 4 X 1952)

1. В литературе ⁽¹⁾, касающейся проблемы связи износа с трением, мы не нашли данных о соотношении между показателем истирания и коэффициентом трения резины. В данной работе приводятся некоторые экспериментальные результаты и физические представления по этому вопросу. Изложенные материалы относятся к случаю, когда смазка отсутствует.

2. Показатель истирания резины выражается ⁽²⁾ формулой:

$$v = \frac{\Delta V}{W}. \quad (1)$$

При этом предполагается, что убыль объема ΔV пропорциональна работе трения W независимо от того, за счет чего получена данная механическая работа: за счет величины силы трения F или размеров относительного перемещения x , так что

$$W = Fx, \quad (2)$$

$$\Delta V = vFx. \quad (3)$$

В последней формуле v есть коэффициент пропорциональности, который должен играть роль константы материала, характеризующей его способность сопротивляться истиранию. Такая величина может играть роль характеристики материала, если она не зависит от нормальной нагрузки N . В последнем случае можно переносить результаты испытания образца на работу изделия, поскольку различные его элементы могут работать при разных нагрузках, зачастую неизвестных.

Однако опыт показывает, что общепринятый показатель истирания v зависит от нагрузки N (см. рис. 1 а, б, в, где приведены экспериментальные данные для резин (на основе каучуков СКН и СКБ), истирающихся при трении о наждачную бумагу на машине типа Грасселли) ⁽²⁾. Такая закономерность, очевидно, связана с тем, что при малых нагрузках увеличение последних приводит к более глубокому вдавливанию частиц наждака в резину, в результате чего увеличивается истирание. Этот эффект постепенно ослабевает при больших нагрузках, когда они близки к пределу прочности резины или превышают его. При достаточно больших нагрузках увеличение последних должно сказываться на возрастании работы без существенного увеличения показателя истирания, так как более сильное вдавливание наждака в поверхностные слои резины происходить не может вследствие того,

что их сопротивление вдавливанию уже преодолено. Кривые приведенного типа (рис. 1 а, б, в), внешне напоминающие лэнгмюровские изотермы адсорбции, могут быть приближенно описаны формулой

$$v = \frac{v_{\infty} N}{A + N}, \quad (4)$$

где v_{∞} — максимальное значение показателя истирания при $N \rightarrow \infty$, A — константа, имеющая размерность силы.

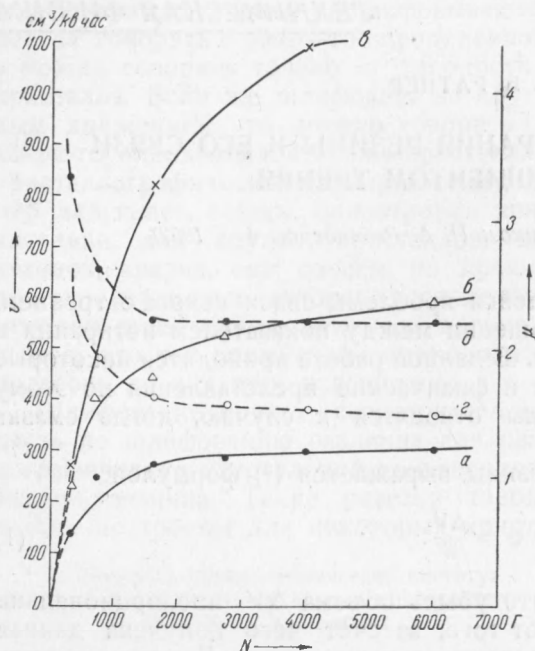


Рис. 1. Влияние нагрузки N на показатель истирания v (а, б, в) и коэффициент трения μ (г, д). а, д — резина № 1, на основе СКН-26, содержащая 10 вес. частей сажи (стандартный рецепт); б — резина № 2, на той же основе, содержащая 45 вес. частей сажи (стандартный рецепт); в — резина № 4, на той же основе, содержащая 120 вес. частей сажи; г — резина на основе СКБ, идущая для галош

трении резины по наждачной бумаге, о чем говорит и согласие с опытом формул (8) — (10).

Поскольку

$$F = \mu N, \quad (6)$$

подставляя (4), (5) и (6) в (3), получаем:

$$\Delta V = x v_{\infty} \mu_{\infty} N \frac{N + F_0 / \mu_{\infty}}{N + A}. \quad (7)$$

Ввиду того что величина дроби почти не зависит от N и что в каждом опыте $x = \text{const}$, приближенно:

$$\Delta V = \text{const } N. \quad (8)$$

Действительно, величина истирания резины ΔV , очевидно, должна быть пропорциональна величине «скалывающих усилий», последние же

Формула (4) может быть преобразована к виду

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{v_{\infty}} + \frac{A}{v_{\infty} N}, \quad (4a)$$

где зависимость $1/v$ от $1/N$ линейная, в удовлетворительном согласии с приведенными экспериментальными данными.

3. Из наших работ (3) известно, что коэффициент трения покоя уменьшается с увеличением нагрузки по формуле

$$\mu = \mu_{\infty} + \frac{F_0}{N}, \quad (5)$$

где μ_{∞} — коэффициент трения при $N \rightarrow \infty$; F_0 — касательная составляющая сил молекулярного взаимодействия членов трущейся пары.

При исследовании трения движения получены аналогичные данные (рис. 1 г, д). Кривые г, д рис. 1 относятся к трению резины по стали. Аналогичная картина имеет место и при

пропорциональны нормальной нагрузке N . При этом, согласно формуле (8), должно быть:

$$\frac{\Delta G}{N} = \text{const}, \quad (9)$$

поскольку уменьшение веса образцов ΔG пропорционально величине ΔV , так как удельный вес не зависит от N . Формула (9) действительно оправдывается на опыте (см. табл. 1 для резин на основе СКН и СКБ).

Таблица 1

Отношение убыли веса резин к нагрузке $\left(\frac{\Delta G}{N} \cdot 10^5\right)$
при различных нагрузках

Нагрузка в г	№№ резин *					
	1	2	3	4	5	6
286	7	8	10	22	23	47
754	9	9	10	17	22	55
1534	8	10	11	16	35	39
2534	8	8	14	13	23	32
3954	11	12	10	18	36	32
5954	—	9	9	17	—	—
Среднее . . .	$8,6 \pm 0,9$	$9,3 \pm 1,1$	$10,7 \pm 1,2$	$17,1 \pm 1,8$	28 ± 6	41 ± 8

* №№ резин 1, 2, 4, 5 соответствуют №№, приведенным в подписи к рис. 1. Резина № 3 такая же, как и №№ 1, 2, 4, но содержит 70 вес. частей сажи. Резина № 6 — на основе СКБ, идущая для транспортерных лент.

Аналогичные данные получены Фогтом (4) на машине собственной конструкции для резины на основе НК, потеря объема которой увеличивается от 4,7 до 15,3 см³ при увеличении нагрузки на образец от 6,75 до 24,4 кг. Эти данные по истиранию резины в течение четверти века не находили рационального истолкования и применения вследствие их оторванности от изучения трения.

4. Таким образом, отношения $\Delta G/N$ или $\Delta V/N$ характеризуют сопротивление материала истиранию независимо от нагрузки.

Комбинируя формулы (3), (6), (8) и учитывая, что $x = \text{const}$, можно получить:

$$v_{\mu} = K = \text{const}. \quad (10)$$

К этому же соотношению можно прийти независимо, комбинируя формулы (4) и (5). Следовательно, любая из формул (1), (4), (8), (10) может рассматриваться как непосредственный результат и отмеченных физических представлений, и приведенных экспериментальных данных.

Поскольку $\mu = 1/\nu$, где ν — коэффициент скольжения, из (10) вытекает, что показатель истирания пропорционален коэффициенту скольжения.

Формула (10) показывает также, что характеристикой резин, не зависящей от нагрузки, является произведение $v_{\mu} = K$, определяющее как свойства образца, так и изделия и его различных элементов, работающих при любых нагрузках. Истирание резины пропорционально

величине K , которая может быть названа коэффициентом истирания.

5. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

а) Общепринятый показатель истирания резины v не является константой материала, ибо он зависит от нагрузки.

б) Показатель истирания v увеличивается при уменьшении коэффициента трения резины μ .

в) Константой резины, не зависящей от нагрузки и характеризующей сопротивление истиранию как образца, так и изделия, является новая величина: коэффициент истирания $K = v\mu$.

г) Эти результаты, полученные при исследовании резины, могут представлять интерес и при изучении износа и трения других материалов.

Автор выражает благодарность В. В. Ильину, Н. В. Захаренко и Ф. Х. Мустафиновой за помощь в проведении экспериментов и Г. М. Бартеневу за обсуждение результатов.

Научно-исследовательский институт
резиновой промышленности

Поступило
8 VIII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Сборники трудов Конференций по трению и износу в машинах, изд. АН СССР, 1939 и 1947 гг. ² Испытание резины на истирание на машине Грассели, ГОСТ 426-41, 1947, стр. 45. ³ С. Б. Ратнер, ДАН, 83, № 3, 443 (1952); С. Б. Ратнер, В. Д. Сокольская, ДАН, 86, № 1, 121 (1952). ⁴ W. Vogt, Ind. Eng. Chem., 20, No. 3, 302 (1928).