

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

И. В. КРАГЕЛЬСКИЙ и Е. М. ШВЕЦОВА

О ВИДАХ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ

(Представлено академиком Е. А. Чудаковым 10 X 1950)

Причиной изнашивания является взаимодействие трущихся поверхностей в точках касания. Проведенные нами опыты показали, что касание двух поверхностей, вследствие их шероховатости и волнистости, происходит лишь в отдельных пятнах, причем увеличение нагрузки приводит в основном к увеличению числа контактирующих пятен при незначительном увеличении их диаметра. Последний обусловлен характером разрушения пятен при скольжении.

Опыт показывает, что при скольжении часть контактирующих пятен разрушается, образуя частицы износа, а часть сохраняется. Убыль в весе материала ΔQ , приходящаяся на 1 см пути скольжения ΔL , отнесенная к единице номинальной поверхности соприкосновения S , называется весовым темпом износа $I_s = \frac{\Delta Q}{\Delta L S}$.

Очевидно, что число разрушающихся пятен будет пропорционально убыли веса в случае сохранения среднего веса частицы износа (δ).

Поверхность соприкосновения S , умноженная на пройденный путь ΔL , будет пропорциональна общему числу контактирующих пятен (n_Σ). При предположении о наличии средней плотности контакта (n_0), представляющей собой число контактирующих пятен, приходящихся на 1 см^2 поверхности на пути скольжения в 1 см:

$$n_\Sigma = n_0 S \Delta L.$$

Таким образом,

$$I_s = \frac{n_p \delta n_0}{n_\Sigma},$$

т. е. по существу темп износа характеризуется соотношением числа разрушающихся пятен к общему числу контактирующих пятен.

Число контактирующих пятен зависит от взаимного сближения двух соприкасающихся поверхностей (a_c), т. е. является функцией нагрузки, жесткости и конфигурации поверхности.

Условия разрушения отдельных пятен зависят от их физико-механических свойств (прочности, теплопроводности, способности образовывать окислы и др.).

Внешними факторами, вызывающими разрушение при скольжении, будут только два: скорость скольжения и удельное давление на пятно. Деформация сжатия пятна, приводящая к его разрушению при данной скорости скольжения, называется нами критической деформацией a_k . Таким образом, a_k является критерием разрушения пятна.

Условия разрушения контактирующих пятен зависят от характера их взаимодействия.

Можно различать три следующих основных типа взаимодействия поверхностей:

- 1) взаимное притяжение молекулярных полей поверхностей;
- 2) молекулярное схватывание сближенных поверхностей;
- 3) взаимное внедрение контактирующих участков поверхностей.

При скольжении поверхностей эти виды взаимодействия вызывают различный характер повреждения.

Взаимное притяжение молекулярных полей при скольжении тел вызывает разогрев и течение поверхностных слоев, приводящее в благоприятных условиях к полировальному эффекту (рис. 1, а). При молекулярном схватывании имеет место глубинное разрушение материала, вырывание его (рис. 1, б), при взаимном внедрении — царапающее действие (рис. 1, в). При незначительной глубине этих повреждений они, вероятно, приведут к полировальному эффекту.

Кроме того, в результате всех видов взаимодействия могут возникнуть усталостные и термохимические явления, приводящие к отслаиванию и выкрашиванию материала (рис. 1, г и д).

Очевидно, что при молекулярном схватывании, приводящем к глубинному разрушению, интенсивность износа будет больше, чем в первом случае, характеризующемся гладжением материала.

Величина критической деформации сжатия a_k будет различна для различных типов разрушения. Для каждого случая движущегося контакта будет иметь место тот вид разрушения, который характеризуется наименьшим значением a_k .

Было исследовано изнашивание различных одноименных пар металлов (W, Mo, Ta, Ni, Fe, Cu, Al, Pb, Bi, Sn).

Для некоторых из них было получено резкое уменьшение интенсивности износа (до 1000 раз) при увеличении скорости скольжения. На рис. 2 приведены данные для стали с 0,8% C.

Резкое снижение износа, обусловленное изменением характера разрушения (имеет место переход от глубинного разрушения к поверхностному), сопровождается изменением вида поверхности, которая из шероховатой становится гладкой.

Скорость соответственного перехода названа критической скоростью. Значение критической скорости не зависит от удельного давления, что естественно, так как увеличение давления приводит лишь к возрастанию числа пятен касания.

Металлы с наиболее плотной упаковкой атомов (Ni, Cu, Al, Pb) не имеют перехода к гладжению.

На рис. 3 показано изменение a_k как функции скорости, вычисленное нами для случая, когда основным фактором является тепловое воздействие, вызывающее полировальный эффект и a_k вырывания.

a_k тепловое быстро уменьшается с увеличением скорости.

a_k вырывания, вызванное схватыванием, предположительно мало

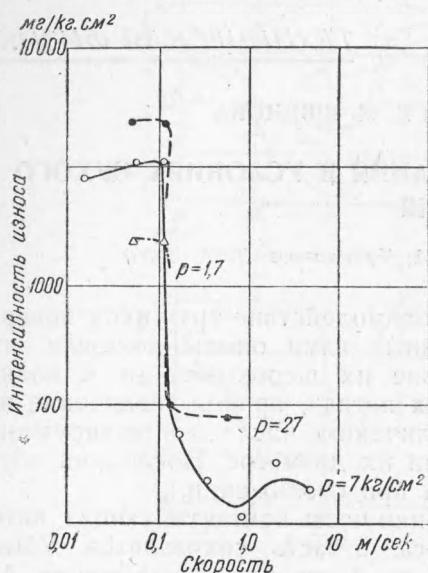


Рис. 2. Износ пары сталь — сталь (0,8% C) в зависимости от скорости при различном давлении

биному разрушению, интенсивность износа будет больше, чем в первом случае, характеризующемся гладжением материала. Величина критической деформации сжатия a_k будет различна для различных типов разрушения. Для каждого случая движущегося контакта будет иметь место тот вид разрушения, который характеризуется наименьшим значением a_k .

Было исследовано изнашивание различных одноименных пар металлов (W, Mo, Ta, Ni, Fe, Cu, Al, Pb, Bi, Sn).

Для некоторых из них было получено резкое уменьшение интенсивности износа (до 1000 раз) при увеличении скорости скольжения. На рис. 2 приведены данные для стали с 0,8% C.

Резкое снижение износа, обусловленное изменением характера разрушения (имеет место переход от глубинного разрушения к поверхностному), сопровождается изменением вида поверхности, которая из шероховатой становится гладкой.

Скорость соответственного перехода названа критической скоростью. Значение критической скорости не зависит от удельного давления, что естественно, так как увеличение давления приводит лишь к возрастанию числа пятен касания.

Металлы с наиболее плотной упаковкой атомов (Ni, Cu, Al, Pb) не имеют перехода к гладжению.

На рис. 3 показано изменение a_k как функции скорости, вычисленное нами для случая, когда основным фактором является тепловое воздействие, вызывающее полировальный эффект и a_k вырывания.

a_k тепловое быстро уменьшается с увеличением скорости.

a_k вырывания, вызванное схватыванием, предположительно мало

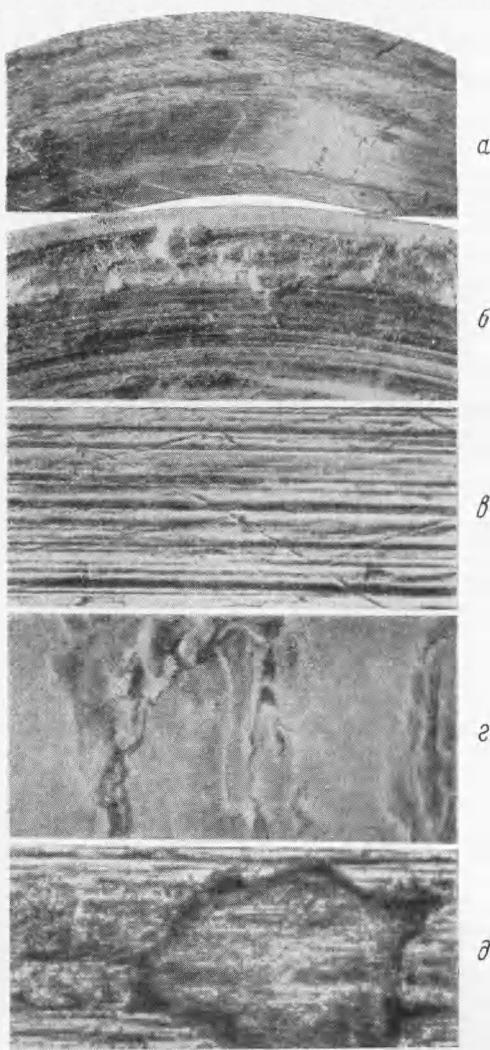


Рис. 1. Виды поверхности износа. *а* — при полировальном эффекте, *б* — при вырывании на значительную глубину, *в* — при царапании (по форме резца), *г* — при выкрашивании материала, *д* — при отслаивании

зависит от скорости. Точка пересечения кривых соответствует переходу одного вида разрушения в другой.

Проведенные исследования показали, что применительно к изнашиванию в условиях сухого трения существуют три процесса взаимодействия, приводящие к разным типам разрушения.

Стойкая против одного типа разрушения трущаяся пара оказывается мало стойкой по отношению к другому типу. Поэтому неправильно говорить об износостойкости материалов или узлов машин вообще. При оценке износостойкости материалов их надо различать по группам, характеризующим сопротивляемость данному виду разрушения. Для оценки трущихся пар их надо испытывать на разные виды разрушения, а подбирая в реальные механизмы износостойкие материалы, исходить из имеющих место видов взаимодействия в узлах. При испытании в лабораторных условиях необходимо обязательно обеспечивать такую скорость испытания, которая сохраняет вид изнашивания. Практической мерой борьбы с изнашиванием в некоторых случаях является увеличение скорости скольжения.

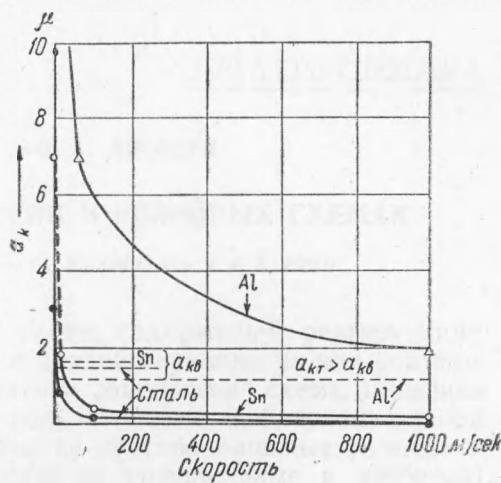


Рис. 3. Изменение критической деформации сжатия (a_k) как функции скорости для теплового эффекта (a_{kt}) и для эффекта вырывания (a_{kv})

Поступило
9 IX 1950