

05.1;12

©1995

О ПЕРЕХОДЕ ОТ ИНТЕНСИВНОГО К УМЕРЕННОМУ ИЗНАШИВАНИЮ ПРИ ТРЕНИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

*Б.М.Гинзбург, Ю.П.Козырев,
Д.Г.Точильников, В.П.Булатов*

Одна из важных задач физики твердого тела — изучение прочности поверхностных слоев и механизмов их разрушения — прежде всего для материалов, функциональное назначение которых определяется их поверхностными свойствами. В частности, такими материалами являются материалы, используемые в узлах трения. Для интерпретации процессов изнашивания при трении твердых тел часто привлекаются различные физические концепции их разрушения [1–3]. Возможна и “обратная связь”: триботехнические методы можно использовать как инструмент для регистрации различных механизмов разрушения поверхности твердых тел или переходов от одного механизма к другому.

Цель данного сообщения — продемонстрировать такие возможности трибологических методов и предложить новые методические приемы получения и обработки данных трибологических измерений, позволившие обнаружить нетривиальное влияние контактного давления на переход от интенсивного к умеренному изнашиванию поверхностных слоев твердых тел.

Для трибологических измерений использовали недавно предложенную нами методику [4], по которой два трущихся со смазкой цилиндрических ролика первоначально контактировали по образующей линии. Особенностью методики является отсутствие предварительно наработанного пятна износа. Ролик из испытуемой стали (диаметром D и шириной b) был неподвижен. Нагрузка F_N прижимала его к подвижному ролику тех же размеров, но из значительно более износостойкой стали. Подвижный ролик вращался с постоянной скоростью v .

Далее проводили два типа экспериментов. В одном случае нагрузку F_N поддерживали постоянной в течение отдельного опыта. Через время $t = \text{const}$ после начала опыта измеряли ширину канавки износа a . Объемный износ V вычисляли по формулам, приведенным в [4]. После этого ступенчато меняли величину F_N и проводили новый опыт.

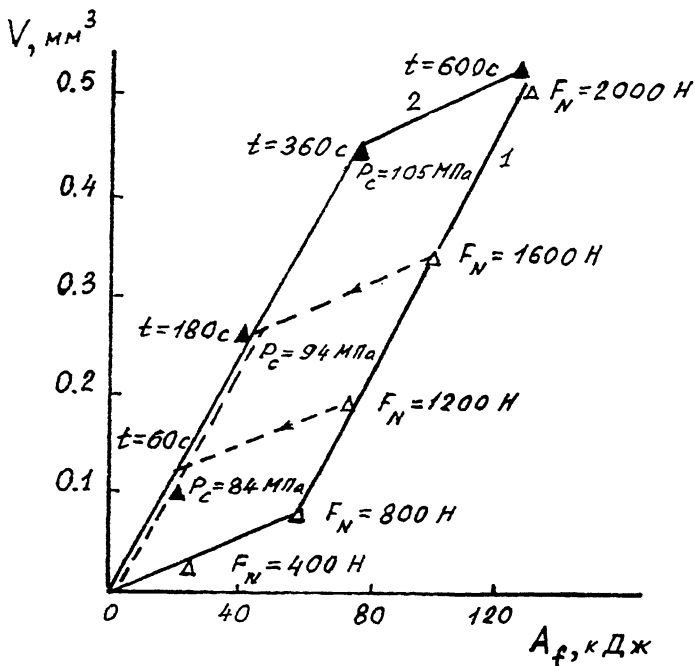


Рис. 1. Зависимости объемного износа от работы сил трения при вариации нагрузки (1) и вариации времени испытаний (2). Смазочный материал — масло EP-68 (фирма "Несте", Финляндия). Около точек на кривых 1 и 2 проставлены значения соответствующих нагрузок F_N и времени эксперимента t ; $v = 300 \text{ мин}^{-1}$. Внутри параллелограмма, образуемого кривыми 1 и 2, около точек излома показаны значения критических давлений P_C .

На рис. 1 приведены зависимости V от работы сил трения $A_f = \bar{f} F_N L$, где \bar{f} — средний коэффициент трения за время эксперимента, L — путь трения. Поскольку при построении кривой 1 только F_N в выражении для A_f является переменной величиной, фактически кривая 1 является зависимостью V от F_N . Кривая 1 хорошо аппроксимируется ломаной, состоящей из двух прямых линий. Аналогичные по форме кривые были получены при вариации смазочного материала: после относительно медленного увеличения V наблюдался его резкий подъем с ростом приложенной силы. Известно, что при реализации линейного соотношения $V = I_W A_f$ коэффициент I_W имеет смысл энергетической интенсивности изнашивания [5], т.е. объемного износа при затрате единицы энергии. Кривые типа 1 позволяют экспрессным способом определить значения I_W и установить то максимальное значение нагрузки F_N (соответствующее

точке излома кривой 1), ниже которого интенсивное изнашивание не наблюдается.

Отметим, что значения I_w на первом участке кривых типа 1 различны для различных типов исследованных смазок, однако они примерно одинаковы на участках, следующих после излома. Таким образом, при больших нагрузках природа смазки не имеет существенного значения, что, по-видимому, связано с выдавливанием смазки из зоны контакта.

Однако построение кривых типа 1 вуалирует кинетику процессов изнашивания. Поэтому в экспериментах другого типа зависимость V от A_f (рис. 1, кривая 2) получали при вариации времени t и постоянстве F_N . Эта зависимость также может быть представлена двумя прямолинейными участками, причем оба они примерно параллельны участкам кривой 1 и вместе с ними образуют фигуру, которую можно аппроксимировать параллелограммом. Точка излома на кривой 2 характеризует переход от "интенсивного" к "умеренному" изнашиванию [6,7]. Считалось [6], что этот переход обусловлен изменением механизма изнашивания по достижении достаточно малого "критического" давления P_c на контакте, и что P_c является однозначной характеристикой испытываемого материала [7].

Однако давления, при которых наблюдается излом на кривых 1 и 2, заметно различны. Уже отсюда следует, что величина P_c не является однозначной характеристикой узла трения. Физический смысл этой неоднозначности вскрывается, если определить значения P_c по кинетическим зависимостям V при различных начальных нагрузках. Такие зависимости могут быть получены экспериментально или без существенных погрешностей построены по правилу параллелограмма (*пунктирные линии* на рис. 1). P_c определяли из соотношений $P_c = F_N/a_c b$ и $V_c = a_c^3 b/3D$, где a_c — ширина канавки в точках излома кривых 2-го типа. Оказалось, что значения P_c увеличиваются с ростом F_N (рис. 2). Это может быть связано с тем, что при изменении F_N меняется скорость деформации поверхности.

Резонно предположить, что скорость деформации пропорциональна скорости изменения ширины канавки износа da/dt . Тогда переход от интенсивного к умеренному изнашиванию будет происходить при некоторой величине da/dt , одинаковой для всех нагрузок. Это, в свою очередь, свяжет значения P_c и соответствующих нагрузок определенным соотношением. Для получения этого соотношения выразим дифференциал объемного износа через работу сил трения — $dV = I_w f F_N v dt$. С другой стороны, этот дифференциал можно выразить через геометрические характеристики канавки износа и узла трения — $dV = (ba^2/D)da$.

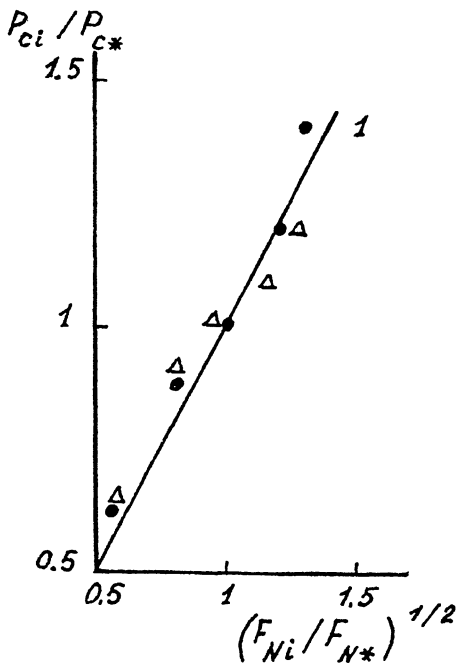


Рис. 2. Сопоставление экспериментальных и расчетных отношений критических давлений P_{ci}/P_{c*} . Прямая 1 построена на формуле (1), а точки около нее (для двух различных смазочных материалов) соответствуют экспериментальным данным для тех же нагрузок F_N . В качестве реперного значения P_{c*} выбрано критическое давление, возникающее при нагрузке $F_{N*} = 1200$ Н.

Приравняв полученные выражения для dV , имеем: $da/dt = I_W f v D b p^2 / F_N$. Тогда при равенстве значений da/dt в критических точках, соответствующих двум различным значениям F_n (обозначим их F_{N1} и F_{N2} , а соответствующие критические давления P_{c1} и P_{c2}), имеет место соотношение $f_1 P_{c1}^2 / F_{N1} = f_2 P_{c2}^2 / F_{N2}$. Так как коэффициенты трения мало меняются с нагрузкой, то $P_{c1}/P_{c2} = \sqrt{F_{N1}/F_{N2}}$ (1).

На рис. 2 сопоставлены полученные из экспериментальных данных и вычисленные по формуле (1) отношения P_c для различных нагрузок. Их хорошее соответствие оправдывает выбор величины da/dt в качестве критерия скорости деформации и предположение о том, что неравенство значений P_c при различных начальных нагрузках связано с неодинаковостью скоростей деформации.

Таким образом, используя новые методические приемы получения и обработки данных трибологических измере-

ний, нам удалось показать, что критическое давление P_c перехода от интенсивного к умеренному изнашиванию не всегда является константой для данного узла трения, а может зависеть от приложенной нагрузки. Это, по-видимому, связано с изменением скорости сдвиговой деформации неровностей поверхности трущихся контртел при том, что скорость относительного скольжения контртел остается неизменной. Легко предположить соответствующую модель, что будет сделано в последующем, более детальном, сообщении.

Список литературы

- [1] *Костецкий Б.И. и др.* Поверхностная прочность материалов при трении. Киев, 1976. 294 с.
- [2] *Марченко Е.А.* О природе разрушения поверхности металлов при трении. М., 1979. 118 с.
- [3] *Попов В.И.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 1. С. 82–85.
- [4] *Kozyrev Yu.P., Ginzburg B.M., Priemckii N.D., Tochilnicov D.C., and Bulatov V.P.* // Wear. 1994. V. 171. P. 71–75.
- [5] *Fleischer G.* // Schmierungstechnik. 1973. Bd 4. S. 9–15.
- [6] *Хрущев М.М.* Исследование приработки подшипниковых сплавов и цапф. М.–Л., 1946. 160 с.
- [7] *Марков Д.П.* // Трение и износ. 1993. Т. 14. В. 3. С. 601–605.

Поступило в Редакцию
4 июля 1994 г.
