

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. Ф. Вукс, Л. И. Лисицкий. Рассеяние света в растворах и его связь с диффузией и поглощением ультразвука. Укр. физ. ж., 1962, 7, 7, 778—781.
2. M. Fixman. Ultrasonic Attenuation in critical Region. J. Chem. Phys., 1961, 33, 5, 1363—1370.
3. В. П. Романов, В. А. Соловьев. О поглощении звука в растворах. Акуст. ж., 1965, 11, 1, 84—88.
4. В. П. Романов, В. А. Соловьев. К вопросу о поглощении звука в растворах. Акуст. ж., 1965, 11, 2, 257—259.
5. В. П. Романов, В. А. Соловьев. Флуктуации концентрации и их влияние на поглощение звука. Сб. «Проблема и роль воды в живом организме». Изд-во ЛГУ, 1966, 36—48.

Ленинградский государственный  
университет

Поступило в редакцию  
17 декабря 1968 г.

УДК 534.2

## О СВЯЗИ ТЕОРИЙ ТРЕНИЯ С ТЕОРИЯМИ ПРОЧНОСТИ

Г. А. Остроумов

Современная физическая картина трения скольжения твердых тел (условно — вала о подшипник) изображает контакт твердых тел (условно — поликристаллических металлов) как весьма малые островки (пятна) их соприкосновения. Давление, приходящееся на эти островки, получается достаточно большим, чтобы выдавить здесь пленку влаги и сконденсированных газов, а также металлических окислов, сульфидов и тому подобное, и привести пространственную решетку вала в тесное соприкосновение с таковой подшипника. При таком близком соприкосновении микрокристаллы вала срастаются с микрокристаллами подшипника в единые микрокристаллы. Происходящее частичное упорядочение расположения атомов проявляется как экзотермический эффект нагрева трущихся поверхностей. Эту картину легко осуществить наглядно, прижав в руках два зачищенные до блеска кусочка свинца друг к другу при их очень малом взаимном повороте: кусочки склеиваются друг с другом.

При проворачивании вала в подшипнике производится разрыв образовавшихся микрокристаллических сращений, на что затрачивается «работа трения». Разрыв может иметь односторонний характер, когда на валу остается ямка, на подшипнике — холмик (или наоборот), и двусторонним, когда из островка соприкосновения выщипывается пылинка — результат износа как вала, так и подшипника. Вероятно, этот разрыв, по крайней мере иногда, происходит в расплавленной фазе и продукт износа состоит из отвердевших капелек расплава.

Опыт показывает, что сила трения (точнее коэффициент трения) зависит от скорости скольжения. Например, по опытным данным Вихерта [1], сказывается, что при трении стальной тормозной колодки о воздушно-сухой стальной бандаж железнодорожного колеса коэффициент трения  $\mu$  зависит от скорости движения поезда  $v$  км/час следующим образом:

$$\mu = 0,45 \frac{1 + 0,0112v}{1 + 0,06v} \approx 0,45 - 0,0022v + 0,000132v^2 \dots$$

Отрицательный знак перед вторым членом в формуле указывает на наличие в этом явлении элементов «отрицательного сопротивления» (как бы отрицательной вязкости) для изменений скорости около ее некоторой фиксированной величины.

Роль этого отрицательного сопротивления проявляется при качении трамвайного ската по закруглению рельсов. Одно колесо ската катится по внешнему более длинному рельсу с отставанием, другое — по внутреннему с опережением, возникает скольжение колес ската по паре рельсов. Отрицательное сопротивление, сопровождающее это скольжение, возбуждает характерный визг — крутильные колебания обоих колес на объединяющей их общей оси ската.

Другим ярким примером практического использования этого опытного факта является применение смычка в смычковых музыкальных инструментах, а также для возбуждения камертонов при физических опытах, колебаний пластинок для получения фигур Хладни и тому подобное.

Эта зависимость силы трения от скорости показывает, что описанное срастание микрокристаллов требует времени: чем медленнее скольжение, тем глубже и полнее взаимное срастание микрокристаллов вала и подшипника и тем большее число раз осуществляются такие элементарные акты их срастания. Для многих других материалов коэффициент трения только растет с увеличением скорости и это означает,

что любая практически осуществляемая скорость скольжения оказывается слишком высокой для реализации описываемого срастания микрористаллов и проявления отрицательного сопротивления.

Осциллограммы акустических сигналов, излучаемых деформируемым образцом, приведенные Стивенсом (Великобритания) в докладе «Излучение упругих волн при деформации твердых тел» на пленарном заседании 6-й Всесоюзной акустической конференции (1968 г.), наводят на следующие представления об их происхождении. В стационарном состоянии, пока образец не подвергается деформации, инициирующий щелчок вспомогательного электромеханического преобразователя возбуждает в образце множество собственных колебаний всевозможных «мод». Эти колебания отличаются друг от друга частотой, направлением распространения, поляризацией и т. п., зависящими как от упругих (комплексных) констант материала образца, так и от его формы, размеров и соответствующих граничных условий (закреплений), способа и места инициирования и т. п., а также и приходящимся на их долю запасом энергии (начальной интенсивностью). Осциллограммы понятным образом показали, что все эти колебания затухают со временем.

В противовес этому другие осциллограммы показали, что в образце, подвергающемся непрерывной деформации, одно колебание, начиная с неразлично малых амплитуд, нарастает по экспоненциальному закону со временем, достигает расплывчатого максимума и затем более или менее быстро затухает. Некоторые такие колебания возникают самопроизвольно, как бы не дожидаясь инициирующего щелчка. Совокупность всех акустических сигналов, сопровождающих процесс механического испытания образцов на машинах (например на прессе Гагарина), как известно, часто можно слышать ухом как своеобразное шуршание.

Сопоставление этих осциллографических результатов с эффектом «отрицательного сопротивления» при скольжении приводит к заключению, что та пластическая деформация (часто с образованием «шейки»), которая наблюдается при испытаниях образцов, представляет по сути ту же физическую картину, что и трение твердых тел. И совершенно так же, как визг колес на закруглении рельсов отражает самовозбуждение только одного из видов собственных колебаний вагонного ската, так и нарастающее (а потом затухающее) колебание одной частоты деформируемого образца по осциллограммам отражает преимущественно высокий инкремент только одной из множества мод колебаний зажато в прессе образца. Именно она каким-то случайным образом попала в выгодную позицию относительно того места в образце, на долю которого выпало в данный момент осуществить микроскольжение. Окажется ли это место в узле или в пучности скорости осчастливленной моды?

Это сопоставление нацеливает исследователей на совместное изучение вопросов о трении твердых тел и об их прочности как о двух смежных сторонах механических свойств одного и того же твердого состояния. Особенно интересным представляется применение этих идей к проблеме прогнозирования землетрясений, высказанное Стивенсом в своем докладе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Х ю т т е. Справочник для инженеров, техников и студентов. М.—Л., ОНТИ, 1936, т. 1, стр. 371.

Ленинградский государственный  
университет

Поступило в редакцию  
18 марта 1968 г.

УДК 534—16

#### ПОПЕРЕЧНЫЕ НОРМАЛЬНЫЕ ВОЛНЫ В ПЛАСТИНЕ КУБИЧЕСКОГО КРИСТАЛЛА

*Д. А. Турсунов*

В работе [1] показано, что в пластине кристалла кубической системы вдоль осей [100] и [110] могут распространяться упругие волны, у которых смещение перпендикулярно направлению распространения и параллельно граничным поверхностям пластины. Изучение свойств этих волн представляет интерес для создания ультразвуковых дисперсионных линий задержки с линейной зависимостью времени задержки от частоты. В настоящей работе рассмотрены их фазовая скорость и коэффициент затухания в функции частоты и толщины пластины.

Из работы [1] следует, что поперечная нормальная волна может быть представлена в виде линейной комбинации двух неоднородных волн:

$$v = [(V_1 + V_2) \cos \beta z + i(V_1 - V_2) \sin \beta z] \exp i[q_n(lx + my) - \omega t], \quad (1)$$

где  $l, m$  — направляющие косинусы (для оси [100]  $l = 1, m = 0$ , а для [110]  $l = m = \sqrt{2}/2$ ),  $\beta$  — постоянная, характеризующая изменение смещения по толщине пла-