

Е. А. ДУХОВСКОЙ, А. Н. ПОНОМАРЕВ, А. А. СИЛИН,
член-корреспондент АН СССР В. Л. ТАЛЫРОЗЕ

О ВЛИЯНИИ СЛЕДОВ ВОДЫ НА СВЕРХНИЗКОЕ ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА В ВАКУУМЕ

В работах (1, 2) было сообщено об обнаружении явления сверхнизкого трения скольжения при облучении в высоком вакууме пучками ускоренных атомов гелия и электронов трущихся поверхностей полиэтилена, дисульфида молибдена (MoS_2) и графита. Характерным для всех обнаруженных случаев этого явления является то, что оно возникало при мощной откачке паров и газов, эффективно вымерзающих при 80°K , когда расположенный вокруг узла трения медный экран охлаждался жидким азотом до указанной температуры. При этом, как показывают оценки, скорость откачки W для вымерзающих газов должна составлять около 10^3 л/сек ($W = \epsilon Sv/4$, где S — холодная поверхность экрана ≈ 400 см²; v — средняя тепловая скорость молекул вымерзающего газа $\approx 10^4$ см/сек; ϵ — вероятность аккомодации молекулы вымерзающего газа при ударе о холодную поверхность экрана, принимаемая близкой к 1). В предыдущей работе (1) было найдено, что соединение рабочей камеры с окружающей атмосферой снимало эффект сверхнизкого трения. В связи с этим естественно было выяснить, как связан коэффициент трения с парциальным давлением различных газов в камере.

Все эксперименты, результаты которых излагаются ниже, выполнены на установке, описанной ранее (1). За исключением переходных периодов (включение электронного пучка, начало вращения диска, процесс охлаждения экрана) общее давление в камере, регистрируемое вакуумметром ВИТ-4, составляло менее 10^{-6} тор, причем масс-спектрометр ИПДО-1 с чувствительностью около $3 \cdot 10^{-16}$ тор, подключенный к камере, регистрировал состав остаточных газов.

Настоящая работа посвящена экспериментам, в которых изучалась зависимость величины коэффициента трения в паре «дисульфид молибдена — сталь ШХ-15», при облучении поверхности дисульфида молибдена электронным пучком, от присутствия в камере паров воды. Вода была единственным веществом, давление которого в камере с тренированным образцом заметно менялось в зависимости от того, охлажден экран или нет. Повышение парциального давления паров воды можно было легко осуществлять, прекращая охлаждать экран. В этом случае парциальное давление паров воды повышалось до $3 \cdot 10^{-8}$ тор и составляло примерно треть часть общего давления в камере (остальные вещества — азот, кислород, H_2). При охлаждении до 80°K экрана давление паров воды составляло $2 \cdot 10^{-8}$ тор.

Ранее было известно, что присутствие воды в обычных атмосферных условиях заметно ухудшает смазочное действие дисульфида молибдена по сравнению с результатами трения в сухом воздухе. Это объяснялось ускоренным окислением дисульфида молибдена при трении на воздухе в присутствии влаги (3, 4). Парциальное давление паров воды в этих экспериментах ($\approx 10^4$ тор) было на много порядков выше, чем в наших.

На рис. 1 приведены результаты экспериментов по установлению влияния паров воды в камере на коэффициент трения пары «дисульфид молибдена — сталь». Верхняя кривая показывает изменение во времени коэффициента трения при последовательном изменении условий трения. Нижняя

кривая характеризует изменение парциального давления воды в камере в тех же условиях. Ход изменений давления приведен в логарифмическом масштабе. Основные характеристики работы пары трения следующие: нагрузка на индентор — 100 гс, скорость скольжения — 20 см/сек, температура комнатная. Эксперимент проводился следующим образом. Процесс трения начинался при обычном атмосферном давлении (*I*), затем установка вакуумировалась до остаточного давления $5 \cdot 10^{-8}$ тор (*II*). После

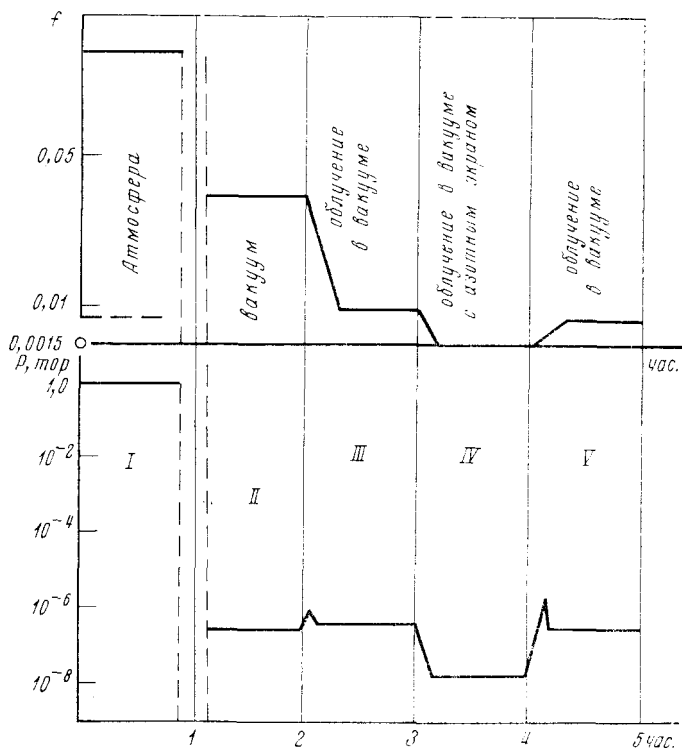


Рис. 1. Изменение коэффициента трения f и парциального давления воды P в процессе эксперимента

установления предельного вакуума включался электронный пучок плотностью около $0,5 \text{ ма/см}^2$, бомбардирующий трущуюся поверхность дисульфида молибдена (*III*). Затем экран охлаждался жидким азотом до температуры около 80°K (*IV*). В области *V* экран разогревался до комнатной температуры. Следует отметить, что электронный пучок в условиях *III*, *IV* и *V* оставался включенным.

Из рассмотрения приведенных данных видно последовательное, сравнительно небольшое, снижение коэффициента трения f при переходах *I*→*II* и *II*→*III*, а затем существенное падение f до значений, не превышающих 0,0015 (чувствительность установки) при охлаждении экрана (переход *III*→*IV*), а также одновременное падение парциального давления воды с $7 \cdot 10^{-7}$ тор до $3 \cdot 10^{-8}$ тор. При последующем разогреве экрана и росте парциального давления воды до 10^{-6} тор, что соответствует переходу *IV*→*V*, коэффициент трения возрастал примерно до начальной величины.

Проведенные опыты позволяют утверждать, что небольшие примеси воды в поверхностном слое дисульфида молибдена могут существенно влиять на коэффициент трения скольжения. На основе изложенных экспериментов нельзя еще высказать определенных суждений о физической и химической природе обнаруженных корреляций. Однако можно пред-

положить, что речь идет об образовании каких-то сильно связанных с поверхностью MoS_2 сорбированных молекул воды или групп, способных выделять газообразную воду. Вероятно, что такие молекулы или группы образуют прочные адгезионные «мостики» между трущимися поверхностями, а возникновение таких «мостиков», в свою очередь, приводит к заметному возрастанию неупругих потерь в процессе трения.

Образование прочных адгезионных связей между кристаллитами могло бы происходить и при адсорбции молекул воды на границах раздела кристаллитов внутри вещества, и наоборот, достаточно полная десорбция молекул MoS_2 приводила бы к ослаблению связей между отдельными кристаллитами и облегчению их ориентации относительно плоскости контакта в процессе трения. Возможно, что именно с таким явлением связан обнаруженный авторами эффект ориентации кристаллитов дисульфида молибдена в тонких поверхностных слоях при переходе от обычного трения к сверхнизкому (⁵).

Всесоюзный научно-исследовательский
институт оптико-физических измерений

Институт химической физики
Академии наук СССР
Москва

Поступило
5 VII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ *Е. А. Духовской, В. С. Онищенко и др.*, ДАН, т. 189, № 6 (1969). ² *Е. А. Духовской, А. Н. Пономарев и др.*, ДАН, т. 200, № 1 (1971). ³ *Е. Р. Брейтуэйт*, Твердые смазочные материалы и антифрикционные покрытия, М., 1967. ⁴ *F. Bowden, D. Tabor*, The Friction and Lubrication of Solids, Part II, Oxford, 1964. ⁵ *В. И. Апарин, Е. А. Духовской и др.*, ДАН, т. 217, № 3 (1974).