

### Эффект Ребиндера

Первый обстоятельный доклад о своем открытии Петр Александрович Ребиндер сделал поздним летом 1928 года на пароходе, спускавшемся вниз по Волге — от Нижнего Новгорода до Саратова. На пароходе плыли делегаты VI Всероссийского съезда Физиков и гости съезда. Среди гостей были крупнейшие физики того времени: Макс Борн, Петер Дебай, Чарлз Дарвин (внук!), Поль Дирак и многие другие. Для истории советской физики это был знаменательный съезд, потому что именно во время этого съезда были доложены и обсуждены три крупнейших достижения молодой советской физики: эффект комбинационного рассеяния света (о нем доложил Л. И. Мандельштам); первые результаты, полученные при исследовании цепных реакций (о них доложил Н. Н. Семенов), и эффект адсорбционного понижения прочности (о нем доложил П. А. Ребиндер).

Доклад Ребиндера вызвал скептическое к себе отношение. Докладчик утверждал, что механические свойства кристаллического тела могут быть существенно изменены, если его поверхность покрыть специально подобранными веществами. Докладчик рассказывал об опытах, подтверждающих его точку зрения. Все это выглядело более чем странно, потому что, какое бы вещество ни располагалось на поверхности, о его существовании осведомлены лишь «поверхностные» атомы кристалла, а их исчезающе мало. Относительная доля поверхностных атомов из числа образующих проволоку радиусом  $R$  оказывается равной  $\chi = 2\pi a / \pi R^2 = 2a / R$ , где  $a$  — межатомное расстояние. Если  $R = 10^{-1}$  см,  $a = 3 \cdot 10^{-8}$  см, то  $\chi \approx 10^{-7}$ , т. е. на поверхности такой проволоки расположена одна десятиmillionная доля всех атомов, из которых она состоит. Не могут же они определить собой прочность массивного образца, за нее ведь заведомо ответственны атомы, находящиеся в объеме!

Прошли годы, появились новые факты, догадки, теоретические оценки. Оказалось, что докладчик был прав. Обширный опыт конференций и семинаров свидетельствуют о том, что докладчики обычно бывают правы. Не всегда, но чаще всего. Они о предмете доклада думали больше и заинтересованнее, чем их слушатели-оппоненты.

Итак — эффект Ребиндера: кристалл, поверхность которого покрыта так называемым поверхностно-активным веществом, обнаруживает механические свойства, существенно отличающиеся от свойств такого же кристалла, поверхность которого чиста. Так, например, значительно пониженной может оказаться прочность на разрыв, кристалл может обнаружить повышенную хрупкость.

Очень впечатляет классический опыт, который Ребиндер любил демонстрировать во время лекций. Опыт простой. Вначале следует убедиться в том, что тонкая пластинка цинка под влиянием малых усилий легко изгибается, оказывается пластичной. Затем следует очистить участок поверхности кристалла и нанести на него каплю ртути. После этой процедуры изгиб кристалла сопровождается появлением трещины. В нее активно проникает ртуть, и трещина быстро развивается. Ртуть, находящаяся на поверхности пластичного цинка, сделала его хрупким.

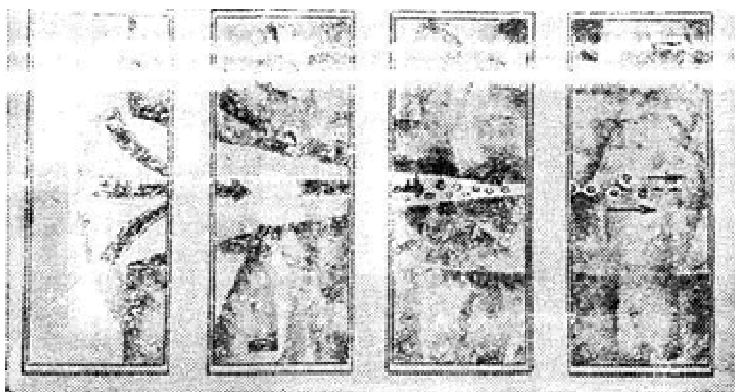


Рис.9. Проникновение поверхностно-активного вещества в трещину

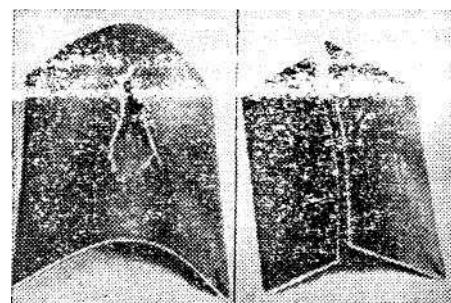


Рис.8. Опыт Ребиндера. Хрупкое разрушение пластинки цинка, на поверхность которой нанесли каплю ртути

Процессы, сопутствующие проявлению эффекта Ребиндера в той форме, какая наблюдалась в описанном опыте, очень не просты.

Они зависят от физических свойств и кристалла, и вещества, нанесенного на его поверхность.

Попытаемся понять физику эффекта, имея в виду кристалл *A*, на поверхности которого расположено некоторое поверхностно-активное вещество *B*. Может оказаться (и это оказывается в огромном количестве комбинаций *A* и *B*), что атомам сорта *B* выгодно расположиться между атомами сорта *A*, вклиниться между ними. Этому процессу можно помочь, приложив растягивающие усилия к кристаллу, и таким образом ослабить связь *A—A*. Если внедрение атомов сорта *B* в кристалл *A* произошло, в нем появляются связи типа *A—B*. А вот связи *A—B* могут оказаться значительно слабее связей *A—A*, и это может определить пониженную прочность кристалла.

К рассказанному необходимо добавить следующее. Основные события, сопутствующие разрушению, как правило, происходят в устье развивающейся трещины, к которой из слоя покрытия должны успевать приходить атомы сорта *B*. Их может поставлять либо процесс диффузии вдоль поверхности, либо процесс растекания вещества *B* по поверхности трещины, развивающейся в кристалле *A*. При любом механизме эти поставки должны происходить достаточно быстро для того, чтобы у устья трещины были атомы сорта *B*, стремящиеся внедриться в кристалл *A*.

А вот еще один опыт, иллюстрирующий иное проявление эффекта Ребиндера и поставленный его учениками. В высокий стеклянный стакан наливается немного расплавленного галлия, а на его дно ставится тонкая поликристаллическая пластинка цинка. Затем стакан заполняют специальным раствором, который очищает поверхность цинка. Далее происходит следующее. Галлий начинает ползти по поверхности цинка. Это видно отчетливо, так как на цинке образуется движущийся матовый след. Цинковая пластинка, покрытая галлием, начинает оседать на дно стакана, складываясь в гармошку или скручиваясь в рулон. Самопроизвольно, лишь под действием собственного веса! Галлий, проникая в границы между зернами цинковой поликристаллической пластинки, ослабляет их, и зерна получают возможность легко взаимно смещаться. Именно это мы и видим, наблюдая, как мягко пластинка цинка оседает в стакане с галлием.

В первом опыте — аномальная хрупкость, во втором — аномальная пластичность. Можно было бы привести примеры резкого понижения твердости кристаллов горных пород и металлов, приобретения ими способности легко превращаться в порошок и много иных примеров изменения механических свойств кристаллических тел под влиянием поверхностно-активных веществ.

Читатель, даже не очень склонный к фантазированию, легко представит себе ту огромную роль, которую играет эффект Ребиндера в природе и во многих технологических процессах. Помогу читателю: в присутствии поверхностно-активных веществ легче обрабатывать металл резцом, легче штамповать, легче бурить горные породы, легче стирать кристалл в порошок.

*При підготовці матеріалу використовувалися результати наукових досліджень викладачів кафедри фізики металів, а також фрагменти з науково-популярної літератури:*

1. Бокштейн Б.С. Атомы блуждают по кристаллу. — М.: Наука, 1984. — 208 с.
2. Гегузин Я.Е. Очерки о диффузии в кристаллах. — М.: Наука, 1974. — 255 с.
3. Гегузин Я.Е. Живой кристалл. — М.: Наука, 1987. — 192 с.