

А. А. ПОЛЯКОВ

**О ПРОЯВЛЕНИИ ЭФФЕКТА АДсорбЦИОННОГО ПониЖЕНИЯ
ПРОЧНОСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ПЕРЕНОСА
ПРИ ГРАНИЧНОМ ТРЕНИИ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 1 XII 1971)

Для осуществления граничного трения без задиров, с износом и затратой энергии, сведенными к минимуму, необходимо выполнение правила положительного градиента механических свойств⁽¹⁾, состоящего в том, что тонкий поверхностный слой материала должен обладать малым критическим сопротивлением сдвигу по сравнению с основным глубже лежащим материалом. Для осуществления этого правила может быть использован широко известный эффект адсорбционного понижения прочности⁽²⁾ поверхностного слоя под влиянием поверхностноактивных компонентов смазки. Понижение поверхностной энергии в результате адсорбции облегчает передвижение дислокаций в поверхностном слое, а следовательно, его деформацию при скольжении. Эти процессы происходят в весьма тонком поверхностном слое и не исключают взаимного внедрения выступов трущихся тел, образующихся на гладкой поверхности при ее нагружении вследствие анизотропии свойств кристаллов, составляющих поверхность поликристаллического металла. Чтобы избежать внедрения, необходимо избирательно растворять эти выступы.

Увеличить толщину слоя, подвергаемого адсорбционному пластифицированию, можно путем использования эффекта избирательного переноса^(3, 4). Если одна из деталей в узле трения состоит из медного сплава, то благодаря химической реакции, например, поверхностноактивного вещества с одним из компонентов сплава (избирательному растворению — цинка, олова и др.), обнажается поверхность другого компонента — меди, которая подвергается действию адсорбции. Из-за возникающей пассивации растворение идет только на глубину порядка микрона. Образовавшийся слой находится в неустойчивом состоянии. Под действием свободных металлических связей он стремится образовать кристаллическую структуру; под действием адсорбции и деформации идет процесс внутреннего диспергирования — дефектообразования. Неравновесно дефектная структура тонкой пленки и определяет высокие антифрикционные свойства в контакте.

Избирательность реакции обусловлена электрохимическим характером процесса, идущим в сплаве с неполностью реализованными связями из-за нестехиометричности состава твердого раствора сплава или неоднородностью фазового состава.

В случае чистой меди электрохимической (коррозионный) процесс будет идти из-за различия в ориентации кристаллов относительно поверхности трения. Более активные выступающие грани при повышении давления и температуры на контакте будут анодно окисляться (растворяться), тогда как на менее активных и ненагруженных участках будет идти катодная реакция. В случае как сплава, так и меди в процессе деформации при трении возникают механохимические и сопряженные с ними эффекты^(5, 6), способствующие ускорению реакций, происходящих на контакте.

Необходимо отметить, что избирательное взаимодействие компонентов сплава с активной средой и обогащение поверхностного слоя медью возможно не только электрохимическим, но и иным путем. Нами наблюдалось при сухом трении обогащение медью поверхности медного сплава в результате окисления легирующих компонентов, удаления продуктов окисления и повышенной скорости диффузии активных компонентов из глубины к поверхности (эффект Киркендала). Например, при трении без смазки латуни о сталь через короткое время на поверхности латуни, а затем в результате переноса и на стали образуется слой, обогащенный медью, что нами было установлено как визуально, так и с помощью спектрального анализа. Отделение активного компонента придает обогащенному медью слою на некоторое время повышенную активность и неравновесную дефектность; слой тотчас же окислится, если окисление специально не предупредить.

Эффект разделения компонентов сплава, проявляющийся при сухом трении (обусловленный разными скоростями диффузии компонентов), имеет место и при трении со смазкой.

Параллельно с процессом разделения происходит растворение анодного компонента сплава в условиях катодной поляризации, отсутствия окисных пленок и адсорбционного воздействия, поэтому прочность поверхностного слоя будет значительно понижена вследствие как бы объемного растворения.

Электрохимическое растворение деформированного металла может привести к изменению его напряженного состояния (⁷⁻⁹), вследствие чего произойдет перераспределение, ликвидация некоторых мест закрепления и исчезновение части дислокаций.

При одновременном деформировании и избирательном растворении в условиях трения влияние поверхностноактивных веществ резко возрастает по сравнению с их действием при однократном деформировании растяжением, например, в условиях статического напряженного состояния.

В результате совместного действия диффузии и избирательного растворения в напряженном состоянии происходит своеобразная аморфизация предельно тонкого диспергированного слоя, пропитанного поверхностноактивными компонентами смазки, адсорбционно или хемосорбционно связанными с внутренними поверхностями разрыхленного металла. С другой стороны, отрывающиеся мельчайшие частицы меди переходят в слой смазки, выполняя функции ее твердой составляющей, а затем прочно схватываются с поверхностью контртела, не теряя, однако, возможности вновь переходить в слой смазки. В этом слое полностью локализуется деформация. Износостойкость обусловлена рядом факторов (⁴), которые определяются рассмотренными особенностями образования слоя в начальной стадии трения и следующими свойствами исходного материала и режимом трения:

составом сплава и образованием в нем интерметаллических соединений, что определяет способность сплава к образованию защитного барьера при избирательном растворении (¹⁰);

давлением и скоростью скольжения, определяющими деформацию и температуру в зоне трения;

количеством и свойствами анодного компонента (Zn, Sn), его распределением в медном сплаве — определяющими состав образующегося слоя и прочность его на сдвиг при трении в условиях адсорбционного эффекта.

Износостойкость медных сплавов с различным содержанием легирующих элементов в условиях адсорбционного понижения прочности еще не исследовалась. С этой целью было проведено испытание латуней с различным содержанием цинка на износ при трении по стали на лабораторных установках 77MT-1 с возвратно-поступательным движением (¹¹). Испытывались образцы с содержанием 3, 8, 15, 23, 30, 39, 43, 46, 50, 55 и 93% цинка. Размер латунного образца по поверхности трения был 2,5 ×

× 25 мм. Плавление и обработка заготовок под образцы велась в идентичных условиях в высокочастотной печи под слоем флюса. Отжиг образцов не производился. Износ определялся путем взвешивания образцов до и после испытания с точностью до ±0,1 мг, а затем переводился в безразмерную величину, представляющую отношение высоты изношенного слоя h к пройденному пути L , $J = h/L$. Каждое испытание велось в течение 50 час. и повторялось 4 раза при нагрузках 31 и 75 кг/см² в глицерине. Для минимальных величин износа разброс в данных составлял до 25%, в остальных случаях он был меньше.

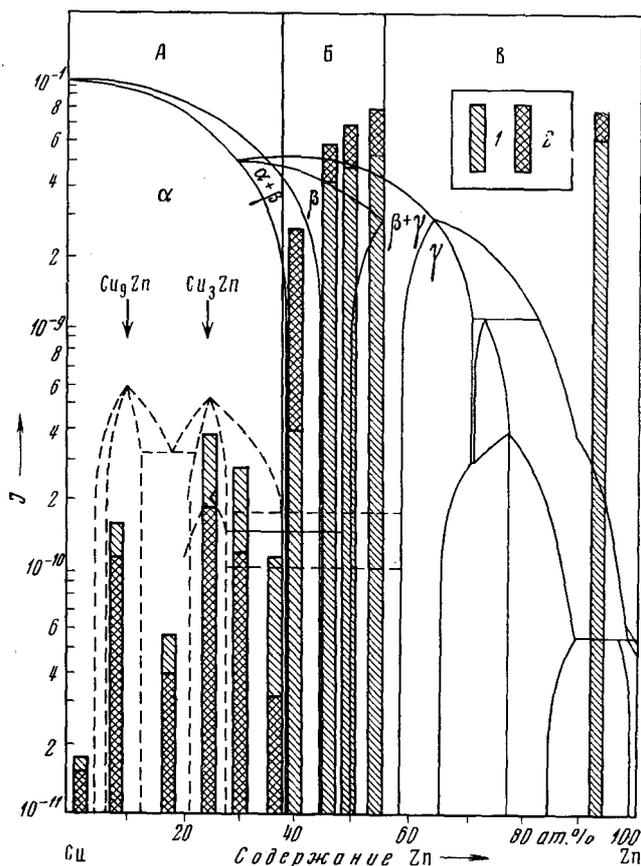


Рис. 1. Зависимость интенсивности износа латуней от содержания цинка в условиях избирательного переноса в глицерине. Давление 31 кг/см² (1), 75 кг/см² (2); А — зона избирательного переноса, Б — зона переноса латуни, В — разрушение сплава от растворения и трения без переноса при отсутствии защитного слоя

Результаты испытаний приведены на графике рис. 1. Для удобства сопоставления столбики, обозначающие величину износа, нанесены на фоне диаграммы состояния сплава медь — цинк, предложенной А. А. Пресняковым⁽¹²⁾. Эта диаграмма отличается от обычной тем, что в зоне α -твердых растворов установлено упорядочение на основе стехиометрических составов Cu_5Zn и Cu_3Zn .

Как видно на графике, в зоне α -твердых растворов износ резко повышается на участках упорядочения в связи с сопротивлением избирательному растворению. Это обычно объясняется образованием барьера из атомов меди, не вступающих в реакцию⁽¹⁰⁾. Адсорбция без растворения не обеспечивает образования слоя пониженной прочности на глубину деформирования, что не позволяет существенно снизить износ.

Вполне очевидной причиной возрастания износа на 3 порядка при содержании цинка более 55% является полное разрушение слоя при растворении, вызываемое недостаточностью остающегося материала для образования пленки, его несплошностью и вымыванием отдельных фрагментов вместе с продуктами растворения.

В зоне между 40 и 55% цинка ($\alpha + \beta$, β , $\beta + \gamma$) идет намазывание па сталь в результате избирательного растворения преимущественно одной фазы и потери устойчивости решетки латуни еще до того, как успевает раствориться значительная часть цинка в этой фазе. Это разупрочнение латуни, ее пластифицирование и способность к схватыванию используется в технологической практике для фрикционного латунирования стальных деталей машин (¹³, ¹⁴).

В зоне с 35—39% цинка, где отсутствуют фазы с различной степенью растворения материала, в растворении участвует вся масса материала до момента, когда теряется его устойчивость к деформации. Износ весьма мал, а на поверхности образцов наблюдается образование слоя, обогащенного медью. Как только осуществляется переход в зону двух фаз, так сразу картина резко меняется: идет схватывание и намазывание.

В левой части графика величина износа при нагрузке 75 кг/см² ниже, чем при нагрузке 31 кг/см². Это явление, по-видимому, связано с тем, что повышение давления и температуры приводит к уменьшению диаметра диспергируемых частиц, что благоприятствует снижению износа; так как крупные частицы могут уноситься со смазкой.

Таким образом, можно заключить, что при трении в условиях избирательного переноса при определенных структуре и составе медного сплава, сочетание эффекта адсорбционного понижения прочности, избирательного растворения и различия в скорости диффузии компонентов в деформируемом объеме сплава приводит к образованию тонкого слоя, пластифицированного адсорбцией смазки. Этот слой исключает влияние трения на основной материал и сам определяет малые величины трения и износа. Существенно, что результирующий эффект является следствием взаимного усиления действующих факторов.

Автор выражает глубокую благодарность проф. И. В. Крагельскому и акад. П. А. Ребиндеру за полезное обсуждение.

Государственный научно-исследовательский
институт машиноведения
Москва

Поступило
9 XI 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. В. Крагельский, Трение и износ, 1969. ² П. А. Ребиндер, Физико-химическая механика. Новая область науки, 1958; В. И. Лихтман, Е. Д. Щукин, П. А. Ребиндер, Физико-химическая механика металлов, «Наука», 1962. ³ Д. Н. Гаркунов, И. В. Крагельский, А. А. Поляков, Избирательный перенос в узлах трения, 1969. ⁴ А. А. Поляков, И. В. Крагельский, Д. Н. Гаркунов, ДАН, 191, № 4 (1970). ⁵ Э. М. Гутман, Термодинамика механохимического эффекта. Физ.-хим. мех. матер., 3, № 3 (1967). ⁶ Э. М. Гутман, Физ.-хим. мех. матер., 3, № 5 (1967). ⁷ В. П. Северденко, И. Э. Гочицкий, Структура тонких металлических пленок, Минск, 1968. ⁸ А. Х. Коттрелл, Сборн. Вакансии и точечные дефекты, М., 1961. ⁹ Э. К. Вильямс, П. К. С. Хайфильд, Сборн. Вакансии и точечные дефекты, М., 1961. ¹⁰ Н. Д. Томашов, Теория коррозии металлов, М., 1961. ¹¹ А. А. Поляков, Сборн. Методы испытания на изнашивание, Изд. АН СССР, 1962. ¹² А. А. Пресняков, В. В. Червякова, и др., М., 1969. ¹³ В. Н. Лозовский, Кандидатская диссертация, 1961. ¹⁴ Д. Н. Гаркунов, В. Н. Лозовский, Авт. свид. № 115744 от 23 IV 1958, Бюлл. изобр., № 17 (1965).