

И. И. ГАРБАР, академик АН БССР В. П. СЕВЕРДЕНКО,
Ю. В. СКОРЫНИН

ОБРАЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Механизму образования продуктов изнашивания при трении и их морфологии уделяется большое внимание. В работе ⁽¹⁾ при изучении изолированных продуктов изнашивания наблюдались частицы двух видов: сферические и иглообразные, причем количество последних было значительно большим; размеры таких частиц не превышали 1—2 мкм, а толщина достигала 0,2 мкм. В то же время в работах ^(2, 3) показано, что величина частиц изнашивания первоначально составляет 70—120 мкм в длину, 60—100 мкм в ширину и 1—10 мкм в толщину. Авторы ^(2, 3) считают, что эти пластинчатые частицы после отделения от поверхности раскалываются на мелкие фрагменты, которые под влиянием остаточных напряжений в самих частицах, а также под воздействием трущихся поверхностей, между которыми они находятся, могут принимать спиралеобразную, сферическую или сохранять исходную форму.

Образование пластинчатых частиц является одним из основных экспериментальных доказательств выдвигаемой в ⁽²⁾ теории, объясняющей износ отслоением металла (деламинационная теория износа). Согласно этой теории, частицы изнашивания образуются под воздействием «пахотного» механизма разрушения поверхности ^(3, 4).

Известно, что механизм изнашивания трущихся поверхностей зависит от условий испытаний. Поэтому представляет интерес изучение образования продуктов изнашивания при различных кинематических схемах и условиях трения. В настоящей работе исследовался механизм изнашивания металла при трении скольжения с возвратно-поступательным движением.

Образцы низкоуглеродистой стали (0,08% С) изготавливали и испытывали по методике ⁽⁵⁾. Исследования были проведены с помощью просвечивающей электронной микроскопии фольг поверхности трения ⁽⁶⁾.

В работе ⁽⁵⁾ показано, что в поверхностных слоях металла в результате пластической деформации формируется развитая ячеистая структура, ориентированная вдоль направления трения.

Электронно-микроскопические исследования поверхностных и ближайших подповерхностных слоев показывают, что при приближении к поверхности трения размеры ячеек уменьшаются, а степень разориентировки между ними возрастает. Одновременно участки границ, ориентированные поперек направления трения, становятся наклонными (рис. 1) и, следовательно, являются концентраторами напряжений при движении контртела.

Согласно уравнению Холла — Петча ⁽⁷⁾, предел текучести σ_s для о.п.к.-металлов определяется формулой

$$\sigma_s = \sigma_0 + Kd^{-1/2}, \quad (1)$$

где σ_0 — величина внутреннего трения, K — коэффициент, обусловленный барьерным эффектом границ, d — размер зерна.

При развитии ячеистой фрагментации d в (1) соответствует среднему размеру ячеек * ⁽⁷⁾.

* Как видно из рис. 1, ячейки вытянуты вдоль направления трения. Так как барьерный эффект границ зависит от их ориентации относительно приложенного

Формирование ячеек в поверхностных слоях металла обуславливает приспособляемость структуры металла к условиям трения.

Если напряжения при трении на отдельных участках поверхности не превышают предела текучести, обусловленного минимальным для данного материала размером ячеек, происходят процессы нормального изнашивания. Если напряжения выше предела текучести (например, в результате воздействия микрошероховатостей контртела на локальных участках), происходит более интенсивное разрушение поверхности. Стенки ячеек, ориентированные перпендикулярно направлению трения, являясь концентраторами напряжений, инициируют начало разрушения. Механизм этого разрушения показан на рис. 2.

В левой части снимка видны образующиеся продукты изнашивания, края которых еще связаны с матрицей. Частицы изнашивания в плоскости фольги ориентированы перпендикулярно направлению трения. Характерно, что сама матрица на этом участке имеет явно выраженную ячеистую структуру со сформировавшимися перпендикулярно направлению трения стенками. Такие же продукты изнашивания наблюдаются и в правой верхней части микрофотографии. Размеры образующихся частиц изнашивания соизмеримы с величиной ячеек, сформировавшихся на поверхности трения (0,2—1 мкм). В средней части снимка ячейки не имеют сформировавшихся границ, перпендикулярных направлению трения. Частицы изнашивания на этом участке микрофотографии не наблюдаются.

В работе ⁽⁹⁾ показано, что разрушение деформированных металлов с о.ц.к.-решеткой происходит по границам фрагментов, образующихся при пластической деформации, причем форма трещин повторяет рельеф границ, строго следуя их геометрии.

Так как перпендикулярные направлению трения границы ячеек препятствуют движению дислокаций, то под воздействием микрошероховатостей контртела (индентора) первоначально разрушение происходит вдоль этих границ.

Возвратно-поступательное движение контртела приводит к смятию образующихся частиц изнашивания, которые еще соединены с поверхностью трения вдоль границ, параллельных направлению трения. Такие частицы и показаны на рис. 2. Отсутствие частиц изнашивания на среднем участке микрофотографии, по-видимому, объясняется незаконченной фрагментацией структуры на этом участке поверхности трения.

Дальнейший ход образования частиц изнашивания иллюстрирует рис. 3. Как видно из этой микрофотографии, разрыв связи с основным металлом может происходить как в области границы, параллельной направлению трения (участок *B*), так и в середине частицы изнашивания (участок *C*).

На электронограмме (рис. 3), полученной от участка фольги, включающего частицы изнашивания наряду с точечными рефлексам от ячеек поверхностного слоя, наблюдаются размытые кольца, свидетельствующие о том, что в результате смятия образующихся частиц изнашивания происходит измельчение и разориентировка их структуры.

После окончательного отрыва от основного металла частицы изнашивания, оставаясь некоторое время между трущимися поверхностями, могут приобретать различную форму. Этим объясняется описанное выше многообразие результатов изучения морфологии частиц, изолированных от поверхности трения.

Приведенные результаты показывают, что в данных условиях испытаний механизм образования частиц изнашивания и их размеры обусловле-

усилия ⁽⁸⁾, то в качестве *d* следует принять средний размер ячеек в этом направлении.

ны ячеистой фрагментацией деформированного трением поверхностного слоя металла.

Институт проблем надежности и долговечности машин и
физико-технический институт
Академии наук БССР
Минск

Поступило
22 VII 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. A. Cummins, E. D. Doule, B. Rebeci, Wear, v. 27, 1, 115 (1974). ² Nam P. Suh, Wear, v. 25, 1, 111 (1973). ³ S. Jahanmir, N. P. Suh, E. P. Abrahamson, Wear, v. 28, 2, 235 (1974). ⁴ N. P. Suh, S. Jahanmir et al., Trans. ASME, F. v. 96, 4, 631 (1974). ⁵ И. И. Гарбар, Ю. В. Скорынин, Машиноведение, № 6, 83 (1974). ⁶ И. И. Гарбар, Ю. В. Скорынин, Зав. лаб., т. 41, 3, 313 (1975). ⁷ Л. К. Гордиенко, Субструктурное упрочнение металлов и сплавов, М., «Наука», 1973. ⁸ В. С. Иванова и др., Роль дислокаций в упрочнении и разрушении металлов, М., «Наука», 1965. ⁹ В. В. Рыбин, А. И. Вергазов, В. А. Лихачев, Физ. мет. и металловед., т. 27, 3, 620 (1974).



Рис. 1

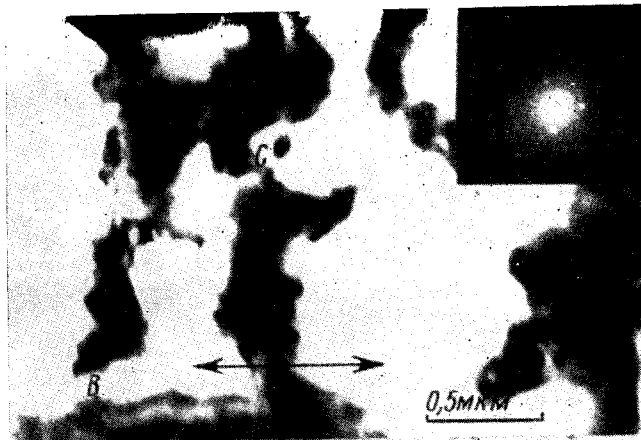


Рис. 3

Рис. 1. Ячеистая структура поверхностного слоя 30 000 X. Стрелки показывают направление трения

Рис. 2. Участок поверхности трения. Темные частицы А — образующиеся продукты изнашивания, светлые поля — отверстия в фольге. 30 000 X

Рис. 3. Участок поверхности трения и микродифракция. Стадия отделения частиц износа. Светлые поля — то же, что и на рис. 2. 30 000 X



Рис. 2