

А. А. КАНАЕВ, В. Н. ЛЬВОВ, В. С. ЛУКЬЯНОВ, С. Я. ВЕЙЛЕР,
академик П. А. РЕБИНДЕР

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА МИКРОДЕФОРМАЦИЮ ТОНЧАЙШЕГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Качество поверхности изделий, получаемых обработкой материалов давлением, резанием, шлифованием, полированием, в значительной мере зависит от физико-химических свойств смазки, вводимой в зону контакта обрабатываемого материала и инструмента. Под качеством поверхности следует понимать комплекс свойств. В данной работе рассматриваются особенности формирования ее микрорельефа.

В работе ⁽¹⁾ было показано, что поверхностный слой металла, деформированный без смазки, имеет ярко выраженную текстуру сдвиговой деформации и значительно большее упрочнение по сравнению с металлом, обрабатываемым с активной смазкой. Микрогеометрия инструмента также играет большую роль в формировании поверхности. Однако совокупное действие смазки и микропрофиля инструмента на качество поверхности обрабатываемого металла почти не изучалось.

Целью данной работы было исследование влияния смазочных сред на особенности пластической деформации поверхностного слоя металла под действием единичного микровыступа. На полированных медных образцах алмазным индентором, выполненным в виде конуса с углом $147^{\circ}10'$ и радиусом закругления при вершине $R = 0,2\mu$, наносились риски глубиной $0,2 - 3,5\mu$. Описанный ранее метод нанесения таких рисков позволяет моделировать условия деформации металла при взаимодействии его с отдельным микровыступом, расположенным на поверхности обрабатывающего инструмента или с отдельным абразивным зерном ⁽²⁾. Подобные условия возникают при давлении, резании, полировании и других видах обработки, которые сопровождаются трением между контактными поверхностями обрабатываемого материала и инструмента.

Основным содержанием трения является упруго-пластический сдвиг в поверхностных слоях трущихся тел. Поэтому, учитывая особенности отдельных процессов, можно говорить о единстве механизма контактного трения во всех процессах обработки твердых тел и моделировать эти процессы, осуществляя сдвиг в поверхностном слое металла.

Ранее ^(1, 2) было установлено, что на поверхности металла, подвергаемого пластической деформации в условиях трения, под действием активной смазки образуется тончайший (сотые доли микрона) адсорбционно-пластифицированный слой металла. Вследствие этого риски, образовавшиеся при микродеформировании со смазкой и без смазки при одинаковой достаточно малой нагрузке на индентор, имеют в первом случае большую глубину. Увеличение нагрузки на индентор вызывает возрастание глубины внедрения индентора в металл, но глубина риски, образовавшейся в присутствии смазки, получается при этом меньше, чем в случае микроиндентирования без смазки.

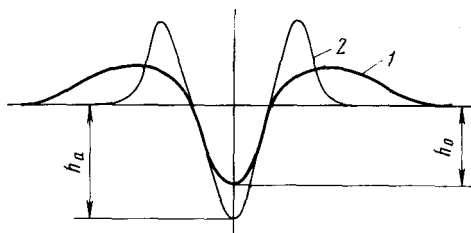
Проведенные в настоящей работе исследования показали, что форма поперечного сечения рисков также зависит от граничных условий в зоне контакта деформируемого металла и инструмента.

На рис. 1 видно, что профиль поперечного сечения отвалов, образующихся по краям рисков, нанесенных на поверхности образца со смазкой и

без смазки при одинаковой нагрузке на индентор, имеет существенно раз-
личный характер.

При микродеформировании в области малых нагрузок со смазкой обра-
зуются отвалы большей высоты, чем без смазки, что соответствует увеличе-
нию глубины риски и, следовательно, большему объему оттесненного ме-
талла (рис. 1, 2). В области больших нагрузок происходит относительное
уменьшение высоты отвалов, образовавшихся при микродеформирова-
нии со смазкой. При этом относительно уменьшается и объем оттес-

Рис. 1. Профили отвалов (в поперечном сече-
нии), образовавшихся по
краям рисков при мик-
родеформировании по-
верхности медного об-
разца: 1 — без смазки,
2 — со смазкой (олеи-
новая кислота)



ненного металла (по сравнению с микродеформированием без смазки
(рис. 1, 1)).

Ширина отвалов также сильно зависит от граничных условий в зоне
контакта: при микродеформировании без смазки она больше, чем со смаз-
кой. Это объясняется тем, что под влиянием смазочной среды на поверх-
ности деформируемого металла образуется тончайший (сотые доли микро-
на) пластифицированный слой, обладающий значительно более низкими

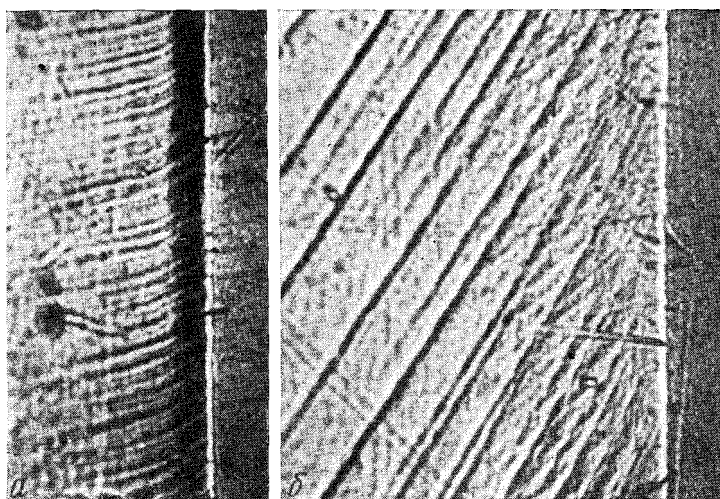


Рис. 2. Микротрещины, образовавшиеся по краям рисков на мед-
ном образце при микродеформировании: а — со смазкой (олеи-
новая кислота), б — без смазки; 1200×

пределом текучести и модулями упругости и пластичности, чем металл
в объеме. Вследствие этого, наряду с уменьшением сопротивления сдвигу,
в пластифицированном слое металла возрастает девиаторная часть тензора
деформаций; девиатор деформаций в глубинных слоях металла соответст-
венно уменьшается.

Иными словами, пластифицированный слой не только уменьшает силу
трения, но и локализует избыточную сдвиговую деформацию, не давая ей
распространяться в объеме деформируемого металла, что соответствует
уменьшению ширины отвала. Естественно, что пробег дислокаций, харак-

теризующий ширину искаженной зоны, при микродеформировании с активной смазкой будет значительно меньше.

Если же смазочная среда не может существенно изменить граничные условия, ширина искаженной зоны не изменится. Это подтверждается исследованием дислокационной структуры вблизи риска, образованных алмазным индентором на поверхности монокристалла LiF без смазки и со смазками (вазелиновое масло, вазелиновое масло + 0,2% олеиновой кислоты, олеиновая кислота) *.

При возрастании глубины индентирования меди вследствие чрезмерного увеличения степени деформации по краям, а также в самом ложе

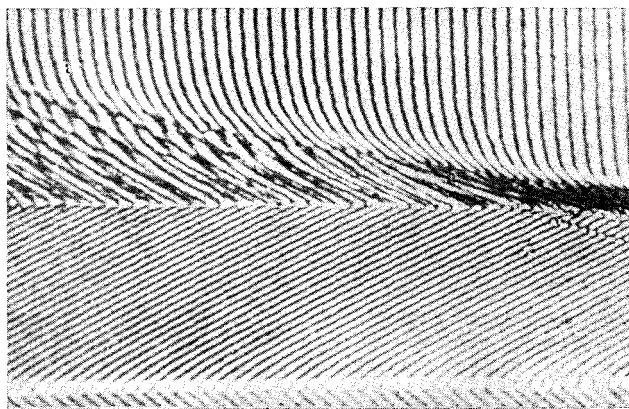


Рис. 3. Интерферограмма, показывающая уменьшение ширины искаженной зоны при введении смазки, $830\times$

риски возникают микротрещины. На рис. 2 видно, что характер микротрещин зависит от присутствия смазочной среды в зоне деформации. При микродеформации без смазки протяженность образовавшихся по краям риски микротрещин гораздо больше, чем при движении индентора со смазкой. Это также свидетельствует о локализации сдвиговых деформаций в пластифицированном слое металла.

На интерферограмме (рис. 3) представлена картина постепенного уменьшения ширины искаженной зоны и изменения профиля отвала при переходе от микродеформации в условиях сухого трения к трению с поверхностно-активной смазкой. В данном опыте смазка (олеиновая кислота) вводилась в зону деформации непосредственно во время движения индентора.

Интерес представляло измерение угла между стенками риски, образовавшейся при различных условиях трения в процессе микродеформации. Проведенные измерения показали, что форма дна риски не в полной мере соответствует форме индентора и зависит от граничных условий.

Угол α (рис. 4) между стенками вблизи дна риски во всех случаях больше соответствующего угла алмазного индентора. Это вызвано приподнятием дна риски вследствие упругого последействия. Так как степень деформации металла возрастает по направлению от поверхности к дну риски, упругая составляющая деформации при этом также возрастает, достигая максимума у дна риски.

После снятия нагрузки, налагаемой индентором, дно риски вследствие неравномерного упругого восстановления приподнимается больше, чем участки, расположенные ближе к поверхности образца. Это приводит к воз-

* Исследования по влиянию смазок на дислокационную структуру проводились совместно с В. И. Савенко и Л. А. Кочановой.

растанию угла α . Ниже приведены значения углов между стенками рисок, образовавшихся при микродеформации поверхности образца (рис. 4).

Угол α	I	II	III	IV
без смазки	158°04'	158°42'	158°50'	161°18'
со смазкой	159°09'	158°55'	160°15'	163°54'

Полученные данные согласуются с результатами работы ⁽³⁾, в которой показано, что смазочные среды, изменяя граничные условия и, следовательно, напряженно-деформированное состояние в зоне контакта, оказы-

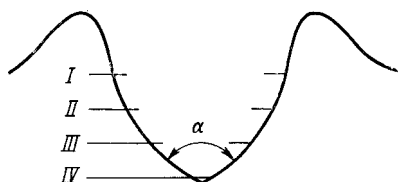


Рис. 4. Угол между стенками рисок, образованной микродеформированием со смазкой и без смазки. Угол α индентора 147°10', расстояние между сечениями 0,35 μ

вают существенное влияние на упругое восстановление формы деформируемого тела.

Результаты настоящей работы свидетельствуют о том, что адсорбционно-активные смазочные среды, локализуя сдвиговые деформации и уменьшая напряжения, влияют на формообразование тончайшего микрорельефа поверхности обрабатываемого твердого тела. Полученные данные важны для выяснения механизма действия смазок при обработке металлов давлением, резанием, шлифованием, полированием. Их необходимо также учитывать при проведении особо точных работ, например, при изготовлении дифракционных решеток или образцов шероховатости поверхностей с регулярным профилем.

Институт физической химии
Академии наук СССР
Москва

Поступило
9 III 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. Я. Вейлер, В. И. Лихтман, Действие смазок при обработке металлов давлением, Изд. АН СССР, 1960. ² А. А. Канаев, В. Н. Львов и др., ДАН, 187, № 2 (1969). ³ А. А. Канаев, С. Я. Вейлер, ДАН, 156, № 4 (1964).