

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. И. ЛИХТМАН, А. И. ФРИМЕР и С. Л. ПУПКО

**ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ ДЕФОРМИРОВАННЫХ  
МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛЮМИНИЯ**

*(Представлено академиком П. А. Ребиндером 22 IV 1947)*

Как было показано в работах Ребиндера и Лихтмана<sup>(1)</sup>, деформация металлических монокристаллов в присутствии адсорбирующихся веществ сопровождается значительным измельчением пачек скольжения, развивающимся на самых начальных стадиях деформации. Такого рода структурные изменения под действием поверхностно-активных веществ были прослежены на монокристаллах олова, свинца и алюминия и, повидимому, представляют собой один из основных эффектов при адсорбции из окружающей среды деформируемого кристаллом. В основе изменений механических свойств деформируемых металлов, возникающих при адсорбции, лежат структурные изменения, вызываемые как отвлечением молекулярных сил поверхностного слоя на адсорбцию, что облегчает возникновение сдвигов в этом слое, так и проникновением адсорбционных пленок в образующиеся при деформации микрощели вдоль плоскостей скольжения и интенсивным развитием этих щелей за счет двухмерного адсорбционного давления даже в тех местах, где они по каким-либо причинам не развиваются при обычных условиях.

С помощью ускоренной микрокиносъемки, примененной нами для изучения особенностей деформаций монокристаллов олова в присутствии адсорбирующихся веществ, удалось показать, что измельчение пачек скольжения возникает в самом начале пластической деформации<sup>(1)</sup>.

Более детальное изучение структурных изменений в металлах возможно лишь при таких микроскопических увеличениях, которые позволили бы фиксировать элементарные акты соскальзывания в процессе деформации. С этой целью нами было проведено изучение микроструктуры деформированных монокристаллов алюминия в различных средах с помощью электронного микроскопа.

Электронно-микроскопическое изучение структур металлов (главным образом, алюминия и его сплавов) после работ Маля и др.<sup>(2)</sup> становится одним из наиболее эффективных методов в металловедении. Однако в настоящее время еще не разработаны вполне однозначные методы трактовки электронно-микроскопических изображений вследствие получаемых больших увеличений и невозможности непосредственного разделения рельефа. Все же тщательное изучение изображений с помощью различных приемов, облегчающих понимание наблюдаемой картины (постепенное возрастание увеличения от оптического и выше, использование косвенных экспериментальных дан-

ных, стереоскопический обзор и т. д.), в большинстве случаев дает возможность правильно оценить характер рассматриваемых деталей.

В качестве объектов исследования нами были выбраны монокристаллы технически чистого алюминия (99,95 Al), изготовленные методом рекристаллизации. Каждый монокристалл, диаметром около 2 мм и длиной 15 см, разрезался на две части, одна из которых деформировалась растяжением на 75% с постоянной скоростью  $v = 40^{\circ}/\text{мин.}^{-1}$  в неактивной среде — чистом вазелиновом масле, а другая — таким же образом в растворе 0,3% цетилового спирта (в качестве адсорбирующего вещества) в вазелиновом масле. При этом наблюдался обычный адсорбционный эффект понижения прочности <sup>(3)</sup> — временное сопротивление в присутствии добавок цетилового спирта при данных, заведомо не оптимальных условиях уменьшалось на 15—20%.

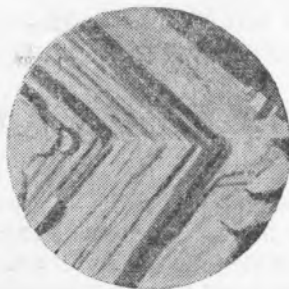


Рис. 1

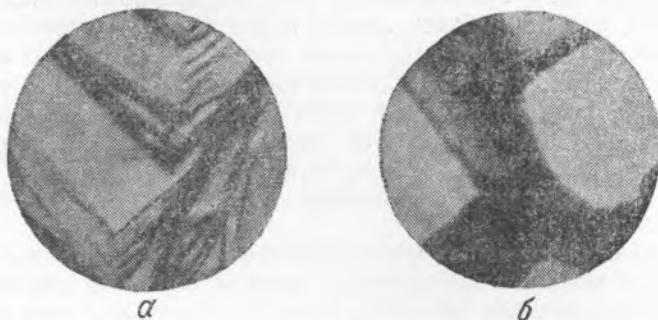


Рис. 2

После деформации монокристаллы длительно промывались чистым гексаном и затем обрабатывались особым образом для получения реплик с их поверхности в соответствии с методикой, разработанной Малем и применяемой в лаборатории Научно-исследовательского института Министерства электропромышленности СССР <sup>(4)</sup>. Исследование полученных реплик проводилось на электронном микроскопе (100 kV, изготовлен заводом ВЭИ), при увеличении около 16000 раз.

На рис. 1 (фото) изображен элемент поверхности недеформированного монокристалла — хорошо образованный куб со следами выхода плоскостей скольжения на внешнюю поверхность, выявленных легким травлением. Все реплики с недеформированного монокристалла дают повторяющуюся картину одинаково ориентированных кубов, выступающих над поверхностью металла одной из своих вершин со следами октаэдрических плоскостей на своих боковых гранях. Местами на гранях этих кубов или у их оснований обнаруживаются мелкие, бес-

порядочно ориентированные кристаллики — группы небольших поликристаллических включений, образовавшихся в процессе роста монокристалла.

На рис. 2 (*а* и *б*) представлен тот же монокристалл, деформированный растяжением на 75% в чистом (неполярном) вазелиновом масле.

Отчетливо видны сдвиги по октаэдрическим плоскостям с поворотом этих плоскостей, которые, повидимому, можно считать элементарными актами соскальзывания в действующей системе скольжения. На некоторых репликах мы наблюдали однородно гладкую поверхность металла, без каких-либо следов скольжения, но с весьма характерной поверхностной штриховкой в одном определенном направлении. Такие картины, возможно, принадлежат обожавшимся в процессе деформации внутренним октаэдрическим поверхностям раздела, а тонкая штриховка на их поверхности, очевидно, связана с прошедшим соскальзыванием. В настоящее время продолжается детальное изучение такого рода картин. Интересно отметить, что ни одна из реплик с деформированного кристалла не обнаружила двойного скольжения, несмотря на довольно значительное растяжение образца. На всех репликах



Рис. 3

можно заметить систему более или менее широких черных полос, в большинстве своем неправильной формы, пересекающих деформированный кристалл по разным направлениям. Тщательное изучение этих полос с помощью постепенно возрастающего увеличения позволяет считать эти полосы углублениями в поверхностном слое, уходящими внутрь металла, т. е. микрощелями, возникающими в поверхностном слое. Ширина их в устьях колеблется от 50 до 200 мк, что хорошо согласуется с вероятными размерами микрощелей, развивающихся на основе дефектов — слабых мест, пронизывающих всякое твердое тело.

Особенно отчетливо проявляется микротрещиноватость при деформации монокристалла алюминия в присутствии поверхностно-активных веществ. На рис. 3 (*а* и *б*) дано типичное состояние поверхности монокристалла в этом случае. Упорядоченный процесс трансляции с поворотом по одной октаэдрической системе скольжения отсутствует полностью. Можно предполагать, что под действием поверхностно-активных веществ уже на ранних стадиях пластической деформации в строй вступают несколько систем скольжения, одновременное действие которых и создает столь сложную картину деформации. Обращает на себя внимание значительное большее развитие микрощелей, обладающих весьма большими размерами. На некоторых репликах эти щели местами занимают все поле зрения, т. е. их ширина в устьях доходит до нескольких микрон. Рис. 3 *а* дает возможность проследить развитие щелей в поверхностном слое, т. е. выявляет клиновидный

характер щелей, каким он, повидимому, остается и при развитии щели внутри металла. Дальнейшее детальное изучение структур монокристаллов алюминия, а также и других металлов, уже начатое нами, с применением некоторых новых средств объективной оценки наблюдаемых картин, позволит с большей определенностью установить роль адсорбирующихся добавок к окружающей среде в процессе пластического деформирования.

Отдел дисперсных систем  
Института физической химии  
Академии Наук СССР  
Научно-исследовательский институт  
Министерства электропромышленности СССР

Поступило  
22 IV 1947

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> П. А. Ребиндер и В. И. Лихтман, ДАН, 56, № 7 (1947). <sup>2</sup> H. Mahl, Naturwiss., 30, 279 (1942); Keller and Geisler, J. App. Phys., 15, 696 (1944).  
<sup>3</sup> П. А. Ребиндер, В. И. Лихтман и Б. М. Масленников, ДАН, 32, (1941).  
<sup>4</sup> С. Л. Пупко и А. И. Фример, ДАН, 57, № 7 (1947).