

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. И. ЛИХТМАН, академик П. А. РЕБИНДЕР и Л. П. ЯНОВА

**ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА
ВЕЛИЧИНУ АДСОРБЦИОННОГО ПОНИЖЕНИЯ ПРОЧНОСТИ
МОНОКРИСТАЛЛОВ ОЛОВА И СВИНЦА**

Пластическое деформирование металлических монокристаллов всегда связано с возникновением и одновременным развитием двух взаимно противоположных процессов: основного, атермического явления — упрочнения, связанного с возникновением внутренних поверхностей раздела, т. е. с изменением характера связей атомов в металле⁽¹⁾ и повышением энергетических уровней атомов металла вдоль этих поверхностей, и вторичного процесса — отдыха, существенно зависящего от температуры и связанного с самопроизвольной перестройкой межатомных связей в сторону понижения свободной энергии системы.

Процесс отдыха в конечном итоге приводит к исчезновению возникающих при упрочнении внутренних поверхностей раздела в деформируемом металле⁽²⁾. В области низких температур явление отдыха проявляется в слабой степени и не оказывает заметного влияния на ход пластической деформации металла. С повышением же температуры роль отдыха становится все значительнее, и при достаточно высоких температурах (тем более высоких, чем выше температура плавления данного металла) отдых может полностью затушевать основное явление — процесс упрочнения.

В поликристаллических металлах такого рода отдых аналогичен собирательной рекристаллизации, также сводящейся к исчезновению границ раздела между отдельными зернами и представляющей собою процесс роста зерен, протекающий самопроизвольно с уменьшением свободной поверхностной энергии, содержащейся в поликристаллической системе. В отличие от поликристаллических материалов, в монокристаллах поверхности раздела, возникающие при деформации, носят зародышевый, но вместе с тем и более активный характер⁽³⁾. Напомним, что и в поликристаллических металлах рекристаллизация происходит достаточно интенсивно, т. е. с заметной скоростью, только после возникновения в зернах-кристаллитах достаточных деформационных повреждений после достаточной степени пластической деформации, являющихся зародышами процесса рекристаллизации.

Эквивалентную температуре роль в установлении определенного соотношения между упрочнением и отдыхом может играть также скорость деформации. Действительно, понижение скорости деформации, вызывающее усиление процесса отдыха при данной температуре, эквивалентно в этом смысле повышению температуры, и наоборот⁽⁴⁾.

Внутренние поверхности раздела, развивающиеся в деформируемом монокристалле вдоль плоскостей скольжения в связи с поворотом и изгибом пачек скольжения при трансляциях, образуют в поверхностном слое кристалла сетку клиновидных микрощелей с устьями, выходящими на внешнюю поверхность, и тупиками, более или менее глубоко проникающими внутрь металла. Возможность адсорбционного воздействия поверхностно-активных веществ, понижающих усилия и работу пластической деформации монокристаллов, определяется развитием именно такой системы микрощелей в поверхностном слое

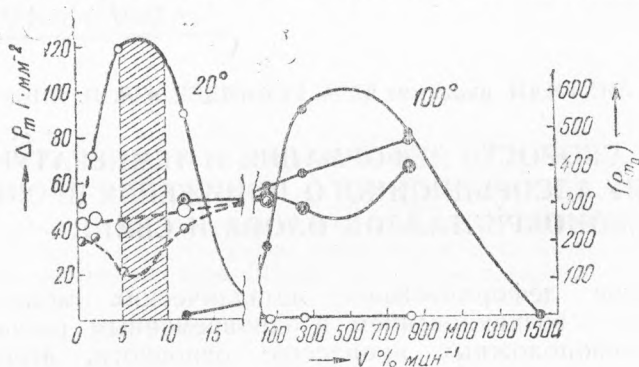


Рис. 1

кристалла (5). Данная работа выясняет связь между кинетикой развития поверхностных микрощелей в ходе пластической деформации, определяющей относительным развитием процессов упрочнения и отдыха, и величиной адсорбционного понижения прочности монокристаллов.

Монокристаллы из олова и свинца высокой чистоты цилиндрической формы выращивались по методу акад. П. Л. Капицы диаметром около 1 мм. Монокристаллы олова отбирались с оптимальной ориентацией плоскостей скольжения.

Для монокристаллов свинца ориентация октаэдрических плоскостей скольжения не столь существенна. Полные диаграммы растяжения измерялись, как обычно, с помощью аппарата типа Поляни при заданной постоянной скорости деформации — скорости относительного удлинения, причем специально подобранные редукторы позволяли изменять скорость V в широком диапазоне от 0,05 до 1000%/мин.⁻¹, т. е. в отношении 1:2·10⁴. Растяжение проводилось в воздухе или неполярном вазелиновом масле глубокой очистки (что давало всегда одинаковые результаты) и в вазелиновом масле с добавками к нему в качестве поверхностно-активных веществ олеиновой и пальмитиновой кислот и цетилового спирта в оптимальных концентрациях — около 0,2%, что соответствует максимуму эффекта и образованию насыщенного мономолекулярного адсорбционного слоя, как это было установлено в предыдущих работах нашей лаборатории.

Исследование при повышенных температурах (около 100°С) производилось в электрической печи цилиндрической формы, окружавшей пространство между зажимами аппарата, растягивавшими образец, помещенный в масляную среду. Температура в масле вблизи образца измерялась термомпарой до ±0,5°С. На рис. 1 представлены результаты измерений величины адсорбционного понижения прочности монокристаллов олова, а на рис. 2 — свинца в зависимости от скорости деформации при двух температурах: 20 и 100°С. За меру адсорбционного эффекта $\Delta P_a = \frac{P_0 - P_a}{P_0} 100\%$ для монокристаллов

олова берется, как обычно, относительное понижение предела текучести под влиянием добавки поверхностно-активного вещества в оптимальной концентрации (P_0 — предел текучести в инактивной среде — воздухе или неполярном вазелиновом масле, а P_a — в наиболее поверхностно-активной среде). Для монокристаллов свинца, не имеющих явно выраженного предела текучести, он заменяется в расчетах максимальным значением напряжения, отмеченным на диаграмме.

Для олова при 20°C максимум адсорбционного эффекта лежит при скорости деформации около $V = 5\%$ мин.⁻¹. При уменьшении

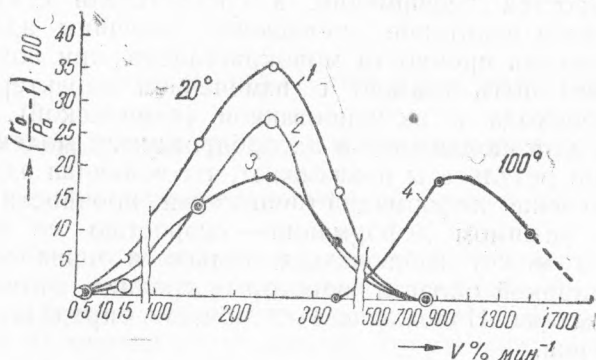


Рис. 2. 1 — олеиновая кислота, 2 — пальмитиновая кислота, 3 — цетиловый спирт, 4 — олеиновая кислота

скорости деформации до $0,05\%$ мин.⁻¹ адсорбционный эффект практически исчезает и не наблюдается более при дальнейшем замедлении деформации. По другую сторону максимума, при повышении скорости деформации, адсорбционный эффект практически исчезает при V около 100% мин.⁻¹.

При повышенной температуре (100°C) для олова максимум адсорбционного эффекта переходит к значительно бóльшим скоростям — около 240% мин.⁻¹, практически исчезая при понижении V до $10-15\%$ мин.⁻¹ и при повышении V до величин порядка 1000% мин.⁻¹.

На том же рисунке показана зависимость величины приведенного скальвующего напряжения $P_s = P_0 \sin \chi_0 \cos \chi$ от скорости деформации в инактивной и активной средах.

Для свинца (рис. 2) установлена, в общем, та же зависимость со специфически иными, конечно, значениями скоростей деформации V_m , отвечающими максимуму адсорбционного эффекта.

Установленные результаты определяют исключительно важную роль процесса отдыха металлического кристалла в явлениях адсорбционного воздействия на его пластическую деформацию. Если скорость деформации такова, что процесс отдыха успевает почти полностью произойти за время деформации, то соответствующее этому смыкание поверхностных микрощелей в самом процессе деформации будет препятствовать воздействию адсорбирующихся веществ. Только при тех же очень малых скоростях деформации, когда явлениями отдыха за время деформации можно пренебречь, адсорбционные воздействия осуществляются в полной мере. Именно таким скоростям и соответствует область максимума адсорбционного эффекта. Если же скорости деформации становятся столь значительными, что процесс принимает ударный характер, то при этом, как известно, нарушается простой трансляционный механизм пластической деформации монокристалла, и в строй вступают сразу несколько плоскостей скольжения. Это связано с понижением пластических свойств металла, с его разрушением хрупкого характера при

сравнительно малых деформациях. Микрощели, возникающие в этом случае на поверхности образца, не успевают достаточно развиться в глубь металла, и деформация, становясь неравномерной, сосредоточивается в одном наиболее слабом месте кристалла, где она и заканчивается разрывом. При этом скорость образования новой поверхности в микрощелях этого слабого участка столь велика, что она не успевает покрываться адсорбционным слоем.

Повышение температуры, ускоряя процесс отрыва металлического кристалла, смещает максимум адсорбционного эффекта в сторону больших скоростей деформации, в соответствии с уже указанной схемой. При этом некоторое уменьшение величины адсорбционного эффекта понижения прочности монокристаллов при повышении температуры может быть связано с изменением характера адсорбции в сторону перехода к активированной (химической) адсорбции и уменьшением легкоподвижности адсорбированных молекул.

Полученные результаты показывают, что величина адсорбционного эффекта облегчения деформаций (понижения прочности) кристаллов определяется режимом деформации — скоростью ее протекания и температурой и может наблюдаться только в определенной, хотя и достаточно широкой области некоторых средних оптимальных скоростей деформации. Положение этой области определяется температурой измерения.

Отдел дисперсных систем
Института физической химии
Академии Наук СССР

Поступило
24 III 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Polanyi, E. Schmid, *Verh. deutsch. Phys.*, **4**, 27 (1923). ² М. А. и Н. А. Большанины и Н. К. Горелов, *ЖЭТФ*, **4**, в. 10 (1934). ³ П. А. Ребиндер и В. И. Лихтман, *ДАН*, **32**, № 2 (1947). ⁴ М. Polanyi, E. Schmid, *Naturwiss.*, **17**, 301 (1929). ⁵ П. А. Ребиндер, В. И. Лихтман и Б. М. Масленников, *ДАН*, **32**, № 2 (1941); В. И. Лихтман и П. А. Ребиндер, *ДАН*, **32**, № 2 (1941); *ДАН*, **56**, № 7 (1947).