

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. И. ЛИХТМАН и академик П. А. РЕБИНДЕР

**О НОВОМ ЯВЛЕНИИ УПРУГОГО ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ
В МОНОКРИСТАЛЛАХ ОЛОВА, ПОДВЕРГНУТЫХ
ПЛАСТИЧЕСКОМУ ТЕЧЕНИЮ**

Изучение упругих свойств металлических монокристаллов (1) показало, что величина упругого сдвига в них исчезающе мала. Таким образом, недеформированный монокристалл, в первом приближении, может рассматриваться, как идеально пластическое тело, в том смысле, что оно вовсе лишено упругой области и что предел текучести $P=P_m$ соответствует деформациям (удлинением), весьма малым по сравнению с их возможными значениями в области пластического течения.

Эта область наступает, когда напряжение достигает некоторой критической величины P_m в действующей системе скольжения (2). Но по мере развития пластической деформации и связанного с ней расчленения в начале однородного кристалла на отдельные блоки с образованием внутренних поверхностей раздела в результате поворотов и изгиба пачек скольжения можно ожидать значительного развития упругой области, по аналогии с тем, как повышение дисперсности — измельчение зерна — расширяет область упругих деформаций в поликристаллах. Однако сразу же необходимо указать на принципиальное различие этих явлений для монокристаллов и для поликристаллических агрегатов.

В поликристаллических металлах беспорядочная ориентировка зерен приводит к различной устойчивости их по отношению к внешним деформирующим усилиям. Зерна, расположенные благоприятно к направлению этих усилий, могут подвергнуться пластической деформации, тогда как неблагоприятно расположенные зерна еще останутся в области чисто упругой деформации. Поэтому на границах зерен создаются объемно-напряженные области, затрудняющие дальнейшее развитие пластической деформации и способствующие расширению упругой зоны.

При увеличении дисперсности поликристаллического агрегата, т. е. при переходе к мелкозернистым структурам, возрастает значение объемно-напряженных участков на границах зерен в общей системе внутренних напряжений в каждом зерне и во всем образце в целом, что вызывает развитие упругих свойств. В монокристаллах ничто не тормозит свободного развития трансляционного механизма соскальзывания отдельных блоков решетки, и они сохраняют в этом процессе единую кристаллографическую ориентировку. Улучшение упругих

свойств при деформации связан при этом с увеличением избытка свободной энергии монокристалла в процессе деформации, главным образом за счет возрастания поверхностной энергии вдоль плоскостей скольжения при образовании и развитии клиновидных микрощелей, а также за счет упругого изгиба пачек скольжения.

Первый фактор особенно важен для влияния адсорбции из внешней среды на процессы упругой и пластической деформации монокристаллов, так как именно внутренние поверхности раздела, зарождающиеся и развивающиеся при деформации, являются проводниками этого воздействия.

Значительное развитие упругой области в деформированных монокристаллах было обнаружено нами при изучении процесса „отдыха“ предварительно растянутых монокристаллов олова высокой чистоты после снятия нагрузки. Монокристаллы в виде проволоки диаметром около 1 мм подвергались растяжению на приборе типа Поляни с постоянной скоростью удлинения $v=5\%$ мин.⁻¹. Опыты велись в инертной среде — чистом вазелиновом масле и в вазелиновом масле с добавкой к нему 0,2% олеиновой кислоты в качестве поверхностно-активного вещества. В процессе растяжения, кроме снятия полной диаграммы деформации $P=P(\epsilon)$, регистрировалась также электропроводность образца через каждые 10% растяжения с помощью дифференциальной схемы двойного моста Томсона.

После того как достигалась заданная степень растяжения — около 200%, — образец разгружался путем обратного вращения контршайбы до нулевого положения оптического динамометра. С этого момента в течение довольно продолжительного времени, пока длилась первая стадия процесса отдыха (около 1,5 часа), нами наблюдалось постепенное сокращение длины образца, выражавшееся в возникновении усилия, действующего на оптический динамометр прибора, для снятия величина такого своеобразного явления упругого последействия разгрузки в инертной среде — воздухе или чистом вазелиновом масле — достигала 10 — 15 μ , или около 0,03% длины образца, при точности отсчета 1 — 5 μ , и завершение его требовало около 1,5 часа. В присутствии поверхностно-активных добавок к углеводородной среде величина упругого последействия возрастала до 40 — 50 μ , или до 0,1 — 0,15%, и время завершения этого явления увеличивалось до 6 — 7 час.

Одновременно с развитием упругого последействия происходит некоторое возрастание электропроводности деформированных монокристаллов, достигающее в инертной среде 3 — 4%, а в активной среде 15 — 20%, где конечное значение электропроводности при той же степени удлинения значительно ниже, чем в инертной среде (3).

На рис. 1 представлен ход упругого последействия в разных средах.

На рис. 2 кривая упругого последействия I совмещена с кривой падения электрического сопротивления со временем 2 для монокристаллов, деформированных в активной среде.

В работах Е. Шмида и его сотрудников (4), подробно изучавших процесс отдыха предварительно деформированных металлических монокристаллов после снятия нагрузки, установлено, что полное восстановление начальных механических свойств (оцениваемых по величине предела текучести) при комнатной температуре для олова происходит примерно в течение суток и зависит от температуры и степени упрочнения.

Таким образом, обнаруженное явление упругого последействия, являясь составной частью отдыха деформированного кристалла, не исчерпывает собой этот процесс полностью. Весь процесс отдыха может быть разделен на три главных стадии. Первая, самая кратковременная, полностью завершается уже при снятии нагрузки (со ско-

ростью звука) и связана с частичным исчезновением „истинных“ упругих напряжений в кристалле. Вторая, более продолжительная, стадия состоит в постепенном исчезновении внутренних поверхностей раздела, возникающих в процессе деформации вдоль плоскостей скольжения и в смыкании возникших на их основе в поверхностном слое клиновидных микрощелей (5). Наконец, последняя, наиболее продолжительная, третья стадия включает в себя дальнейшие постепенные уменьшения свободной поверхностной энергии в местах «повреждений решетки», связанные с восстановлением нарушенных при

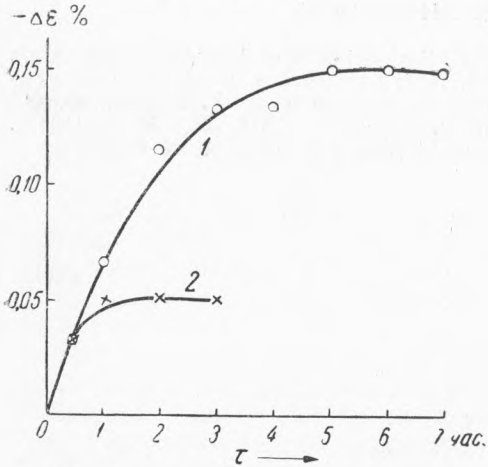


Рис. 1. Упругое последствие в монокристаллах олова. $\epsilon = 200\%$, $\chi_0 = 50^\circ$
 1 — вазелиновое масло + 0,2% олеиновой кислоты; 2 — вазелиновое масло (воздух)

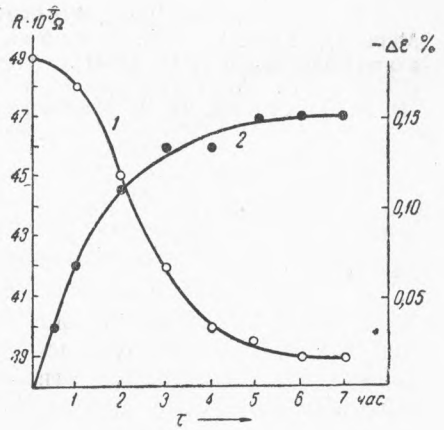


Рис. 2

деформации межатомных связей и с их частичной перестройкой — своеобразной рекристаллизацией.

Упругое последствие нагрузки связано, главным образом, со второй стадией процесса отдыха, являясь результатом сил молекулярного сцепления, действующих в решетке у внутренних концов — в тупиках микрощелей — и вызывающих их смыкание. Значение адсорбции в этом явлении сводится, повидимому, к развитию роли второй — медленной — стадии за счет первой — быстрой — в общем процессе отдыха, а может быть, и за счет сокращения третьей стадии вследствие меньшего повреждения решетки при деформации в присутствии поверхностно-активных веществ.

Действительно, как это было нами показано, адсорбционные действия поверхностно-активных веществ приводят к значительному снижению упрочнения деформируемого монокристалла (5) и, следовательно, к сравнительно малой порче решетки. Кроме того, адсорбционные слои, вызывая значительное увеличение числа работающих пачек скольжения и проникая внутрь металла, уменьшают истинные упругие напряжения в кристалле, переводя часть упругой энергии деформируемого кристалла в свободную поверхностную энергию развивающихся микрощелей. Это делает понятным возрастание величины упругого последствия в присутствии адсорбирующихся веществ. Последствие связано при этом со смыканием гораздо более глубоких микрощелей. Адсорбционные слои, покрывающие стенки микрощелей, должны быть вытеснены наружу, что замедляет процесс смыкания, который можно проследить и по нарастанию электропроводности монокристалла при отдыхе.

Мы уже указывали на значительную роль поверхностной микро-трещиноватости при отдыхе, протекающем в самом процессе пластической деформации (6). Явление упругого последействия разгрузки деформированных монокристаллов показывает, что роль поверхностных микротрещелей не менее велика и в процессах отдыха после разгрузки.

Отдел дисперсных систем
Института физической химии
Академии Наук СССР

Поступило
22 IV 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ E. Goens, Ann. Phys., 4, 648 (1930). ² E. Schmid, Proc. Internat. Congr. Appl. Mech. Delft (1924). ³ П. А. Ребиндер, В. И. Лихтман и Б. М. Масленников, ДАН, 32, № 2, 127 (1941). ⁴ O. Haase u. E. Schmid, Z. f. Phys., 33, 413 (1925). ⁵ П. А. Ребиндер и В. И. Лихтман, ДАН, 56, № 7 (1947). В. И. Лихтман, П. А. Ребиндер и Л. П. Янова, ДАН, 56, № 8 (1947).