

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. И. ЛИХТМАН и В. С. ОСТРОВСКИЙ

**О ВЛИЯНИИ ОКИСНЫХ ПЛЕНОК НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
МОНОКРИСТАЛЛОВ КАДМИЯ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 1 IX 1953)

В ряде работ, вышедших в последние годы (¹⁻³), отмечалось, что тонкие окисные пленки на поверхности металлических монокристаллов значительно повышают их предел текучести и затрудняют дальнейшую деформацию в главной пластической области (при напряжениях выше предела текучести).

Механизм этого явления в указанных работах оставался невыясненным. Высказывалось предположение, что окисные пленки тормозят зарождение дислокаций на поверхности кристаллов, залечивают имеющиеся дефекты и препятствуют образованию новых.

В нашей работе в качестве объекта исследования были выбраны монокристаллы кадмия, прежде всего потому, что на этом металле были проведены указанные выше работы других авторов. Кроме того, монокристаллы кадмия, обладающие единственной плоскостью скольжения — плоскостью базиса, позволяли провести исследование при разных начальных углах ориентации этой плоскости χ_0 по отношению к оси образца (в виде проволоки заданного диаметра).

Окисная пленка на исследуемых монокристаллах создавалась при определенном режиме окисления. Образцы отжигались на воздухе при температуре 230° в течение 2 час. При этом режиме окисления образующаяся окисная пленка имела толщину около 900 \AA . Толщина пленки определялась нами весовым методом с точностью взвешивания на микровесах $2 \cdot 10^{-4}$ г, что составляло около 5% измеряемой величины привеса. Плотность CdO бралась из таблиц ($8,15 \text{ г/см}^3$).

Механические свойства монокристаллов Cd исследовались в условиях постоянной скорости растяжения $v = 1,5\% \text{ мин}^{-1}$. Точность измерения напряжения составляла около 2% измеряемой величины у предела текучести.

На рис. 1 представлены типичные диаграммы растяжения стандартно окисленной (1) и неокисленной (т. е. покрытой окисной пленкой, естественно образовавшейся на воздухе при комнатной температуре) (2) для проволок монокристаллического кадмия диаметром 0,5 мм при $\chi_0 = 55^\circ$. Предел текучести окисленного образца оказался

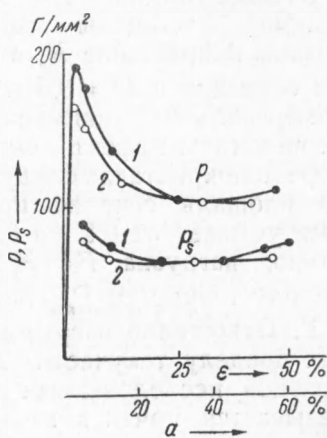


Рис. 1

на 14% выше. Вместе с тем обращает на себя внимание изменение скальвающего напряжения, показанное на этом же рисунке. У окисленного образца скальвающее напряжение в процессе деформации довольно резко падает и лишь затем, по мере роста упрочнения, повышается. Такое уменьшение величины скальвающего напряжения в ходе пластической деформации, слабее выраженное у образцов

Таблица 1

χ_0	Неокисленные образцы		Окисленные образцы, толщина окисной пленки 900 Å		Диаметр образцов D , в мм
	$(P_m)_0$	$(P_s)_0$	P_m	P_s	
32	170	76,5	195	87,7	0,5
50	180	88,2	208	102,0	0,5
55	167	78,5	191	89,8	0,5
36	291	136,0	364	171,0	0,3

с „нормальной“ окисной пленкой (возникающей при непродолжительном вылеживании при комнатной температуре) и совершенно отсутствующее у свежетравленных образцов, показывает, что предел текучести окисленных монокристаллов оказывается выше, чем у самого металла, и прежде чем началось усиленное сдвигообразование, характерное для монокристаллов гексагональной системы при достижении предела текучести потребовался, повидимому, разрыв окисной пленки.

В табл. 1 приведено изменение предела текучести P_m и критического скальвающего напряжения P_s в Г/мм² монокристаллов кадмия различной ориентации χ_0 и диаметра D в зависимости от окисления.

Отсюда видно, что эффективность действия окисной пленки заданной толщины повышается с уменьшением диаметра образца. Возрастание P_s в результате окисления в среднем составляет для образцов с $D = 0,5$ мм 15%, а для образцов с $D = 0,3$ мм 25%.

Для правильного понимания этой зависимости величины эффекта окисления от диаметра монокристалла следует иметь в виду, что площадь сечения кристалла S_0 при этом убывает от 0,2 до 0,07 мм². Следовательно, нагрузка $F = P_m S_0$, отвечающая пределу текучести P_m , меняется от 40 до 25 Г. Отношение нагрузок, соответствующих пределу текучести для окисленных образцов исследованных двух диаметров, оказывается почти в точности равным отношению этих диаметров. Это, повидимому, связано с тем, что площадь сечения окисной пленки также изменяется пропорционально диаметру. Действительно, площадь сечения пленки толщиной h $S = \pi Dh$, и при заданной толщине пленки $S_1/S_2 = D_1/D_2$.

Площадь сечения пленки для $D = 0,5$ мм будет $S_1 = 14 \cdot 10^{-5}$ мм², а для $D = 0,3$ мм $S_2 = 8,5 \cdot 10^{-5}$ мм². Отсюда можно получить верхний предел прочности окисной пленки $h = 900$ Å, если считать, что вся нагрузка приложена к пленке в момент ее разрыва. Справедливость такого предположения обосновывается тем, что предел упругости металлического монокристалла равен нулю и, следовательно, металл под пленкой вовлекается в пластическое течение и разгружается уже при самых малых нагрузках.

Прочность пленки $\sigma_s = F/S = 40/1,4 \cdot 10^{-4} \approx 3 \cdot 10^5$ Г·мм⁻² = 300 кГ·мм⁻². Тот же результат получается и для пленок на образцах с $D = 0,3$ мм ($\sigma_s = 25/8,5 \cdot 10^{-5} \approx 3 \cdot 10^5$ Г/мм²).

На рис. 2 дана зависимость эффекта действия окисной пленки от диаметра монокристалла Cd при одной и той же начальной ориента-

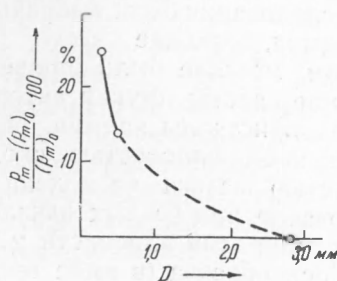


Рис. 2

ции плоскости базиса. Данные для $D = 2,8$ мм взяты нами из работы Роско (1). Снижение эффекта с увеличением диаметра и полное его исчезновение при $D = 2,8$ мм объясняется ростом абсолютной величины нагрузки, прикладываемой к монокристаллу. Величина нагрузки, отвечающая пределу текучести для толстых образцов, значительно превосходит прочность окисной пленки толщиной около 1000 Å, и поэтому собственные механические свойства пленки не могут уже сказаться в процессе деформации.

Такой же результат получается при исследовании зависимости величины эффекта действия окисной пленки от угла начальной ориентации χ_0 в монокристаллах кадмия определенного диаметра. На рис. 3 дана эта зависимость для $D = 0,5$ мм (1) и 0,3 мм (2). Как видно, окисная пленка вызывает максимальный эффект при $\chi_0 = 45^\circ$, и величина эффекта уменьшается в обе стороны от этого значения. Объяснение этому можно видеть в зависимости самого предела текучести монокристалла от χ_0 . P_m минимален при $\chi_0 = 45^\circ$ и возрастает как при уменьшении, так и при увеличении этого угла. Следовательно, при $\chi_0 = 45^\circ$ нагрузка у предела текучести будет наименьшей и эффект действия пленки, в соответствии с этим, будет наибольшим.

Таким образом, в результате проведенного исследования можно высказать предположение, что влияние окисных пленок на механические свойства металлических монокристаллов заключается в собственных прочностных свойствах окисных пленок.

То обстоятельство, что эта прочность оказывается весьма значительной — около $300 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$ (для CdO) не должно вызывать сомнений, так как известно, что с уменьшением толщины все тела значительно повышают свою прочность (масштабный фактор). Так например, тонкие стеклянные нити толщиной 3—5 μ обладают прочностью на разрыв до $300 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$, что уже близко к теоретическому значению прочности (4). Можно предполагать, что пленка CdO толщиной около 0,1 μ также обладает прочностью, близкой к теоретической.

Эффект действия окисной пленки проявляется, как было уже сказано, не только в повышении предела текучести, но и в затруднении дальнейшей деформации монокристалла в главной пластической области, что видно также из рис. 1. Это явление, повидимому, объясняется тем, что по мере развития пластической деформации окисленных образцов в строй вступают все новые и новые пачки скольжения, для образования которых требуется вновь разорвать окисную пленку. Подтверждение этому можно видеть в том, что окисленные монокристаллы кадмия образуют в начале скольжения довольно толстые пачки, постепенно утончающиеся по мере развития деформации.

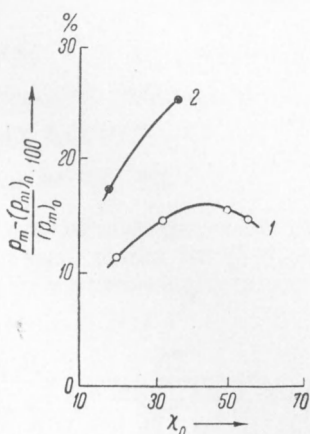


Рис. 3

Поступило
2 VII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. Roscoe, Phil. Mag., 21, 399 (1936). ² E. N. da C. Andrade, C. Henderson, Phil. Trans. Roy. Soc., A, 244, 177 (1951). ³ R. King, Nature, 169, 543 (1952). ⁴ А. П. Александров, С. Н. Журков, Явления хрупкого разрыва, Л., 1933.