

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МЕТАЛЛАХ

О. А. Троицкий

В настоящей работе изучалась пластическая деформация металлов под влиянием импульсов электрического тока. Подобные исследования представляют интерес как с точки зрения изучения электромеханического эффекта (влияние электронов на процессы размножения, движения и взаимодействия дислокаций), так и изучения скачкообразной деформации как одной из самых характерных форм проявления неоднородности пластического сдвига.

Для проведения экспериментов использовались монокристаллы чистого цинка (99,998% Zn) и легированного цинка ($2 \cdot 10^{-2}\%$ Cd), а также поликристаллические образцы цинка, кадмия, олова, свинца и индия с чистотой не хуже 99,99%. На концах образцов вваривались электрические контакты, соединенные с разрядным устройством. Испытания на растяжение и сжатие с постоянной скоростью 0,01 см/мин ($\sim 0,65\%$ мин⁻¹) проводились на машине Instron в изолированных зажимах. Точность определения нагрузок составляла 2 г. В опытах на растяжение использовались образцы длиной 15 мм и диаметром 1 мм. В опытах на сжатие — длиной 6 мм и диаметром 2,5 мм.

Использовались импульсы электрического тока длительностью $\sim 10^{-4}$ сек и величиной 600 – 1800 а в опытах на растяжение и до 4800 а в опытах на сжатие. Средний ток от импульса к импульсу не превышал 0,3 а. В условиях комнатных температур нагрев металла не превышал 12–16°. Для охлаждения образцов использовался жидкий азот.

На рис. 1 приведены характерные диаграммы растяжения монокристаллов цинка. После упругой области наблюдаются скачки деформации, возрастающие по своей величине с ростом напряжения на клеммах разрядного устройства (батарея электролитических конденсаторов). Направление деформационных скачков и их величина свидетельствуют о значительном приращении пластической деформации в момент прохождения импульса тока. Места на диаграмме с остановкой растяжения образца, но с продолжением подачи импульсов тока, после некоторой релаксации, показывают лишь небольшие нулевые скачки. Постепенное исчезновение пиков при остановке растяжения, подчиняющееся примерно экспоненци-

альному закону, и мгновенное их возобновление при продолжении растяжения образцов безусловно указывает на дислокационную природу обнаруженных пиков деформации.

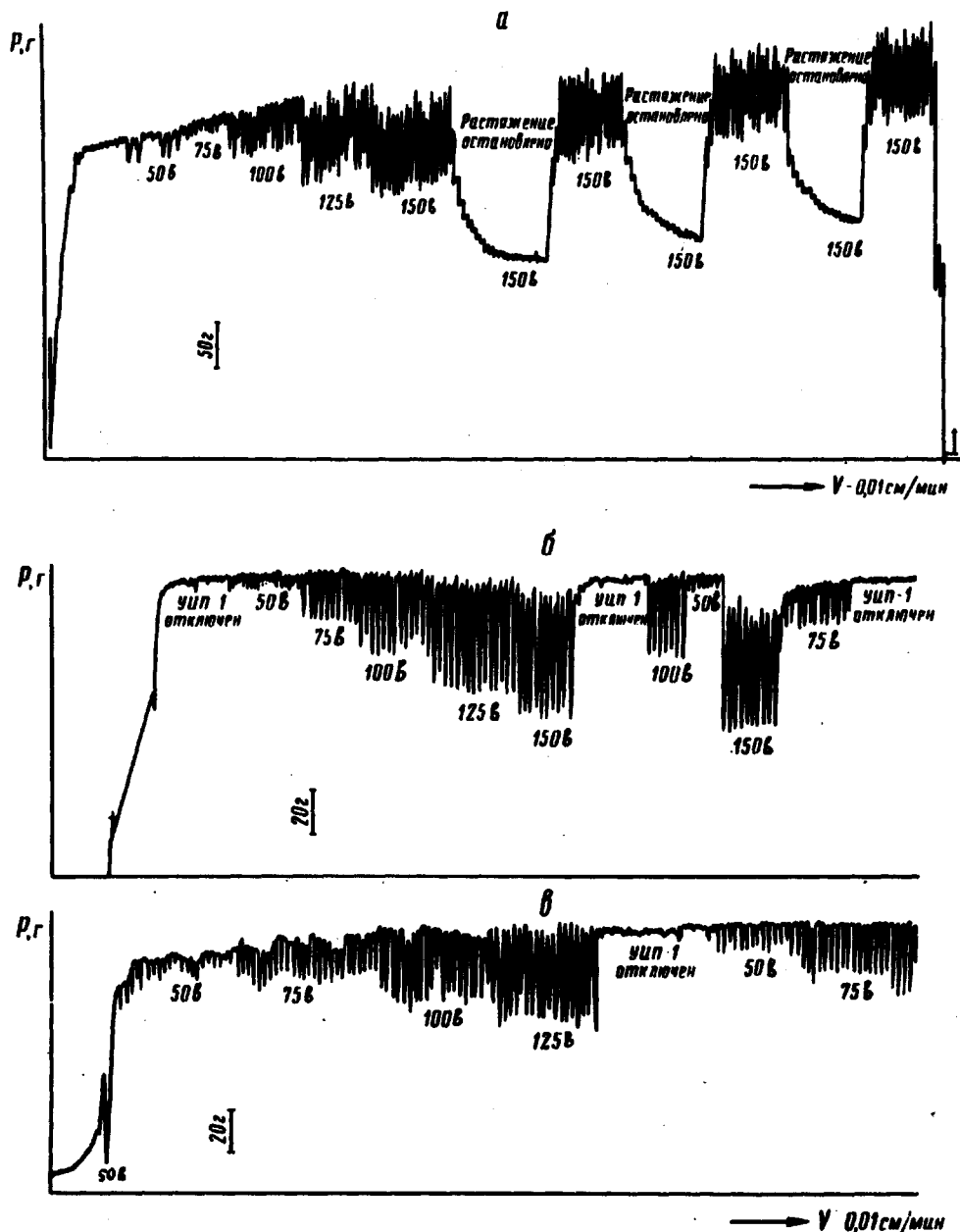


Рис. 1. Диаграммы растяжения монокристаллов цинка: $\alpha - \chi_0 = 26^\circ$, $\beta - \chi_0 = 80^\circ$ и $\epsilon - \chi_0 = 66^\circ$, испытанных при пропускании импульсного тока в условиях температур: $\alpha - 78^\circ\text{K}$ и $\beta, \epsilon - 300^\circ\text{K}$

Аномально большая величина пиков наблюдалась в районе предела текучести (рис. 1, ϵ). Этот факт, наряду с установленным специальными

опытами не влиянием импульсов тока на упругую часть кривой деформации, также свидетельствует о дислокационной природе обнаруженного явления.

При изучении влияния скорости деформации на величину деформационного скачка было отмечено убывание эффекта с увеличением скорости деформации. Наблюдения поверхности кристаллов цинка с помощью микроскопа не выявили существенных изменений в картине полос скольжения. Расстояние между полосами скольжения составляло 9 – 12 мк.

$U,$	Zn		Cd		Sn		Pb		In	
	$\Delta p, \tau$	$\Delta p/p, \%$	$\Delta p, \tau$	$\Delta p/p, \%$	$\Delta p, \tau$	$\Delta p/p, \%$	$\Delta p, \tau$	$\Delta p/p, \%$	$\Delta p, \tau$	$\Delta p/p, \%$
50	10–15	0,6	10–12	0,6	–	–	5–7	1	5–7	1,2
75	15–20	0,7	–	–	–	–	–	–	–	–
100	45–50	1,5	15–20	1	12–15	1,8	6–8	1,4	10–15	2
125	40–50	1,8	–	–	18–22	2	–	–	15–20	4
150	55–60	2	20–22	1,2	20–25	3	26–30	5	30–35	5
200	–	–	30–35	1,5	45–50	3,2	35–40	5,7	65–70	8

В таблице приведены значения деформационных скачков для поликристаллических образцов цинка, кадмия, свинца и индия в результате пропуска импульсов тока при температуре 78° К. Приведенные значения являются средними из 40 + 50 измерений. Наибольшую чувствительность к импульсному нагружению током проявили свинец и индий.

На рис. 2 приведена диаграмма деформации сжатием, из которой видно, что при сжатии, как и при растяжении, в момент пропуска импульса тока возникают деформационные скачки, направление которых свидетельствует о разгрузках кристалла за счет выхода на поверхность большого числа дислокаций. Величина деформационных скачков не изменилась при деформации образца в поле постоянного магнита напряженностью ~2000 э. Отсюда можно сделать вывод о том, что причиной скачков деформации не может быть магнитное давление на поверхность образца (пинч-эффект).

В опытах на растяжение монокристаллов цинка при силе тока 1800 а деформационные скачки имели величину 3 + 3,5 мк, а при силе тока 2400 а – 67 + 70 мк. В пересчете на действующий элемент скольжения <1120> (0001) это дает выход на поверхность кристалла $10^4 + 10^5$ дислокаций.

Согласно теоретической работе [1] условием передачи энергии от системы электронов на дислокации является превышение дрейфовой скорости электронов над фазовой скоростью упругих волн дислокаций.

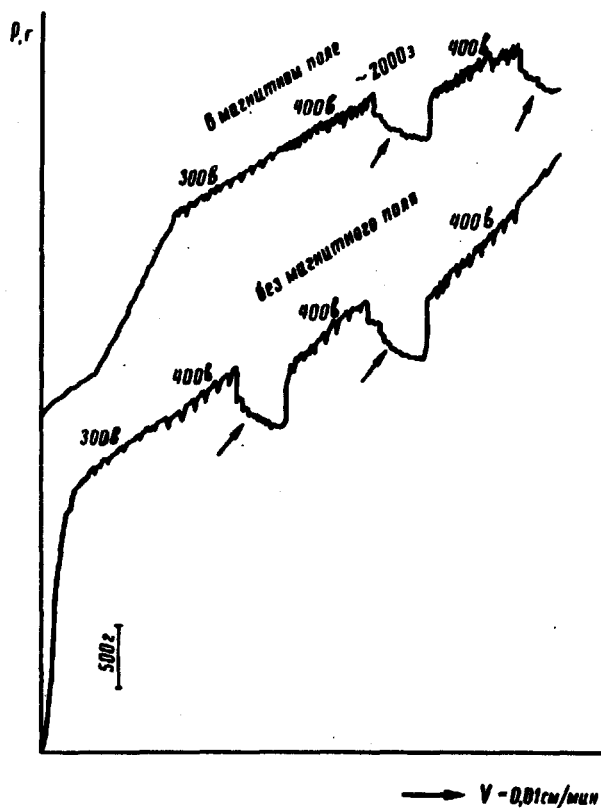


Рис. 2. Диаграммы сжатия монокристаллов цинка $\chi_0 = 45^\circ$, испытанных при пропускании импульсного тока в условиях температур 78°K . Стрелками указаны места остановки сжатия

При облучении кристаллов на ускорителе электронов это условие заведомо выполняется. В работе [2] были сделаны прямые наблюдения усиления пластических сдвигов в монокристаллах цинка при условии совпадения направления движения дислокаций с направлением инжектируемых с помощью ускорителя электронов. В случае свободных электронов в металле это условие не всегда выполняется. По оценкам дрейфовая скорость электронов в наших опытах при напряжении на клеммах разрядного устройства 50 в была равна $\bar{v} = 9,7 \cdot 10^8 \text{ см/сек}$, а при напряжении 400 в — $\sim 80 \text{ см/сек}$. По данным авторов [3] скорость движения базисных дислокаций в цинке составляет $10^2 - 10^3 \text{ см/сек}$. Следовательно, дрейфовая скорость электронов в лучшем случае совпадала с движущимися дислокациями. Возможно, взаимодействие электронов с упругими поля-

ми дислокаций приводило в движение заторможенные препятствиями дислокации, что облегчало работу источников дислокаций.

Автор выражает благодарность В.Я.Кравченко за обсуждение работы и ценные замечания.

Институт физики
твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 мая 1969г

Литература

- [1] В.Я.Кравченко. ЖЭТФ, 51, 1676, 1966.
 - [2] О.А.Троицкий. Радиационные эффекты изменения прочности и пластичности в монокристаллах цинка. М.,Изд."Наука" 1968.
 - [3] D.P.Pope, T.Vreeland, D.S.Wood. J. of Appl.Phys., 38, №10, 1967.
-