

О. А. ТРОИЦКИЙ, академик В. И. СПИЦЫН, Е. В. ГУСЕВ

ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДА ОБЛУЧАЕМЫХ ОБРАЗЦОВ НА РАДИАЦИОННУЮ ПОЛЗУЧЕСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ

Облучение электронами с энергией ниже порога выбивания атомов (0,5 Мэв для большинства металлов), примененное непосредственно во время деформации образцов, вызывает снижение сопротивления металла пластическому деформированию, что отражается в снижении критических скалывающих напряжений, уменьшении коэффициента упрочнения, увеличении скорости ползучести и релаксации приложенных напряжений⁽¹⁻³⁾.

В настоящей работе исследовалось влияние снятия заряда (токосъема) с деформируемых и облучаемых во время деформации металлических кристаллов на скорость радиационной ползучести образцов. Сравнивались результаты испытаний образцов со снятием заряда во время облучения (с токосъемом) и без снятия заряда (без токосъема), т. е. изолированных образцов. В такой постановке эксперимента косвенным методом исследовалось влияние концентрации свободных электронов на скорость ползучести металлических кристаллов. При снятии заряда (закороченная цепь) концентрация свободных электронов в облучаемых образцах близка к нормальной. В случае же облучения и деформации без токосъема (разомкнутая цепь) концентрация электронов выше нормальной.

Для проведения экспериментов использовались кристаллы свинца (99,998% Pb), цинка (99,998% Zn), индия (99,9995% In) и олова (99,9995% Sn) длиной 16—17 мм и диаметром 1 мм. Выбирались кристаллы с ориентацией в середине стандартного треугольника. На концах образцов наваривались головки для крепления их в зажимы испытательного устройства. К одной из головок приваривался поводок из медной проволоки диаметром 0,1 мм для снятия заряда во время облучения. Облучение и деформация осуществлялись в слабо проточном жидком азоте. Использовалась методика испытания образцов на ползучесть при постоянном приложенном напряжении. Нагрузка выбиралась несколько превышающей предел текучести при растяжении образцов. В случае цинка, олова, индия и свинца нагрузка составляла соответственно 150, 600, 200 и 400—600 г/мм². С помощью специального дистанционного устройства образцы нагружались плавно одновременно с началом облучения. Запись деформации проводилась с помощью самописца ЭИП-0,9. Электрический сигнал возникал от электромеханического преобразователя, установленного на испытательном устройстве. Точность определения деформаций составляла 0,2% от длины образца. Время опыта было равно 15 мин. Деформация кристаллов осуществлялась в текстолитовых зажимах.

Облучение образцов осуществлялось на ускорителе электронов. Испытательное устройство монтировалось непосредственно под выходным окном ускорителя. Энергия электронов, с учетом замедления их в жидком азоте и в тонких стенках камеры с образцом, составляла 0,5 Мэв, что было меньше порога выбивания атомов использованных металлов (Zn 0,7—0,8 Мэв; Sn и In 0,8—0,9 Мэв и Pb 1,1—1,2 Мэв соответственно) и вместе с тем обеспечивало объемное действие облучения. Ток луча ускорителя

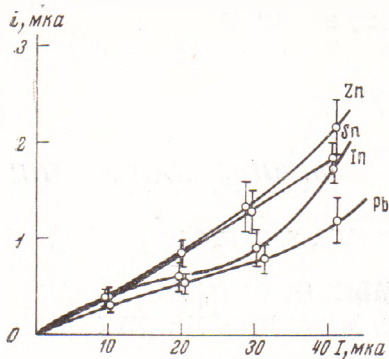


Рис. 1

Рис. 1. Зависимость тока i , снимаемого с образцов, от тока I луча ускорителя

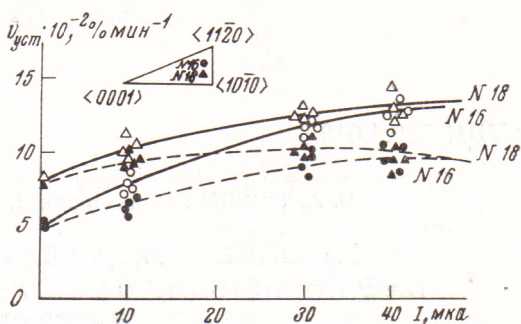


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость скорости установившейся ползучести облучаемых кристаллов цинка от тока луча ускорителя I для образцов с токосъемом (сплошные линии и светлые точки) и без токосъема (штриховые линии и темные точки)

был равен $I=10-40$ мка, чему отвечала плотность потока электронов $(1,5-6,0) \cdot 10^{13}$ эл/см²·сек. Образцы ориентировались под пучком электронов таким образом, что направление движения электронов совпадало с действующими элементами скольжения кристаллов. При этом могло увеличиться взаимодействие электронов с подвижными дислокациями. Перед опытом образцы отжигались и травились кислотами для удаления оксидной пленки.

Ток, стекающий с образцов, фиксировался с помощью микроамперметра. По мере растяжения образцов за счет уменьшения площади металла, попадаемой под облучение, ток с образцов несколько уменьшался, поэтому на графике рис. 1, где приведена зависимость тока i , снимаемого с образцов, от тока I луча ускорителя, ток показан интервалом значений.

Как показали специальные измерения с помощью приваренных к образцам хромель-копелевых термопар, температура образцов во время облучения не отличалась от температуры окружающего азота.

На рис. 2 приведена зависимость скорости установившейся ползучести кристаллов цинка от тока луча ускорителя I . Основными линиями показаны результаты испытания кристаллов с токосъемом во время облучения, а пунктирными — без токосъема. Приведенный график содержит результаты испытаний двух партий кристаллов (по 16—18 образцов в каждой партии) с ориентациями, указанными в середине стандартного треугольника. Как видно из приведенных данных, в результате токосъема скорость ползучести облучаемых образцов возрастает. Если без токосъема при интенсивности облучения $I=30-40$ мка имеет место насыщение радиационно-пластического эффекта, то при токосъеме насыщения практически не наблюдается.

Эффект влияния токосъема превышал разброс отдельных экспериментальных данных. С увеличением интенсивности облучения эффект возрастает примерно до 30%.

На рис. 3 приведены зависимости скоростей установившейся ползучести облучаемых кристаллов свинца с токосъемом и без токосъема от приложенных механических напряжений. Как видно, в результате снятия заряда во время облучения увеличивается скорость ползучести образцов. Что касается начальной неустановившейся ползучести, то в пределах разброса экспериментальных данных эффект отсутствовал. Не было отмечено также влияния снятия заряда с облучаемых образцов на критические ска-

рывающие напряжения, определяемые экстраполяцией кривых $\tau = f(a_k)$ до пересечения с осью абсцисс.

Аналогичные результаты были получены на кристаллах олова и индия.

Таким образом, из приведенных экспериментальных данных следует, что снятие заряда с облучаемых образцов оказывает влияние на установившуюся ползучесть металлических кристаллов. Начальная неустановившаяся ползучесть и критические скалывающие напряжения, вероятно, претерпевают также изменения, но использованная методика испытаний образцов не позволила установить в этом случае наличия эффекта. Касаясь объяснения полученных результатов, следует отметить, что при облучении электронами изолированных образцов возрастает концентрация свободных электронов в металле как за счет инжектируемых электронов, так и за счет вторичных электронов, появляющихся в результате многократной ионизации внутри твердого тела. Согласно теоретической работе (⁴), это может привести, в частности, к увеличению давления газа электронов и к понижению температуры электронного газа по сравнению с энергией Ферми.

Вместе с тем не исключено, что изменение электронного состояния поверхности образцов в этом опыте также отражается на радиационной ползучести образцов. Последующие эксперименты позволят уточнить этот вопрос.

Институт физической химии
Академии наук СССР
Москва

Поступило
18 III 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Спицын, О. А. Троицкий, П. Я. Глазунов, ДАН, т. 196, 814 (1971). ² О. А. Троицкий, В. И. Спицын, П. Я. Глазунов, ДАН, т. 206, 85 (1972). ³ О. А. Троицкий, В. И. Спицын и др., ДАН, т. 207, 834 (1972). ⁴ О. В. Богданкевич, А. А. Рухадзе, Письма ЖЭТФ, т. 13, 516 (1971).

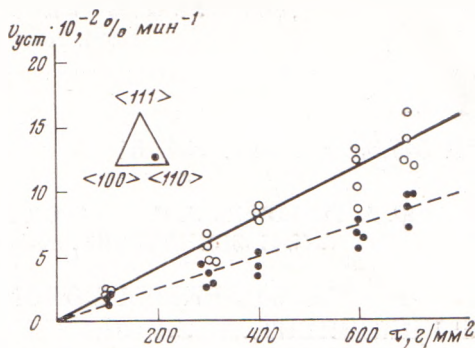


Рис. 3. Зависимость скорости установившейся ползучести облучаемых кристаллов свинца с токосъемом (сплошная линия и светлые точки) и без токосъема (штриховая линия и темные точки) от приложенных механических напряжений