

сообщения
Объединенного
Института
Ядерных
Исследований
Дубна

+

968/2-81

23/11-81

18-80-829

В.Д.Афанасьев, В.А.Альперт, Е.Д.Воробьев,
Ю.И.Гофман, И.И.Залобовский,
Д.Сенеш, И.И.Чкалов

РАЗУПРОЧНЕНИЕ АЛЮМИНИЯ
В ПРОЦЕССЕ ЕГО ОБЛУЧЕНИЯ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ИОНАМИ УГЛЕРОДА

1980

Исследование механических свойств металлов в процессе облучения в отличие от ставших уже традиционными методов изучения их свойств после облучения позволяет, в принципе, получать новую информацию о природе радиационных эффектов в металлах, что может быть связано как с влиянием быстропротекающих процессов /например, образованием неустойчивых френкелевских пар^{1/}, Т-вспышек^{2/}, генерацией ударных волн^{3/}/ так и особенностями радиационных эффектов при облучении материалов в нагруженном состоянии. В настоящее время в литературе имеются данные о механических свойствах металлов, полученные в основном при внутриреакторных испытаниях материалов на ползучесть^{4,5/}.

Наряду с этими данными большой интерес представляет изменение механических свойств металлов в процессе их облучения ускоренными тяжелыми ионами. Как следует из работы^{6/}, образование смещений в процессе облучения металла ионами углерода происходит со скоростью в 10^4 раз большей, чем при облучении нейтронами с энергией 1 МэВ. Кроме того, в экспериментах с тяжелыми ионами существенно облегчается контроль за физическими условиями их проведения.

Недавно были проведены эксперименты^{7/} по изучению влияния ионного облучения на процессы ползучести и разрушения алюминия, в которых было показано, что скорости этих процессов очень сильно возрастают под действием облучения.

В настоящей работе впервые исследуется изменение деформирующего напряжения в процессе облучения ионами растягиваемого с постоянной скоростью алюминиевого образца. Облучение проводилось на циклотроне У-300 в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Ионы ^{12}C , ускоренные до энергии 84 МэВ, через фольгу выходного фланца ионопровода выводились наружу и через диафрагму^{3/} попадали на растягиваемый образец^{4/}, если флажок^{2/} был в открытом положении. Ток ионов порядка 0,1 мкА измерялся коллектором^{5/}, калиброванным по цилиндру Фарадея. Длина пробега ионов была больше толщины образца. Температура образца, зависящая от тока ионов, измерялась медь-константановой термопарой и не превышала 120°C . Нагружение проводилось на дистанционно управляемой испытательной машине ЗМ-10 при скорости деформации $3 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Сигнал с динамометра^{6/}^{8/} через усилитель^{7/} подавался на цифровой вольтметр Ц-68000 и самопишущий потенциометр КСП-4^{8/}. Поликристаллические образцы из

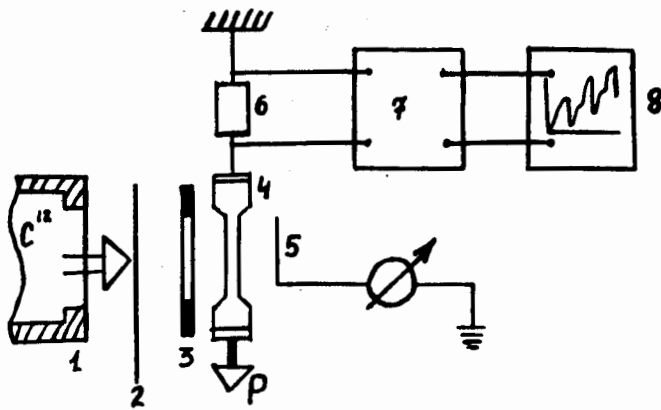


Рис.1. Схема экспериментальной установки для изучения механических свойств металлов при растяжении с постоянной скоростью в процессе облучения.

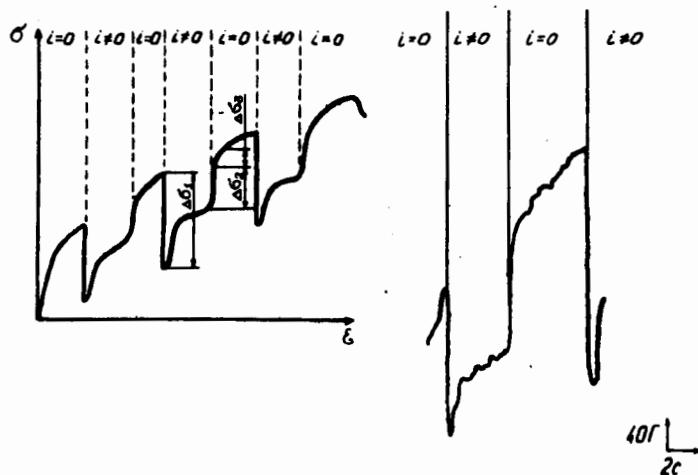


Рис.2. Типичный участок экспериментальной кривой растяжения при импульсном облучении. Слева - схематическое изображение записываемой во время эксперимента диаграммы растяжения: $\Delta\sigma_1$ и $\Delta\sigma_2$ - скачки напряжений в начальный и конечный моменты облучения; $\Delta\sigma_3$ - возврат напряжения, связанный с охлаждением образца после прекращения облучения.

алюминия чистотой 99,99% с размером рабочей части $15 \times 3 \times 0,08 \text{ мм}^3$ штамповались из прокатанных алюминиевых фольг и отжигались при температуре 300° в течение 1 ч.

На рис. 2 приведен типичный участок экспериментальной кривой. В начальный момент облучения наблюдается скачкообразное падение деформирующего напряжения $\Delta\sigma_1$. Поскольку при включении ионного тока образец резко нагревается, то наблюдаемый скачок $\Delta\sigma_1$ может быть связан как с радиационным, так и с тепловым эффектами. Затем за счет перемещения подвижной тяги выбирается удлинение, связанное с тепловым расширением, и записывается диаграмма растяжения образца во время облучения. В процессе облучения материал разупрочняется: его деформация происходит при меньшем напряжении и с меньшим упрочнением. При перекрытии пучка флажком наблюдается скачкообразное увеличение деформирующего напряжения $\Delta\sigma_2$. Так как время, необходимое для прекращения облучения, гораздо меньше времени охлаждения образца, то скачок напряжения в конечный момент облучения, вероятно, характеризует радиационный эффект, а последующее постепенное увеличение напряжения до уровня соответствующего началу скачка $\Delta\sigma_1$ /с учетом упрочнения при деформации под пучком/ - изменение деформирующего напряжения при охлаждении образца. Величина $\Delta\sigma_3$ находится в соответствии с данными об изменении предела текучести в зависимости от температуры $^{1/9}$, по которым это изменение составляет $\sim 10\%$ на 100°C . Величина радиационного эффекта составляет $\sim 50\%$ и зависит от интенсивности облучения, а также от приложенного внешнего напряжения и деформации образца.

Так как число стабильных дефектов в условиях эксперимента незначительно, а радиационные эффекты наблюдаются сразу же в начальный и конечный моменты облучения, то они, по-видимому, могут объясняться упомянутыми выше быстротекающими процессами. Существенную роль может играть также эффект динамического преференса $^{1/10}$. Дальнейшие эксперименты должны способствовать выяснению физических механизмов, ответственных за разупрочнение металлов в процессе облучения.

В заключение авторы благодарят академика Г.Н.Флерова и профессора Ю.Ц.Оганесяна за поддержку в постановке экспериментов и постоянное внимание к работе, профессора Ю.В.Конобева, В.С.Карасева и Г.С.Чудинова за участие в обсуждении экспериментальных результатов и ценные замечания, а также Л.Г.Соколову, Н.Н.Чернявскому и В.А.Скуратову за помощь в проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инденбом В.Л. Письма в ЖЭТФ, 1979, 5, с. 489.
2. Каганов М.И., Лифшиц И.М., Танатаров Л.В. АЭ, 1959, 6, с. 391.
3. Воловик В.Д., Калиниченко А.И., Лазурик-Эльцуфин В.Т. Проблемы ядерной физики и космических лучей. 1975, вып. 2, с. 100.
4. Ибрагимов Ш.Ш., Пятилетов Ю.С. Проблемы радиационной ползучести. Препринт ИЯФ, АН Каз.ССР, 1979, с. 5-79, Алма-Ата.
5. Чернов В.М., Веремеев А.М. Материалы научного семинара по радиационной физике металлов и сплавов. Изд-во ИФ ГрССР, Тбилиси, 1970.
6. Kulcinski G.L. In: Applikation of Ion Beams to Metals., Plenum Press, New York, 1974, p. 613.
7. Регель В.Р. и др. ОИЯИ, 18-12741, Дубна, 1979.
8. Пустовалов В.В. Методы изучения пластичности и прочности твердых тел при низких температурах. "Наукова думка", Киев, 1971.
9. Гиндин И.А., Неклюдов И.М. Физика программного упрочнения. "Наукова думка", Киев, 1979.
10. Березняк Л.А. и др. Вопросы атомной науки и техники, серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, 1979, вып. 2 /10/, с. 77.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 декабря 1980 года.