

Изучение поведения газов при отжиге облученных образцов горячепрессованного металлического бериллия

Т. М. ГУСЕВА, Е. Ф. ДАВИДОВ

УДК 669.721:620.17.539.104

При изучении поведения газов при отжиге облученного горячепрессованного металлического бериллия использовались образцы двух видов:

1. Специально изготовленные образцы из горячепрессованного бериллия, облученные в реакторе СМ-2 интегральным потоком быстрых нейтронов $2,0 \cdot 10^{21}$ нейтр/см². Теплоноситель — дистиллированная вода с температурой 50—70° С.

2. Образцы, изготовленные из горячепрессованного бериллиевого вкладыша, облученного в реакторе СМ-2 интегральным потоком быстрых нейтронов $1,0 \cdot 10^{22}$ нейтр/см². Изготовленные из вкладыша образцы были дополнительно облучены потоком быстрых нейтронов $\sim 1,5 \cdot 10^{22}$ нейтр/см². Температура теплоносителя при облучении составляла 50—70° С.

Результаты экспериментов

Ступенчатый изотермический отжиг образцов бериллия проводился в вакуумной установке, позволяющей изучать кинетику газовыделения, при температурах 400, 500 и 600° С по известной методике [1]. Результаты для образцов бериллия, облученных потоками $\sim 2,0 \times 10^{21}$ и $\sim 1,5 \cdot 10^{22}$ нейтр/см², приведены на рис. 1 и 2.

Изучались также изменения плотности, которая измерялась методом гидростатического взвешивания ССl₄ на 10—15 образцах после их отжига в течение 2 ч (см. таблицу).

Зависимость плотности образцов бериллия (г/см³) от температуры отжига

Нейтронный поток, нейтр/см ²	Температура отжига, °С				
	—	600	700	800	900
$2,0 \cdot 10^{21}$	1,80	1,80	1,76	1,64	1,19
$1,5 \cdot 10^{22}$	1,80	1,80	1,80	1,78	1,79

Обсуждение результатов

На рис. 3 приведена зависимость величины dV/dT от температуры с четкими максимумами темпа газовыделения, расположенными при температурах, близких к 500° С. Вся область заметного газовыделения растянута на 200—250° С. Существование таких максимумов естественно, поскольку надежно установлено [2—5], что в указанном интервале температур происходит возврат свойств и начинаются первые стадии рекристаллизации. Поэтому при отжиге облученного бериллия здесь происходит уничтожение газодержащих дефектов структуры, газ концентрируется на границах зерен и затем вытекает в вакуумное пространство экспериментальной установки через поры молекулярных размеров.

Для бериллия, облученного малой дозой, характерен процесс коагуляции газа, протекающий при более высоких температурах отжига, что хорошо проявляется

в изменениях плотности (см. таблицу) после отжига при $T > 700^\circ \text{C}$. Очевидно, в данном случае ход процесса распухания связан с высвобождением газа из ловушек на заключительных стадиях рекристаллизации и попаданием его в закрытые поры. Поскольку повышение температуры сопровождается существенным уменьшением прочности и увеличением пластичности материала, то увеличение давления газов приводит к распуханию бериллия.

Наибольший интерес вызывает отсутствие этой второй стадии у образцов, облученных высокой дозой

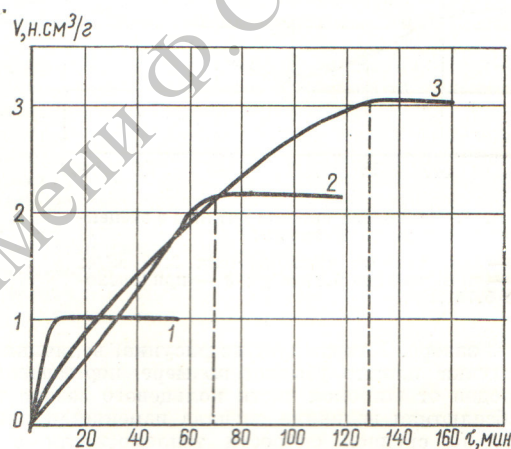


Рис. 1. Зависимости количества выделяющегося газа от времени отжига (образцы облучены потоком быстрых нейтронов $2,0 \cdot 10^{21}$ нейтр/см²):

1 — $T = 400^\circ \text{C}$; 2 — $T = 600^\circ \text{C}$; 3 — $T = 500^\circ \text{C}$.

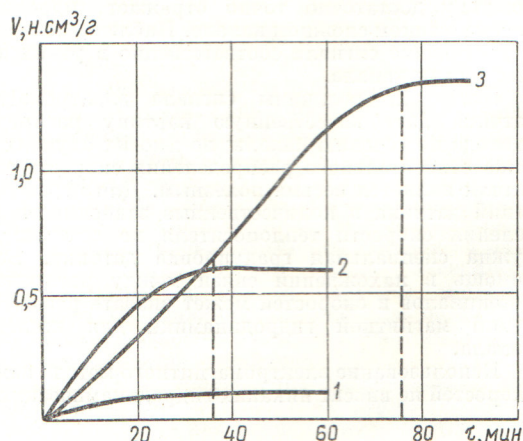


Рис. 2. Зависимости количества выделяющегося газа от времени отжига (образцы облучены потоком быстрых нейтронов $1,5 \cdot 10^{22}$ нейтр/см²):

1 — $T = 600^\circ \text{C}$; 2 — $T = 400^\circ \text{C}$; 3 — $T = 500^\circ \text{C}$.

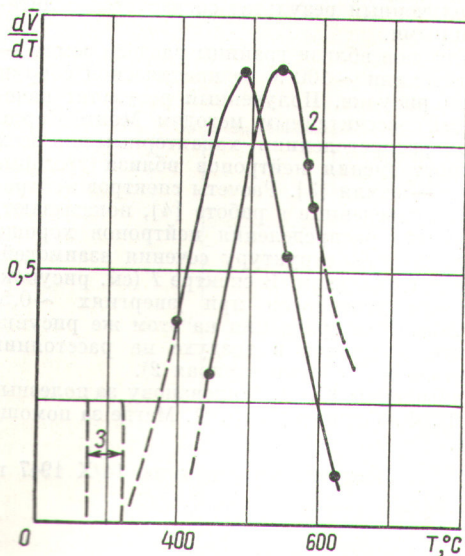


Рис. 3. Зависимость темпа газовыделения от температуры: 1 — поток быстрых нейтронов $2,0 \cdot 10^{21}$ нейтр/см²; 2 — поток быстрых нейтронов $1,5 \cdot 10^{22}$ нейтр/см²; 3 — первая область газовыделения при потоке $1,5 \cdot 10^{22}$ нейтр/см².

нейтронов. Их отжиг вплоть до 1000°C не вызывает изменения плотности. Это обстоятельство, а также то, что из сильно облученных образцов газ выходил еще и при температурах $200\text{--}250^\circ\text{C}$, позволяет сделать вывод о смещении обоих интервалов газовыделения в область более низких температур примерно на 300°C .

На основе модели ловушки подобное поведение газов может быть объяснено следующим образом. На начальных стадиях облучения атомы газа концентрируются преимущественно в ловушках больших размеров. По мере их заполнения возрастает вероятность захвата газа ловушками атомного уровня, имеющими более низкую температуру отжига. Таким образом, температурные интервалы выделения газа смещаются в сторону более низких температур, что приводит к уменьшению количества дефектов с высокими энергиями активации.

Представление об ограниченной емкости ловушек подтверждается также сопоставлением абсолютных количеств газа, выделившегося из обоих образцов. Хотя дозы облучения различаются на порядок, разница

между этими количествами сравнительно невелика. Это позволяет сделать вывод, что после заполнения всех имеющихся ловушек количество атомов газа в решетке бериллия при дальнейшем облучении не увеличивается, а вновь образующиеся атомы гелия удаляются в контур теплоносителя.

Указанные обстоятельства позволяют предположить еще и следующее. Поскольку при облучении в бериллии протекают два процесса — радиационное упрочнение и разупрочнение за счет образования гелия, то на начальных стадиях облучения материал будет упрочняться. Затем, когда влияние гелия начнет преобладать, будет происходить разупрочнение, и, наконец, когда процесс накопления гелия в решетке прекратится, а кривая упрочнения достигнет насыщения, механические свойства перестанут меняться.

То обстоятельство, что роль структурных ловушек является решающей в живучести бериллия, позволяет логично объяснить изменения свойств бериллия после облучения при температурах 100 и 350°C и отсутствие изменения их после облучения при 650°C [6] из-за выведения гелия из решетки еще в процессе облучения.

Изложенные выше результаты и экспериментальные данные работы [6] позволяют надеяться, что бериллий можно будет надежно использовать при $T > 600 \div 700^\circ\text{C}$ при сколь угодно больших дозах нейтронов, обеспечивая лишь отвод свободного гелия в контур, т. е. применяя негерметичные оболочки. Эксперименты и опыт эксплуатации показывают, что при температурах ниже $500\text{--}600^\circ\text{C}$ детали из бериллия должны периодически заменяться, причем тем чаще, чем ниже температура облучения.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность члену-корреспонденту АН СССР С. Т. Конобеевскому за участие в обсуждении приведенных результатов.

Поступило в Редакцию 27/X 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Ф. Давыдов и др. «Атомная энергия», 22, 501 (1967).
2. V. Scott, H. Lindsay. In book «Conf. intern metallurgie berillium (Grenoble, 1965)». Paris, 1966 p. 141.
3. I. Delaplace, T. Hillairet. Ibid., p. 213.
4. D. Blasley. Ibid., p. 129.
5. R. Danmas et al. Ibid., p. 405.
6. G. Walters. J. Gess-Common Metals, 11, 77 (1966)

Спектр нейтронов в воздухе от критической сборки $\text{U}^{235} + \text{Cu}$

В. А. ТЕРЕХИН, В. А. КРЫЖАНОВСКИЙ, В. Н. КОННОВ, Л. Б. ПОРЕЦКИЙ

УДК 539.125.52

Для целей дозиметрии представляет интерес спектр нейтронов, прошедших через воздух вблизи границы раздела земля — воздух.

Изучению пространственно-энергетических распределений нейтронов в воздухе посвящена, например, работа [1].

В данной работе источником нейтронов служила поднятая на высоту ~ 7 м критическая сборка из U^{235} , окруженная медной оболочкой толщиной ~ 11 см. Спектр нейтронов измерялся на расстоянии ~ 100 м от источника на высоте ~ 3 м от земли однокристалльным

сцинтилляционным спектрометром с дискриминацией γ -квантов по времени высвечивания, выполненной по схеме Брукса [2]. Порог спектрометра составлял ~ 200 кэв при степени дискриминации γ -квантов $\sim 10\text{--}3$. Спектрометр работал без искажений нейтронного спектра до интегральной загрузки $\sim 3 \cdot 10^3$ имп/сек.

Обработка аппаратурных спектров велась в соответствии с методикой, описанной в работе [1]. В области энергий $\leq 0,5$ Мэв приборный спектр исправлялся на потери счета, связанные со статистическими процессами в сцинтилляционных счетчиках.