

Рис. 2. Ослабление потоков сверхбыстрых нейтронов ( $E > 20$  Мэв):

○, □ — в пустом канале (прямое и обратное магнитные поля соответственно); ●, ■ — в заполненном канале (прямое и обратное магнитные поля соответственно); 1 — расчет, прямое поле,  $\theta_0 = 40^\circ$ ; 2 — расчет, обратное поле,  $\theta_0 = 30^\circ$ ; 3 — данные работы [1].

## Влияние облучения на электросопротивление сплава урана с цирконием и ниобием

В. М. РАЕЦКИЙ, А. Я. ЗАВГОРОДНИЙ, Л. И. ГОМЗОВ

Исследования проводились на сплаве урана с 8 ат. % циркония и 12 ат. % ниобия, имеющем более высокую равновесную температуру перехода в  $\gamma$ -состояние ( $660^\circ\text{C}$ ), чем сплав урана с 20 ат. % молибдена [1, 2]. Образцы представляли собой прутки размером  $1,1 \times 1,1 \times 65$  мм. Перед облучением они подвергались гомогенизирующему отжигу при температуре  $1100^\circ\text{C}$  в течение 24 ч и закаливались в воду с  $800^\circ\text{C}$ . После этой термообработки сплав имел гомогенную структуру тетрагонально искаженной  $\gamma$ -фазы [3].

Для облучения образцы помещали в ампулы и заливали свинец-оловянистым припоем (температура плавления  $183^\circ\text{C}$ ) при температуре  $200^\circ\text{C}$ . Облучение проводилось в реакторе СМ-2 до интегрального потока  $\Phi_1 = 3 \cdot 10^{19}$  тепл.нейтр/см<sup>2</sup> при температуре  $70^\circ\text{C}$  и до  $\Phi_2 = 9 \cdot 10^{20}$  тепл.нейтр/см<sup>2</sup> при  $200^\circ\text{C}$ .

После облучения образцы выплавлялись из ампул на специальном дистанционном устройстве. Температура образцов в процессе извлечения не превышала

вую поверхность заполненного канала;  $F_{\text{пр}}$  — составляющая, обусловленная нерассеянным излучением «прямой видимости».

Было получено

$$F_{\text{нат}} = a \frac{\Phi_2(x) - \Phi_1(x)}{\Phi_2^{\text{макс}} - \Phi_1^{\text{мин}}} e^{-\frac{x}{\lambda_{in}}}, \quad (2)$$

$$F_{\text{пр}} = b \int_{\Phi_1(x)}^{\Phi_2(x)} \frac{e^{-\frac{\theta(\varphi)}{\theta_0}}}{R^2(\varphi, x)} d\varphi, \quad (3)$$

где  $e^{-\frac{\theta(\varphi)}{\theta_0}}$  — функция углового распределения сверхбыстрых нейтронов; величины  $\theta(\varphi)$ ,  $x$ ,  $\Phi_1(x)$ ,  $\Phi_2(x)$ ,  $R$  определяются согласно схеме, представленной на рис. 1, Б;  $\lambda_{in}$  — длина неупругого взаимодействия; для железа принято  $\lambda_{in} = 17,4$  см;  $a$ ,  $b$  — нормировочные коэффициенты.

Сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов по формуле (1) приведено на рис. 2. Из рисунка видно, что расчет удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными, несмотря на существенные упрощения в формулах для расчетов. Разные значения свободного параметра  $\theta_0$  для случаев прямого и обратного полей обусловлены тем, что в расчетах не учитывалась неравномерность расположения источников нейтронов вдоль орбиты протонов. Однако следует отметить, что интервал углов  $20-40^\circ$  для значения параметра согласуется, например, с расчетными данными работы [2], где, в частности, приводится функция углового распределения сверхбыстрых нейтронов при неупругом взаимодействии протонов с ядрами.

Поступило в Редакцию 13/II 1970 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. A. Rindi, T. Tardy-Joubert. Industr. Atomiques, No. 3/4 (1967).
2. N. Metropolis et al. Phys. Rev., 110, 185 (1958).

УДК 621.039.55:621.039.542.32

$260^\circ\text{C}$ , причем они находились при этой температуре не более 5 мин. В контрольных экспериментах выдержка необлученных образцов при температуре  $300^\circ\text{C}$  в течение 1 ч не вызвала изменений электросопротивления и его температурной зависимости.

Измерение электросопротивления выполнялось потенциометрическим методом в интервале температур от  $-196$  до  $+100^\circ\text{C}$  [4]. Точность измерения определялась точностью изготовления образцов и составляла  $\sim 2\%$ .

В результате облучения средний температурный коэффициент электросопротивления, определяемый по наклону линий на рис. 1 и 2 в интервале температур от  $-196$  до  $+100^\circ\text{C}$ , для сплава урана с цирконием и ниобием (отрицательный для исходного состояния сплава) возрастает (см. рис. 1, а). После облучения потоком  $\Phi_2$  он становится положительным. При этом величина удельного электросопротивления, найденная при температуре  $-196^\circ\text{C}$ , уменьшается, а при

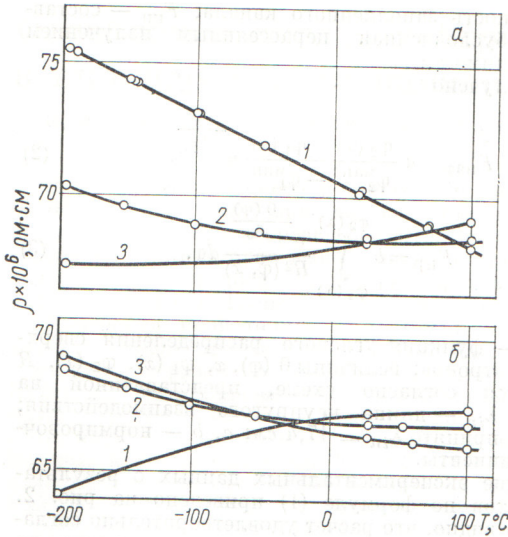


Рис. 1. Температурная зависимость удельного электросопротивления сплава урана с 8 ат.% циркония и 12 ат.% ниобия (а) и урана с 9 вес.% молибдена (б) до (1) и после облучения потоками  $3 \cdot 10^{19}$  (2) и  $9 \cdot 10^{20}$  тепл.нейтр/см<sup>2</sup> (3).

+100°С — увеличивается с дозой облучения. Средний температурный коэффициент электросопротивления сплава урана с 9 вес.% молибдена (см. рис. 1, б), находившегося в частично распавшемся состоянии и использовавшегося при облучении в качестве «свидетеля», наоборот, уменьшается в результате облучения. Уже после облучения потоком  $\Phi_1$  он становится отрицательным, что согласуется с опубликованными данными [5—7] и свидетельствует о гомогенизации этого сплава при облучении.

Изменение температурной зависимости электросопротивления в результате изменения фазового состояния необлученного сплава урана с цирконием и ниобием определялось на образцах, охлажденных из гомогенного состояния ( $T = 800^\circ\text{C}$ ) со скоростью  $\sim 300$  (закалка в воду);  $\sim 3$  и  $0,1$  град/сек, а также на образцах, отожженных при  $500^\circ\text{C}$  в течение 140 ч. Закалка в воде давала гомогенное состояние, отжиг при  $500^\circ\text{C}$  — равновесное гетерогенное состояние. В двух других случаях были получены промежуточные степени распада сплава. Средний температурный коэффициент сплава (см. рис. 2) увеличивается с уменьшением скорости охлаждения. Наибольшего значения он достигает после отжига при  $500^\circ\text{C}$ .

Из сравнения результатов по изменению среднего температурного коэффициента электросопротивления при термическом распаде и при облучении следует, что

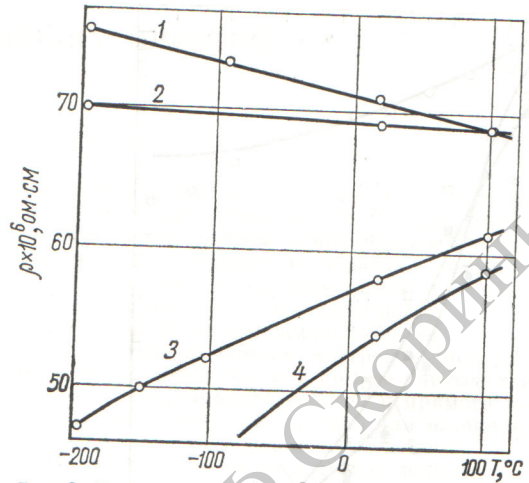


Рис. 2. Температурная зависимость удельного электросопротивления необлученного сплава урана с 8 ат.% циркония и 12 ат.% ниобия: охлаждение из гомогенного состояния со скоростью  $\sim 300$  (1);  $\sim 3$  (2) и  $0,1$  град/сек (3); отжиг при  $500^\circ\text{C}$  в течение 140 ч (4).

сплав урана с 8 ат.% циркония и 12 ат.% ниобия распадается при облучении.

Распад гомогенного сплава урана с цирконием и ниобием свидетельствует о том, что акты деления урана могут способствовать не только гомогенизации, но и зарождению центров распада и ускоренному распаду нестабильных сплавов.

Авторы благодарны С. Т. Конобеевскому за дискуссию и внимание к работе, а также В. С. Сандакову и Л. М. Киселеву за помощь в проведении экспериментов.

Поступило в Редакцию 12/III 1969 г.  
В окончательной редакции 26/VI 1970 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. О. С. Иванов и др. В сб. «Тр. Ин-та металлургии им. А. А. Байкова АН СССР». М., Госатомиздат, 1961, стр. 107.
2. О. С. Иванов. Там же, стр. 48.
3. О. С. Иванов, Л. И. Гомозов. Там же, стр. 93.
4. V. Raetsky. J. Nucl. Mater., 21, 105 (1967).
5. С. Т. Конобеевский. «Атомная энергия», 1, 63 (1956).
6. M. Bleiberg et al. J. Appl. Phys., 27, 1270 (1956).
7. С. Т. Конобеевский. Действие облучения на материалы. М., Атомиздат, 1967.