

Рис. 4. Зависимость коэффициента распределения от отношения плотностей фаз растворителя: □ — Na²⁴ (при облучении алюминия); ● — Со⁵⁹ и частично Fe⁵⁹ (при облучении углеродистой стали); × — Fe, данные работы [2] (монокристалл при отсутствии облучения); ■ — Fe, данные настоящей работы (монокристалл при отсутствии облучения); △ — Cu, данные настоящей работы (монокристалл при отсутствии облучения); ○ — Со, данные работы [1] (монокристалл при отсутствии облучения).

такими же, как и для продуктов коррозии перлитных сталей. Для подтверждения этого вывода на рис. 4 приведены также результаты опытов настоящей работы для монокристаллов окислов меди и железа в отсутствие нейтронного облучения.

Опыты по железу проводились в барботажной колонке, внутри которой находились устройства из меди, исключающие возможность попадания продуктов коррозии самого корпуса установки (нержавеющая сталь) в водяную и паровую фазы. Из сопо-

ставления данных (см. рис. 4) видно, что коэффициенты распределения продуктов коррозии тяжелых металлов практически совпадают между собой, что объясняется одинаковыми физико-химическими свойствами Fe, Со, Ni, Cu, Mn и Cr. Определяющими характеристиками являются, по-видимому, радиусы молекул и ионов, так как им пропорционально координационное число [6] или показатель степени n . Для электролитов, когда в пар переходят преимущественно ионы, n зависит от произведения радиусов ионов [7]. В случае же малодиссоциированных молекул гидратированных окислов тяжелых металлов определяющим свойством будут радиусы молекул. Радиусы атомов указанных элементов и, следовательно, радиусы молекул их гидратов почти одинаковы. Одинаковыми должны быть и координационные числа. Поэтому коэффициенты распределения гидроксидов Fe, Со и Cu характеризуются одной зависимостью с $n = 0,84$. Следовательно, переход продуктов коррозии в пар по сравнению с другими веществами, содержащимися в воде реакторов, значителен, причем не только при сверхвысоких, но и при средних давлениях (см. рис. 4). При этом не сказывается влияние потока нейтронов, что позволяет в случае кипящих реакторов пользоваться данными, полученными в условиях отсутствия облучения.

Поступило в Редакцию 12/III 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Стырикович, О. И. Мартынова, «Атомная энергия», 15, 214 (1963).
2. А. М. Грязев и др. В сб. «Водоподготовка и внутрикотловые процессы». Под ред. Т. Х. Маргуловой. Вып. 3. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963, стр. 33.
3. И. Х. Хайбуллин. «Энергомашиностроение», № 5 (1964).
4. В. И. Поликарпов и др. Контроль герметичности тепловыделяющих элементов. М., Госатомиздат, 1962.
5. Э. У. Крамер. Ядерные реакторы с кипящей водой. М., Изд-во иностр. лит., 1960.
6. О. Я. Самойлов. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М., Изд-во АН СССР, 1957.
7. Д. Г. Цхвирашвили, В. Д. Гоциридзе. «Труды Института Энергетики АН ГрузССР», XVIII, 239 (1963).

Влияние нейтронного излучения на электросопротивление карбидов титана и хрома

М. С. КОВАЛЬЧЕНКО, В. В. ОГОРОДНИКОВ

УДК 621.039.553

К настоящему времени накоплен значительный материал по действию нейтронного облучения на металлы [1]. Вскрыты интересные механизмы возникновения различных дефектов [2—4], радиационного и послерадиационного отжига металлов [5—9]. Однако действие излучения на соединения изучено в меньшей степени.

Ниже приведены результаты исследования действия нейтронного облучения на электросопротивле-

ние карбидов титана и хрома. Эти соединения характеризуются металлической проводимостью и положительным коэффициентом температурной зависимости электросопротивления [10, 11].

Цилиндрические образцы карбидов TiC и Cr₇C₃ (диаметр образца 8 мм, длина 10—15 мм) получали горячим прессованием в течение 5 мин в графитовых пресс-формах при давлении 120 кг/см² и температурах, составляющих приблизительно 0,85 T_{пл} [12]. Оста-

точная пористость составляла 5—15%. Образцы облучались в изотопном канале реактора ВВР-М АН УССР при температуре 100°С; доза облучения была равна 10^{16} и 10^{20} нейтр/см² (для карбида титана) и 10^{18} и 10^{20} нейтр/см² (для карбида хрома). Доля быстрых нейтронов была примерно на порядок меньше.

Электропроводность при комнатной и повышенной температурах измерялось на специальной установке с обычной потенциометрической схемой. Влияние пористости образцов устранялось по известной методике [13]. Облученные образцы обжигали в течение 1 ч в трубчатой печи в среде аргона при температурах 400—1200°С (температура изменялась через каждые 200°С).

Печь и установка для измерения электропроводности были помещены в защитную камеру типа 2КЗ, поэтому все операции и измерения проводились дистанционно.

Исследование показало, что нейтронное облучение существенно увеличивает электропроводность карбидов. Для Cr₇C₃ это увеличение составляло 35 и 60% при дозах 10^{18} и 10^{20} нейтр/см² соответственно. Электропроводность карбида титана изменилось в меньшей степени: 19 и 23% для тех же доз и 14% для дозы 10^{16} нейтр/см². Электропроводность до и после облучения измеряли при комнатной температуре на пяти — десяти образцах. Изменение электропроводности каждого образца определяли с точностью ±3%. Разброс данных для различных образцов составлял ±15%. Полученные усредненные результаты приведены в таблице.

Электропроводность измерялось в процессе нагрева приблизительно через каждые 100°С, а затем при постоянной температуре через каждые 5 мин. Как видно из графиков рис. 1, отжиг при 600 и 800°С не приводит к заметному изменению электропроводности. Температурная зависимость электропроводности Cr₇C₃ после облучения в области низких температур оказывается линейной.

Температурный коэффициент электропроводности для двух рассмотренных образцов равен $1,05 \times 10^{-3}$ и $0,82 \cdot 10^{-3}$ град⁻¹ соответственно.

Возврат электропроводности карбида хрома, облученного дозой 10^{18} нейтр/см², начинается с 1000°С,

Влияние нейтронного облучения на электропроводность карбидов хрома и титана

Материал	Электропроводность до облучения, мком·см	Интегральный поток, нейтр/см ²	Электропроводность после облучения, мком·см	Увеличение электропроводности, %
Cr ₇ C ₃	110	10 ¹⁸	148	35
		10 ²⁰	175	60
TiC	52	10 ¹⁶	60	14
		10 ²⁰	64	23

а облученного дозой 10^{20} нейтр/см² — уже с 600°С, причем слабо выраженное уменьшение электропроводности наблюдается даже при 400°С (рис. 2).

Для карбида титана возврат электропроводности начинается при 1000°С. Несмотря на сравнительно высокую температуру отжига, возврат электропроводности у облученных карбидов титана и хрома происходит не полностью, что видно из кривых рис. 2.

Результаты исследования показали, что карбид титана, имеющий кубическую решетку типа NaCl, более устойчив к действию нейтронного облучения, чем карбид хрома, у которого период гексагональной решетки по оси *a* более чем в три раза превышает период по оси *c*. Эти данные являются дополнительным подтверждением известного факта: чем более симметрична и плотнее упакована структура, тем большей устойчивостью к действию облучения она обладает.

Из сравнения температурного коэффициента электропроводности для облученного карбида хрома (10^{18} нейтр/см²) с данными для необлученного материала [14] видно, что рассматриваемый коэффициент либо не зависит от облучения, либо несколько уменьшается. Во всяком случае полученные результаты отличаются от данных, приведенных в работе [14] для карбида титана, где отмечалось увеличение температурного коэффициента электропроводности TiC после облучения дозой 10^{18} нейтр/см². Возможно, что указанное отличие связано с различной кристаллической структурой соединений.

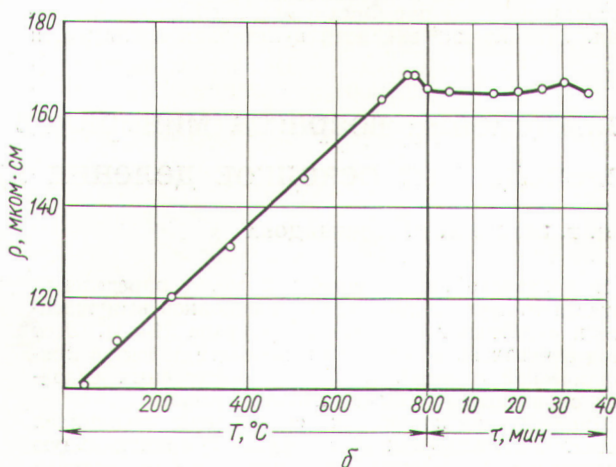
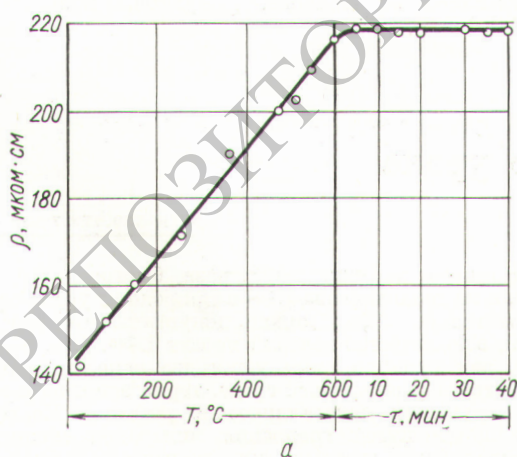


Рис. 1. Температурная зависимость электропроводности ρ карбида хрома, облученного дозой 10^{18} нейтр/см², при нагревании образца:
а — до 600°С; б — до 800°С.

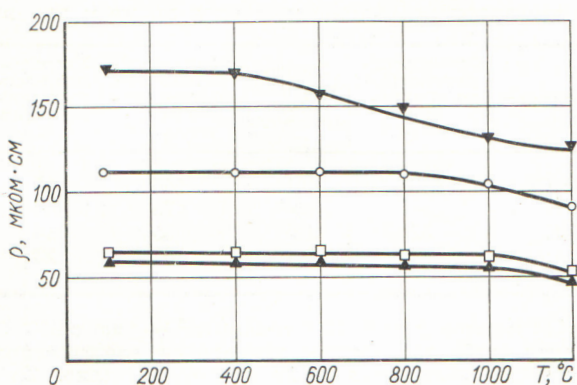


Рис. 2. Влияние температуры изохронного отжига на электросопротивление облученных карбидов:

▲ — TiC, доза облучения 10^{16} нейтр/см²; □ — TiC, 10^{20} нейтр/см²; ○ — Sr₇C₃, 10^{18} нейтр/см²; ▼ — Sr₇C₃, 10^{20} нейтр/см².

Выдержка карбида хрома, облученного дозой 10^{18} нейтр/см², при температурах 600 и 800° С не приводит к восстановлению электросопротивления, что согласуется с данными по изохронному отжигу.

Исследование зазачивания радиационных дефектов при изохронном отжиге показало, что радиационные дефекты в карбиде титана обладают большей термической устойчивостью по сравнению с карбидом хрома. Это связано с тем, что температура плавления TiC (3147° С) выше, чем Sr₇C₃ (1660° С). Существенное восстановление электросопротивления Sr₇O₃, облученного дозой 10^{20} нейтр/см², начинается с 600° С, а при 400° С наблюдается лишь тенденция к уменьшению электросопротивления.

Исходя из данных по зазачиванию радиационных дефектов в металлах [15] и графите [16], можно предположить, что точечные дефекты, особенно вакансии, возникшие в TiC и Sr₇C₃ во время облучения, довольно устойчивы. Межузельные атомы частично отжигаются в процессе облучения в результате рекомбинации слабо диссоциированных пар Френкеля и поглощения ловушками. Зазачивание вакансий в металлах наблюдается

при $T \approx 0,3T_{пл}$ (°К). В исследованных карбидах (см. рис. 2) зазачивание дефектов происходит при более высоких температурах. Образовавшиеся при облучении скопления вакансий и межузельных атомов ликвидированы в результате процесса самодиффузии при температурах, превышающих $0,4T_{пл}$ (°К).

Поступило в Редакцию 12/V 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Seeger. Phys. Verhandl. DPG, 4, 401 (1964).
2. R. Jan. Phys. Stat. Sol., 6, 925 (1964); 7, 299 (1964); 8, 331 (1965).
3. G. Leibfried. J. Appl. Phys., 30, 1388 (1959).
4. M. Thompson. Rend. Sc. internaz. fis. «Enrico Fermi», 1960, vol. 18, N.Y.—Lond., 1962, p. 169.
5. K. Sizman. Res. Group U.K. Atomic Energy Author., NAERE-R4694, 41, 1964.
6. G. Lück, K. Sizman. Phys. Stat. Sol., 6, 263 (1964).
7. K. Dettmann, G. Leibfried. Res. Group U.K. Atomic Energy Author., NAERE-R4694, 39, 1964.
8. W. Frank et al. Phys. Stat. Sol., 8, 345 (1965).
9. A. Damask. Rend. Sc. internaz. fis. «Enrico Fermi», 1960, vol. 18, N.Y.—Lond., 1962, p. 555.
10. Г. В. Самсонов, Я. С. Уманский. Твердые соединения тугоплавких металлов. М., Metallurgizdat, 1957.
11. С. Н. Львов и др. «Физ. металлов и металловедение», 11, 143 (1961).
12. Г. В. Самсонов, М. С. Ковальченко. Горячее прессование. Киев, Гостехиздат УССР, 1962.
13. В. В. Огородников, И. М. Федорченко, А. И. Райченко. «Докл. АН УССР», № 12, 1603 (1960).
14. И. Д. Конозенко, В. С. Нешпор. «Порошковая металлургия», № 1, 60 (1965).
15. Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. М., Изд-во иностр. лит., 1962.
16. Дж. Вильямсон. Графит в ядерных реакторах. Сборник докладов на симпозиуме в Институте металлов в Лондоне. Харьков, Изд-во ФТИ АН УССР, 1962.

Определение возраста минералов по следам от осколков деления ядер урана

И. Г. БЕРЗИНА, П. Г. ДЕМИДОВА

УДК 539.173.7:539.173.4

В последние годы разработан метод определения возраста минералов по следам от осколков вынужденного и спонтанного деления ядер урана [1—3]. Этот метод основан на выявлении и подсчете дефектов кристаллической решетки минерала, вызываемых осколками спонтанного и вынужденного деления.

Присутствие кларковых содержаний делящихся элементов в минералах обеспечивает принципиальную возможность выявления самопроизвольного распада этих элементов по следам от осколков деления, которые наблюдаются на поверхностях сколов исследуемых образцов. Поскольку ядро U²³⁸ распадается путем

спонтанного деления в 23 раза быстрее, чем ядро U²³⁵, а на долю изотопа U²³⁵ в природном уране приходится только 0,7%, можно допустить, что основной вклад в количество делений вносит U²³⁸. При делении U²³⁸, как правило, образуется два осколка, которые движутся в окружающей среде, теряя энергию и вызывая нарушения кристаллической решетки. Последние выявляются путем травления минералов специально подобранными химическими реагентами, благодаря чему первоначальные дефекты кристаллической решетки приобретают вид каналов, сечение которых увеличивается в зависимости от времени травления. Если