

его температура плавления ($15,8^{\circ}\text{C}$) и показано, что наиболее подходящим конструкционным материалом для индий-галлиевых радиационных контуров является титан ВТ1-1.

Другим γ -носителем для радиационных контуров служит индий-галлий-оловянный сплав, данные о котором в настоящее время не являются достаточно полными.

В одной из работ была определена концентрация индия в тройном эвтектическом сплаве, в точности соответствующая эвтектической концентрации индия в бинарном индий-галлиевом сплаве ($20,5$ вес. %). Но эта работа была посвящена отысканию подходящего наполнителя для высокотемпературных термометров, и в ней не проводились исследования, необходимые для формулировки требований к γ -носителям.

Низкая температура плавления эвтектического тройного индий-галлий-оловянного сплава ($9,6^{\circ}\text{C}$) не дает этому γ -носителю значительных преимуществ перед двойным сплавом индия и галлия, так как опыт эксплуатации радиационных контуров РК-Л [1] и РК-П [1, 4] показал, что практически в циркуляционных установках могут использоваться γ -носители с температурой плавления $\sim 20^{\circ}\text{C}$. К тому же, как уже отмечалось, температура плавления бинарного индий-галлиевого сплава эвтектической концентрации составляет $15,8^{\circ}\text{C}$, но из-за его склонности к весьма устойчивому переохлаждению он может циркулировать по коммуникациям контура даже при 13°C .

Естественно, что более рациональный подход к выбору γ -носителя связан с необходимостью определения температурной зависимости растворимости индия в тройной системе сплавов, а это требует подробного изучения диаграммы состояния этой системы.

Если учитывать содержание индия в γ -носителе, то большего внимания, чем система индий — галлий — олово, заслуживает система индий — галлий — цинк, эвтектическую концентрацию которой составляют 29 вес. % индия, 67 вес. % галлия и 4 вес. % цинка; температура плавления такой эвтектики 13°C [8]. Эта система сплавов, аналогичная системе индий — галлий — олово, мало изучена и требует соответствующих исследований для решения вопроса о возможности ее использования как γ -носителя. Следует отметить, что выбор жидких сплавов эвтектического состава в качестве рабочего вещества для радиационных циркуляционных установок объясняется тем, что у эвтектических сплавов самая низкая температура кристаллизации. Другими преимуществами как γ -носители эти сплавы не обладают. Так, из работы [9] следует, что в общем случае эвтектическая точка на изотермах вязкости не проявляется как особая, и только лишь в частных случаях минимум изотерм может соответствовать концентрациям, близким к эвтектическим.

Таким образом, выбор γ -носителя среди жидкометаллических систем не должен быть обязательно связан со сплавами эвтектического состава. В каждом отдельном случае, исходя из диаграммы состояния системы, следует выбирать такой сплав, в котором оптимально сочетаются температура кристаллизации и количество основного активируемого элемента. Стабильность жидкометаллических γ -носителей неэвтектического состава в процессе их циркуляции по коммуникациям контура будет обеспечена при $t^{\circ} \geq t_{\text{лиг}}^*$ и совместности жидкого сплава с конструкционным материалом установки.

Вопросы стабильности γ -носителей в связи с выгоранием индия в процессе работы радиационных контуров подробно обсуждались ранее [10].

Поступило в Редакцию 12/III 1966 г.
В окончательной редакции 23/V 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сводный доклад СССР на Зальцбургской конференции по промышленному использованию больших источников радиации. Industrial uses of large radiation sources. Vol. 2. Vienna, IAEA, 1963.
2. Э. Л. Андроникашвили. Основные направления исследовательской работы на реакторе ИРТ-2000 ИФ АН ГрузССР. Reprinted from a Symposium on Programming and utilisation of research Reactors, held in Vienna, October 16—21, 1961. Lond. — N.Y., Republished by Academic Press, 1961.
3. Э. Л. Андроникашвили и др. «Атомная энергия», 13, 21 (1962).
4. Г. И. Кикнадзе и др. «Атомная энергия», 19, 176 (1965).
5. Дж. Стюарт, П. Цвейфел. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958». Избр. докл. иностранных ученых. Т. 2. М., Атомиздат, 1959, стр. 600.
6. Г. И. Кикнадзе и др. «Атомная энергия», 19, 177 (1965).
7. Г. И. Кикнадзе и др. «Атомная энергия», 19, 178 (1965).
8. H. Spengler. L. Mettalkunde, 6, 464 (1955).
9. Л. И. Гвоздева. О физических свойствах и строении расплавов эвтектических систем. Автореферат кандидатской диссертации, 1965.
10. Г. И. Кикнадзе и др. Радиационные контуры с индиевыми гамма-носителями для ядерных реакторов. Доклад на IV Рабочем совещании по физике и технике исследовательских реакторов (Будапешт, ноябрь 1965 г.).

Определение содержания урана и тория в пробах горных пород и руд по счету осколков деления

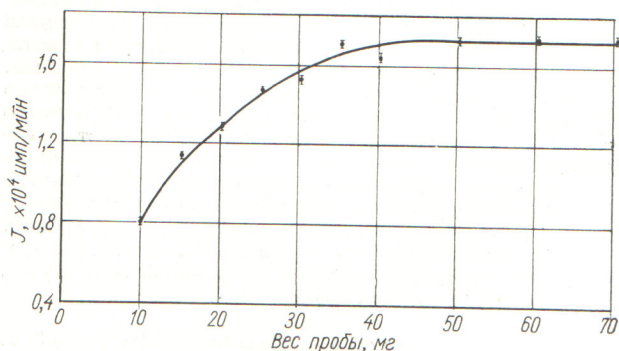
Е. М. ЛОБАНОВ, Е. А. ИСАБАЕВ, А. В. ЯНКОВСКИЙ,
А. Х. АБИЛЬДАЕВ, В. С. ВАСИЛЬЕВ

УДК 543.52:545.86

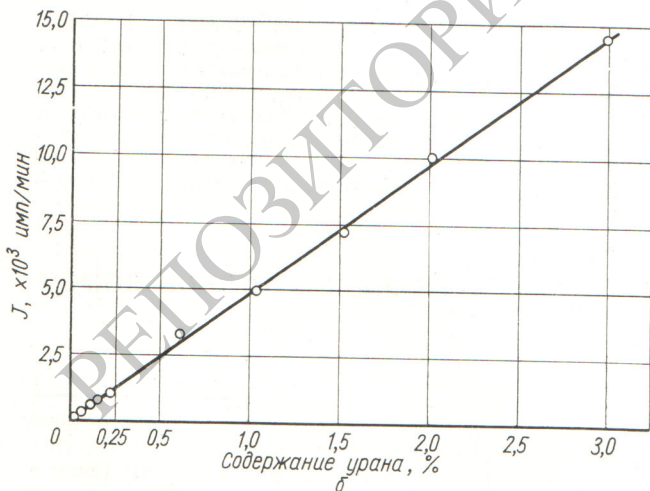
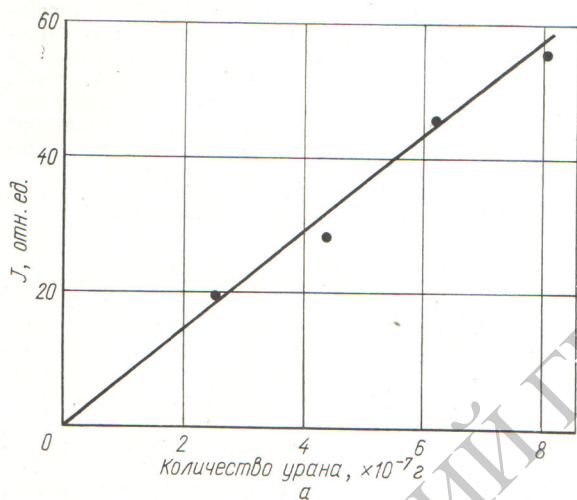
Развитие ядерной техники и увеличение числа мощных источников нейтронов (ядерные реакторы, ускорители-генераторы) создают предпосылки для внедрения в практику аналитических работ методов определения малых содержаний естественно радиоактивных элементов в горных породах на основе реакций взаимодействия нейтронов с ядрами урана и тория [1—4].

В настоящей работе исследована методика экспрессного определения делящихся элементов в пробах горных пород и руд по счету осколков деления. Деление

* Для кристаллизации сплава всегда необходимо его некоторое переохлаждение относительно температуры ликвидуса [9].



Р и с. 1. Зависимость скорости счета осколков деления от веса пробы.



Р и с. 2. Зависимость скорости счета осколков деления от содержания урана: а — пробы с низким содержанием урана; б — пробы с содержанием урана выше 0,1%.

при малых энергиях возбуждения — специфическая особенность актинидных элементов. Следует отметить, что в естественных геологических условиях в заметных количествах встречаются только изотопы урана и тория.

В качестве источника нейтронов, вызывающих деление урана и тория, был использован горизонтальный канал реактора ВВР-С с интегральным потоком нейтронов $\sim 1,50 \cdot 10^8$ нейтр/см² · сек. Для сильно смягченного спектра нейтронов горизонтального канала реактора вклад тепловых нейтронов значительно превышает вклад быстрых нейтронов с энергией $E_n \approx 1,5$ Мэв, необходимой для деления U_{92}^{238} . Учитывая малую величину сечения деления U_{92}^{238} и Th_{90}^{232} быстрыми нейтронами можно сделать вывод, что суммарный выход осколков деления от пробы, содержащей уран и торий, определяется в основном делением ядер U_{92}^{235} тепловыми нейтронами.

Скорость счета осколков деления от облучаемой тепловыми нейтронами пробы смешанного уран-ториевого состава можно представить в виде упрощенного соотношения

$$I = k_U C_U + k_{Th} C_{Th} \quad (1)$$

где C_U и C_{Th} — концентрации урана и тория в исследуемой пробе; k_U и k_{Th} — коэффициенты, определяемые сечениями деления урана и тория и энергетическим распределением нейтронов.

При облучении проб пучком быстрых нейтронов выход осколков деления в значительной степени будет обеспечиваться делением ядер U_{92}^{238} и Th_{90}^{232} в соответствии с отношением

$$I' = k'_U C_U + k'_{Th} C_{Th} \quad (2)$$

где I' — скорость счета осколков деления при облучении пробы потоком нейтронов с $E_n \geq 0,4$ эв; коэффициент k'_U аналогичен k_U и k'_{Th} . При этом предполагается, что кадмиевый фильтр, поглощая все нейтроны с $E_n < 0,4$ эв, не искажает потока быстрых нейтронов. Сопоставив результаты измерения исследуемых и эталонных проб с известными концентрациями урана и тория (C_U^0, C_{Th}^0), получим соотношения для определения содержаний урана и тория в пробе неизвестного состава (C_U^x, C_{Th}^x):

$$C_U^x = \frac{I_x - I'_x}{I_0 - I'_0} C_U^0 \quad (3)$$

$$C_{Th}^x = \frac{R_U I_x - I'_x}{R_U I'_0 - I'_0} C_{Th}^0 \quad (4)$$

где $R_U = \frac{k'_U}{k_U} = \frac{I_U}{I'_U}$ — отношение скоростей счета осколков деления от пробы, содержащей только природный уран. Ниже приведены соответствующие отношения для горизонтального пучка реактора ВВР-С, используемого в настоящей работе:

Делящийся материал	Значение R_U
$UO_2(NO_3) \cdot 6H_2O$	$11,1 \pm 0,7$
U_{92}^{235} (90%)	$25,3 \pm 1,3$
$Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$	$1,13 \pm 0,07$
Урановая руда	$10,9 \pm 0,5$

Осколки деления от анализируемых и эталонных проб регистрировались камерой деления, смонтированной у выхода горизонтального канала реактора ВВР-С

таким образом, чтобы проба, нанесенная на подложку, облучалась потоком нейтронов. Ионизационная импульсная многосекционная камера деления, сконструированная в Проблемной лаборатории Казахского государственного университета им. С. М. Кирова, позволяла без перезарядки проводить измерения на шестнадцати пробах.

Малый пробег осколков деления в твердых веществах предъявляет жесткие требования к качеству мишеней. Поэтому мишени готовились посредством осаждения анализируемого материала, измельченного до 150—200 меш, из смеси ацетона с небольшим количеством клея. Таким способом на алюминиевых дисках толщиной 0,5 мм были получены круговые (диаметр 29 мм) мишени из порошка горной породы с поверхностной плотностью $\sim 7 \text{ мг/см}^2$, что соответствовало (с учетом потерь материала при осаждении) навеске весом 60 мг. Как показали измерения (рис. 1), такая навеска соответствует условиям насыщения (по пробегам осколков). Найденное значение полного ионизационного пробега осколков деления в горной породе алюмосиликатного состава ($\sim 5,2 \text{ мг} \cdot \text{см}^2$) находится в удовлетворительном согласии с точными физическими данными, полученными для нескольких чистых веществ [5].

Осколки деления регистрировались в процессе облучения исследуемой пробы. Отрицательное влияние реакторного пучка γ -квантов, а также α - и β -излучений естественных радиоактивных элементов в материале пробы устранялось посредством амплитудной дискриминации, позволяющей регистрировать осколки деления на высоком уровне помех. Проведена оценка влияния на результаты измерений таких факторов, как возможная нестабильность нейтронного потока за время измерений, неидентичность мишеней, связанная с неконтролируемыми условиями осаждения, и неидентичность условий регистрации в разных секциях счетной камеры.

Оценка склонности к хрупкому разрушению тонколистовых материалов

М. Д. АБРАМОВИЧ, В. Ю. ГОЛЬЦЕВ, Б. А. ДРОЗДОВСКИЙ

В процессе разработки или подбора конструктивных материалов для тонкостенных изделий гетерогенных реакторов (оболочек твэлов, СУЗ и т. д.) большое распространение получило исследование образцов, вырубленных из ленты толщиной 0,3—0,5 мм. Тонкостенные изделия в ряде случаев должны выдерживать значительные механические и термические напряжения при воздействии агрессивных сред, высоких температур и нейтронного облучения. В связи с этим одной из актуальных проблем является надежная и простая оценка склонности ленточного материала к хрупкому разрушению и сопротивляемости распространению трещины в достаточно большом интервале температур: от криогенных до возникающих в активной зоне высокотемпературных реакторов.

До последнего времени склонность ленточного материала к хрупкому разрушению оценивалась на стандартных образцах Менаже из прутков и иногда приводила к тому, что отказывались от применения некоторых сталей ферритного класса, которые по своим свойствам в тонкой ленте не уступали аустенитным сталям.

Ударный изгиб образцов с трещиной, вырезанных из ленты толщиной 0,3—0,5 мм и зажатых в губки для предотвращения потери устойчивости*, позволил

Максимальная амплитуда изменения нейтронного потока на выходе канала реактора в рассматриваемом случае не превышала 2% за время работы 8 ч.

Описанная методика позволяет определять в потоке $\sim 10^8 \text{ нейтр/см}^2 \cdot \text{сек}$ содержание $(2 \div 4) \cdot 10^{-4}\%$ урана и $(4 \div 8) \cdot 10^{-3}\%$ тория в навеске весом $\sim 50 \text{ мг}$ с точностью не хуже 20%. При этих условиях достигается скорость счета 10 *имп/мин* на 0,001% урана, что позволяет определять $(1 \div 2) \cdot 10^{-4}\%$ урана за время измерений 1—1,5 ч. Точное определение урана без учета влияния тория возможно в тех случаях, когда содержание последнего не превышает десятикратного содержания урана, так как отношение скоростей счета осколков деления от равных количеств урана и тория при данных условиях измерений равно $99,7 \pm 3,8$. Зависимость скорости счета осколков деления от содержания урана в пробах линейна в широком интервале концентраций (рис. 2). Результаты определения содержаний урана и тория методом регистрации осколков деления подтверждены данными химического анализа.

Поступило в Редакцию 27/IV 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. U. Facchini, J. Orsoni. Nuovo cimento (Ser. 9), 6, 241 (1949).
2. R. MacKlin, J. Lykins. J. Chem. Phys., 19, 844 (1951).
3. J. Lovett, J. Roberts. Nucleonics, No. 7, 15 (1957).
4. С. Амилел, М. Пейсах. «Атомная энергия», 14, 535 (1963).
5. Справочник по ядерной физике. Под ред. О. Фриша. М., Физматгиз, 1963.

УДК 620.171:669.15.194

надежно и просто оценивать склонность ленточного материала к хрупкому разрушению на стандартном оборудовании.

Серии испытаний были проведены на ленточных образцах с трещиной из ферритной стали ЭП-142 (1X13M2БФ) и аустенитной стали ЭП-150 (1X16H36МБТЮР), химический состав которых дан в таблице. Образцы испытывались в стальных губках толщиной 5 мм на копке ПСВО-6 (модифицированный ПСВО-30) при температурах от -196 до 600°C . Результаты испытаний представлены на рис. 1. Для ленты толщиной 0,4 мм из стали ЭП-142 критическая температура находится в интервале от -140 до -196°C . При -140°C излом совершенно вязкий, а работа разрушения соответствует значениям, полученным при комнатной температуре. При -196°C излом полностью хрупкий, и работа разрушения резко падает.

Для ленты из аустенитной стали ЭП-150 критическая температура не была определена, поскольку работа разрушения практически не изменялась при понижении температуры до -196°C .

* В. Ю. Гольцев, Б. А. Дроздовский. «Заводск. лаборатория», 33, 114 (1967).