

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 шестнадцать проб.

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  $\gamma$ -квантов, а также  $\alpha$ - и  $\beta$ -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.

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  $10 \text{ имп/мин}$  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 скоростей счета осколков деления от содержания урана в пробах линейна в широком интервале концентраций (рис. 2). Результаты определения содержания 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. Амиев, М. Пейсах. «Атомная энергия», 14, 535 (1963).
5. Справочник по ядерной физике. Под ред. О. Фриша. М., Физматгиз, 1963.

## Оценка склонности к хрупкому разрушению тонколистовых материалов

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

УДК 620.171:669.15.194

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

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

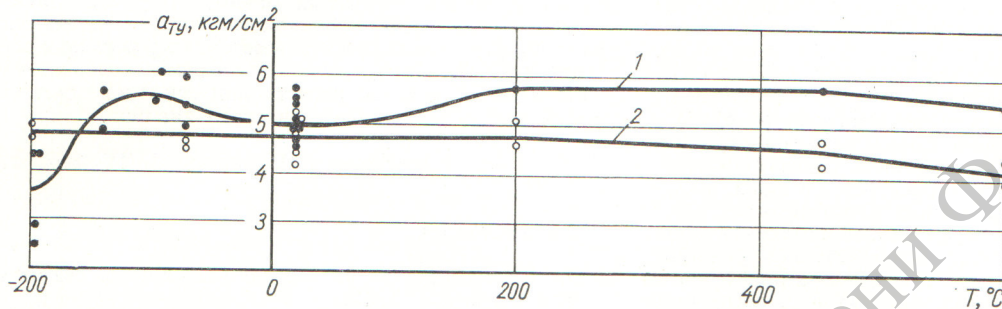
Серии испытаний были проведены на ленточных образцах с трещиной из ферритной стали ЭП-142 (1X13M2БФ) и аустенитной стали ЭП-150 (1X16H36МБТЮР), химический состав которых дан в таблице. Образцы испытывались в стальных губках толщиной 5 мм на копке ПСВО-6 (модифицированный ПСВО-30) при температурах от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

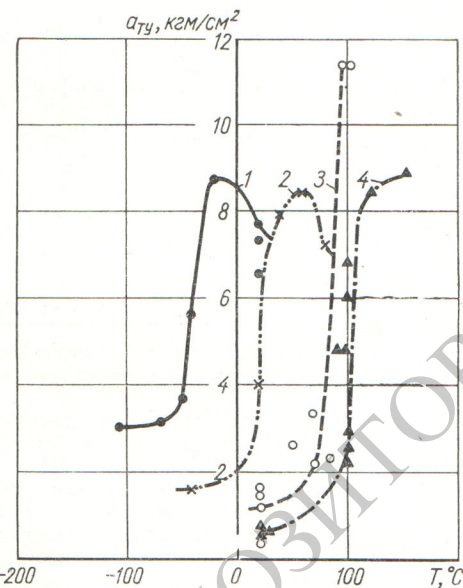
\* В. Ю. Гольцев, В. А. Дроздовский. «Заводск. лаборатория», 33, 114 (1967).

Химический состав материалов

Сталь	Плав-ка	Содержание элементов, %													
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	V	Mo	Nb	Ce	B	Ti	Al
1X13M2БФ (ЭП-142)	OK	0,11	0,17	0,33	0,012	0,017	12,98	0,78	0,27	2,32	0,28	—	—	—	—
1X16H36МБТЮР (ЭП-150)	O1	0,09	0,7	0,65	0,02	0,024	15,3	35,0	—	2,0	1,2	0,01	0,002	0,8— 1,0	0,8— 1,0



Р и с. 1. Кривые серии испытаний для ленты ЭП-142 (1) и ЭП-150 (2).



Р и с. 2. Кривые серии испытаний образцов, полученных шлифовкой, из стали ЭП-142 различной толщины:

1 — 0,4 мм в рубках; 2 — 0,85 мм; 3 — 3 мм; 4 — 10 мм.

Так как критическая температура для ферритной стали ЭП-142 при испытании образцов размером  $10 \times 11 \times 60$  мм с трещиной составляет примерно  $100^\circ\text{C}$ , интересно было выявить причину такого резкого сдвига к более низким значениям критической температуры при испытании ленты из того же материала. С этой целью образцы с трещиной из стали ЭП-142 размером  $10 \times 11 \times 60$  мм были разрезаны вдоль, и их толщина

шлифовкой была доведена до 3; 0,85; 0,4 мм. При уменьшении толщины образца с 10 до 0,4 мм критическая температура стали ЭП-142 сдвинулась влево на  $140^\circ\text{C}$  (рис. 2). Основной причиной снижения критической температуры при уменьшении толщины листа является, очевидно, уменьшение объемности напряженного состояния. Сдвиг критической температуры тем больше, чем меньше толщина образца.

Снижение критической температуры при уменьшении объемности напряженного состояния отражается в основном на ферритной стали. Аустенитная сталь не чувствительна к изменению объемности напряженного состояния. При испытаниях на ударный изгиб работа разрушения для образцов из ферритной ленты почти такая же, как для образцов из аустенитной ленты во всем интервале температур до  $-140^\circ\text{C}$ , тогда как значения ударной вязкости для образцов Менаже из этих же материалов отличаются при комнатной температуре в 10 раз ( $a_H = 0,8 \text{ кгм/см}^2$  для стали ЭП-142 и  $a_H = 8,5 \text{ кгм/см}^2$  для стали ЭП-150).

Критическая температура для образцов из холоднокатаной ленты стали ЭП-142 значительно ниже полученной для образцов такой же толщины, но приготовленных шлифованием кованных образцов с трещиной из того же материала размером  $10 \times 11 \times 60$  мм. Это различие уже связано только с разной технологией изготовления прутка и ленты.

Таким образом, объемность напряженного состояния в толстом образце сдвигает критическую температуру в область более высоких температур. Кроме того, критическая температура холоднокатаной ленты значительно ниже, чем аналогичного образца такой же толщины, но полученного шлифованием заготовки из ковального материала. Отсюда следует, что при испытаниях сталей и сплавов толщина и технологическое состояние образцов (кованый, литой, холоднокатаный и пр.) должны выбираться так, чтобы они соответствовали материалу, применяемому на практике.

Поступило в Редакцию 26/X 1966 г.