

отсутствует из-за преобладания фотоэффекта при $E < 30$ кэВ [5].

Спектральные распределения излучения, обратнорассеянного от границы раздела воздух — бетон, измеряли для источника и детектора, установленных на перемещающуюся в вертикальной плоскости платформу с основанием из алюминия толщиной 1,5 мм. Исходный спектр генератора определяли после прохождения слоя алюминия толщиной 3 мм (см. рис. 1, б). Высокоэнергетическая часть спектра, как и при рассеянии от однородной воздушной среды, претерпевала наибольшее изменение за счет однократного комптоновского рассеяния. В низкоэнергетической части наблюдались конкурирующие процессы комптоновского рассеяния и фотоэффекта, связанного с поглощением в бетоне. Вследствие этого уменьшение энергии в спектре сменяется увеличением ее после 45 и 35 кэВ соответственно для $H_d = H_s = 1$ м и 3,5 м (см. рис. 1, б), т. е. увеличение расстояния уменьшает границу преобладания фотоэффекта, так как в среднем увеличивается угол рассеяния. Увеличение расстояния до поверхности отражателя в целом приводит к уменьшению энергии в спектре. Этот эффект характерен для малых $\mu_0 d$ [1] [в нашем случае $\mu_0 d = (2 \div 3) \cdot 10^{-2}$].

Спектры обратнорассеянного излучения как в случае однородной воздушной среды, так и при рассеянии от границы раздела оказываются заметно суженными по срав-

нению с исходными и в обоих случаях имеют максимумы в области 40—45 кэВ. Полученные результаты подтверждают необходимость использования спектрально не зависящих критериев при идентификации сигналов обратного рассеяния от границы раздела нескольких сред, особенно там, где вклад обратного рассеяния от воздуха превышает рассеяние от граничных с ним отражателей [2, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименов В. А. и др. Распространение ионизирующих излучений в воздухе. М., Атомиздат, 1979.
2. Булатов Б. П., Андришин Н. Ф. Обратнорассеянное гамма-излучение в радиационной технике. М., Атомиздат, 1971.
3. Герчиков Ф. Л. — Атомная энергия, 1976, т. 41, № 1, с. 38.
4. Иванов И. Д. и др. — В кн.: Ядерное приборостроение. Вып. 34—35. М., Атомиздат, 1977, с. 126.
5. Сторм Э., Исраэль Х. Сечение взаимодействия гамма-излучения. М., Атомиздат, 1973.
6. Герчиков Ф. Л., Косарев В. Д. — Атомная энергия, 1979, т. 47, № 1, с. 57.
7. Герчиков Ф. Л., Иванов И. Д. и др. — Электронная техника. Сер. 4. Электровакuumные и газоразрядные приборы, 1980, вып. 4(81), с. 50.

Поступило в Редакцию 04.12.78
В окончательной редакции 18.08.80

УДК 621.039.531

Внутриреакторная ползучесть стали 09X16H15M3B при температуре 623—823 К

КРУГЛОВ А. С., БЫКОВ В. Н., ПЕВЧИХ Ю. М., ЮРИН О. Г., БУЛЬКАНОВ М. Г.

В свете существующих представлений о природе и механизме ползучести материалов, облучающихся в реакторе, конечный результат деформирования является суммой термоактивируемого и радиационно-стимулированного процессов, из которых каждый наиболее выражен в определенном интервале температуры [1, 2]. Поэтому целесообразно изучить характеристики ползучести стали 09X16H15M3B при облучении в реакторе в диапазоне температуры и напряжения, не исключаяем оба процесса деформирования.

Ползучесть при одноосном растяжении исследовали на установке, описанной ранее [3], в канале ОК-70 реактора БР-10. Максимальная плотность нейтронного потока во время опыта в зоне расположения образцов составляла $6 \cdot 10^{13}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Скорость образования дефектов при этой плотности равнялась $1,1 \cdot 10^{-8}$ смещ./ $(\text{атом} \cdot \text{с})$. К началу испытания образцы были облучены до флюенса $5,5 \cdot 10^{20}$

нейтр./ см^2 при температуре 623 К. Испытания проводили при температуре 623, 783 и 823 К в интервале напряжения 350—400 МПа для трех уровней плотности нейтронного потока.

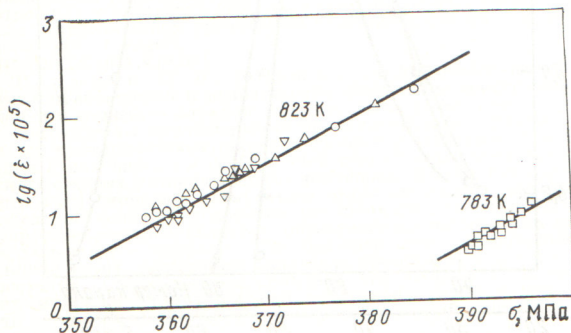
Перед началом испытания были определены механические свойства одного из облучаемых образцов при температуре 823 К: условный предел текучести стали составил 175 МПа, удлинение при напряжении 400 МПа было равно примерно 6%; для необлученного образца-свидетеля соответственно 150 МПа и 16%. В результате испытания установлено, что при температуре 623 К, напряжении 400 МПа и плотности нейтронного потока $6 \cdot 10^{13}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ скорость установившейся ползучести составляет менее $1,0 \cdot 10^{-5}$ ч $^{-1}$. Зависимость $\dot{\epsilon}$ от σ при температуре 783 и 823 К однотипна и близка к экспоненциальной (см. рисунок). При температуре 823 К ползучесть стали измеряли для трех значений плотности нейтронного потока, причем оказалось, что изменение плотности от $2 \cdot 10^{12}$ до $6 \cdot 10^{13}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ не влияет на скорость ползучести.

Этот эксперимент практически исключает гипотезу о радиационной активации процесса деформации при 823 К. Одинаковый характер зависимости $\dot{\epsilon}$ от σ при 783 и 823 К позволяет полагать, что в исследованных интервалах значений температуры и напряжения ползучесть стали является термоактивированной.

Экспоненциальная зависимость скорости термической ползучести от σ наблюдается для различных материалов при напряжении, превышающем предел текучести, и описывается [4] функцией вида

$$\dot{\epsilon} = A \exp \left(- \frac{Q - B\sigma}{RT} \right), \quad (1)$$

где Q — энергия активации; A и B — константы, предположительно не зависящие от температуры и напряжения; R — универсальная газовая постоянная.



Зависимость скорости внутриреакторной ползучести от напряжения при следующих условиях облучения: $\circ, \triangle, \nabla, \square$ — эксперимент соответственно $6 \cdot 10^{13}, 2 \cdot 10^{13}, 2 \cdot 10^{12}$ и $6 \cdot 10^{13}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$; — расчет по формуле (2)

Расчет значений A , B и Q по результатам измерений при температуре 783 и 823 К позволил получить следующее уравнение для скорости ползучести:

$$\dot{\epsilon} = 8 \cdot 10^{35} \exp \left(- \frac{224000 - 200\sigma}{RT} \right), \quad (2)$$

где $R = 2$ кал/(моль·К); σ выражено в МПа; $\dot{\epsilon}$ в ч^{-1} . Расчет $\dot{\epsilon}$ при температуре 623 К по уравнению (2) дает значения на несколько порядков величины ниже измеренных. Это показывает, что ползучесть облученной стали при 623 К имеет иной механизм, чем при 783 и 823 К, и, возможно, стимулируется облучением. Радиационная составляющая ползучести при 783 и 823 К, по-видимому, также вносит свой вклад, однако при этой температуре и высоком напряжении она оказывается намного меньше термической составляющей и в пределах точности опыта не обнаруживается.

Таким образом, при измерении деформации ползучести стали 09Х16Н15М3Б в канале БР-10 установлено, что параметры термоактивируемой составляющей внутриреакторной ползучести при температуре 783—823 К и напряжении 350—400 МПа практически не зависят от воздействия нейтронного потока плотностью до $6 \cdot 10^{13}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Этот вывод согласуется с экспериментальными данными и теоретическими представлениями [1, 2] о развитии процессов тепловой и радиационной ползучести в одностипных марках сталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Harris D.— J. Nucl. Mater., 1977, v. 65, p. 157.
2. Heald P., Harbottle J.— Ibid., 1977, v. 67, p. 229.
3. Круглов А. С. и др.— Заводск. лаборатория, 1980, № 11, с. 1048.
4. Кеннеди А. Ползучесть и усталость в металлах. М., Металлургия, 1965.

Поступило в Редакцию 22.10.79

УДК 549.543:669

О поведении газовых примесей в бориде алюминия

КЕКЕЛИДZE Л. И., ОГАНЕЗОВ К. А., КЕРВАЛИШВИЛИ П. Д.

Интерес к свойствам различных боридов алюминия [1—3] в основном обусловлен перспективностью применения этих материалов в качестве поглотителей быстрых нейтронов. В этом отношении определенным преимуществом обладает додекаборид, отличающийся стабильностью при рабочих температурах быстрого реактора и большим содержанием бора. Разработка технологии получения додекаборида алюминия неразрывно связана с изучением поведения газовых примесей, особенно в изделиях, изготовляемых методами порошковой металлургии.

Исследования проводили на горячепрессованных образцах порошков додекаборида алюминия, полученных методом алюмотермического восстановления [4] с последующим измельчением в планетарной мельнице на воздухе. Во время экспериментов определяли общее содержание кислорода, азота и водорода [5], измеряли концентрацию этих газов на поверхности и в объеме образцов [6], а также проводили термокинетический анализ [7] с чувствительностью 10^{-2} мас.% для кислорода, $5 \cdot 10^{-3}$ мас.% для азота и 10^{-3} мас.% для водорода. Точность определения кислорода и азота по известному эталону составляет 10—15 отн.%, а водорода ~20 отн.%. При изготовлении изделий из борида алюминия используют исходный материал в виде мелких кристаллов, которые измельчают дроблением, что загрязняет порошок элементами, входящими в состав материала контейнера и мельницы. Для удаления примесей порошок обрабатывают в кипящей соляной кислоте в течение 2—3 ч и сушат

в вакууме при давлении ~0,13 Па и температуре 180 °С. Путем гранулометрического анализа исходные и обработанные порошки были разделены на четыре группы, характеризующиеся разными значениями удельной поверхности. На рис. 1 показано, как зависит концентрация газов от площади удельной поверхности одной партии порошка для большого числа проб.

Экстраполяция прямых на графике к оси ординат позволяет определить концентрацию газа в объеме частиц порошка до и после химической обработки (табл. 1). Из полученных результатов следует, что азот и водород ведут себя как адсорбирующиеся примеси, поскольку их содержание в объеме частиц порошка мало изменяется. Уменьшение концентрации кислорода после химической обработки, по-видимому, связано с удалением окислов, образованных на основе элементов, входящих в состав материала мельницы.

Таким образом, порошки различного гранулометрического состава различаются содержанием газовых примесей, и это различие растет с увеличением площади удельной поверхности частиц порошка. Уменьшение концентрации примесей способствует получению качественных изделий методом горячего прессования.

Содержание газов в другой партии исходного порошка и горячепрессованных образцах додекаборида алюминия плотностью ~1,9 г/см³ определяли методами термокине-

Таблица 1

Концентрация газов в порошке додекаборида алюминия, мас. %

Состояние порошка	O	N	H
Исходный	0,16	0,08	0,003
После химической обработки	0,008	0,07	0,004

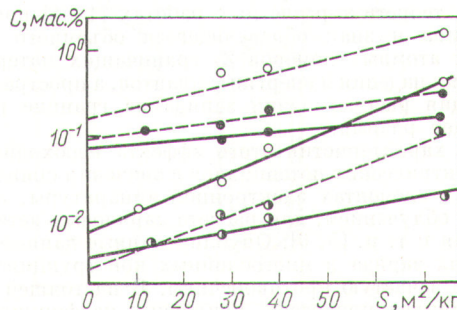


Рис. 1. Зависимость концентрации кислорода (O), азота (●) и водорода (●) от площади удельной поверхности порошков додекаборида алюминия до (---) и после (—) химической обработки