

УДК 621.039.526

## Влияние режима работы реактора БР-5

### на развитие вакансионной пористости в стали 1X18H9T

ПОРОЛЛО С. И., ЩЕРБАК В. И., АРИСТАРХОВ Н. Н., БЫКОВ В. Н., ДМИТРИЕВ В. Д., МАМАЕВ Л. И.

Радиационное распухание аустенитных нержавеющей сталей при облучении их большим флюенсом быстрых нейтронов входит в число важнейших проблем радиационного материаловедения, и уже выявлен ряд основных закономерностей этого явления [1]. Но весьма широкий круг вопросов продолжает оставаться неясным и требует дальнейшего изучения.

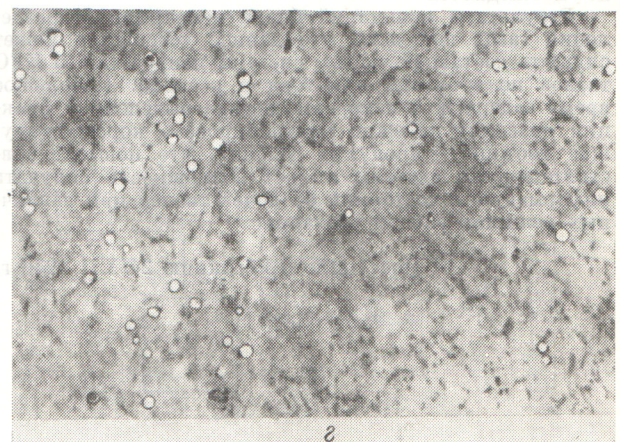
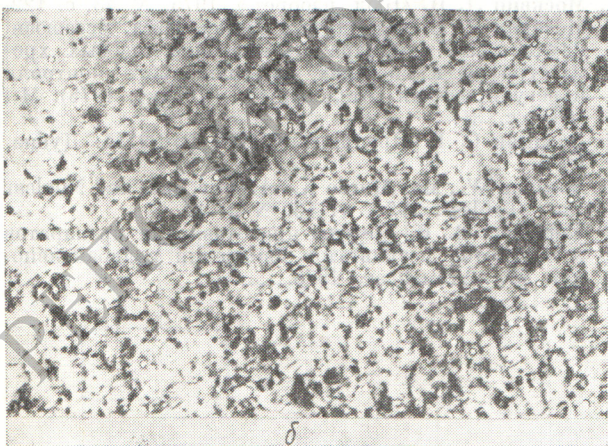
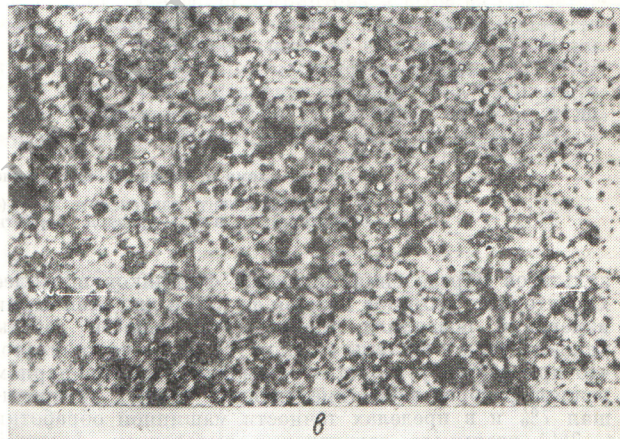
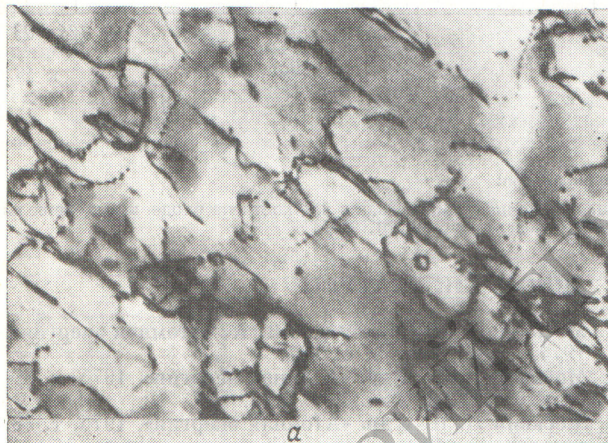
Ниже излагаются результаты электронно-микроскопического исследования образцов, вырезанных из центрального петлевого канала реактора БР-5 после облучения флюенсом  $8 \cdot 10^{22}$  нейтр./см<sup>2</sup>, и анализируется влияние режима работы реактора на развитие вакансионной пористости.

Центральный петлевой канал реактора БР-5 представляет собой две концентрические трубы из стали 1X18H9T с толщиной стенок 1,5 мм и диаметрами 36 и

32 мм. Наружная поверхность канала омывается натриевым теплоносителем первого контура, в результате чего ее температура по высоте активной зоны при номинальном режиме работы реактора меняется в пределах 430—500°C.

Образцы для электронно-микроскопических исследований вырезались из четырех различных по высоте сечений канала. Характеристики условий облучения для исследованных образцов приведены в таблице. Образец-свидетель вырезался из сечения 1, расположенного вне активной зоны реактора.

Как видно из рисунка микроструктура исследуемой стали, за исключением сечения 1, характеризовалась наличием вакансионных пор, размер и концентрация которых изменяются с температурой и флюенсом (см. таблицу). Помимо вакансионных пор в структуре об-



Микроструктура стали 1X18H9T:

а — температурный свидетель  $T_{\text{выд}} = 430$  °C;  $F = 0$ ; б, в, г —  $T_{\text{обл}} = 430, 460, 500$  °C;  $F = 4, 5, 8$ ;  $3,5 \cdot 10^{22}$  нейтр./см<sup>2</sup> соответственно ( $\times 100\ 000$ )

## Характеристика исследуемых образцов

Сечение	$T_{\text{обл.}}^{\circ}\text{C}$	$F, 10^{22}$ нейтр./см <sup>2</sup>	$\langle d_p \rangle, \text{Å}$	$N_p, \text{см}^{-3}$	$\Delta V/V, \%$
1	430	—	—	—	—
2	430	4,5	155	$4,6 \cdot 10^{14}$	0,1
3	460	8,0	170	$3,8 \cdot 10^{14}$	0,1
4	500	3,5	240	$2,5 \cdot 10^{14}$	0,2

лученной стали присутствуют дислокационные петли Франка и мелкодисперсные выделения второй фазы. Проведенное ранее [1] электронно-микроскопическое исследование шестигранных чехлов и оболочек твэлов, изготовленных из стали 1X18H10T, выявило ряд особенностей в распухании этой стали. Так, при сравнительных условиях облучения сталь 1X18H10T распухает в 5—10 раз меньше, чем сталь 0X18H9T. Это объясняется высокой плотностью мелкодисперсных выделений, роль которых сводится к уменьшению равновесной концентрации точечных дефектов. Кроме того, не обнаружено заметного различия в распухании шестигранных чехлов и оболочек твэлов.

Сопоставление этих результатов с данными по распуханию материала центрального петлевого канала показывает, что при близких условиях облучения они различаются в 5—10 раз. Это можно объяснить воздействием многочисленных и зачастую трудноконтролируемых факторов: химическим составом, предварительной термомеханической термообработкой и др. Одним из таких факторов, безусловно, является режим работы реактора, который складывался из двух периодов: 1959—1964 гг., когда в активной зоне находились твэлы из двуокиси плутония, и 1965—1971 гг., когда реактор работал с твэлами из монокарбида урана [2].

Вследствие некоторых причин эксплуатация реактора в первый период (с окисным плутониевым топливом) велась на различных мощностях и температурных режимах. За этот период реактор проработал при номинальной мощности (5000 МВт), когда температура натрия на выходе из активной зоны составляла 500—510 °С, лишь 14% общего времени работы. Время работы реактора при мощности 20—80% номинальной составила 26%, при мощности 2—20% номинальной — 39%. При этом 48, 30 и 22% времени реактор работал при температуре натрия на выходе из активной зоны

до 300, при 300—400 и >400 °С соответственно. Как видно из приведенных данных, примерно половину времени реактор работал при низкой (до 300 °С) температуре натрия, выходящего из активной зоны, причем напряженные режимы чередовались с менее напряженными.

Второй период работы реактора БР-5 (на монокарбидном топливе) характеризовался более стабильной его эксплуатацией, и большую часть времени (75%) реактор работал в режиме, близком к номинальному (мощность 4000—5000 МВт, температура натрия на выходе из реактора 450—500 °С).

Следует отметить, что все опубликованные экспериментальные данные по распуханию оболочек твэлов и шестигранных чехлов рабочих пачетов относятся лишь ко второму периоду работы активной зоны реактора БР-5 [1]. Поскольку центральный петлевой канал находился в реакторе в течение всего срока службы, облучение в начальный период велось при пониженной рабочей температуре.

Известно [3], что облучение аустенитных сталей при температуре, меньшей нижней границы образования пор (360 °С), приводит к возникновению в ее структуре большого количества мелкодисперсных фазовых выделений и дислокационных петель, которые являются стоками для точечных дефектов. Появление таких стоков несомненно может значительно снижать равновесную концентрацию точечных дефектов, в частности вакансий, что, в свою очередь, должно способствовать подавлению процесса образования и роста вакансионных пор.

Таким образом, низкотемпературное облучение исследуемой стали фактически эквивалентно предварительной холодной обработке сталей, являющейся эффективным средством подавления радиационной пористости [4].

Поступило в Редакцию 25/I 1977 г.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shcherbak V. e.a. «J. Nucl. Energy Soc.», 1975, v. 14, p. 145.
2. Лейпунский А. И. и др. В кн.: Состояние и перспективы работ по созданию АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Т. 1. Обнинск, 1968, с. 249.
3. Brager H. e.a. «Metallurgical Transaction», 1971, v. 2, p. 1893.
4. Vorobyev A. e.a. [1], p. 149.

УДК 621.386.82

## О неприменимости газохимической дозиметрии мощных импульсных электронных пучков

Фоминский Л. П., Левченко В. Ф.

Широкое применение нашли в настоящее время методы газохимической дозиметрии ионизирующих излучений и среди них такой простой метод, как отбор проб воздуха и определение поглощенной дозы по изменению в нем концентрации окислов азота, образующихся излучением [1]. Методы метановой [2] и закисной [3] дозиметрии заключаются в измерении концентрации продуктов разложения метана и закиси азота. Эти методы основаны на экспериментально установленном

факте относительной независимости выхода продуктов радиационно-химических реакций от вида и энергии ионизирующего излучения и охватывают диапазон доз от 1 до  $10^9$  рад. Так, энергетический выход реакции образования  $\text{NO}_2$  в воздухе при атмосферном давлении практически не зависит от вида излучения и составляет  $G \approx 1,5$  мол./100 эВ поглощенной энергии [1].

Обычно предполагается, что энергетический выход также не зависит и от мощности дозы. На этой основе