

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-4-37-44>

УДК 620.172.24

РАДИАЦИОННАЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ БЕРИЛЛИЯ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ НЕЙТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

^{1,2)} Оразгалиев Н.А., ¹⁾ Сапатаев Е.Е., ¹⁾ Кожакметов Е.А., ¹⁾ Даулетханов Е.Д., ²⁾ Уазырханова Г.К.

¹⁾ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

²⁾ Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail для контактов: orazgaliev@nnc.kz

В данной работе по оценке радиационного повреждения бериллия при низкотемпературном нейтронном облучении были исследованы образцы-свидетели из бериллия марки ТШГ-200 с содержанием оксидной фазы около 1% (масс), долговременно находящиеся в исследовательском реакторе ИВГ.1М и облученные до флюенсов $0,8\text{--}4\cdot 10^{20}$ нейт./см². Также для сравнения полученных результатов были испытаны необлученные исходные образцы свидетели той же марки.

Целью исследований являлось установление уровня радиационной деградации образцов-свидетелей за время нахождения их в реакторе ИВГ.1М. Были проведены механические испытания на трехточечный изгиб и растяжение для определения прочностных характеристик образцов бериллия, а также была измерена их микротвердость. Для установления уровня распухания была определена плотность образцов бериллия методом гидростатического взвешивания в среде дистиллированной воды.

По результатам кратковременных испытаний на изгиб и растяжение, установлено, что материал бериллия после реакторного облучения разупрочняется в пределах 9,3–16,7%. А результаты измерения микротвердости показали возрастание до 23%. Результаты определения плотности не выявили распухание образцов после низкотемпературного нейтронного облучения.

После механических испытаний были проведены фрактографический анализ изломов и микроструктурный анализ, которые не выявили заметных изменений в микроструктуре бериллия после облучения.

Ключевые слова: бериллий, нейтронное облучение, механические свойства, предел прочности, разупрочнение, микротвердость, распухание, микроструктура.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время бериллий используется в качестве отражателя и замедлителя нейтронов в исследовательских реакторах. В дальнейшем планируется использовать его в качестве материала для первой стенки ИТЭР и в переборке реактора ДЕМО. Облучение реактора вызывает радиационное охрупчивание, снижение прочности, набухание и ухудшение теплопроводности бериллия.

Как и любой металл под действием нейтронного облучения, бериллий подвержен радиационным повреждениям в результате взаимодействия нейтрона с атомом бериллия. При упругом взаимодействии нейтронов с атомами бериллия, происходит образование первично выбитого атома и последующее образование каскадов атом-атомных столкновений. В зависимости от температуры облучения области каскадов эволюционируют в различные виды вакансий и межузельных атомов, что в конечном итоге приводит к образованию стабильных радиационных дефектов, таких как субмикроскопические кластеры, дислокационные петли и поры.

При неупругом взаимодействии нейтронов с атомами бериллия могут протекать ядерные реакции, приводящие к образованиям газовых продуктов – трития и гелия. Бериллий относится к металлам, в которых пороговые ядерные реакции на быстрых нейтронах приводят к образованию значительных коли-

честв газообразных трансмутантов, которые определяют серьезные изменения физико-механических свойств бериллия при нейтронном облучении. В частности, интенсивное накопление гелия приводит к образованию пузырьков газа и пор в микроструктуре бериллия, которые вносят основной вклад в эти изменения [1, 2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований являлись необлученные и облученные образцы-свидетели исследовательского реактора ИВГ.1М, изготовленные из бериллия марки ТШГ-200 с содержанием оксидной фазы около 1% (масс). Необлученные и облученные образцы были поделены на пятнадцать пар в соответствии со способом изготовления, осью выдавливания и формой. Химический состав и исходная плотность бериллия марки ТШГ-200 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав и исходная плотность

Материал	Содержание основных примесей, масс.% (не более)							Плотность, г/см ³
	O	Fe	C	Cr	Ti	Al	Si	
ТШГ-200	0,43	0,12	0,079	0,028	0,02	0,014	0,013	1,849

Образцы имеют форму стержней: полуцилиндрических, длиной ~56 мм и цилиндрических гантелевидных, длиной ~28 мм. Полуцилиндрические образцы с рабочей частью размером 40×2,5 мм использо-

вались для механических испытаний на трехточечный изгиб, а для испытаний на растяжение использовались цилиндрические гантелевидные образцы с рабочей частью размером 18×3,5 мм. Внешний вид образцов показан на рисунке 1, где можно увидеть три вида антикоррозионного покрытия: черное оксидное, белое эмалевое и серое барьерное. Покрытия не влияют на полученные результаты, и в дальнейшем не будут упоминаться. Основные характеристики образцов показаны в таблице 2.



Рисунок 1. Полуцилиндрические и цилиндрические гантелевидные образцы-свидетели

Таблица 2. Основные характеристики бериллиевых образцов-свидетелей реактора ИВГ.1М

Номер пары образцов	Интегральный флюенс нейтронов, 10^{20} нейтр./см ²	Длина образца, мм	Способ изготовления материала образца	Текстура* в образце
I	2,31	56	выдавливание	вдоль
II	4	56	выдавливание	вдоль
III	1,84	56	выдавливание	вдоль
IV	1,24	56	выдавливание	вдоль
V	3,99	28	выдавливание	вдоль
VI	3,35	28	прессование	нет
VII	3,1	28	прессование	нет
VIII	2,82	28	выдавливание	вдоль
IX	2,53	28	выдавливание	поперек
X	1,61	28	прессование	нет
XI	1,31	28	прессование	нет
XII	1,05	28	прессование	нет
XIII	0,84	28	прессование	нет
XIV	2,65	56	выдавливание	вдоль
XV	1,54	56	выдавливание	вдоль

Примечание: * – обозначениями «вдоль» или «поперек» указана преимущественная ориентация базисной плоскости (0001) соответственно вдоль или поперек оси образца одновременно эти обозначения указывают на способ вырезки образца из текстурированной заготовки – ось образца ориентирована соответственно вдоль или поперек оси выдавливания заготовки.

Бериллиевые образцы-свидетели облучались в ячейках межканальных бериллиевых вытеснителей исследовательского реактора ИВГ.1М при темпера-

туре 300 К в среде водяного теплоносителя. Полуцилиндрические бериллиевые образцы-свидетели испытываются в реакторе с мая 1975 года, а цилиндрические гантелевидные бериллиевые образцы-свидетели испытываются с мая 1982 года. Для определения наработанного флюенса нейтронов за весь период их испытания в реакторе были проведены нейтронно-физические расчеты с помощью кода MCNP5 [3, 4] с библиотекой констант ENDF/B-5,6. Интегральный флюенс нейтронов составил $(0,84-4) \cdot 10^{20}$ нейтр./см².

Расчетная модель реактора ИВГ.1М по программе MCNP5 максимально приближена к существующей конструкции реактора (рисунок 2).



Рисунок 2. Поперечное сечение активной зоны реактора ИВГ.1М

Механические испытания на изгиб

Для определения прочностных характеристик были проведены механические испытания при комнатной температуре на универсальной испытательной машине Instron 5966 с применением бесконтактного видеоэкстензометра Instron AVE2.

Для обеспечения возможности установки и закрепления опор на требуемом между ними расстоянии использовалось специальное приспособление. Расстояние между опорами для образцов устанавливалось равным 16h (40 мм). Образцы устанавливались на опоры так, чтобы их нижняя плоскость плотно прилегала к опорам, а верхняя – к наконечнику по всей его ширине. Для определения стрелы прогиба перед началом испытаний при помощи видеоэкстензометра на неподвижную базу и на индентор наносились метки (см. рисунок 3).

Испытание проводилось до разрушения испытуемого образца при скорости перемещения активного захвата равной 1 мм/мин.

Механические испытания на растяжение

Испытание на одноосное растяжение проводилось до разрушения образцов со скоростью перемещения траверсы равной 3 мм/мин и постоянной регистрацией данных кривых «напряжение-деформация». Перед фиксацией в захваты на образцы наносились метки с расстоянием около 12 мм для распознавания видеоэкстензометром начальной расчетной длины. Образцы закреплены в клиновые захваты с вкладышами, имеющих насечки для лучшего сцепления (см. рисунок 4).

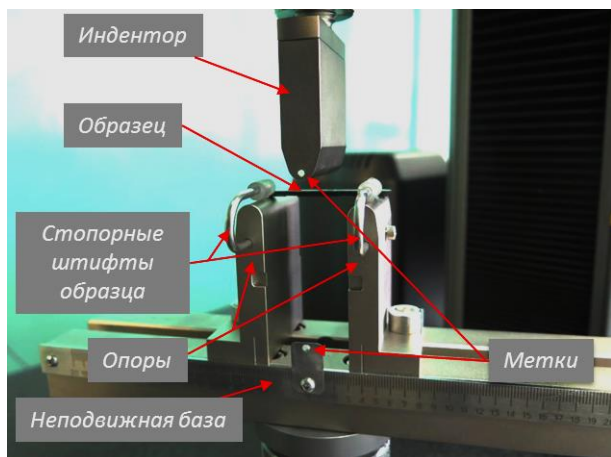


Рисунок 3. Внешний вид испытательного образца и опор

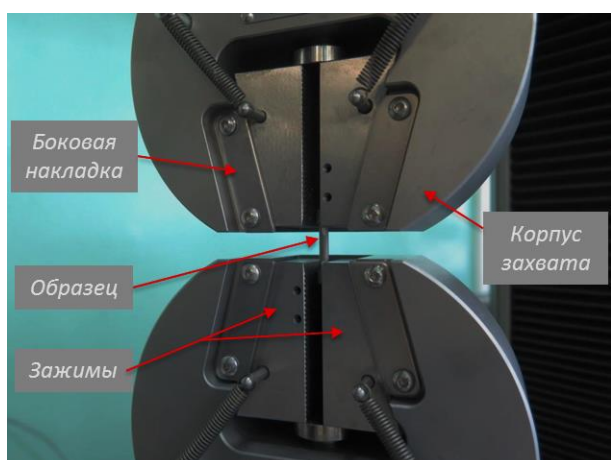


Рисунок 4. Закрепление испытуемого образца в клиновые захваты

Расчет прочностных и пластических характеристик осуществлялся в программной среде «Bluehill3» согласно [5].

Определение микротвердости

Определение микротвердости по Виккерсу проводилось на автоматическом твердомере Q10A+ (Qness) при нагрузке на индентор 0,1 и 0,5 кгс. Микротвердость определялась в поперечном и продольном сечениях образца. Количество измеряемых отпечатков на каждом сечении составляло более 10 шт.

Все испытания по определению механических свойств проводились при комнатной температуре.

Фрактографический и микроструктурный анализы

Фрактографический анализ изломов исходных и облученных бериллиевых образцов-свидетелей реактора ИВГ.1М после механических испытаний на трехточечный изгиб и на одноосное растяжение проводили на сканирующих электронных микроскопах TESCAN VEGA3 и JEOL JSM-6390 в режиме вторичных электронов.

Изучение топографии и микроструктуры поверхности образцов-свидетелей проводилось при помощи

оптического микроскопа ICX-41M. Изображения на оптическом микроскопе получены методом поляризации в отраженном свете при увеличениях до 200×.

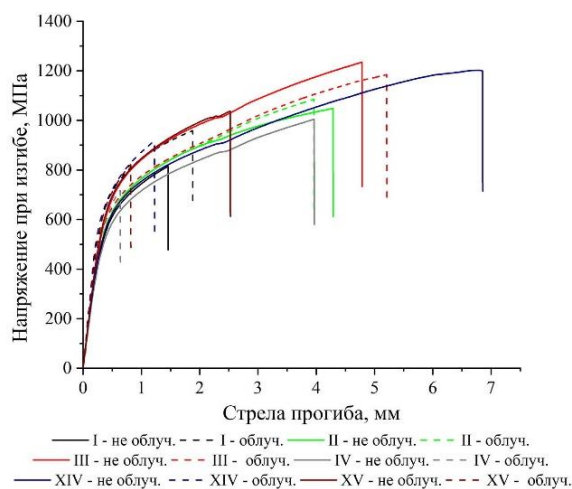
Определение распухания

Распухание определяли путем сравнения плотностей исходных и облученных образцов, определенных гидростатическим методом в среде дистиллированной воды.

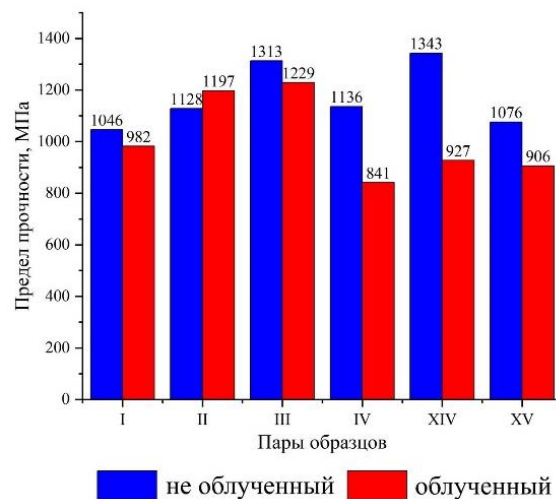
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Испытания на изгиб и растяжение

Ниже на рисунках 5, 6 и 7 представлены результаты испытаний на трехточечный изгиб исходных и облученных образцов бериллия.



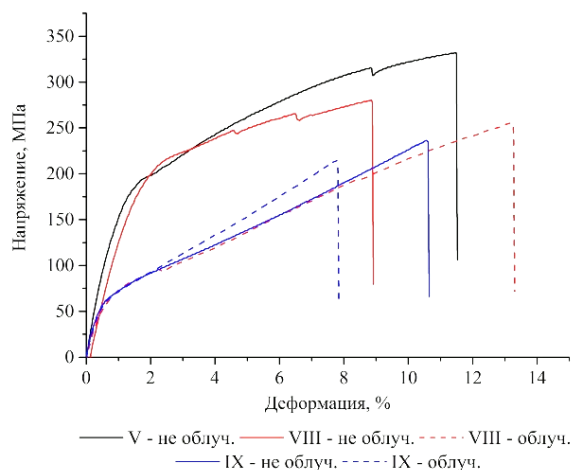
а) инженерные кривые напряжение-стрела прогиба



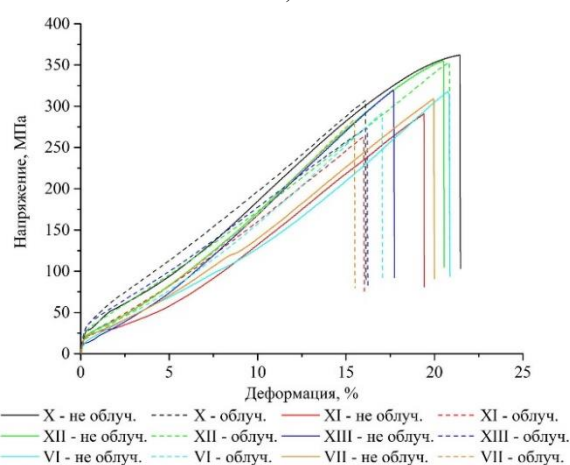
б) гистограммы вычисленных значений предела прочности

Рисунок 5. Результаты испытаний на трехточечный изгиб

Стоит отметить, что при испытаниях на растяжение образцы бериллия преимущественно разрушаются в области перехода рабочей части к головке, так как в этой зоне формируются наибольшие concentra-



а)



б)

Рисунок 6. Инженерные кривые напряжение-деформация для текстурированных (а) и безтекстурных (б) образцов бериллия до и после облучения

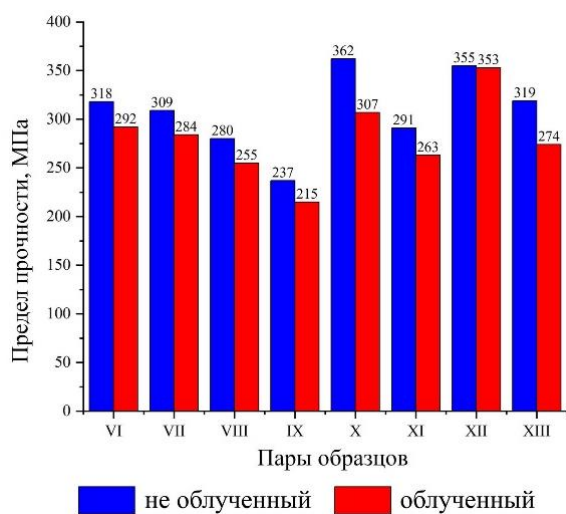


Рисунок 7. Гистограмма результатов испытаний на растяжение

ции напряжения. В связи с этим, в диаграмме растяжения за величину деформации образца использованы данные перемещения траверса, в котором преимущественно присутствует деформация захватов и динамометра. По данным видеоэкстензометра относительное удлинение расчетной длины образца не превышает 3%.

По результатам кратковременных испытаний на изгиб и растяжение установлено, что материал бериллия, изготовленный различным способом, после реакторного облучения разупрочняется в пределах 9,3–16,7%.

Определение микротвердости

На рисунке 8 приведены значения микротвердости бериллиевых образцов в различных сечениях, в исходном и облученном состоянии. В целом, после облучения в материале текстурного бериллия микротвердость возрастает до 23%. При этом рост микротвердости преимущественно возрастает в поперечном сечении относительно оси выдавливания.

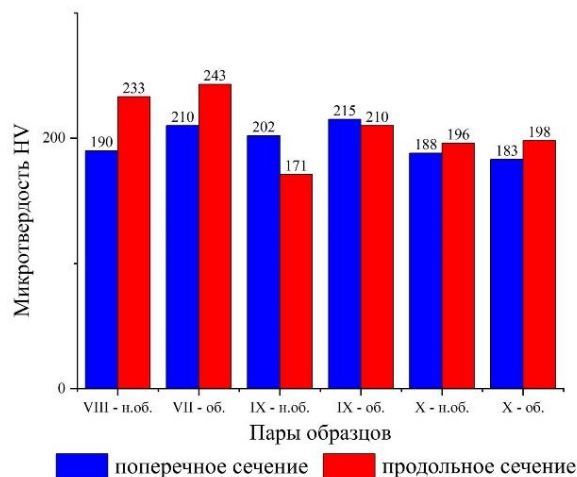


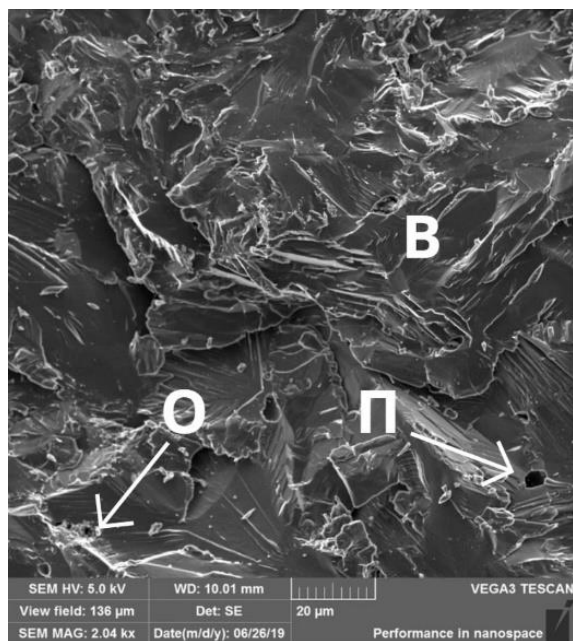
Рисунок 8. Гистограмма результатов определения микротвердости

Явное изменение микротвердости на фоне большого разброса погрешности измерений в материале бестекстурного бериллия, изготовленного прессованием, не наблюдается.

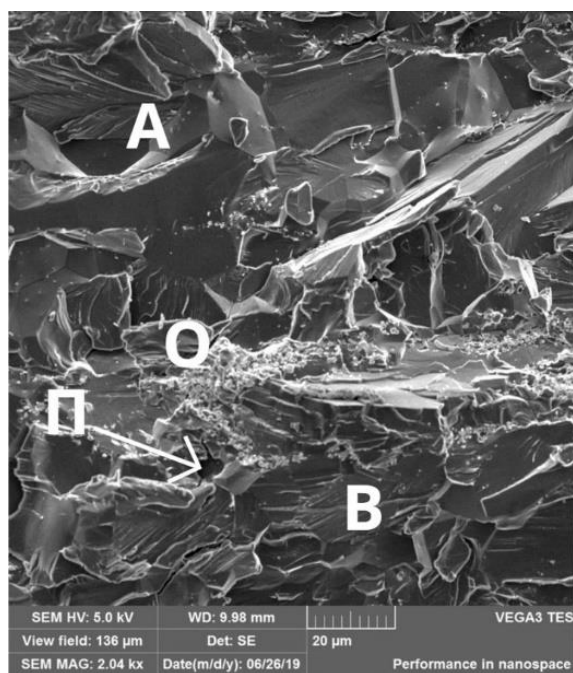
Определение распухания

Для определения распухания были использованы пары образцов XIV и XV. Значения распухания для образцов XIV и XV достигают значения – 0,17%. Относительная погрешность измерений составила – 0,09%. Низкотемпературное облучение бериллия характеризуется как область *твердого* распухания, причиной которого является радиогенный гелий. В условиях низкотемпературного облучения, когда подвижность обычных радиационных дефектов (вакансий и собственных внедренных атомов) достаточно высока для эффективной аннигиляции и ухода на стоки, а газовые атомы практически не подвижны, можно ожидать, как уже указано выше случай «*твердорастворного*» распухания.

Характер низкотемпературного распухания бериллия исследовался во многих ранних работах [6–9]. Из результатов этих работ следует, что при температуре облучения около 60–150 °С и флюенсе $\Phi_0 \leq 1,45 \cdot 10^{22}$ нейтр./см² ($E \geq 1$ МэВ) значения распухания невелики, не зависят от сорта материала. Так как значения наработанного флюенса для образцов XIV и XV намного меньше этого значения, существенного распухания не наблюдается.



а) VI (прессование)



б) IX (выдавливание)

Рисунок 9. Фрактограммы излома текстурного и бестекстурного бериллия

Фрактографический анализ

Для фрактографического анализа после испытания на растяжение были выбраны исходные и облученные образцы попарно (пары VI и IX) в зависимости от способа изготовления.

Излом прессованного бериллия в основном характеризуется наличием фасеток внутризеренного скола [10] (В), что свидетельствует о хрупком разрушении (рисунок 9, а). На поверхности присутствуют мелкие оксидные включения (О) и поры (П).

В образцах бериллия, изготовленного выдавливанием, излом происходит по смешанному характеру с наличием участков межзеренного (А) и внутризеренного (В) скола (рисунок 9, б). Также на поверхности присутствуют поры (П) и оксидные включения (О) как одиночные, так и группой.

На рисунке 10 приведены фрактограммы изломов образцов бериллия (XIV и XVI) после испытаний на трехточечный изгиб.

После испытаний на трехточечный изгиб в изломе наблюдаются характерные зоны: очаг разрушения, зона развития трещины и зона долома. При этом очаг разрушения находится на поверхности или внутри образца. На образцах с различной степенью деформации отличий в макрогеометрии излома не наблюдается.

Микроструктурный анализ

Для изучения микроструктуры бериллия были подготовлены металлографические шлифы продольного и поперечного сечений (относительно оси образца) из рабочей части цилиндрических образцов под номерами пар: VIII, IX и X, имеющие различную текстуру.

На рисунке 11 представлены микрофотографии исходного и облученного бериллия, изготовленного методом горячего прессования. На снимках, выполненных в поляризованном свете, отчетливо видны зерна и границы вследствие значительной разориентировки зерен. Структура – изотропная и разнотекстурированная.

В микроструктуре текстурного бериллия, изготовленного методом горячего выдавливания, преимущественная ориентировка зерен относительно оси выдавливания (см. рисунок 12). В направлении оси выдавливания зерна слегка вытянуты и выстроены в полосы.

Пары образцов (VIII и IX), предположительно отличающиеся только направлением отбора (вдоль и поперек), имеют различное происхождение, об этом свидетельствуют разные размеры зерен (VIII – 20–30 мкм; IX – 40–50 мкм). После облучения различные изменения в структуре бериллия не обнаружены.

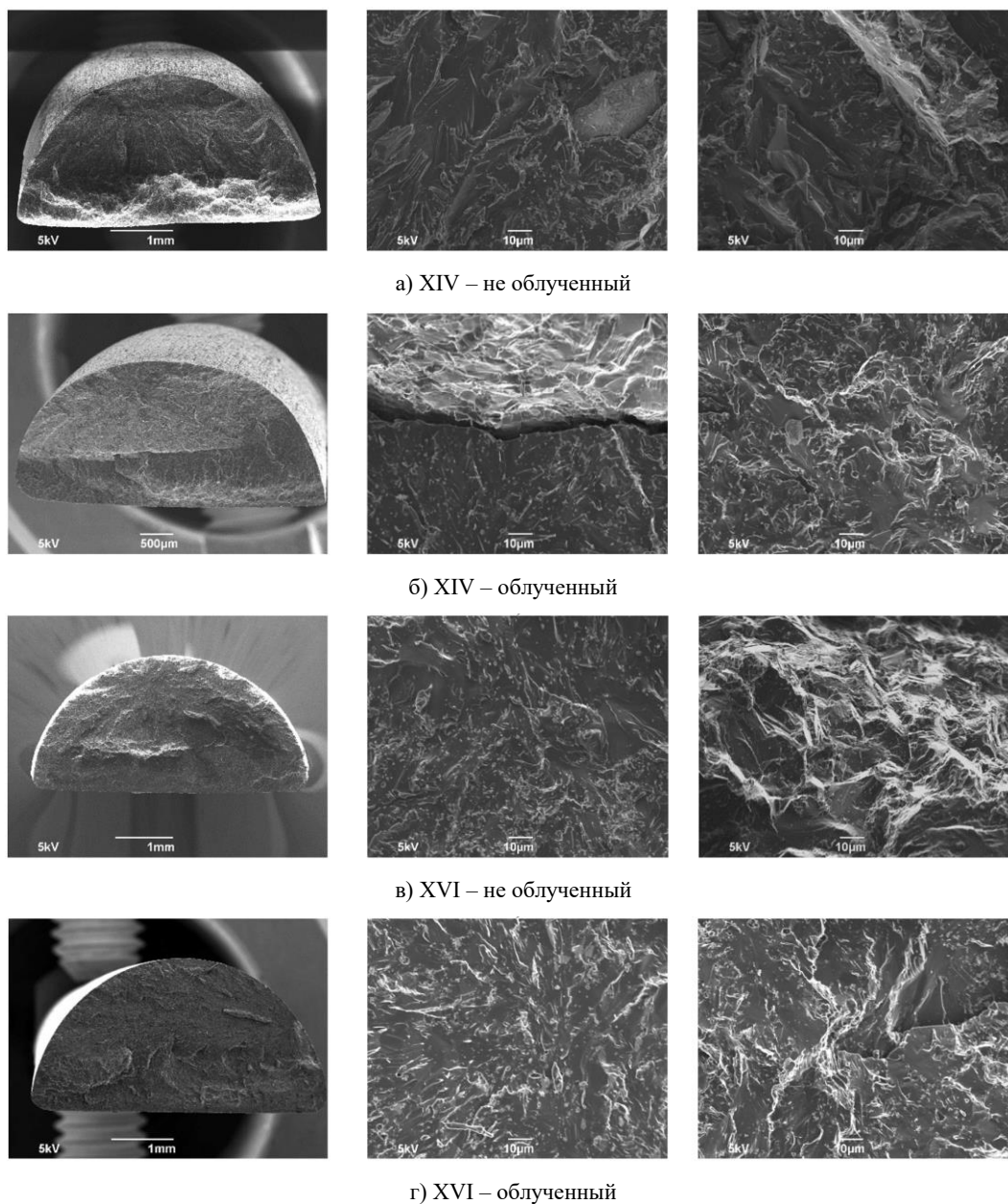


Рисунок 10. Фрактограмма излома образцов бериллий после испытаний на изгиб

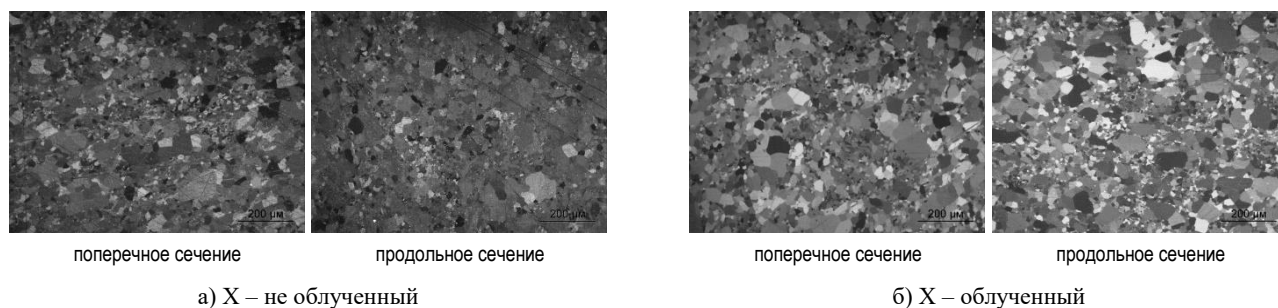


Рисунок 11. Микроструктура бестекстурного бериллия до и после облучения пары образца X при поляризованном свете

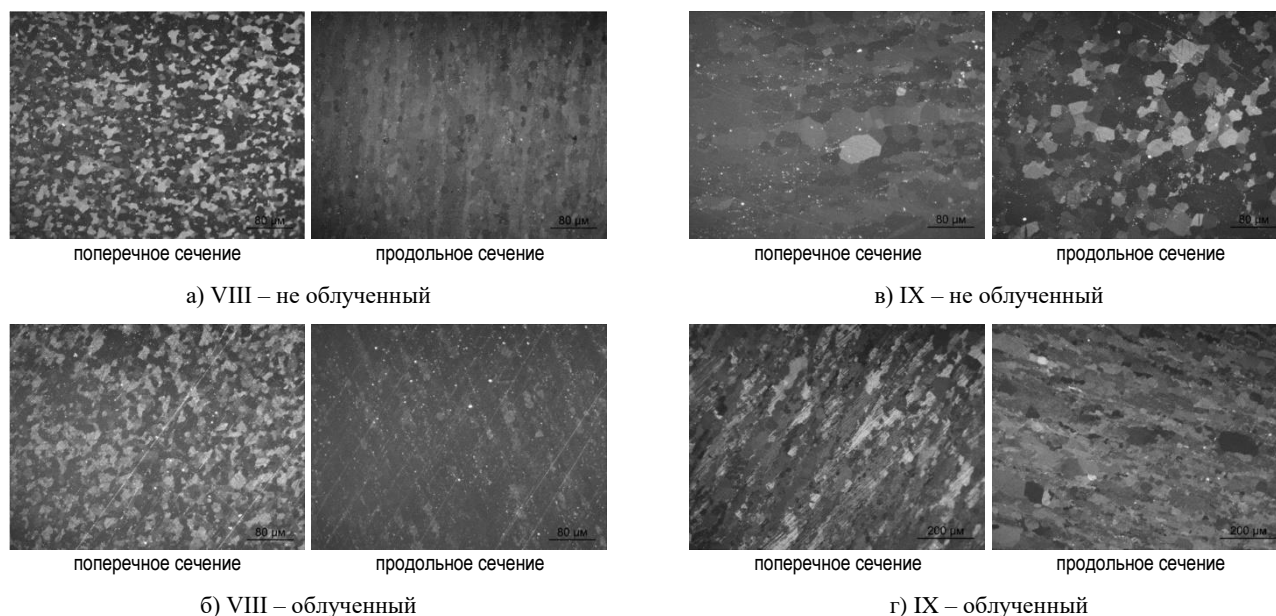


Рисунок 12. Микроструктура текстурного бериллия в исходном и облученном состоянии в различных сечениях пар образцов VIII и IX при поляризованном свете

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов сравнительного анализа можно сделать следующие выводы:

- за весь период испытаний в реакторе ИВГ.1М, образцы-свидетели подверглись облучению до флюенсов $(0,84-4,00) \cdot 10^{20}$ нейт/см²;
- после испытаний на изгиб и растяжение было установлено, что образцы подверглись радиационному разупрочнению, заключающемуся в снижении предела прочности на 16,7%;
- по результатам измерений микротвердости образцов определено, что произошло ее увеличение на 23% в зависимости от текстуры в материале бериллия;
- величина распухания образцов после облучения составила 0,17%;
- по результатам микроструктурного анализа различных изменений микроструктуры после облучения не наблюдается.

Следует уточнить, что наблюдаемые эффекты разупрочнения и радиационного упрочнения (увеличения микротвердости) не противоречат друг другу. Поскольку измерение микротвердости – это определение прочности в определенной локальной области материала, в отличие от краткосрочных механических испытаний на растяжение или изгиб, когда макрообласти образца, включающие множество зерен, подвергаются нагрузке и деформации. Это обстоятельство важно для понимания приведенных выше результатов испытаний на механический изгиб и растяжение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серняев Г. А. Радиационная повреждаемость бериллия, Екатеринбург: Изд. Екатеринбург. 2001. 395 с.

2. Гольцев В. П., Серняев Г.А., Четчикова З.И. Радиационное материаловедение бериллия. Минск: Наука и технология. 1977. 96 с.
3. Briesmeister, J. F. MCNP – a General Monte-Carlo Code for Neutron and Photon Transport / J.F. Briesmeister [et al.]. – Los Alamos, 1997. – LA-7396M.
4. MacFarlane, R.E. New Thermal Neutron Scattering Files for ENDF/B-VI Release 2.– Los Alamos, 1994.– LA-12639-MS
5. ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84). Металлы. Методы испытания на растяжение. М.: Стандартиформ.– 2008 г.
6. Ellis C.E., Perryman E.C. Effects of Neutron-Induced Gas Formation on Beryllium // J. Nucl. Mater., 1959, vol.1, p. 73–84.
7. Rich J.B., Redding G.B., Barnes R.S. The Effects of Heating Neutron Irradiated Beryllium // J. Nucl. Mater., 1959, vol.1, No.2, p. 96.
8. Weir J.R. The Effect of High-Temperature Reactor Irradiation on some Physical and Mechanical Properties of Beryllium // The Metallurgy of Beryllium. – London: Chapman and Hall, 1963, p. 395.
9. Hickman B.S. The Effects of Neutron Irradiation on Beryllium Metal // The Metallurgy of Beryllium, Institute of metals, Chapman and Hall, London, 1963, p. 410.
10. Расчеты и испытания на прочность. Классификация видов изломов металлов. Методические указания: РД 50–672–88: введ. 01.07.89 – М.: ВНИИНМАШ, 1988. – 22 с.

REFERENCES

1. Sernyayev G. A. Radiatsionnaya povrezhdaemost' beryllia. Yekaterinburg: Izd. Yekaterinburg. 2001. 395 p.
2. Gol'tsev V.P., Sernyayev G.A., Chechetkin Z.I. Radiatsionnoye materialovedenie beryllia // Minsk: Nauka y tekhnologia. 1977. 96 p.
3. Briesmeister, J. F. MCNP – a General Monte-Carlo Code for Neutron and Photon Transport / J.F. Briesmeister [et al.]. – Los Alamos, 1997. – LA-7396M.

4. MacFarlane, R.E. New Thermal Neutron Scattering Files for ENDF/B-VI Release 2. – Los Alamos, 1994. – LA-12639-MS
5. GOST 1497-84 (ISO 6892-84). Metally. Metody ispytaniya na rastyazheniye. M.: Standartinform. – 2008 g.
6. Ellis C.E., Perryman E.C. Effects of Neutron-Induced Gas Formation on Beryllium // J. Nucl. Mater., 1959, vol.1, p. 73–84.
7. Rich J.B., Redding G.B., Barnes R.S. The Effects of Heating Neutron Irradiated Beryllium // J. Nucl. Mater., 1959, vol.1, No.2, p. 96.
8. Weir J.R. The Effect of High-Temperature Reactor Irradiation on some Physical and Mechanical Properties of Beryllium // The Metallurgy of Beryllium. – London: Chapman and Hall, 1963, p.395.
9. Hickman B.S. The Effects of Neutron Irradiation on Beryllium Metal // The Metallurgy of Beryllium, Institute of metals, Chapman and Hall, London, 1963, p. 410.
10. Raschety y ispytaniya na prochnost'. Klassifikatsiya vidov izlomov metallov. Metodicheskiye ukazaniya. RD 50-672-88: vved. 01.07.89 – Moscow.: VNIIMASH, 1988. – 22 p.

ТӨМЕН ТЕМПЕРАТУРАЛЫ НЕЙТРОНДЫҚ СӘУЛЕЛЕНУ КЕЗІНДЕГІ БЕРИЛЛИЙДІҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ ЗАҚЫМДАНУЫ

^{1,2)} Н.А. Оразғалиев, ¹⁾ Е.Е. Сапатаев, ¹⁾ Е.А. Кожакметов, ¹⁾ Е.Д. Даулетханов, ²⁾ Г.К. Уазырханова

¹⁾ ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

²⁾ Д. Серікбаев атындағы Шығыс-Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Бұл жұмыста бериллийдің төмен температуралы нейтрондық сәулелену кезіндегі радиациялық зақымдануын бағалау үшін ИВГ.1М реакторында орнатылып сәулеленген, оксид фазасы шамамен 1% (масс.) ТШГ-200 бериллий маркасынан жасалған үлгілер зерттелді. ИВГ.1М зерттеу реакторында ұзақ уақыт бойы сәулеленген үлгілердің интегралдық флюенсі $0,8-4 \cdot 10^{20}$ нейт./см² аралығында. Сонымен қатар, алынған нәтижелерді салыстыру үшін дәл осындай бериллий маркасынан жасалған сәулеленбеген үлгілер де зерттелді.

Зерттеудің мақсаты ИВГ.1М реакторында болған кездегі бериллий үлгілерінің радиациялық тозу деңгейін анықтау болды. Бериллий үлгілерінің беріктік сипаттамаларын анықтау үшін үш нүктелі иілу және созылу механикалық сынақтар жүргізілді, сонымен қатар олардың микроқаттылығы да өлшенді. Ісіну деңгейін анықтау үшін бериллий үлгілерінің тығыздығы тазартылған су ортасында гидростатикалық өлшеу әдісімен анықталды.

Қысқа мерзімді иілу және созылу сынақтарының нәтижелері бойынша реакторлық сәулеленуден кейін бериллий материалы 9,3–16,7% аралығында беріктігі азайды. Ал микроқаттылықты өлшеу нәтижелері бойынша, оның мәні 23%-ға дейін өскенін көрсетті. Тығыздықты анықтау нәтижелері бойынша төмен температуралы нейтрондық сәулеленуден кейін үлгілердің көлемінің ұлғаюы анықталған жоқ.

Механикалық сынақтардан кейін орындалған фрактографиялық және микроқұрылымдық талдаулар нәтижелері сәулеленуден кейін бериллийдің микроқұрылымында айтарлықтай өзгерістер болмағандығын көрсетті.

Түйін сөздер: бериллий, нейтрондық сәулелену, механикалық қасиеттер, беріктік шек, микроқаттылық, көлем ұлғаюы, микроқұрылым.

RADIATION DAMAGE TO BERYLLIUM UNDER LOW-TEMPERATURE NEUTRON IRRADIATION

^{1,2)} N.A. Orazgaliyev, ¹⁾ Ye.Ye. Sapatayev, ¹⁾ Ye.A. Kozhakhmetov, ¹⁾ Ye.D. Dauletchanov, ²⁾ G.K. Uazyrkhanova

¹⁾ Branch “Institute of Atomic Energy” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

²⁾ D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

In this work, to assess the radiation damage of beryllium under low-temperature neutron irradiation, samples from beryllium grade TShG-200 with an oxide phase concentration of about 1 wt % were studied, which were kept in the IVG.1M research reactor for a long time and were irradiated to fluences $0.8-4 \cdot 10^{20}$ neut./cm². Also, unirradiated original witness samples of the same brand were tested to compare the results.

The aim was to establish the level of radiation degradation of beryllium samples during their tests in the IVG.1M reactor. Mechanical tests for three-point bending and tension were performed to determine the strength of beryllium samples, and their microhardness was also measured. To determine the degree of swelling of the beryllium samples their densities were measured by the method of hydrostatic weighing in the medium of distilled water.

According to the results of short-term bending and tensile tests, it was found that the beryllium material after reactor irradiation softens in the range of 9.3–16.7%. And the results of measuring the microhardness showed an increase of up to 23%. Density results did not reveal swelling of the samples after low-temperature neutron irradiation.

After mechanical tests, special studies of fractures and microstructural analysis were carried out, which did not reveal noticeable changes in the microstructure of beryllium after irradiation.

Keywords: beryllium, neutron irradiation, mechanical properties, tensile strength, softening, microhardness, swelling, microstructure.