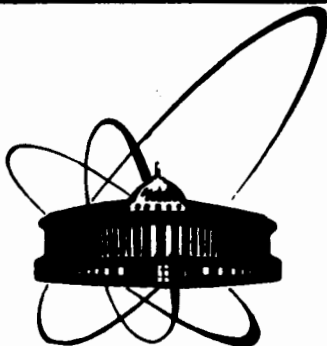


3/Х - 83



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

5127/83

18-83-537

Г.Н.Флеров, Е.Д.Воробьев, В.Малиновский,
В.Р.Регель, Д.Сенеш, В.А.Скуратов, К.Хаванчак,
В.А.Шеголев

**ИССЛЕДОВАНИЯ
ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ
НА ПУЧКАХ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ**

Направлено в Оргкомитет 4-й Школы по физике
радиационных повреждений твердого тела
/Алушта, сентябрь-октябрь 1983 г./

1983

Наиболее эффективным методом изучения радиационных свойств материалов в настоящее время являются имитационные исследования на ускорителях заряженных частиц. Для имитации воздействия реакторного облучения на основные механические свойства материалов применяются главным образом пучки легких ионов, электронов и γ -квантов^{/1/}. Это связано прежде всего с необходимостью использования при механических испытаниях образцов с толщиной, превышающей в несколько раз размеры зерна, что дает основание считать получаемую усредненную информацию о влиянии процессов, происходящих на микроуровне /образование радиационных дефектов, взаимодействие дислокаций с дефектами и друг с другом и др./, неискаженной, так как характерный размер неоднородностей этих процессов не превосходит размера нескольких зерен^{/2/}.

Ускорители высокоэнергетических тяжелых ионов / $E \approx 10$ МэВ/нукл./ занимают в ряду имитационных устройств особое место, так как позволяют исследовать свойства материалов в условиях высоких скоростей образования радиационных дефектов /на порядки больших, чем на пучках легких ионов/ с соблюдением упомянутого выше требования "макроскопичности" облучаемого объекта. Наряду с практическими задачами имитационных исследований изучение особенностей радиационного дефектообразования в твердых телах под действием тяжелых ионов высокой энергии представляет интерес и для дальнейшего развития физики радиационных повреждений, поскольку в этой области систематических исследований не проводилось.

В Лаборатории ядерных реакций /ЛЯР/ ОИЯИ на базе циклотронов У-200, У-300, У-400 начаты работы по радиационному материаловедению, направленные главным образом на изучение возможностей использования ускорителей тяжелых ионов для моделирования радиационной повреждаемости конструкционных реакторных материалов^{/3-7/}.

В настоящей работе обсуждаются экспериментальные возможности имитационных исследований в Лаборатории ядерных реакций, описывается разработанная методика для исследования пластических свойств материалов на пучках тяжелых ионов, приводятся результаты первых экспериментов по изучению радиационного упрочнения и охрупчивания никеля, облученного высокоэнергетическими ионами неона.

В таблице представлены характеристики пучков тяжелых ионов, применяющихся в материаловедческих экспериментах. Такие характеристики, как максимальная скорость образования дефектов \dot{D} /с.н.а./см².с/ и глубина зоны повреждения R /мкм/ для алюминия приведены для наглядности и на рис.1. Расчет значения с.н.а. без учета всех неупругих процессов производится по TRN-стандарту^{/8/}, данные о пробегах ионов взяты из таблиц^{/10/}.

Таблица

Тип иона	Энергия, МэВ	Повреждающая способность на ион/с.н.а./	Пробег в Al, мкм	Пробег в Ni, мкм	Максимальная интенсивность пучка, 1/см ² .с
¹¹ B	90	5,5.10 ⁻¹⁹	206	78	5.10 ¹³
¹² C	110	7,8.10 ⁻¹⁹	186	71	10 ¹³
¹⁶ O	162	1,2.10 ⁻¹⁸	145	56	10 ¹³
²⁰ Ne	292	1,4.10 ⁻¹⁸	260	95	10 ¹³
⁴⁰ Ar	304	1,1.10 ⁻¹⁷	78	31	5.10 ¹²
⁵⁸ Ni	278	3,3.10 ⁻¹⁷	46	18	5.10 ¹²
⁵⁸ Fe	348	4,8.10 ⁻¹⁸	51	22	2,5.10 ¹³
⁵⁵ Mn	440	1,6.10 ⁻¹⁸	73	30	6.10 ¹³
¹³² Xe	153	3,1.10 ⁻¹⁴	15	7	2,5.10 ¹²

Примечание: Для сравнения можно отметить, что скорость образования дефектов нейтронами с энергией 14 МэВ составляет $27 \cdot 10^{-22}$ с.н.а./1/, что на несколько порядков ниже приведенных в таблице аналогичных данных для ионов.

Как видно из таблицы и рисунка, имеется возможность проведения исследований по изучению свойств материалов в широком интервале скоростей дефектообразования с применением ионов различной массы и энергии. Это позволяет вводить в круг перспективных задач и такие, которые касаются влияния скорости образования повреждений и "жесткости" спектров первично выбитых атомов на формирующую структуру облучаемых материалов. В зависимости от характера задач облучение может производиться ионами химически активных элементов, инертных газов и металлов.

Первые эксперименты по изучению особенностей радиационного деформирования и разрушения алюминия, облучаемого высокоэнергетическими ионами углерода ¹⁵⁻¹⁷, показали необходимость качественного совершенствования имеющихся методик, применения современного материаловедческого оборудования. Так, изучение скорости радиационной ползучести проводилось на установке, рассчитанной на работу в ограниченном диапазоне напряжений, что не позволило получить данных о величине скорости ползучести при нагрузках, меньших предела текучести. Кроме этого, существенным недостатком первых опытов было отсутствие контроля пространственного распределения интенсивности ионов в пучке в процессе испытания образцов.

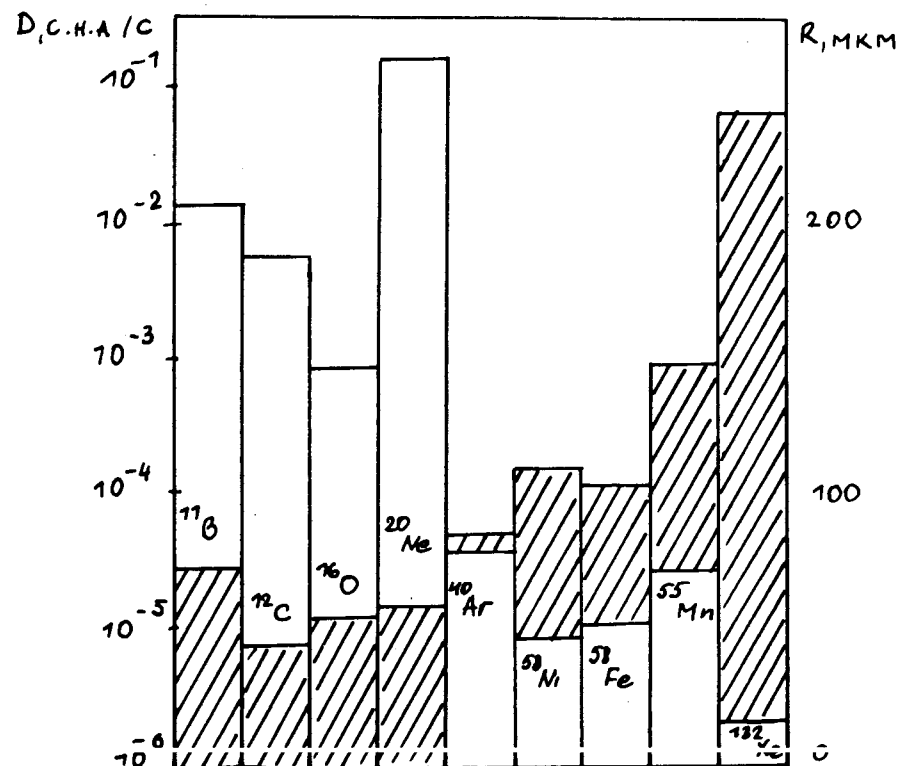


Рис. 1

К настоящему времени разработана экспериментальная методика для исследования механических свойств материалов на пучках тяжелых ионов, основой которой является испытательная машина ИНСТРОН-1121, работающая в режимах деформации с постоянной скоростью /минимальная скорость - 0,1 мм/мин/, программного нагружения и ползучести. Испытания образцов в указанных выше режимах могут производиться в диапазоне нагрузок от 0 до 1 кН.

Конструкция стандартных захватов образцов к машине ИНСТРОН была изменена таким образом, чтобы можно было осуществлять нагрев образца и захватов электрическим током, что дает возможность изменять и поддерживать температуру образца во время испытания. Температура образца определяется по показаниям термопары, прикрепляемой токопроводящим клеем к нижней лопатке образца.

Получаемые в ходе эксперимента данные о значениях нагрузки на образец, его деформации и температуры, интенсивности пучка регистрируются многоканальным самописцем и передаются через пре-

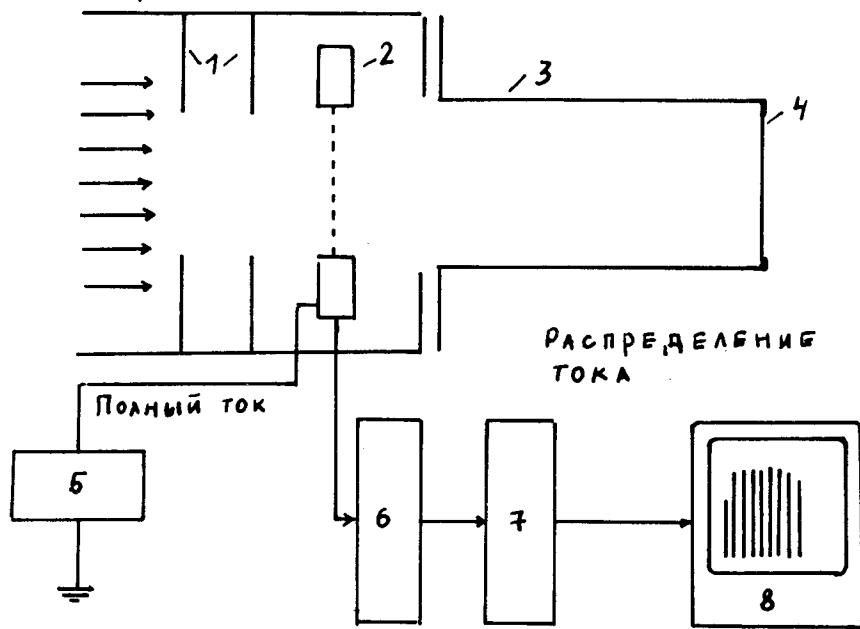


Рис.2. 1 - диафрагмы, ограничивающие размеры пучка по форме образца, 2 - монитор вторичной эмиссии, 3 - цилиндр Фарадея. 4 - выводная фольга. 5 - микроамперметр, 6 - коммутатор аналоговых сигналов, 7 - преобразователь аналог - код, 8 - микропроцессор.

образователь аналог-код на микропроцессор, позволяющий накапливать и обрабатывать информацию. Возможности микропроцессора существенно расширены за счет использования связи с ЭВМ ТРА-11/40.

Для контроля параметров пучка служит система диагностики /рис.2/, основным элементом которой является секционированный монитор вторичной эмиссии /11/, позволяющий контролировать как полный ток пучка, так и пространственную однородность пучка по вертикали с точностью примерно 5%. Калибровка монитора выполняется по показаниям цилиндра Фарадея. Данные о распределении интенсивности в пучке выводятся в виде гистограмм на дисплей микропроцессора. Испытания образцов проводятся на пучках, выводимых на воздух через алюминиевую фольгу толщиной 10-15 мкм.

Основной задачей разработанной методики является выполнение экспериментов непосредственно на пучках тяжелых ионов. Опыты, проведенные ранее /5-8/, показали, что при одновременном действии механических напряжений и облучения за сравнительно короткое время /порядка часа/ удается получить достаточно полную информацию об особенностях деформирования и разрушения материалов

в этих условиях. В работе /7/ показано, что при облучении алюминия тяжелыми ионами высокой энергии существенно /на порядки/ увеличивается скорость ползучести $\dot{\epsilon}$ и уменьшается долговечность τ . Получены первые данные о функциональной зависимости $\dot{\epsilon}$ и τ от приложенного напряжения σ . В /6/ и /7/ обнаружены интересные эффекты изменения формы кривых деформации в момент включения и выключения пучка.

Результаты работ /5-8/ вызвали ряд вопросов, которые следует разрешить в дальнейших исследованиях с применением более совершенной, чем ранее, методики. Такой методикой и является описанная выше система на основе машины ИНСТРОН.

В настоящее время с помощью разработанной методики проводятся исследования механических свойств таких материалов, как алюминий и никель. В будущем предполагаются исследования при одновременном действии облучения и механических напряжений также и других материалов, в том числе и перспективных реакторных материалов.

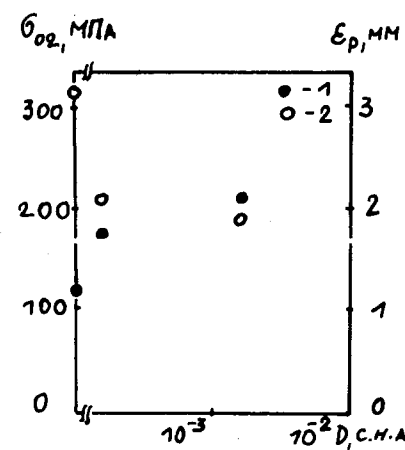


Рис.3

представлена зависимость предела текучести σ_{02} и удлинения образца до разрушения ϵ_p от дозы облучения в единицах с.н.а./см². Для получения такой информации потребовалось всего несколько часов работы ускорителя, что свидетельствует о высокой эффективности подобных опытов.

Таким образом, в Лаборатории ядерных реакций разработана методика исследования влияния на механические свойства материалов облучения тяжелыми ионами, основанная на применении машины ИНСТРОН. Проведено опробование разработанной методики и выполнены первые опыты на модельных металлах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленский В.Ф., Неклюдов И.М. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, 1981, вып.5/19/, с.3-24.

2. Альтовский И.В. и др. Препринт ИАЭ-3604/11, М., 1982.
3. Флеров Г.Н. и др. АЭ, 1976, т.40, вып.3, с.211-216.
4. Воробьев Е.Д. и др. ОИЯИ, 18-80-646, Дубна, 1980.
5. Регель В.Р. и др. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, 1979, вып.3/11/, с.57-63.
6. Афанасьев В.Д. и др. ОИЯИ, 18-80-829, Дубна, 1980.
7. Воробьев Е.Д. и др. ОИЯИ, 18-82-558, Дубна, 1980.
8. Воробьев Е.Д. Применение пучков тяжелых ионов в радиационном материаловедении. В кн.: IV Собрание по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1982.
9. Norget M., Robinson M.T., Torrens J.M. Nucl.Eng. and Des., 1975, vol.33, p.50-54.
10. Hubert F. et al. Ann.Phys., 1980, vol.5.
11. Афанасьев Н.Г., Демьянов А.В. ПТЭ, 1962, № 2, с.20-22.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 июля 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Флеров Г.Н. и др. 18-83-537
Исследования пластических свойств материалов на пучках высокоэнергетических тяжелых ионов

В предлагаемой работе обсуждаются экспериментальные возможности имитационных исследований в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ на ускорителях У-200, У-300 и У-400. Описывается методика, разработанная для изучения пластических свойств материалов на пучках тяжелых ионов, основой которой является испытательная машина фирмы ИНСТРОН. Приводятся результаты первых экспериментов по исследованию радиационного упрочнения и охрупчивания никеля, облученного высокоэнергетическими ионами неона.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Flerov G.N. et al. 18-83-537
Investigation of Plastic Properties of Materials on High Energy Heavy Ion Beams

Experimental possibilities of imitation investigations carried in JINR on the U-200, U-300 and U-400 accelerators are discussed. The technique developed for studying plastic properties of materials on heavy ion beams is described. It is based on the INSTRON test machine. The results of first experiments on the study of radiation hardening and embrittlement of nickel irradiated by high energy ions of neon are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой