

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

14-84-46

Л.Ю.Аюбов, П.Л.Грузин, М.Д.Шафранов

**ВЛИЯНИЕ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ
НА МИКРОТВЕРДОСТЬ СПЛАВОВ
СИСТЕМЫ Fe-Ni**

1984

Радиационное воздействие излучения и частиц высоких энергий на прецизионные и конструкционные сплавы мало изучено. Развитие реакторостроения, ускорительной техники, космических аппаратов и др., материалы которых подвергаются интенсивному облучению нейтронными потоками, заряженными частицами высоких энергий, γ -облучению, требует всестороннего изучения механизмов и процессов воздействия излучения и заряженных частиц подобного типа на конструкционные и прецизионные сплавы, применяемые в различных областях науки и техники. Изучение радиационного воздействия представляет интерес и для быстро развивающейся радиационной технологии материалов.

Железо-никелевые сплавы составляют основу большого числа конструкционных и прецизионных сплавов, поэтому исследование радиационного воздействия на них вполне обосновано. Кроме того, радиационное воздействие на металлы является одним из перспективных методов исследования структуры ^{1/1}, а радиационная технология материалов ставит новые проблемы в получении определенных свойств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для облучения были подготовлены образцы сплавов системы железо-никель по составам от 50 до 90 ат.% Ni через 5 ат.% Ni. Из прокатных полос размером 50x700 [мм²] и толщиной ~100 мкм вырезались прямоугольные образцы размером 20x15 [мм²]. Слой окислы снимался травлением с последующей электрополировкой до толщины образцов 50 мкм, затем проводился длительный упорядочивающий отжиг в вакууме с титановыми и циркониевыми геттерами в течение 512 ч. по методике, описанной в работе ^{1/2}. Первый набор образцов был собран во фторопластовой кассете и установлен на пучке электронов и позитронов с энергиями 10 ГэВ и плотностью $10^5 e^{\pm} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ и облучался потоками флюенсом $2 \cdot 10^{11} e^{\pm} \cdot \text{см}^{-2}$ при температуре 19-27°C без охлаждения. Второй набор в полиэтиленовой кассете был установлен на γ -потоке с максимальной энергией фотонов 70 ГэВ и плотностью 10^{14} фот. $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Температура образцов была в пределах 24-36°C. Таким образом, в первом и втором наборах происходило только радиационное воздействие на сплавы без нагрева образцов. После облучения проводились испытания образцов на микротвердость по Виккерсу с нагрузками 0,1; 0,15 и 0,2 кгс.

На рисунке представлена зависимость микротвердости по Виккерсу (HV) от концентрационного состава железо-никелевых сплавов, упорядоченных длительным отжигом, облученных электронами и позитронами с энергиями 10 ГэВ и γ -квантами с энергией до 70 ГэВ. В упорядоченных длительным отжигом сплавах видно, что у состава Fe-50 ат.% Ni, упорядоченного по типу структуры $L1_0$, микротвердость выше, чем у стехиометрического состава Fe-75 ат.% Ni, упорядоченного по типу структуры $L1_2$, а самой малой микротвердостью HV обладает сплав Fe-90 ат.% Ni, имеющий высокую концентрацию никеля, почему он и приближается к свойствам чистого никеля.

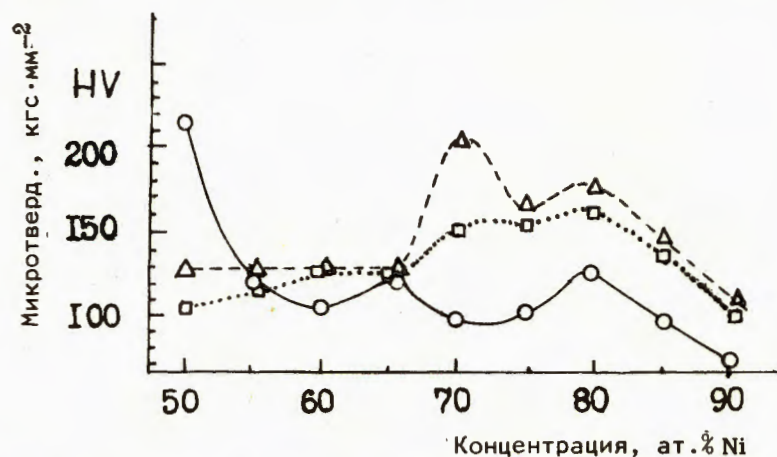


Рис.1. Зависимость HV от концентрации Ni в отожженных и упорядоченных (—○—), облученных электронами и позитронами (...□...), γ -облученных (-.-Δ.-) сплавах системы Fe-Ni.

При облучении электронами и позитронами высоких энергий длительно отожженных и упорядоченных сплавов микротвердость HV снизилась в два раза; в составе Fe-65 ат.% Ni, где упорядочение произошло по типу Ni_2Fe , микротвердость не изменилась, а в стехиометрическом составе Ni_3Fe микротвердость повысилась примерно на 60% /см. таблицу/. В отклоненном от стехиометрии в сторону меньшего содержания Ni /на 5%/ микротвердость HV также повысилась на 50%, но значение ее несколько ниже, чем в Fe-75 ат.% Ni, а в сторону увеличения состава Ni на 5% от стехиометрии микротвердость HV выше. При большей концентрации Ni /выше 80%/ увеличение HV после облучения для сплавов одинаково и равно ~40% для каждой последующей концентрации.

Численные значения HV в отожженных и упорядоченных, облученных электронами, позитронами и γ -квантами высоких энергий сплавов системы Fe-Ni

Концентр., ат.% Ni	HV, микротвердость, кгс·мм ⁻²		
	отожженный и упорядоч.	облученный e^{\pm}	гамма-облученный
50	216,0	116,4	129,8
55	129,8	124,5	129,8
60	112,3	128,4	128,7
65	125,7	127,3	129,8
70	104,5	155,8	205,7
75	107,8	158,1	171,1
80	129,8	164,7	185,7
85	96,4	137,2	151,1
90	75,3	109,3	116,8

Несколько иная зависимость HV от концентрации наблюдается в γ -облученных сплавах Fe-Ni. В сплавах от Fe-50 ат.% Ni до Fe-65 ат.% Ni микротвердость примерно одинакова и составляет 130 кгс·мм⁻², затем значительно возрастает в составе Fe-70 ат.% Ni и равна 205 кгс·мм⁻². В стехиометрическом составе Ni_3Fe в γ -облученном сплаве происходит повышение ее на 61% по сравнению с микротвердостью сплава, упорядоченного термообработкой, и равно ~171 кгс·мм⁻². В составе Fe-80 ат.% Ni при γ -облучении HV возрастает до 185 кгс·мм⁻², что несколько выше, чем у Ni_3Fe . Далее, в γ -облученных сплавах от состава Fe-80 ат.% Ni до Fe-90 ат.% Ni микротвердость HV равномерно понижается от 185 кгс·мм⁻² до 115 кгс·мм⁻², но она выше, чем в длительно отожженных сплавах тех же составов примерно на 40-60 кгс·мм⁻² и несколько выше, чем в облученных электронами

и позитронами с энергиями 10 ГэВ /на 8-21 кгс·мм⁻² /, /см.рисунок/. Следует отметить, что при γ -облучении энергией 70 ГэВ в составах от Fe-50 ат.%Ni до Fe-65 ат.%Ni микротвердости незначительно отличаются друг от друга, причем в составе Fe-65 ат.%Ni микротвердость меняется в малой степени в длительно отожженных, облученных электронами и позитронами с энергиями 10 ГэВ, плотностью пучка $10^5 e^{\pm} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ и флюенсом $\sim 2 \cdot 10^{11} e^{\pm} \cdot \text{см}^{-2}$, облученных γ -квантами с энергией 70 ГэВ, плотностью потока $\sim 10^{14}$ фот. $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ флюенсом 10^{20} фот. см^{-2} . Кроме того, при отклонении от стехиометрии на +5 ат.% при γ -облучении происходит большее возрастание HV, чем в Ni₃Fe /на 10-20%/.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При длительном упорядочивающем отжиге минимальная прочность наблюдается в стехиометрических составах, в которых, как отмечается в работе^{/3/}, ширина сверхдислокаций минимальна. На рисунке видно, что минимумы наблюдаются у составов Fe-60 ат.%Ni и Fe-75 ат.%Ni, где имеется сверхструктура типа L1₂. Максимальная твердость наблюдается в составе Fe-50 ат.%Ni, где имеется сверхрешетка типа L1₀ слоистого расположения компонентов сплава в кристаллической структуре.

После "холодного" радиационного воздействия электронным и позитронным пучками картина распределения HV по составам существенно меняется. Заметно значительное понижение микротвердости в составе Fe-50 ат.%Ni, обусловленное, вероятней всего, активным перемешиванием компонентов за счет образования потоков вакансий и межузельных атомов, вследствие чего происходит разупорядочение. Частичный распад твердого раствора и перемешивание компонентов происходит также и в составе Fe-60 ат.%Ni. В составах Fe-55 ат.%Ni и Fe-65 ат.%Ni микротвердость меняется незначительно. Возрастание HV стехиометрического сплава Ni₃Fe на +5 ат.%Ni, отклоненных от стехиометрии, обусловлено тем, что сверхрешетка L1₂, распространяющаяся в стехиометрическом составе и близлежащих к нему концентрациях сплава Fe-Ni, по-видимому, препятствует в значительной степени миграции радиационно-образованных дефектов, и происходит повышение HV за счет накопления радиационных дефектов в объеме.

Радиационное воздействие γ -излучения энергией 70 ГэВ на микротвердость HV в зависимости от концентрации Ni проявляется следующим образом: γ -излучение высоких энергий конвертирует в сплаве электрон-позитронные лавины, которые производят внутреннее облучение сплава, подобное воздействию электронных и позитронных пучков. Таким образом, можно предполагать, что при наборе достаточного флюенса электронным и позитронным пучками с энергиями 10 ГэВ при воздействии на длительно отожженные и упорядоченные сплавы Fe-Ni график зависимости HV от

концентрации Ni приблизился бы по форме к зависимости, полученной при γ -облучении энергией 70 ГэВ.

При γ -облучении Fe-Ni различных составов в пределах концентраций от 50 до 65 ат.%Ni происходит выравнивание HV, что является следствием образования структурно однородных состояний сплавов.

Сверхструктура типа L1₂ стехиометрического состава, распространяющаяся в близлежащие концентрации, так же, по-видимому, как при электрон-позитронном облучении препятствует миграции образованных γ -облучением радиационных дефектов.

Выше отмечалось, что в составе Fe-65 ат.%Ni происходят незначительные изменения в γ -облученных, по сравнению с отожженными / 2,3%/, следовательно, сплав состава Fe-65 ат.%Ni, имеющий структуру Ni₃Fe, является наиболее радиационно стойким к электронным, позитронным пучкам и γ -излучению. Сравнивая вышеприведенные результаты с данными работы^{/4/}, где рассматриваются преимущественно воздействия частиц средних энергий, можно предполагать, что при радиационном воздействии высокоэнергетическими излучениями и частицами число радиационно образованных дефектов зависит от структуры сплава, энергии излучения и типа частиц. При этом происходит внутреннее и равномерное облучение по всему объему испытуемого материала без нагрева при γ -облучении и малых плотностях потоков заряженных частиц.

Сравнивая зависимости HV от концентрации Ni отожженных и упорядоченных сплавов после их облучения электронами и позитронами с энергиями 10 ГэВ, γ -квантами /70 ГэВ/, можно также полагать, что при γ -облучении основное радиационное воздействие на сплавы вызвано вторичной конверсионной электрон-позитронной лавиной, образованной в объеме облучаемого γ -излучением металла. Кроме того, не исключена возможность, что определенный вклад в изменение структуры происходит в результате воздействия других ядерно-физических взаимодействий излучений и частиц с ядрами компонентов сплавов. Подробно взаимодействие высокоэнергетических частиц с ядрами рассматриваются в работе^{/5/}.

ВЫВОДЫ

Проведено испытание на микротвердость HV сплавов Fe-Ni состава от 50 до 90 ат.%Ni, длительно отожженных и упорядоченных, облученных электронами и позитронами с энергиями 10 ГэВ, плотностью пучка $10^5 e^{\pm} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, флюенсом $\sim 2 \cdot 10^{11} e^{\pm} \cdot \text{см}^{-2}$ при температуре 19-27°C; облученных γ -квантами с энергией до 70 ГэВ, флюенсом 10^{20} фот. см^{-2} при температуре до 36°C.

"Холодное" радиационное воздействие на сплавы приводит к изменению структуры, что проявляется в упрочнении и разупрочнении сплавов различных составов.

Воздействие электронов, позитронов и γ -излучения высоких энергий происходит по всему объему, причем при γ -облучении происходит преимущественно конверсия электрон-позитронных лавин, которые оказывают наибольшее радиационное воздействие.

Наиболее устойчивым к радиационному воздействию из исследуемых сплавов системы Fe-Ni является сплав состава Fe-65 ат.% Ni, где имеется структура типа Ni_2Fe .

В сплаве стехиометрического состава Ni_3Fe сверхструктура препятствует миграциям вакансий и межузельных атомов и процессам их рекомбинаций, поэтому в сплавах этого состава и близких к нему происходит накопление радиационных дефектов, что проявляется в увеличении микротвердости.

При γ -облучении отожженных и упорядоченных сплавов Fe-Ni в интервале концентраций Fe-50-65 ат.% Ni происходит выравнивание микротвердости, что является следствием формирования в этом интервале концентраций структурно-однородных состояний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зигель С. В сб.: Совр. физ. методы иссл. в металловедении. "Металлургия", М., 1958, с.342-355.
2. Гоманьков В.И., Пузей И.М., Лошманов А.А. Кинетика упорядочения в Ni_3Fe . Физика металлов и металловедение. "Наука", Свердловск, 1966, с.128-130.
3. Столофф И.С., Дэвис Р.Г. Механические свойства упорядочивающихся сплавов. "Металлургия", М., 1969, с.57.
4. Ибрагимов Ш.Ш. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. Изд-во ХФТИ, Харьков, 1981, вып.5/19/, с.25-36.
5. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействие высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Атомиздат, М., 1972, с.136-139.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 мая 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 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

Аюбов Л.Ю., Грузин П.Л., Шафранов М.Д.

14-84-46

Влияние высокоэнергетического облучения на микротвердость сплавов системы Fe-Ni

Проведено испытание на микротвердость сплавов системы Fe-Ni, упорядоченных длительным отжигом, облученных электронами, позитронами и γ -излучением высоких энергий. Установлено, что при высокоэнергетическом облучении значения микротвердости существенно меняются в зависимости от состава сплава, типа действующего излучения и дозы. Результаты исследования могут быть полезны специалистам при проектировании и эксплуатации конструктивных элементов и прецизионных устройств ускорительной техники, ядерной энергетики и радиационной технологии.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Ayubov L.Yu., Gruzin P.L., Shafranov M.D.

14-84-46

The Effect of High Energy Radiation on Microsolidity of Fe-Ni Alloys

The Fe-Ni alloys were ordered by the long term annealing and irradiated by high energy electrons, positrons and γ -rays and then studied for microsolidity. The values of microsolidity after such irradiation are established to change essentially in dependence of alloy composition, type of radiation and dose. The results of these studies could be useful for designing and exploitation of precision apparatus and construction units of accelerator technique, nuclear energetics and radiation technology.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984