

05

ЭФФЕКТ ДОУПОРЯДОЧЕНИЯ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ
УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИС.Н. Б о р о д и н, Ю.Е. К р е й н д е л ь,
Г.А. М е с я ц, В.В. О в ч и н н и к о в

Известно, что при $T(0.25-0.3)T_{пл}$ диффузионная подвижность атомов в металлических твердых растворах в большинстве случаев становится настолько малой, что возможность протекания каких-либо заметных диффузионных атомных перестроек практически исключается. В связи с этим имеющиеся экспериментальные данные о строении равновесных фазовых диаграмм относятся к области температур, ограниченной снизу точкой „замораживания” диффузионных процессов. При более низких температурах обычно используют экстраполированные данные. Рассматриваемый барьер не позволяет достичь предсказываемых теорией равновесных состояний при температурах, меньших некоторого условного значения $T_{кр}$, за реально мыслимые времена отжига. В настоящей работе сообщается об обнаружении доупорядочения сплава железа с 6.25 ат.% кремния, максимально упорядоченного длительным ступенчатым отжигом, при бомбардировке ускоренными ионами азота, что связывается со стимулированным ионным облучением перераспределением атомов при $T < T_{кр}$.

Сплав Fe + 6.25 ат.% Si был выплавлен из химически чистых компонентов в индукционной печи в атмосфере аргона. После гомогенизации при 1000 °С, 20 ч и последующейковки он подвергался ступенчатому отжигу (800 °С - 1 ч, 600 °С - 2 ч, 500 °С - 4 ч, 400 °С - 6 ч, 300 °С - 10 ч). Из термообработанных пластин толщиной 1 мм при помощи механической и электролитической полировки были приготовлены фольги, имевшие толщину ~ 30 мкм, часть которых подвергалась бомбардировке ускоренными ионами азота. Для облучения использовался электронно-ионный источник [1] на основе тлеющего отражательного разряда с полым катодом, работающий в режиме генерации ионного пучка. Изучение распределения атомов в железо-кремнистом твердом растворе осуществлялось методом ядерного гамма-резонанса на установке ЯГРС-4. Источником γ -квантов служил изотоп ^{57}Co в Cr.

Фольги железо-кремнистого сплава облучались пучком ионов азота с энергией $E=20$ кэВ и плотностью ионного тока $j=50$ мкА/см² в вакууме ($\rho=5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.). Набираемые дозы составляли $D_1=10^{17}$ см⁻² и $D_2=10^{18}$ см⁻².

Экспериментальная и расчетная (представляющая собой суперпозицию лоренцевских линий) форма внешних пиков $+1/2 \rightarrow +3/2$ и $-1/2 \rightarrow -3/2$ мёссбауэровских спектров показана на рис. 1. Обращает на себя внимание заметное изменение соотношения интенсивностей компонент внешних пиков в результате облучения ионами.

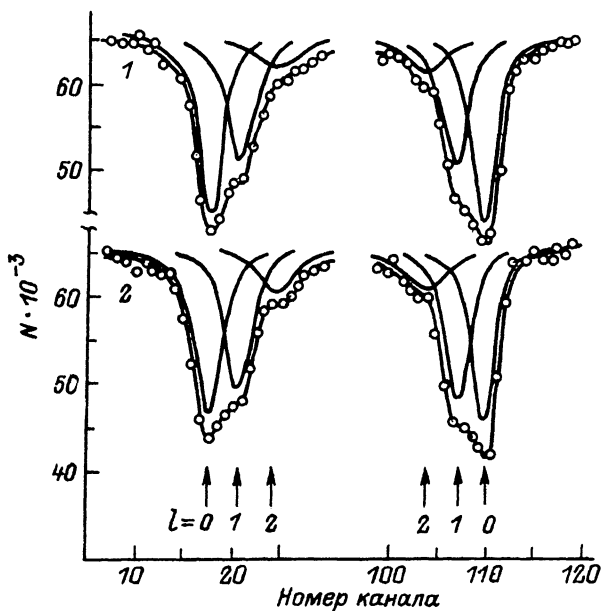


Рис. 1. Экспериментальная и расчетная форма внешних пиков $+1/2 \rightarrow +3/2$ и $-1/2 \rightarrow -3/2$ мёссбауэровских спектров сплава $Fe + 6.25$ ат. % Si : 1 - ступенчатый отжиг, 2 - $D_2 = 10^{18}$ $см^{-2}$.

На рис. 2 представлены полученные в результате обработки мёссбауэровских спектров данные о влиянии разных видов воздействия на вероятности $\rho(l)$ окружения атомов железа различным числом ближайших атомов кремния ($l=0, 1, 2$, т.к. $\sum_{l>2} \rho(l) < 0.02$). На рис. 2 приведены также результаты расчета значений $\rho(l)$ для хаотического распределения атомов кремния в твердом растворе по формуле: $\rho(l) = \binom{z}{l} c^l (1-c)^{z-l}$, где c - концентрация кремния в сплаве ($c=0.0625$), z - координационное число ($z=8$). Как можно видеть, бомбардировка ускоренными ионами приводит к заметному уменьшению вероятности $P(0)$ и к возрастанию $P(1)$ и $P(2)$, что согласуется со стремлением атомов одного сорта окружить себя максимальным числом атомов другого сорта при упорядочении. С увеличением дозы до 10^{18} $см^{-2}$ степень упорядоченности сплава возрастает при заметном насыщении в изменении всех значений вероятностей.

Таким образом, бомбардировка фольг железо-кремнистого сплава ускоренными ионами азота позволяет получить более высокую степень упорядоченности, чем термическая обработка (длительный ступенчатый отжиг).

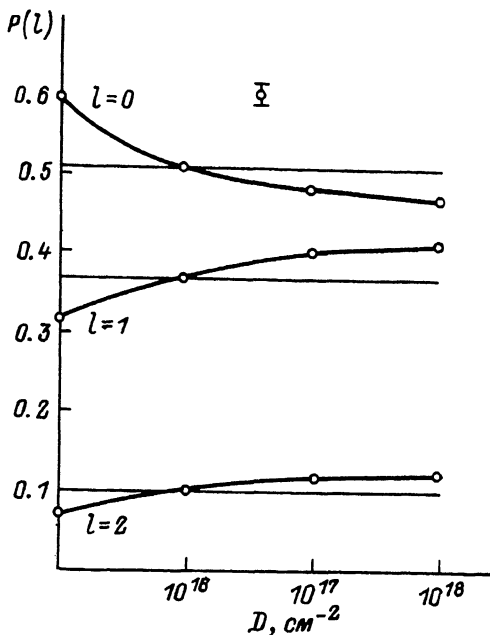


Рис. 2. Вероятности $P(l)$ окружения атомов Fe различным числом l атомов кремния в сплаве $Fe + 6.25 \text{ ат.}\% Si$ после различных обработок.

Для объяснения этого факта, как наиболее вероятные, могут быть привлечены представления, развиваемые в работах [2, 3], об образовании при ионной бомбардировке ударных волн в результате эволюции каскадов атомных столкновений. Согласно [3], ударные волны расщепляются на неупругие и нелинейные упругие уединенные волны. При этом и те, и другие могут генерировать дефекты и вызывать атомные перестройки. Нелинейные упругие волны – за счет взаимодействия с дефектами кристалла. Радиус действия таких солитоноподобных волн может значительно (на несколько порядков) превышать проективные пробеги ионов.

В заключение следует отметить, что наиболее интересных результатов, по-видимому, следует ожидать при ионной бомбардировке сплавов в области низких температур, поскольку согласно существующим теоретическим представлениям [4] при $0^\circ K$ стабильны лишь упорядоченные фазы и чистые элементы (т.е. наугад взятый сплав должен быть либо упорядочивающимся, либо распадающимся).

- [1] Крейнделъ Ю.Е. В кн.: Разработка и применение источников интенсивных электронных пучков. Новосибирск; Наука СО АН СССР, 1976, с. 113-129.
- [2] Жуков В.П., Демидов А.В. // Атомная энергия, 1985. Т. 59. В. 1. С. 29-33.
- [3] Жуков В.П., Болдин А.А. // Атомная энергия, 1987. Т. 63. В. 6. С. 375-379.
- [4] Попов Л.Е., Козлов Э.В. Механические свойства упорядоченных твердых растворов. М.: Металлургия, 1970. 270 с.

Поступило в Редакцию
12 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 13 12 июля 1989 г.

05.1

КИНЕТИКА МНОГООЧАГОВОГО РАЗРУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОТКОЛА

Э.Н. Беллендир, В.В. Беляев,
О.Б. Наймарк

В последнее время значительное внимание уделяется изучению кинетики разрушения и долговечности твердых тел при отколе. Как показывают экспериментальные исследования, разрушение в условиях импульсного растяжения носит многоочаговый характер. Множественное зарождение и рост микротрещин в волнах напряжений приводит к формированию большого количества очагов макроразрушений, которые затем объединяются в магистральную трещину. При квазистатическом нагружении разделение образца на части происходит вследствие развития одного, реже - двух очагов.

В настоящей работе на основе экспериментального и теоретического изучения кинетики накопления микротрещин и формирования очагов макротрещин в волнах напряжений показана связь закономерностей развития многоочагового разрушения с эффектом „динамической ветви“ при отколе. Экспериментальные исследования проведены на пластинах (диаметром 50 мм, толщиной 10 мм) и стержнях (диаметром 10-12 мм, длиной 100-200 мм) из полиметилметакрилата (ПММА), полистирола (ПС), ультрафарфора (85% Al_2O_3 , 15% SiO_2). В образцах ударом на легкогазовой разгонной установке возбуждался импульс сжатия, параметры которого регистрировались лазерным дифференциальным интерферометром [1]. По результатам экспериментальных исследований откольных разрушений