*Тезисы научного доклада*

**Гигантские радиационно-динамические эффекты**

**при корпускулярном облучении И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ИОННО-ПУЧКОВОЙ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

В.В. Овчинников

*Институт электрофизики УрО РАН, 620016, Россия, г. Екатеринбург,*

*ул. Амундсена, д. 106,* [*viae05@rambler.ru*](mailto:viae05@rambler.ru)

Рассмотрены наномасштабные динамические эффекты и процессы в металлах и сплавах при каскадообразующих видах облучения тяжелыми ионами, нейтронами и осколками деления. Роль этих процессов находится вне поля зрения классической радиационной физики конденсированных сред.

Источниками исследуемых и используемых на практике ударно-волновых эффектов являются области прохождения плотных каскадов атомных смещений, *r*~ 5 нм, термализуемых за времена порядка одной триллионной доли секунды (термические пики – thermal spikes), с гигантскими температурами и тепловыми давлениями в этих областях (*T* = 3000-6000 K, *P*= 5-40 ГПа), являющиеся источниками мощных упругих и ударных посткаскадных волн. Ударно-волновые эффекты необходимо учитывать при каскадообразующих видах облучения наряду с чисто миграционными процессами с участием радиационных дефектов, которые рассматриваются классической радиационной физикой.

Развита теория самораспространяющихся (теоретически на неограниченные расстояния) структурно-фазовых превращений в метастабильных средах, инициируемых ионной бомбардировкой.

На практике это обеспечивает: 1) увеличение зоны воздействия проникающих излучений на материалы как минимум на 3-5 порядков величины, в частности, глубины воздействия ускоренных ионов (с энергиями десятки и сотни кэВ) до нескольких мм и более при проективных пробегах *Rp* таких ионов в веществе в пределах всего лишь 0,01-1 мкм; 2) снижение температуры инициируемых превращений на десятки и сотни градусов по сравнению с аналогичными термически активируемыми процессами; 3) увеличение скорости миграции атомов на несколько порядков величины в сравнении с термически и радиационно-стимулированными процессами.

Указанные эффекты и процессы были впервые обнаружены в работах автора и его коллег и подробно исследованы при воздействии пучков газовых и металлических ионов с энергиями десятки и сотни кэВ, в том числе в ходе выполнения международного проекта с Исследовательским центром Россендорф (Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf), Германия. В настоящее время эти направления развиваются в фундаментальных и прикладных исследованиях ИЭФ УрО РАН совместно с академическими и другими научными организациями, и промышленными предприятиями.

В докладе рассмотрены примеры радиационно-индуцированных процессов (структурно-фазовых и внутрифазовых превращений) в металлах и сплавах с изменением электрических, магнитных, механических, ресурсных и др. характеристик.

Практические приложения касаются модификации свойств функциональных материалов. А именно, предложены режимы ионно-лучевой обработки, обеспечивающие: нулевое значение ТКС высокоомных сплавов для прецизионных резисторов системы Fe-Pd-Au (в диапазоне *T*=300-700 K). Достигнуто снижение ваттных потерь на перемагничивание (от 5 до 35%) полос трансформаторных сталей и нанокристаллических лент магнитомягких материалов совместно с ИФМ УрО РАН, ООО «ВИЗ-Сталь» и ООО НПП «ГАММАМЕТ» (получен патент).

Разработана технология многократно ускоренного холодного радиационного отжига листов и профилей промышленных алюминиевых сплавов (совместно с ОАО «КУМЗ», г. Каменск-Уральский) пучками ускоренных ионов Ar+ (*Е* = 20-40 кэВ) в течение 5-30 сек. при пониженных на 150-200 K температурах, с обеспечением 2-3-кратного снижения трудоемкости и энергоемкости процесса, взамен длительного 2-6 ч стандартного промежуточного печного отжига. Имеется патент на способ ионно-пучковой обработки и акт апробации на ОАО «КУМЗ» с рекомендацией использования процесса в качестве прорывной промышленной технологии.

В результате ионно-пучковой обработки обеспечено многократное (в 5-10 раз) увеличение добротности катушек индуктивности с сердечником из композита «диэлектрик- порошок карбонильного железа» – продукции «ООО «Синтез ПЖК» – крупнейшего в Европе завода по производству карбонильного железа, г. Дзержинск.

Совместно с ИМАШ УрО РАН установлено, что облучение горячепрессованных и состаренных профилей из сплавов Д16 (Al-Cu-Mg) и В95 (Al-Zn-Mg-Cu) в течение нескольких секунд малыми (1015-1016 см-2) флюенсами ионов Ar+ (*E*= 20 кэВ) увеличивает их пластичность. При этом ресурс в ходе стандартных испытаний при нагрузках порядка 0,3 σв (измеряемый количеством циклов до разрушения) увеличивается для этих сплавов, соответственно, в 2,4 и 5 раз (от нескольких сотен тысяч до миллиона циклов и выше).

В работах с АО «ГРЦ Макеева» выявлены возможности увеличения пластичности сплава В1461, а также улучшения свариваемости сплава АМг6 за счёт использования эффектов каскадной «радиационной тряски» с целью внесения структурных изменений и удаления растворённого водорода.

Результаты, касающиеся роли наномасштабных динамических эффектов при каскадообразующих видах облучения, используются в теоретических расчетах и практической деятельности РФЯЦ-ВНИИТФ.

Обнаружены представляющие фундаментальный интерес быстропротекающие (в течение нескольких секунд) процессы образования в сплавах обедненных и многократно обогащенных химическими элементами фаз в ходе ионной бомбардировки при температурах существенно более низких по сравнению с порогом активации термодиффузии. Формирующиеся близкие к равновесным состояния не могут быть получены какими-либо другими способами. Это дает возможность обнаружения предсказываемых теорией, а также неизвестных низкотемпературных фаз (являющихся «вещью в себе») с неизвестными свойствами.

В работах ИЭФ УрО РАН на основе анализа спектров свечения мишеней из Al, Fe, W, Zr и др. металлов впервые измерены температуры вышеупомянутых термических пиков и оценены тепловые давления. Дано обоснование единой фрактальной структуры каскадов атомных смещений в заданной мишени независимо от природы и энергии каскадообразующих излучений, что является основанием правомерности имитационных исследований радиационной стойкости реакторных материалов. В этом направлении выполнены теоретические и экспериментальные исследования (совместно с ИФМ УрО РАН).