

Основные научные результаты, полученные в 2006 году

«Шахматный» мезоэффект интерфейса в гетерогенных средах в полях внешних воздействий

На основе собственных теоретических и экспериментальных исследований в рамках многоуровневого подхода, а также анализа литературных данных, обоснована концепция о «шахматном» распределении нормальных и касательных напряжений на интерфейсе разнородных сред в полях внешних воздействий, с которым связано развитие нелинейных волновых процессов массопереноса. Данный мезоэффект возникает при сопряжении самых различных сред независимо от их агрегатного состояния (твердое тело – жидкость – газ). Делается заключение о принципиально важной роли обнаруженного эффекта в различных областях науки и техники.

На основе обнаруженного эффекта разработаны методы наноструктурирования поверхностных слоев нагруженных твердых тел, которые позволяют в 1,5-4 раза повышать усталостную долговечность конструкционных материалов и их сварных соединений. Новые методы упрочнения конструкций ответственного назначения осваиваются в Росавиакосмосе и Росатоме.

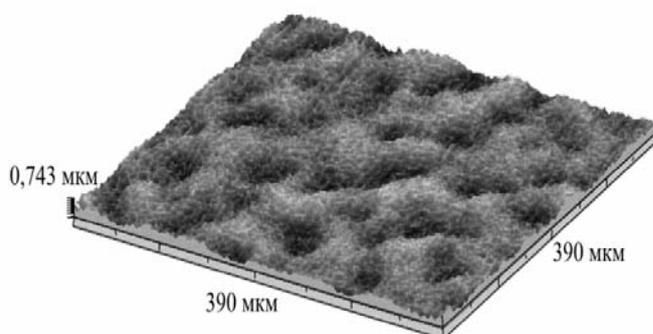


Рис. 1.1.1. «Шахматная» структура наноструктурированного поверхностного слоя сплава Zr-2,5%Nb; сжатие, $\epsilon=5\%$.

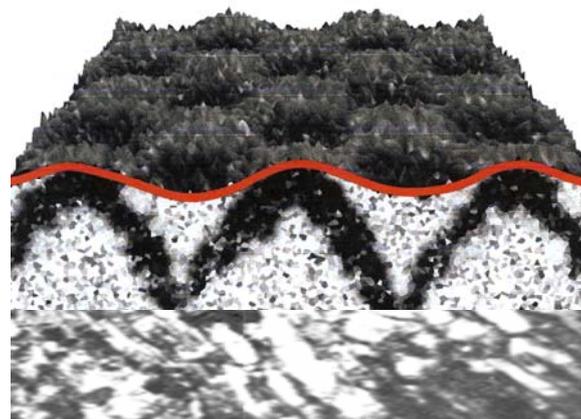


Рис. 1.1.2. «Шунтирование» сдвиговой деформации в наноструктурированном поверхностном слое при сжатии образца (нелинейная модель возбудимых клеточных автоматов).

Явление колебательной неустойчивости локализованной пластичности на стадии предразрушения

Экспериментально обнаружено явление потери устойчивости пластического течения на параболической стадии деформационного упрочнения и стадии предразрушения, определяющее закономерности формирования шейки. Показано, что устойчивая стационарная картина локализации деформации, характеризующаяся постоянным пространственным периодом λ , типична только для той части параболической стадии $\sigma \sim \epsilon^n$, где показатель параболическости $n = 0,5$. Для подстадий параболической кривой с $n < 0,5$ характерно движение зон локализации деформации, сопровождающееся периодическим изменением длины волны локализации λ . При этом показано, что периодическое увеличение λ сопровождается периодическим накоплением деформации в рассматриваемом устойчивом очаге локализации пластического течения и колебательным изменением в нем скорости локализации в режиме «упрочнение-разупрочнение».

Развитие картины локализации деформации в виде траектории в фазовом пространстве, перемещение изображающей точки по которой соответствует временной

эволюции деформируемой системы. При этом один виток спирали соответствует подстадии параболической кривой с $n < 0,5$ и является этапом локализации пластического течения исследуемого сплава. Установившийся колебательный режим является неустойчивым, так как траектория сходится с предельного цикла, стремясь к точке, соответствующей одному очагу – лидеру, который становится шейкой. Устойчивость пластического движения по фазовой траектории зависит от характера деформационного упрочнения и ресурса пластичности материала.

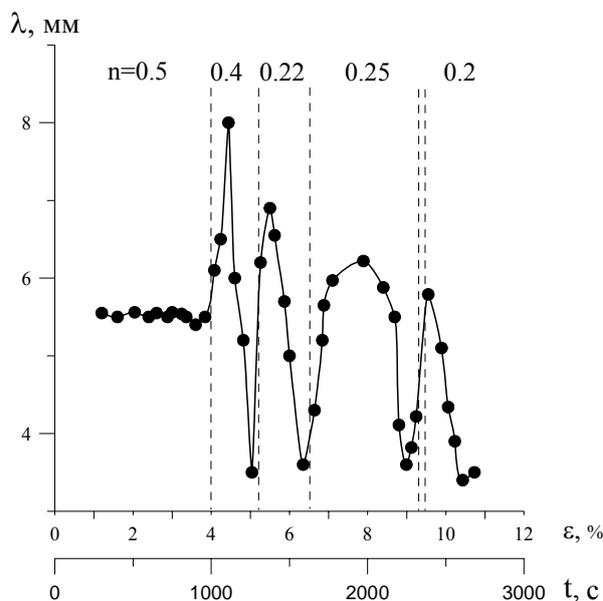


Рис. 1.1.3. Периодическое изменение пространственного периода локализации деформации λ в сплаве Э110.

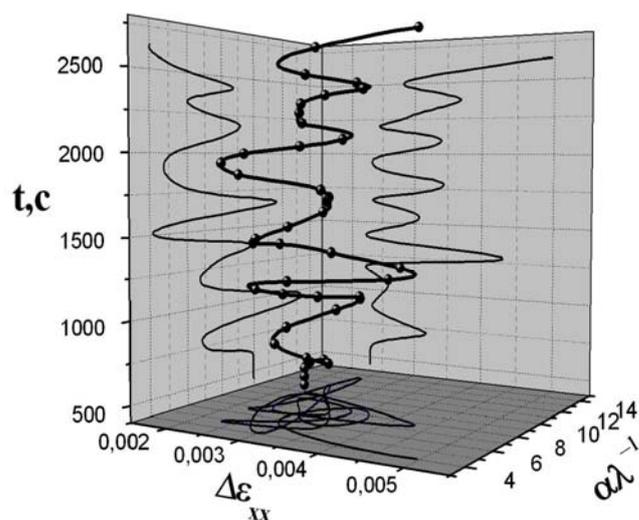


Рис. 1.1.4. Фазовая диаграмма колебательного процесса на стадии предразрушения.

Эффект формирования активированного слоя и генерации протодефектов при обработке поверхности высокоэнергетическими потоками

Теоретические и экспериментальные исследования формирования наноструктурной поверхности при электронно-ионно-плазменной обработке материалов позволили обнаружить эффект возникновения активированного слоя, который явно выражен на рис. 1.1.5. Предложен и обоснован параметр, характеризующий состояние материала в активированном слое.

$$\eta = \frac{V - V_0}{V' - V_0}$$

где V – текущий атомный объем, V_0 – объем, приходящийся на атом в равновесном состоянии, V' – объем, на атом в активированном состоянии.

Этот параметр связан с понятием избыточного объема. Показана его связь с основными термодинамическими переменными. Получены уравнения для потоков массы в многокомпонентных средах, отражающие влияние параметра активации на коэффициенты диффузии и переноса. Введение этого параметра объясняет ускорение диффузионных процессов при электронно- и ионно-лучевой обработке материалов.

Обнаружено, что данный эффект связан с генерацией неизвестного ранее типа дефектов (рис. 1.1.6). Авторы назвали его протодефектом, поскольку показано, что он может формировать дефекты более высокого уровня – дислокации, дефекты упаковки и т.д.

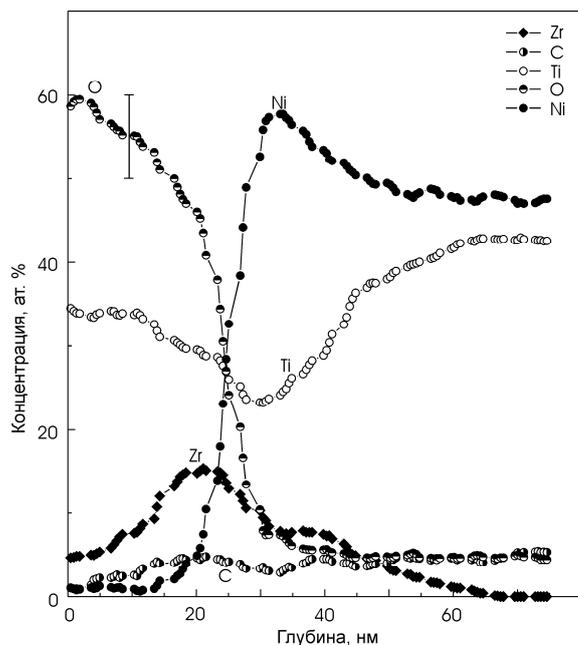


Рис. 1.1.5. Изменение элементного состава по глубине обработанного образца (имплантация ионов циркония).

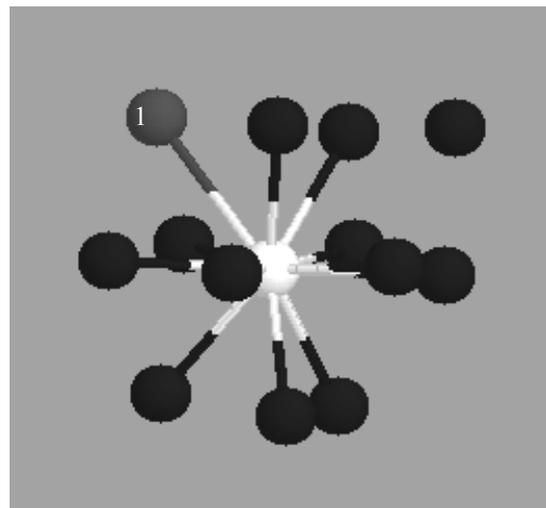


Рис. 1.1.6. Конфигурация атомных связей в зоне протодфекта. «1» – обозначен атом, присоединившийся из соседней координационной сферы.

Эволюция структуры и свойств биокompозита на основе объемного наноструктурного титана и кальций – фосфатного покрытия при взаимодействии в биосреде

Экспериментально и теоретически на основе математической модели диффузионного взаимодействия исследовано растворение в физиологическом растворе биокompозита, включающего матрицу из наноструктурного титана с высокими физико-механическими свойствами, полученного методами интенсивной пластической деформации, и микродугового пористого кальций-фосфатного покрытия с повышенным содержанием кальция. Растворение кальций-фосфатного покрытия происходит преимущественно в зонах концентраторов напряжений путем последовательного разбухания сферолитов, их растворения с формированием мелких структурных элементов и, в дальнейшем, обнажения титанооксидной переходной зоны между покрытием и титановой матрицей. Растворение кальций-фосфатных покрытий происходит в зонах концентраторов напряжений по логарифмическому закону с выходом на насыщение на 3-5 неделе. Из сравнения экспериментальных и теоретических данных выполнены оценки эффективных коэффициентов диффузии. Полученные результаты будут использованы в медицинской практике.

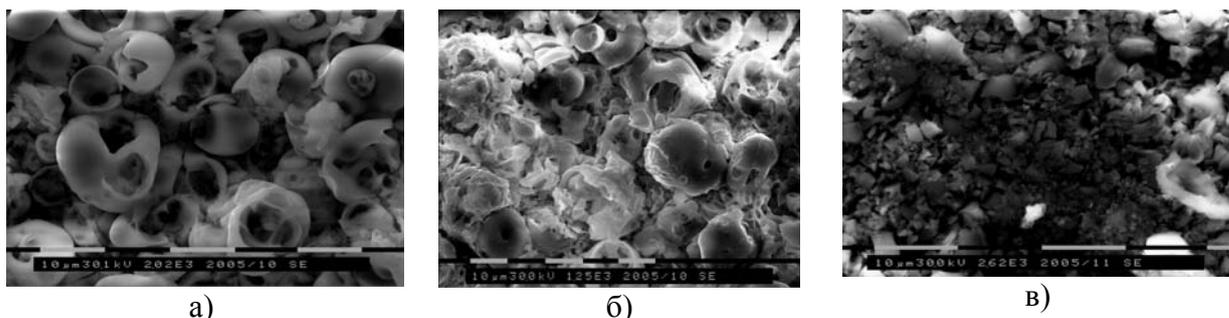


Рис. 1.1.7. РЭМ изображения Ca-P покрытий в исходном состоянии (а) и после растворения в биологической жидкости в течении 1 (б) и 5 (в) недель.

Пороговый характер накопления микроповреждений в пористых керамических структурах

Изучено напряженно-деформированное состояние пористой керамики на основе нанокристаллического диоксида циркония. С помощью разработанного программного комплекса основанного на МСА-методе показано, что скорость накопления микроповреждений (доля разорванных связей в МСА) носит пороговый характер для любых видов поровых структур в керамике (регулярной или стохастической). Это полностью согласуется с экспериментальными данными, которые показывают, что после локального разрушения материал продолжает деформироваться по прежнему закону. При этом существует прямая корреляция между макронапряжениями и локальными (мезо) параметрами распределения деформаций, а области равномерного накопления деформации сдвига чередуются со скачкообразными участками, приводящими сначала к локальному, а затем к макроразрушению.

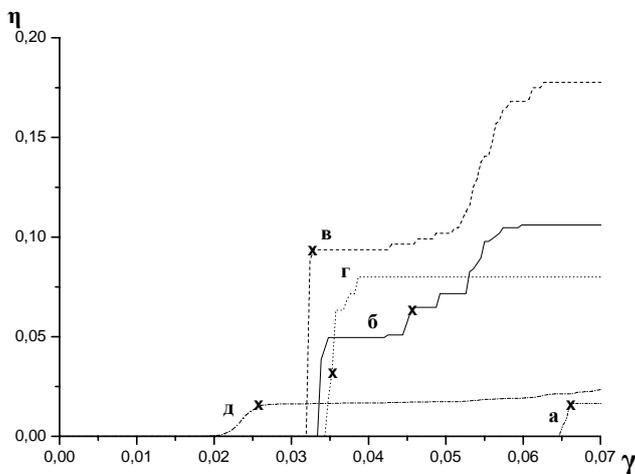


Рис. 1.1.8. Зависимость доли разорванных связей от относительного сдвига в образцах с различной пористостью. Моменты образования в образце первой магистральной трещины на кривых отмечены крестиком.

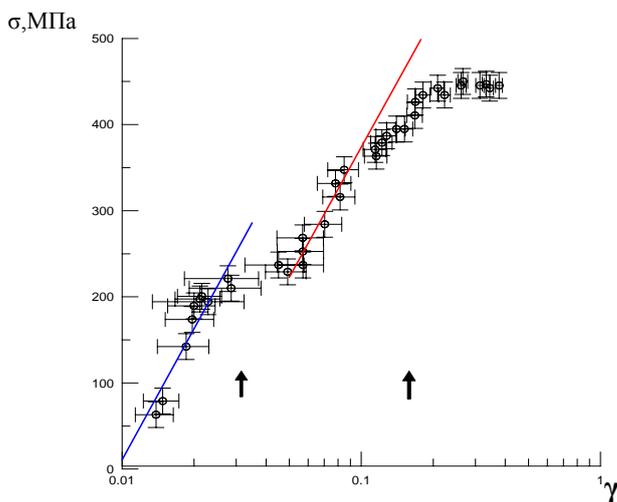


Рис. 1.1.9. Зависимость среднего приложенного напряжения от интенсивности деформации сдвига в образце. Стрелками указаны моменты разрушения.