

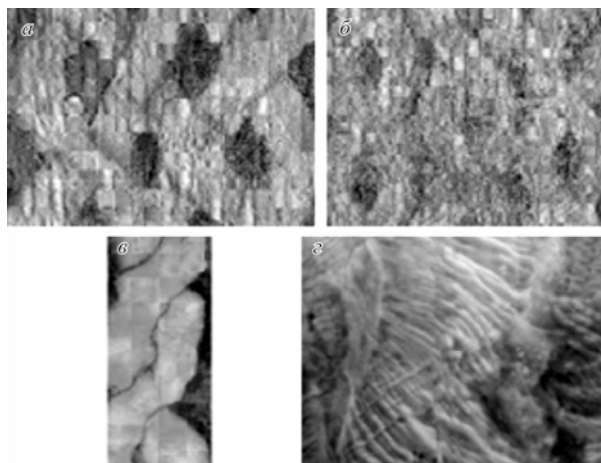
**РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ И ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ И НА ВНУТРЕННИХ ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА ВЫСОКОРЕСУРСНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.
ПРОЕКТ № 93**

Координатор: акад. Панин В. Е.

Исполнители: ИФПМ, ИГиЛ, ИТПМ, ИХТТМ, ИК, ИНХ СО РАН

Цель проекта — показать, что наноструктурирование поверхностных слоев и внутренних границ раздела является новым видом обработки, позволяющим кратно повысить механические и физико-химические свойства современных конструкционных и функциональных материалов.

Применение атомно-силовой и туннельной сканирующей микроскопии продемонстрировало, что поверхностный слой естественного



Развитие мезополос локализованной пластической деформации в наноструктурированных поверхностных слоях образцов стали Ст3; растяжение, $T = 293$ К, при величине деформации $\epsilon = 13$ (а), 28 (б), 32 % (в, г); сканирующая туннельная (а—в) и электронная (г) микроскопия; размер изображения: 400×500 (а, б), 400×240 (в) и 40×50 мкм (г).

Development of localized plastic deformation mesobands in nanostructured surface layers of low-carbon steel specimens subjected to tension, $T = 293$ K, for a strain $\epsilon = 13$ (a), 28 (b), 32 % (c, d); scanning tunneling (a—c) and electron (d) microscopy. Image size 400×500 (a, b), 400×240 (c), and 40×50 μm (d).

кристалла работает как «насос↓», закачивающий деформационные дефекты внутрь материала. Наноструктурирование поверхностного слоя превращает его в «насос↑», который вызывает движение деформационных дефектов вовне, что повышает все механические характеристики слоя. При растяжении материала с наноструктурированным поверхностным слоем или неравновесных металлических пленок, напыленных на полимерную подложку, в них распространяются нелинейные волны локализованного пластического течения в виде двойных спиралей (см. рисунок). Двухуровневое сопряжение материал—упрочняющее покрытие обуславливает волновой характер развития пластического течения в объеме материала, сопровождаемого квазипериодическим растрескиванием покрытия. Показана определяющая роль интерфейса материал—покрытие.

Для теоретического описания самосогласования наноструктурного поверхностного слоя и объема материала на различных масштабных уровнях развиты три типа трехмерных моделей: стохастическая модель в методе возбудимых клеточных автоматов, введение в нелинейные уравнения механики сплошной среды релаксационных определяющих уравнений и метод молекулярной динамики. Показано, что на границе раздела поверхностный слой—подложка возникают распределенные в шахматном порядке концентраторы растягивающих и сжимающих нормальных напряжений. Области растягивающих нормальных напряжений имеют на поверхности тонкую террасно-ступенчатую наносубструктуру. Теоретически показано, что двойные спирали лока-

лизированного пластического течения в наноструктурных поверхностных слоях распространяются только в зонах с растягивающими нормальными напряжениями. Атомные модели поверхностного слоя позволили описать зарождение в поверхностном слое деформационных дефектов различных типов. Методом молекулярной динамики проведены расчеты механических свойств нано- и мезообъектов и явлений в них под влиянием внешних термомеханических возмущений, проведено моделирование процесса синтеза нанотрубок для микроэлектроники.

Выполнен комплекс исследований по разработке новых материалов как многоуровневых систем. Созданы высокопрочные материалы с субмикрористаллической структурой внутренних границ раздела методами взрывного прессования или квазидинамического экструдирования внутренне окисленных порошков меди. Разработаны уникальные нанокон-

позитные порошки на основе металлов, сплавов, интерметаллидов, армированные частицами и нановолокнами TiB_2 . Они использованы при взрывном компактировании объемных материалов, нанесении плазменных и газодинамических упрочняющих и защитных покрытий.

Сформулированы рекомендации напыления подслоев термобарьеров, нанесения теплозащитных покрытий на внутреннюю поверхность поршня дизеля, термобарьерных покрытий на лопатки газовых турбин. Методом холодного газодинамического напыления разработаны высокоактивные каталитические покрытия на металлических фольгах, имеющие наносубструктуру поверхности.

Разработаны методы формирования наноструктурных покрытий совмещением магнетронного осаждения многокомпонентных композиций с ионной бомбардировкой. Получены нанокристаллические покрытия с микротвердостью до 60 ГПа.

Основные публикации

1. Панин В. Е., Панин А. В. Эффект поверхностного слоя в деформируемом твердом теле// Физическая мезомеханика. 2005. Т. 8, № 5. С. 7—16.
2. Головнева Е. И., Головнев И. Ф., Фомин В. М. Особенности применения методов механики сплошных сред для описания наноструктур// Физическая мезомеханика. 2005. Т. 8, № 5. С. 47—54.
3. Псахье С. Г., Зольников К. П., Крыжевич Д. С., Тюменцев А. Н. О термофлуктуационном формировании локальных структурных изменений в кристалле в условиях динамического нагружения// Там же. С. 55—60.
4. Поверхностные слои и внутренние границы раздела в гетерогенных материалах. 2006. 35 а. л. Новосибирск: Изд-во СО РАН. (В печати.)