

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук

## **МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Перспективные материалы  
с иерархической структурой  
для новых технологий  
и надежных конструкций**

**19 - 23 сентября 2016 г.**

**Томск, Россия**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Тезисы докладов Международной конференции  
«Перспективные материалы с иерархической структурой  
для новых технологий и надежных конструкций»  
19-23 сентября 2016 г., Томск, Россия.  
ИФПМ СО РАН, 2016. – 488 с.

«Мероприятие проведено при финансовой поддержке Российского  
фонда фундаментальных исследований, Проект №16-08-20575\16 г»

Анализ особенности напряжённого состояния вблизи V-образной границы раздела компонентов с разными модулями упругости в гетерогенном материале с мультифрактальной иерархической структурой <i>Гумеров К.М., Виноградов Л.В.</i>	212
Солитоноподобное поведение медленных деформационных автоволн в упруго-вязко-пластичной среде <i>Макаров П.В., Перышкин А.Ю.</i>	213
Математическая модель образования наноструктур в рельсовой стали при длительной эксплуатации <i>Сарычев В.Д., Невский С.А., Громов В.Е.</i>	213
Динамика футерования при механической активации порошка кремния <i>Лапшин О.В., Шкода О.А.</i>	214
Режимы с обострением при разрушении образцов горных пород и геосред <i>Смолин И.Ю., Кульков А.С., Макаров П.В., Еремин М.О., Бакеев Р.А., Красновейкин В.А.</i>	215
Особенности влияния ионного азотирования на структуру, прочностные свойства и механизм разрушения аустенитной стали с субмикроструктурной структурой <i>Москвина В.А., Астафурова Е.Г., Рамазанов К.Н., Майер Г.Г., Мельников Е.В., Будилов В.В.</i>	216
Неоднородность пластического течения в биметаллическом материале при электролитическом насыщении водородом <i>Ли Ю.В., Баранникова С.А., Бочкарева А.В., Лунев А.Г., Громов В.Е., Зуев Л.Б.,</i>	217
Экспериментальный критерий устойчивости автоволновой системы <i>Семухин Б.С.</i>	218
Исследование влияния морфологии и механических характеристик межфазных границ на интегральные механические свойства металлокерамических композитов <i>Еремина Г.М., Смолин А.Ю., Шилько Е.В., Псахье С.Г.</i>	219
О кинетике развития доменов локализованной пластичности на стадии предразрушения <i>Баранникова С.А., Орлова Д.В.</i>	220
Об активности деформируемых сред <i>Зуев Л.Б., Горбатенко В.В.</i>	222
Исследование структуры биметалла конструкционная углеродистая сталь – нержавеющая сталь <i>Шляхова Г.В., Ли Ю.В., Баранникова С.А., Зуев Л.Б.,</i>	223
Влияние электронной подсистемы на локализацию деформации и напряжений в поверхностном слое твердых тел <i>Хон Ю.А., Каминский П.П., Молдованова Е.А.</i>	224
Energy of the surface layer deterioration of steel 1020 and copper at dry sliding against steel 1045 with high electric current density <i>Fadin V.V., Aleutdinova M.I.</i>	225

### 3. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

прямых линий, аппроксимирующих экспериментальные кривые в начальный период работы измельчительного устройства. Установлено, что с ростом времени механической активации происходит снижение скорости футерования измельчительного устройства порошком кремния. Выявлено, что величина константы скорости футерования меняется в процессе работы мельницы, а именно уменьшается с ростом времени механической активации. Показано удовлетворительное соответствие теоретических расчетов данным экспериментальных зависимостей.

#### **РЕЖИМЫ С ОБОСТРЕНИЕМ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД И ГЕОСРЕД**

Смолин И.Ю., Кульков А.С., Макаров П.В.,  
Еремин М.О., Бакеев Р.А., Красновейкин В.А.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия,  
Томский государственный университет, Томск, Россия  
smolin@ispms.tsc.ru

Хорошо известно, что заключительная стадия макроскопического разрушения прочных горных пород развивается как катастрофа в сверхбыстром режиме с обострением. Однако особенности этой стадии для различных сред и объектов разных масштабов недостаточно хорошо изучены. Для прогноза разрушений особый интерес представляет, как сама стадия сверхбыстрого катастрофического разрушения, так и механическое поведение среды в состоянии самоорганизованной критичности перед выходом разрушения на режим с обострением. В конечном счете, такие исследования имеют целью выявить предвестники перехода процесса разрушения в катастрофическую стадию. Целью работы было экспериментальное и численное изучение механического поведения образцов горных пород перед катастрофической стадией и выход на режим с обострением.

Образцы мрамора и алевролита испытывались на одноосное сжатие и трехточечный изгиб с помощью испытательного прибора на растяжение/сжатие фирмы Devotrans. Во время испытаний скорости смещения боковой поверхности нагруженных образцов регистрировались с помощью лазерного доплеровского виброметра фирмы Polytec. В опытах выявлены две стадии эволюции скорости смещения боковой поверхности – продолжительная квазистационарная и сверхбыстрая катастрофическая, которая занимает не более тысячной доли от общей долговечности. Амплитуды скоростей движения боковой поверхности на квазистационарной стадии малы и не выделяются из шума, что объясняется недостаточной чувствительностью аппаратуры. Момент перехода к катастрофической стадии, как режиму с обострением процесса разрушения, определен условно как отклонение от медленной, практически линейной, зависимости на квазистационарной стадии. Продолжительность катастрофической стадии определена в пределах 70 – 100 мс. Продолжительность резкого возрастания скорости движения поверхности, когда ее амплитуда на порядки превышает амплитуду скорости на квазистационарной стадии, не превышает 10 – 20 мс.

Численными исследованиями показано, что модель накопления повреждений, основанная на идеи степенной зависимости накапливаемых повреждений от их числа, очень хорошо описывает усредненный тренд в изменениях скоростей движения поверхности образца, а также катастрофическую стадию разрушения для малых времен долговечности нагруженных образцов в зависимости от приложенной нагрузки. Из сравнения с экспериментальными данными определены параметры модели накопления повреждений. Модельные расчеты разрушения и рассчитанная долговечность очень хорошо согласуются с экспериментами. В модельных двухмерных и трехмерных расчетах полностью воспроизводились условия экспериментов на трехточечный изгиб.

### 3. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

Согласно эволюционной концепции развития процессов деформации и разрушения, они развиваются на всех масштабных уровнях согласно фундаментальным законам эволюции нелинейных динамических систем: локализация деформации и/или поврежденности в пространстве, наличие медленной квазистационарной фазы накопления мелкомасштабных изменений в системе, переход нагружаемой среды в состояние самоорганизованной критичности, локализация деформационного процесса во времени и его развитие в сверхбыстром катастрофическом режиме. Изложенный сценарий развития процессов деформации и разрушения, как малых образцов, так и геосред полностью согласуется с наблюдениями. Таким образом, изучение деформационного процесса и разрушения прочной среды как типичной нелинейной динамической системы открывает новые перспективы в разработке методов прогноза катастрофического разрушения.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ № 14-17-00198.

#### **ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ, ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА И МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ С СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ**

Москвина В.А.<sup>1</sup>, Астафурова Е.Г.<sup>2</sup>, Рамазанов К.Н.<sup>3</sup>,  
Майер Г.Г.<sup>2</sup>, Мельников Е.В.<sup>2</sup>, Будилов В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИ Томский политехнический университет, Россия, Томск, Россия,

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия,

<sup>3</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия  
astafe@ispms.tsc.ru, valya\_moskvina@mail.ru

Методами сканирующей электронной микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии, микроиндентирования и одноосного растяжения изучали влияние низкотемпературного ионного азотирования на особенности структуры, прочностных свойств и механизма разрушения аустенитной нержавеющей стали 01X17H13M3 (Fe-17Cr-13Ni-1.7Mn-2.7Mo-0.5Si-0.01C, мас.%) с субмикрокристаллической структурой разной морфологии. С целью получения структуры субмикронного масштаба проводили термомеханическую обработку стали по 2 режимам: режим 1 – прокатка при комнатной температуре до степени осадки 80% , режим 2 – прокатка до 80% и отжиг при температуре 600°C в течение 2 часов с последующей закалкой в воду. Такая обработка позволила получить высоконравновесную субмикрокристаллическую структуру со средним размером элементов 220±40 нм и 150±40 нм соответственно. Согласно анализу рентгеноструктурных данных, независимо от режима обработки сталь имела структуру аустенита с параметром решетки 0.36 нм. Обработка по режиму 1 способствовала образованию в стали высокой плотности дислокаций  $5 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$ . Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что размеры областей когерентного рассеяния после обработки составили 110 нм ( $\Delta d/d = 4 \times 10^{-3}$ ). Обработка по режиму 2 способствует релаксации внутренних напряжений после прокатки по сравнению с режимом 1. В структуре стали после обработки по режиму 2 величина микродеформации кристаллической решетки уменьшилась до  $2 \times 10^{-3}$ , а размеры ОКР составили 165 нм.

Ионное азотирование проводили при температуре 540°C (12 ч.) по 2 режимам: при давлении рабочего газа  $P=300 \text{ Па}$  – традиционное ионное азотирование (ТИА) и при пониженном давлении  $P=60 \text{ Па}$  – ионное азотирование с эффектом полого катода (ЭПК). После азотирования образцы одноосно растягивали при комнатной температуре с относительной скоростью деформации  $4.6 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ .