

Белгородский государственный университет



Научно-образовательный и
инновационный центр
«Наноструктурные материалы и
нанотехнологии»
Белгородского госуниверситета



Структура и основные направления деятельности научно – образовательного и инновационного Центра «Наноструктурные материалы и нанотехнологии» Белгородского государственного университета

КОЛОБОВ Ю.Р.

**Научно-образовательный и инновационный Центр
«Наноструктурные материалы и нанотехнологии»
Белгородского госуниверситета,
г. Белгород РФ
kolobov@bsu.edu.ru**

Основные этапы развития Центра наноструктурных материалов и нанотехнологий Белгородского государственного университета

- **2005 г.** – Научная группа в составе 10 сотрудников и аспирантов по соглашению между руководителями академической (Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск) и вузовской (Белгородский государственный университет) организациями переведена на работу в БелГУ.
- **2006 г.** – Лицензирована специальность «Наноматериалы» и проведен набор студентов на 1-ый курс.
- **2006 г.** – Организована кафедра «Материаловедение и нанотехнологии»

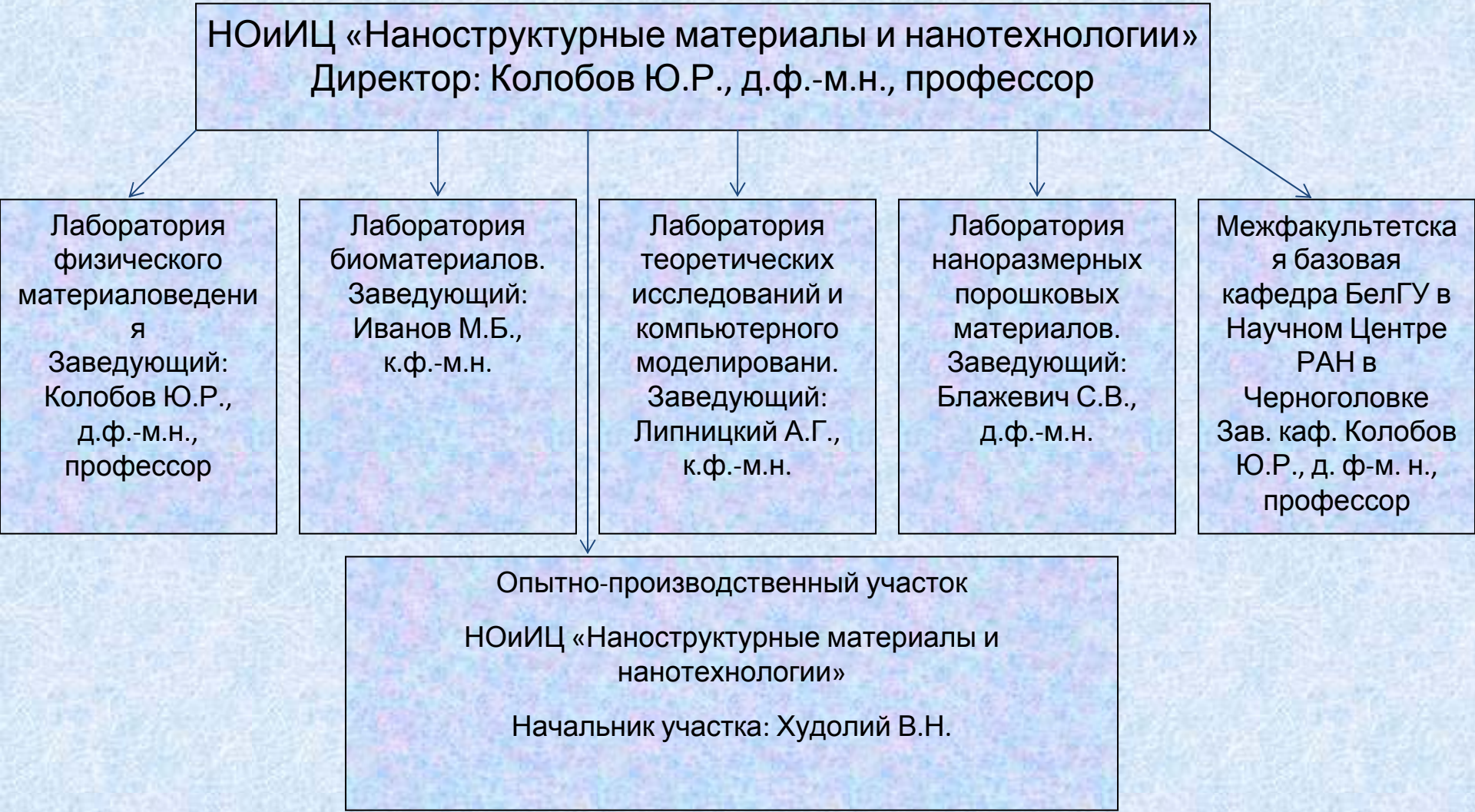


Основные этапы развития Центра наноструктурных материалов и нанотехнологий

- ❑ **2006 г.** – Сдан в эксплуатацию специализированный комплекс, включающий здания для прецизионного аналитического (1200 м^2) и технологического оборудования (1000 м^2).
- ❑ **2006-2008 гг** – Центр укомплектован аналитическим, испытательным и технологическим оборудованием на общую сумму более 500 млн. руб.
- ❑ **2007 г.** – открыт прием студентов на специальность 010.707.65 «Медицинская физика» со специализацией «Наноматериалы в медицине»
- ❑ **2007 г.** – Научно-образовательный центр по направлению «Материаловедение и нанотехнологии», включен в национальную нанотехнологическую сеть РФ
- ❑ **2009 г.** – В Учреждении Российской академии наук «Научный центр РАН в Черноголовке» организована базовая кафедра наноматериалов и нанотехнологий Белгородского государственного университета



Структура НОиИЦ «Наноструктурные материалы и нанотехнологии»



Основные направления исследований

❖ Разработка физических принципов упрочнения и пластификации сталей, сплавов и композитных материалов технического и медицинского назначения, в том числе путем формирования субмикроструктурного и наноструктурного состояний воздействием пластической деформацией в сочетании с традиционными способами механо-термической обработки.

❖ Экспериментальное и теоретическое исследование структуры и свойств наноматериалов методами компьютерного моделирования на основе расчетов «из первых принципов».

❖ Разработка научных основ создания биокompозитов «наноструктурный металл – биоактивное/биоинертное покрытие»

❖ Изучение иммунного ответа организма и неспецифических тканевых реакций на биокompозитные имплантаты

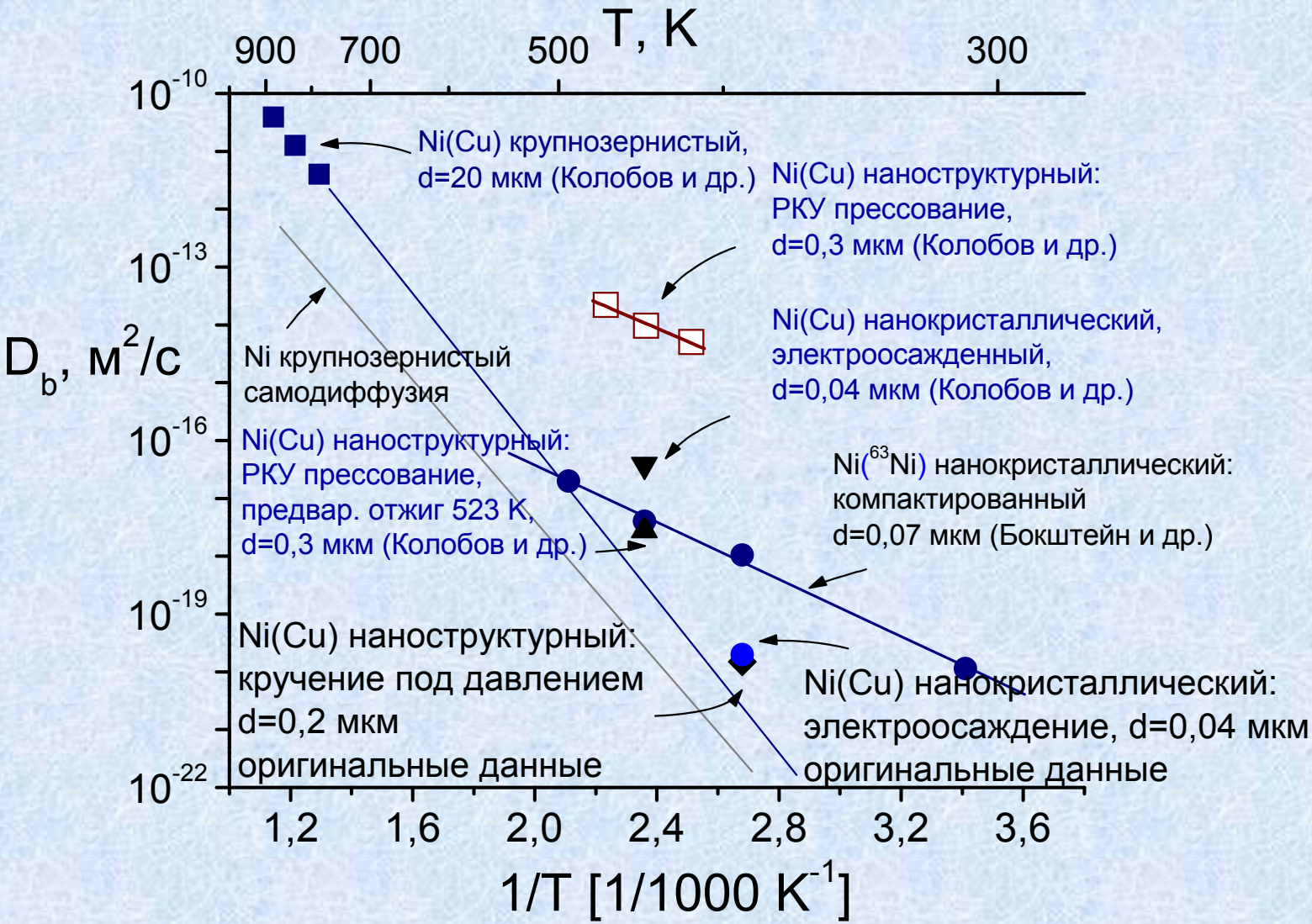
❖ Разработка технологий модификации поверхности и



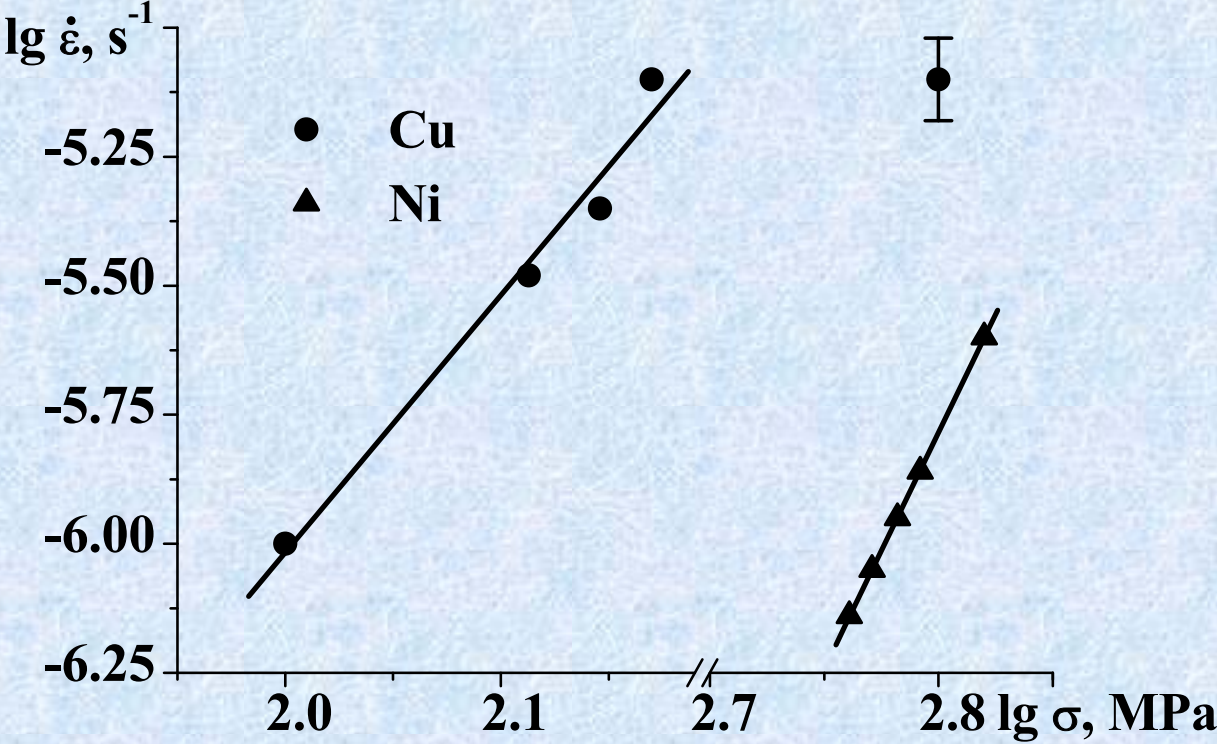
Разработка физических принципов формирования структуры и улучшенных свойств наноструктурированных металлов, сплавов и композитов на их основе

Диффузионно-контролируемые процессы в объемных ультрамелкозернистых и наноструктурных материалах

Аррениусовская зависимость коэффициентов зернограницной самодиффузии в никеле и гетеродиффузии меди в никеле с различной структурой.



Закономерности ползучести субмикрокристаллических металлов.



$T=423 \text{ K}$

$0.25 \text{ of } T_m \text{ (Ni)}$

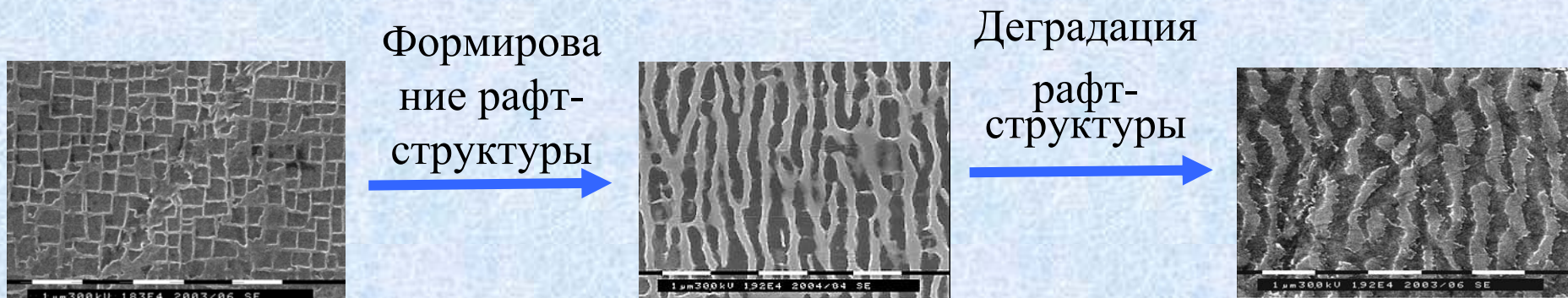
$0.32 \text{ of } T_m \text{ (Cu)}$

$$\dot{\epsilon} = A \sigma^n \exp(-Q_c / RT)$$

$n \sim 9$

Закон ползучести, характерный для данного процесса только в интервале
высоких температур ($T > 0,5 T_{\text{плавления}}$)

Эволюция структуры монокристаллов нанофазного сплава типа ЖС в процессе высокотемпературной ползучести.



В процессе высокотемпературной ползучести в нанофазном ($\gamma + \gamma'$) сплаве происходят процессы фазовой перекристаллизации с выделением вторичных фаз и изменение морфологии, размеров и объемных долей γ и γ' фаз. Это указывает на важную роль в ползучести нанофазных материалов размерных изменений, связанных с диффузионным концентрационным переносом элементов и диффузионными превращениями.

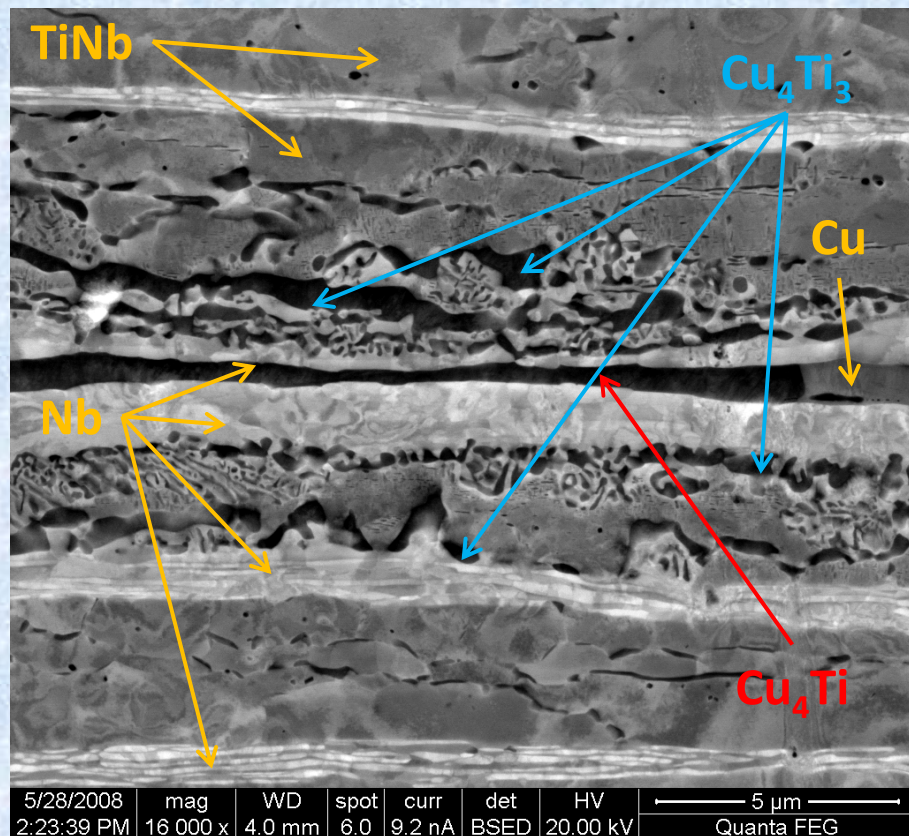
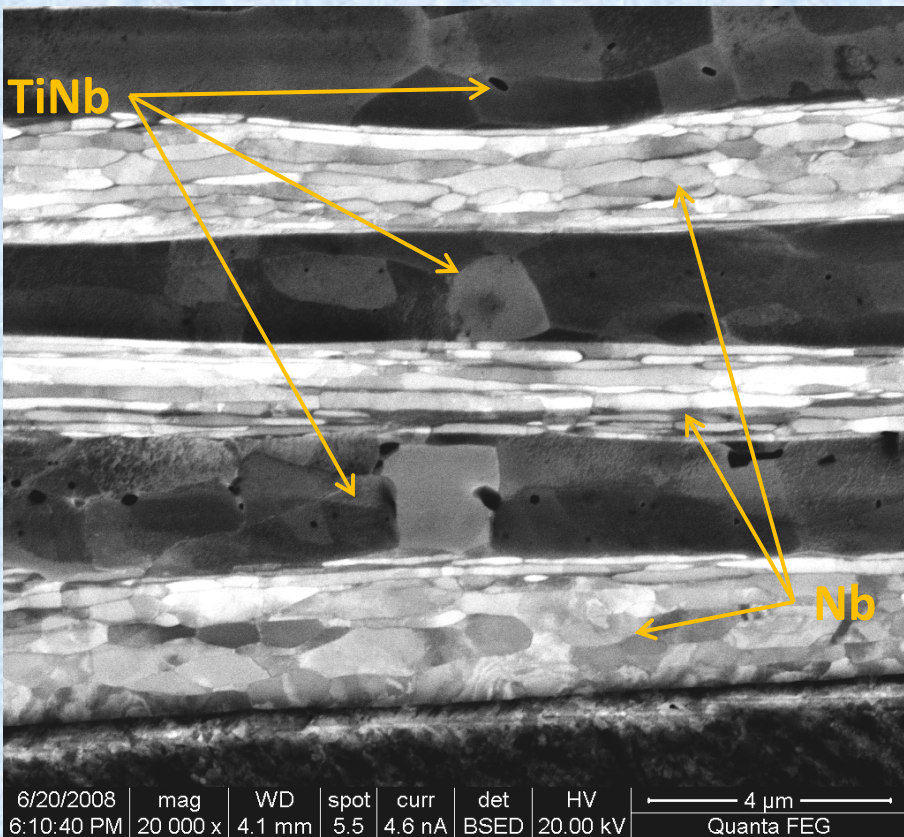
Градиент напряжений → градиент структуры

Исследование фазово-структурных превращений в наноламинатах систем Cu-TiNb и Cu-Nb-NbTi

Исследование фазово-структурных превращений в
наноламинатах систем Cu-TiNb и Cu-Nb-NbTi.

В рамках выполнения государственного контракта «Металлические многослойные композиционные наноструктурные материалы – разработка технологии, исследование структуры и свойств» совместно с Институтом физики твердого тела (г. Черноголовка) ведутся исследования структуры и диффузионных процессов на межслойных границах многослойных композитов систем Cu-TiNb и Cu-Nb-NbTi.

Активированная рекристаллизация ниобия при диффузии меди в многослойном сверх проводнике системы Cu-Nb-TiNb

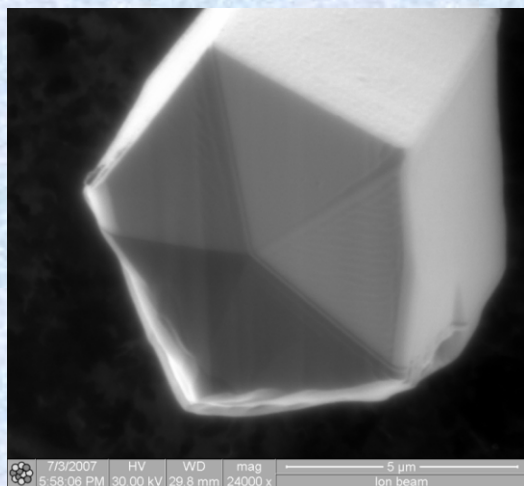


При отжиге 1023 K в течении 1 ч. наблюдается деградация структуры барьерного слоя ниобия. Это приводит к формированию интерметаллида Cu_4Ti_3 по границам зерен сплава TiNb и образованию интерметаллида Cu_4Ti вместо слоев меди. Диффузия меди через слой ниобия приводит к активированной диффузией рекристаллизации зерен (рисунок слева).

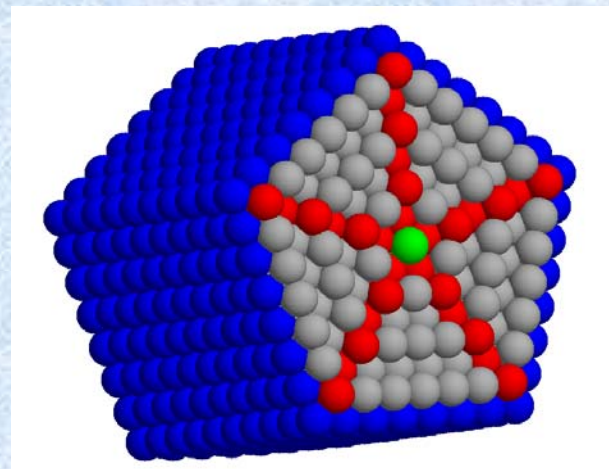
**Компьютерное моделирование – один из
основных инструментов решения
фундаментальных и прикладных задач
в исследованиях наноструктурированных
металлов, сплавов и композитов на их
основе**

Изучение механизмов формирования пентагональных частиц металлов из нанокластеров.

Компьютерное моделирование выявило механизм роста нанокластеров с сохранением пентагональной симметрии формы и одновременным снятием объемных напряжений, минуя образование дисклинаций, как предполагалось ранее



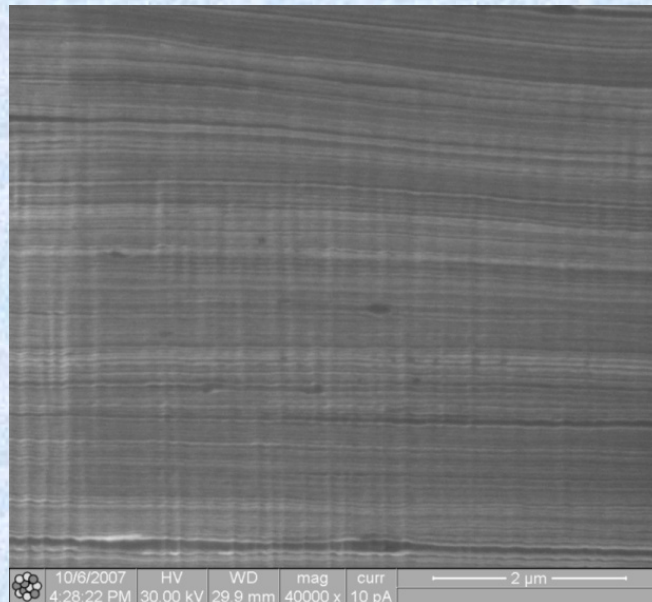
**Срез пентагонального стержня
(Quanta 200 3D)**



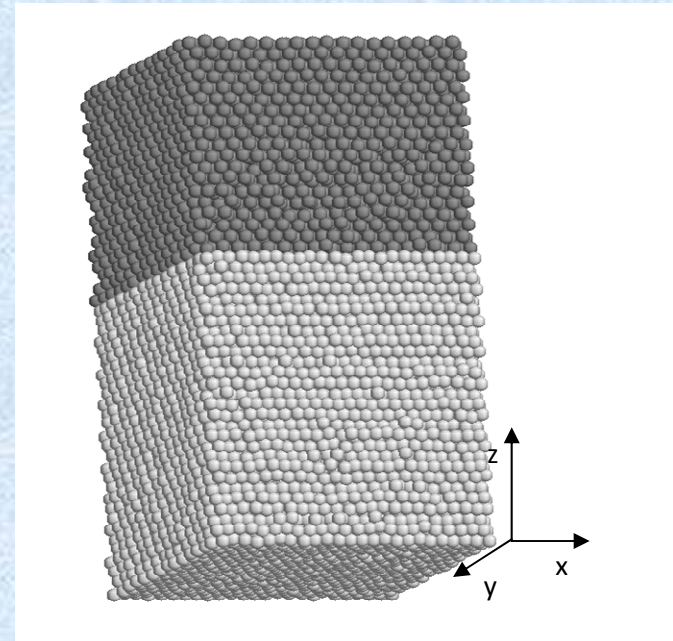
**Пентагональный наностержень,
«построенный» в компьютере**

Исследование структуры межфазных границ и механизмов деформации многослойных композитов (наноламинатов).

Экспериментальные исследования в этом направлении затруднены в связи с малой толщиной структурных элементов нанокомпозитов и атомным масштабом протекающих процессов.

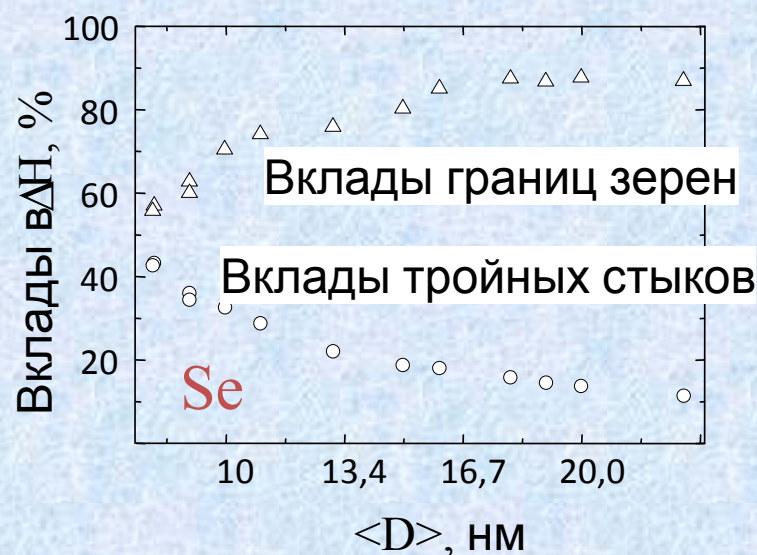
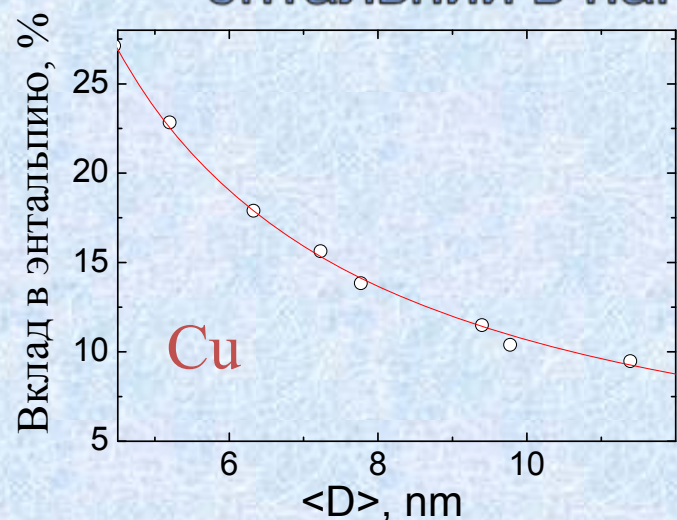


Поперечный срез наноламината Cu/Nb (Quanta 200 3D)

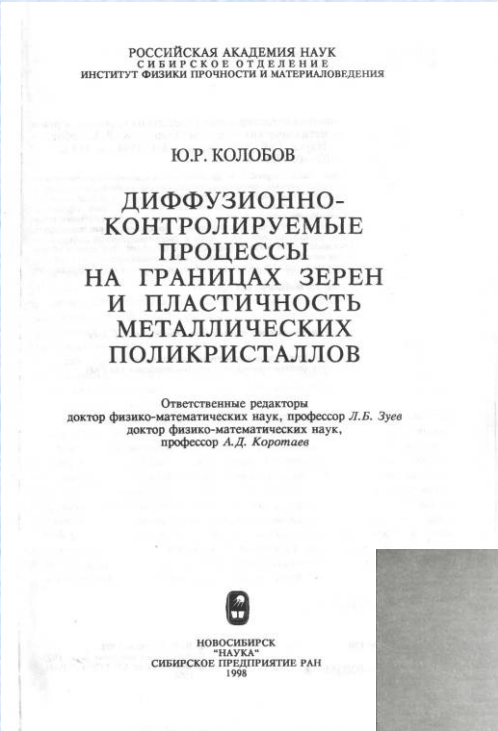


Моделирование наноламината Cu/Nb на атомном уровне

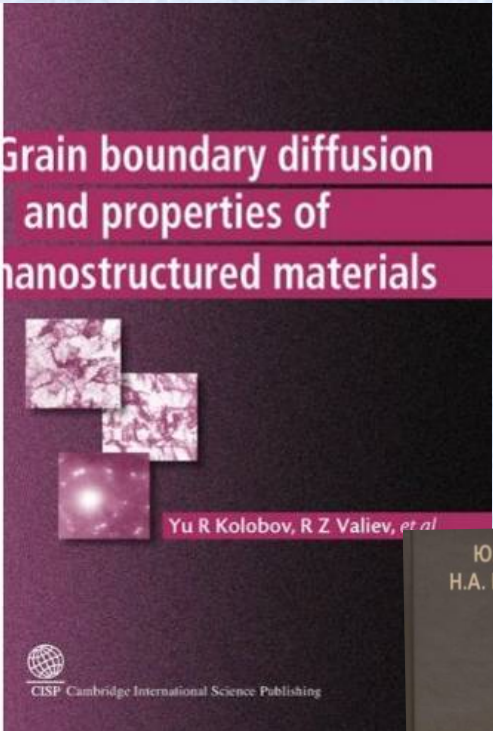
Результаты расчетов вкладов тройных стыков в избыток энтальпии в нанокристаллическом состоянии.



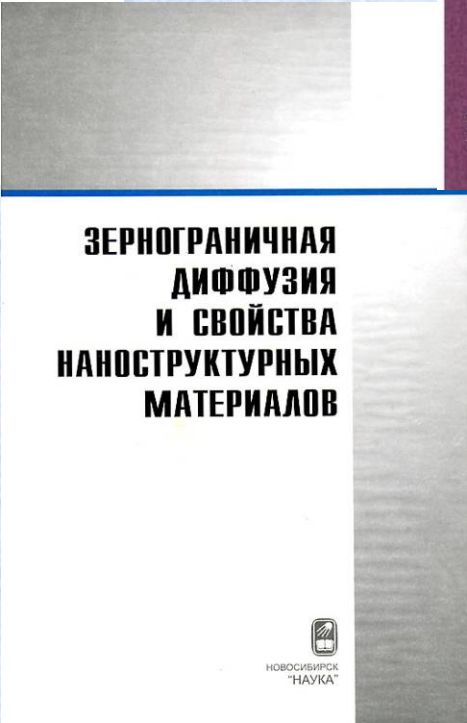
Из расчетов энергий границ зерен и тройных стыков в модельном компьютерном эксперименте на образцах нанокристаллической меди и из данных калориметрических измерений избыточной энтальпии нанокристаллического селена, полученного кристаллизацией из аморфного состояния, установлено, что вклад тройных стыков в избыточную энтальпию сопоставим с вкладом границ зерен (составляет более 10% и более 30% для меди и селена, соответственно, при среднем размере зерен порядка 10 нм).



Новосибирск
«Наука» 1998
г.



Cambridge
2007 г.



Новосибирск
«Наука» 2001
г.



Издательство
МИСиС
2008 г.

Направление прикладных исследований

- Разработка технологических процессов и оборудования для получения объемных металлических субмикроструктурных и наноструктурных материалов для медицины и техники.
- Освоение в клинической практике биоинертных и биоактивных имплантатов для использования в травматологии, ортопедии и стоматологии.

Белгородский госуниверситет (НОиИЦ «Наноструктурные материалы и нанотехнологии») – головная организация по выполнению крупного государственного контракта федеральной целевой программы по теме «Разработка опытно-промышленных технологий получения нового поколения медицинских имплантатов на основе титановых сплавов» с общим объемом финансирования 323 млн. руб.

Цель проекта - разработка прогрессивных технологий производства новых медицинских имплантатов на основе ультрамелкозернистых и наноструктурных титановых сплавах, в том числе с многофункциональными биоактивными наноструктурированными покрытиями для восстановительной, костнопластической хирургии и стоматологии.

Комплексный проект Федеральной целевой программы «Разработка опытно-промышленных технологий получения нового поколения медицинских имплантатов на основе титана»

Головная организация – Белгородский государственный университет (Центр наноструктурных материалов и нанотехнологий)
Руководитель – проф. Колобов Ю.Р.

Подраздел «Титановые сплавы и пористые биопокрытия» (куратор – проф. Колобов Ю.Р., БелГУ). Объем бюджетного финансирования 31,5 млн. руб. в год

- Белгородский государственный университет (головная организация проекта);
- ГУП ВНИ проектный институт медицинских инструментов, г. Казань;
- ЦНИИ Конструкционных материалов «Прометей», г. Санкт-Петербург;
- Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск;
- ООО КНПО «Биотехника», г. Томск;
- Институт металлургии им. А.А. Байкова (г. Москва)

Подраздел «Тонкопленочные биопокрытия» (куратор – проф. Левашов Е.А., МИСиС). Объем бюджетного финансирования 43,5 млн. руб. в год

- Московский институт стали и сплавов;
- Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А.Герцена;
- ЦНИИ стоматологии Росздравсоцразвития;
- ООО «Конмет» (г.Москва);
- Московский физико-технический институт;
- ЗАО НПО «Металл»;
- Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина (г. Москва).

ГОСКОНТРАКТ № 02.523.11.3007

Этап №6

«Освоение производства»

**Изготовление
установочной серии**

**Квалификационные
испытания**

**Акты освоения производства
Комплект РКТД с literой «А»**

**Полные клинические
испытания**

**Сдача документов
в Росздравнадзор**

**Заключение экспертизы
и сертификация
продукции**

Начало коммерциализации – IV квартал 2009 г.

Актуальные вопросы производства материалов и имплантатов для травматологии, ортопедии и стоматологии:

- исключение токсичных элементов
- снижение травматичности при использовании имплантатов
- повышение технологичности/производительности
- насыщение рынка отечественной продукцией (импортозамещение)

Используемые при изготовлении имплантатов в РФ титановые сплавы:

Область применения	Вид имплантатов	Основной материал	Актуальные задачи
Травматология	пластины	BT1-0	Повышение надежности
	винты	BT16, BT6	Повышение производительности
Челюстно-лицевая хирургия	пластины	Grade-4, BT1-0	Повышение надежности
	винты	Grade-4, BT1-0	-
Стоматология	аббатменты	Ti64 Eli, Ti-6Al-7Nb	Повышение прочности
	Импланты	Grade-4	Повышение прочности

Потребность России по травматологическим имплантатам:

Винты кортикальные 20 млн. шт. в год (50 руб. за шт.)

Пластины для остеосинтеза 3,9 млн. шт. в год (300 руб. за шт.),

Итого порядка 2200 млн. руб. в год.

Потенциальное потребление титановых сплавов (объем производства) 480 тонн в год

Направления исследований и разработки **"композитов"** **наноструктурный титан-биоактивное покрытие для костных имплантатов**, реализуемые в НОиИЦ «Наноструктурные материалы и нанотехнологии» БелГУ:

- отсутствие токсичных элементов
- высокое сопротивление развитию пластической деформации и разрушения при квазистатическом и динамическом нагружении
- низкий модуль или сверхэластичность
- биоактивность для специального круга применений

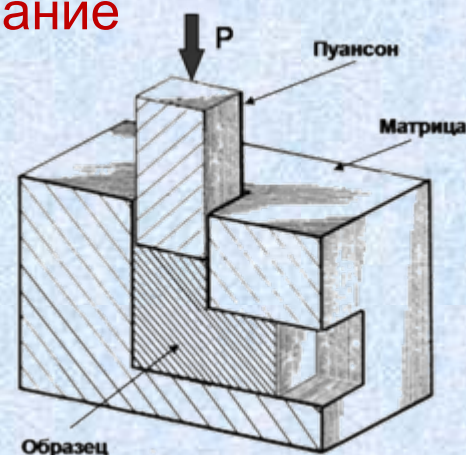
Известные методы воздействия интенсивной пластической деформацией с целью формирования субмикроструклического и наноструктурного состояний

❖ Кручение под высоким давлением

состояний



❖ Равноканальное угловое прессование



Научная идея:

реализация чистого сдвига при большой компоненте гидростатического давления.

Технологическая идея:

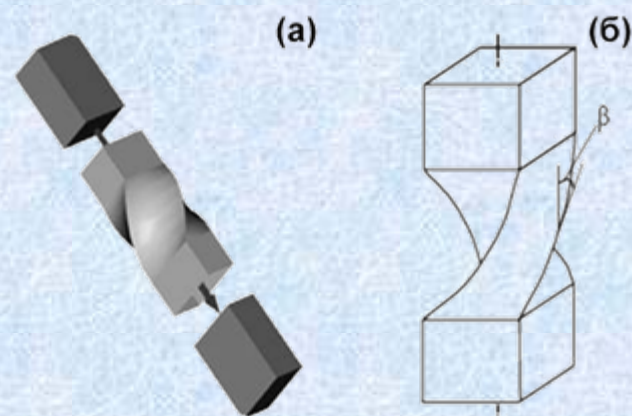
сохранение формы модельного образца с целью многократного повторения единичного акта процесса деформации.

Ограничения:

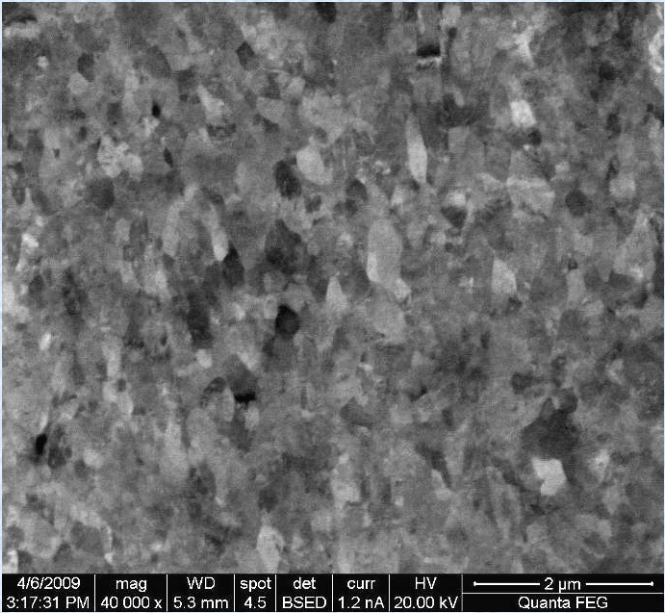
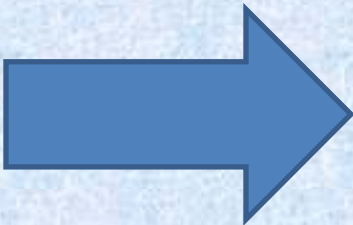
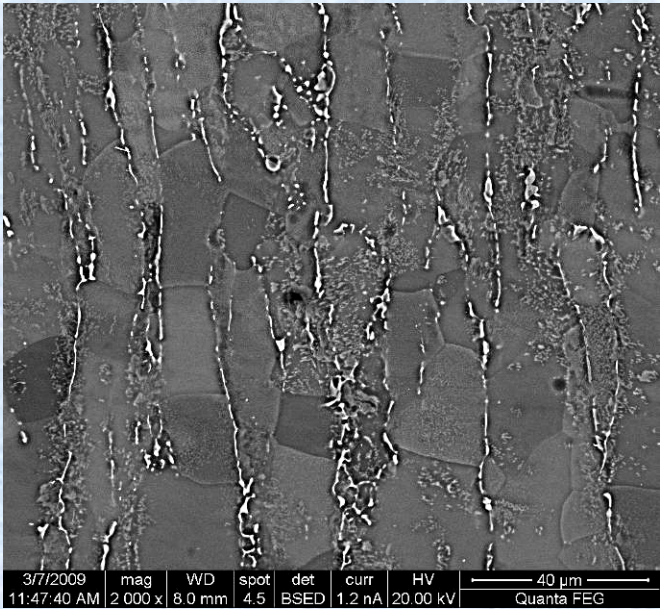
малая производительность, высокие затраты.

При промышленном переделе сохранение формы заготовки не обязательно!

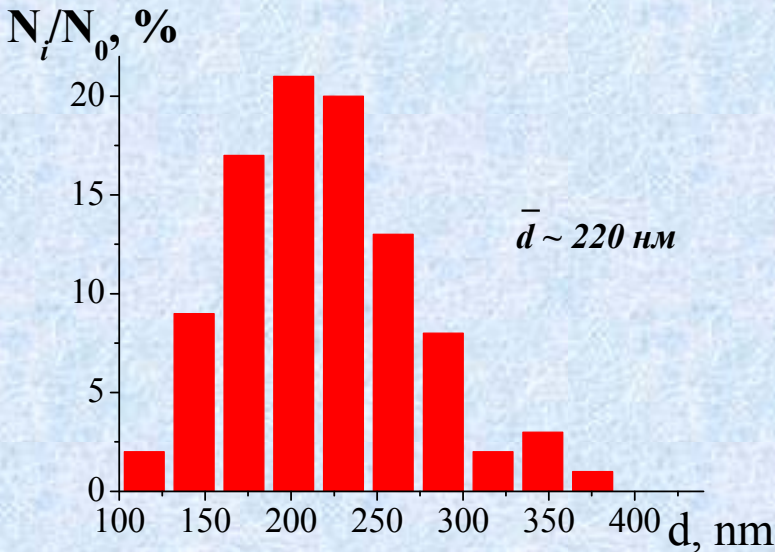
❖ Винтовая экструзия



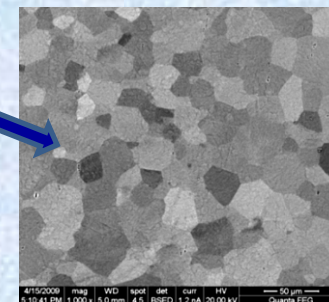
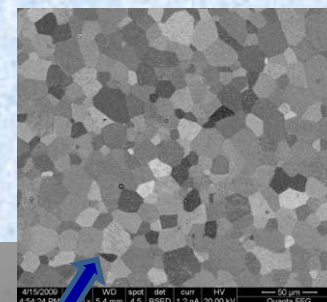
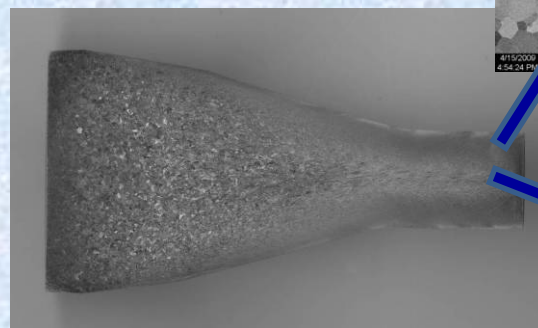
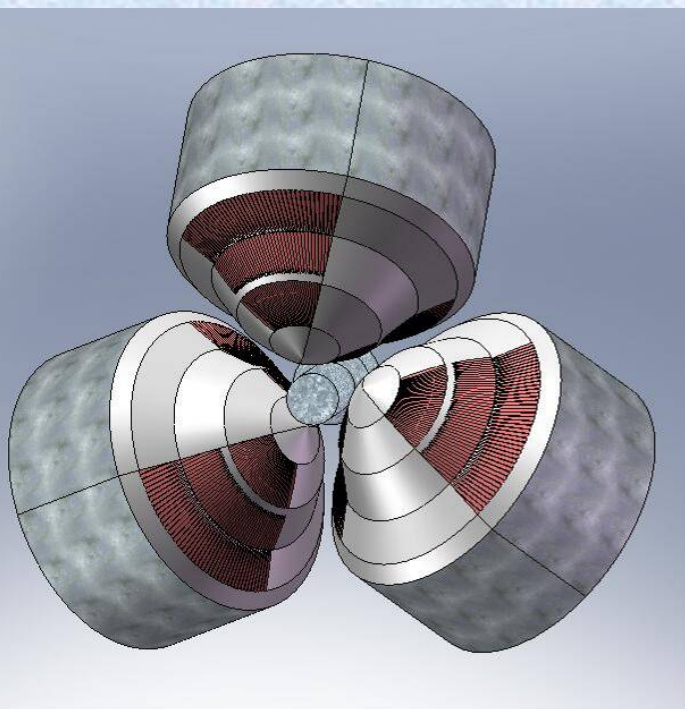
Пример устранения неоднородностей структурно-фазового состояния с одновременным увеличением прочности при сохранении пластичности нелегированного титана марки Grade-4



Показатели механических свойств	Предел прочности на растяжение, МПа	Пластичность, %
Grade-4 крупнозернистый	700	28,4
Grade-4 СМК, пруток d=12 мм (d _{cp} ~ 350 нм)	950	28,5
Grade-4 СМК, пруток d=8 мм (d _{cp} ~ 220 нм)	1100	20,3

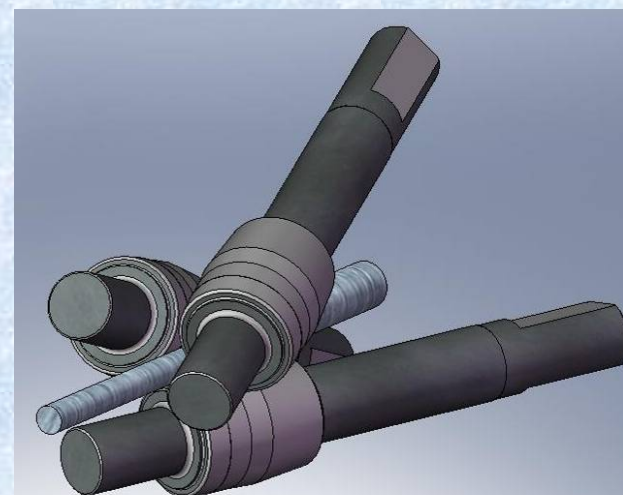


❖ Винтовая прокатка – перспективный метод интенсивной пластической деформации



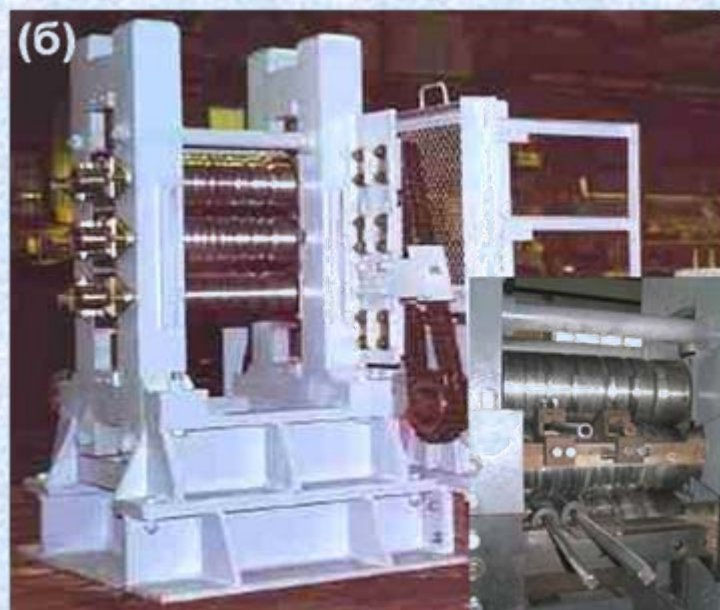
Основные преимущества винтовой прокатки:

- ✓ Возможность прокатки с большими коэффициентами вытяжки ($\mu > 5$) за проход.
- ✓ Присутствие в схеме напряженного состояния интенсивных компонент скручивания.
- ✓ Наилучшая схема получения прутков высокого качества по округлости и прогибу

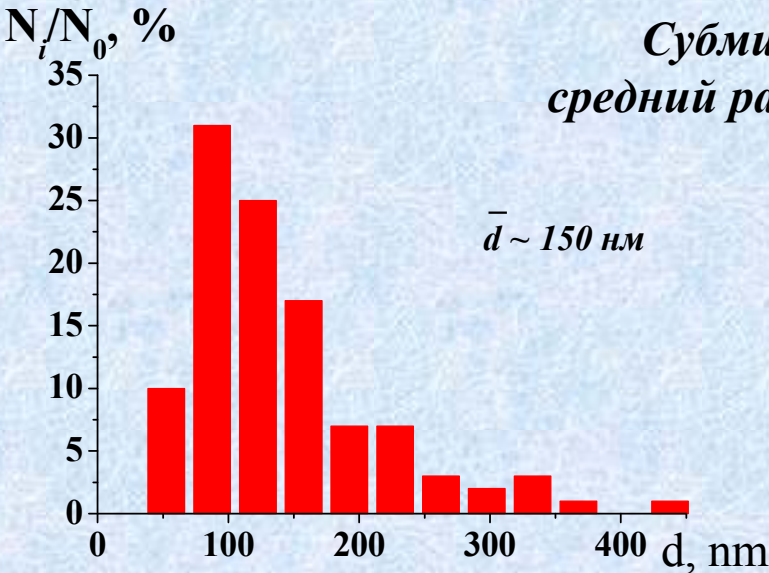
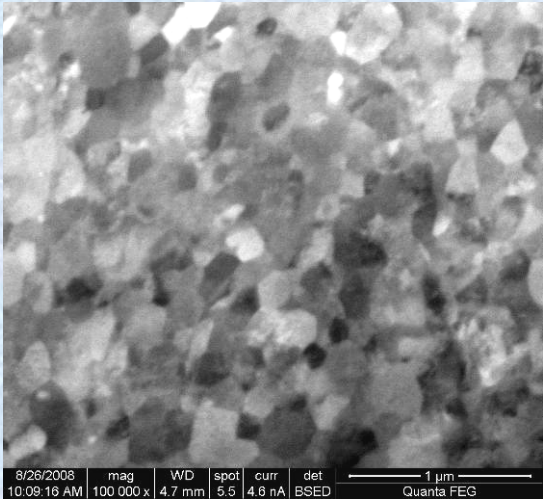


Опытно-промышленный участок БелГУ по изготовлению опытных партий полуфабрикатов титановых сплавов

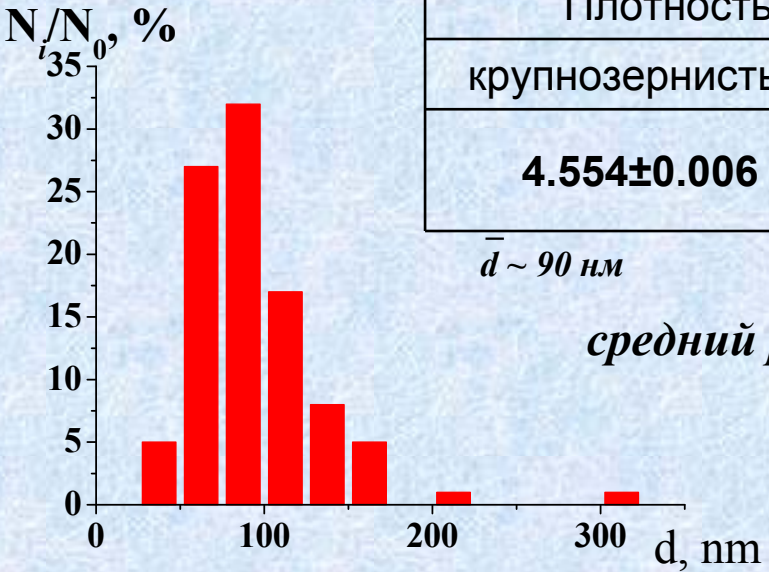
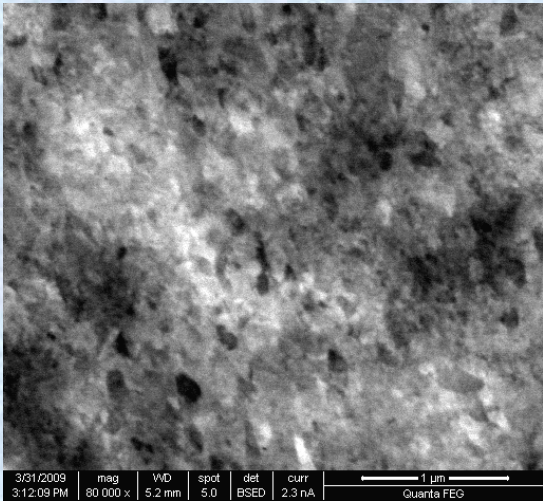
Новые высокопроизводительные и
малозатратные технологические режимы
формирования
субмикроструклического и
наноструктурного состояний в металлах и
сплавах



Примеры реализации субмикрокристаллического и наноструктурного состояний в нелегированном титане (сплав ВТ1-0):



*Субмикрокристаллический:
средний размер зерен $d \sim 150 \text{ нм}$;
доля зерен размером
менее $100 \text{ нм} \sim 35 \%$.*



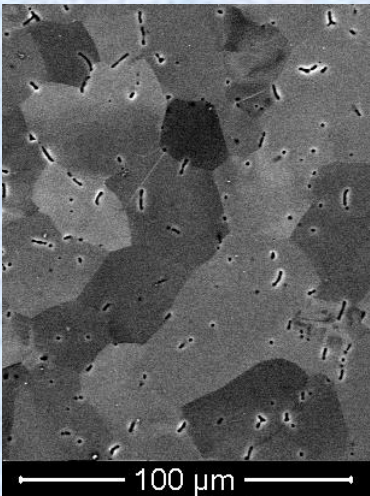
Плотность сплава ВТ1-0, г/см ³	
крупнозернистый	СМК, пруток d=8 мм
4.554±0.006	4.548±0.001 (Δρ/ρ)=0,13%

*Наноструктурный:
средний размер зерен $d \sim 90 \text{ нм}$;
доля зерен размером
менее $100 \text{ нм} \sim 60 \%$.*

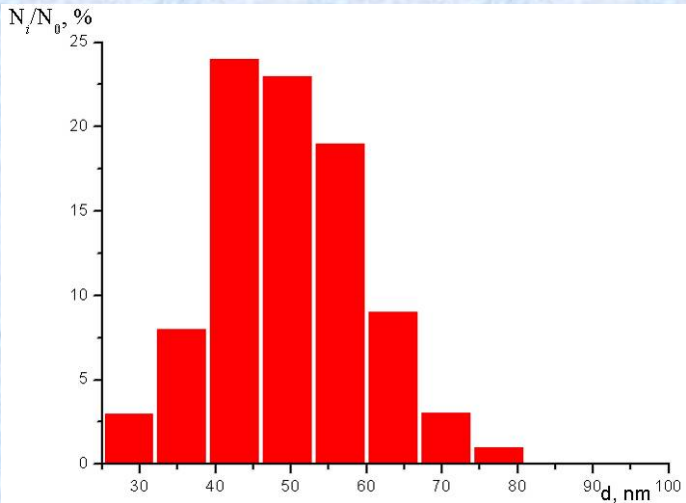
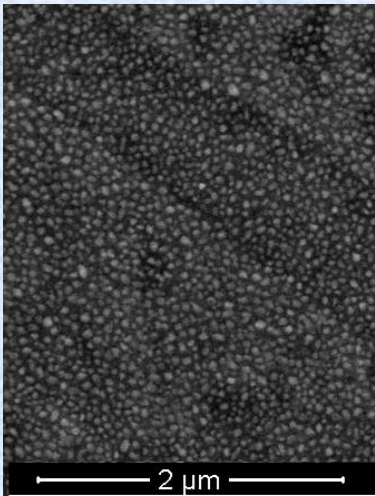
Способ низкотемпературного (<450°C) упрочняющего диффузионного насыщения азотом поверхности титановых сплавов в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления

BT1-0

До азотирования,
микротвёрдость 1.6 ГПа

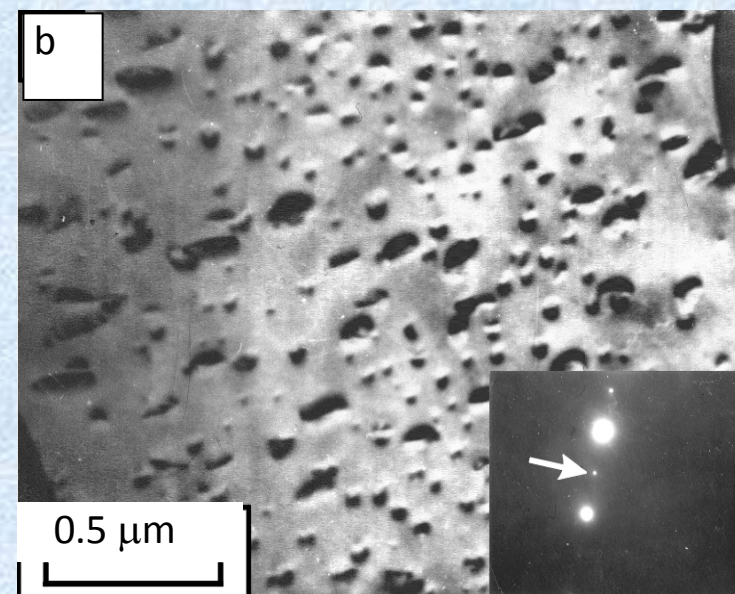
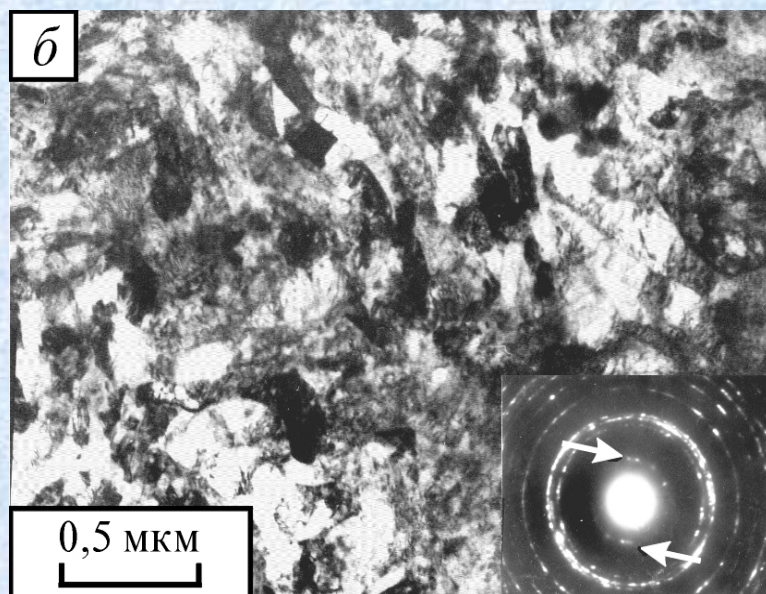


После азотирования,
микротвёрдость 3.5 ГПа



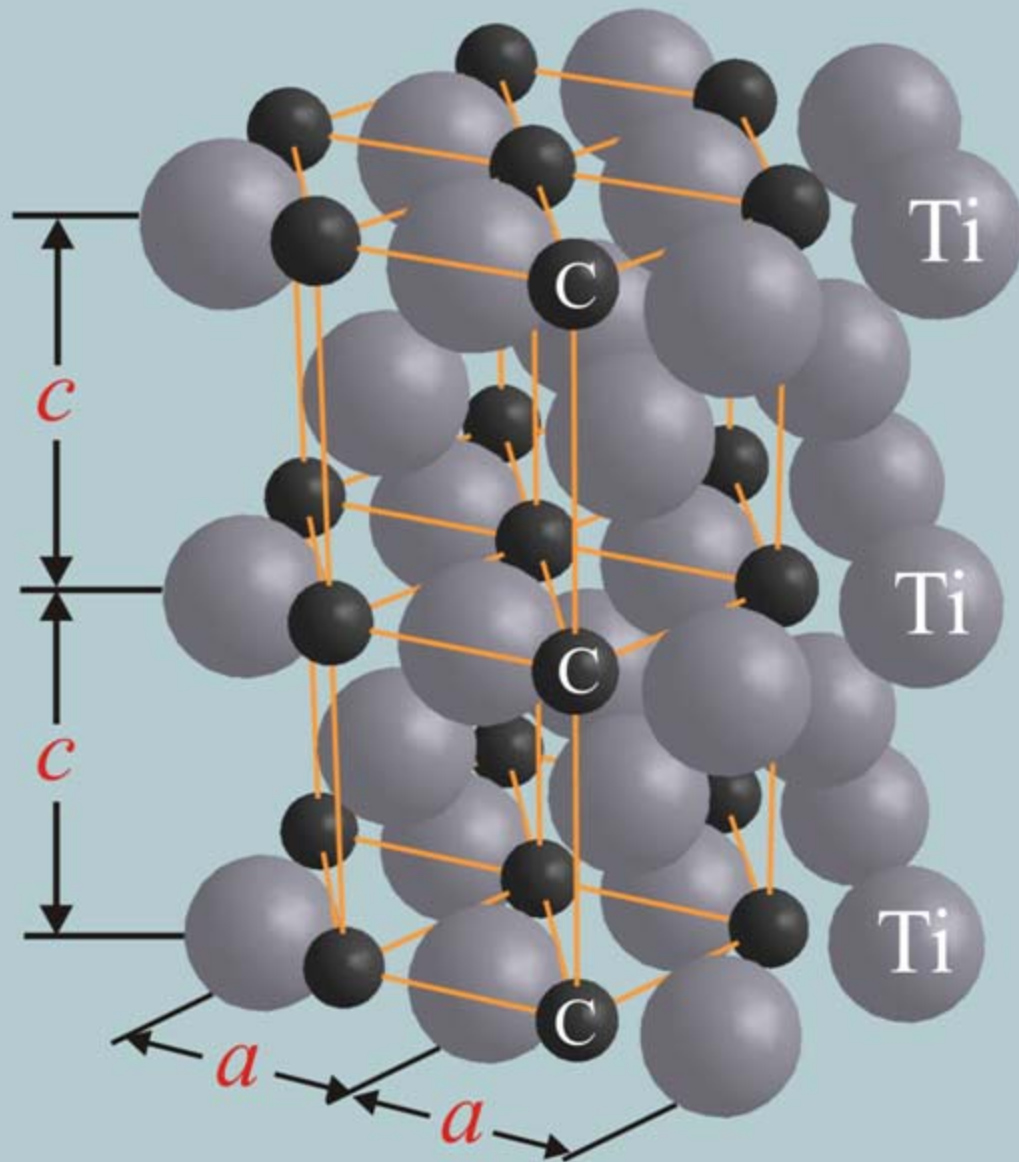
Титановый сплав	Микротвёрдость, ГПа	
	До азотирования	После азотирования
BT16 (СМК)	5	8.6
BT6 (СМК)	5.8	8.1

Естественный наноструктурированный композит на основе Тi для медицинского применения



Частицы дисперсных карбида в технически чистом НС титане (сплав ВТ-1.0) после РКУП при 350 ° С (а) и после рекристаллизационного отжига (b).

В отличие от широко применяемых в настоящее время в медицине легированных титановых сплавов (типа ВТ-6), высокопрочный НС титан не содержит вредных для живого организма легирующих элементов (Al и V) и может быть использован вместо титановых сплавов в качестве материала для медицинских имплантатов.

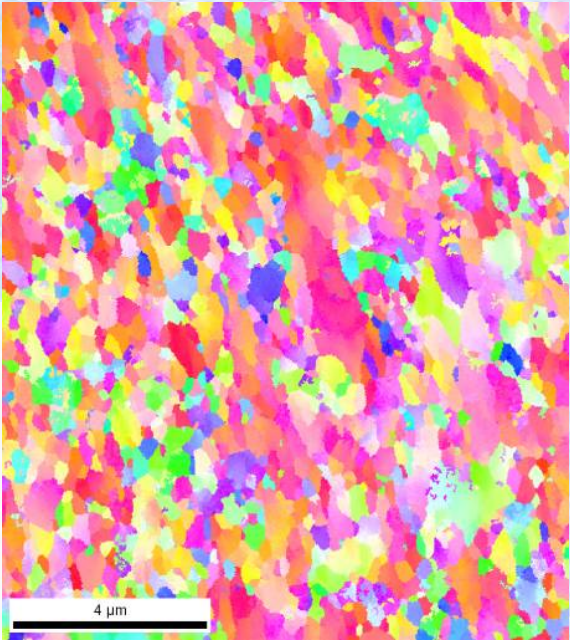
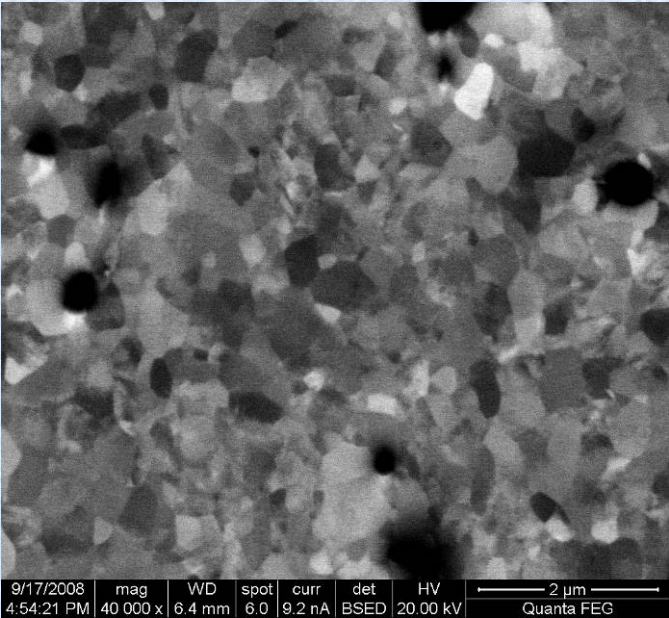


Расчеты «из первых принципов» (ПП) предсказывают ГПУ фазу Ti_2C , энергия которой ниже энергии карбида TiC (структура NaCl) на 0.17 эВ/(атом C), в α титане

ГПУ Фаза	a , Å	c , Å	c/a
α Ti (ПП)	2.94	4.65	1.58
α Ti (эксп. [1])	2.95	4.68	1.59
Ti_2C (ПП)	3.06	4.92	1.61

Структурные параметры и механические свойства субмикрокристаллического титанового сплава ВТ1-0 медицинского назначения, планируемого к выпуску в масштабе потребностей РФ

Средний размер зерен 0,25 мкм
Доля малоугловых ГЗ < 25 %



сплав ВТ1-0	КЗ	СМК
σ_B , МПа	490	900
δ , %	29	12

Импортозамещение титановой продукции медицинского применения

Стоимость и прочностные свойства отечественного титанового сплава технической чистоты BT1-0 в субмикрокристаллическом состоянии и импортного аналога Grade-4

	Grade-4 (производство США)		BT1-0 субмикрокристаллический	
	Цена, руб/кг	Предел прочности, МПа	Цена, руб/кг	Предел прочности, МПа
Ø 3-8 мм, калиброванный пруток (ASTM F-67-00)	8000	700	~ 3500	950

Заводские испытания нелегированного титана в СМК состоянии:

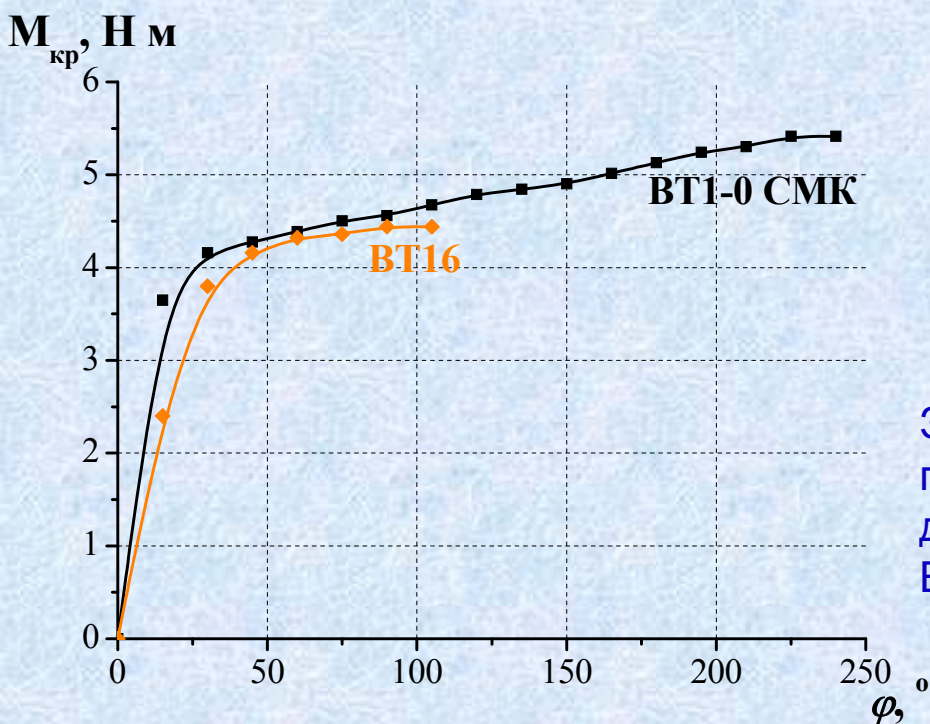


Повышенная технологичность при обработке резанием по сравнению со сплавами

Улучшенные характеристики изделий для травматологии (изгиб пластин, кручение винтов) по результатам технических испытаний

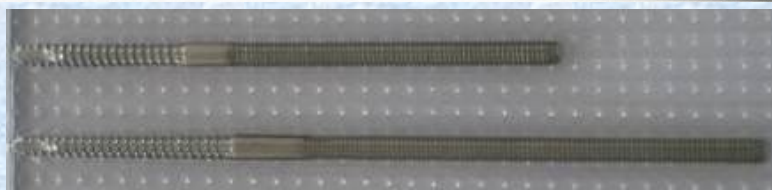
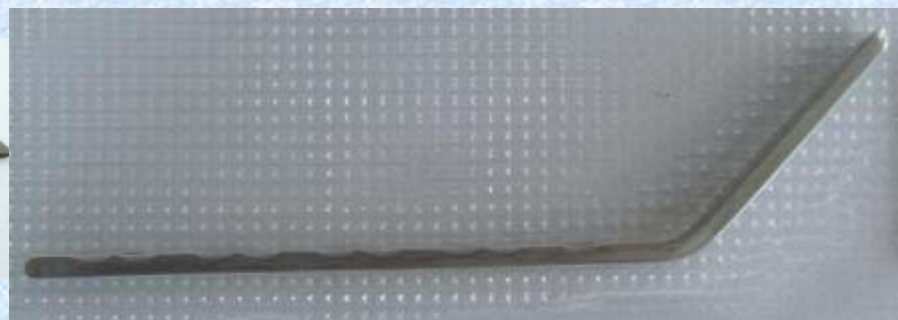
Новые возможности:

- пластины меньшего сечения для снижения повреждаемости надкостницы при операциях,
- новые подходы к фиксации шейки бедра,
- социальные имплантаты



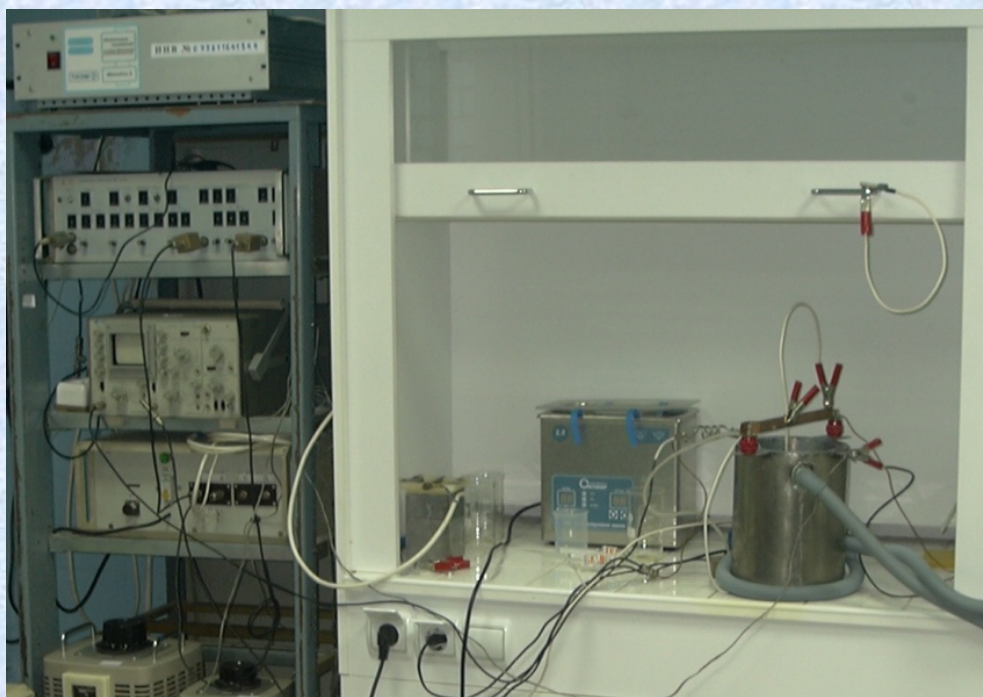
Зависимость крутящего момента от угла поворота при испытаниях на кручение винтов для остеосинтеза диаметром 4.5 мм из сплава BT16 промышленной поставки и СМК BT1-0

Примеры полуфабрикатов из субмикрокристаллического ВТ1-0 и медицинские имплантаты для остеосинтеза



Разработка методов формирования биоактивных покрытий

Создана технология получения композиционного биоактивного покрытия на сплавах ВТ-1.0, ВТ-6, ВТ-16 с применением микродугового оксидирования в электролитах, содержащих нанокристаллический гидроксиапатит



**Установка МДО MicroArc 2, разработанная в
Институте физики прочности и
материаловедения СО РАН (г.Томск)**

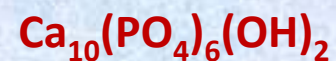
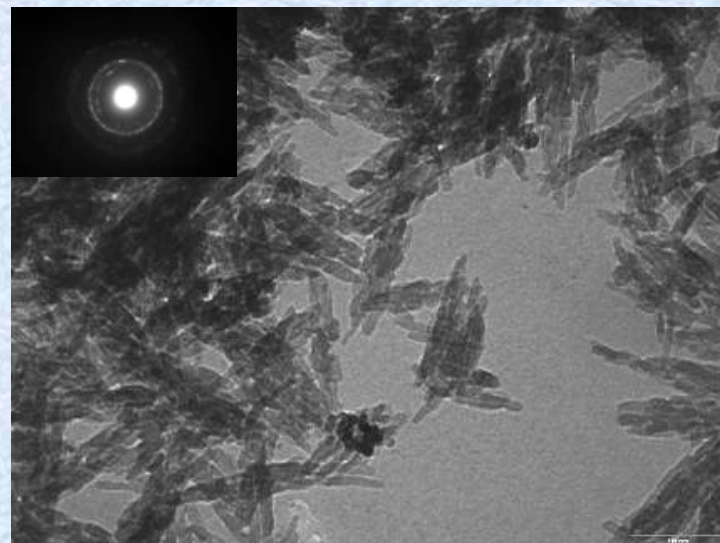


Процесс микродугового горения

Гидроксилapatит нанокристаллический

Разработана оригинальная технология синтеза наногидроксилapatита в виде водных и спиртовых коллоидов, суспензий и гелей различной плотности.

Разработка защищена патентами РФ:
«Способ получения наноразмерного гидроксилapatита»
№2342319, №2342938



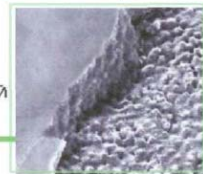
Нанофлюор

Синтезированный в Центре НСМН БелГУ наногидроксиапатит использован в качестве одного из компонентов нового на мировом рынке лечебно-профилактического препарата «Нанофлюор». Для проведения маркетинговых исследований первая пробная партия препарата «Нанофлюор» (1000 упаковок) представлена на рынке (Российская Федерация и страны СНГ) в конце июня 2007 г. Предполагаемые объемы производства препарата «Нанофлюор» – 10 000 упаковок в месяц по цене 1000 руб. за упаковку. В настоящее время готовятся заявки на получение трех патентов РФ на новый способ синтеза наногидроксиапатита.

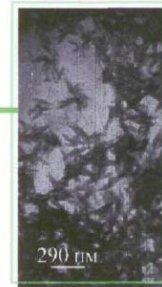
НАНОФЛЮОР

...БОЛЬШЕ, ЧЕМ ПРОСТО ЗАЩИТА!

уникальный фторирующий лак на основе природных смол, содержащий нанодисперсный коллоидный гидроксиапатит



нанодисперсный коллоидный гидроксиапатит способствует реминерализации дентина глубокой кариозной полости и нормализации состояния пульпы зуба



сочетание аминфторида и фторида натрия обеспечивает высокий фторирующий эффект, оказывает противовоспалительное и анти-септическое действие, способствует глубокому проникновению в микротрещины эмали и дентинные каналы



Наноструктура материала охарактеризована специалистами Научно-исследовательского и инновационного Центра Наноструктурных материалов и нанотехнологий Белгородского государственного университета с использованием ретрового ионно-электронного микроскопа Quanta 200 3D

ЗАО "ОЗЗ "ВладМиВа"
г.Белгород, ул.Студенческая 19
т.(4722) 34-56-85, 34-57-41
ф.(4722) 31-59-03
postmaster@vladmiva.ru

ТД "ВладМиВа"
г.Белгород, ул.Садовая 118
т.(4722) 26-26-83, 26-18-04
www.vladmiva.ru
market@vladmiva.ru

В Белгородском государственном университете, создано 12 научно-образовательных центров по четырем направлениям в областях: исследование и разработка наноструктурных материалов и нанотехнологий, в области информационных технологий , в области медицины и фармации и в области гуманитарных наук .

Нижеперечисленные из них получили поддержку по программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» 2009-2013 г

**Проведение научных исследований коллективами
научно-образовательных центров (НОЦ)**

№	Наименование НОЦ	Руководитель НОЦ	Итого, руб.
1.	Научно-образовательный и инновационный центр «Наноструктурные материалы и нанотехнологии»	Проф. Колобов Ю.Р.	12 млн.
2.	НОЦ «Наноструктурные конструкционные материалы»	Проф. Кайбышев Р.О.	12, 75 млн.
3.	НОЦ «Ресурс»	Проф. Исаев И.Ф.	11 млн.
4.	НОЦ «Керамические и композиционные материалы»	Проф. Иванов О.Н.	12, 75 млн.
5.	НОЦ «Генетически факторы мультифакториальных заболеваний человека»	Проф. Чурносов М.И.	10 млн.
	Итого:		58,5 млн.

**Развитие внутрироссийской мобильности научных и
научно-педагогических кадров
путем выполнения научных исследований молодыми учеными и
преподавателями в научно-образовательных центрах (2009 год)**

№	Наименование НОЦ	Руководитель НОЦ	Итого, руб.
1.	Научно-образовательный и инновационный центр «Наноструктурные материалы и нанотехнологии»	Проф. Колобов Ю.Р.	3 млн.
2	НОЦ «Ресурс»	Проф. Исаев И.Ф.	2,7 млн.
3.	НОЦ «Нано- и супрамолекулярные технологии в химии и биологии»; научно-образовательный кластер «Фундаментальные проблемы геоматики в науке, образовании, управлении»	Проф. Лисецкий Ф.Н.	2,7 млн.
Итого:			8,4 млн.

Заключение

□ Разработаны высокопроизводительные малозатратные способы формирования субмикrokристаллического и наноструктурного состояний в нелегированном титане. Достигнутые характеристики механических свойств указанных материалов при квазистатическом и циклическом нагружении соответствуют требованиям к материалам медицинских имплантатов, применяемых в травматологии, ортопедии и стоматологии. Создан опытно-промышленный участок по производству полуфабрикатов разработанных сплавов промышленного сортамента.

□ Разработаны способы синтеза биоактивных покрытий, основанные на методе микродугового оксидирования, а также использования шликера нанокристаллического гидроксилапатита. Покрытия обладают высокой адгезией, остеиндуктивными и остекондуктивными свойствами.

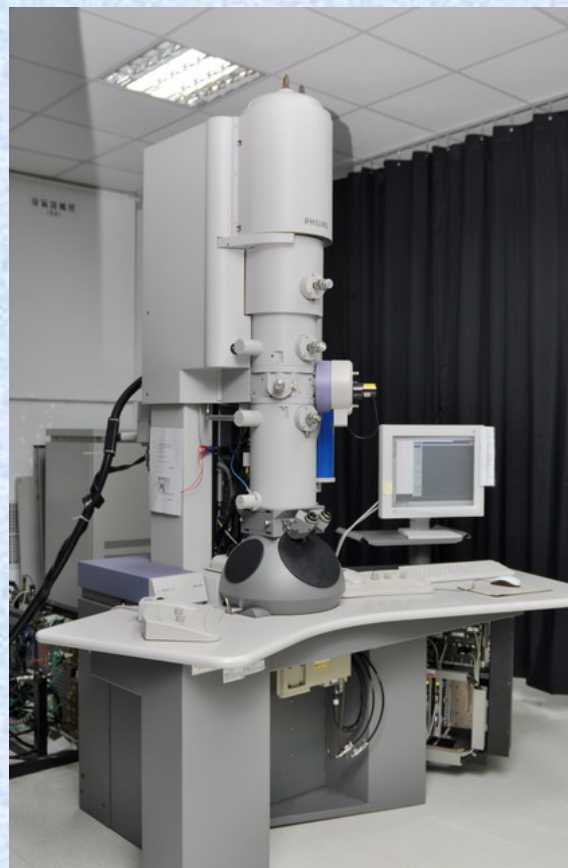
□ Успешно завершены клинические испытания имплантатов в медицинских учреждениях России, продукция сертифицирована и в 2009 г. начата её коммерциализация.

Аналитическое оборудование

Просвечивающая электронная микроскопия



JEM-2100 LaB6



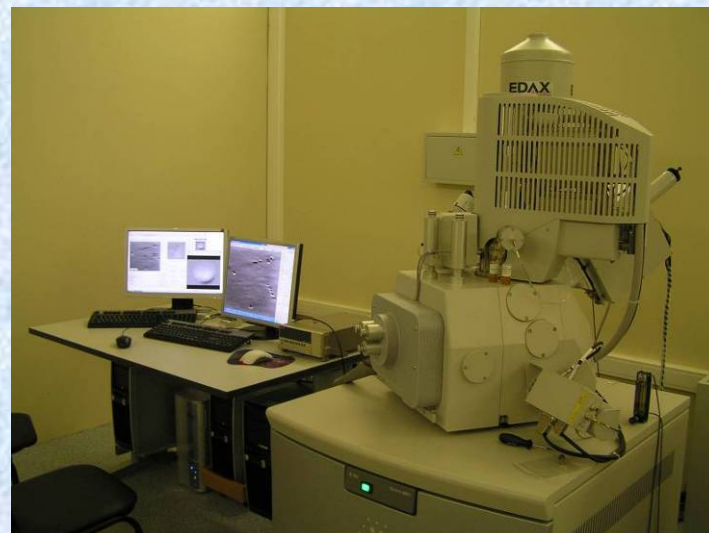
Tecnai G2 20F S-TWIN

Растровая электронная микроскопия



Quanta 200 3D

с системой для микроанализа, состоящей из энергодисперсионного спектрометра, и анализа структуры и текстуры кристаллических материалов методом дифракции отраженных электронов; микроманипулятором OmniProbe для извлечения тонких фольг



Quanta 600 FEG

с полевой эмиссии, комплексной системой микроанализа, состоящей из энергодисперсионного спектрометра, спектрометра волновой дисперсии и приставки для анализа структуры и текстуры кристаллических материалов методом дифракции отраженных электронов



А также:

- вычислительный 64-процессорный кластер для математических и инженерных расчетов;
- рентгеновский дифрактометр ARL XTRA, укомплектованный приставками для проведения исследований тонких пленок, текстурного анализа, высокотемпературного анализа фазового состава;
- комплексы NTEGRA Vita и Aura, включающие наноиндентор, атомно-силовой и туннельный микроскопы;
- термоанализатор SDT Q600 для высокотемпературного дифференциально-термического анализа, термогравиметрического анализа, дифференциальной сканирующей калориметрии;
- ИК-Фурье спектрометр-микроскоп Nicolet 6700;
- высокотемпературный трибометр High-temperature Tribometer (CSM-Instruments);
- автоматическая система анализа микротвердости на базе микротвердомера DM 8B AUTO;
- оптические инвертированные микроскопы Olympus GX51 и Olympus GX71;
- комплекс оборудования Struers для получения образцов и их подготовки к испытаниям (LaboPol-5, TenuPol-5, TegraPol-31, LectroPol-5);
- ионная пушка Fishione 1010 для подготовки образцов для электронной микроскопии;
- твердомеры 3000 BLD по Бринеллю, 402 MVD по Виккерсу и Wilson Wolpert 600 MRD по Роквеллу;
- комплекс оборудования фирмы Instron для статических испытаний на растяжение, сжатие и изгиб, усталостных испытаний по схеме вращение с изгибом и растяжение-сжатие при комнатной и повышенных температурах; длительных высокотемпературных испытаний.

Технологическое оборудование

- Пресса гидравлические с усилием в 100 и 400 тонн;
- Стан радиально-сдвиговой прокатки 14-40;
- Стан винтовой прокатки вакуумный (МИСиС-10);
- Стан сортовой прокатки ТРИО-450;
- Печи отжиговые;
- Станок бесцентрово-шлифовальный;
- Ленточнопильный станок HBS-1018W;
- 4-х координатный промышленный станок электроэрозионной резки;
- Пресс для изотермической штамповки в режиме сверхпластического течения.



Спасибо за внимание!

**Приглашаем к
сотрудничеству!**