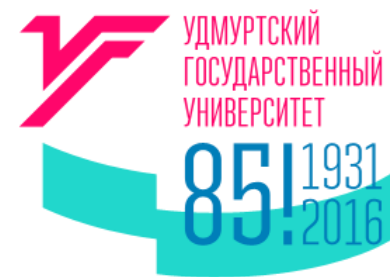


ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

Харанжевский Евгений Викторович
Кривилев Михаил Дмитриевич
Галенко Петр Константинович

ВНЕДРЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ УДМУРТИИ



ОПЫТ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЙ УдГУ

1. Проведение НИР по направлениям:

Аддитивные технологии

Композиционные материалы

Накопители энергии

2. Создание малых инновационных предприятий (МИП) по использованию результатов научной деятельности для создания инноваций

Разработка продукции и технологий (лазерные технологии, технологии аддитивного производства, композиционные материалы)

Разработка электронных приборов на основе датчиков для биосистем

3. Создание инновационных предприятий и организация производства инновационной продукции на предприятиях УР

Научно-технологические центры

216-ФЗ «Об Инновационных Научно-технологических Центрах»

Производственные предприятия

Машиностроительные кластеры

Финансовая поддержка НИР в рамках проектов

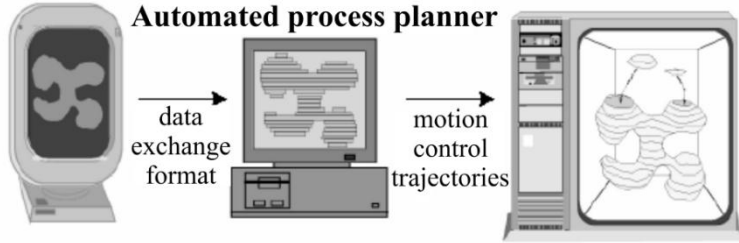
РФФИ, Минобрнауки, Роскосмоса,

Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере

Методы селективного лазерного спекания и плавления

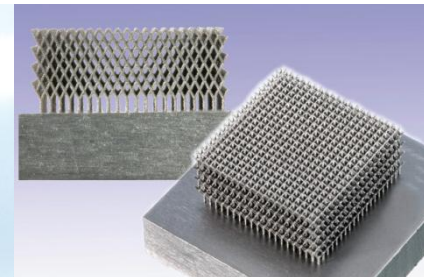
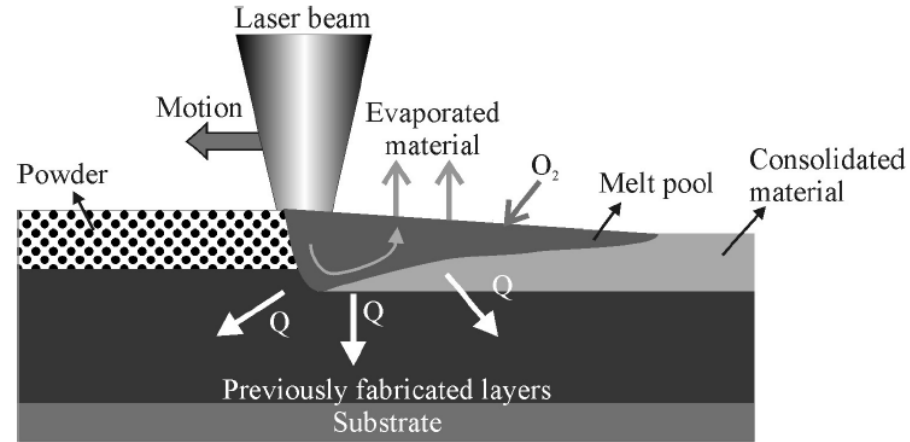
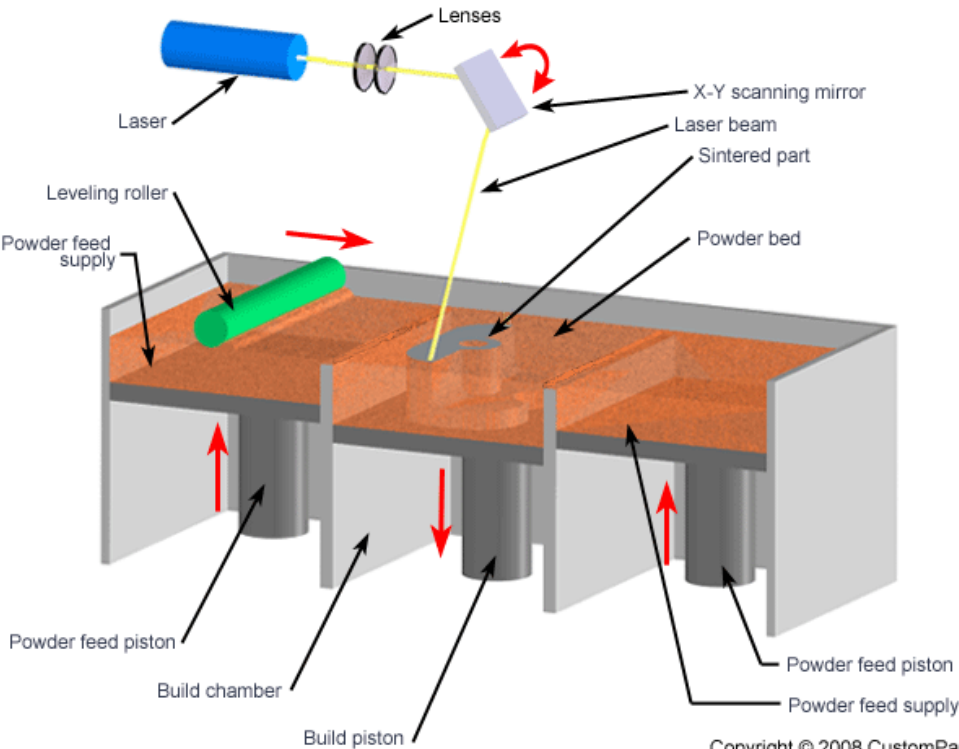
CAD system

Automated fabrication machine



Computerized solid model

Physical object



Copyright © 2008 CustomPartNet

Двухлучевая установка для 3D печати изделий из металлических порошков: композиционные материалы, медные сплавы, тугоплавкие соединения

Проблемы СЛП:

1. Остаточная пористость
2. Ограниченное число материалов
3. Требования к порошкам

$$l_{\tau} = \sqrt{\frac{K\tau}{\rho C_p}}$$

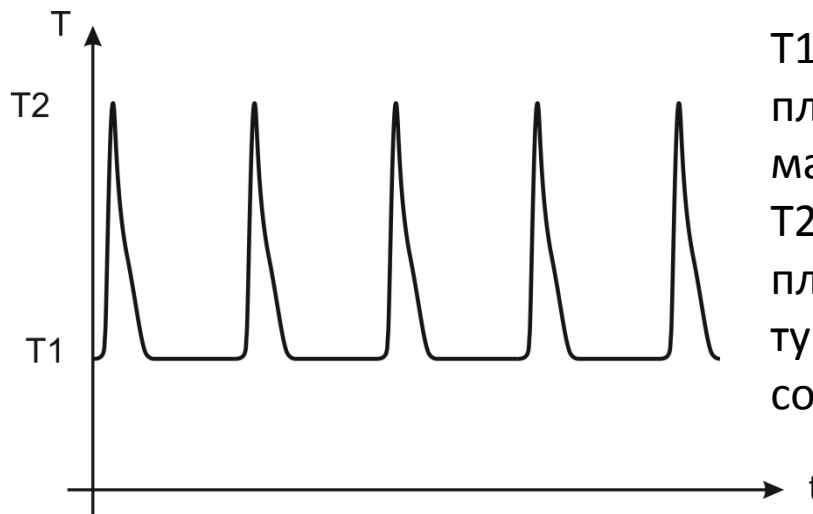
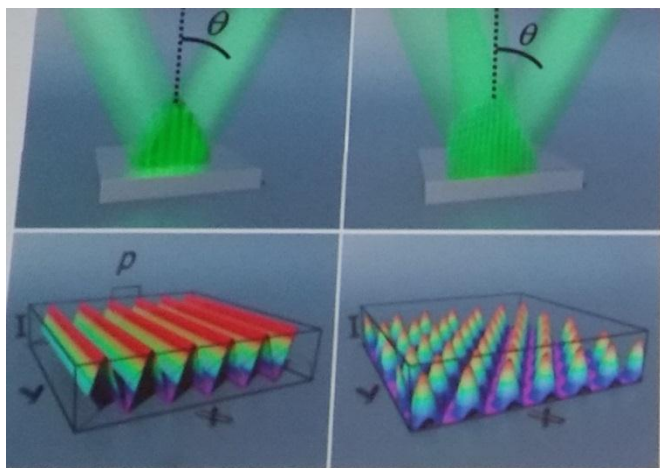
K – коэффициент теплопроводности

τ – длительность импульса

ρ – плотность

C_p – удельная теплоемкость

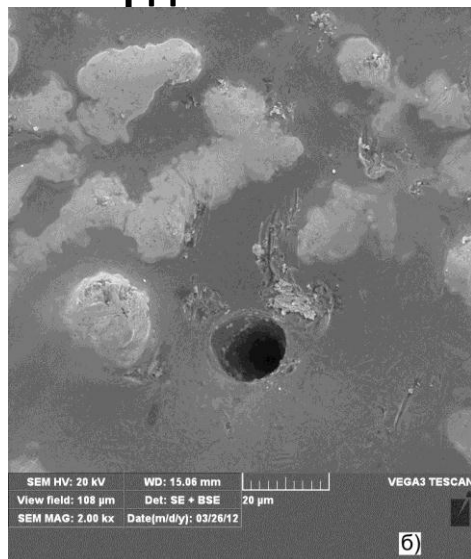
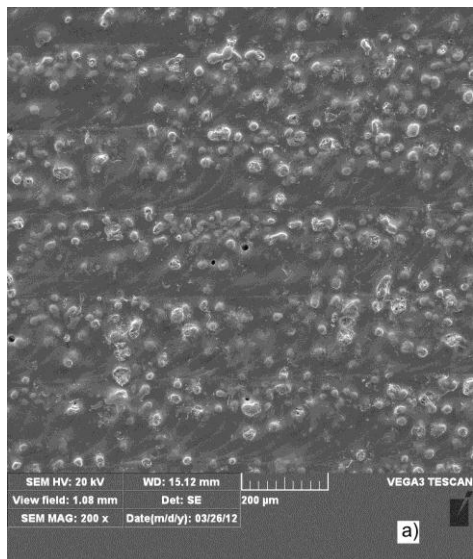
Комбинированная двухлучевая лазерная установка (непрерывный – короткоимпульсный лазеры)



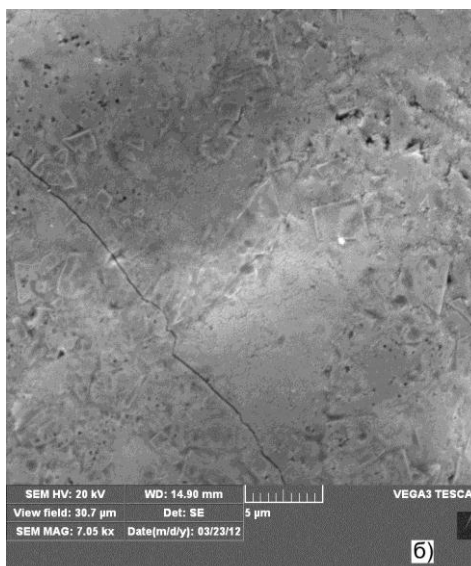
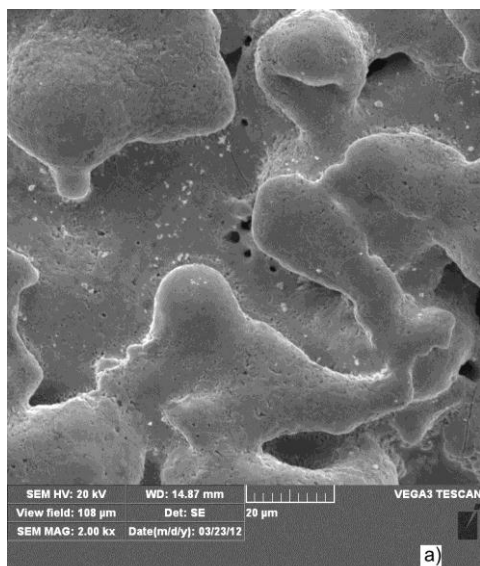
T1 – температура плавления метал. матрицы
T2 – температура плавления тугоплавких соединений

Градиентные функциональные покрытия на основе композиционных материалов с металлической матрицей

Многослойные твердосплавные покрытия на основе карбида вольфрама

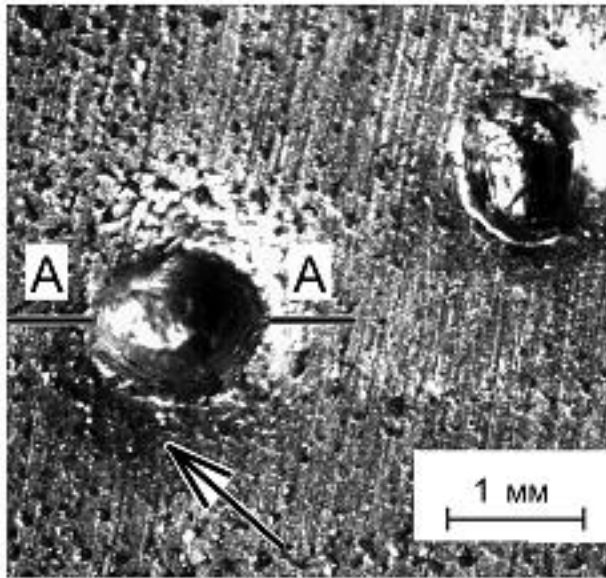


СЭМ-изображение поверхности после нанесения первого слоя твердосплавного покрытия: а – обзорное изображение во вторичных электронах; б – совмещенное изображение во вторичных и обратно рассеянных электронах участка поверхности вблизи изолированной цилиндрической поры

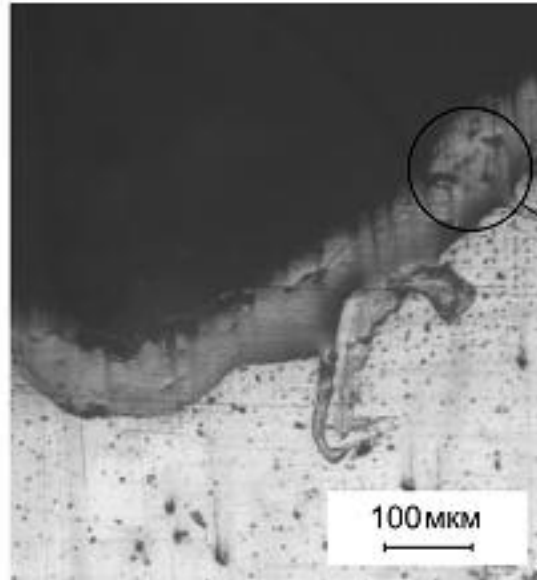


СЭМ-изображение поверхности после нанесения пятого слоя твердосплавного покрытия: а – обзорное изображение во вторичных электронах $\times 2000$; б – увеличенный участок вблизи микротрещины $\times 7000$

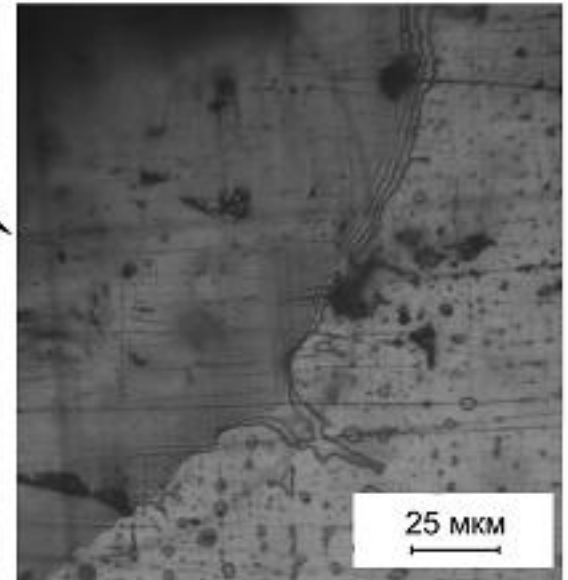
Многослойные твердосплавные покрытия на основе карбида вольфрама



(a)

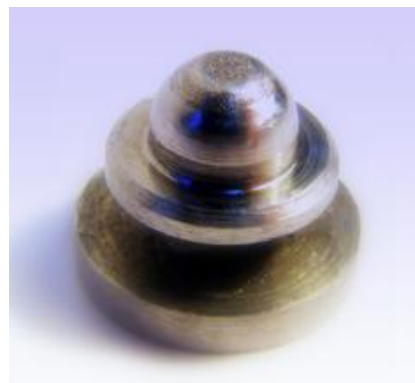


(б)



(в)

Пластическая деформация твердосплавного покрытия толщиной 120 мкм после ударного действия индентора. Стрелки указывают на место начала значительной пластической деформации, начиная с которого металл поднимается от поверхности



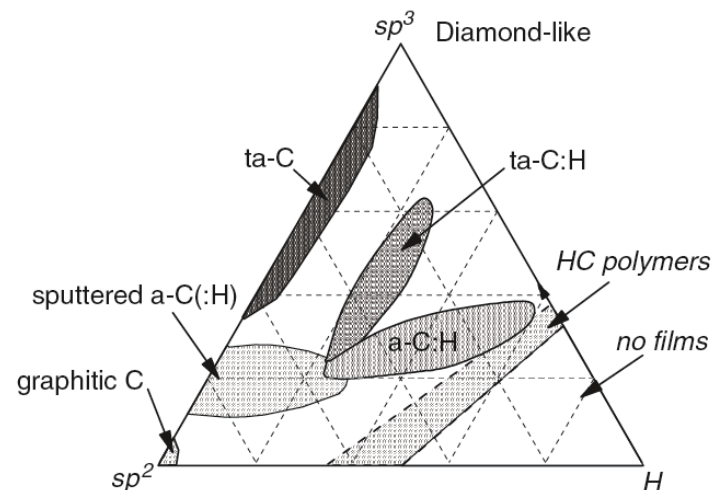
Градиентные функциональные покрытия на основе композиционных материалов с металлической матрицей

Градиентные углерод-содержащие покрытия

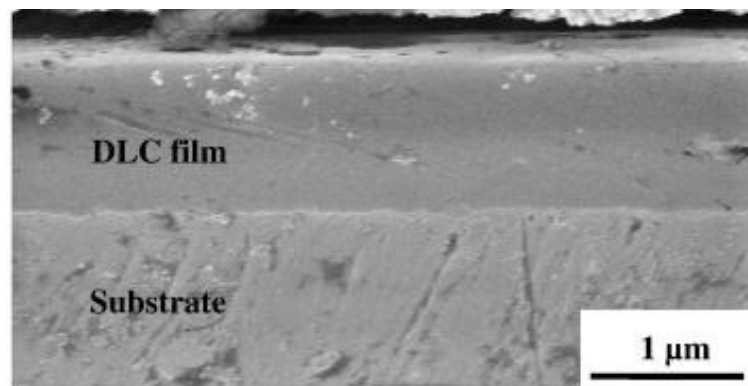
Методы нанесения АПП (PVD, CVD):

- термическое (DC) напыление;
- радиочастотное (RF) напыление;
- ионно лучевое напыление;
- электродуговое осаждение;
- импульсное лазерное осаждение;
- плазмо-химическое напыление CVD.

Основной недостаток всех методов – значительные внутренние напряжения, приводящие к отслаиванию покрытий.



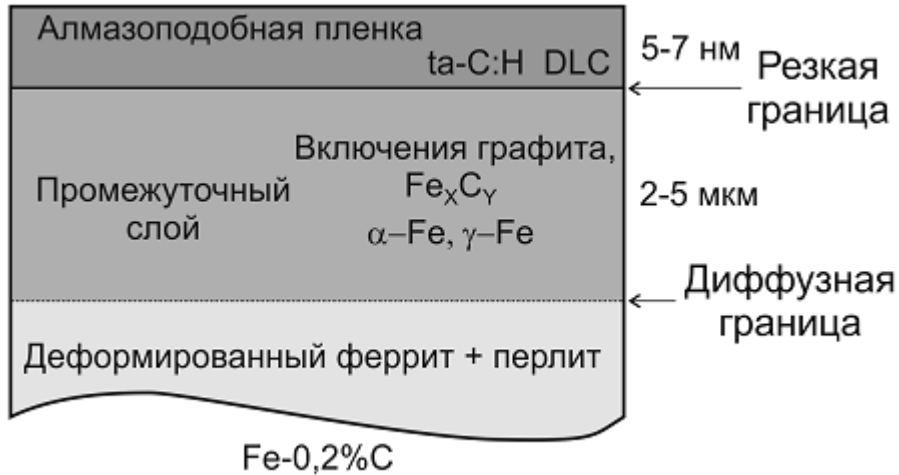
Ternary phase diagram of the C, H system [1]



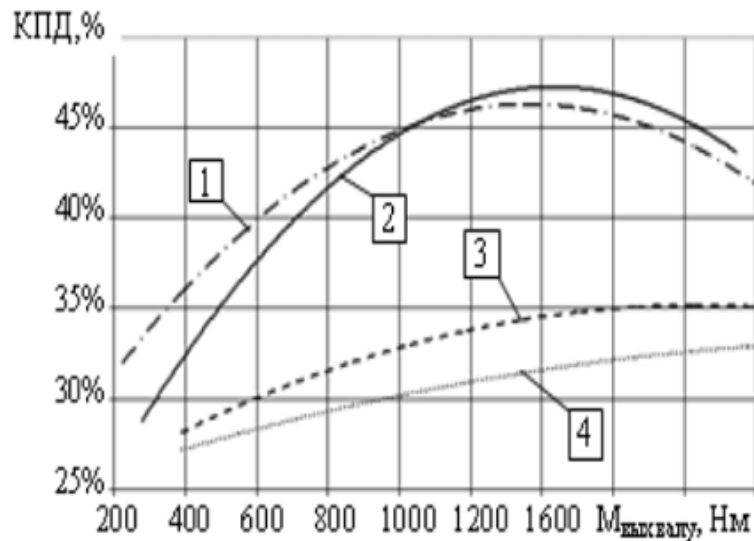
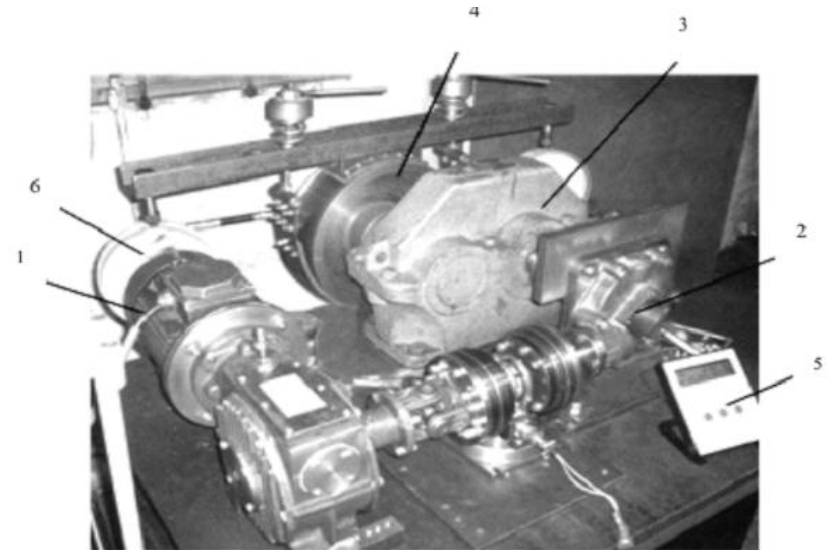
[1] J. Robertson, Mat. Sci. Eng. R. 37, 129 (2002)

Градиентные углерод-содержащие покрытия

Модель состава углеродного покрытия на поверхности стали, полученного методом ВЛС

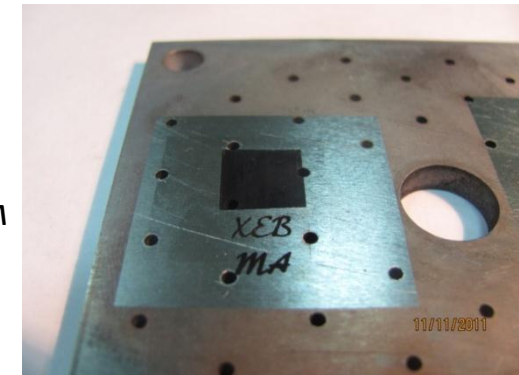


Испытательный стенд.

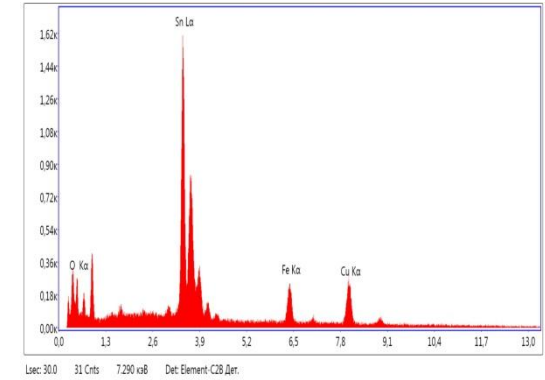
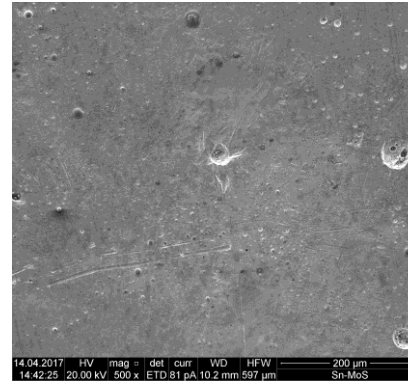
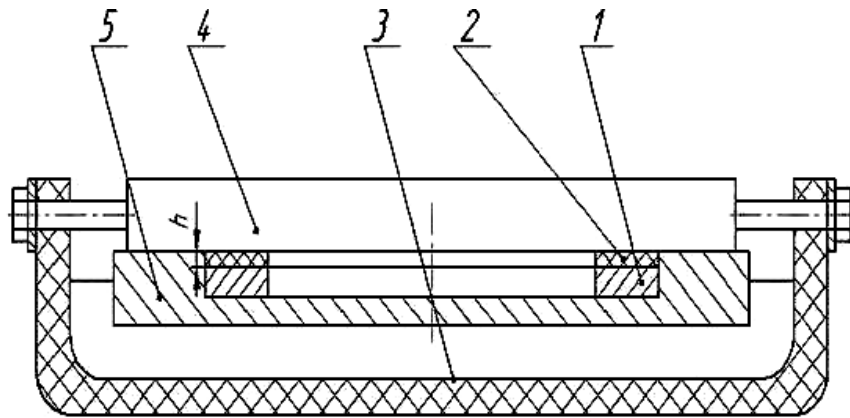


Результаты испытаний редуктора с различными опорами скольжения:

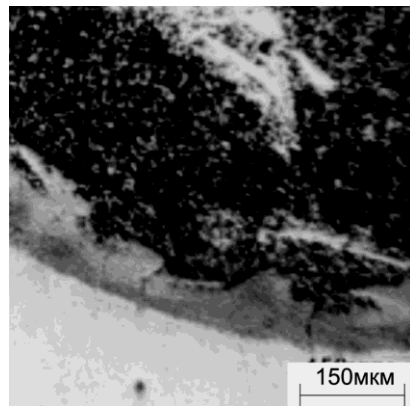
- 1 – коммерческие металфторопластовые опоры;
- 2 – стальная опора с углеродсодержащим покрытием (метод ВЛС);
- 3 – опоры из чугуна;
- 4 – стальные опоры



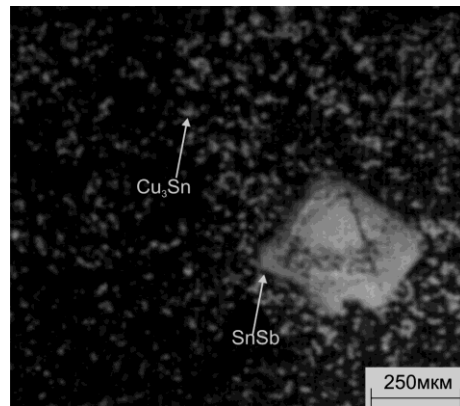
Поколение 2: Лазерная наплавка баббита Б83 и его модификация углеродными наноструктурами



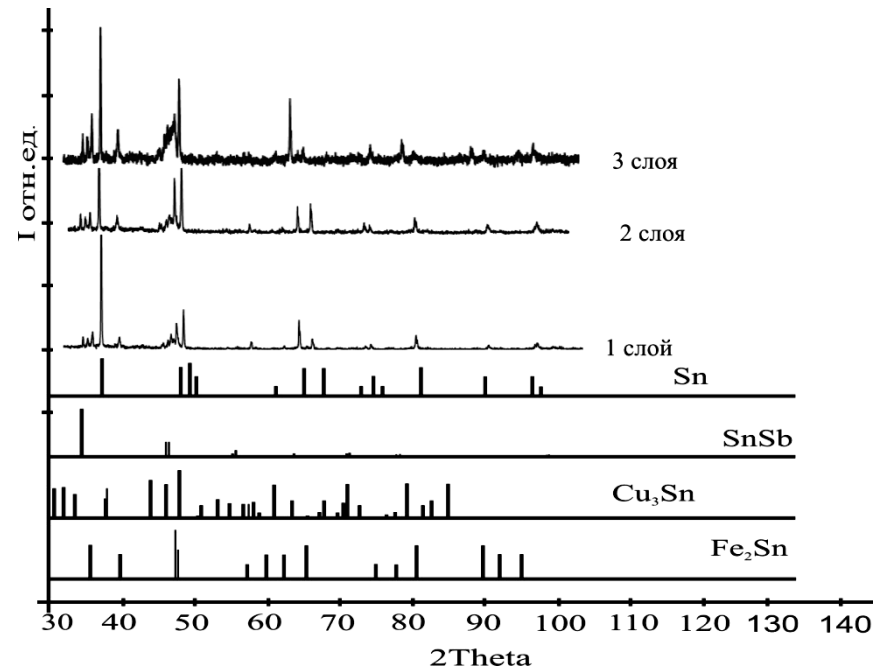
Приспособление для нанесения порошковой композиции
 1-основание подшипника скольжения, 2-нанесенная порошковая композиция, 3- основание, 4-выравнивающий нож, 5- матрица



а)



б)



СЭМ-изображение поверхности баббитового композиционного покрытия после лазерной наплавки. Увеличение 500х

Поколение 3: Лазерная наплавка композиционных материалов

Таблица 1 -Свойства структурных составляющих баббита Б83

Структурная составляющая	ρ , кг/м ³	Твердость интерметаллидов НВ, кгс/мм ²	Микротвердость	Температура кристаллизации, °С
α -фаза	7,25	-	22	242
β -фаза (SnSb)	6,96	54	95	273
γ -фаза (Cu ₃ Sn)	10,91	383	320	375

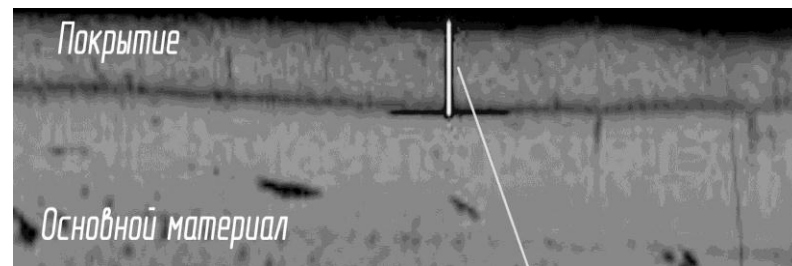
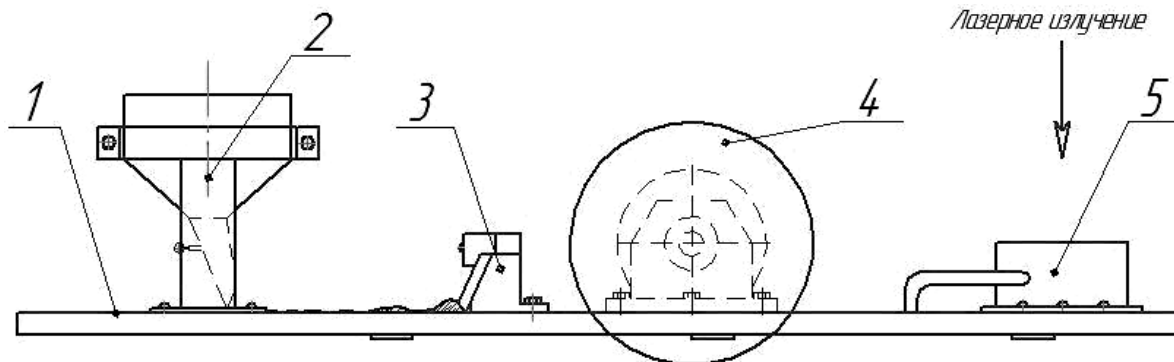


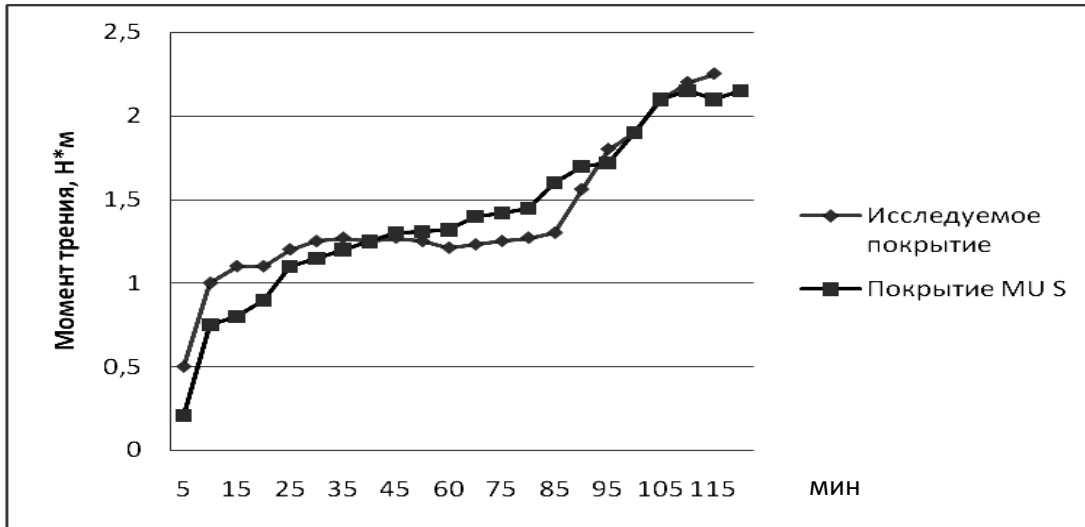
Таблица 2 - Химический и дисперсионный состав порошковых составов

№ смеси	Содержание элементов, вес. %			Фракционный состав по количеству частиц
	Б83	MOS ₂	Cu	
1	основа	1	5	40-70 мкм
2	основа	1	20	- // -
3	основа	1	30	- // -
4	основа	1	40	- // -

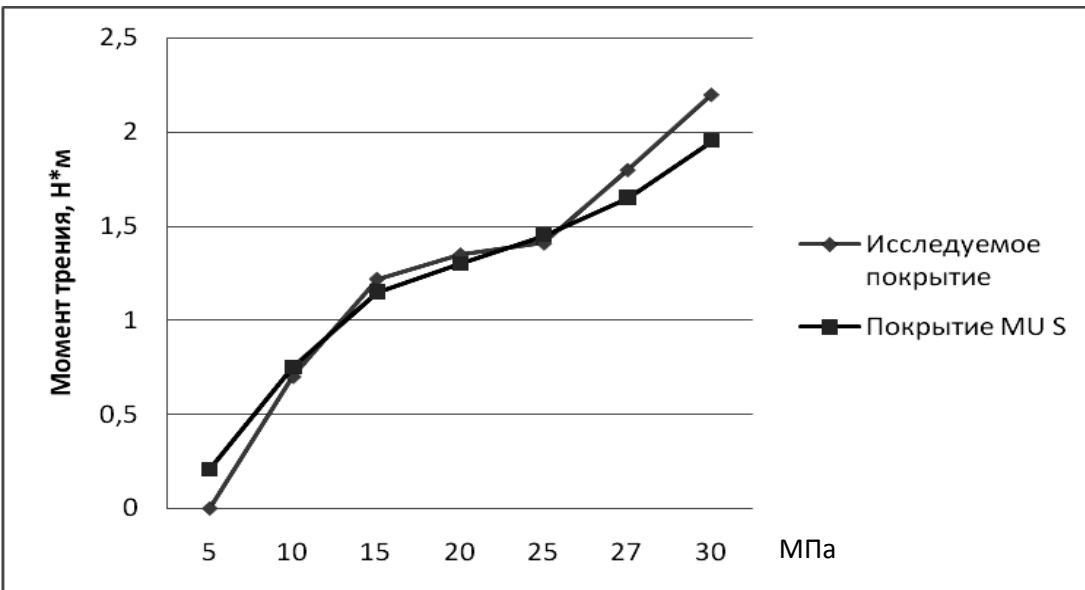
№ смеси	P, МПа	$f_{тр}$ (жидкостное трение)	T°С
1	54	0,15	110
2	73	0,18	155
3	75	0,22	160
4	66	0,31	121



Поколение 2: Лазерная наплавка баббита Б83 и его модификация углеродными наноструктурами



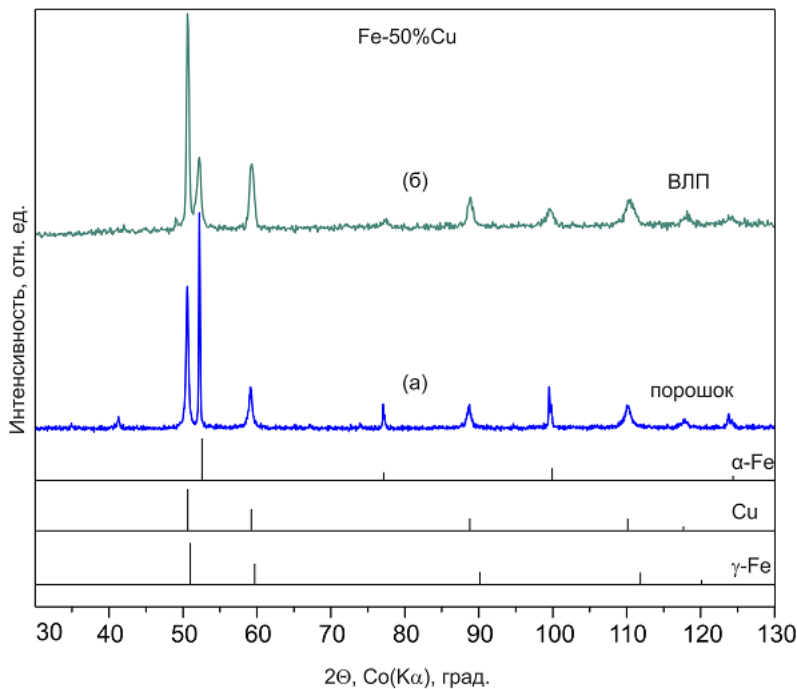
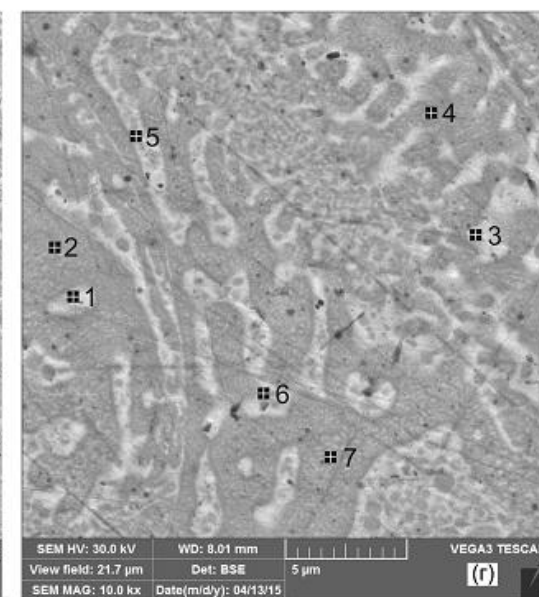
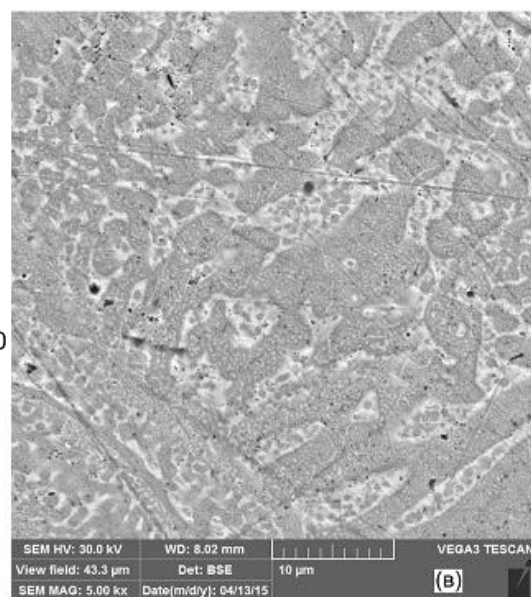
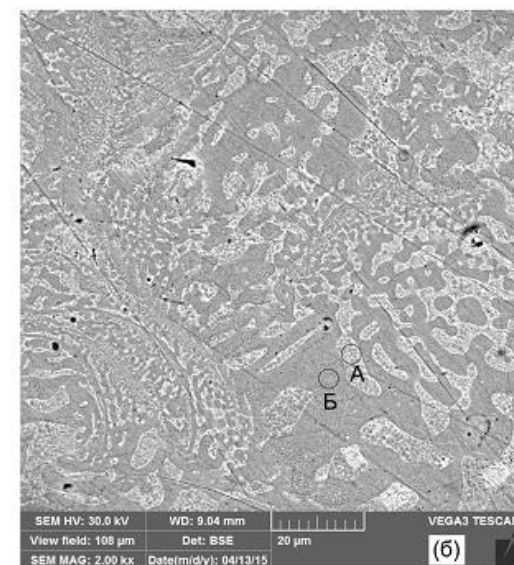
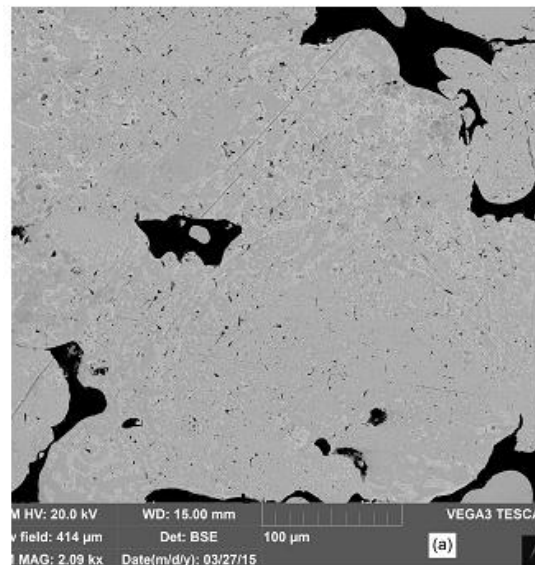
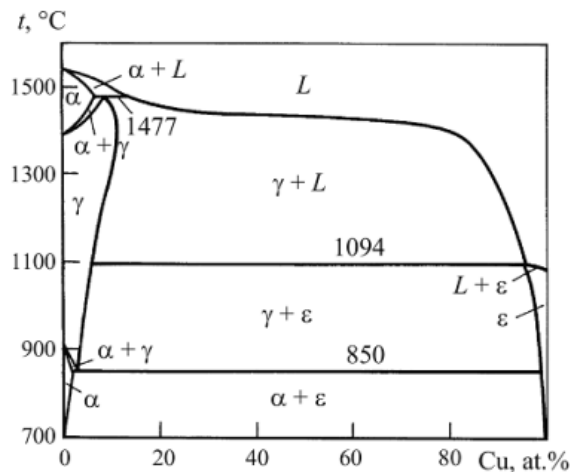
Изменение момента трения при сухом трении в зависимости от времени при нагрузке 15 МПа



Изменение момента трения при сухом трении в зависимости от величины контактного напряжения

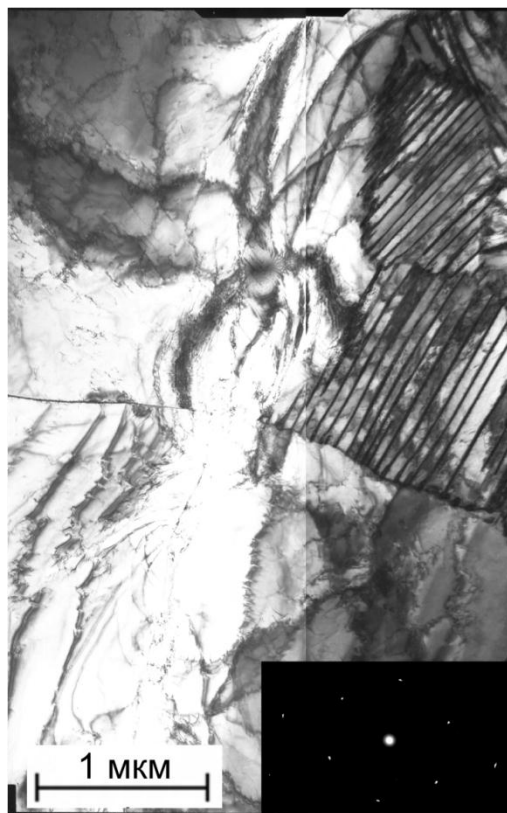
ПРИМЕРЫ ВЛС Fe-Cu, Fe-Cu-C

Неравновесная структура в системе Fe-50 мас.%Cu:
СЭМ, РСА

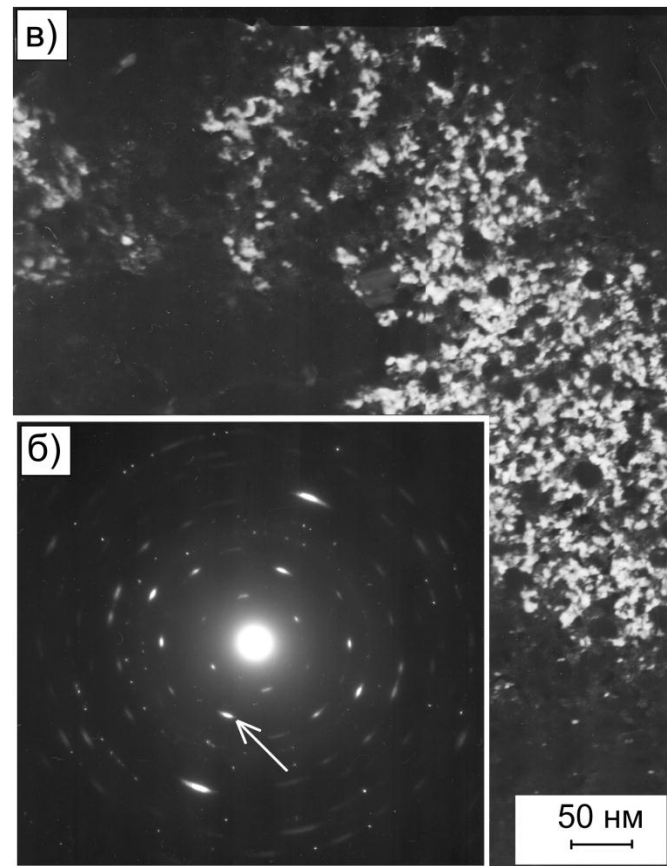
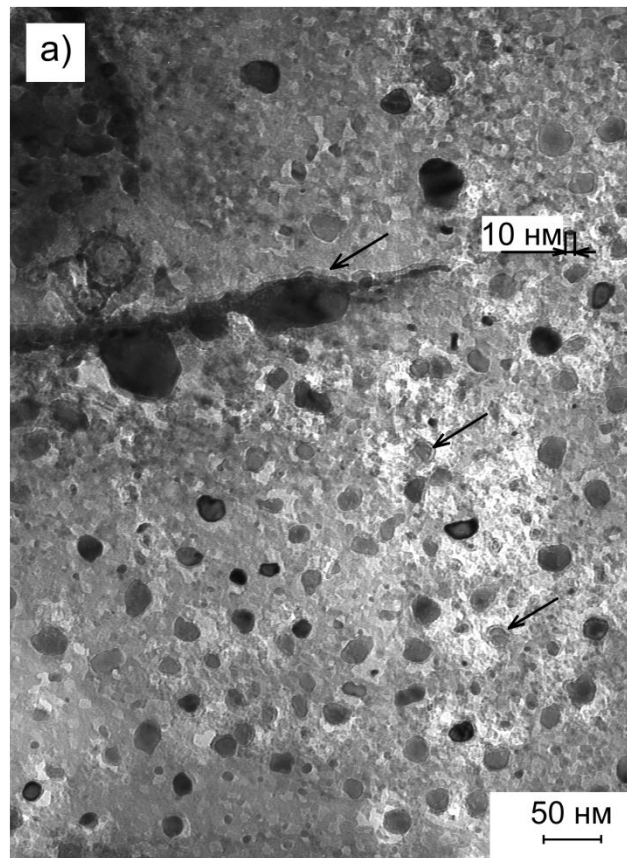


Область	Рис.	Fe	Cu	O
A ¹	4.76	35±4	64±4	1
B ¹	4.76	59±4	40±4	1

Диспергирование оксидов хрома в стальной матрице методом ВЛС: ПЭМ



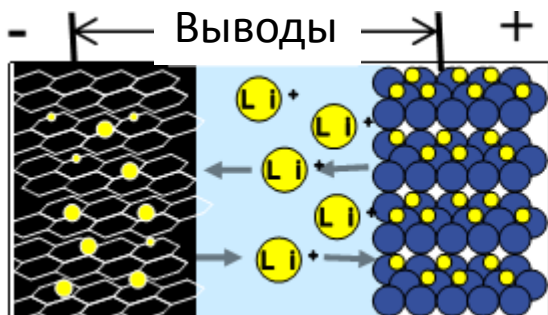
сталь 20



ПЭМ-изображение структуры участка в зоне нерастворенного Cr_2O_3 после лазерной обработки: а – светлопольное изображение структуры; б – электронограмма участка, содержащая рефлексы шпинели $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$; в – темнопольное изображение $(210) \text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$,

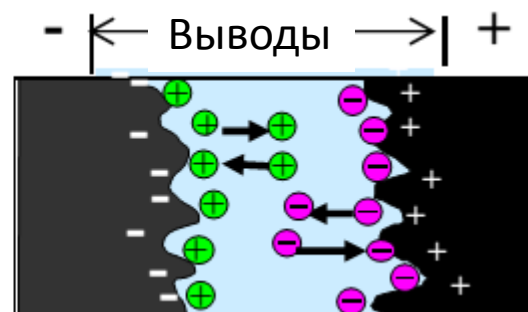
Основные современные типы накопителей энергии для применения в установках возобновляемой энергетики

ЛИА

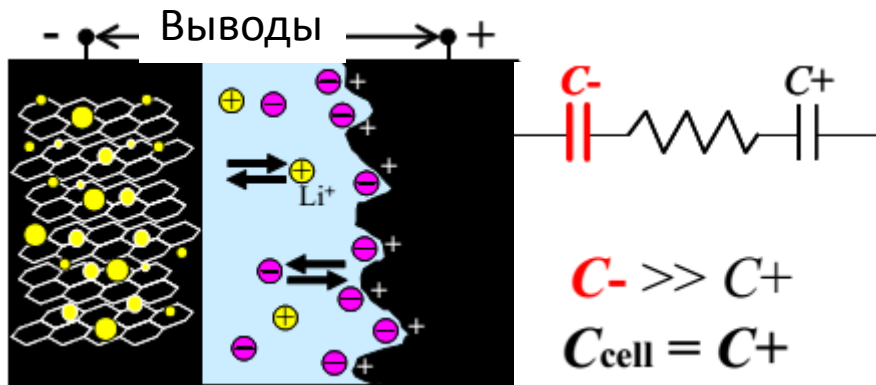


Графит электролит LiCoO_2

Суперконденсаторы с ДЭС



Активир. уголь электролит Активир. уголь

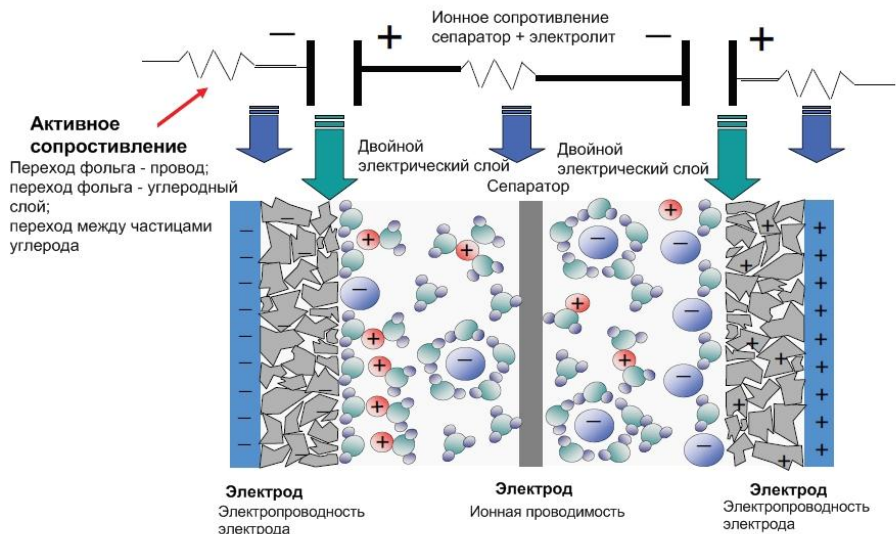


$$C^- \text{ --- } C^+$$

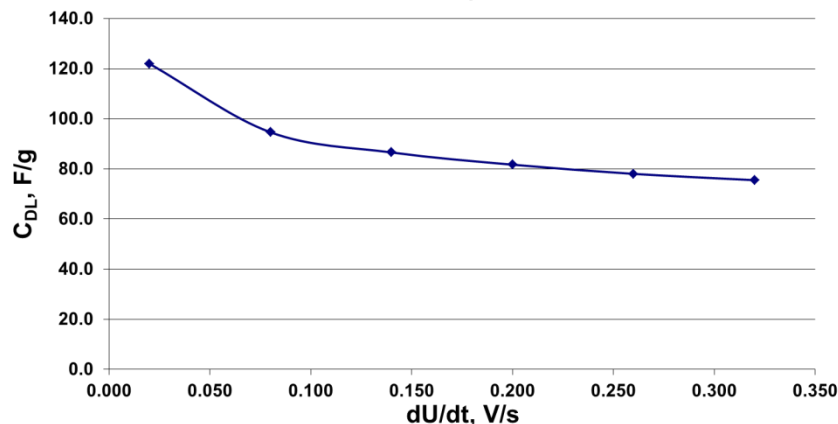
$$C^- = C^+ = C$$

$$C_{\text{cell}} = 1/2C$$

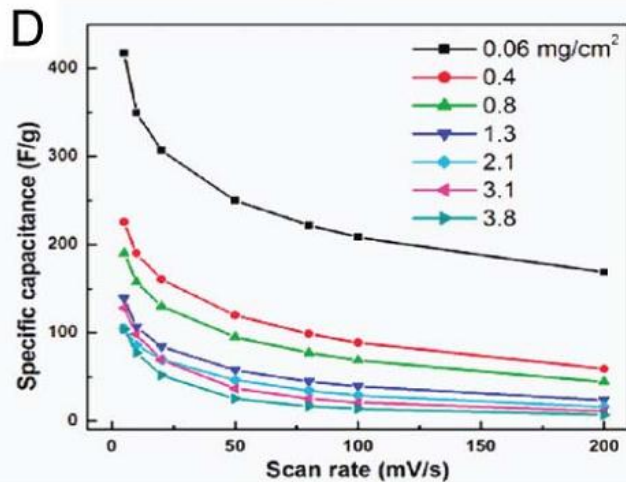
Постановка проблемы: материалы электродов



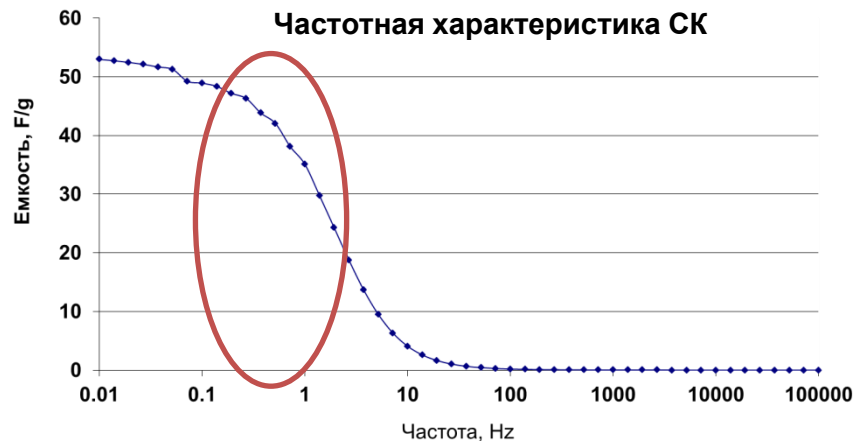
Емкость в зависимости от скорости изменения потенциала



Зависимость емкости от толщины электрода



Частотная характеристика СК



Танталовые конденсаторы

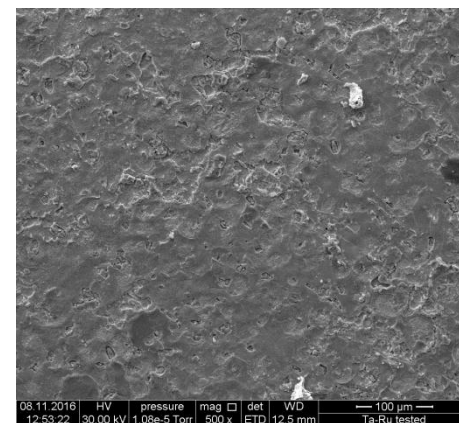
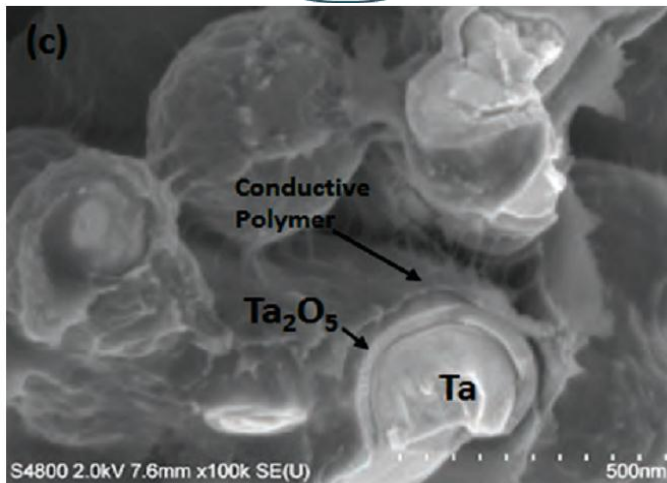
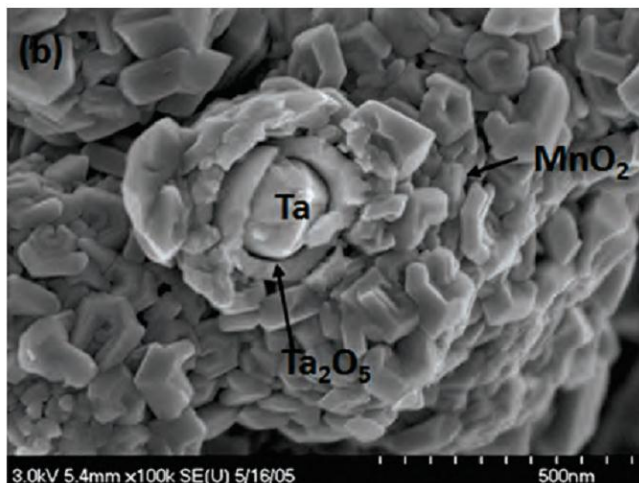
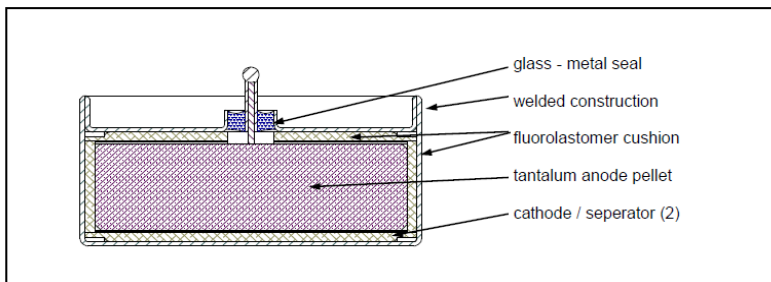
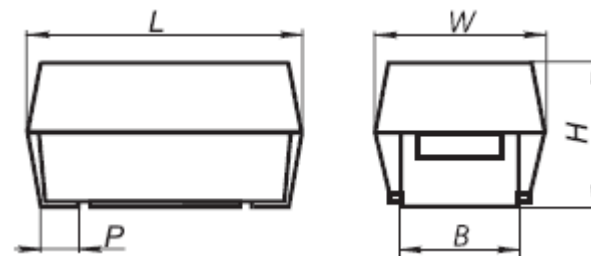
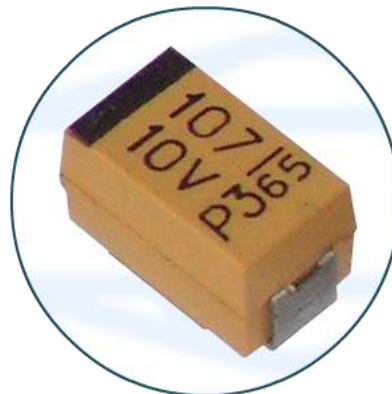
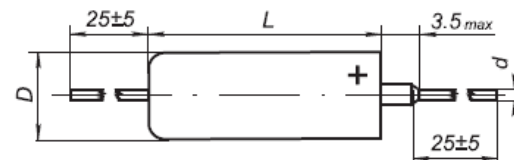
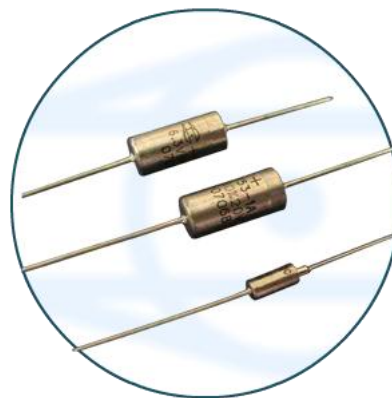
Танталовые конденсаторы:

По конструкции:

- в герметичном корпусе
- ЧИП – конденсаторы

По исполнению:

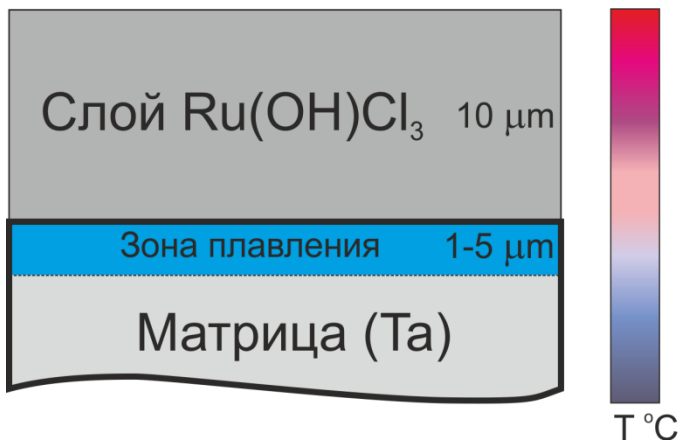
- оксидно- полупроводниковые
- с полимерным катодом
- с рутенированным катодом



08.11.2016 HV pressure mag det WD
12.53.22 30.00 kV 1.00e-5 Torr 500 x ETD 12.5 mm Ta-Ru tested

Параметры ВЛС RuO₂

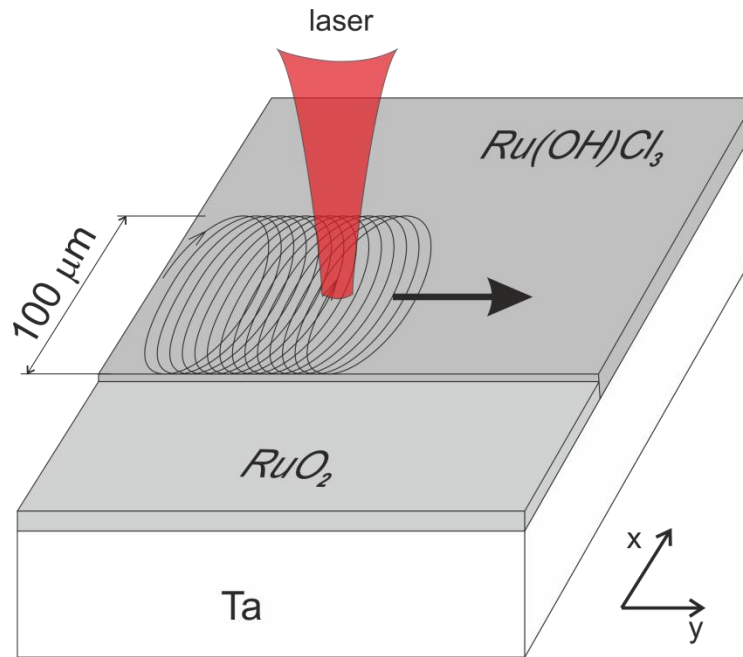
Схема осуществления процесса



Дехлорирование
окисление
T > 4000 °C

Плавление
танталовой матрицы
T > 3200 °C

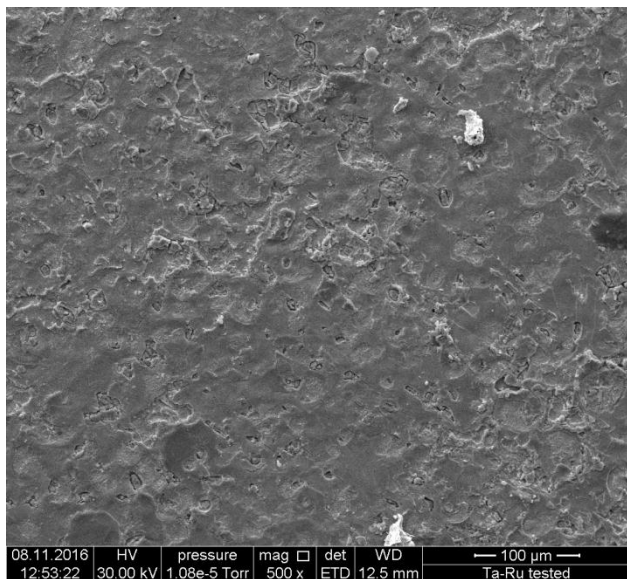
Схема сканирования



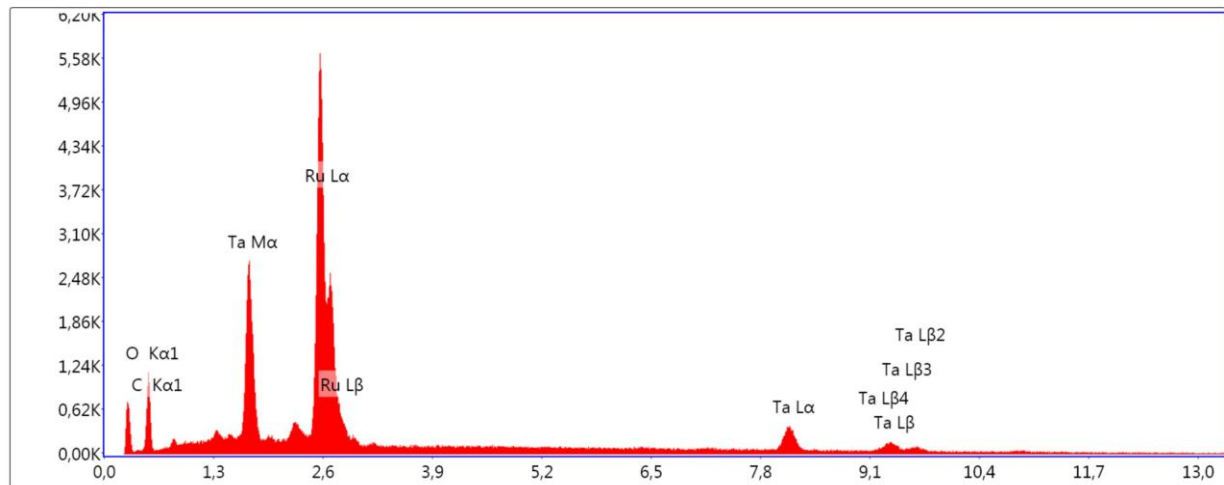
Параметры ВЛС

Parameters	Values examined
Мощность (Вт)	56, 40, 20
Скорость сканирования (мм с ⁻¹)	300, 600, 900 , 1200, 1500
Скорость перемещения луча (мм с ⁻¹)	10, 20, 40, 100 , 200
Частота импульсов (кГц)	20 , 40, 60, 80, 100

СЭМ



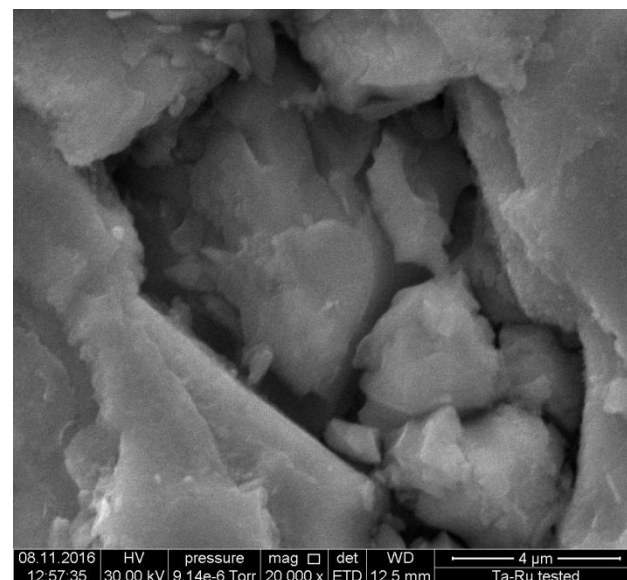
Элементный состав EDAX



Lsec: 30.0 0 Cnts 0.000 кэВ Det: Octane Prime Дет.

Элементный состав, ат.%

Элемент	Атомный %	Полн. инт.	% ошибок
O K	65.68	180.27	11.33
RuL	24.23	1676.60	2.68
TaL	3.61	175.01	10.59



Перспективы развития аддитивных технологий

Разработка комбинированной двухлучевой машины позволит расширить область применения метода СЛП для аддитивного производства 3D изделий из порошков:

- Медь, медные сплавы
- Композиционные материалы с металлической матрицей
- Жаропрочные и жаростойкие сплавы
- Сплавы с большой разницей в температуре плавления компонентов: Ta-Cr, и т.д.

Возможности сотрудничества с промышленными предприятиями

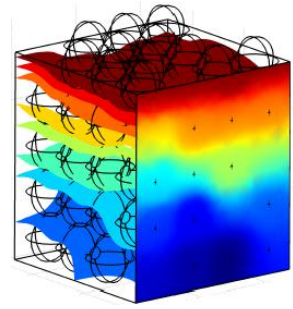
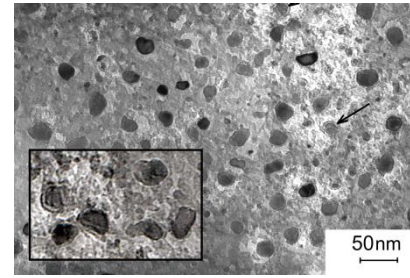
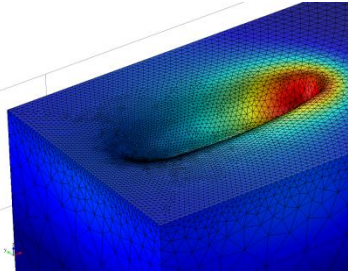
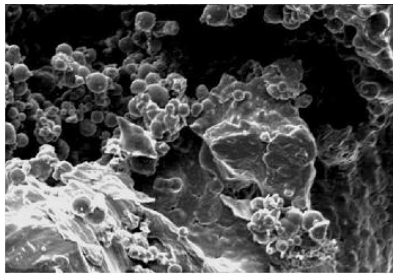
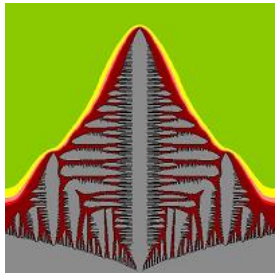
- **Внедрение готовых технологий (функциональные покрытия, сверхтвердые материалы, антифрикционные материалы, сверхтвердые материалы с сверхнизким коэффициентом трения, антикоррозионные покрытия, жаропрочные и керамические покрытия)**
- **Проведение НИОКР в областях аддитивных технологий, функциональных покрытий, новых материалов)**
- **Экспертиза проектов и технологий в сфере машиностроения, материаловедения на предмет выявления причин несоответствия требованиям качества продукции.**

Пример экономического эффекта: антифрикционные материалы

- Существующая композиционный материал (ФРГ). технология – бронзополимерный
- Замещается антифрикционным композиционным материалом нашей разработки. Инвестиции в проект около 10 млн.руб., срок освоения 3 месяца, срок окупаемости около 2,5 лет.

Пример экономического эффекта: электротехническая продукция

**Производство электронных лент
суперконденсаторов на основе
активированного угля или диоксида
рутения. Инвестиции около 500 тыс.долл.,
срок окупаемости около 3 лет.**



Спасибо за внимание!

***Финансовая поддержка в рамках проектов РФФИ (3 проекта по АТ),
Минобрнауки (1 проект) и Роскосмоса (КЭ «Перитектика» и «Кинетика»)***