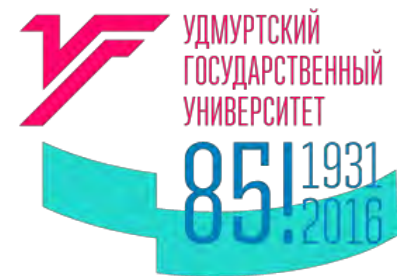


ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

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,

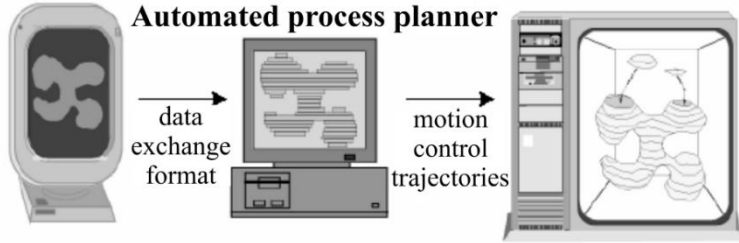
Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере

Методы селективного лазерного спекания и плавления

CAD system

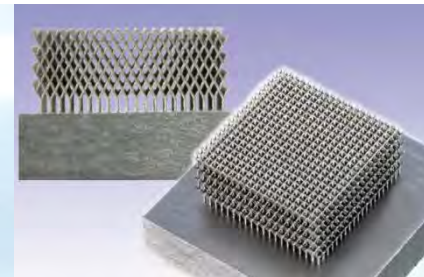
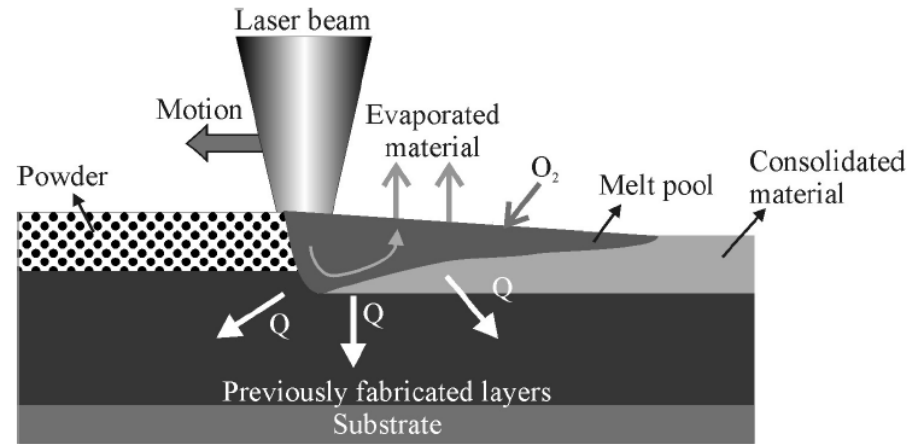
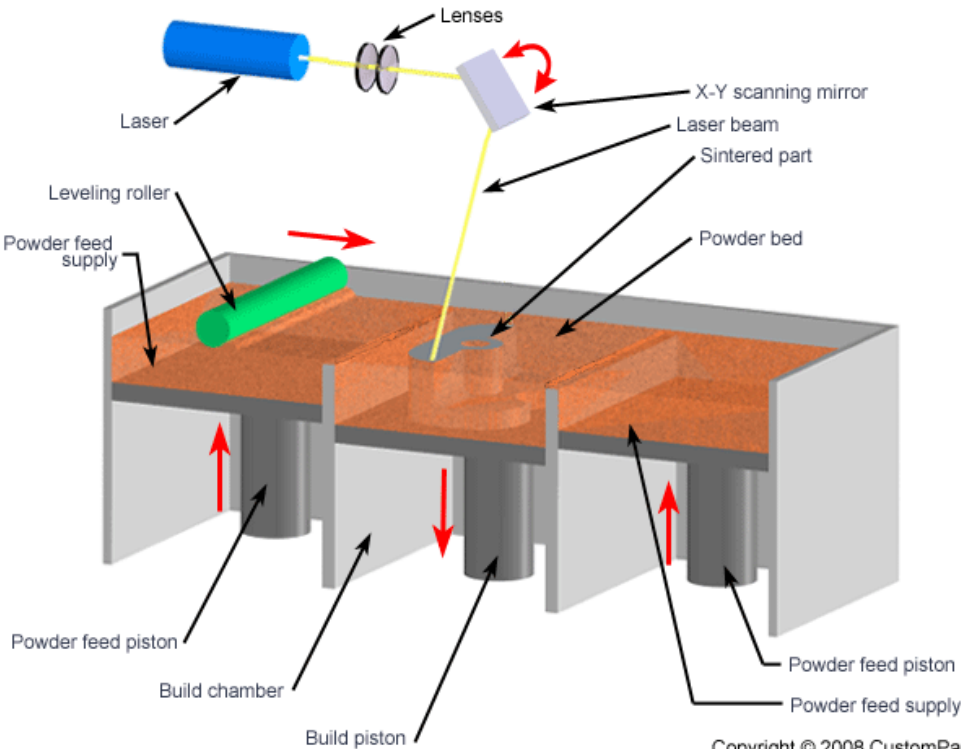
Automated fabrication machine

Automated process planner



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

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

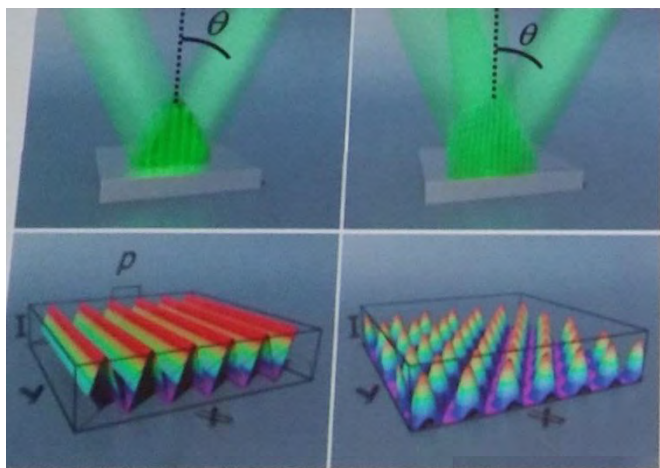
K – коэффициент теплопроводности

τ – длительность импульса

ρ – плотность

C_p – удельная теплоемкость

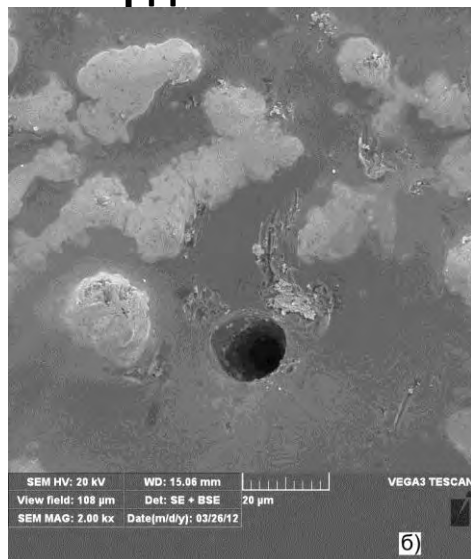
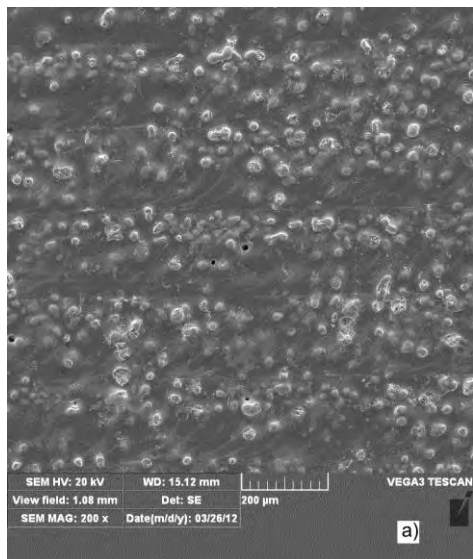
Комбинированная двухлучевая лазерная установка (непрерывный – короткоимпульсный лазеры)



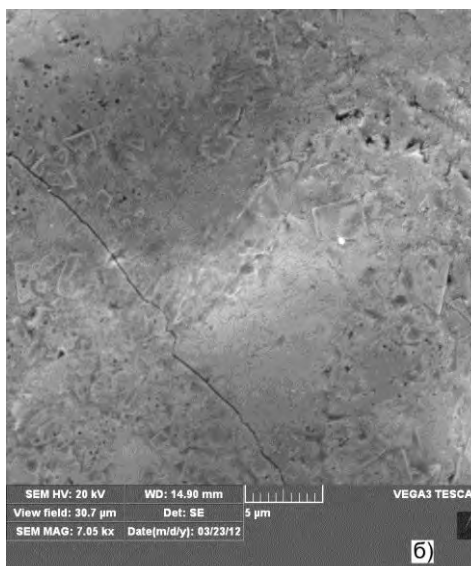
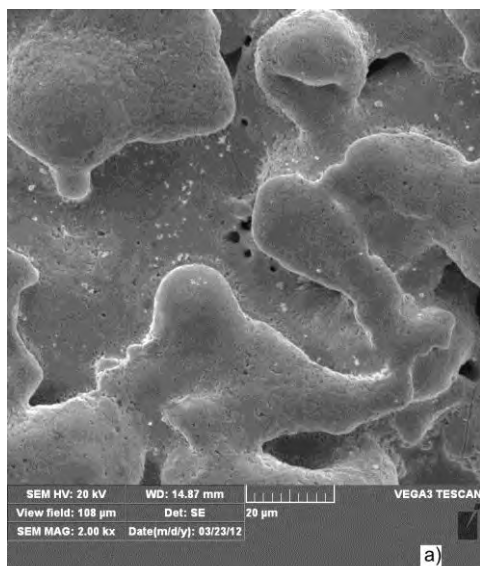
T1 – температура плавления метал. матрицы
T2 – температура плавления тугоплавких соединений

Градиентные функциональные покрытия на основе композиционных материалов с металлической матрицей

Многослойные твердосплавные покрытия на основе карбида вольфрама

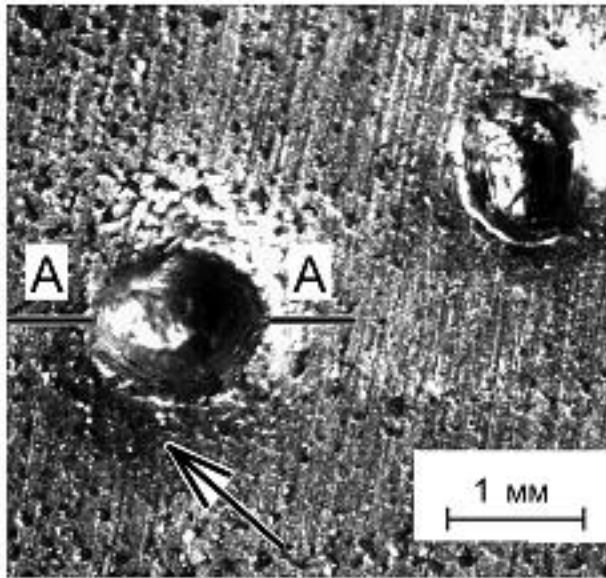


СЭМ-изображение поверхности после нанесения первого слоя твердосплавного покрытия: а – обзорное изображение во вторичных электронах; б – совмещенное изображение во вторичных и обратно рассеянных электронах участка поверхности вблизи изолированной цилиндрической поры

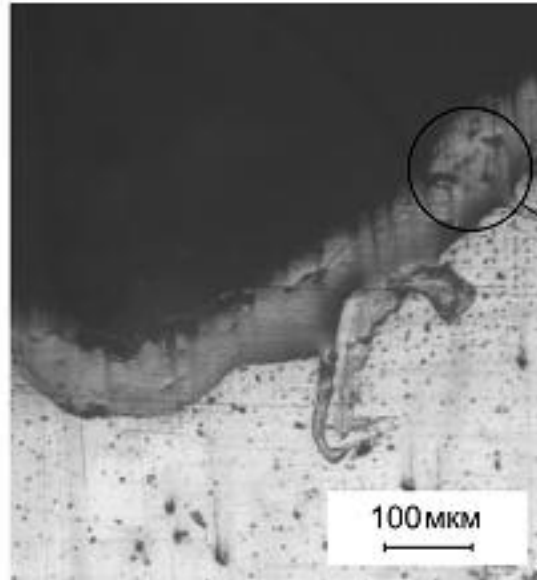


СЭМ-изображение поверхности после нанесения пятого слоя твердосплавного покрытия: а – обзорное изображение во вторичных электронах x2000; б – увеличенный участок вблизи микротрещины x7000

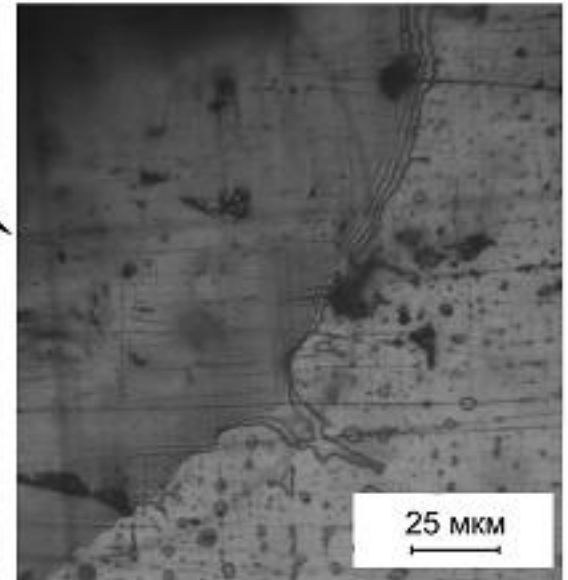
Многослойные твердосплавные покрытия на основе карбида вольфрама



(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



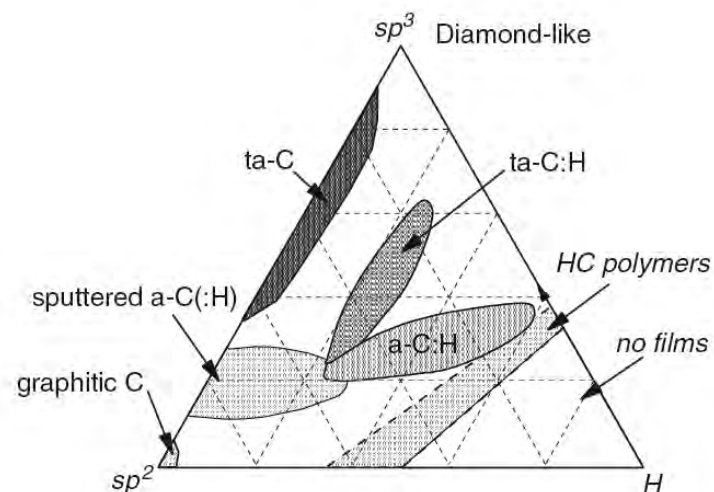
Градиентные функциональные покрытия на основе композиционных материалов с металлической матрицей

Градиентные углерод-содержащие покрытия

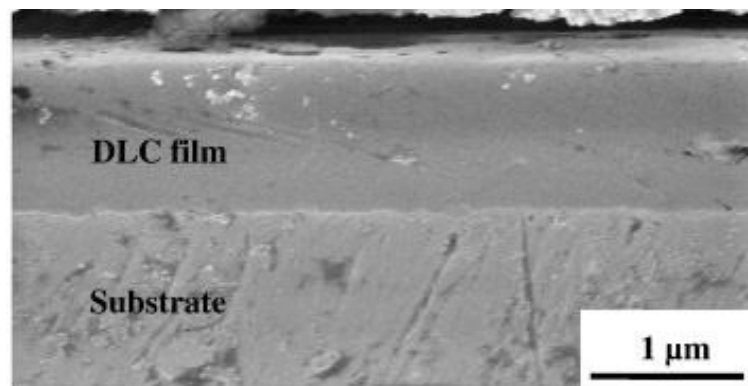
Методы нанесения АПП (PVD, CVD):

- 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.



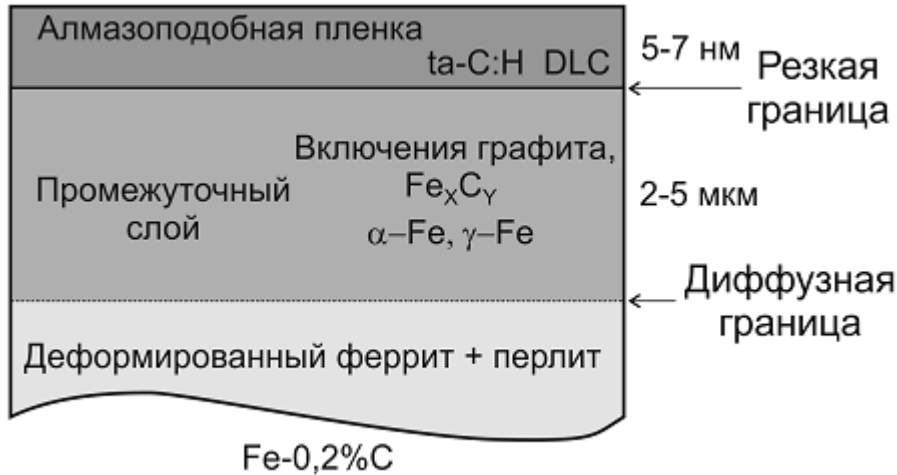
Ternary phase diagram of the C, H system [1]



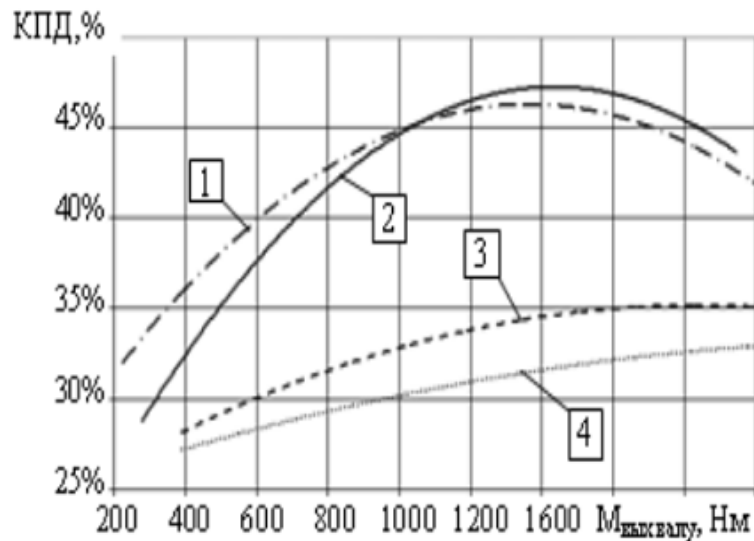
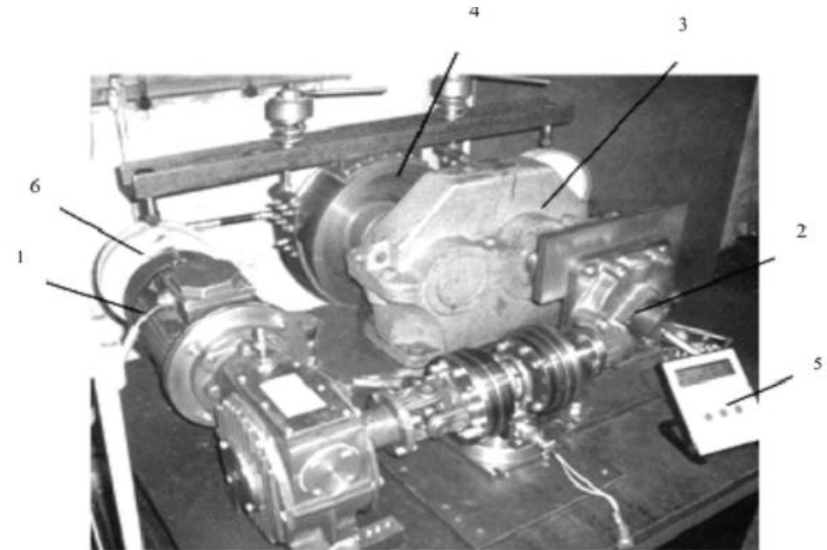
[1] J. Robertson, Mat. Sci. Eng. R. 37, 129 (2002)

Градиентные углерод-содержащие покрытия

Модель состава углеродного покрытия на поверхности стали, полученного методом ВЛС

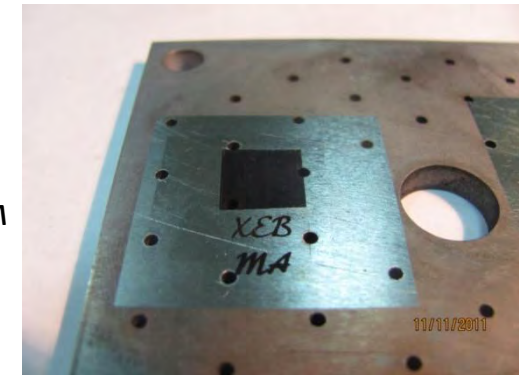


Испытательный стенд.

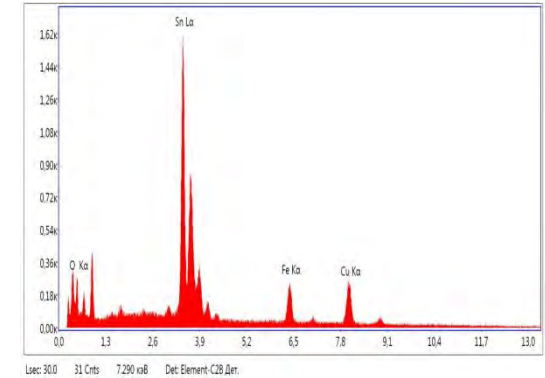
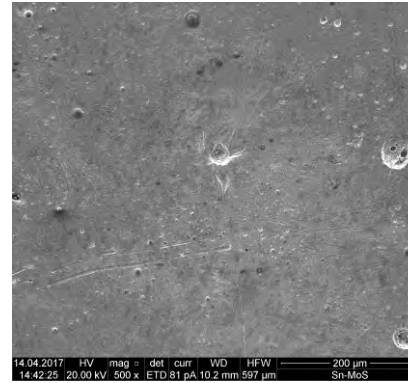
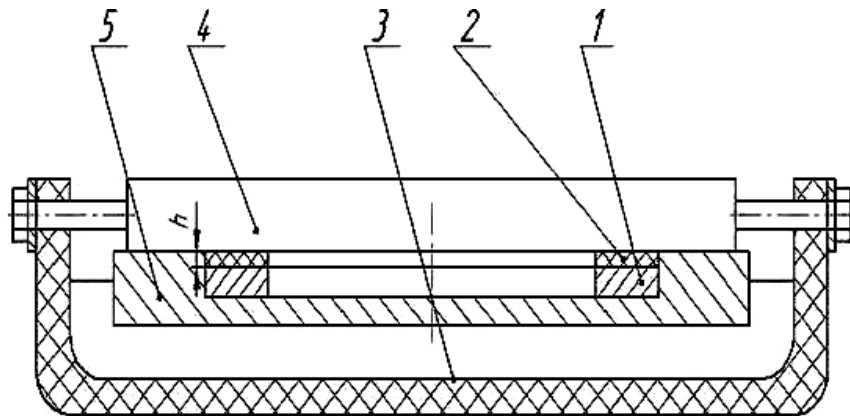


Результаты испытаний редуктора с различными опорами скольжения:

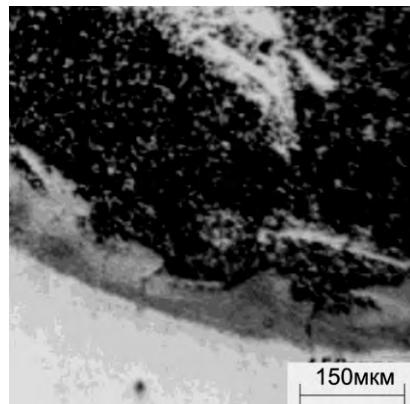
- 1 – коммерческие металфторопластовые опоры;
- 2 – стальная опора с углеродсодержащим покрытием (метод ВЛС);
- 3 – опоры из чугуна;
- 4 – стальные опоры



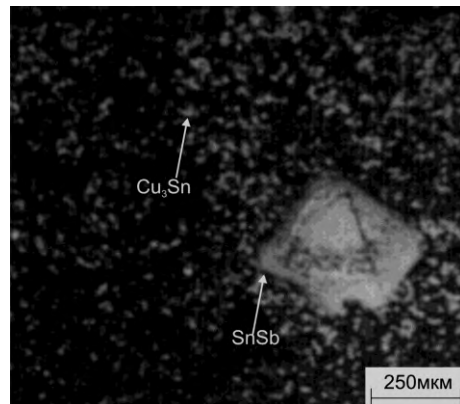
Поколение 2: Лазерная наплавка баббита Б83 и его модификация углеродными наноструктурами



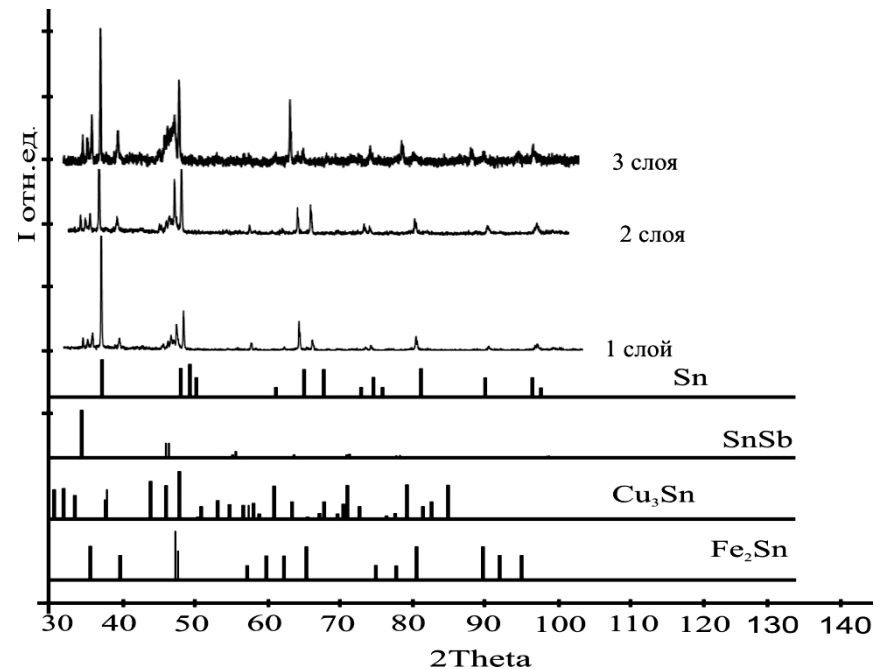
Приспособление для нанесения порошковой композиции
 1-основание подшипника скольжения, 2-нанесенная порошковая композиция, 3- основание, 4-выравнивающий нож, 5- матрица



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

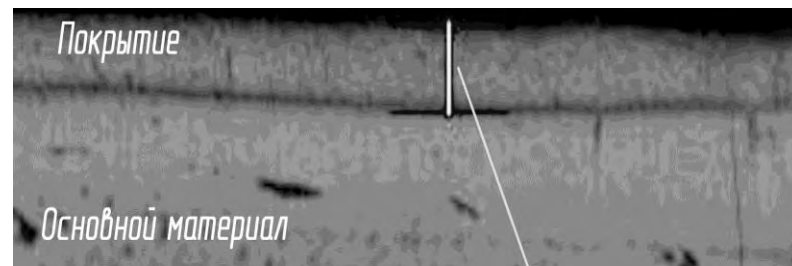
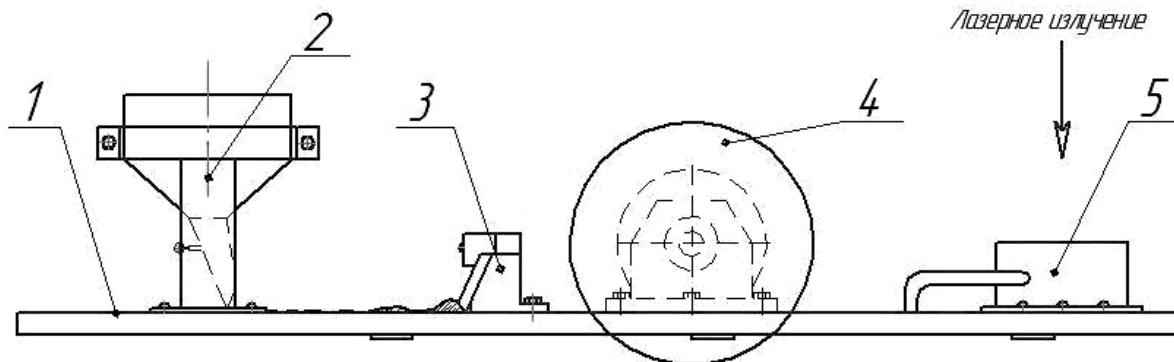


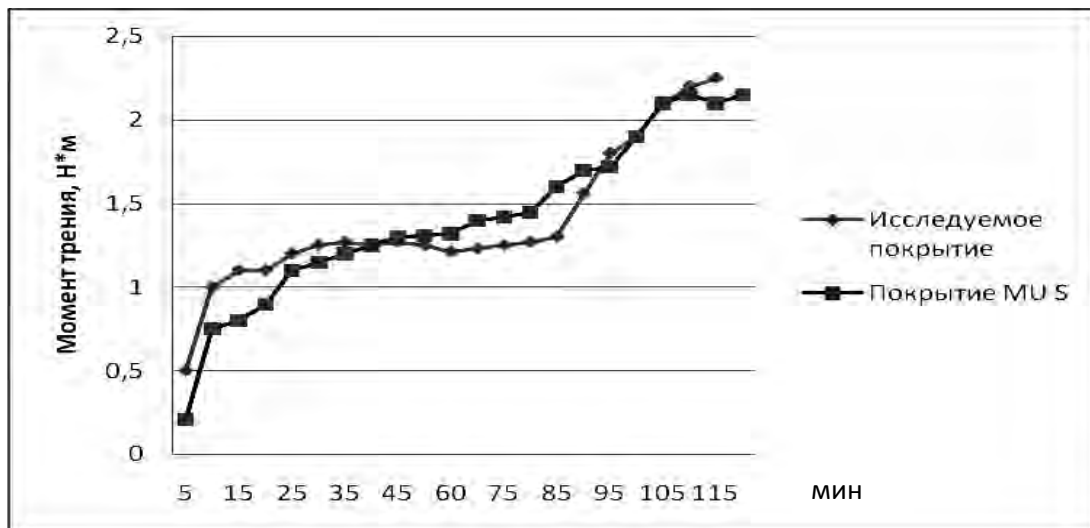
Таблица 2 - Химический и дисперсионный состав порошковых составов

№ 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	- // -

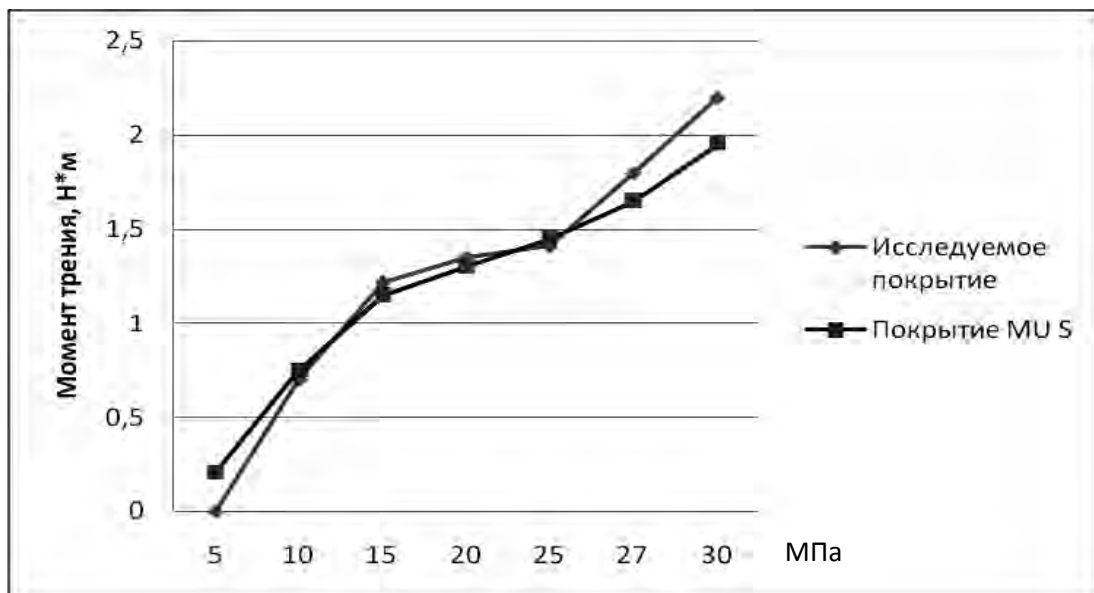
№ смеси	P, МПа	$f_{тр}$ (жидкостное трение)	T°С
1	54	0,15	110
2	73	0,18	155
3	75	0,22	160
4	66	0,31	121



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



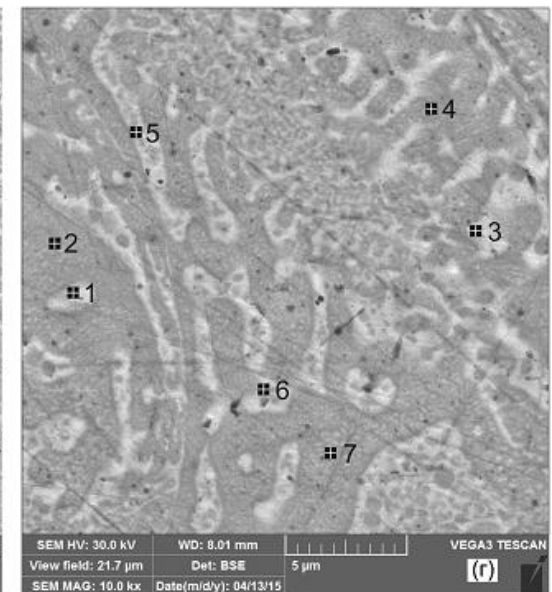
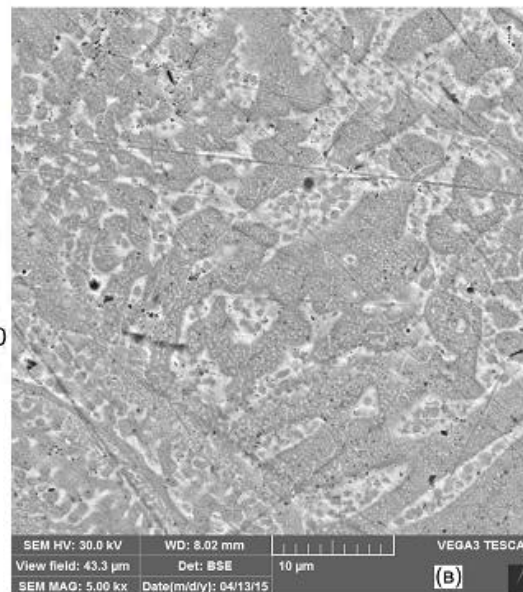
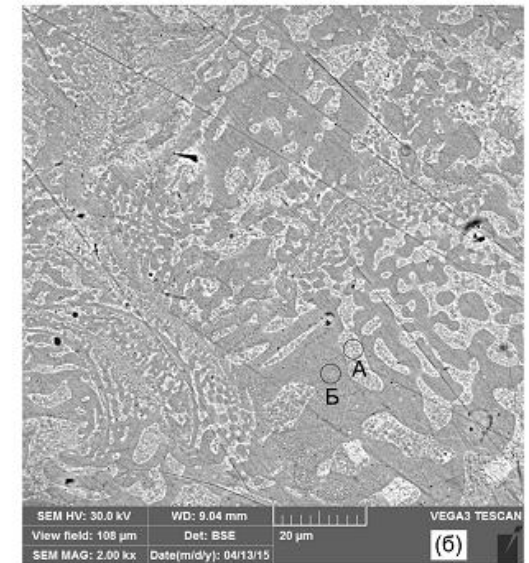
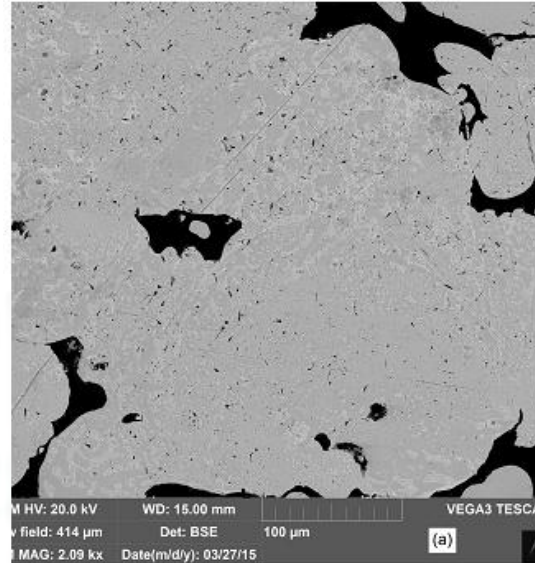
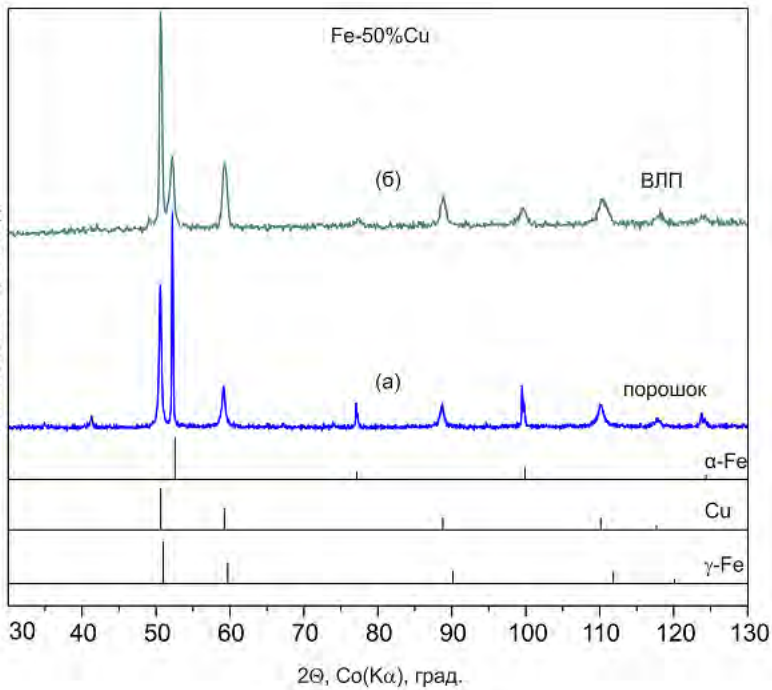
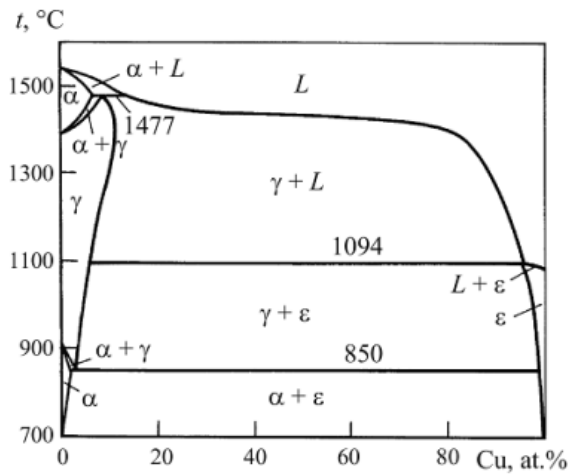
Изменение момента трения при сухом трении в зависимости от времени при нагрузке 15 МПа



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

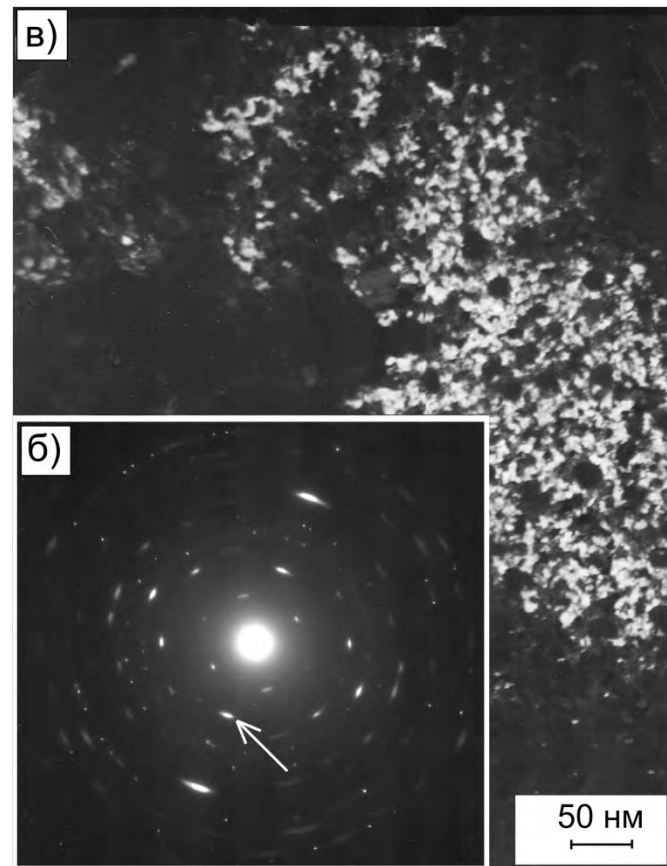
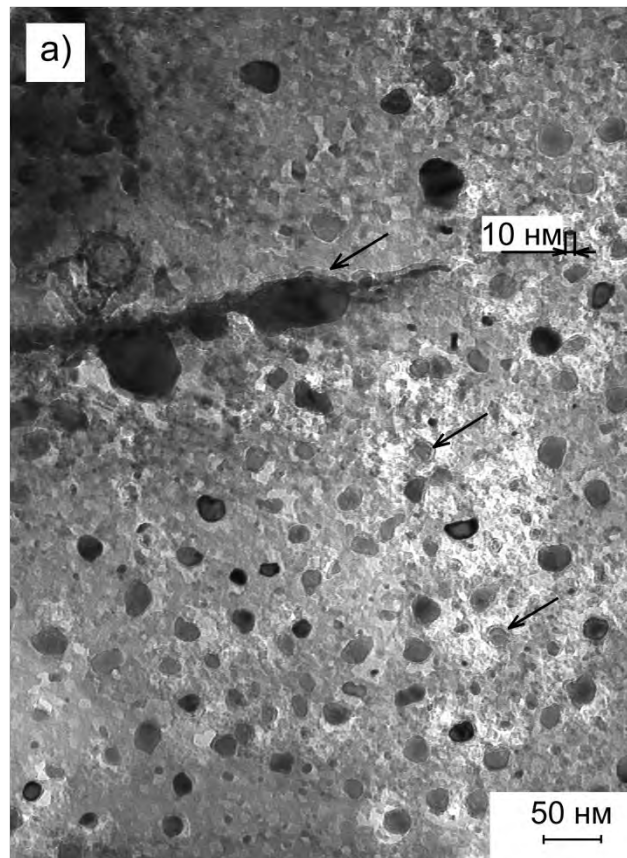
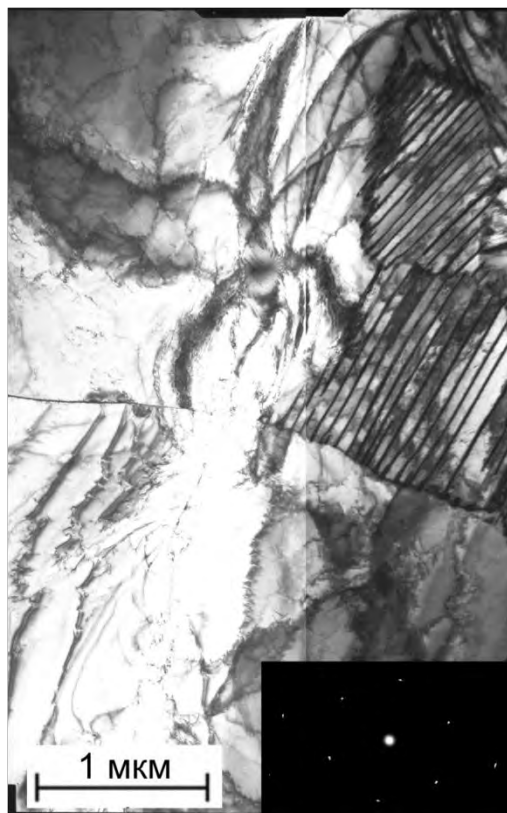
ПРИМЕРЫ ВЛС Fe-Cu, Fe-Cu-C

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

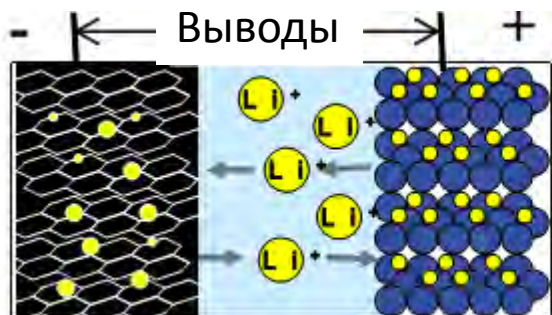


сталь 20

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 $(210) \text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$,

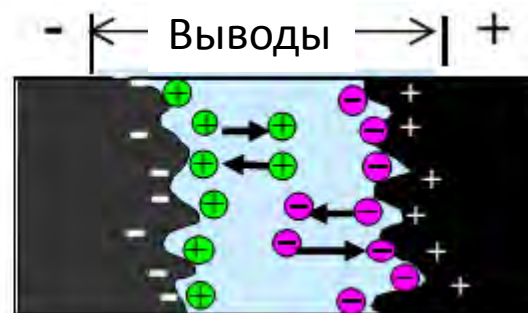
Основные современные типы накопителей энергии для применения в установках возобновляемой энергетики

ЛИА

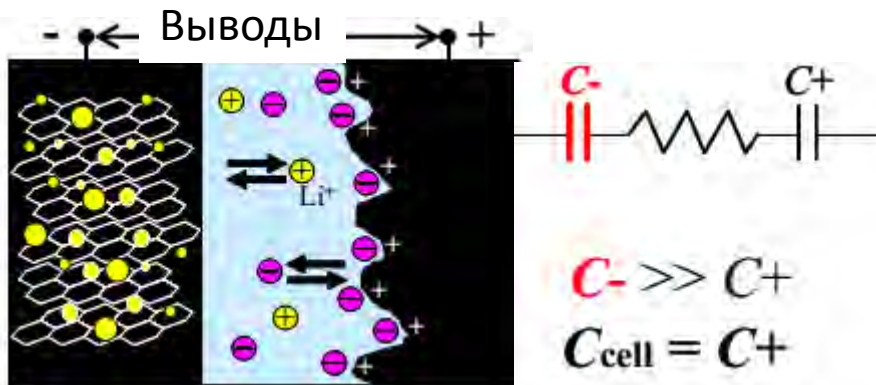


Графит электролит LiCoO_2

Суперконденсаторы с ДЭС

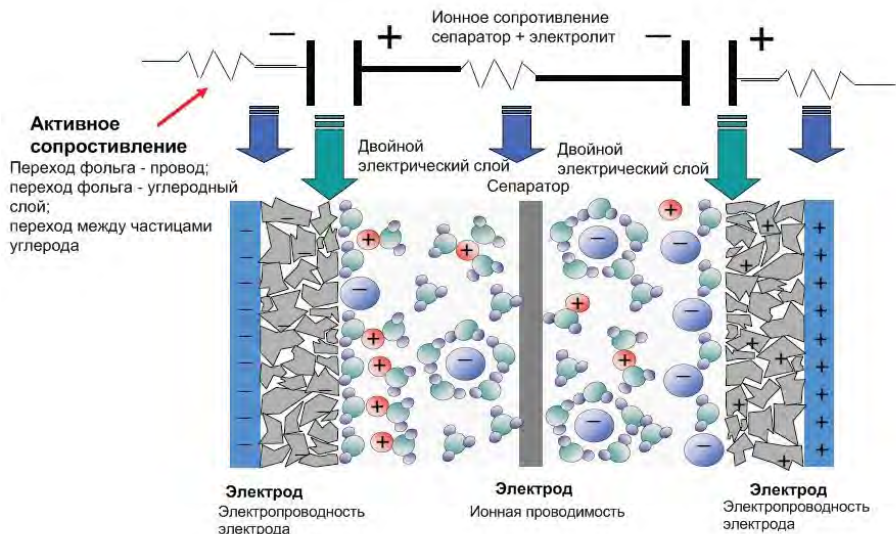


Активир. уголь электролит Активир. уголь

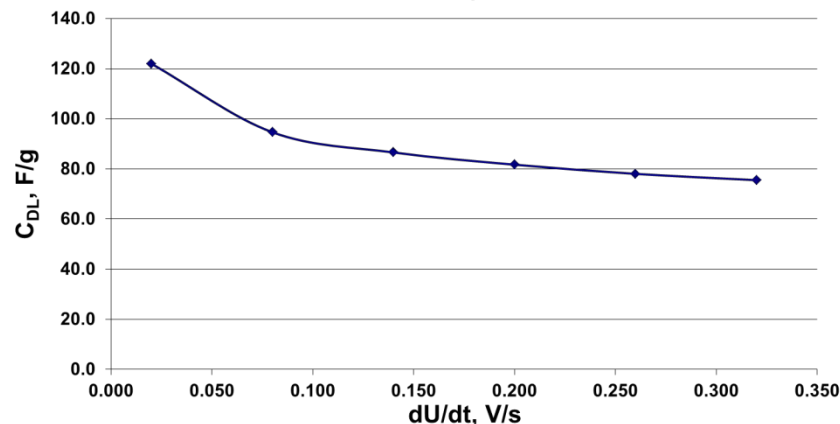


$$\begin{array}{c}
 C^- \quad C^+ \\
 \text{---} \text{||} \text{---} \text{---} \text{---} \text{||} \text{---} \\
 C^- = C^+ = C \\
 C_{\text{cell}} = 1/2C
 \end{array}$$

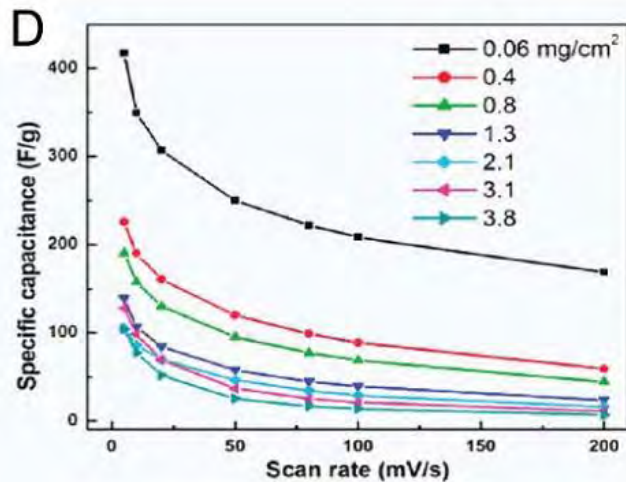
Постановка проблемы: материалы электродов



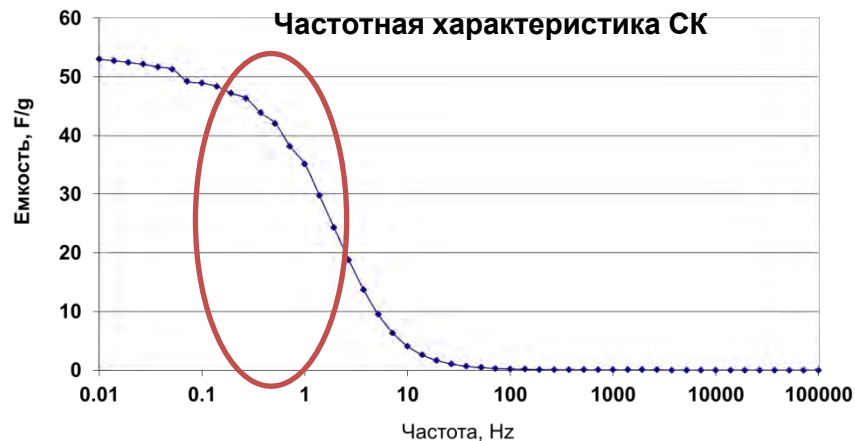
Емкость в зависимости от скорости изменения потенциала



Зависимость емкости от толщины электрода



Частотная характеристика СК



Танталовые конденсаторы

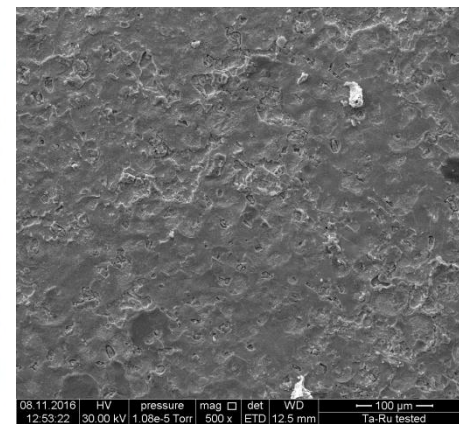
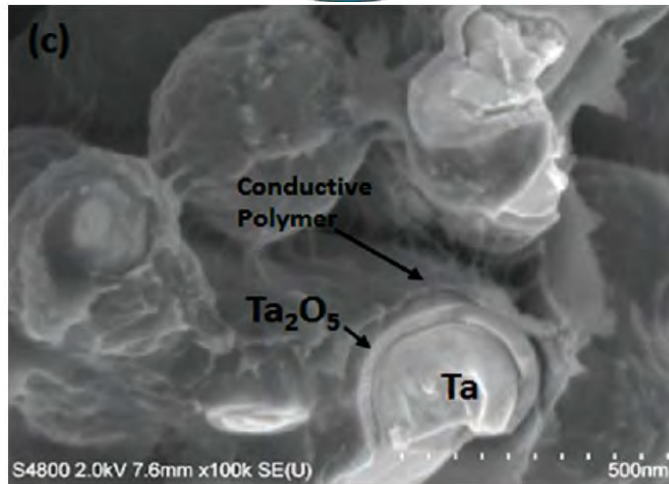
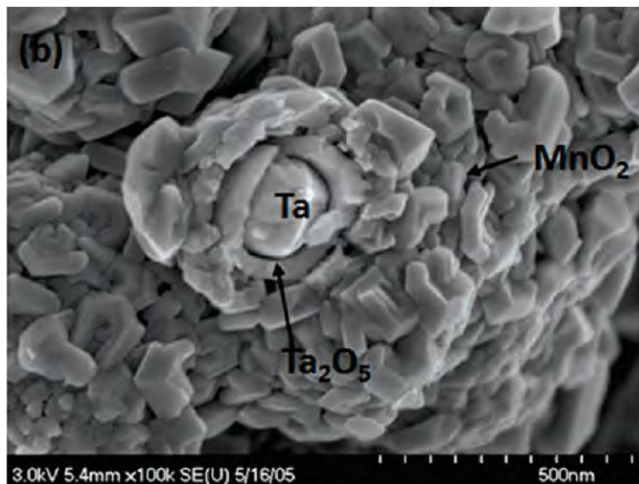
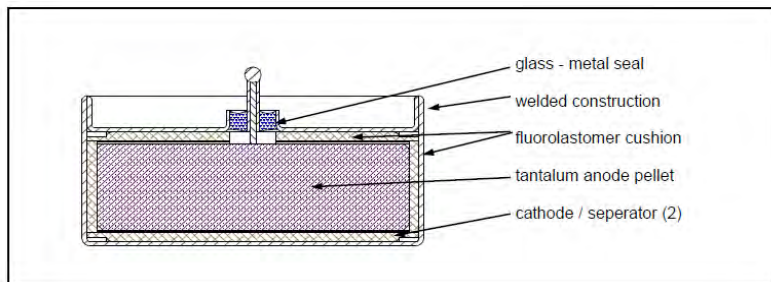
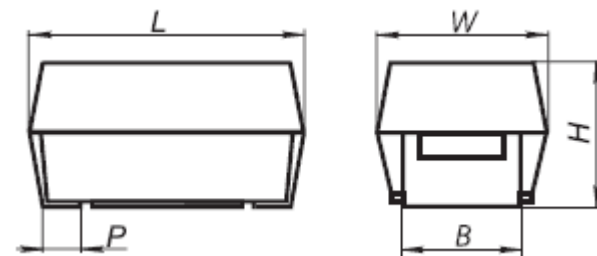
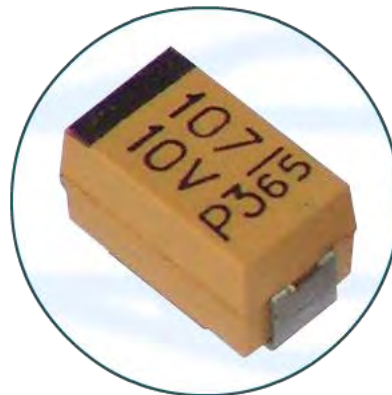
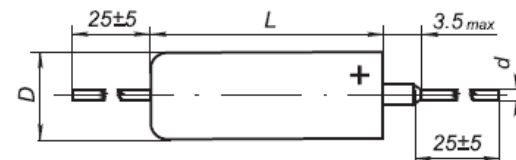
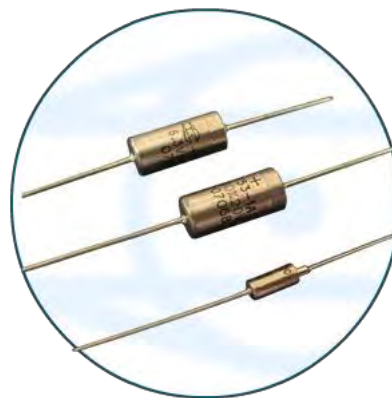
Танталовые конденсаторы:

По конструкции:

- в герметичном корпусе
- ЧИП – конденсаторы

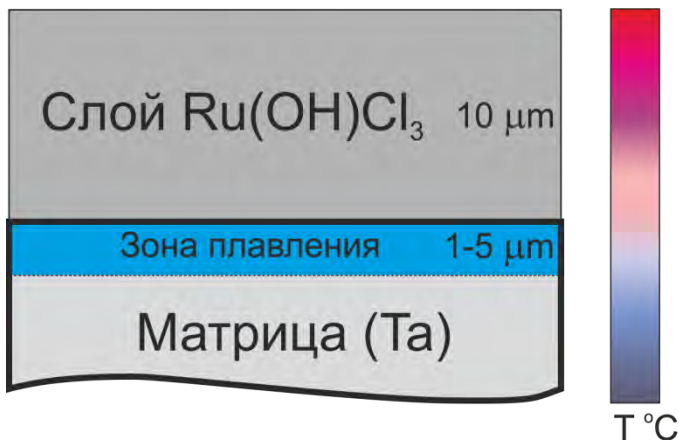
По исполнению:

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



Параметры ВЛС RuO₂

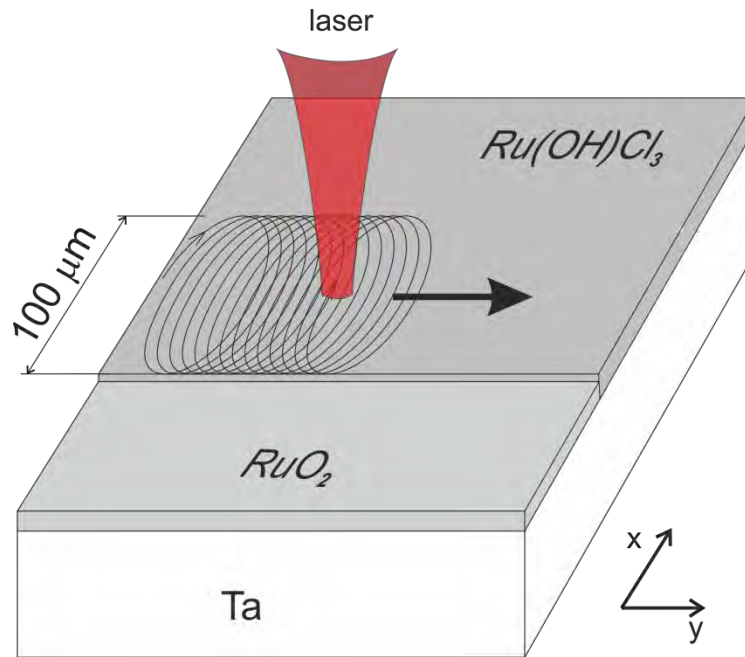
Схема осуществления процесса



Дехлорирование
окисление
T > 4000 °C

Плавление
танталовой матрицы
T > 3200 °C

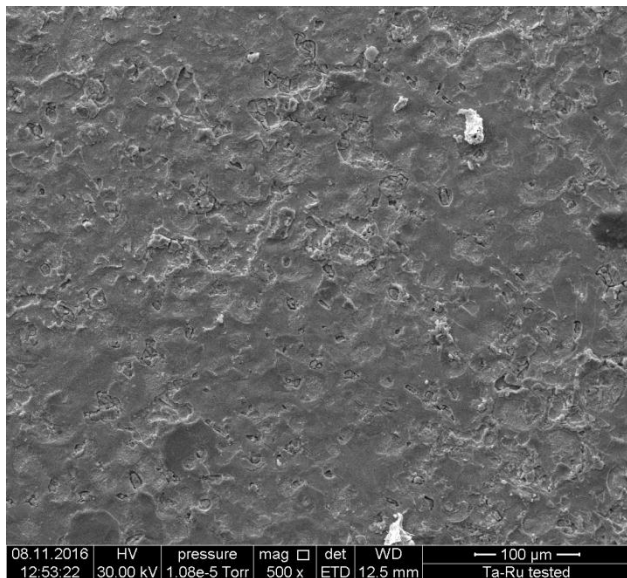
Схема сканирования



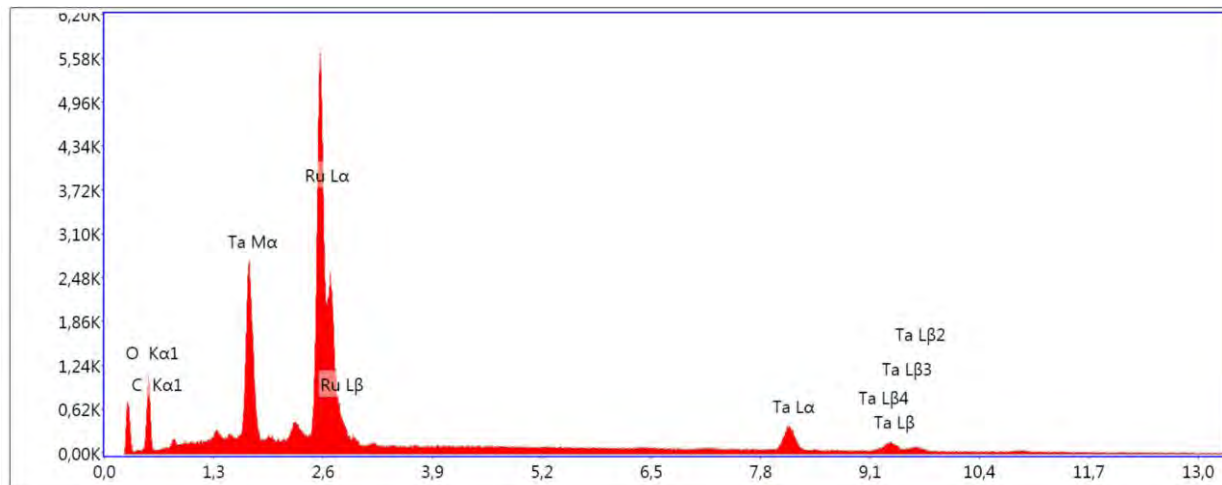
Параметры ВЛС

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

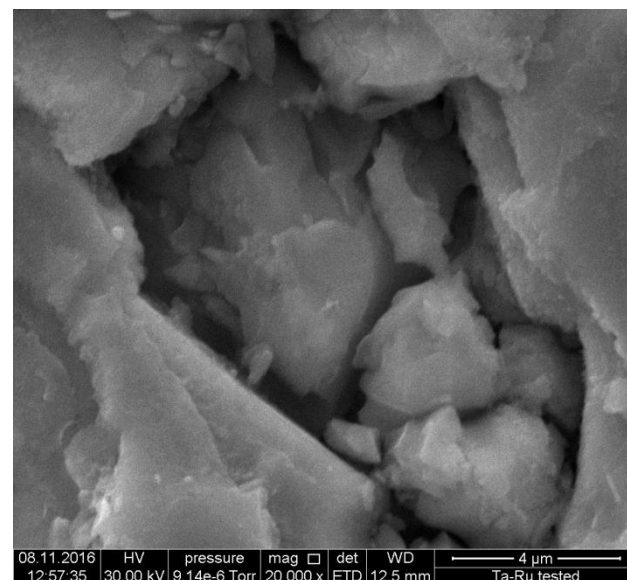


Элементный состав EDAX



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

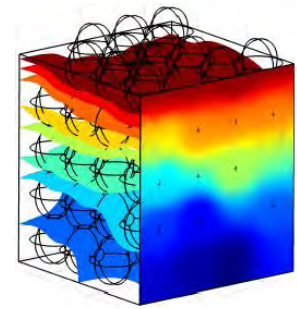
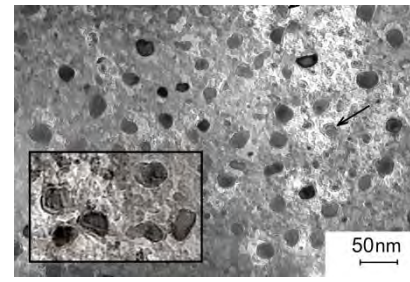
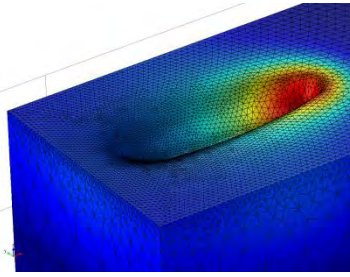
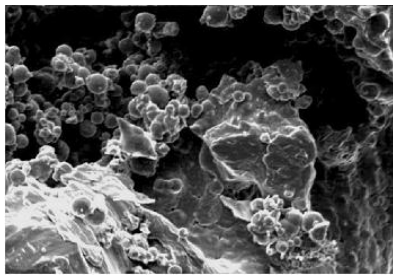
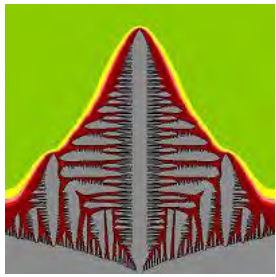
- **Внедрение готовых технологий (функциональные покрытия, сверхтвердые материалы, антифрикционные материалы, сверхтвердые материалы с сверхнизким коэффициентом трения, антикоррозионные покрытия, жаропрочные и керамические покрытия)**
- **Проведение НИОКР в областях аддитивных технологий, функциональных 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»)***