

# Модификация порошковых и гранулированных материалов нанесением слоя РЗМ

Мазной Анатолий Сергеевич, д.т.н.

Заместитель директора ТНЦ СО РАН  
по научной работе

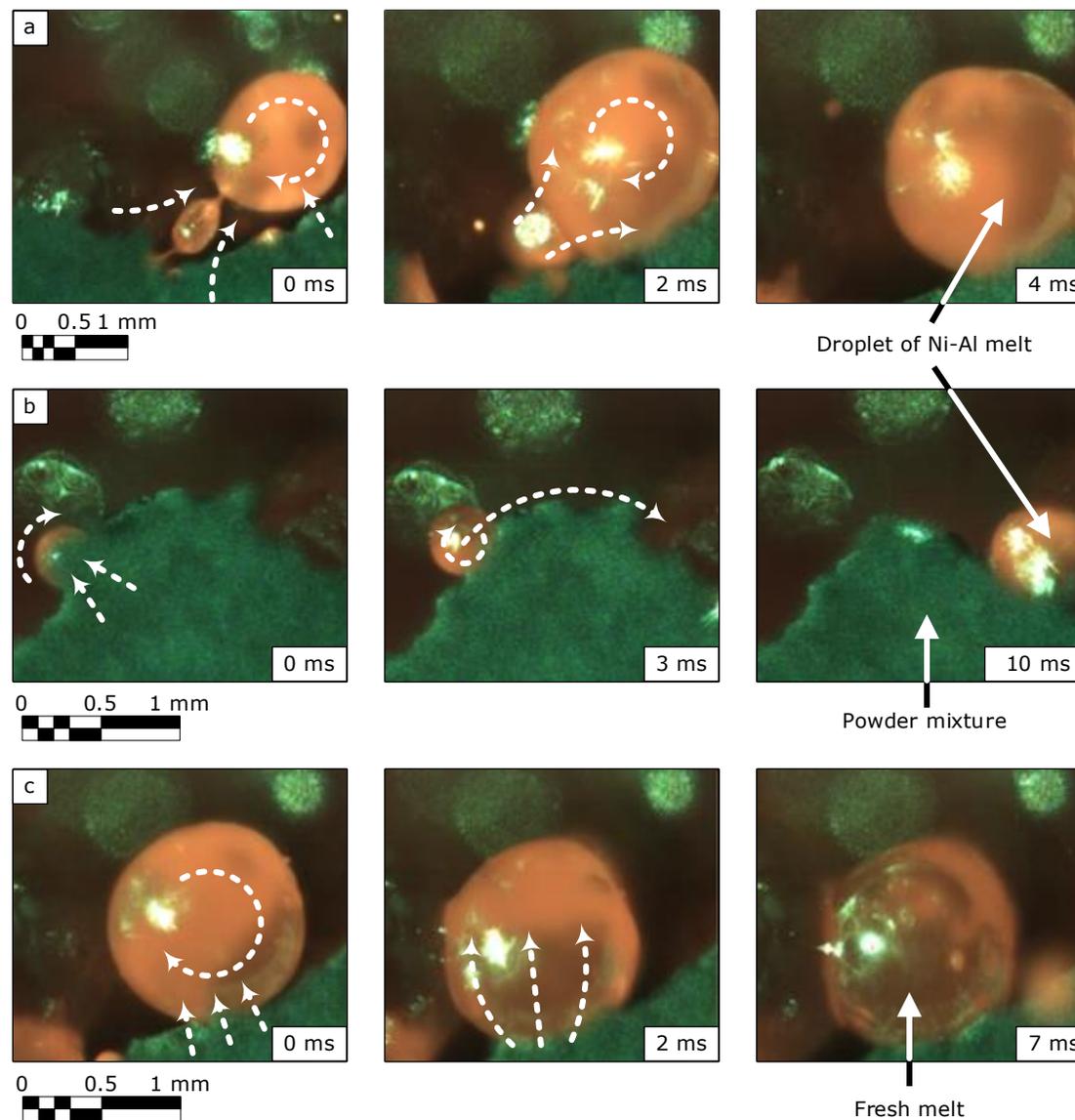


## Структура презентации

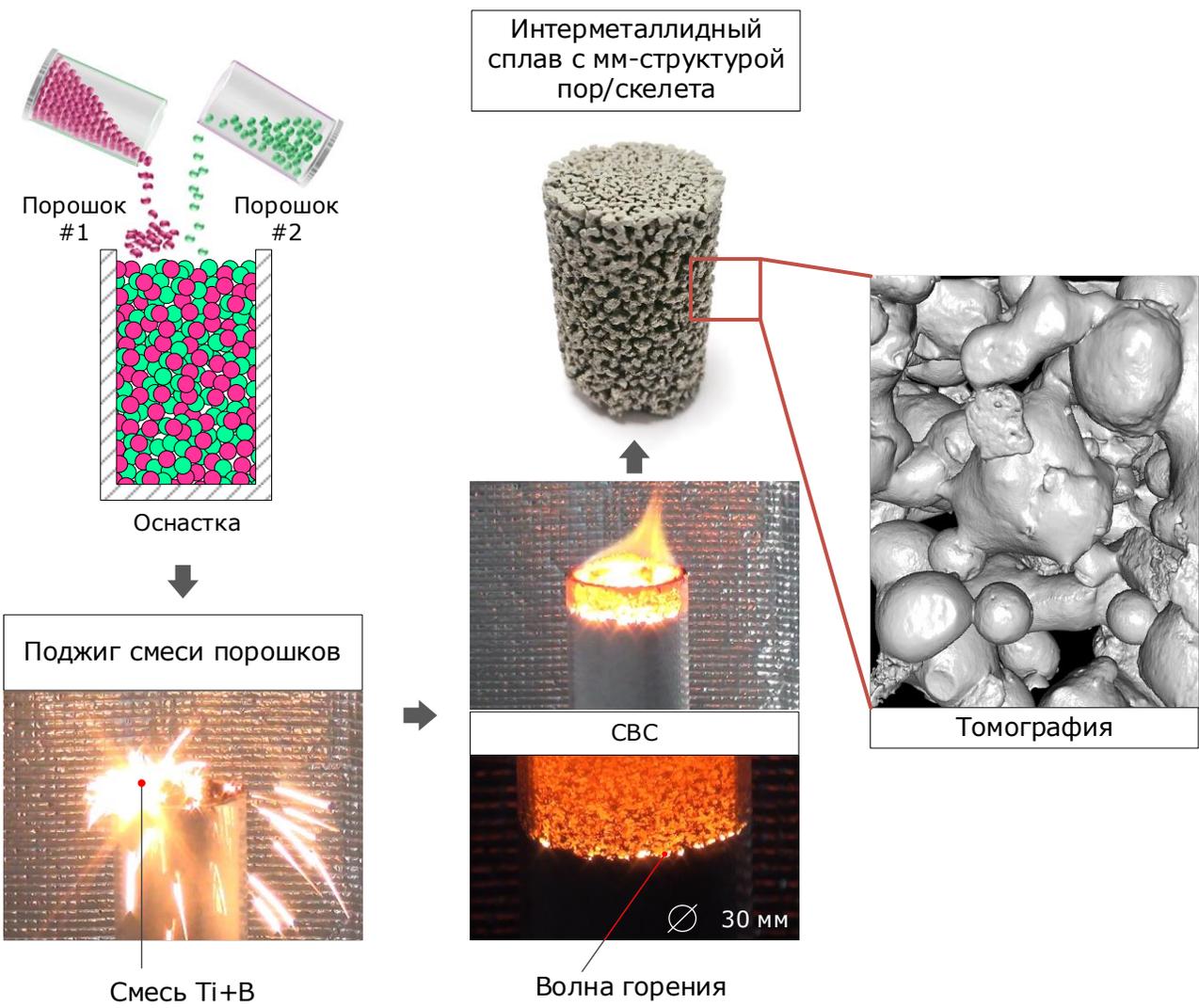
- Мотивация работы
- О технологии модификации порошковых и гранулированных материалов нанесением слоя РЗМ
- Перспективы тематики

# СВС и структурная макрокинетика

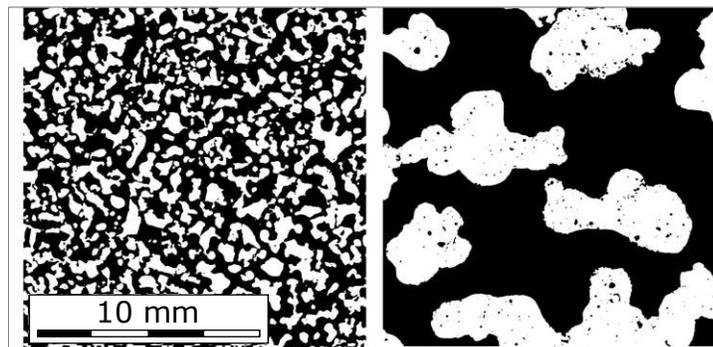
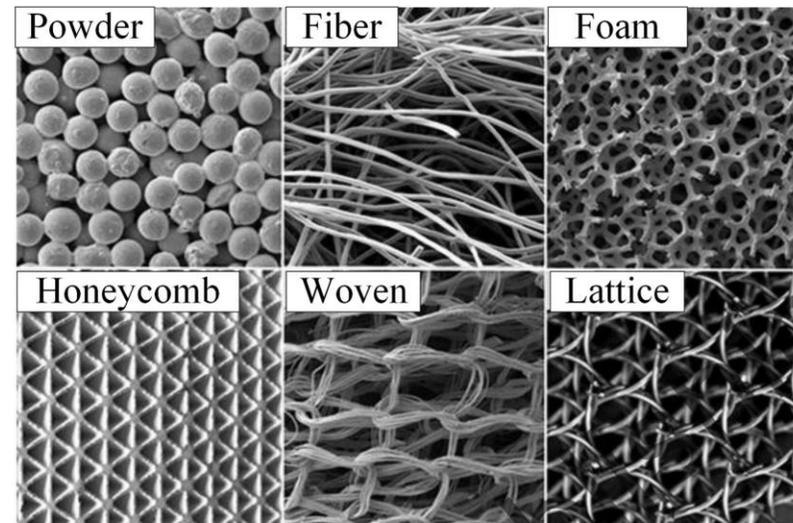
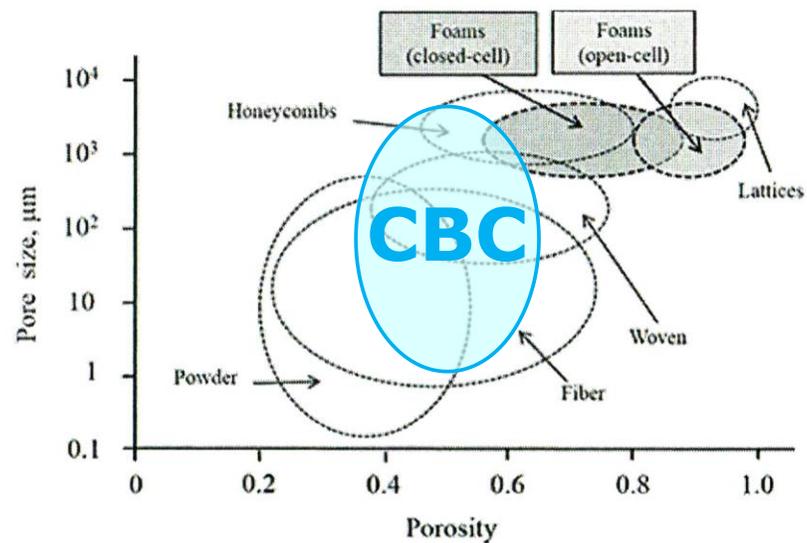
Эффект «сборки» крупных капель в волне горения плавящихся порошковых систем



# Технология изготовления пористых интерметаллидов методом СВС (синтез горением)



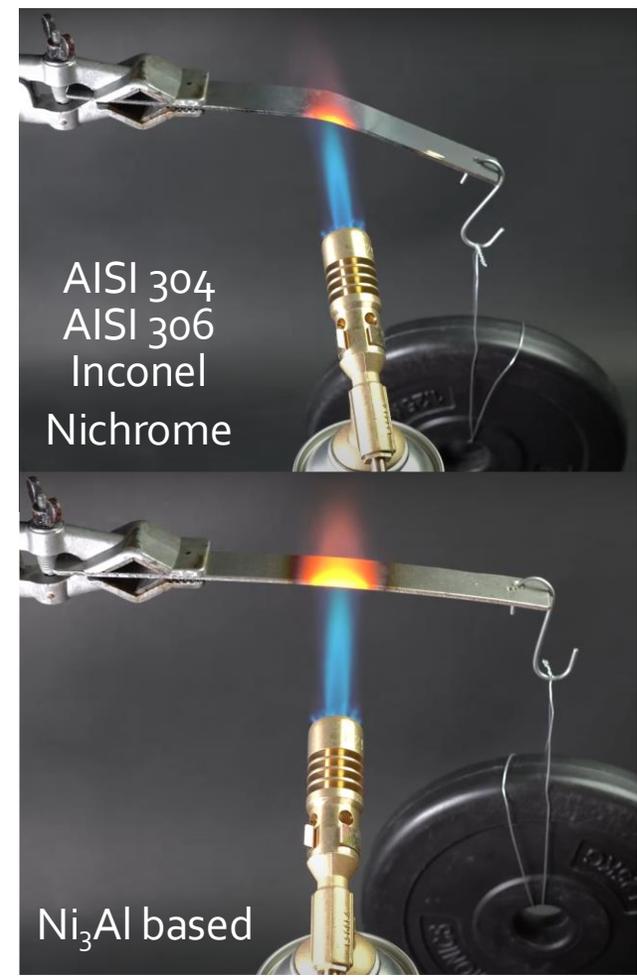
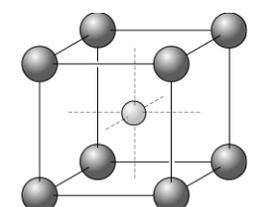
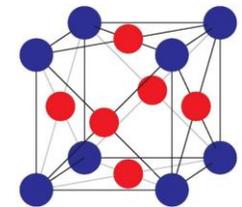
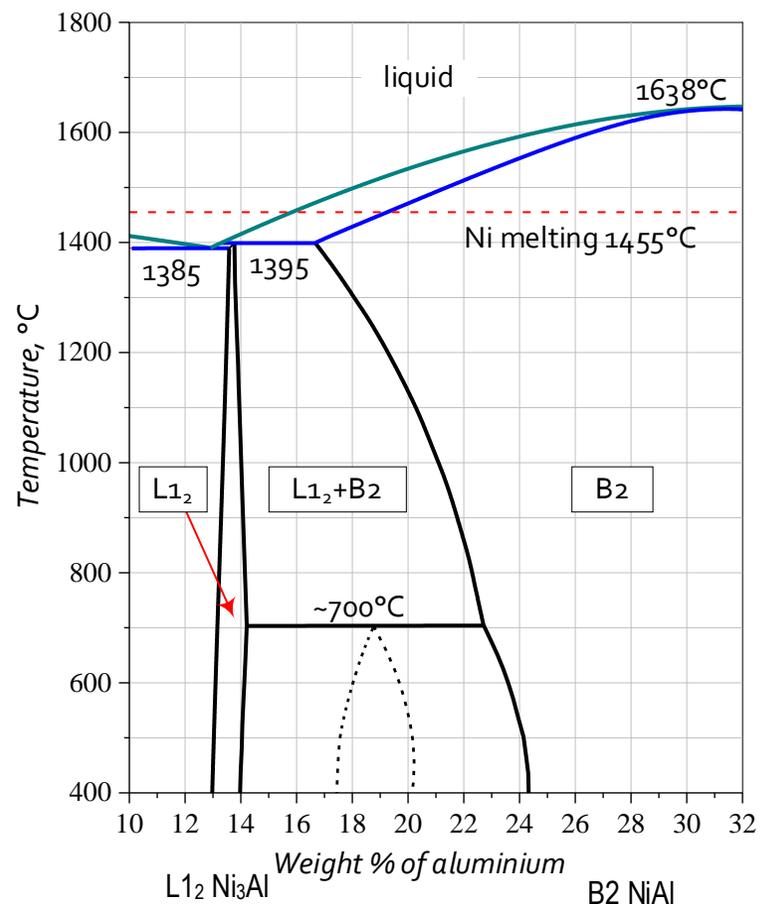
# Технология изготовления пористых интерметаллидов методом СВС (синтез горением)



Смесь порошков с размером частиц 10 мкм



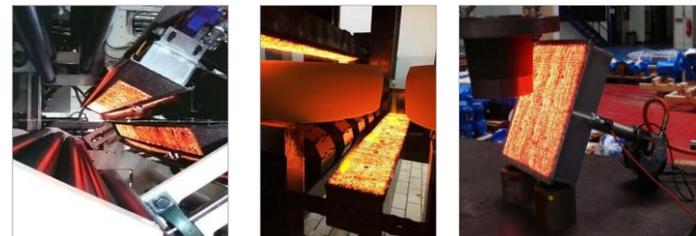
Уникальные свойства интерметаллидов, важные для высокотемпер. применений



# Инфракрасные горелки в промышленности

## Сферы применения:

- Тепловая обработка сыпучих и тонколистовых материалов
- Нагрев продуктов питания в процессе их производства
- Выпечка хлебобулочных и кондитерских изделий
- Обогрев рабочих мест на открытой местности
- Обогрев строящихся объектов, ангаров, складов
- Обжиг растений на полях
- Создание конденсационных водогрейных котлов



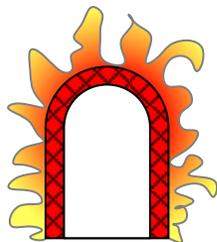
# Новый тип инфракрасных горелок с внутренним режимом горения

## ТНЦ СО РАН

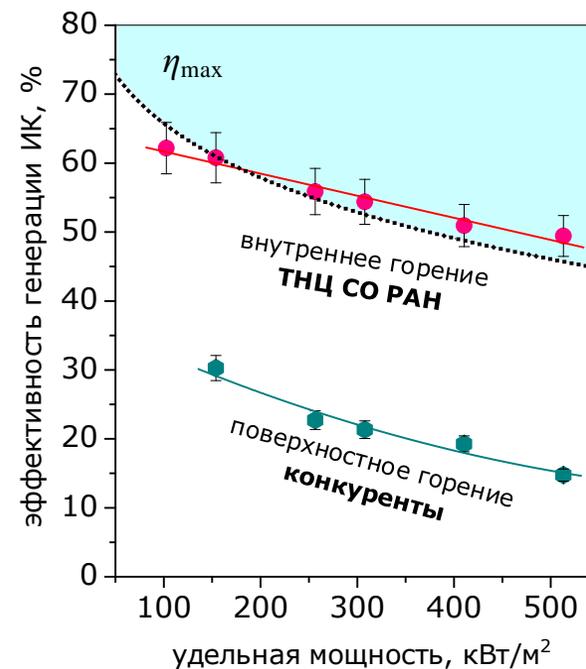
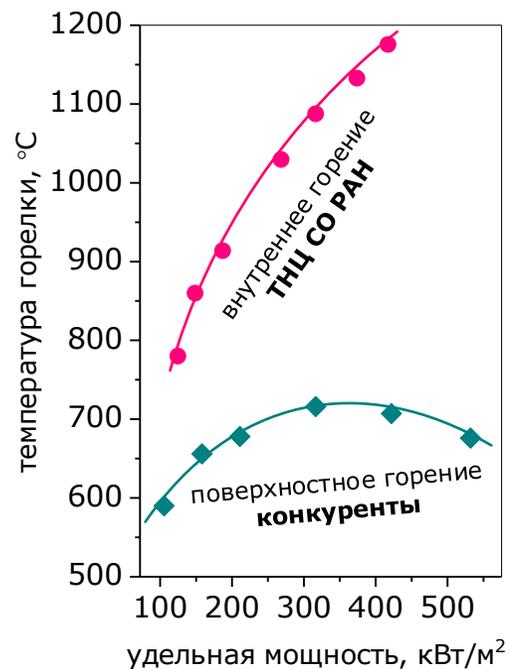


режим  
внутреннего  
горения

## конкуренты

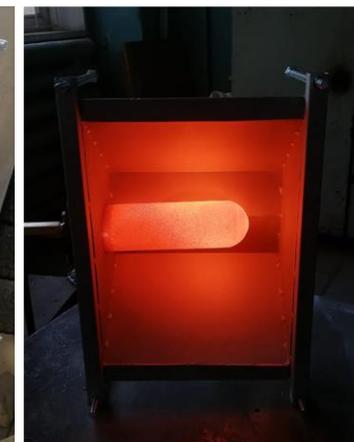


режим  
поверхностного  
горения



# Прототипы

газового  
оборудования для  
генерации  
мощных потоков  
ИК излучения



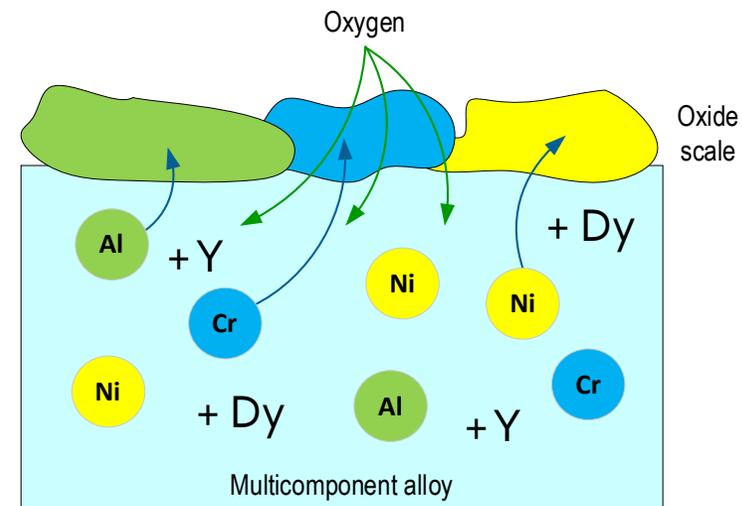
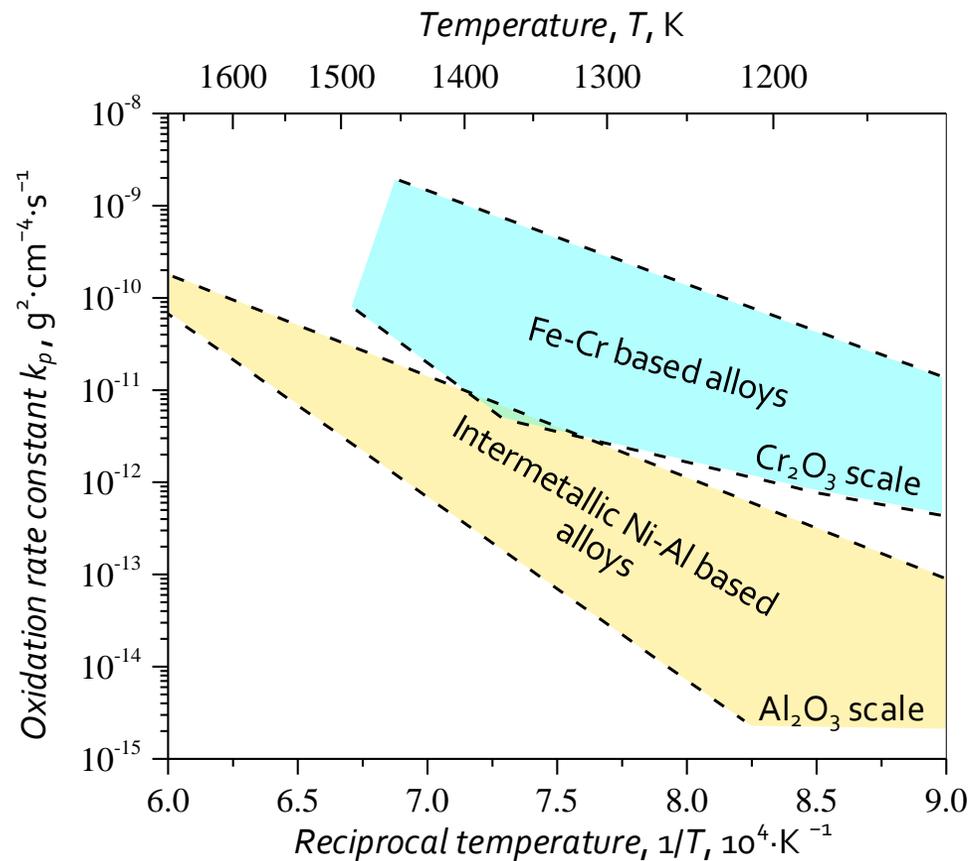
# Деградация

Ni-Al сплава при  
высокотемпер.  
окислении



# Стойкость к окислению

Необходимость в макро- и микро легировании



$$t_{life} [s] \approx d^2 \cdot C_{Al}^2 \cdot \frac{1}{k_p(T)}$$

# Установка «РИТМ-СП»

для электронно-пучковой полировки и формирования поверхностных сплавов контролируемого состава



ИСЭСОРАН



Размеры деталей Д×Ш×В	350×300×200 мм
Диаметр пучка	80 мм
Магнетроны	2–3 шт
Скорость напыления материалов	30–300 нм/мин
Длительность процесса	0,5–3 ч
Энергия электронов	10–30 кэВ
Плотность энергии пучка	2–8 Дж/см <sup>2</sup>
Плотность тока пучка	100–500 А/см <sup>2</sup>
Длительность импульса	2–4 мкс
Частота следования импульсов	до 1 Гц
Рабочий газ	аргон
Скорость откачки	30 мин
Интерфейс управления	RS-485
Протокол управления	Modbus RTU
Питание	380/50 В/Гц
Потребляемая мощность	5 кВт
Габариты Д×Ш×В	2,0×0,8×1,8 м

На начало 2024 года опробовано напыление:  
медь, алюминий, никель, хром, титан, вольфрам,  
молибден, тантал, цирконий, диспрозий, иттрий

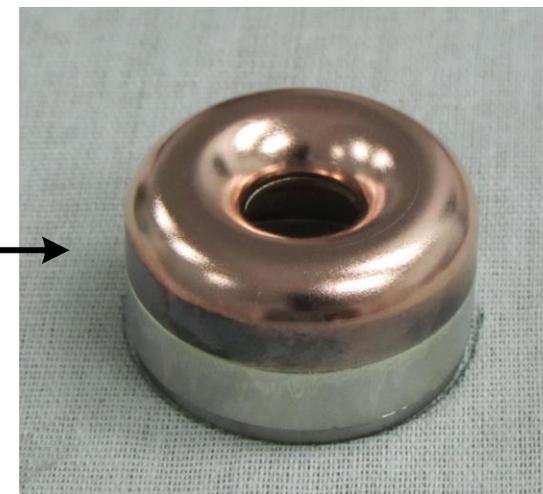
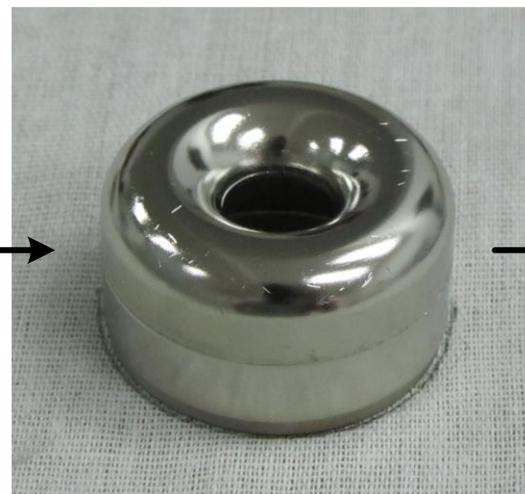
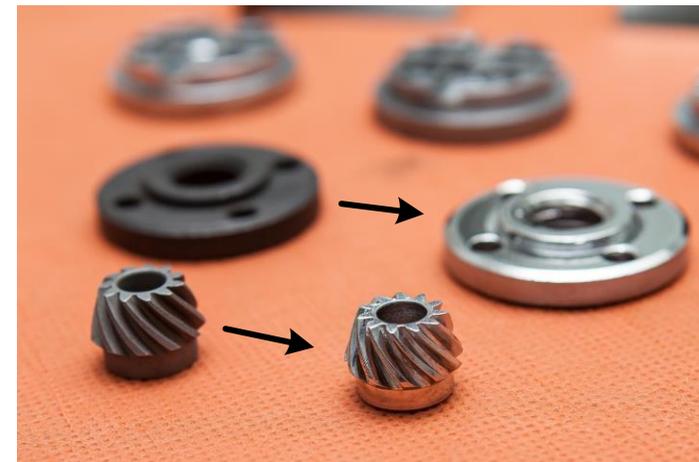
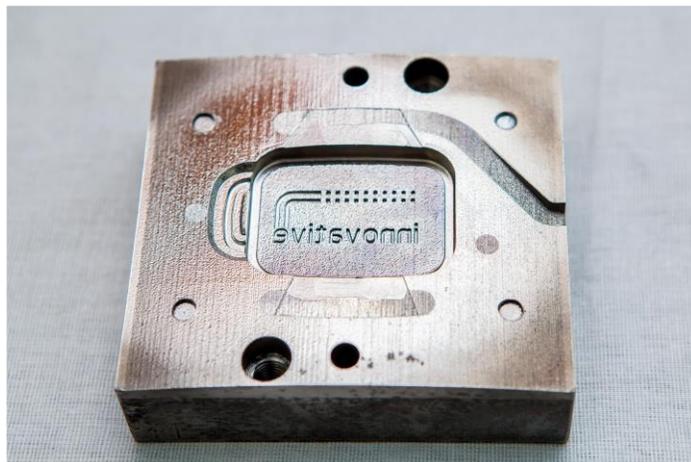


## Электронно-пучковая обработка.

Облучение вызывает быстрый нагрев и плавление тонкого поверхностного слоя. Характерная толщина модифицированного слоя 1-10 мкм.

## Формирование поверхностных сплавов.

нанесении пленки на поверхность изделия и жидкофазное перемешивание материалов пленки и изделия электронным пучком в едином вакуумном цикле

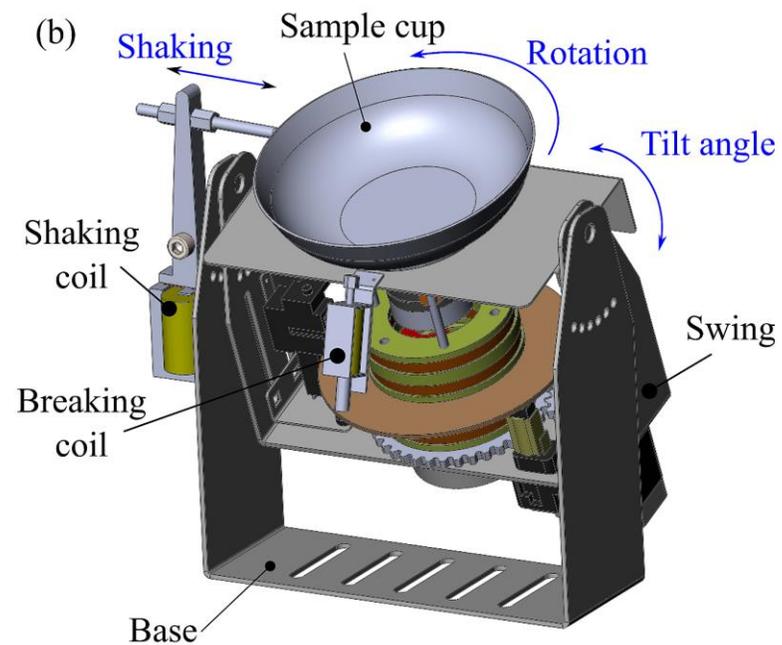
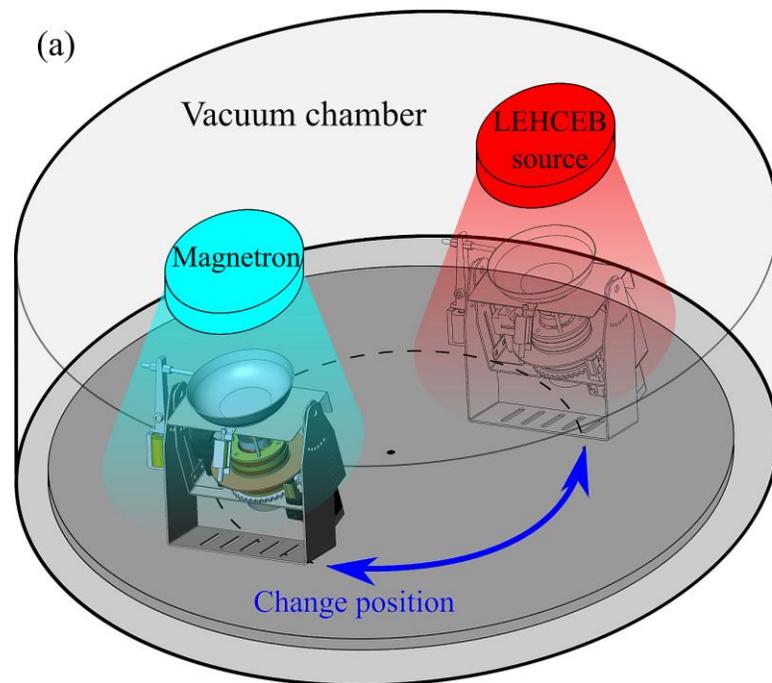


## Методика модификации поверхности порошковых материалов плазменно-пучковыми методами

- манипулятор осуществляет постоянное движение частиц

- напыление методом магнетронного распыления металлических мишеней

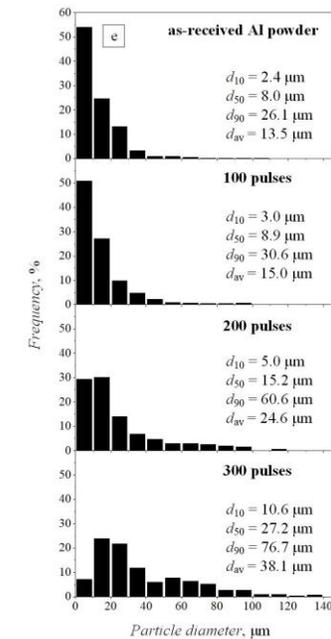
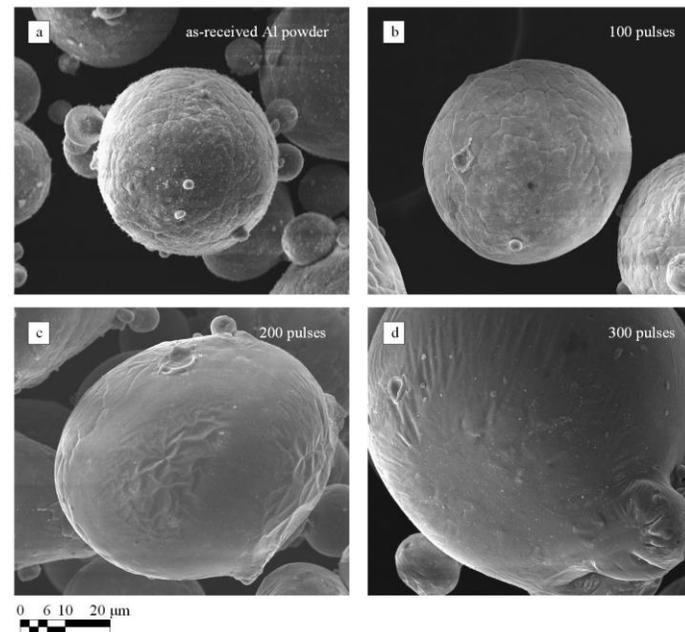
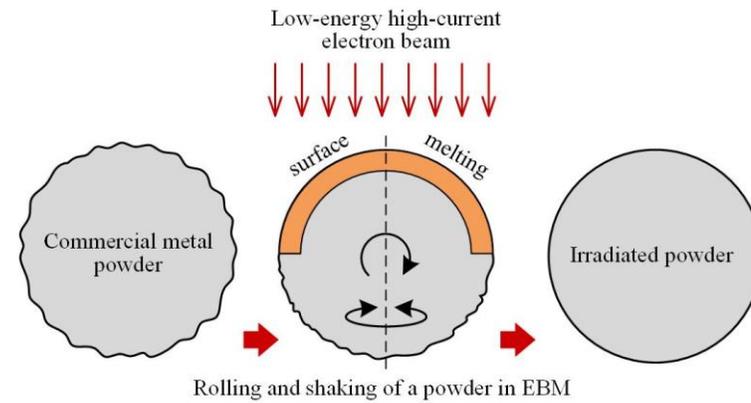
- обработка импульсным электронным пучком микросекундной длительности



# Обработка поверхности гранул и порошков электронным пучком

- плавление поверхностного слоя частицы

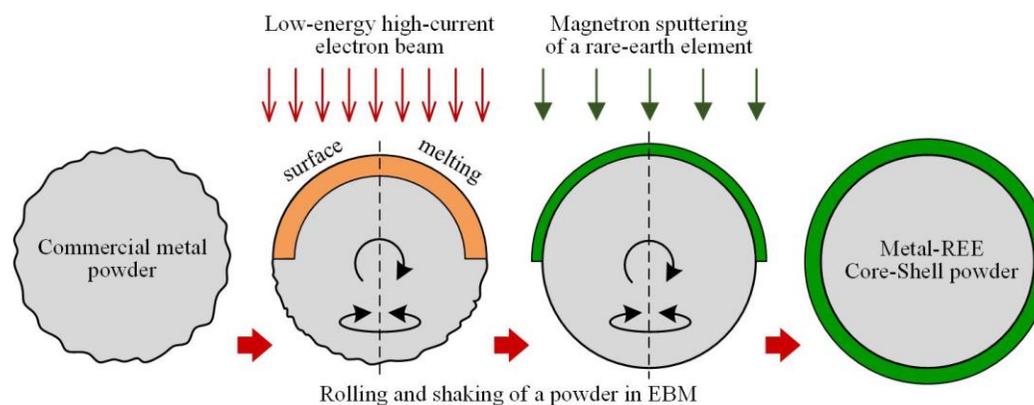
- очистка, сглаживание и гомогенизация поверхности частиц



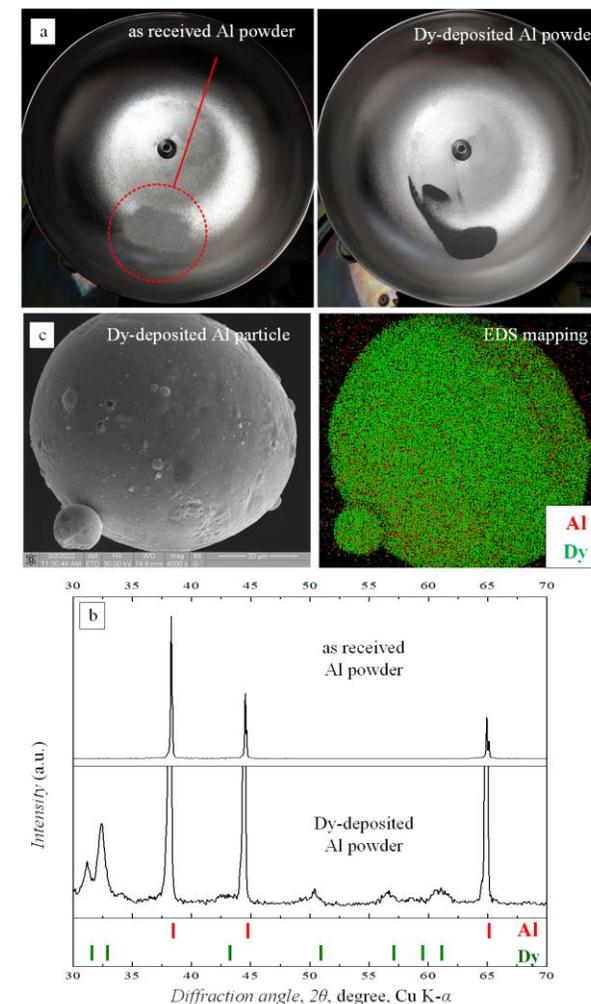
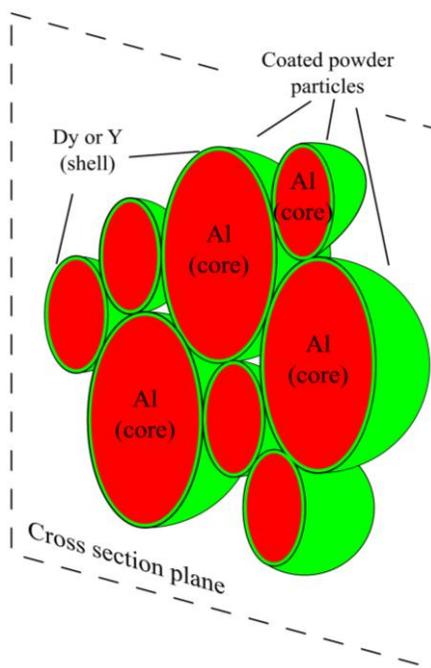
# Формирование структуры «ядро-оболочка»

- Равномерное покрытие порошка

- Толщина наносимой пленки варьируется временем нанесения



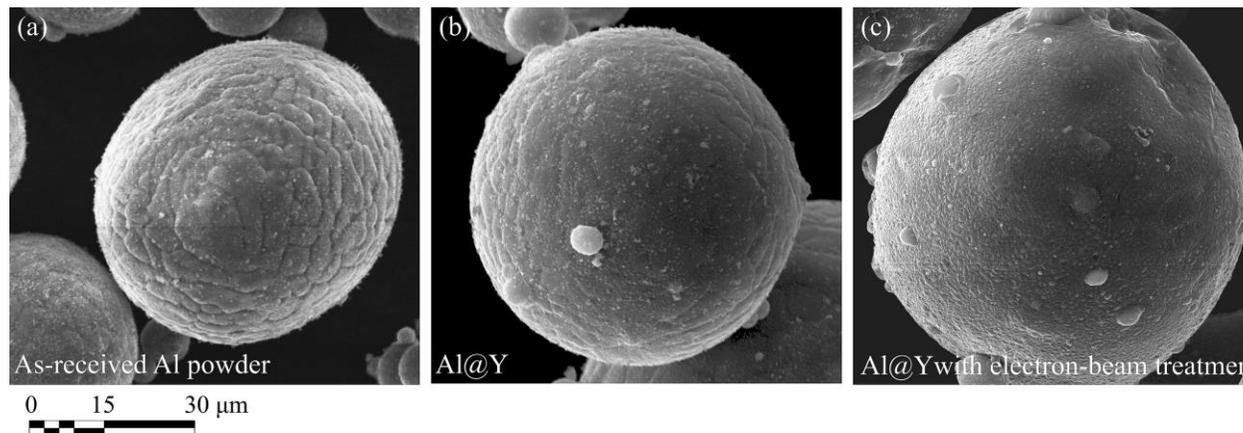
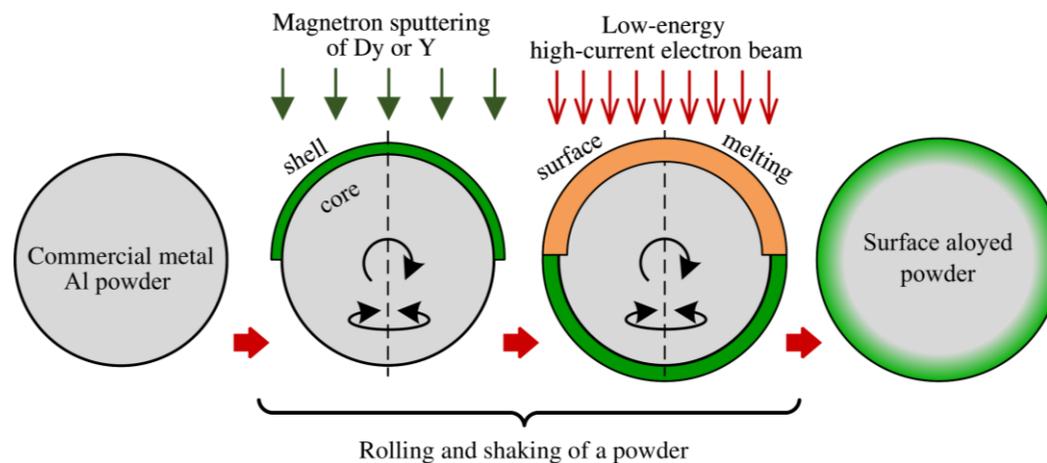
Treated powder after compaction



## Легирование и синтез соединений на поверхности гранул и порошков

- Чередование операций напыления и обработки электронным пучком

- В результате жидкофазного перемешивания возможен синтез интерметаллидных соединений



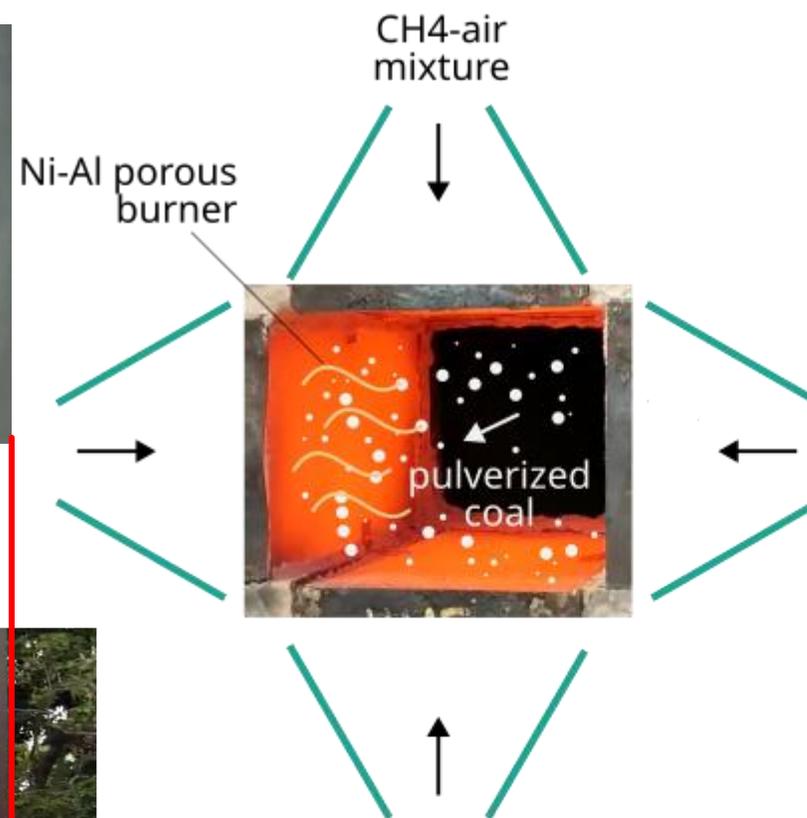
# Итоги проведения работ

- **Область возможного использования:** Производство легированных порошков или гранул для аддитивных технологий. Производство гранулированных катализаторов.
- **Возможный эффект от внедрения:** Введение РЗМ в состав металлических изделий, получаемых аддитивными технологиями, способно на порядок увеличить срок службы при эксплуатации в условиях высоких температур.
- **Степень готовности к практическому применению:** TRL 3-4: Изготовлен макет оборудования для нанесения РЗМ на коммерческие порошки и гранулы, продемонстрированы ключевые характеристики процесса в широком диапазоне параметров. За один цикл обработки можно подвергнуть 50–100 грамм порошка. Продолжительность обработки составляет 2 часа для магнетронного напыления, 4 часа для двухстадийной обработки (магнетрон + электронный пучок). Возможно масштабирование.
- **Сравнение с известными разработками:** В отличие от традиционной идеологии создания легированных порошков (РЗМ вводится на этапе переплава всех компонентов сплава, до стадии производства порошка), технология позволяет вводить РЗМ в уже имеющиеся на рынке порошковые материалы.
- **Сведения о патентоспособности:** Изобретение способно к защите патентом, в настоящий момент ключевые решения охраняются ТНЦ СО РАН в режиме секрета производства (ноу-хау).

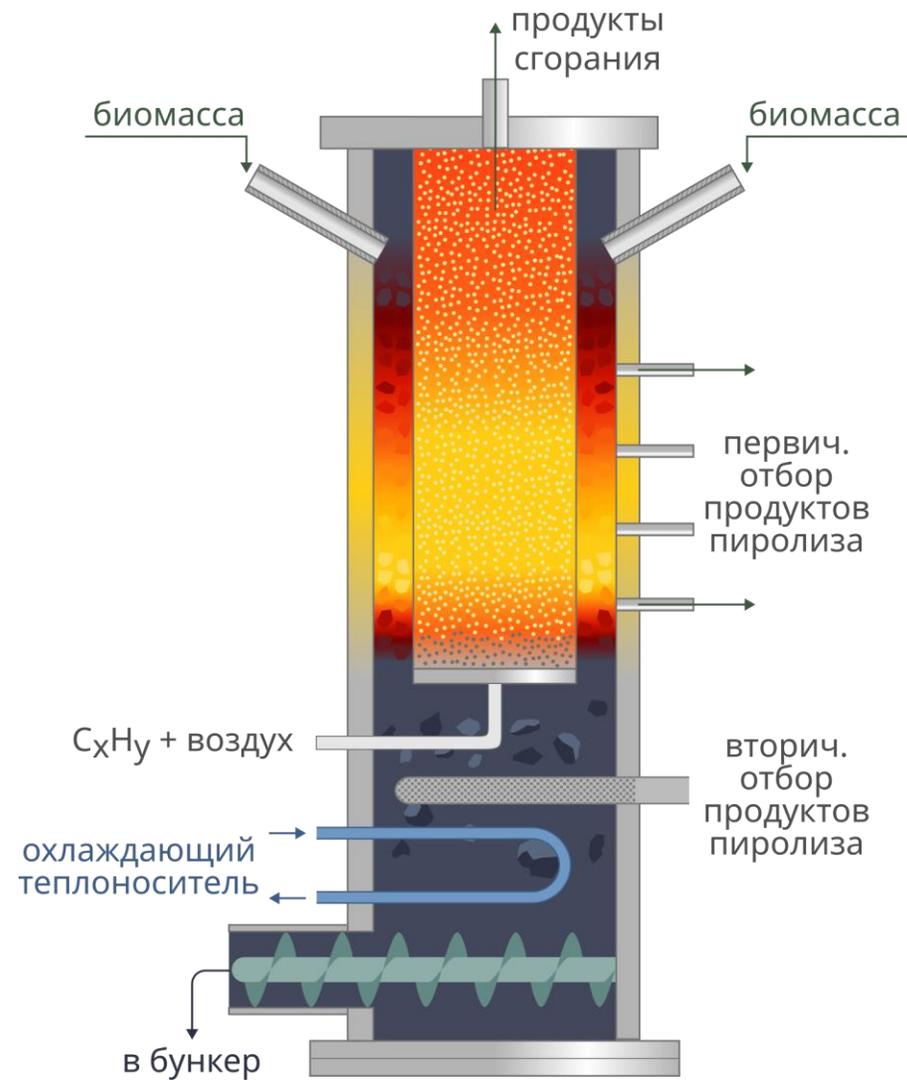
Дальнейшее  
развитие  
тематики ИК-  
горелок на основе  
улучшенных  
сплавов



Pulverized coal preheating



Дальнейшее  
развитие  
тематики ИК-  
горелок на основе  
улучшенных  
сплавов



Благодарю за внимание

А.С. Мазной  
a.maznoy@hq.tsc.ru  
+7-923-412-4765