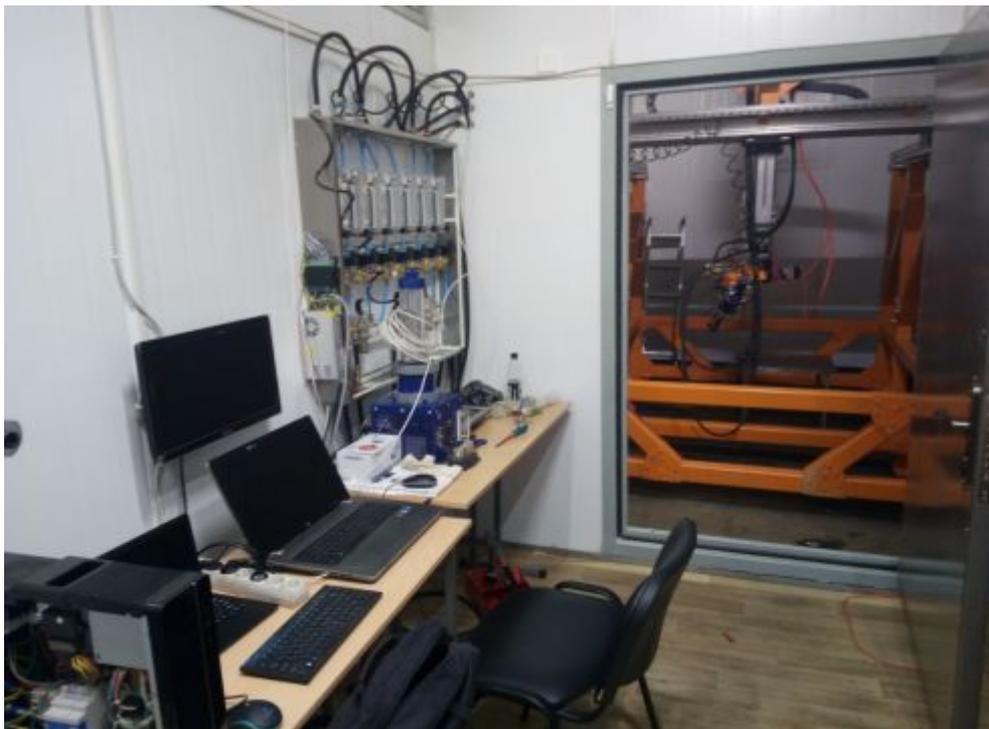




**Мобильный комплекс детонационного  
нанесения композиционных материалов  
на поверхности изделий работающих в  
экстремальных условиях**

*(оборудование, эффективность, применение)*

# ИННОВАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КУМУЛЯТИВНО-ДЕТОНАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ



## Назначение

Формирование на поверхности изделий высококачественных, покрытий из микро нано композиционных материалов.

## Принцип

- Детонационное сгорание (ДС) горючей смеси (ГС).
- Кумулирование энергии от сгорания ГС в камерах многокамерного детонационного устройства (MCDS).
- Синхронизация ввода дозы порошка и ДС.

## Преимущество

- Использование стандартных порошковых питателей.
- Автоматизированное управление технологией.
- Непрерывная подача и смешивание газов.
- Газодинамическое дозирование порошка.
- Дистанционная подача порошка газом.

# ИННОВАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КУМУЛЯТИВНО-ДЕТОНАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ



Автоматизированный блок управления с программным обеспечением процесса



Порошковый питатель



Многокамерное детонационное устройство

# ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Технология позволяет наносить покрытия толщиной да 0,3 – 1 мм из смеси порошков металлов, сплавов, металлокерамики, оксидной и бескислородной керамики.

Покрытия наносятся на поверхности изделий, которые изготовлены из углеродных композиционных материалов, металлических сплавов, титана, алюминия и керамики.

Формируются нано-композиционные материалы покрытия.

Используется горючий газ: метан, пропан+бутан и др.

Расход 4-8 м3 горючей смеси на 1 кг материала покрытия.

Скорость порошкового материала >1200 м/сек.

Частота импульсов при нанесении покрытий, 20...30 Hz.

Коэффициент использования материалов (DE):

по металлам до 90%,  
металлокерамике до 80%,  
керамики до 70%.

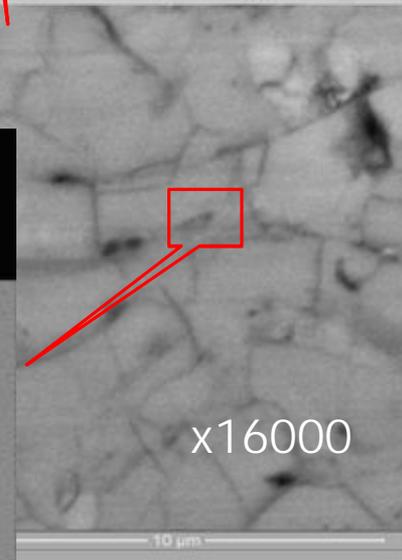
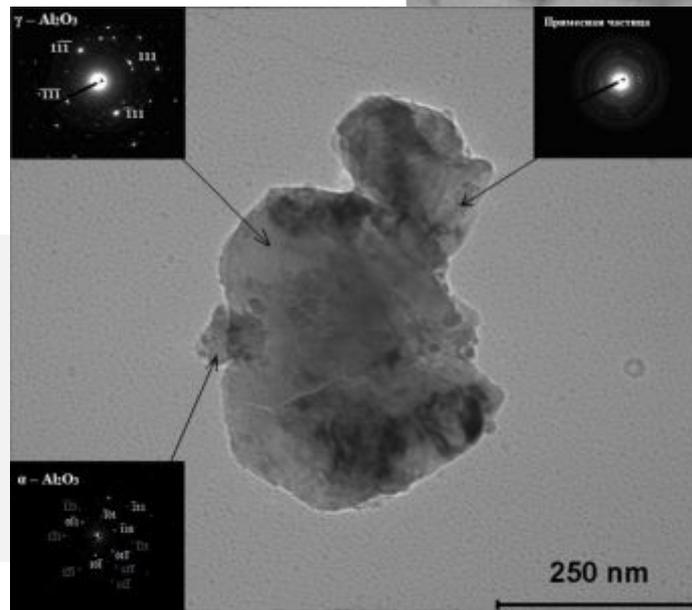
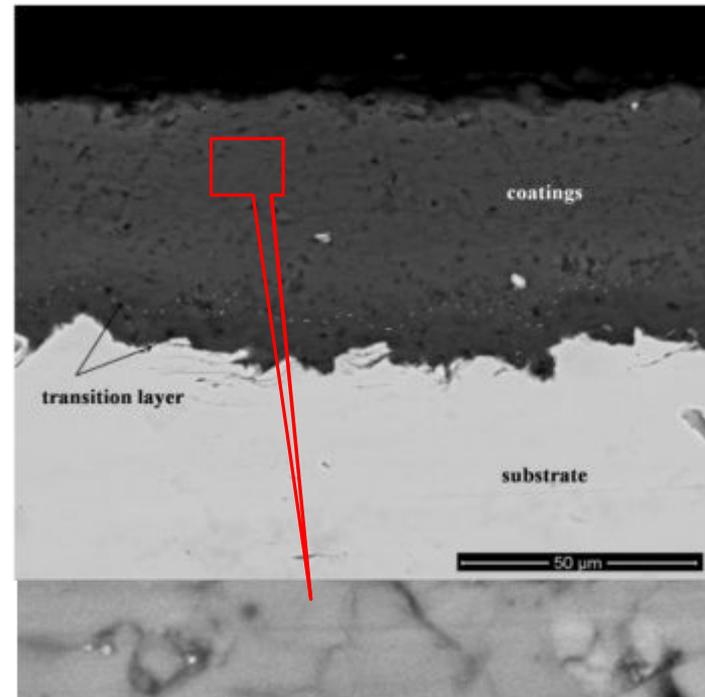
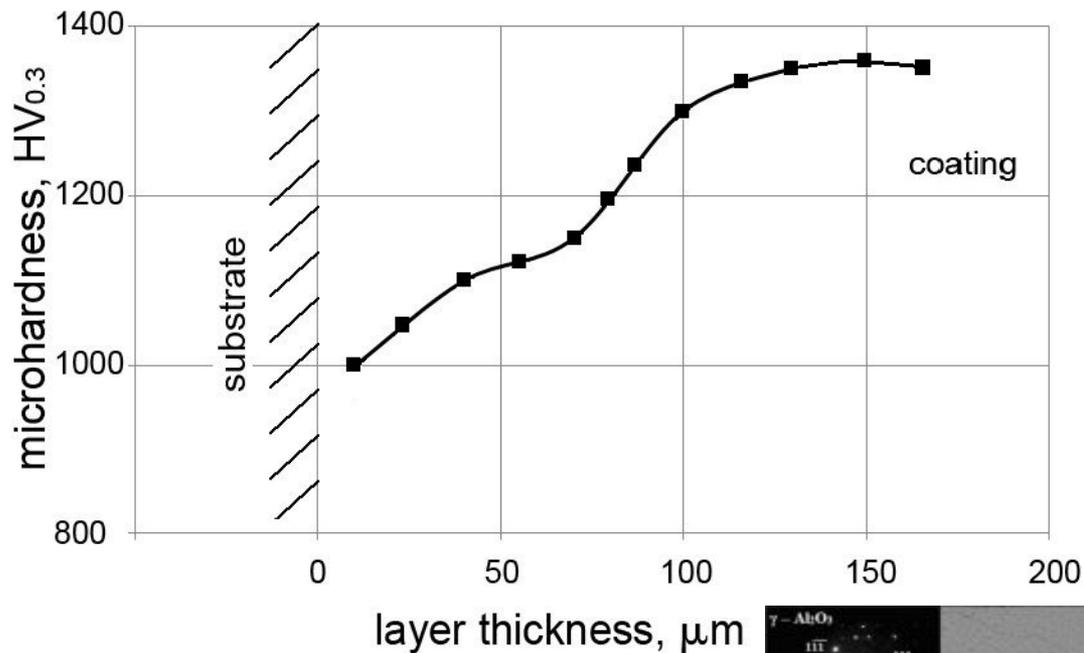
Пористость материалов покрытия:

металлических < 0,3%,  
металлокерамики < 0,5%,  
керамики < 0,3%.

Производительность формирования покрытий:

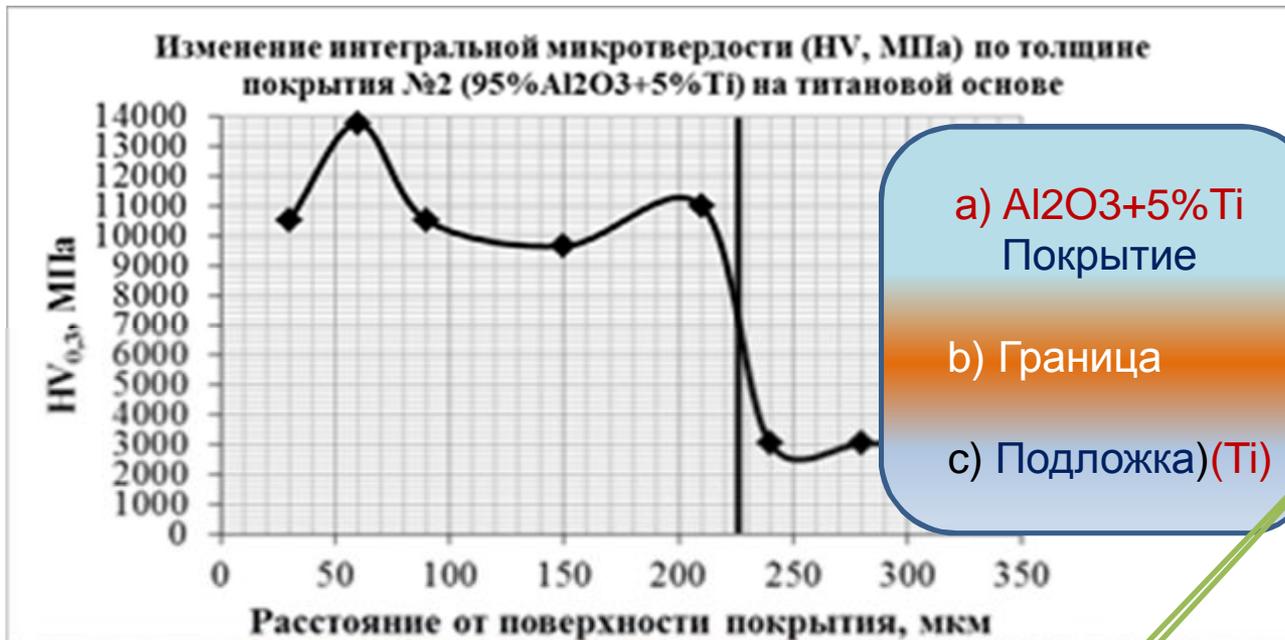
металлических до 4 кг/час,  
металлокерамики до 3 кг/час,  
керамики до 1 кг/час.

# СТРУКТУРА ПОКРЫТИЯ - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



MCDS с длиной сопла 500 мм обеспечило формирование плотного керамического слоя твердостью 1320 × 25 HV<sub>0.3</sub> и пористостью ниже 1%.

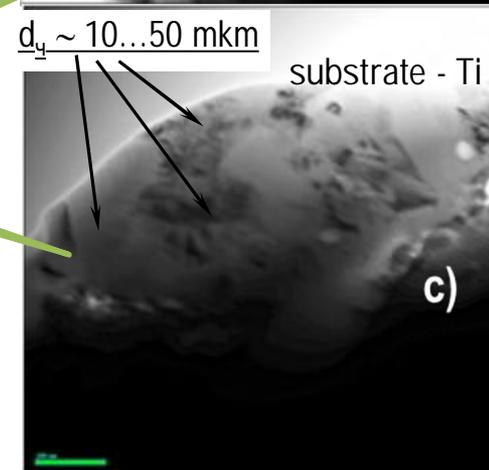
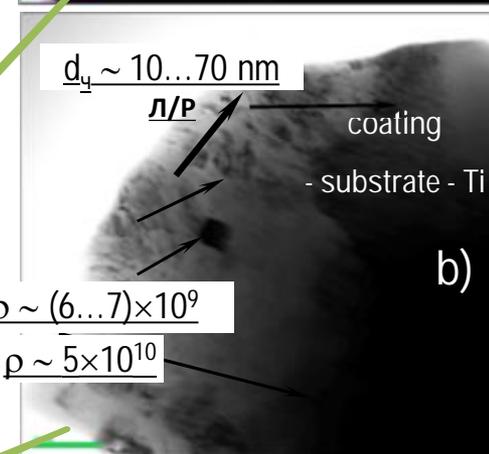
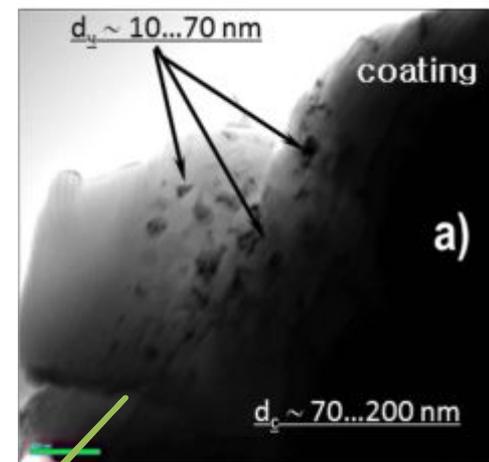
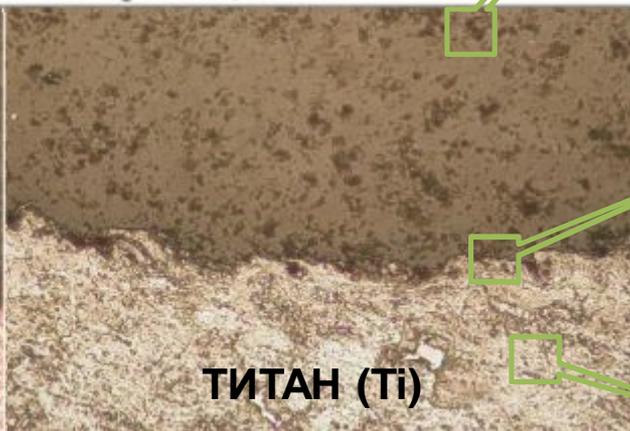
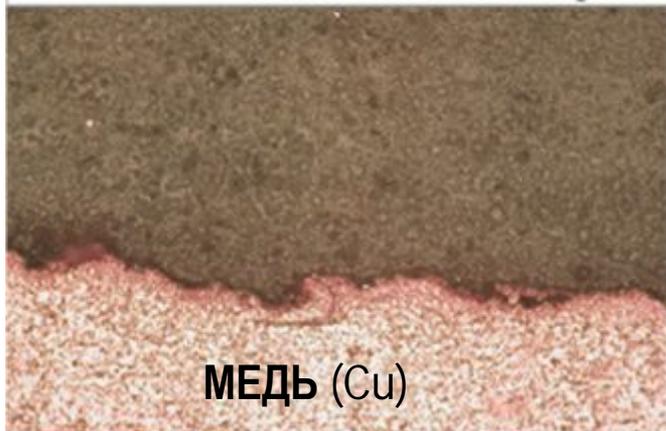
# СТРУКТУРА ПОКРЫТИЯ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+5%Ti



a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+5%Ti  
Покрытие

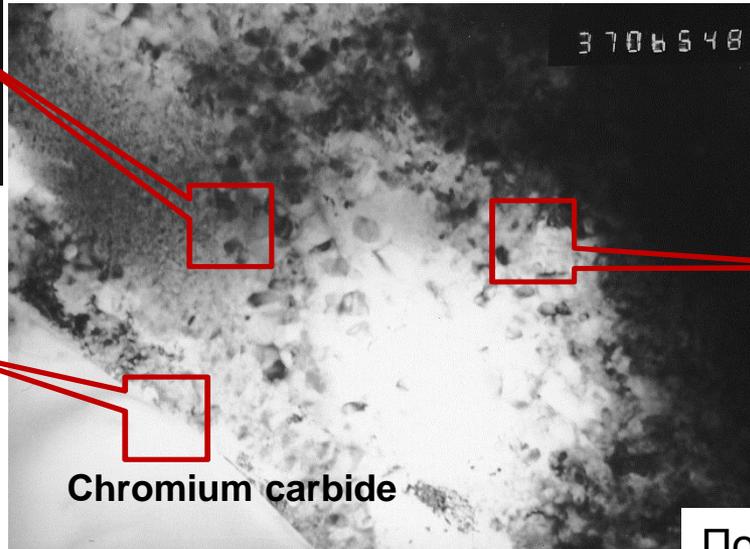
b) Граница

c) Подложка)(Ti)

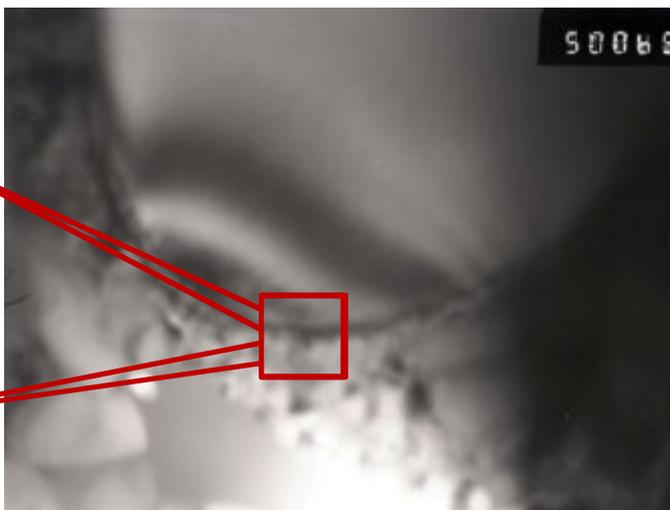
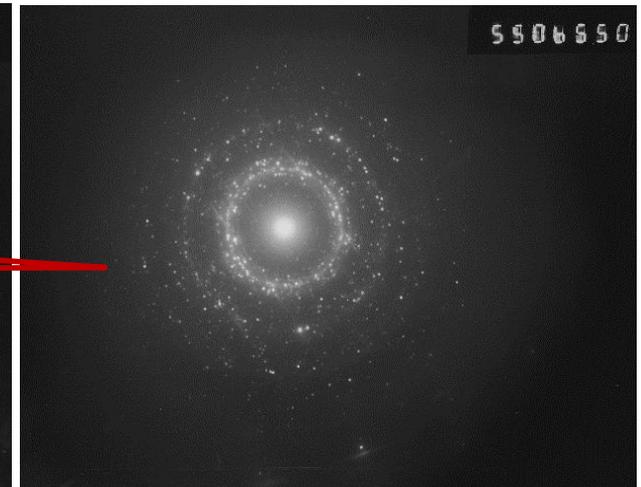


- a) покрытие на глубине  $\delta \sim 10$  микрон (x52000).
- b) граница покрытие – подложка (x70000).
- c) анализ Ti-подложки (x70000).

## СТРУКТУРА ПОКРЫТИЯ Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr



Chromium carbide



Получены вторичные карбиды с наноразмером ~47,5 нм.

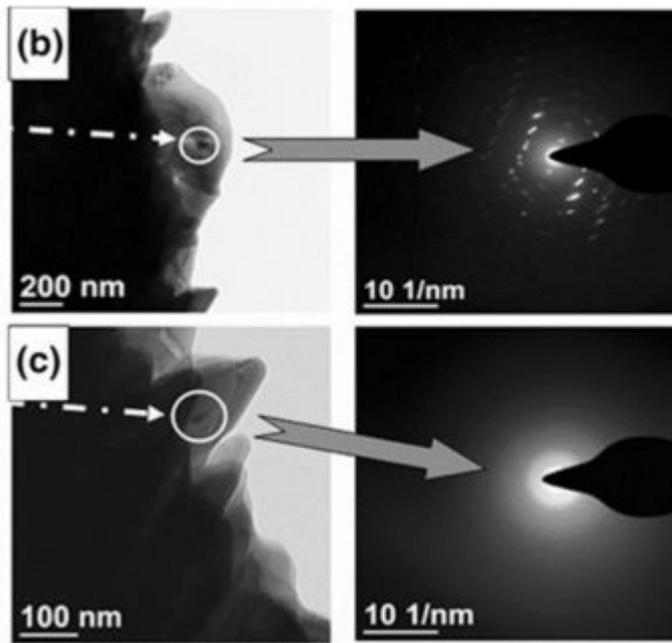
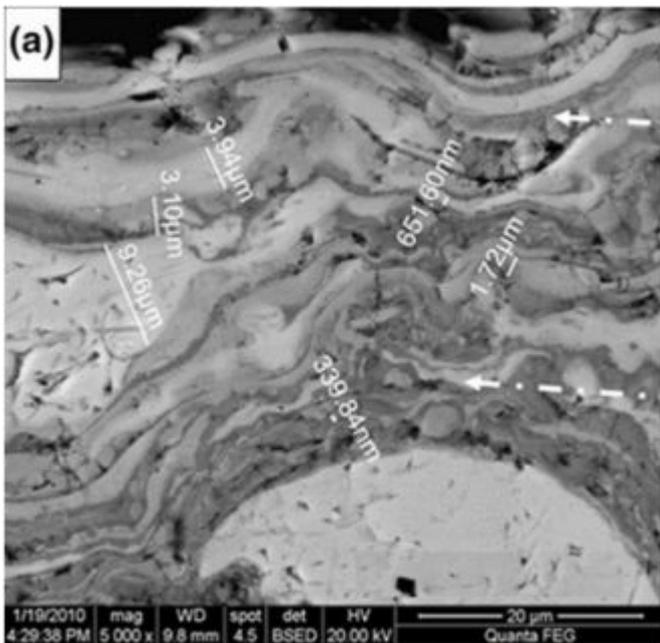
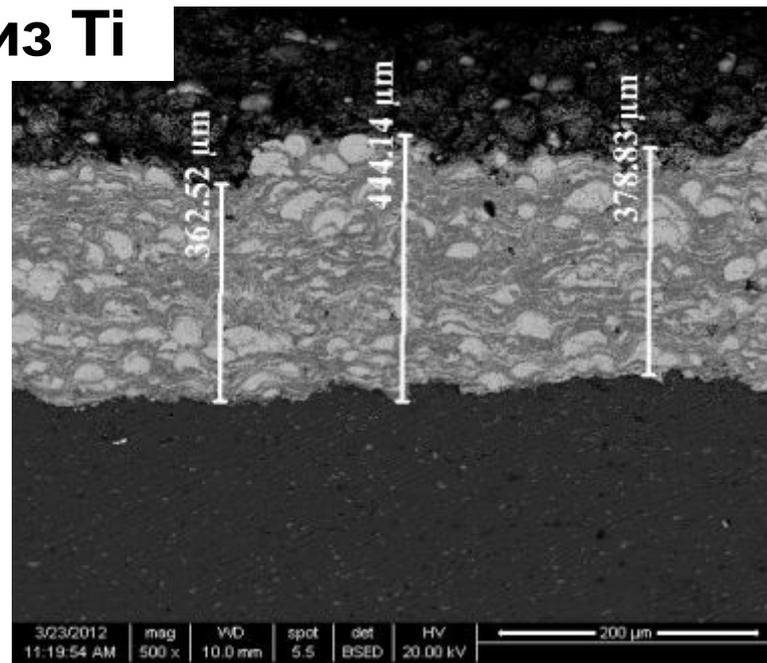
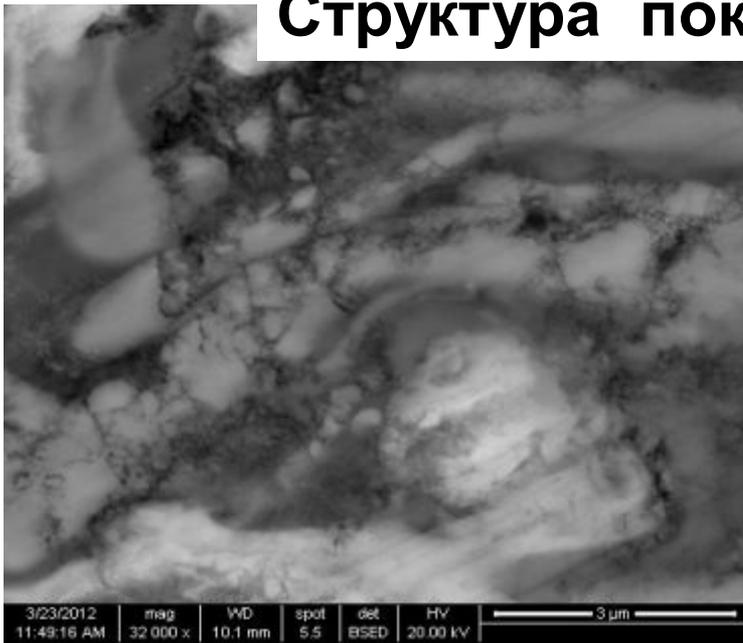
Расстояние между границами вторичных карбидов <190 нм.

Плотность дислокаций, см<sup>-2</sup> :

матрица NiCr	- $2 \times 10^{10}$ ,
граница ламелей	- $4 \times 10^{10}$ ,
граница карбид -Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	- $6 \times 10^{10}$ .

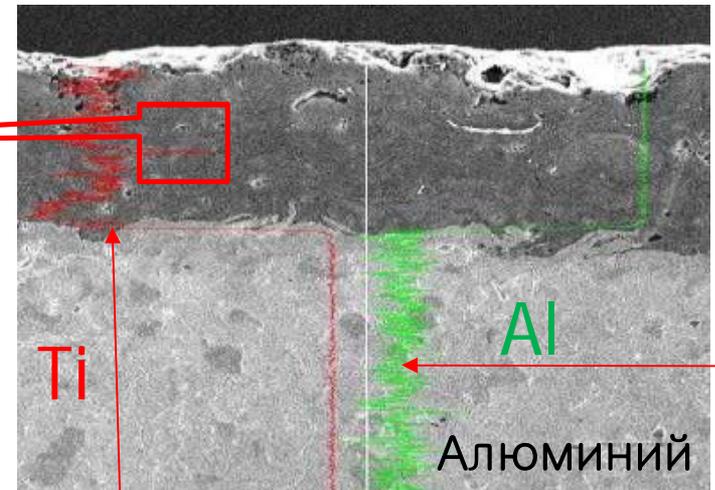
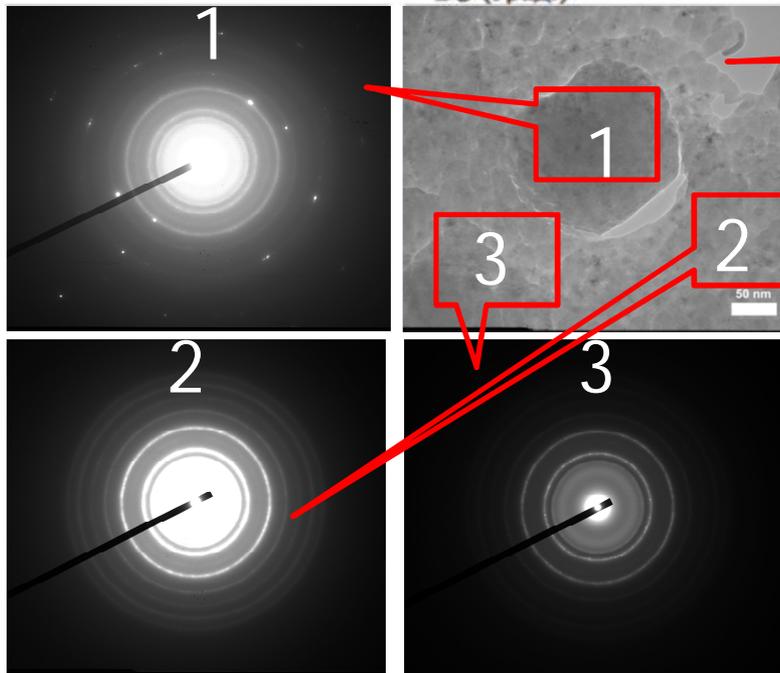
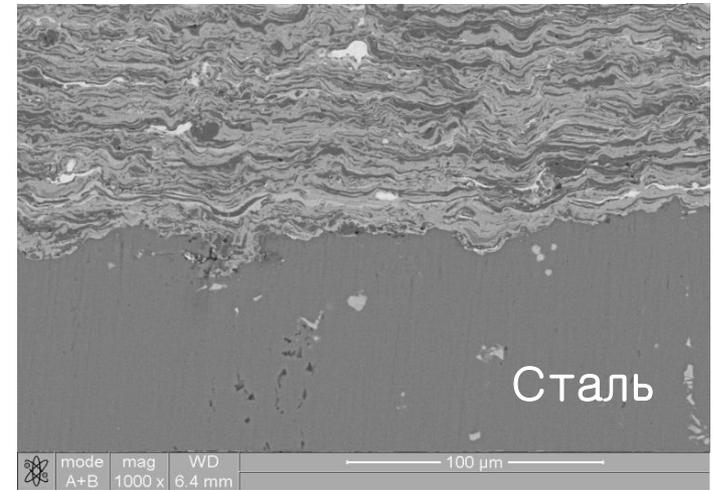
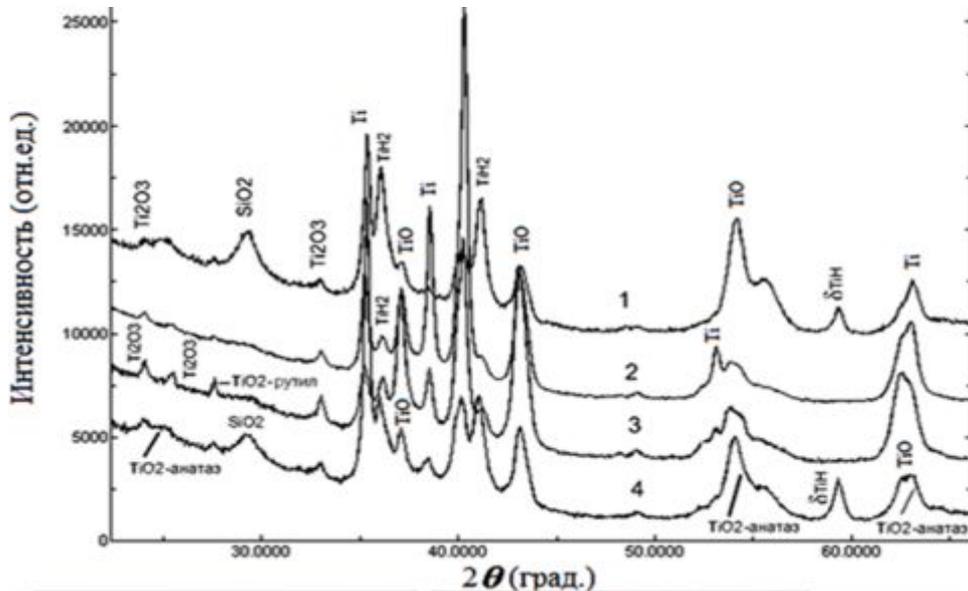
Размер нанокристаллической субструктуры матрицы NiCr ~247 нм.

# Структура покрытия из Ti



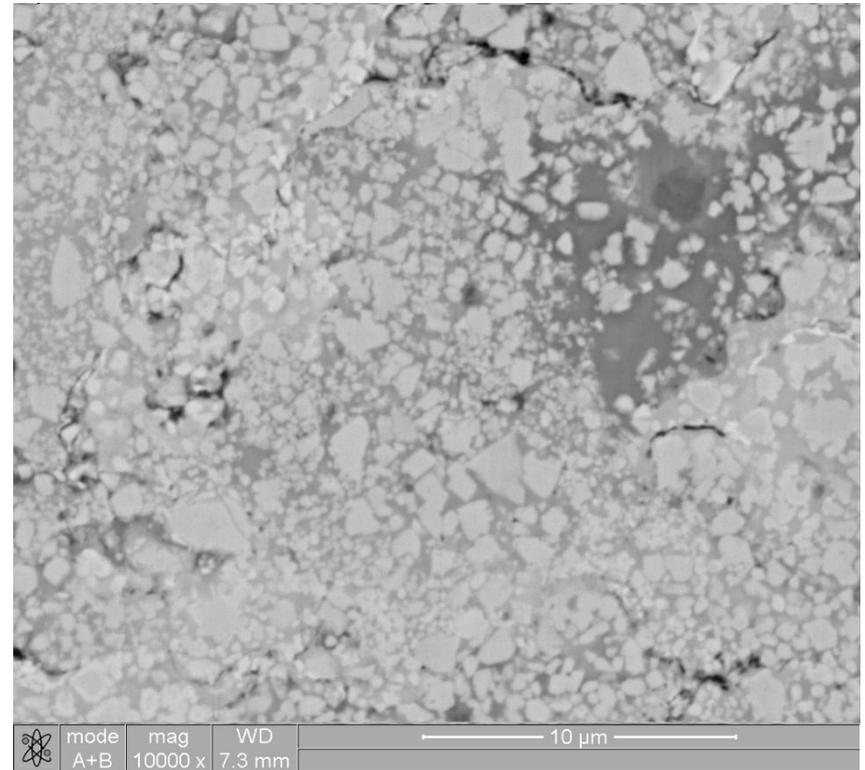
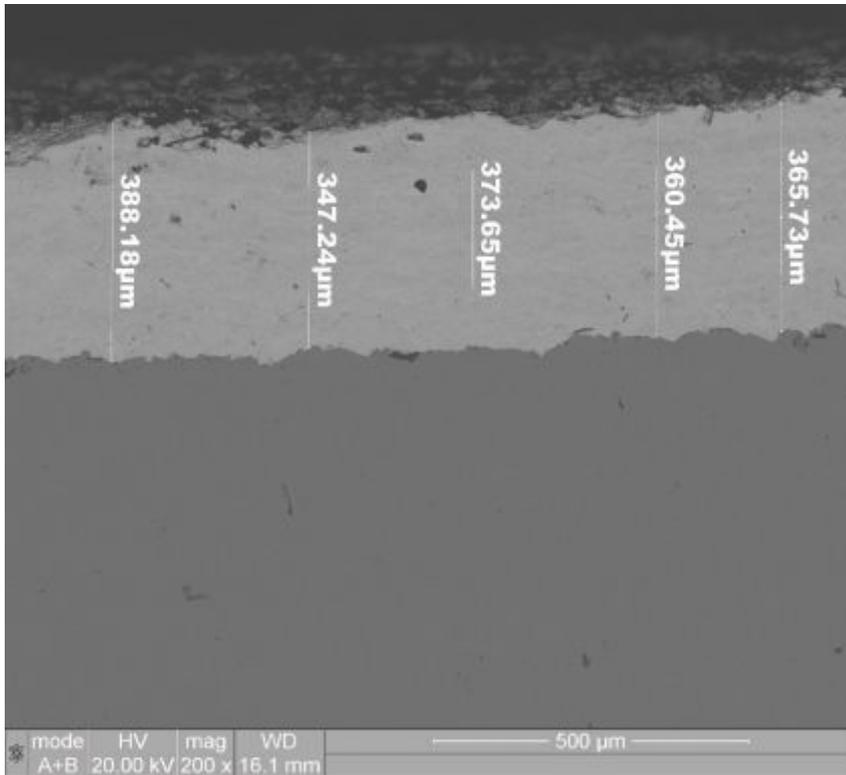
Структурный анализ  
нано композиционных  
материалов покрытий  
на основе титана:  
а) - SEM, б)с)- ТЕМ.  
( ) кристаллические  
зерна оксида титана  
с кубической  
решеткой;  
(с) аморфные фазы  
(C, Ti и Al).

# Анализ структуры покрытия из порошка титана



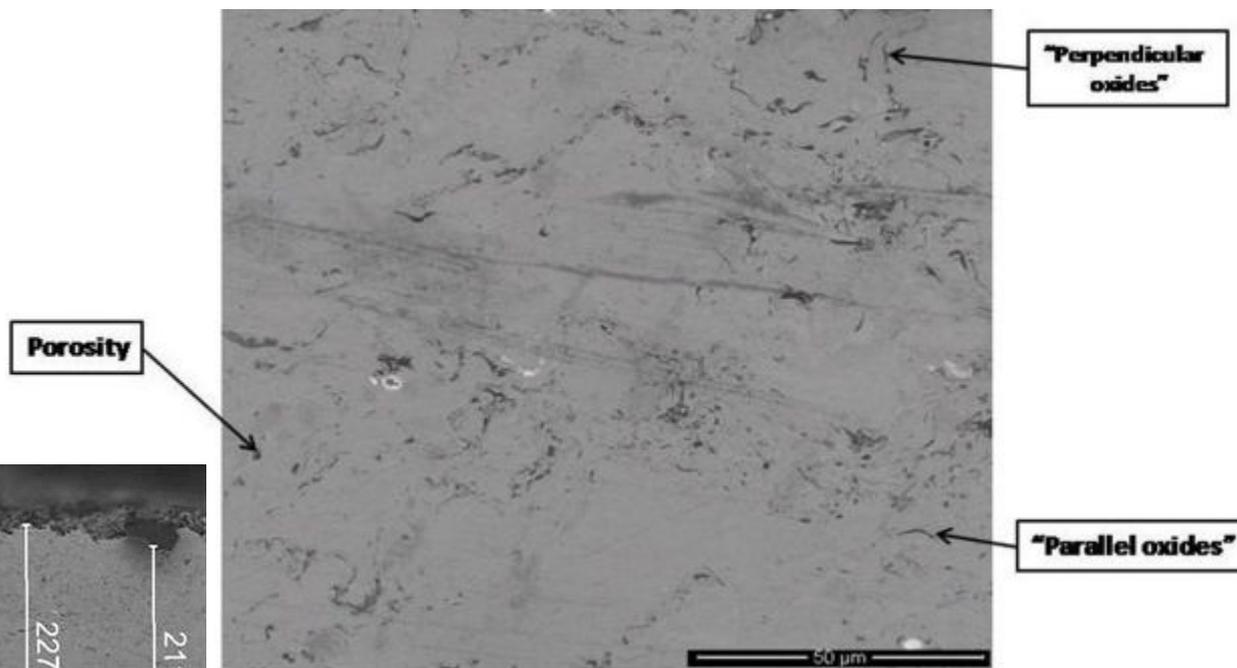
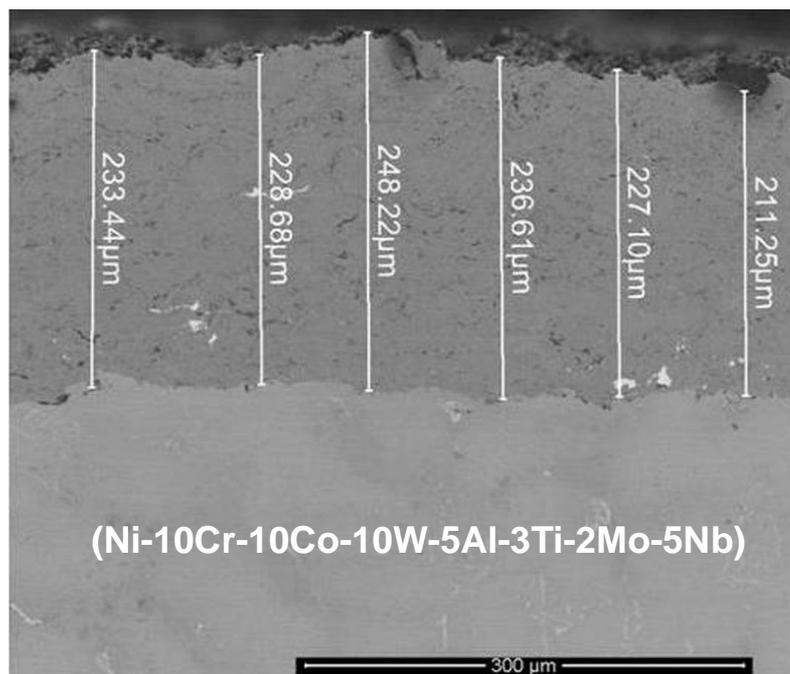
Кислород и углерод, как продукты горения, обеспечивают образование нано кристаллического композита на основе титана. Это покрытие имеет химическую связь с подложкой и не имеет пор. Оно обладает высокой устойчивостью к биологическому обрастанию.

# Покрытие из порошка WC-Co-Cr (86% -10% -4%) (*Amperit 554.074*) на поверхности стали (12X18H10T)



1. Материал покрытия с низкой пористостью (<1%).
2. Толщина слоя покрытия до 400 мкм.
3. Эффективность использования порошкового материала (DE) - 86%.
4. Производительность - 2,5 кг / час.
5. Высокая адгезионная прочность - 80 МПа (ASTM C633)
6. Средняя твердость 1100 HV0.3

# Термостойкие покрытия из порошка Co-25Cr-11Al-1Y на супер сплаве на основе никеля JS6U



1. Материал покрытия с пористостью <math><0,5\%</math>.
2. Толщина слоя покрытия до 250 мкм.
3. Эффективность использования порошкового материала (DE) > 85%.
4. Средняя твердость 600 HV0.3

# Четырехслойное керамическое покрытие повышенной толщины (>0,5 мм)

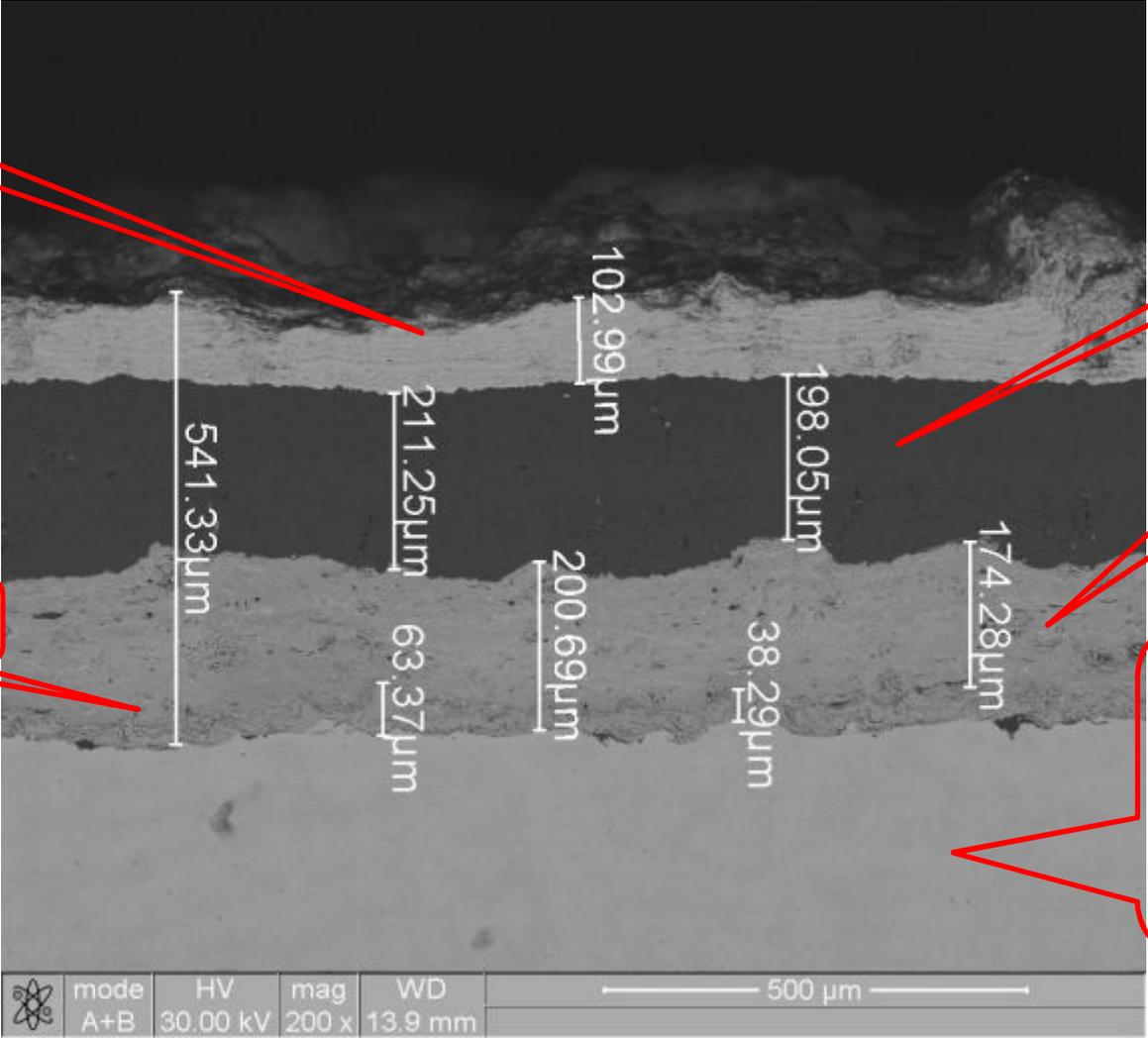
ZrB<sub>2</sub>+MoSi<sub>2</sub>

CoCrAlNiSi

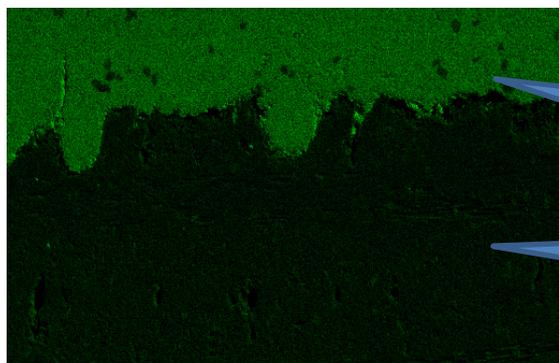
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

ZrO<sub>2</sub>+SiO<sub>2</sub>

**High-temperature alloy:**  
9% Cr; 10% Co; 10% W;  
20% Mo; 1% Mb; 5,5% Al;  
5% Ti; 0,3% C; 0,02% Ce;  
0,04% Zr; 0,035%, B



# МНОГОСЛОЙНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДУГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА УУКМ



Al



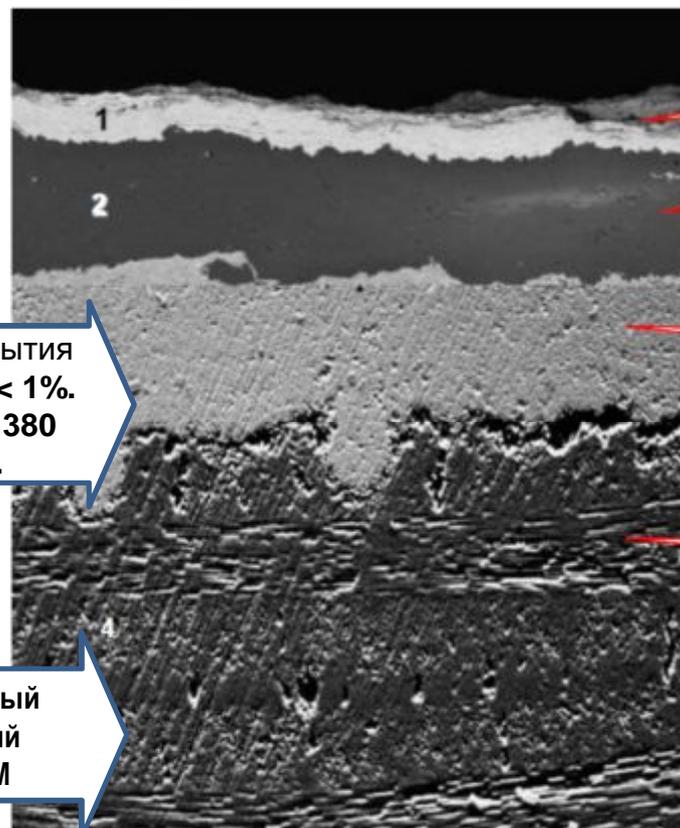
C

O2

C

Al2O3

На слой алюмооксидной керамики возможно нанести нано-композиционные керамические материалы, например:  
теплозащитные ( $ZrO_2+SiO_2$ ) + оксиды PM3  
жаростойкие ( $ZrB_2-MoSi_2$ ) + титанаты B,Zr...



ZrB<sub>2</sub>+MoSi<sub>2</sub>

ZrO<sub>2</sub>+SiO<sub>2</sub>

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

УУКМ

Пористость покрытия керамики Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 1%.  
Твердость до 1380  
HV 0,3 МПа.

Углеродуглеродный  
композиционный  
материал УУКМ

# Формирование покрытия на поверхности изделий из текстолита



Глинозем  
(TiO<sub>2</sub> -70%  
+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -30%)



Бронза  
(Cu-base,  
Al 8,5...10,5%,  
Fe ≤ 4%)



Оксид алюминия  
(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);



Оксид алюминия  
на медной  
подложке  
(Cu-base,  
Al 8,5...10,5 %,  
Fe ≤ 4%)

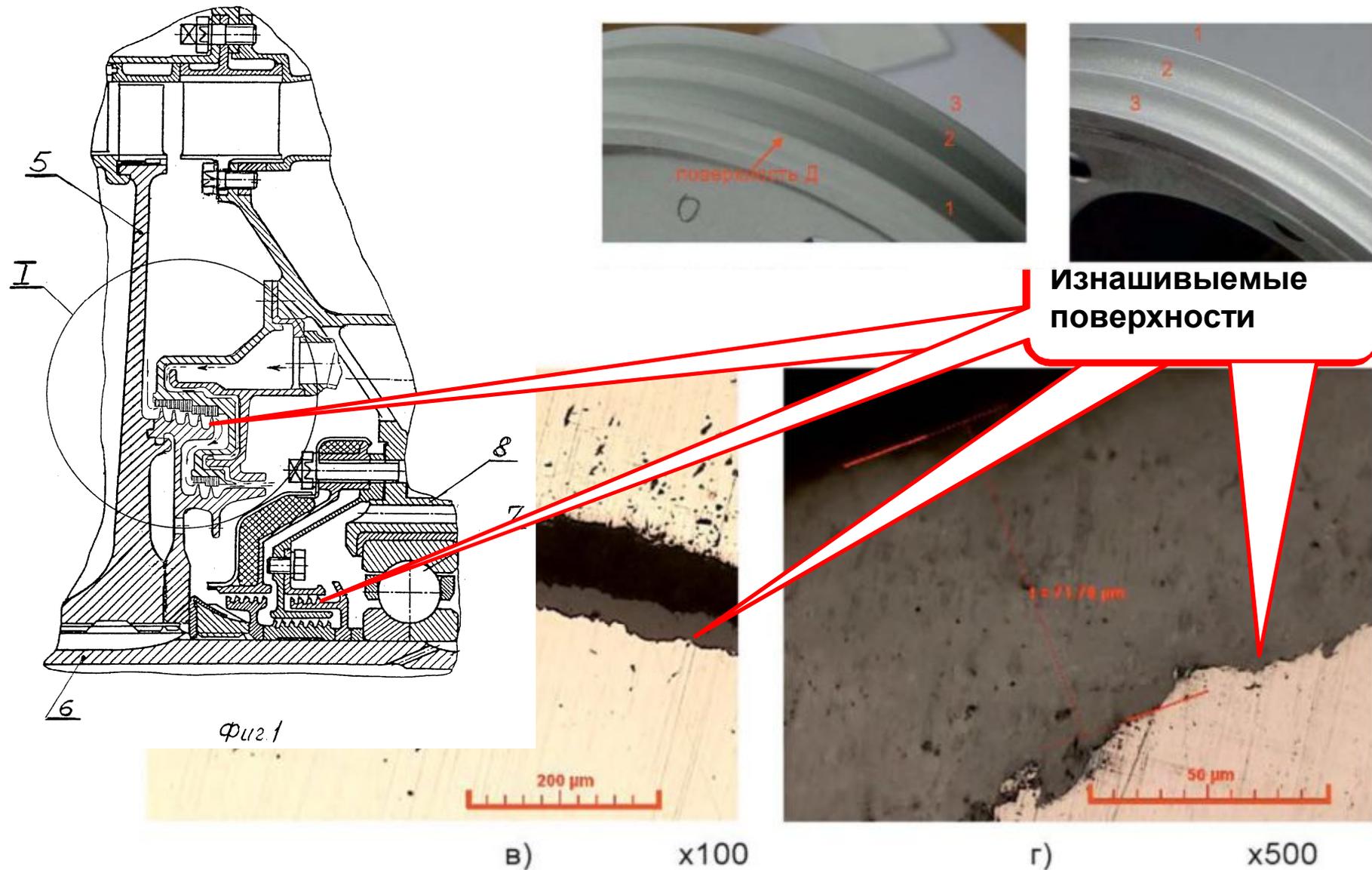


Никель  
(Ni-base, Al 5%)

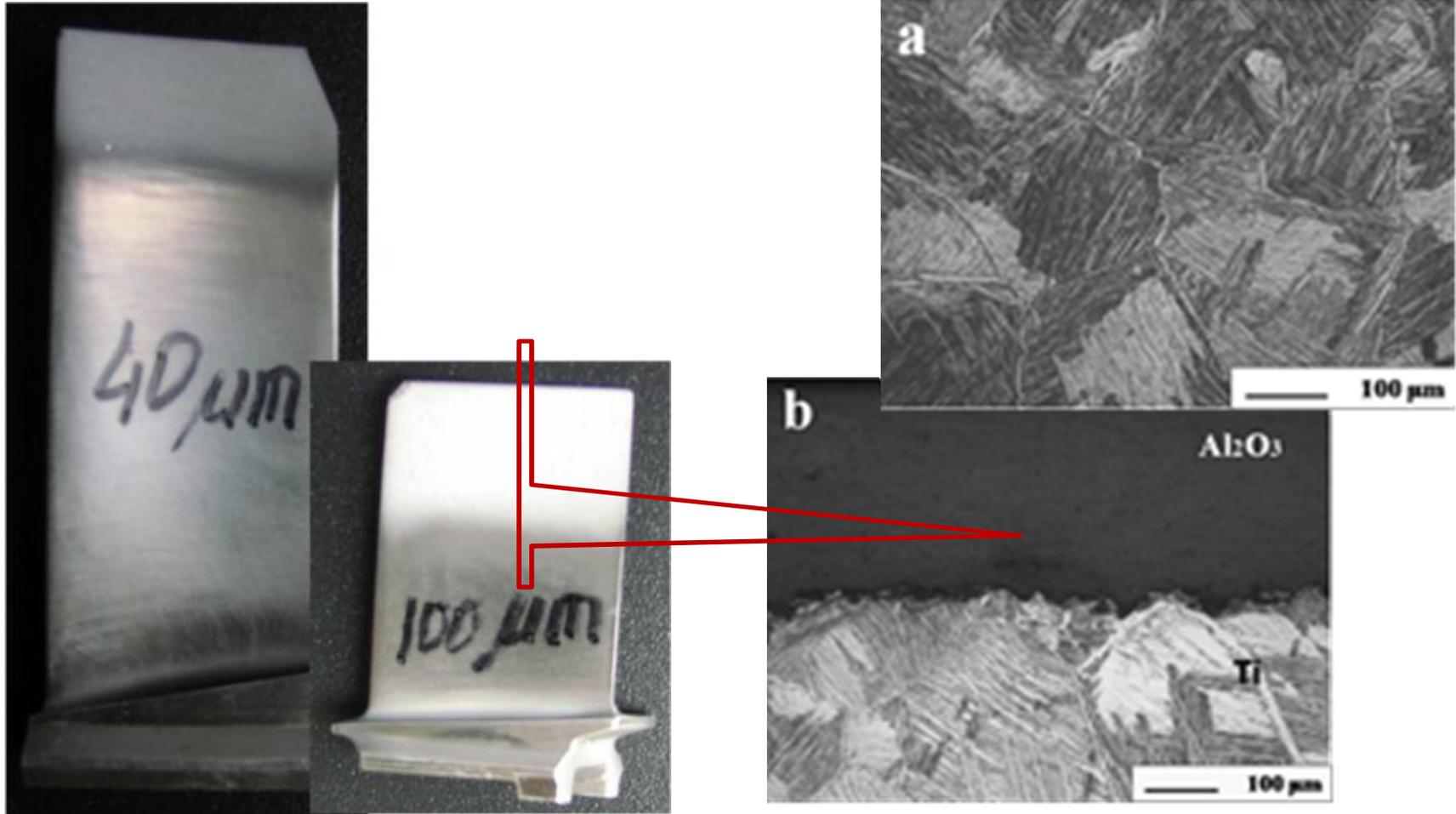


Разрушенный  
слой  
текстолита  
совместно  
с керамическим  
слоем

# Керамическое покрытие на рабочей поверхности лабиринтного уплотнения в турбине газотурбинного двигателя (ГТД)



# Керамическое покрытие на поверхности титановой лопатки турбины (ГТД)



Микроструктура (ОМ) титанового сплава OT4sv:

а) в начальном состоянии;

б) поперечное сечении покрытия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и титановой подложки.

# Керамическое покрытие на поверхности горелок

## POROUS (BULK) MATRIX

Экономические выгоды от использования инфракрасных горелок:

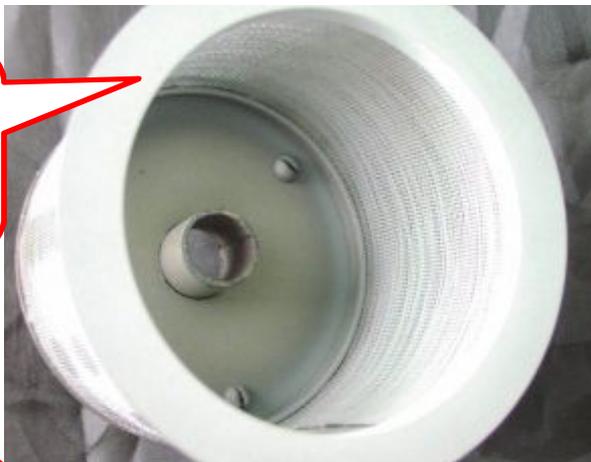
Отопление зданий - экономия до 50% в год.

Газовые обогреватели - экономия до 35-50%.

Снижение NOx и CO до уровня фона.

Увеличение урожайности парниковых культур.

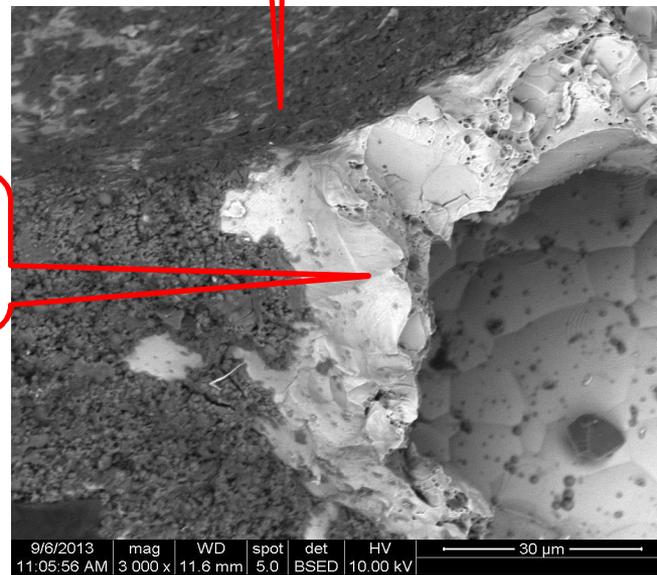
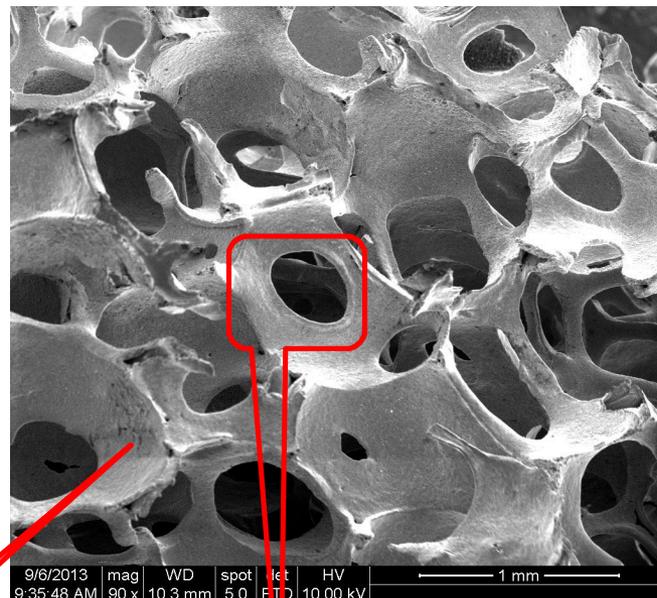
Porous burner (cylinder)



Porous (bulk) matrix



The coating Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



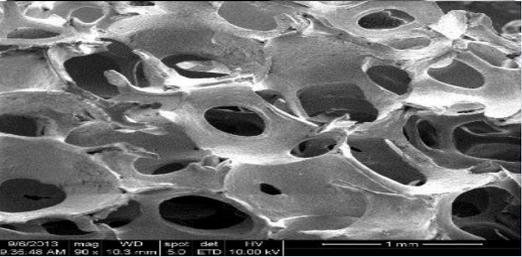
# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУМУЛЯТИВНО-ДЕТОНАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Наименование изделия	Материал		Условия Эксплуатации	Эффективность	Фотография изделия
	Изделия	Покрытия			
Польный вал электрического двигателя. <b>Геофизический прибор.</b>	BT-6	WC+CrNi	Гидроабразивный износ, вибрация и удары о статор двигателя.	Изделие отработало 2 года	
Корпус прибора. <b>Геофизический прибор</b>	BT-6	Al2O3	Гидроабразивный износ, абразив до 1 мм, давление до 200 атм.	Изделие отработало 2 года	
Отсекатель потока жидкости <b>Геофизический прибор.</b>	BT-6	Al2O3	Гидроабразивный износ, абразив до 1 мм, давление воды до 200 атм.	Изделие отработало 2 года	
Лопатка компрессора. <b>Авиационная турбина.</b>	OT-4	Al2O3+4%Ti	Трение торца лопатки о обечайку при скорости 1000 м/сек.	Изделие отработало. Износ покрытия не обнаружен.	

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУМУЛЯТИВНО-ДЕТОНАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Наименование изделия	Материал		Условия Эксплуатации	Эффективность	Фотография изделия
	Изделия	Покрытия			
Ротор винтового компрессора <b>Пневмопривод.</b>	<b>AlMgSi</b>	<b>WC+CoCr</b>	Сухое трение, абразив, пары воды, скорость ротора до 60 000 об/мин.	Износ покрытия не обнаружен	
Корпуса роторного двигателя <b>Авиация.</b>	<b>AK4-1</b>	<b>Al2O3</b>	Трение о поверхность стального ротора в условиях температур до 400 оС.	Двигатели работают на легкомоторной авиации. Износ покрытия не обнаружен	
Камера сгорания. <b>Дизельный двигатель.</b>	<b>AK-6</b>	<b>ZrSiO4</b>	Высокая температура, термоциклирования.	Покрытие работает без разрушения.	
Торцевой подшипник. <b>Гидравлика.</b>	<b>AK-4</b>	<b>Al2O3</b>	Абразивный износ в условиях давлений жидкости 40-80 атм.	Многokrратно увеличен ресурс работы шестеренчатого насоса	

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУМУЛЯТИВНО-ДЕТОНАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Наименование изделия	Материал		Условия Эксплуатации	Эффективность	Фотография изделия
	Изделия	Покрyтия			
Скребок печатный Полиграфия.	65Г –полоса, толщиной 0,6 мм.	WC+CrNi	Сухое трение и износ о краску, содержащую окислы металлов.	Партии скребков успешно эксплуатируются в промышленности.	
Полый вал Полиграфия.	40X	WC+CrNi	Трение о бумагу, содержащую окислы кремния	Партии валов успешно эксплуатируются в промышленности.	
Лабиринтное уплотнение. Авиационная турбина.	9% Cr; 10% Co; 10% W; 20% Mo; 1% Nb; 5,5% Al; ; 5% Ti; 0,3% C; 0,02% C e: 0,04%	Al2O3	Трения и износ о металлическую подложку при температуре до 800оС.	Покрyтие на поверхности уплотнения в турбине работает без разрушения.	
Пористая матрица. Газовая горелка.	CoCrAlNiSi	Al2O3	Окислительный износ в условиях температур до 1200 оС	Множyкратно увеличен ресурс работы сопел и горелки.	

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУМУЛЯТИВНО-ДЕТОНАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Наименование изделия	Материал		Условия Эксплуатации	Эффективность	Фотография изделия
	Изделия	Покрyтия			
Ролик печи отжига. <b>Металлургия.</b>	4X4BMΦC (ДИ-22)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +5%Ti	Износ при трении о стальной лист имеющий температуру 1000 оС.	Покрyтие на ролике не изнашивается в процессе эксплуатации.	
Ролик в прокатном стане. <b>Металлургия.</b>	35XГСА	WC+12%CoCr	Трение о поверхность нагретого стального проката.	Покрyтие на ролике не изнашивается при эксплуатации.	
Сферический запорный клапан. <b>Гидравлика.</b>	X18H9TK	WC+20CrNi	Механо-окислительный износ при высоких контактных нагрузках.	Покрyтие на поверхности сферы работает без разрушения.	
Плита кристаллизатора <b>Металлургия.</b>	Cu-1	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> +25%NiCr	Абразивный износ в условиях температур 600-1000оС и контакта со стальным слитком.	Множyкратно увеличен ресурс работы плит кристаллизаторов	