



# **Использование метода холодного газодинамического напыления (ХГН) для ремонта и модификации технологической оснастки**

***Устинов В.С., Лобынцев В.В., Акимов И.И.***

***Национальный Исследовательский Центр  
«Курчатовский Институт»  
г. Москва***

***Представлены некоторые результаты разработки и комплексных исследований опытной технологии модифицирования поверхности материалов и изделий различного назначения методом сверхзвукового воздушно – порошкового напыления, с целью предварительной обработки и возможного улучшения комплекса физико – механических характеристик и функциональных свойств изделий.***



## Содержание

**1 Метод холодного газодинамического напыления, ХГН («cold spray»- *англ.*)**

**2 Опыт применения метода ХГН в работах авторов**

**3 Возможные направления и перспективы использования ХГН**

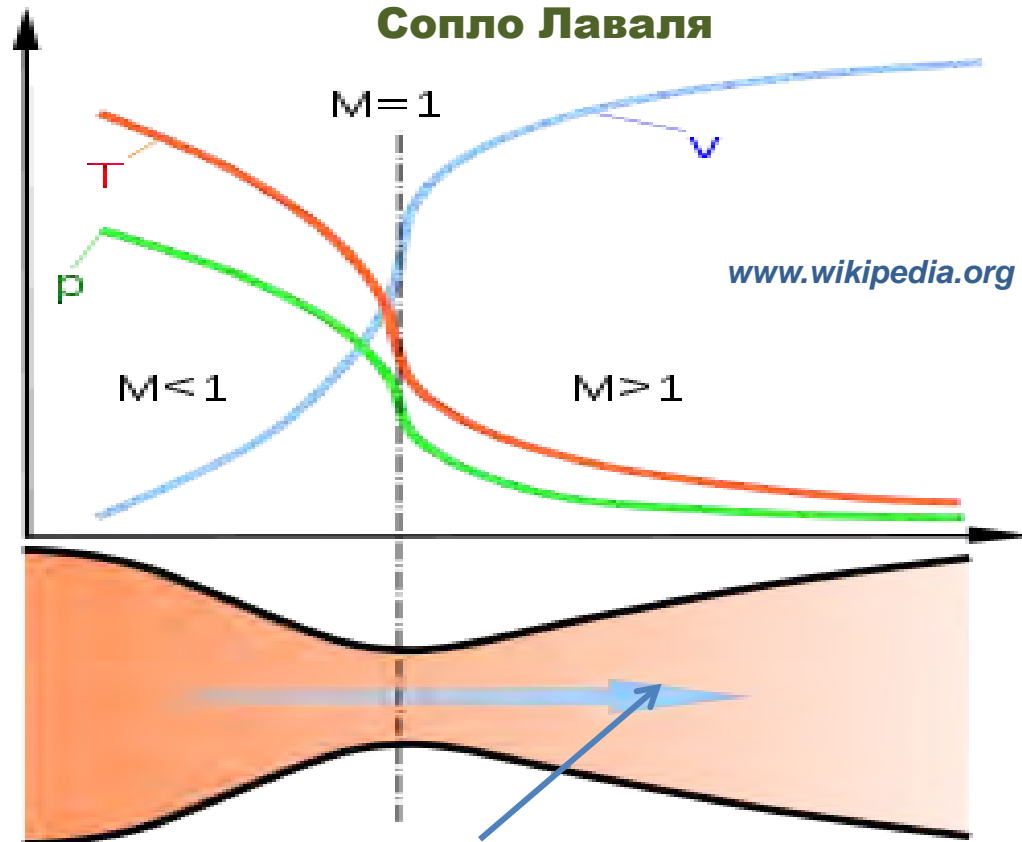
# Метод холодного газодинамического напыления («cold spray»)

## Физическая основа –

Эффект закрепления твёрдых частиц, движущихся со сверхзвуковой скоростью, на поверхности при соударении с ней. Обнаружен в экспериментальных исследованиях обтекания тел сверхзвуковыми гетерофазными потоками, ИТПМ СО РАН, Алхимов А. П., Нестерович Н. И., Папырин А. Н. Экспериментальное исследование обтекания тел сверхзвуковым двухфазным потоком. — ПМТФ, 1982, № 2, с.66-74.

## Реализация –

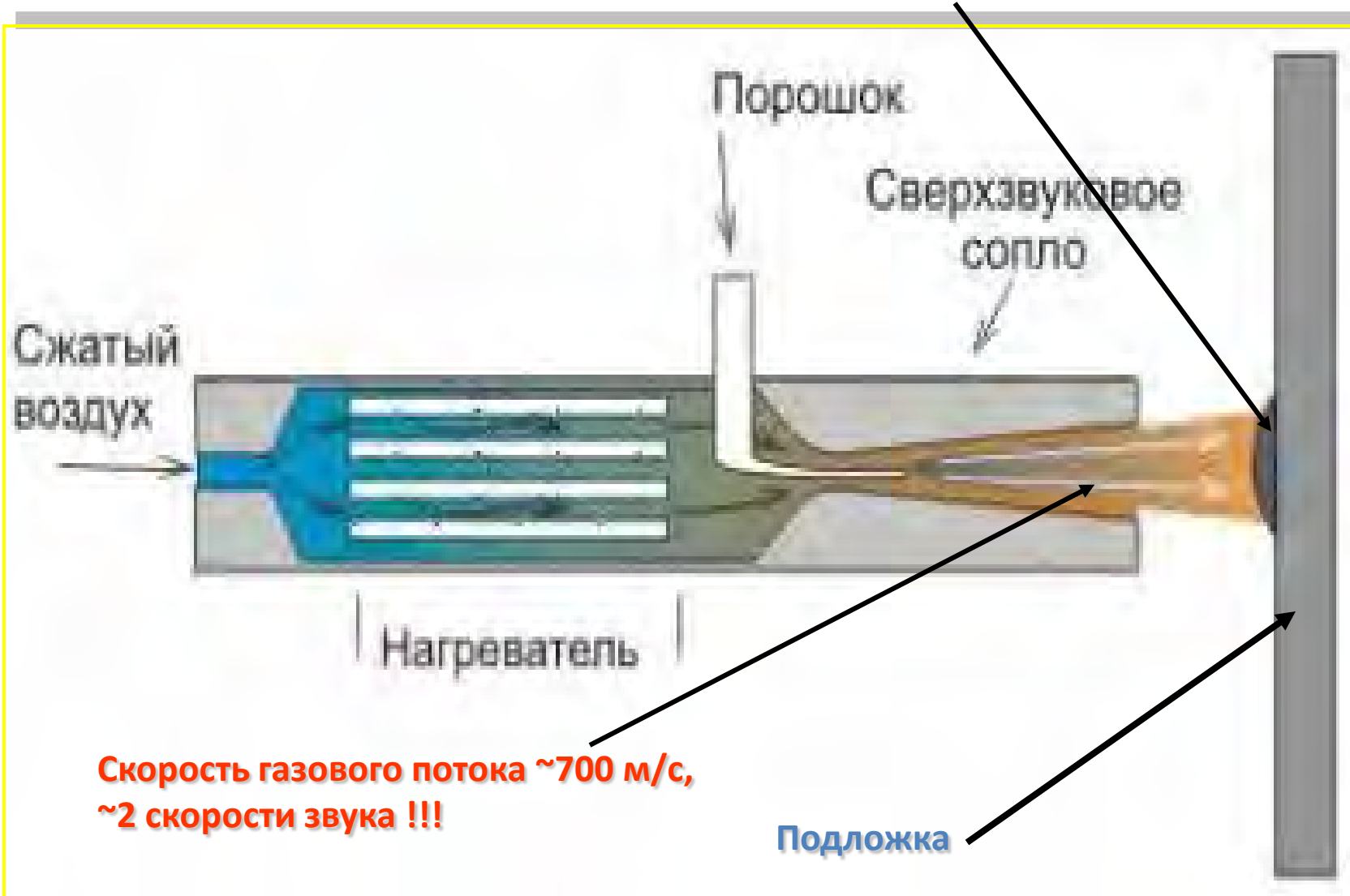
### Сопло Лавала



По мере движения газа по соплу, его абсолютная температура  $T$  и давление  $P$  снижаются, а скорость  $V$  возрастает.  $M$  — число Маха

# Схема напылительного блока

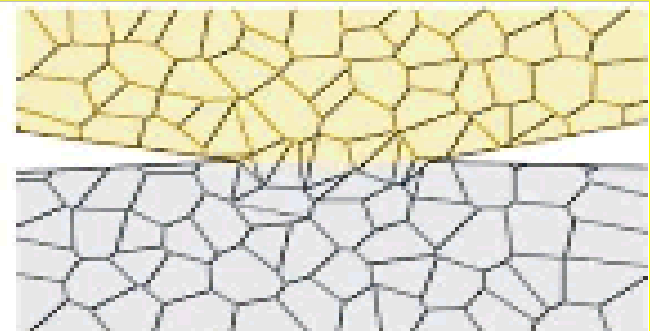
Формируемое покрытие



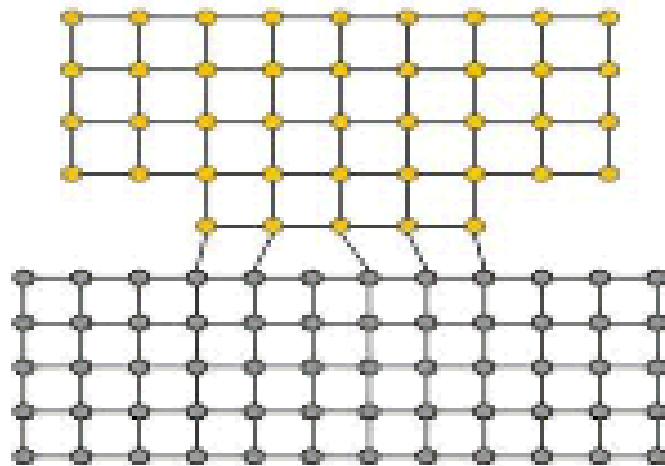
Скорость газового потока  $\sim 700$  м/с,  
 $\sim 2$  скорости звука !!!

# Взаимодействие летящих частиц и подложки: эрозионно - адгезионный переход

Пластическая деформация частиц и подложки



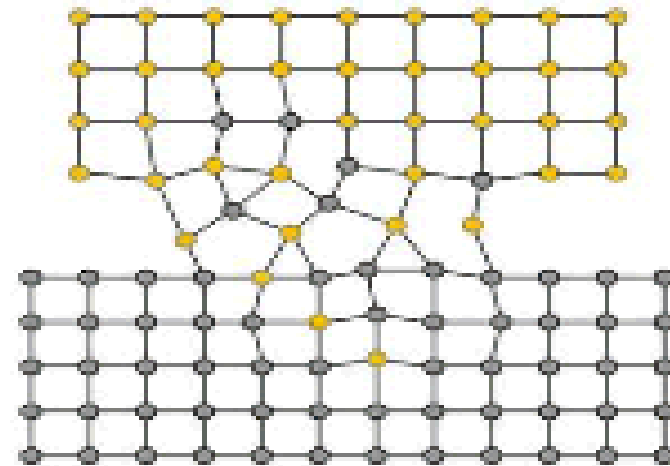
Структура зерна  
в пятне контакта



Частица

Подложка

Металлическая связь  
без плавления



Микросварка на отдельных  
участках плавления

# Варианты ХГН

1

«ХГН высокого давления»  
(High Pressure Cold Spray).

Рабочие газы – азот, гелий  
Давление - выше 15 атм  
Расход газа- более 2 куб.м/мин.,  
Мощность подогрева - более 18 кВт.  
Напыляемые материалы-  
металлические  
порошки  
дисперсностью  
5-50 мкм.

2

«ХГН низкого давления»  
(Low Pressure Cold Spray).

Рабочий газ - сжатый воздух  
Давление- (5-10 атм),  
Расход - 0,5 куб.м/мин,  
Мощностью подогрева- 3-5 кВт.  
Напыляемые материалы-  
механические смеси  
металлических  
и керамических  
порошков  
дисперсностью  
до 200 мкм.

**Очень привлекательно технически и технологически!!!**

## Преимущества технологии нанесения покрытий ХГН - методом

- Простота аппаратного оформления
- Удобство и маневренность процесса
- Высокая скорость процесса
- Многофункциональность

- необходим только сжатый воздух и электроэнергия;
- нет нагрева и окисления металла частиц и подложки,
- температура подложки меньше 100—150 град С ;**
- экологическая безопасность (нет вредных и агрессивных газов, жидкостей, излучений, химически агрессивных отходов и др. опасных факторов);
- не требуется тщательной подготовки поверхности;
- **локальность нанесения покрытия (с четкими границами);**
- возможно нанесение многокомпонентных покрытий с переменным содержанием компонентов по его толщине;**
- технологическая простота нанесения покрытий.

**Удешевление  
без снижения  
качества,  
при вероятном  
повышении  
качества**

# ХГН низкого давления

## Напыляемые материалы

Al, Zn, Cu, Ni, Ti, Fe,  
Cr, V, Sn, Pb и др.),  
сплавы (баббит и др.),  
многокомпонентные  
механические смеси металлов с  
керамическими порошками



## Материал подложки

металлы  
диэлектрики  
керамика  
стекло  
и даже...  
вакуумная резина,  
углепластик!

## Свойства покрытий

Значение адгезии 30 - 80 МПа,  
Низкая пористость 1 - 7 %,  
толщина слоя 10 - 10000 мкм.  
производительность по массе  
наносимого покрытия до 6 г/мин (по Al).





# Портативные мобильные установки ХГН низкого давления

Оборудование серии ДИМЕТ®

ДИМЕТ®405



ДИМЕТ®403



ДИМЕТ®402



ДИМЕТ®421

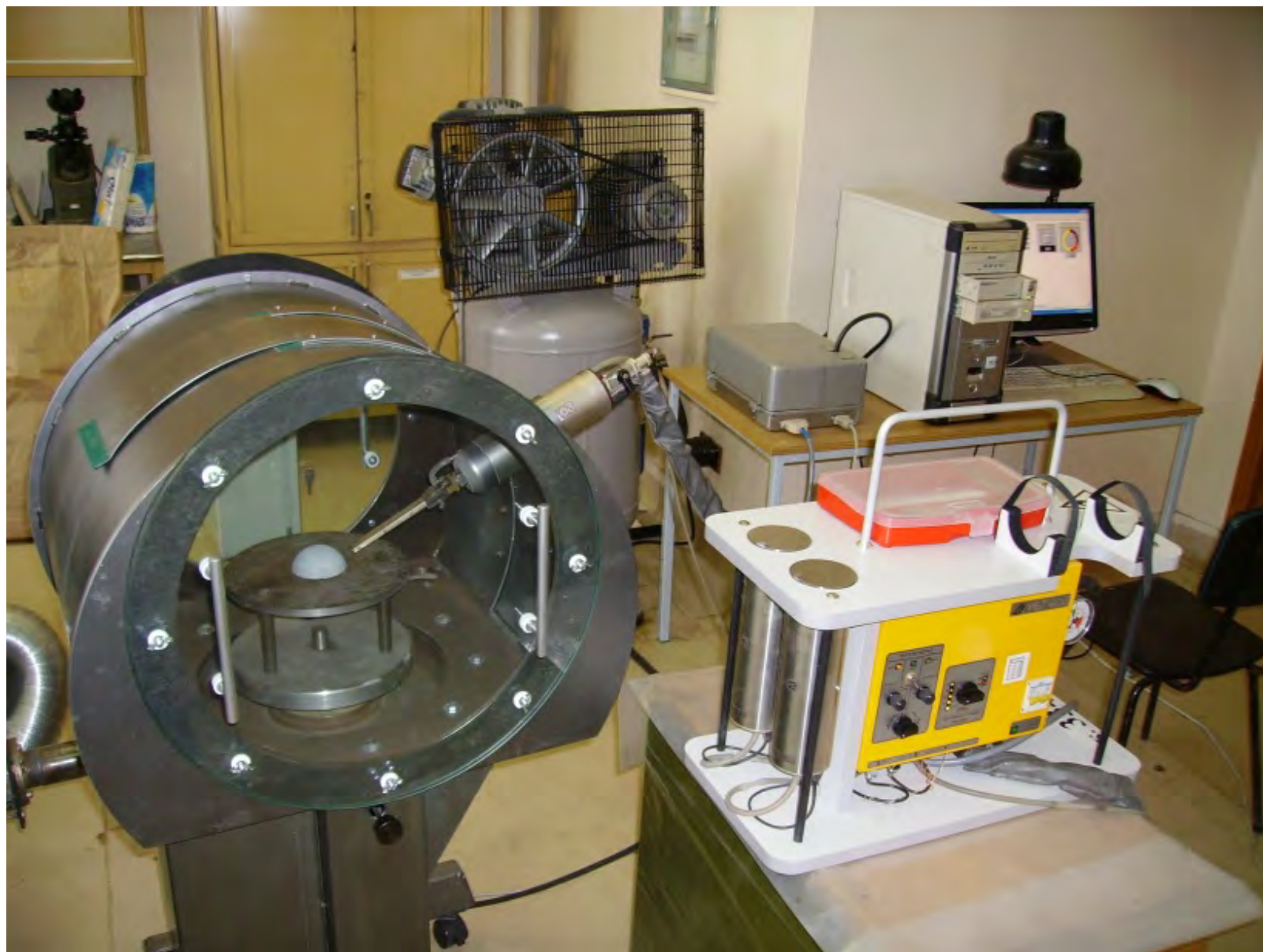
[www.dymet.net](http://www.dymet.net)

ДИМЕТ®412



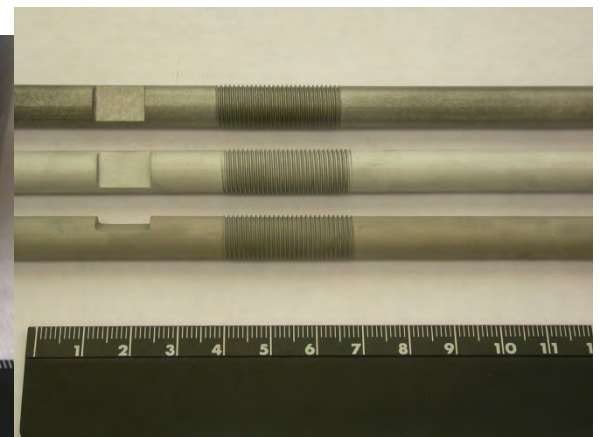
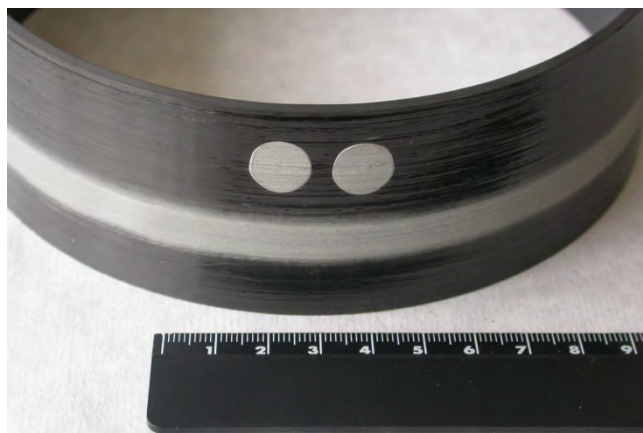
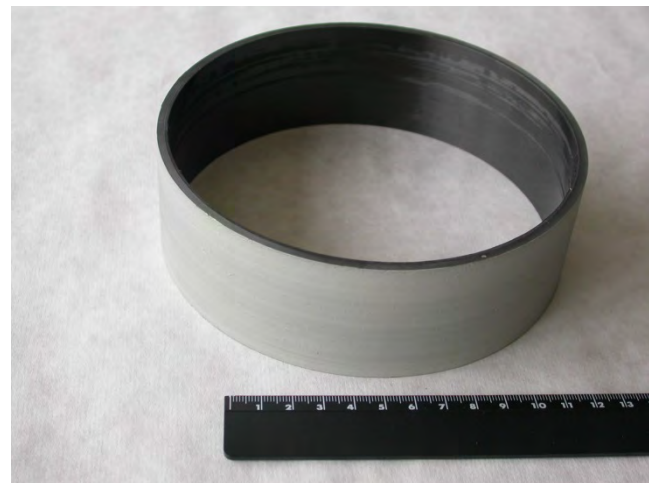
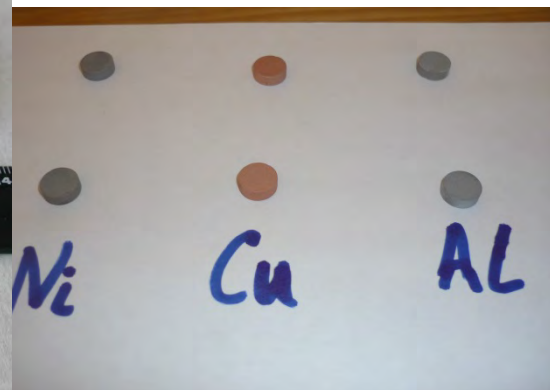


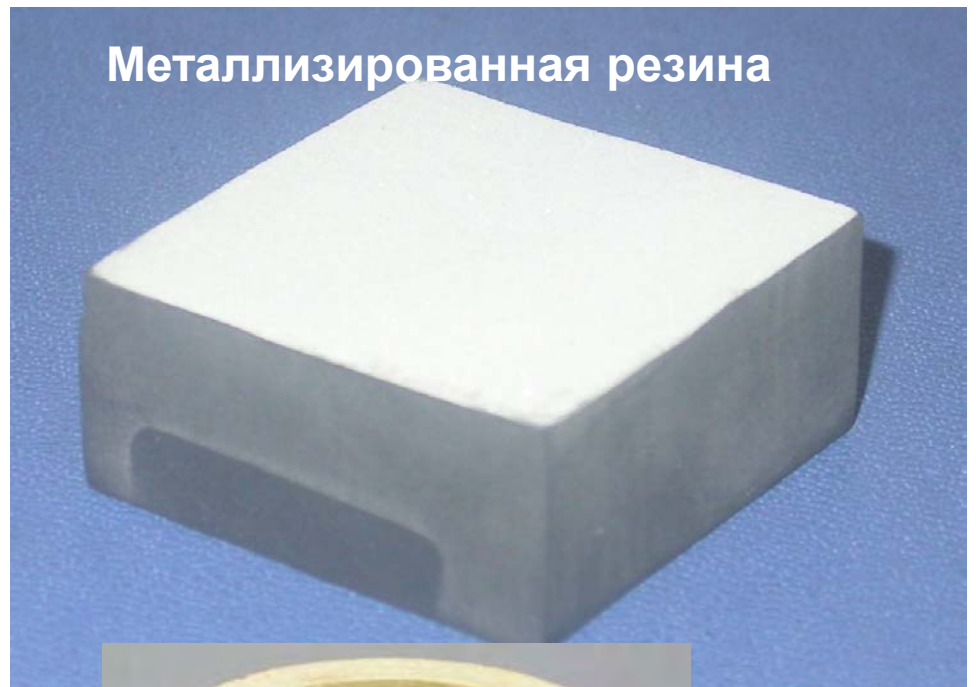
# Автоматизированный комплекс оборудования на базе ДИМЕТ403 для нанесения покрытий методом сверхзвукового воздушно-порошкового напыления





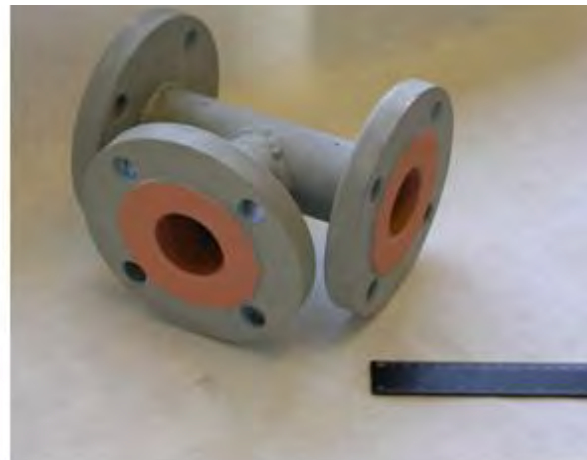
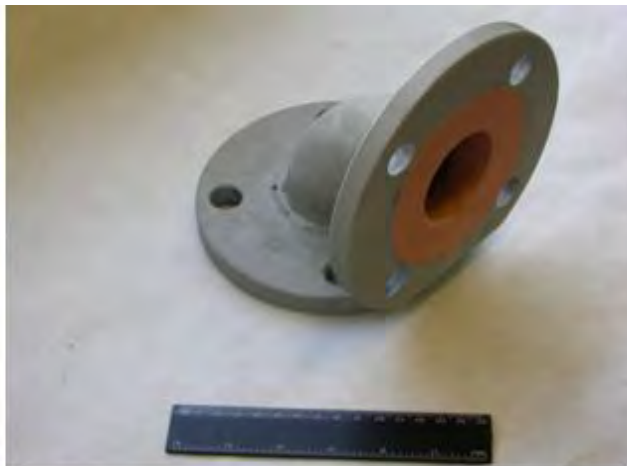
## Изделия с ХГН –покрытиями







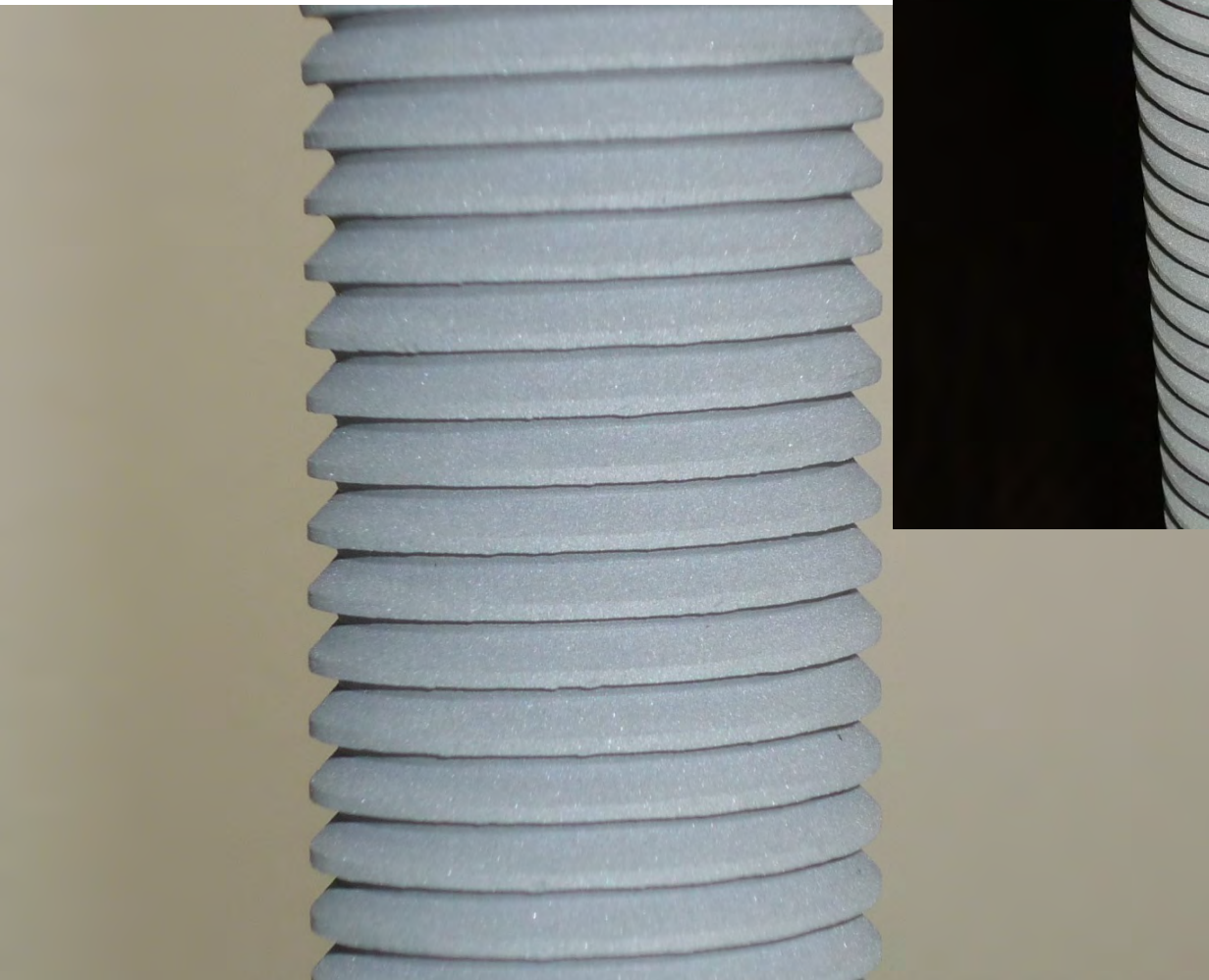
## Локальные покрытия на изделиях сложной формы



# «Холодная» сварка







**Коррозионностойкие покрытия прецизионной толщины  
на «неметрической» резьбе**



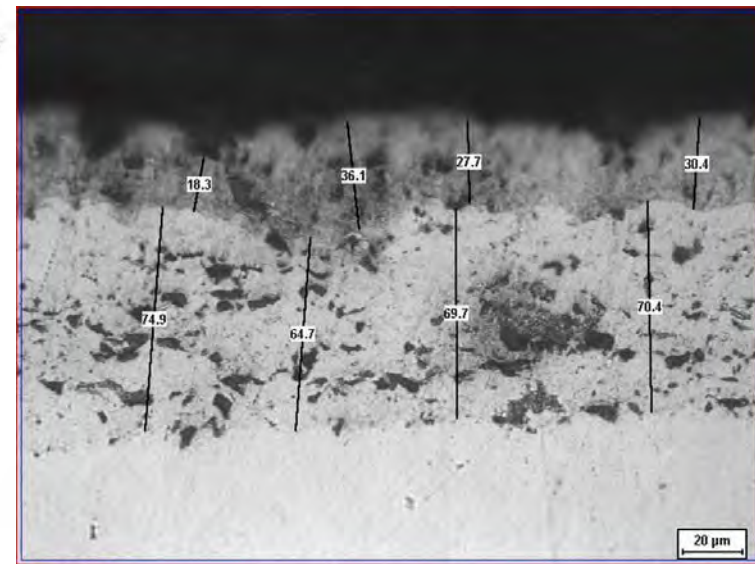
x200

Ti-покрытие



x500

Подложка Ti-сплав



**Покрyтия на эндопротезах,  
регулируемая пористость**

**Изображение пористого Ti-покрытия на подложке Ti-эндопротеза после ТО**





1 компонент

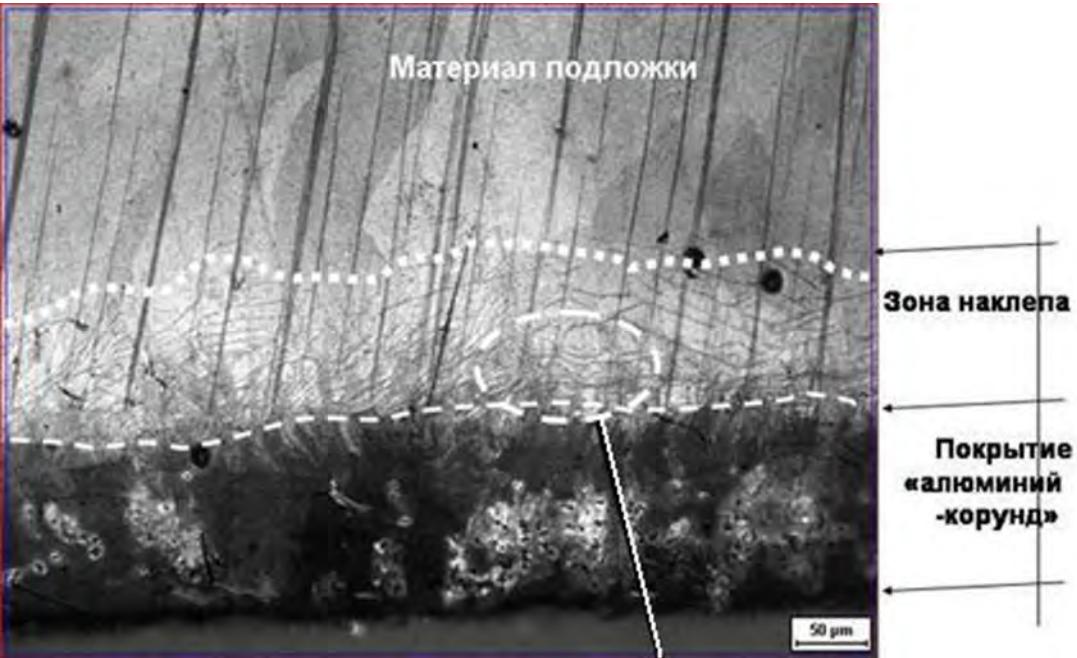
# Жаростойкое покрытие на «нежаростойком» металле

Многокомпонентное  
покрытие Ni-Cr-Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

1200 град С, 100 часов

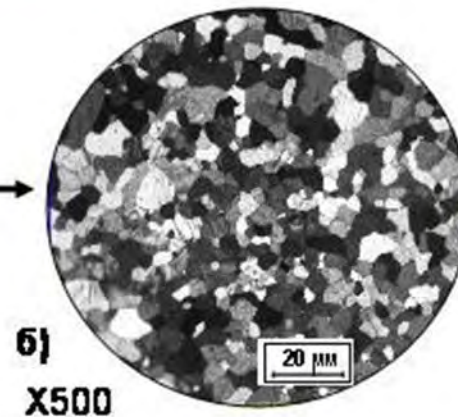


## Влияние ХГН на структуру поверхности подложки



а) X200

Наклепанный слой  
в образце после обработки  
сверхзвуковым  
воздушно – порошковым  
ПОТОКОМ.  
а) после обработки поверхности;  
б) после рекристаллизационного  
отжига

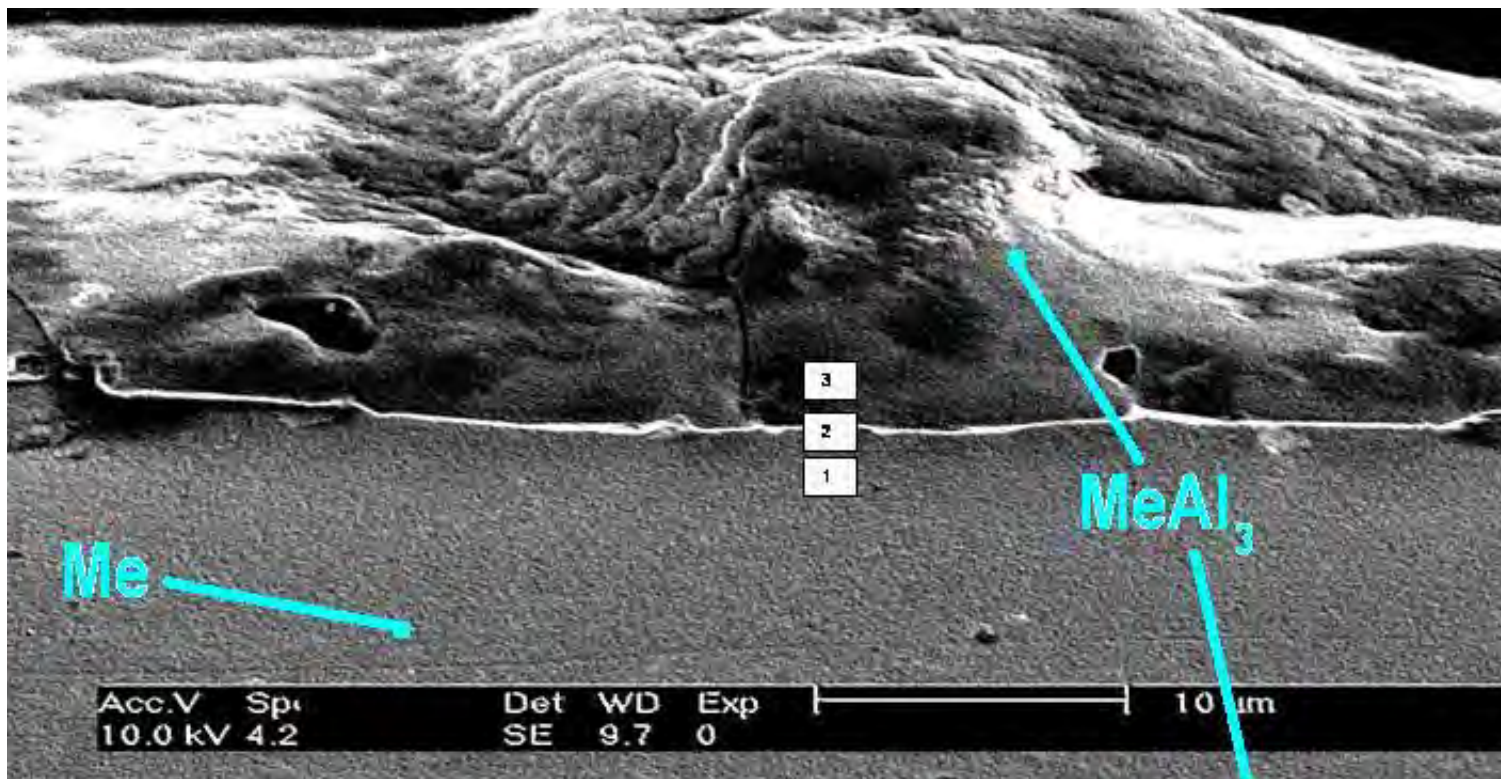


б)  
X500

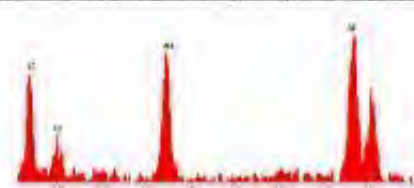




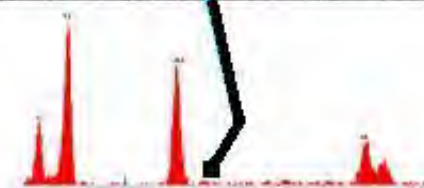
## Получение интерметаллидного покрытия на металле



Elem	Wt %	At %
C K	0.53	6.40
O K	3.87	35.21
Me	95.60	58.39
Total	100.00	100.00



Elem	Wt %	At %
C K	0.54	4.17
O K	3.70	21.28
AlK	12.42	42.35
Me	83.34	32.21
Total	100.00	100.00

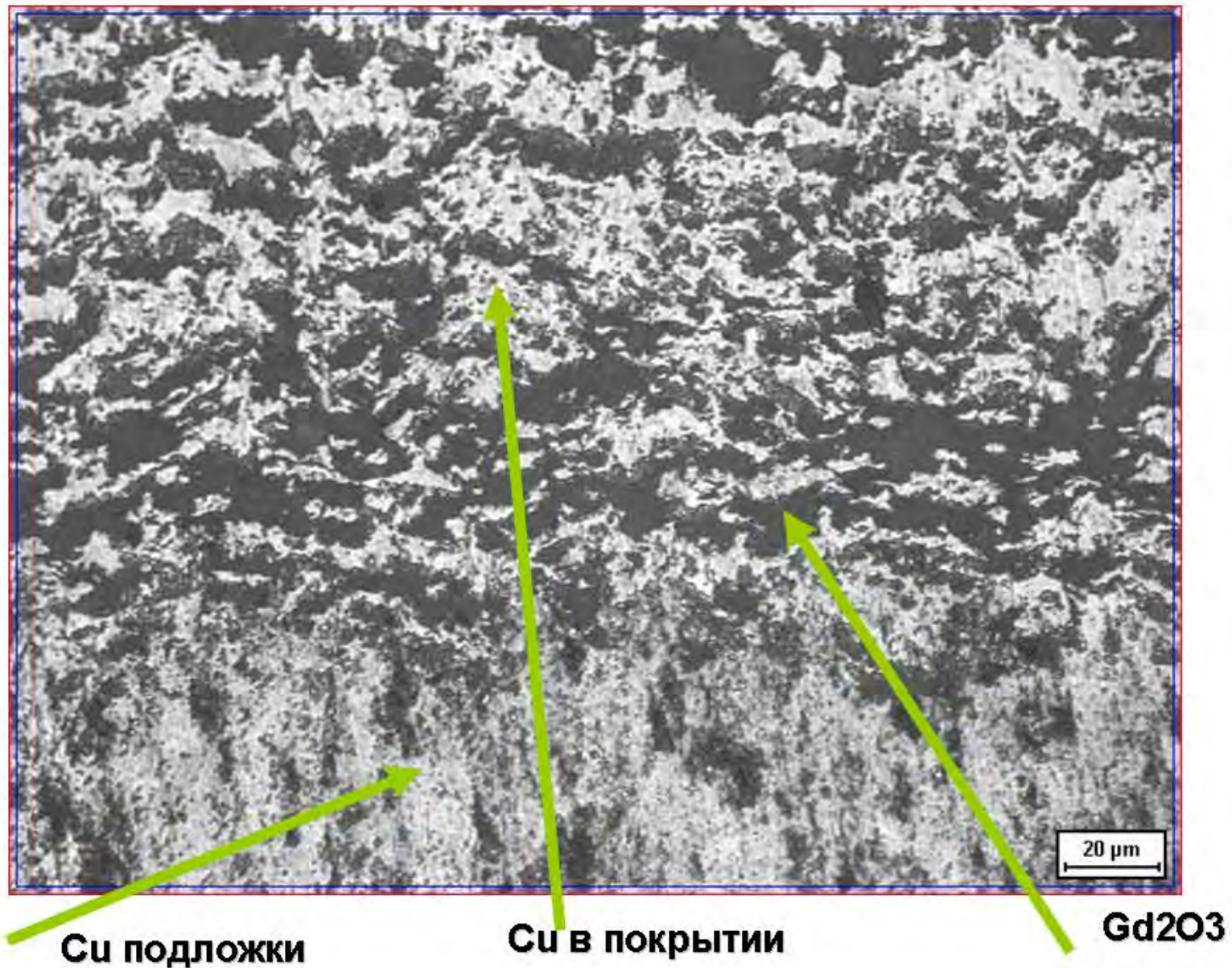


Elem	Wt %	At %
C K	1.02	3.36
O K	23.71	58.62
AlK	19.63	28.77
Me	55.65	9.25
Total	100.00	100.00

Слой интерметаллида на поверхности образца (СЭМ, МРСА).

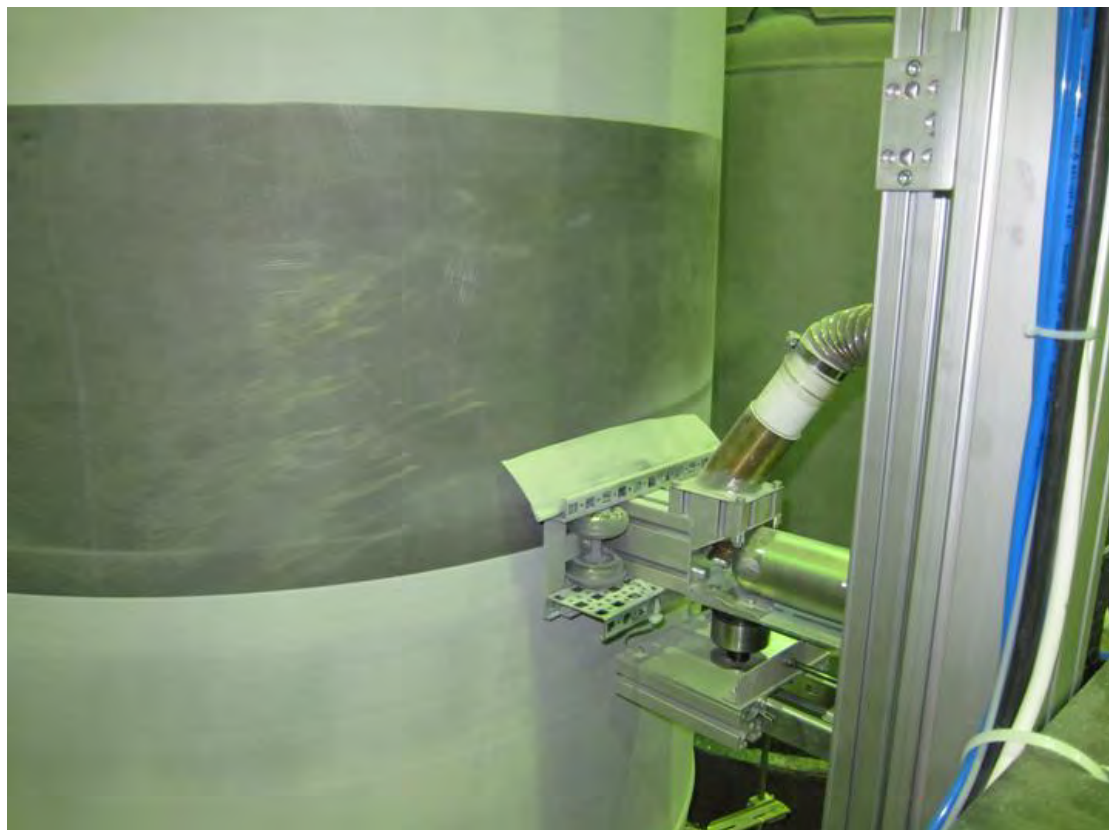
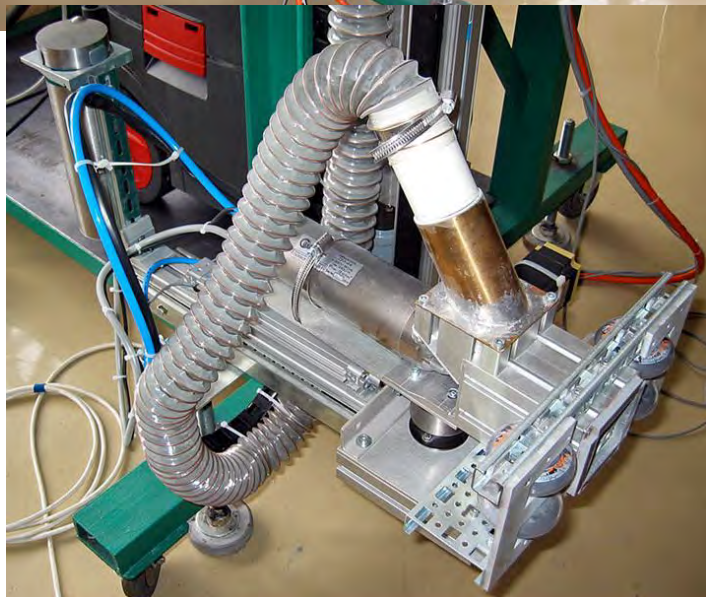
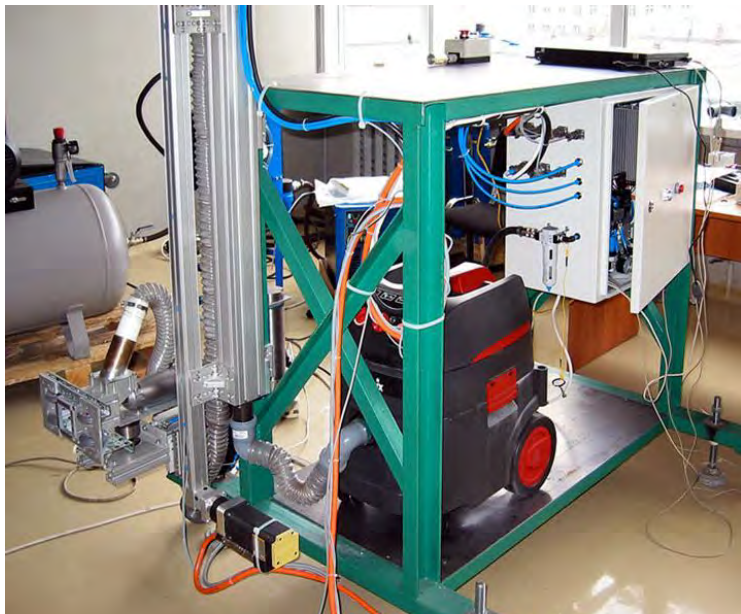


## Композиционные металлокерамические покрытия(пример)





## Адаптация метода ХГН к крупногабаритным изделиям



**Роботизированный комплекс оборудования  
для нанесения  
покрытий на крупногабаритные емкости  
методом сверхзвукового  
воздушно-порошкового  
напыления**



## Покрyтия на крупногабаритных изделиях



## Многокомпонентные покрытия на сверхкрупногабаритных изделиях





# Пламенно-реактивная абразивно-напылительная система

## ПРАНС-аппарат



[WWW.GVPB.RU](http://WWW.GVPB.RU)

**Сочетание методов и оборудования  
ХГН и ПРАНС- технологии**

**- радикальное расширение  
областей применения и  
увеличение  
производительности**





## РЕЗЮМЕ

- Метод сверхзвуковой газодинамической воздушно – порошковой обработки поверхности различных материалов и изделий с использованием керамических и металлических порошковых смесей перспективен для применения в качестве альтернативы электрохимии, ГТН, PWD и ЛКП, в том числе для крупногабаритных изделий, а также при необходимости локальных работ;
- Оборудование для реализации метода ХГН может быть существенно модернизировано с целью автоматизации процессов, повышения экологической безопасности и производительности.
- При использовании метода ХГН возможно формирование многофункциональных и многокомпонентных покрытий, как тонкопленочных , так и покрытий толщиной свыше 1 мм, обладающих высокой адгезией к подложке.
- Представляется целесообразным рекомендовать высокоскоростной метод сверхзвуковой воздушно-порошковой обработки поверхности для решения спектра задач, связанных с технологической оснасткой различного назначения.

**Спасибо за внимание!**