

ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Кузьмин В.И.



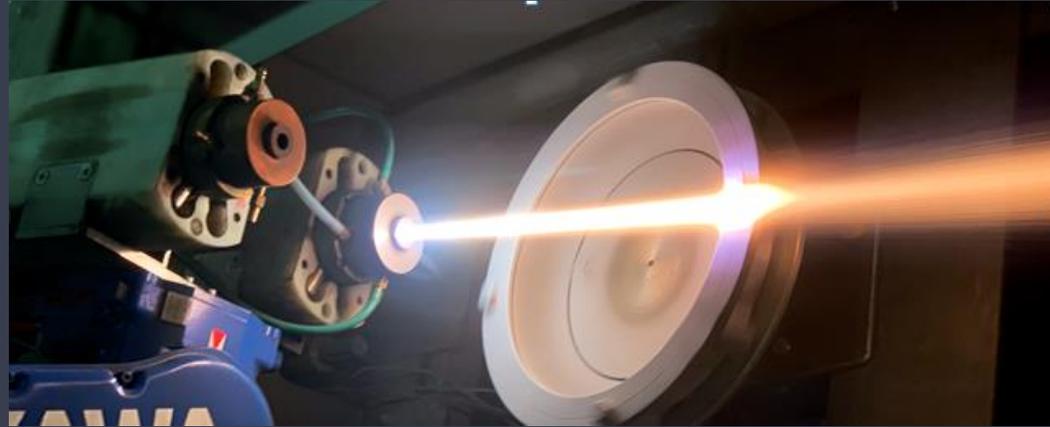
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
СО РАН, Новосибирск



Сибирский государственный университет водного транспорта,
Новосибирск



АТМОСФЕРНОЕ ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ



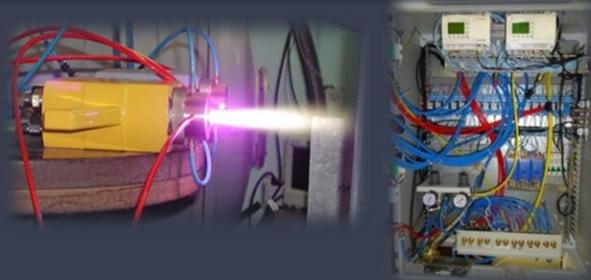
- Частицы порошкового материала подаются в высокоскоростную плазменную струю, нагреваются, плавятся, ускоряются и формируют покрытие на поверхности детали.
- АПН применяется для восстановления геометрии, упрочнения и защиты рабочих поверхностей деталей различных машин, механизмов и конструкций.
- Назначения покрытий: износостойкие (истирание, эрозия, фреттинг, кавитация), коррозионная и химическая защита, тепловая защита, электроизоляция и электропроводность, антифрикционные, прирабатываемые уплотнения и т.д.
- Широкий выбор материалов: *металлы и сплавы* (стали, $MeCrAlY$, Al , Co , Cu , Ni , Ti), *оксиды* (Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2 , TiO_2 , Cr_2O_3), *карбиды* (WC , Cr_3C_2 , B_4C), *металлокерамика и композиты* и т. д.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

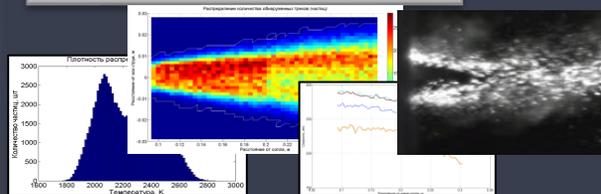
- Работа при атмосферном давлении.
- Высокая температура плазменных потоков (3000-12000 К) позволяет наносить покрытия из наиболее тугоплавких материалов.
- Широкий диапазон скоростей напыляемых частиц позволяет управлять структурой и пористостью покрытий.
- Толщина покрытий от десятков микрон до нескольких миллиметров, высокая производительность процесса (до 30 кг/час).
- Широкий выбор материалов: металлы, сплавы, керамика, керметы и другие композиты.
- Низкая себестоимость нанесения покрытий (требуется только электроэнергия для работы плазменной установки и компрессора).



Разработка
напылительного
оборудования



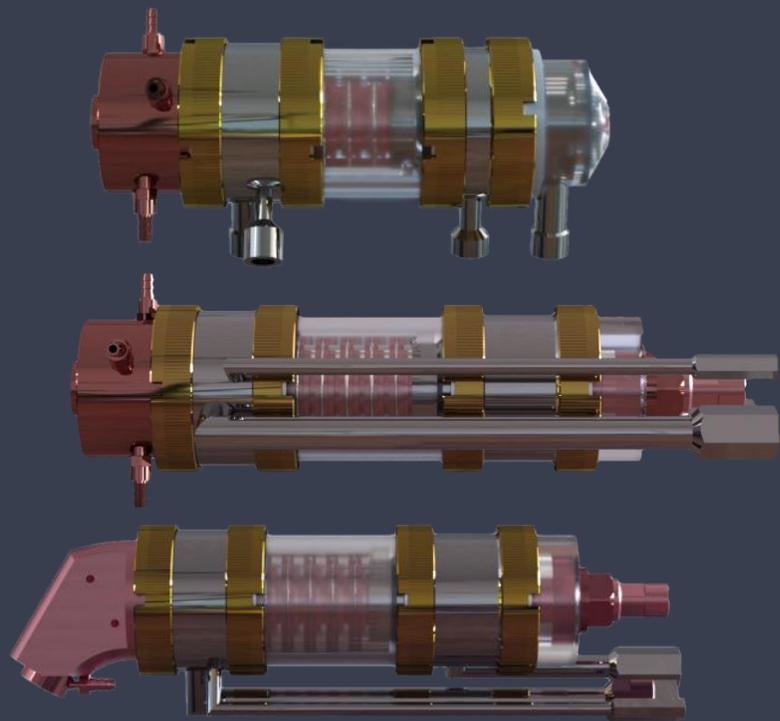
Диагностика
параметров
частиц в потоке
плазмы



Разработка
технологических процессов
напыления



СОСТАВ УСТАНОВКИ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ «ТЕРМОПЛАЗМА 50-04»



плазмотроны серии ПНК
30 – 90 кВт



пульт



источник
питания



БАО



модуль
переключения



дозаторы

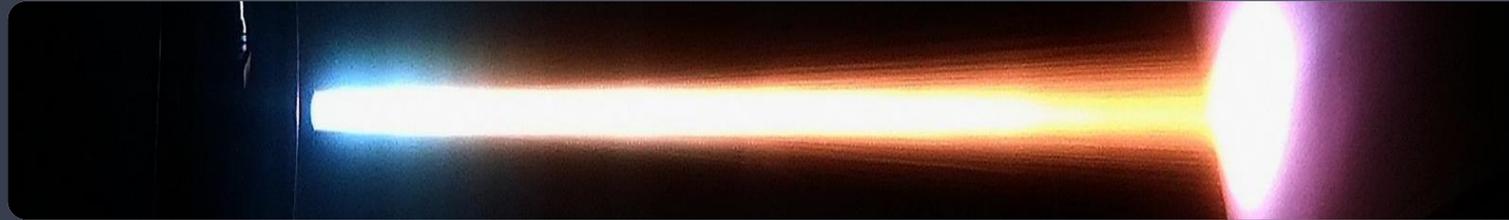
ПРЕИМУЩЕСТВА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ HVOF И HVOAF ТЕХНОЛОГИЙ



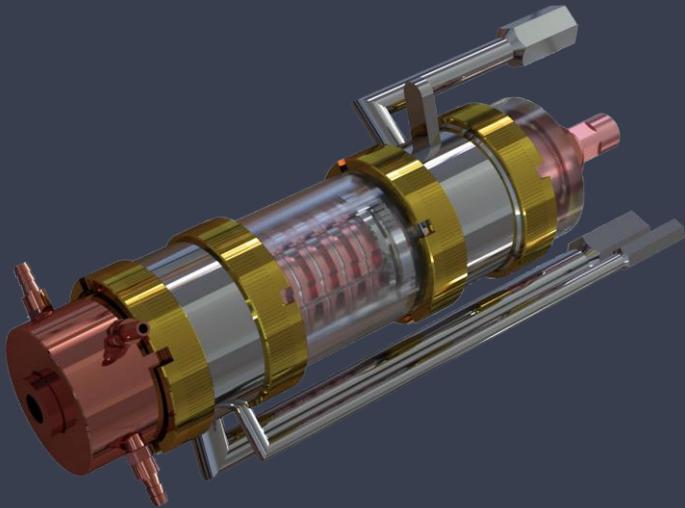
Сверхзвуковые гетерогенные потоки позволяют получать качественные покрытия с максимально возможными для газотермических методов адгезионными и когезионными характеристиками, минимальной пористостью

- Современная альтернатива канцерогенным гальваническим и дорогим вакуумным методам нанесения покрытий. Например металлокерамические покрытия, такие как WC, для различных плунжеров, штоков, валов взамен гальванического хромирования.
- Высокая скорость частиц обеспечивает адгезию не менее 80 МПа и пористость менее 1%, а твердосплавный напыляемый материал - твердость до 1700 HV.
- Высокая кинетическая энергия частиц позволяет наносить покрытия без плавления напыляемого материала (напыление пластифицированными частицами), что заметно снижает вероятность перегрева композита «основа-покрытие».
- Минимальное время нахождения частиц в высокотемпературном потоке существенно снижает возможность их окисления.

СВЕРХЗВУКОВОЙ ПЛАЗМОТРОН HV-APS



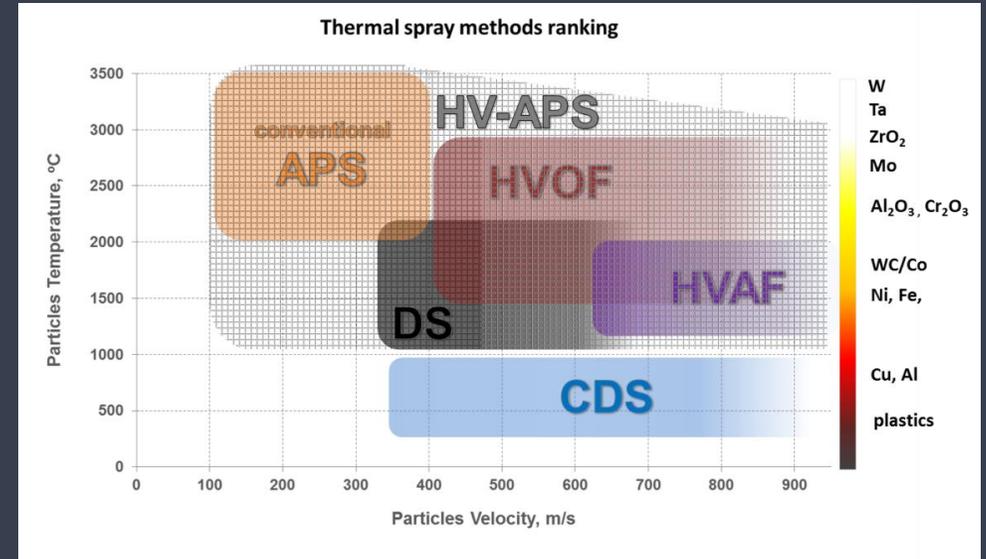
Сверхзвуковой плазменный поток HV-APS отличается от традиционного APS высокой скоростью и низкой температурой, что позволяет получать качественные покрытия на основе металлических материалов: пористость менее 1%, адгезионная прочность выше 80 МПа, минимальное окисление частиц.



ПНК-50



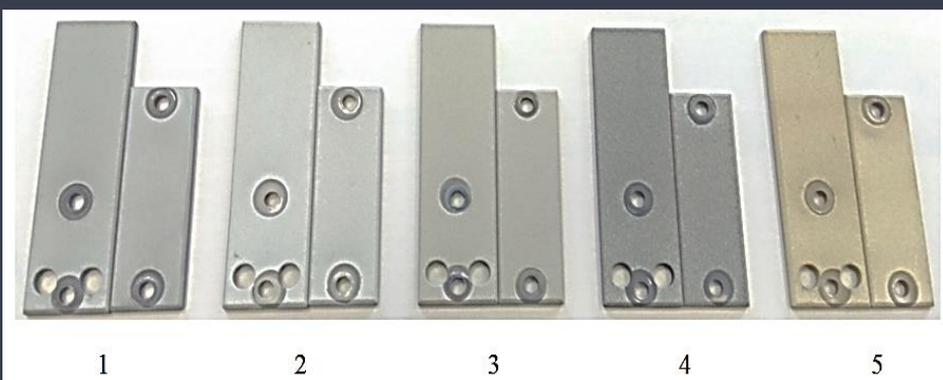
HVOF



НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ СВЕРХЗВУКОВЫМ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

№	Порошковый материал	Хим. состав, вес. %	Фракция порошка, мкм	Микротвердость материала покрытий, НВ
1	WC/10Co4Cr	WC – 86; Co – 10; Cr – 4	15...38	1050...1150
2	ПР-НХ16СР3	Ni – основа; Cr – 16; Si - 3,2; B - 2,7; C – 0,75	20...63	370...410
3	ПВ-Н85Ю15	Ni – основа; Al - 15	40...100	340...350
4	ПВ-Н55Т45	Ni – основа; Ti - 45	40...100	300...350
5	ПР-БрАЖНМц 8,5-4-5-1,5	Cu – основа; Al - 8,5; Fe – 4; Ni – 5; Mn - 1,5	40...100	110...130

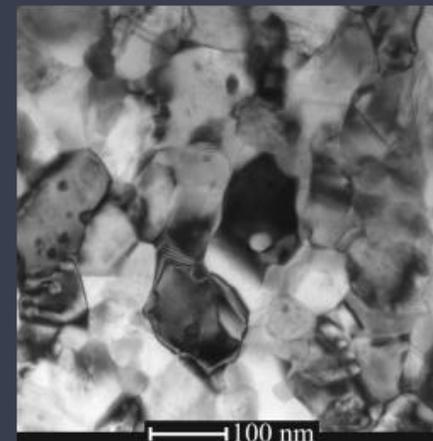


ПРИ ВЫБОРЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЛИНЕЙКИ МАТЕРИАЛОВ УЧИТЫВАЛСЯ ИМЕЮЩИЙСЯ У АВТОРОВ ОПЫТ ЗАЩИТЫ ДЕТАЛЕЙ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВОГО КОМПЛЕКСА РЕЧНЫХ СУДОВ ОТ ГИДРОАБРАЗИВНОГО И КАВИТАЦИОННОГО ИЗНОСОВ С ПОМОЩЬЮ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ.

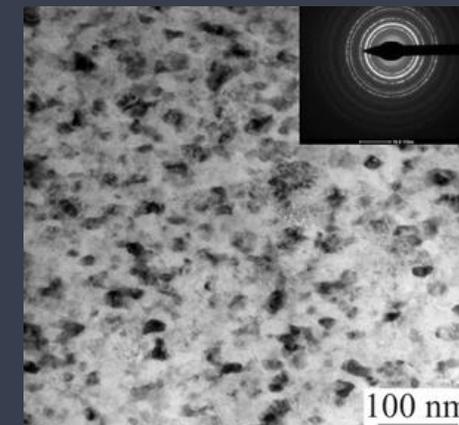
ЭФФЕКТ ПОВЫШЕНИЯ ТВЁРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ

МИКРОТВЁРДОСТЬ HV_{100} ПОКРЫТИЙ

МАТЕРИАЛ	ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ	НАПЫЛЁННЫЕ ПОКРЫТИЯ
WC/10Co4Cr	1050 - 1150	1250
Ni-Cr-B-Si-C	370 - 410	731
Ni-Al	340 - 350	430
Ni-Ti	300 - 350	641
БрАЖНМц	110 - 130	294

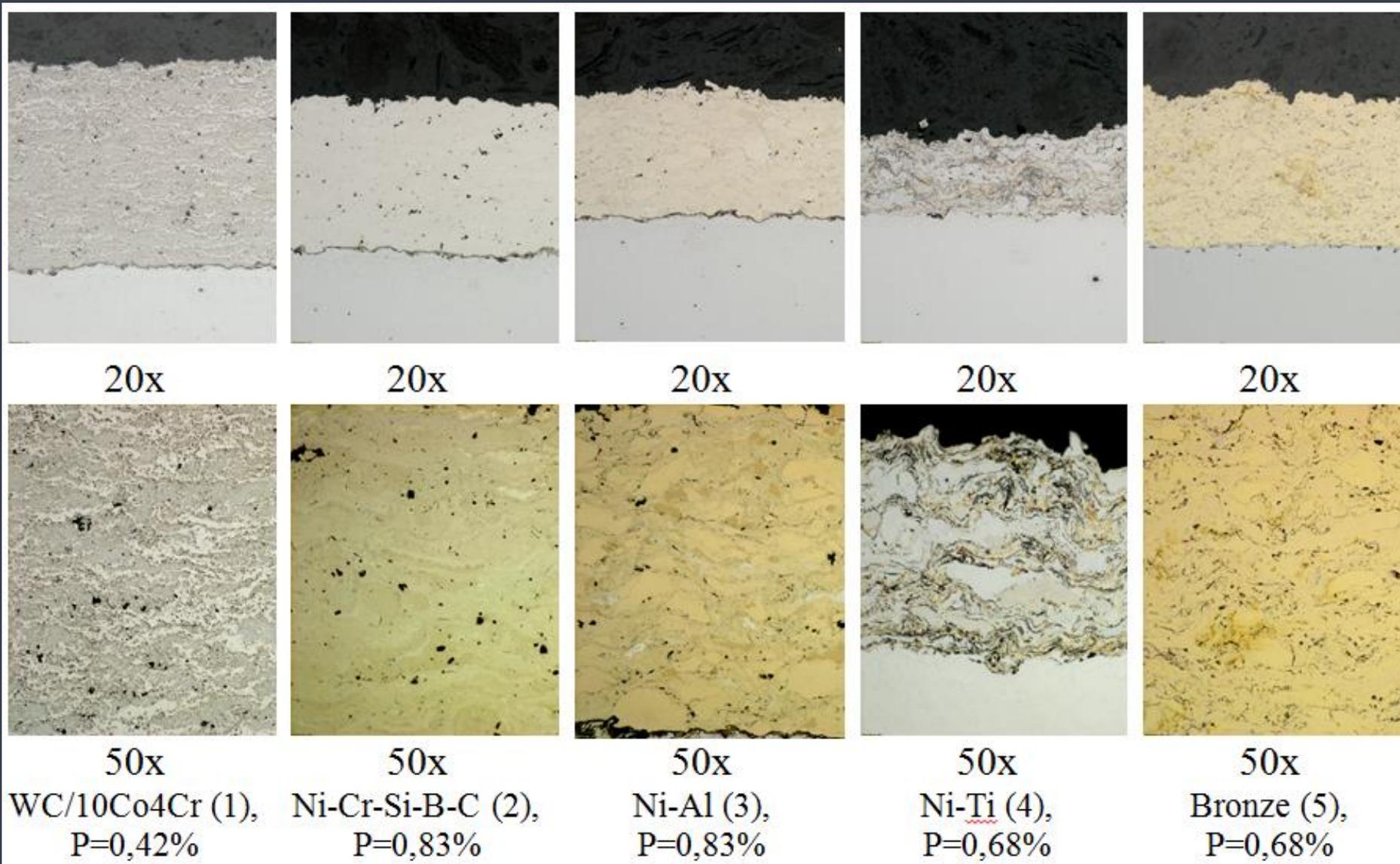


ПОКРЫТИЕ ПР – H77X15C3P2-3
(РАЗМЕР ЗЁРЕН МЕНЕЕ 80 nm)



ПОКРЫТИЕ B_4C -Ni-P
(РАЗМЕР ЗЁРЕН МЕНЕЕ 20 nm)

СТРУКТУРА И ПОРИСТОСТЬ ПОКРЫТИЙ



СХЕМЫ ИСПЫТАНИЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ

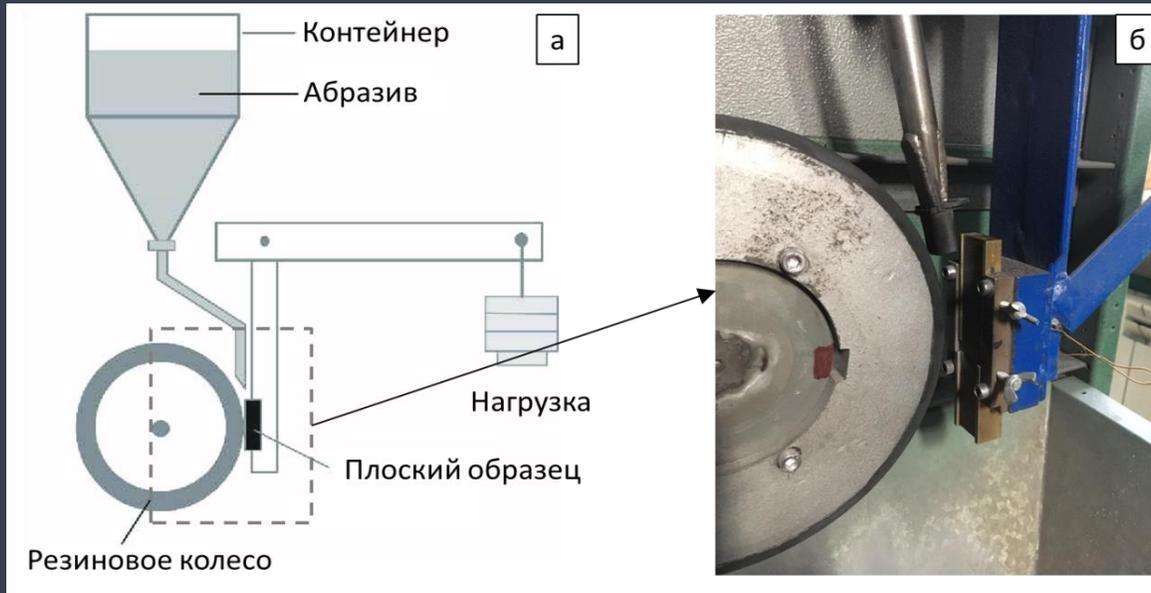


СХЕМА ИСПЫТАНИЙ НА СУХОЙ
АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС ПО
СТАНДАРТУ ASTM G65-04 (А) И
ФОТОГРАФИЯ УЗЛА ТРЕНИЯ
РЕАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ (Б).
(НАГРУЗКА 45 Н, 6000 ОБОРОТОВ
КОЛЕСА)

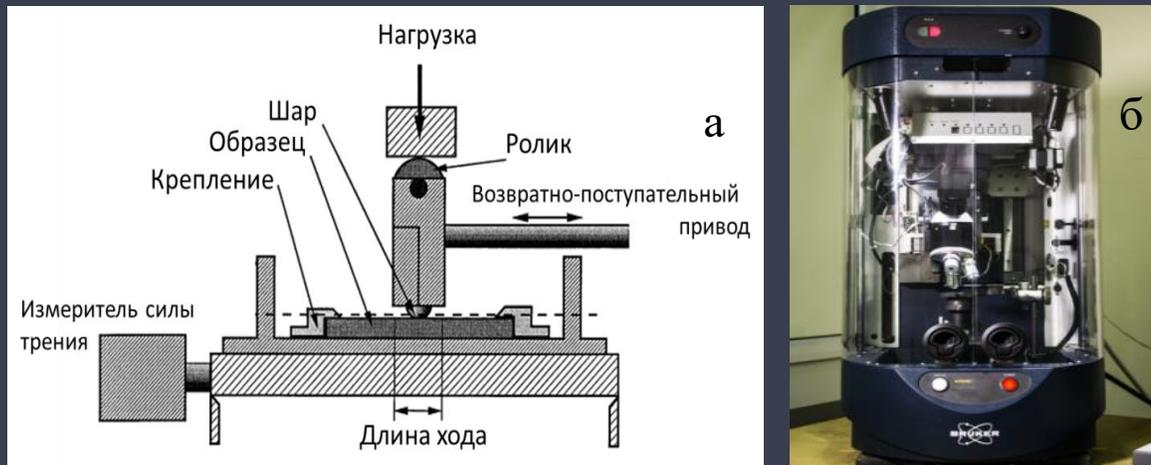
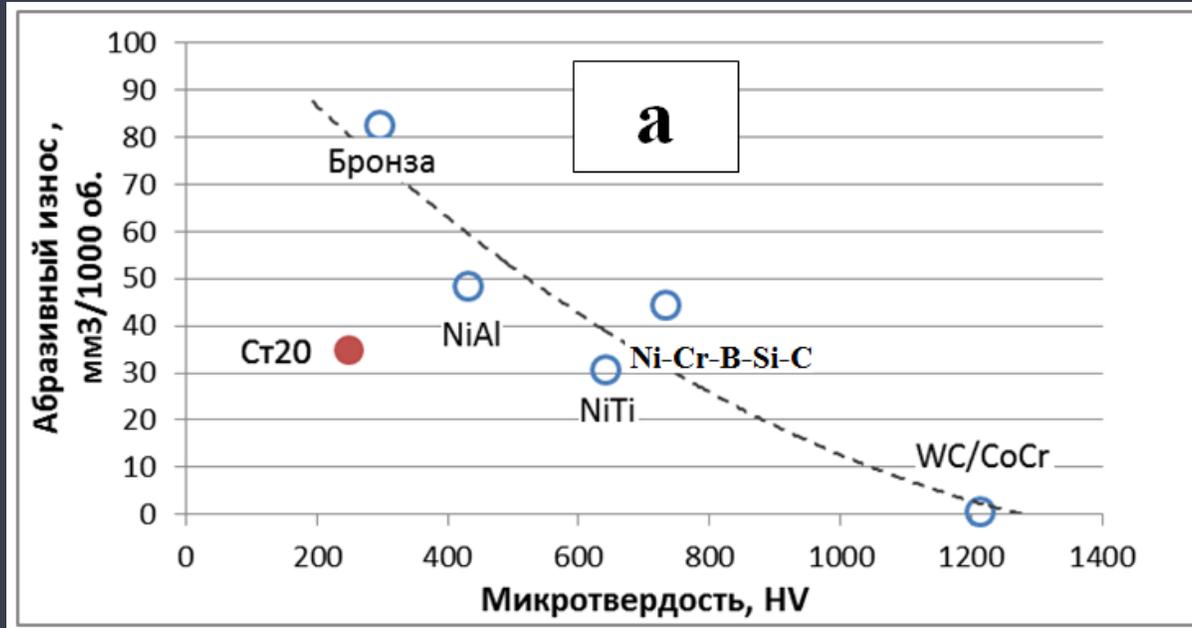


СХЕМА ИСПЫТАНИЙ СТОЙКОСТИ
ПОКРЫТИЙ К ТРЕНИЮ-
СКОЛЬЖЕНИЮ ПО СТАНДАРТУ
ASTM G133 (А) И ВНЕШНИЙ ВИД
МАШИНЫ BRUKER UMT-2М (Б). ШАР
- ХРОМИСТАЯ СТАЛЬ (Ø 6,35), L
хода - 5 мм, W перемещ. – 50 мм/с,
НАГРУЗКА - 25 Н, L пути - 100м
(время испытаний - 2000 с).

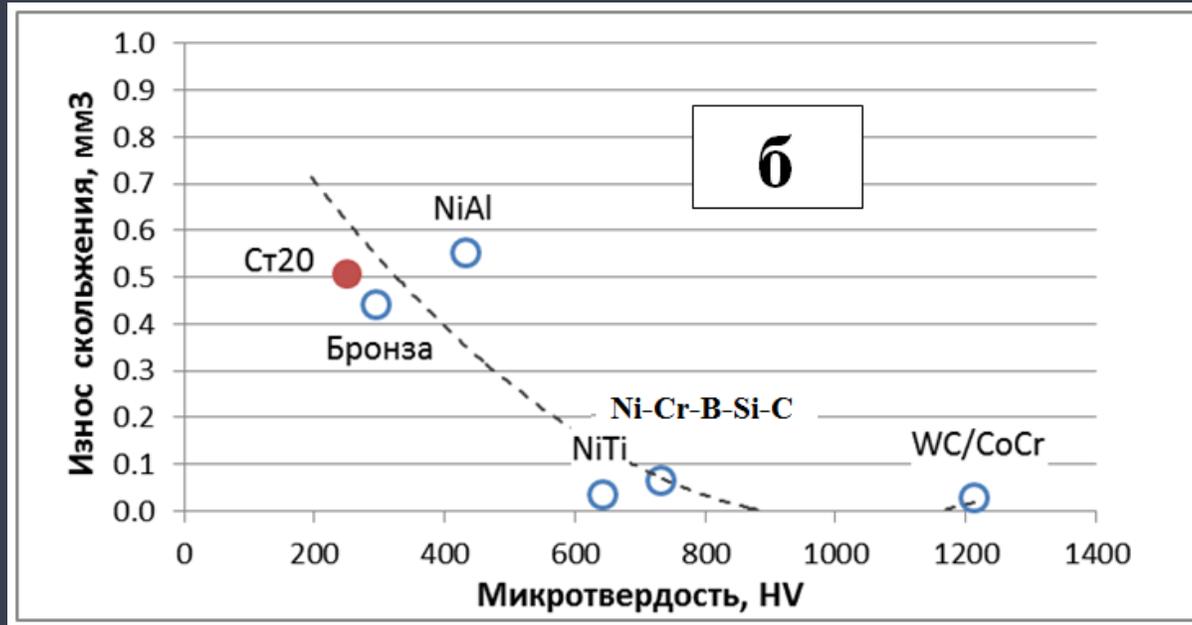
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЙ, СТОЙКОСТИ К АБРАЗИВНОМУ ИЗНОСУ (ASTM G65-04) И ИЗНОСУ ТРЕНИЕМ-СКОЛЬЖЕНИЕМ (ASTM G133)

Образец	0	1	2	3	4	5
Материал	Ст 20 (без покр.)	WC/10Co4Cr	Ni-Cr-B-Si- C	Ni-Al	Ni-Ti	БрАЖНМц
Пористость, %	-	0.42	0.83	0.83	0.68	0.68
Микротвердость HV ₁₀₀	250	1212	731	430	641	294
Абразивный износ ASTM G65 (45 Н), мм ³ /1000 об.	34.8	0.8	44.6	48.6	30.8	82.7
Износ скольжения ASTM G133, мм ³ /100 м	0.506	0.030	0.066	0.555	0.036	0.445

ЗАВИСИМОСТЬ ЭРОЗИИ ОТ МИКРОТВЁРДОСТИ ПОКРЫТИЙ

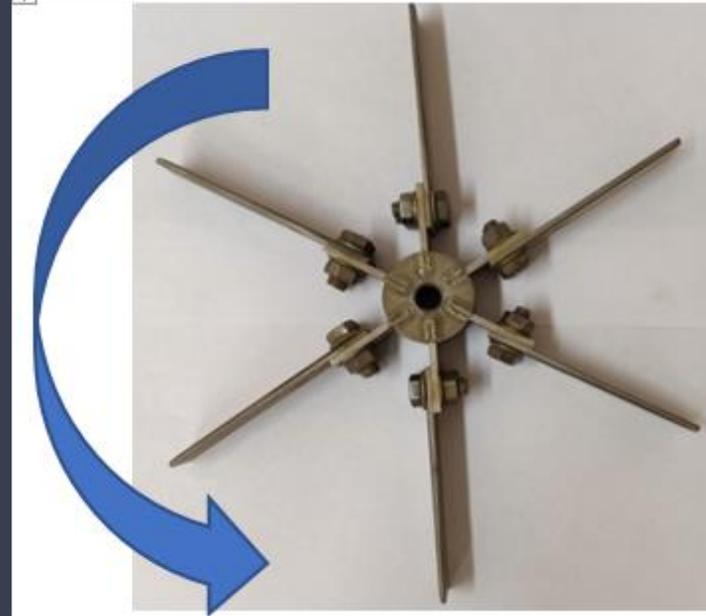


ИСПЫТАНИЯ
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ
СУХОГО АБРАЗИВНОГО
ТРЕНИЯ (СТАНДАРТ
ASTM G65-04)



ИСПЫТАНИЯ
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ
ТРЕНИЯ – СКОЛЬЖЕНИЯ
(СТАНДАРТ ASTM G133)

ИСПЫТАНИЯ НА ГИДРОАБРАЗИВНУЮ СТОЙКОСТЬ



**ВОДА + АБРАЗИВ С ОБЪЁМНЫМ СООТНОШЕНИЕМ 1 : 1.
АБРАЗИВ - ЭЛЕКТРОКОРУНД «25 А» ФРАКЦИИ 400-500 МКМ.
НАТЕКАНИЕ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА – ПО НОРМАЛИ К НАПЫЛЁННЫМ
ПОВЕРХНОСТЯМ. N = 240 об/мин. W = 0,8 – 3,2 М/С. T = 16 час.**



СТАЛЬ 20
(БЕЗ
ПОКРЫТИЯ)



WC /10Co4Cr



Ni-Cr-B-Si-C



Ni 85-Al 15



Ni 55-Ti 45



БрАЖНМц

ЭРОЗИЯ ОБРАЗЦОВ ЗА 16 ЧАСОВ ИСПЫТАНИЙ НА ГИДРОАБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС

№ образца	Материал покрытий	Унос материала за 16 час, мг
0	Сталь 20 без покр.	799,2
1	WC/10Co4Cr	205,7
2	ПР-НХ16СРЗ(Ni-Cr-B-Si-C)	476
3	ПВ-Н85Ю15 (Ni-Al)	708
4	ПВ-Н55Т45 (Ni-Ti)	366,3
5	ПР-БрАЖНМц 8,5-4-5-1,5 (бронза)	1027,9

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА



Восстановление деталей судовых машин и механизмов.
Нанесение износостойких покрытий, в т.ч. для защиты от коррозии, гидроабразивного и кавитационного износа.



Материалы



Гребные валы с покрытием бронза 1.5 мм и сталь X18H9 4.5 мм



Гребные винты с покрытиями NiCr, NiAl, NiTi, Бронза



НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ШЕЙКИ ГРЕБНЫХ ВАЛОВ



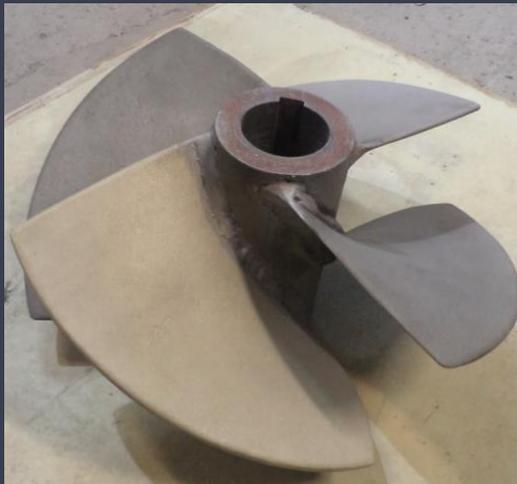
ТЕПЛОХОД «ЗАРЯ»,
ПОКРЫТИЕ Х18Н9 (4,5 мм)



ТЕПЛОХОД «МЕРИДИАН»,
БРОНЗОВОЕ ПОКРЫТИЕ (1,5 мм)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ЛОПАСТЯХ ГРЕБНОГО ВИНТА ВОДОМЁТНОГО ДВИЖИТЕЛЯ ТЕПЛОХОДА «КС-101Д»

гребные винты после навигации 2016 года



лопасть №1 –Ni-Cr-B-Si-C;
лопасть №2 – Ni-Ti; лопасть
№3 – БрАЖНМц; лопасть №4 –
Ni-Al.



лопасть с защитным
Ni – Al покрытием



отремонтированная во
время навигации
лопасть без покрытия.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ ТЕПЛОХОДА ЯРОСЛАВЕЦ (ПРОЕКТ 376) С ПОКРЫТИЕМ Ni-Al И БЕЗ ПОКРЫТИЯ В ТЕЧЕНИЕ 4 НАВИГАЦИЙ



ВИНТ С НАПЫЛЁННЫМ
ПОКРЫТИЕМ



ЛОПАСТЬ ВИНТА С
ПОКРЫТИЕМ



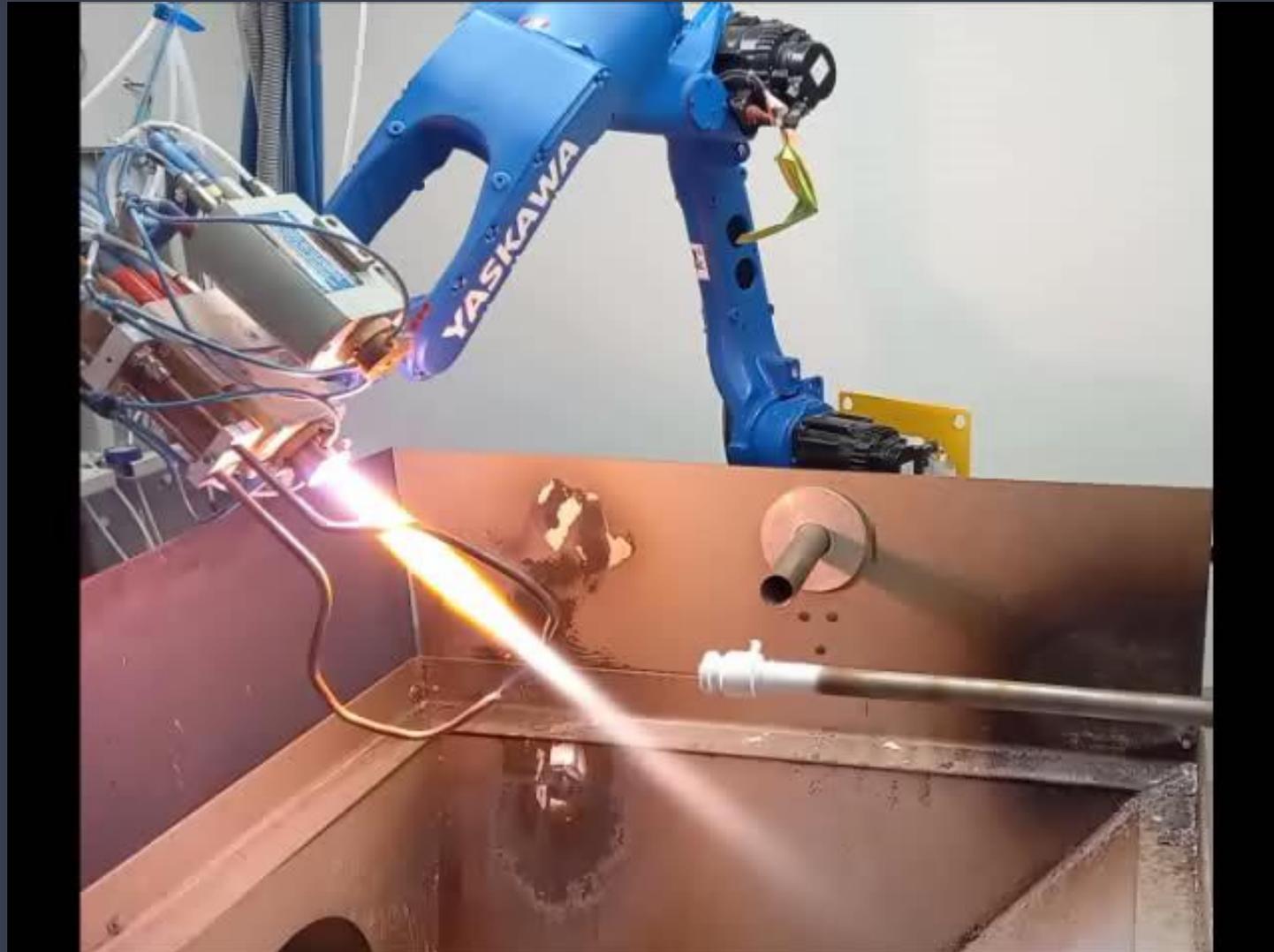
ЛОПАСТЬ ВИНТА БЕЗ
ПОКРЫТИЯ

- Винты не штатные – увеличены шаг и дисковое отношение.
- Режим работы близок к кавитации.

ПРИМЕРЫ ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ



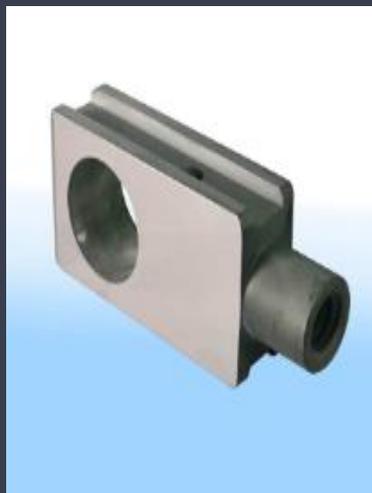
РОБОТИЗИРОВАННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ТЕРМОБАРЬЕРНОГО ПОКРЫТИЯ



ПОКРЫТИЯ WC/CoCr ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ



Превосходная замена гальваническому хромированию - карбидное покрытие **WC/CoCr** высокой твердости и плотности. Отсутствие микротрещин, защита от гидроабразивного и коррозионного (H_2S , HCl , CO_2 ,) износа при воздействии буровой жидкости. Повышение срока службы до 4-8 раз по сравнению с традиционным хромированием.



Шиберный
кран



Шаровый
кран



Роторы ВЗД



Втулка ВЗД



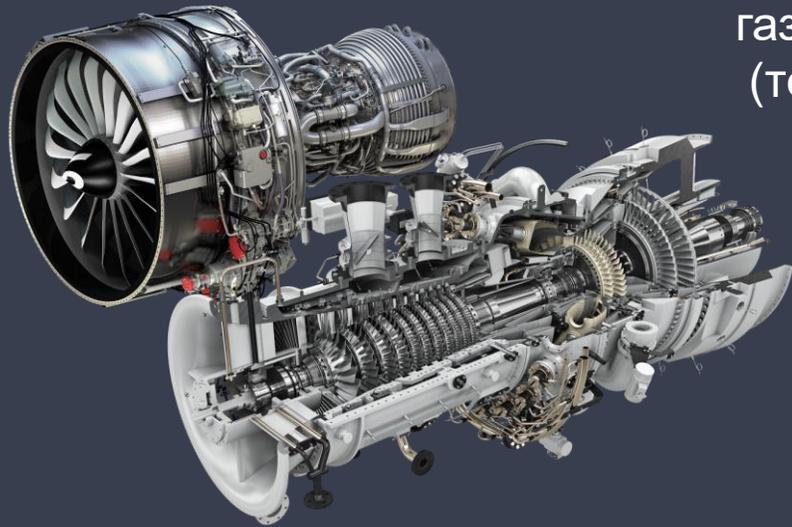
WC/10Co4Cr

- Пористость 0.2-0.5%, микротвердость 1300 HV, адгезия > 80 МПа

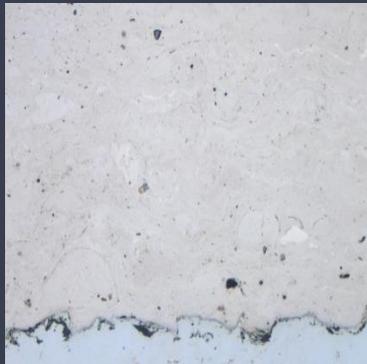
ПЛАЗМЕННОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ В ГТД И ГТУ

Направляющая лопатка 2 ступени газовой турбины SGT-800 Siemens (теплозащитное покрытие ZrO_2)

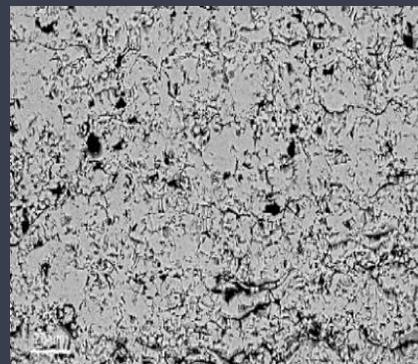
Жаростойкое покрытие ПНХ20К20Ю13-1



НПЦ «Трибоника», Нижний Новгород



Защита от коррозии
 $NiCr$, $CoCrAlY$, Ni/Al



Теплозащита
 ZrO_2/Y_2O_3



Защита от износа
 WC/Co , ВКНА



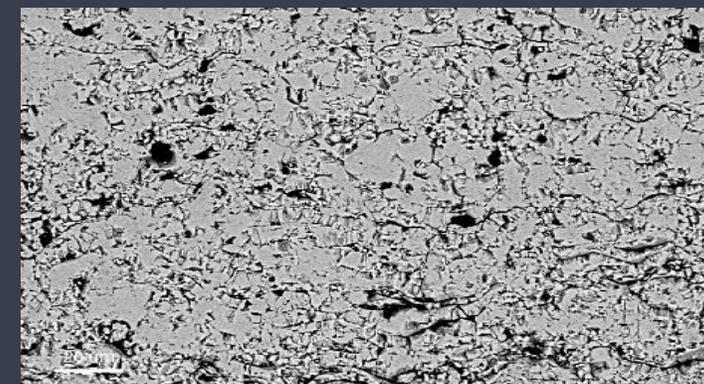
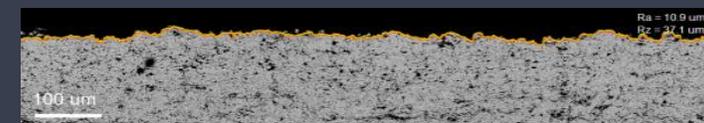
Прирабатываемые уплотнения
 $BN+C$

ТЕРМОБАРЬЕРНОЕ КЕРАМИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ НА ПОРШНЯХ ДВС



Нанесение теплозащитного керамического покрытия ZrO_2 или Al_2O_3 (теплопроводность менее 1 Вт/м к) позволяет:

- ✓ Повысить температуру сгорания на 200 К
- ✓ Повысить тепловой КПД на 5-7%
- ✓ Снизить температуру нагрева поршня и использовать вместо стали алюминиевые сплавы
- ✓ Повысить ресурс работы поршня



Покрытие ZrO_2
толщиной 0.5 мм на
поршне дизельного
двигателя



ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ Ni-Cr-B-Si-C



Шток гидроцилиндра без механической обработки (толщина покрытия 0,7 мм)



Шток гидроцилиндра после механической обработки (толщина покрытия 1 мм). Шахтное оборудование, г. Кемерово



Ролик стана привалковой арматуры (толщина покрытия 3,5 мм).

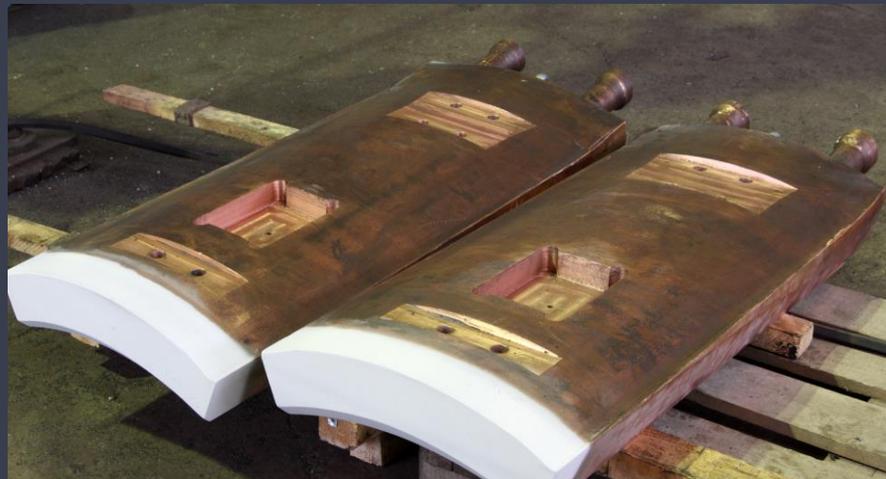


Ролики стана горячей прокатки (толщина покрытия 4 мм). Metallургическое оборудование ЗСМК, г. Новокузнецк.

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ AL₂O₃



Углеродные проточные кюветы для проведения спектроскопического анализа высокотемпературных продуктов разложения в плазмохимическом реакторе.
Красноярск.



Контактные щетки руднотермической печи.
«Сибэлектротерм»,
Новосибирск.



Якорь высоковольтного выключателя электрической подстанции 10 кВ.

АНТЕННЫЙ МОДУЛЬ БПЛА



Диаметр антенны 7 мм. Основа – сталь. Изоляционный слой Al_2O_3 .
Активный слой антенны нанесен из бронзы методом маскирования.

ПОСТАВКИ ПЛАЗМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- ОАО Тураевское МКБ «Союз», (Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»)
- ОКБ «Новатор» (Концерн ВКО «Алмаз-Антей»)
- Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань
- ООО «Сибэлектротерм», Новосибирск
- ООО НПК «Трибоника», Н. Новгород
- ООО «Уралинтех», Екатеринбург
- ООО «Карбопроцесс», Москва
- ОАО «ЦНИИ Материалов» (Корпорация «Урал-Вагон-Завод»), С.-Петербург
- ТОО «Ремплазма», Петропавловск, Казахстан



ПРЕДЛОЖЕНИЕ СОТРУДНИЧЕСТВА

- Проектирование и практическую (производственную) отработку технологических процессов плазменного напыления покрытий под задачи заказчика;
- Плазменное напыление покрытий на детали заказчика;
- Поставка полнокомплектного плазменного оборудования, обучение специалистов и создание участков плазменного напыления покрытий под задачи заказчика под ключ.
- Полнокомплектная установка плазменного напыления «Термоплазма 50-04», разработанная совместно специалистами ИТПМ СО РАН и ФГБОУ ВО «СГУВТ», по ряду показателей не имеет аналогов среди серийных отечественных и зарубежных установок. А возможность использования в качестве плазмообразующего газа, помимо любых технически чистых газов, обычного воздуха существенно удешевляет технологию и сокращает срок окупаемости оборудования (установки ведущих западных фирм используют только особо чистые аргон, азот, водород и гелий).

Научный руководитель УНПЦ «Плазмотермические технологии»
Кузьмин Виктор Иванович. +7 (913) 955-40-04, vikuzmin57@mail.ru

