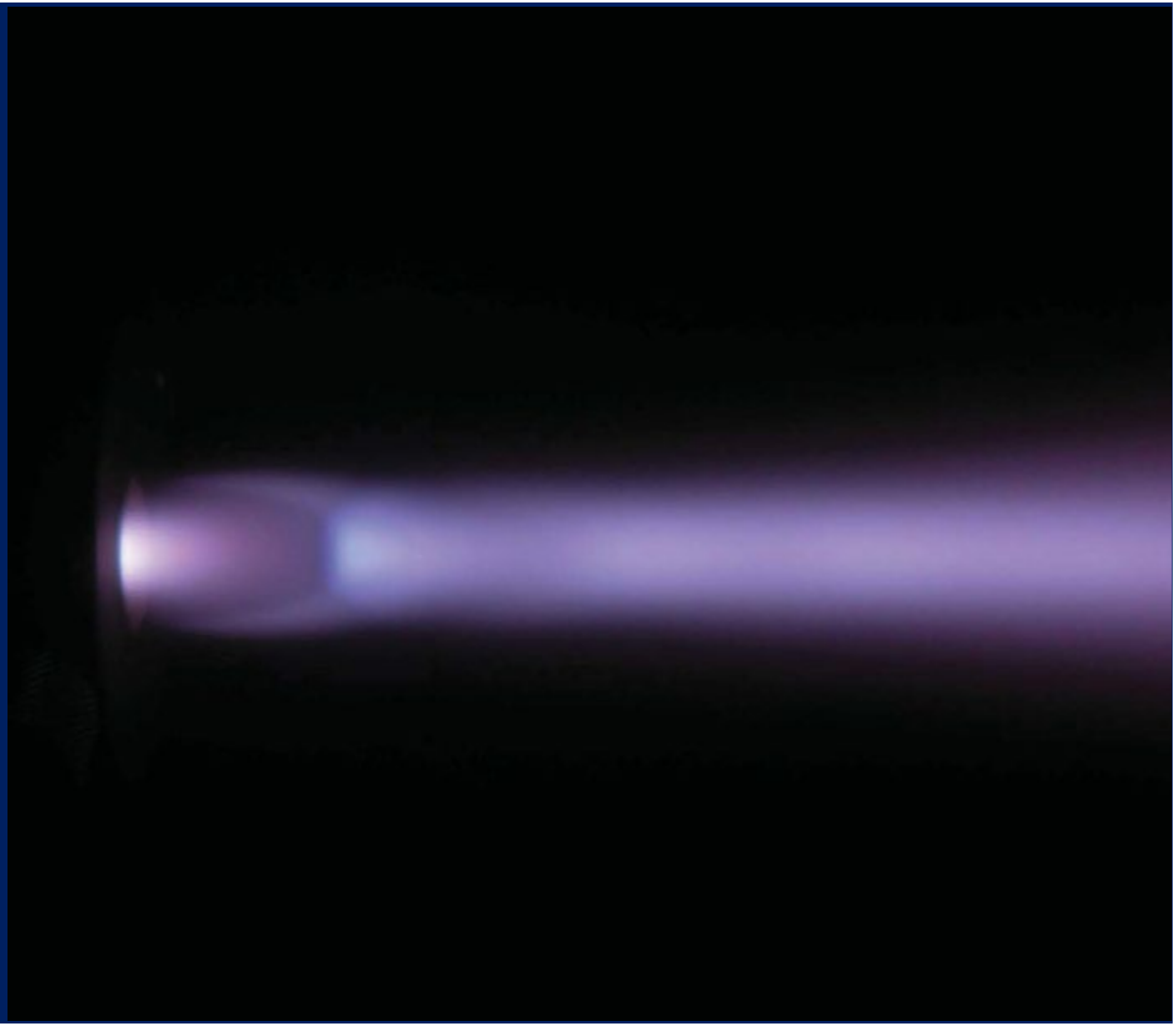
Технологии функциональных покрытий

«Защита от износа и коррозии»



Подготовил:
Карпенко Игорь ООО «ИндМет»
по материалам Kermetico inc.

О Компании ООО «ИНДМЕТ»

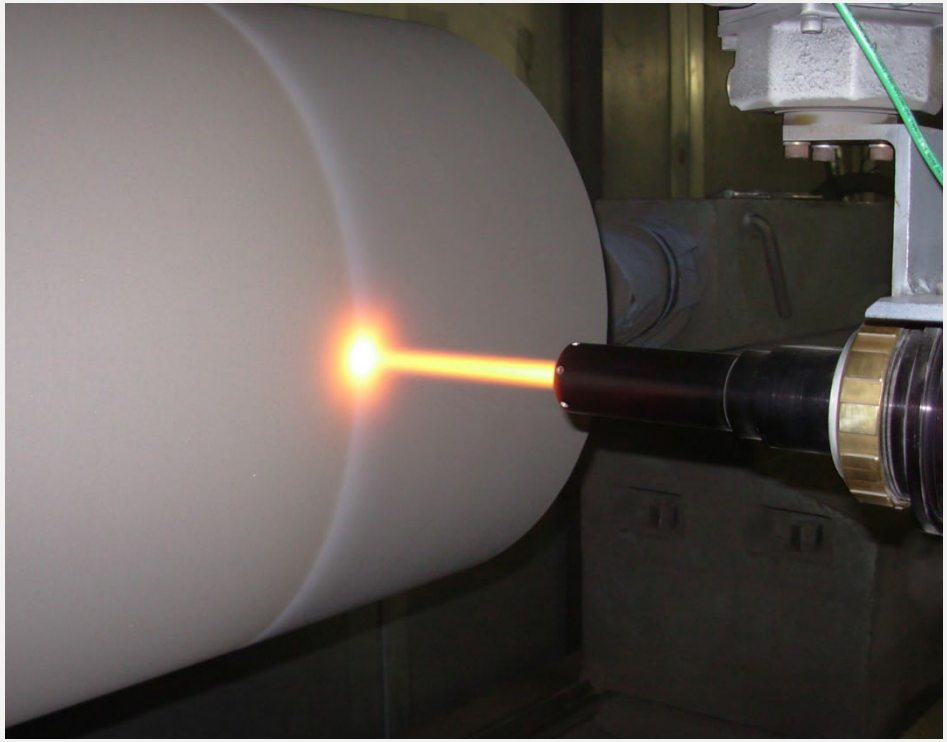
Направления работы:

В настоящее время предприятие «ИндМет» представляет собой производственную компанию, специализирующуюся на инженерии функциональных покрытий и модификации рабочих деталей для увеличения ресурса работы узлов и механизмов по следующим направлениям:

1. **Услуги по ремонту покрытий деталей**

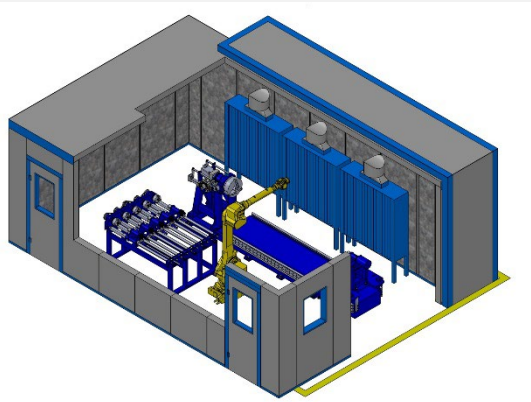
2. **Выполнение НИОКР**

3. **Комплексные поставки оборудования**



Комплексные поставки оборудования

Наша цель это развитие технологии нанесения защитных металлокерамических и металлических покрытий путем внедрение роботизированных комплексов на отраслевые производства сервисных компаний:





1. **ООО «СамараВолгоМаш»**, 2019г.
г. Самара(Участок напыления шаровых кранов)

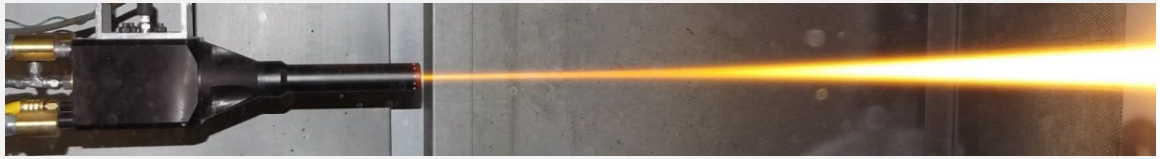
2. **ООО «ИНДМЕТ»**, 2019г.
г.Колпино. Территория завода «РУСТ-95»

3. **ФГАОУ «РУДН»**, 2020г.
г. Москва , центр Аддитивных покрытий Российский Университет Дружбы Народов

4. **ООО «ОЕРЛИКОН РУС»**, 2021г.
дер. Сколково (Центр Аддитивных покрытий «Ренова Групп»

Технологии Kermetico inc.

О Компании Kermetico inc.



Kermetico Inc. является международной компанией, зарегистрирован в Штате Калифорния в январе 2007 путем. (Federal EIN: 13-4353767 State ID: 262-0104-6 DUNS 62-722-4343 CCR registered (US Government Vendor), CAGE 4XGR7).

Портфель услуг **Kermetico Inc.** включает в себя разработку, производство и продажа оригинального оборудования, соответствующего самым высоким стандартам напыления защитных покрытий по технологиям HVOF и HVAF и соответствует спецификациям наших клиентов: **GE Oil & Gas**, **Chevron, Shell, Tesoro, Valero Refineries, Alcoa, GE, FMC, Caterpillar, ABB** и др. – компаний, в которых Kermetico Inc. является сертифицированным поставщиком услуг по нанесению покрытий, а так же поставщик оборудования для производства.

Во всем мире продано **более 130 установок Kermetico inc.** Различных конфигураций для всех отраслей промышленности: гидроэнергетики, нефтегазового сектора, авиастроения, машиностроения, металлургической отрасли.

В Россию с 2007 года поставлено **10 технологических комплексов HVAF**

Технология обеспечивает наилучшее качество покрытия напыления карбидов вольфрама и хрома, а также металлов с низкой температурой плавления. Технологический коридор режимов работы HVAF-C обеспечивает возможность работы с порошками **(+3-20, +11-45, 16-53 мкм)** сертифицированными порошками карбида вольфрама и твердых металлов (в соответствии с SAE AMS 7880, 7882 и другим).

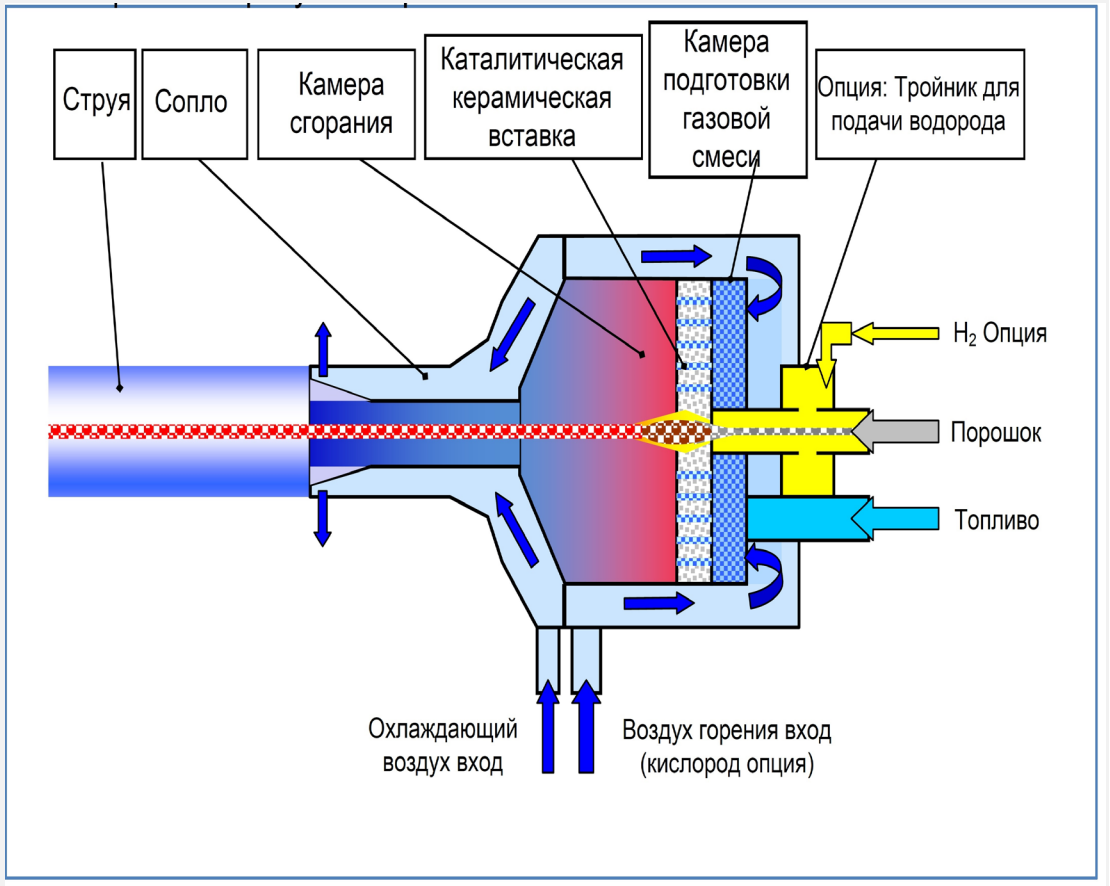
Технология – HVAF(Hight Velocity Air Fuel)
Высокоскоростное газотермическое напыление (Воздух-Топливо)

Принцип работы

High Velocity Air Fuel (HVAF) – это процесс высокоскоростного газотермического напыления(система воздух-пропан), характеризующийся низкой температурой горения (1,960-2,010°C) и высокой скоростью частиц (от 800 до более чем 1,000 м/с), что позволяет получить малоокисленные, пластичные и очень плотные покрытия карбидов и металлов с высокой адгезией.

Эта более низкая температура идеальна для постепенного нагревания частиц сырья металлов и цементированных карбидов до или чуть выше температуры плавления металла.

Исходное содержание кислорода в смеси газов сгорания в 5 раз ниже в нашем процессе HVAF по сравнению с любым процессом нанесения покрытия HVOF. Оба фактора предотвращают окисление металлов и разложение карбидов. Производительность напыления до 550 г/мин (33 кг/ч) делает данный процесс намного быстрее и эффективнее чем современные HVOF системы



Технология – HVAF(Hight Velocity Air Fuel)
Высокоскоростное газотермическое напыление (Воздух-Топливо)

Преимущества

1. Минимизация окисления благодаря работе установки на воздухе и более низкой температурой внутри камеры сгорания по сравнению с другими методами ВСГТН
2. Высокая плотность покрытия, отсутствие фазовых превращений, низкая пористость достигается за счет высокой скорости частиц, это позволяет работать на высоких давлениях без применения композитных пропиток.
3. Возможность наносить мерные покрытия, разнотолщинность составляет не более 5-10% от толщины покрытия
4. Толщина покрытия может варьироваться от 5 до 1500 МКМ на сторону при напылении покрытия, функциональная толщина покрытия под шлифовку составляет 200-300 МКМ на сторону.
4. Скорость распыления 260 г / мин (15,6 кг/час) вес напыленного покрытия
5. Низкая тепловая мощность горелки и раздельный канал охлаждения горелки обеспечивает обеспечивают долгий срок службы запасных частей.
6. Пескоструйная обработка HVAF ускоряет процесс дробеструйной обработки в 10 раз при уменьшении расхода песка в 100 раз по сравнению с обычными пескоструйными процессами, снижая количество абразива в подложке
7. Горячая дробеструйная обработка снижает плотность оксидной пленки, способствует высокой адгезии, работа идет через второй питатель, абразив подается в струе горелки обеспечивая предварительную активацию поверхности, это позволяет исключить «человеческий фактор» при подготовке деталей под напыление.
8. Автоматизация процесса работы установки по напылению, робота и позиционера обеспечивает повторяемость механических свойств покрытия

Возможность напыление материалов с различным химическим составом дает преимущества в применении.

CATERPILLAR®

Шток ГЦ Ф38: Фотография любезно предоставлена компанией Caterpillar

Механические свойства испытание на изгиб в 4 точках при нагрузке 100 кН
Стержень диаметром 38 мм, длиной 300 мм, из углеродистой стали 4140 (без термической обработки)



Карбид Вольфрама

Ноябрь 2019

KOMATSU

Corrosion Test Komatsu Mining Corp. UK

3 образца покрытия предоставлены Jamie Holt из Innov8 Surfaces

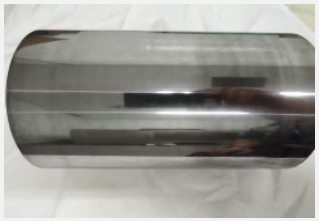
HVOF покрытие ThermaSiC (карбид кремния)
Толщина 0,127 мм(0,005”).
Материал подложки сталь марки AISI 4140 (40ХФА не закаленная).
2 образца, но тестировали 1

Очень плохой результат. Испытания пришлось прекратить из-за значительной потери покрытия.



HVAF покрытие (WC-Co-Cr)
Толщина 0.0508мм (0.002”).
Материал подложки сталь AISI 4140 прокат (40ХФА не закаленная).
2 образца, но тестировали 1 - полированный

Очень хороший результат. Образец был в очень хорошем состоянии, учитывая агрессивную среду теста. Имеются незначительные изъяны но очень маленькие.



EHLA(Высокоскоростная лазерная наплавка)
(60% In625-40%WC)
Толщина 0,127 мм(0,005”) и полированная.
Материал подложки сталь марки AISI 4140 (40ХФА не закаленная).
2 образца, но тестировали 1

Хороший результат Образец был в хорошем состоянии, учитывая агрессивную среду теста. Имеются поверхностные ямки широко распространенные по окружности образца.



Эти 3 образца были подвергнуты запатентованному испытанию KMC’s (Коматцу) на коррозию на основе отобранных сред добычи угля. Продолжительность теста 30 дней. Каждый день образцы отбираются из тестовой среды для изучения и регистрации.

www.indmet.ru ИНДМЕТ Индустриальная Металлизация

www.indmet.ru

KERMETICO

НИОКР и Лабораторные исследования

Buderus

Импортозамещение **WC Porsche Brake Perfomance**

«Разработка функционального покрытия для рабочих поверхностей тормозного диска, для защиты поверхностного слоя и снижения вредных выбросов твердых частиц тормозной пыли, при эксплуатации автотранспортных средств путем применения технологии высокоскоростного газотермического напыления»

Одним из направлений применения покрытия **«БК-30»**
В рамках проведения исследований и последующих испытаний по металлографии силами ООО «ИНДМЕТ» были получены результаты:

1. Микротведость: >1400 HV0,3
2. Микропористость < 0,5%
3. Относительная износостойкость 0,015 гр/мм3 (ASTM G65)

Вывод: Технология «HVAF-C» реально работает в России !



Отраслевые решения – Нефтегазовая промышленность

Запорно-регулирующая арматура «Шар-Седло»

Напыление и ремонт шаровой арматуры это наше основное направление, Наша производственная площадка находится на территории завода «РУСТ-95» специализирующемся на выпуске регулирующих устройств и шаровой арматуры.

Типоразмеры : ДУ25, ДУ50, ДУ80, ДУ100, ДУ150, ДУ 200, ДУ300, ДУ400, ДУ500, ДУ700

Техническая возможность напыления шаров диаметром> D1500 ММ, весом до 3т.

Осуществляем ремонт и напыление новых деталей
Наша компания выполняет работы для:
АО «РУСТ-95», ООО «Самараволгомаш», АО «ПТПА» , АО «ПТПА ТПП ПАРТНЕР», «Лукойл» Нижний Новгород



Отраслевые решения – Нефтегазовая промышленность

Шиберная арматура на высокое давление с покрытием WC-Co-Cr

Наша задача это импортозамещение шиберной арматуры для шельфовой добычи, где используются шибера на высокое давление!

Рабочая среда - газ, нефть, нефтепродукты, H2S до 25%, CO2 до 25%

Заказчики: АК «Корвет», «Некстрейд», АНЕКО, НЕФТЕГАЗДЕТАЛЬ

Технология HVAF нет аналогов в РФ:

- Микротведость 1250 - 1400 $HV_{0,3}$
- Покрытие WC-Co-Cr 86/10/4
- Адгезия 80МПа
- Толщина 200 МКМ
- Пропитка (ИНДМЕТ-БС1)
- **Подтвержденные испытание на герметичность - Газ >70 Мпа**
- **Аттестация технологии в ВНИИГАЗ**

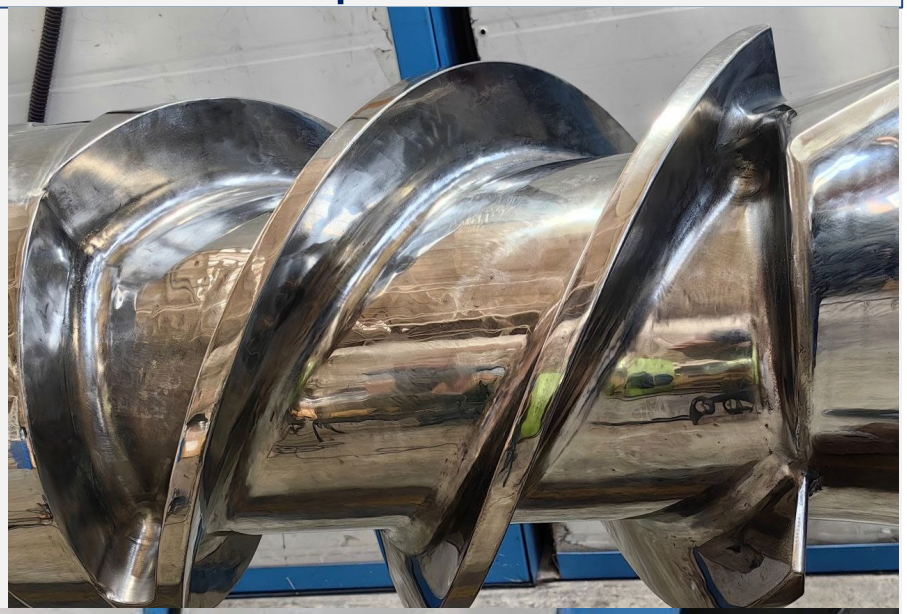




Отраслевые решения – Машиностроение

Шнек Ф400х5500мм полипропиленовой крошки

- Деталь «Шнек» 5,5 метров длинной вес 1,8 тонн
- Замена Твердого Хрома на напыление Карбида Вольфрама 200-300 мкм, с последующей полировальной обработкой до зеркального блеска!
- Для детали сложной геометрии достигнута равномерность покрытия 50 мкм во всех плоскостях



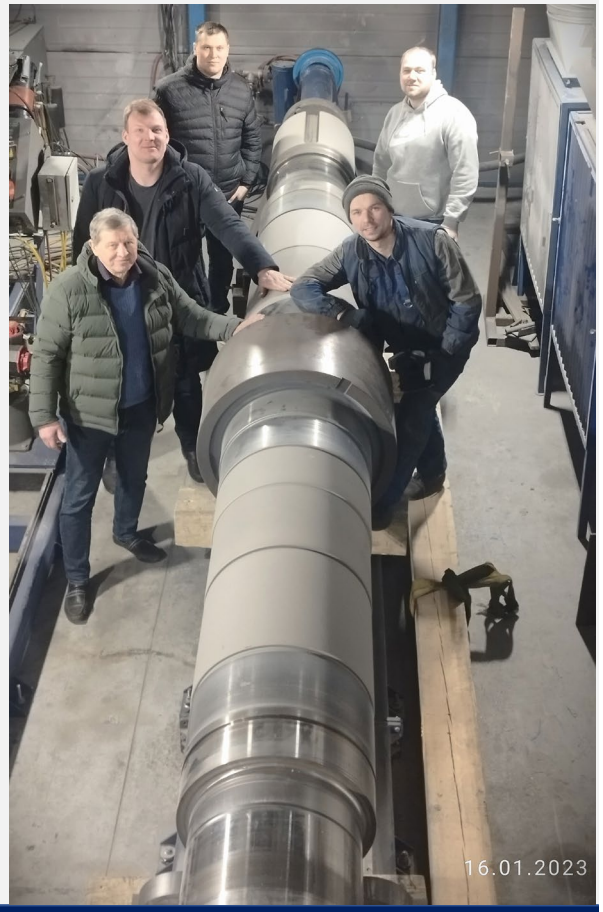


Отраслевые решения – Энергетика

Восстановление геометрии Роторного Вала

- Деталь: Вал турбины низкого давления Конаковской ГРЭС
- Заказчик: АО Силовые Машины
- Материал покрытия: Жаропрочная нержавейка
- Толщина покрытия 2,5 мм на сторону
- 10 поверхностей под рабочие колеса, общая площадь напыления 5,5 м2
- Вес детали 9,5т, габариты ф550х9500мм
- Работа выполнялась под последующую токарную обработку резцом
- Срок выполнения работ 10 рабочих дней





Отраслевые решения – Энергетика

Напыление поверхностей рабочего колеса Башенной МГЭС

- Покрытие карбид вольфрама (WC/ Co/ Cr) толщиной до 300 мкм на поверхности ф920 и ф1560 лабиринтных колец рабочего колеса
- Покрытие лопастей площадью 9,1 кв.м, толщина покрытия 150 мкм
- Работы выполнялись роботизированном комплексе HVAF-C
- Упрочнение новых металлических поверхностей, требующих высокой износостойкости и плотности покрытия.
- Обеспечение высокой производительности и повторяемости характеристик процесса за счет компьютеризации оборудования.
- Использование сверхзвукового потока HVAF материалов позволяет получить качественные покрытия с высокими адгезионными характеристиками >80МПа, способными защитить Рабочее колесо в условиях абразивного и эрозионного износа.





Отраслевые решения – Нефтегазовая промышленность

Напыление роторов ВЗД(Винтовых Забойный Двигателей)

Все мировые сервисные компании работающие на скважине хорошо считают деньги:
Замена ротора стоит около 2млн.руб

По этому покрытие Карбида Вольфрама БК150 существенно увеличивает время работы ротора в агрессивных средах CO2 H2S

Мы работаем по Американской спецификации Shlumberger, по этому ротора ходят более 800 часов

Сложная форма ротора состоит из трех элементов: впадина, сторона, вершина

Тонкость заключается в том, что бы нанести равномерное и стабильное покрытие, что бы избежать микротрещин и послойной коррозии ротора!



Отраслевые решения – Нефтегазовая промышленность

Напыление покрытий из нержавеющей стали для защиты корпуса ESP ПЭД(Погружных Электро Двигателей) от внутрискважинной коррозии

Покрытия Kermetico HVAF с термическим напылением из нержавеющей стали обеспечивают гораздо лучшую защиту от коррозии корпусов погружных насосов для нефтяных месторождений, чем обычные слои ЭДМ/TWEL (двухпроводной дуговой окраски) Monel при более низкой стоимости.

- Твердость покрытия TWAS Monel составляет 20-22 HRC, супер нержавеющей - 56-60 HRC.
- Пористость покрытия TWAS Monel составляет 15-20%, в то время как наш супер нержавеющий слой HVAF имеет менее 1%.
- Монель намного благороднее стали, что приводит к электрохимической коррозии в случае разрушения покрытия. Super-Stainless обладает примерно тем же электрохимическим потенциалом, что и основной металл, что минимизирует этот риск для погружных насосов.
- 150 микрон (0,006 дюйма) покрытия на основе железа HVAF защищают корпуса ESP лучше, чем 250 (0,010 дюйма) микрона TWAS Monel + 150 (0,060 дюйма) эпоксидной смолы за половину стоимости.
- Типичные факторы коррозии включают гальваническую коррозию, коррозию CO_2 и H_2S при повышенных температурах 90-120 ° C (194-248 ° F).
- Поскольку покрытие представляет собой катод, а открытая стальная подложка представляет собой анод, плохое соотношение анод / катод приводит к быстрому развитию гальванической коррозии. Есть случаи, когда отказ насоса происходит через несколько недель после завершения из-за гальванической коррозии.



Отраслевые решения – Металлургия

Плунжер насоса гидросбива Стана 5000

Деталь «Колпачек» Ф65мм, это плунжер насоса гибросбива
На фотографии: Деталь с покрытием Карбида Вольфрама отработала в 5 раз дольше, по сравнению колпачком из стали 40Х.

Работы:
1. Изготовление заготовки
2. Нанесено покрытие с заданными свойствами: Материал: Карбид Вольфрама (WC-Co-Cr), толщина покрытия: 400 МКМ
3. Размерная шлифовка

Деталь поставляется для АО «ИТЗ» г. Колпино, как готовое изделие, Всегда в наличии на складе ООО «ИНДМЕТ»

Постоянно работают 3 «Колпачка» на одном насосе и 4 насоса
Раньше: замены производились каждые 2 недели,
Сейчас: срок замены 6 месяцев.



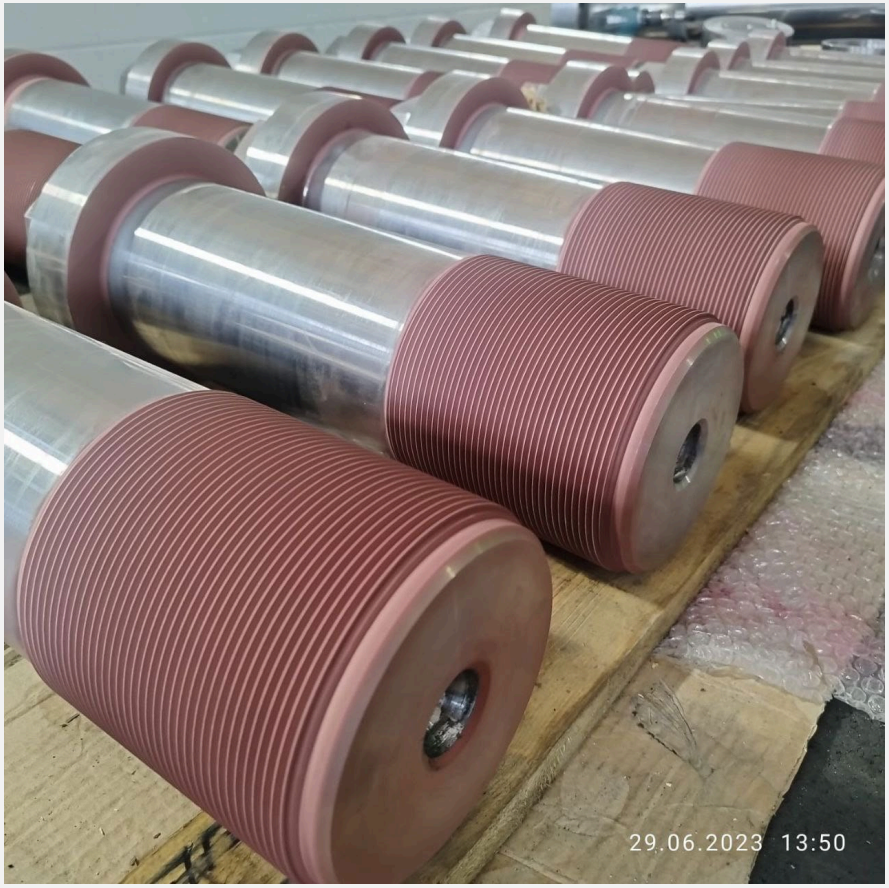
(1) - Сталь 40Х (2) - Карбид Вольфрама

Отраслевые решения – Энергетика

Напыление медных покрытий на резьбовые соединения

Применение метода высокоскоростного напыления(замена гальваники) на крепежные детали ГЭС улучшают условия скольжения, что препятствует слипанию деталей.

- Толщина медного покрытия 18 мкм
- Адгезия 30 МПа
- Момент смыкания выше, чем на гальваническом меднении, количество циклов свинчевания-развинчивания больше в 10 раз



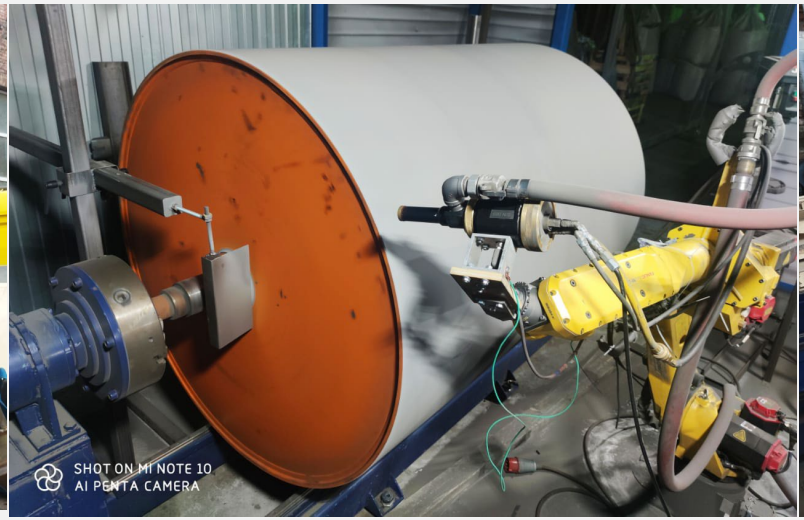
Отраслевые решения – Металлургия

Ролик башни охлаждения ППП ХП АНГЦ (3,2т Ф1500х1900)

1. Снятие старого покрытия
2. Восстановлена цилиндричность бочки ролика
3. Нанесено покрытие Карбида Вольфрама толщиной 120МКМ шероховатость 1,6 МКМ с заданными свойствами 1250 HV0,3

Работы выполнены на площадке «ИНДМЕТ» в 2021 году для ПАО «СЕВЕРСТАЛЬ»



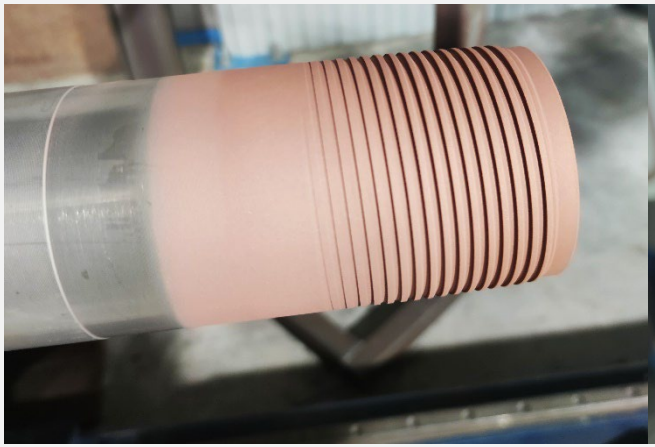


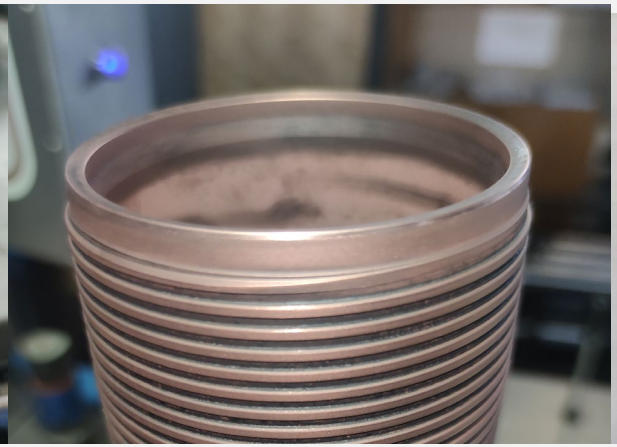


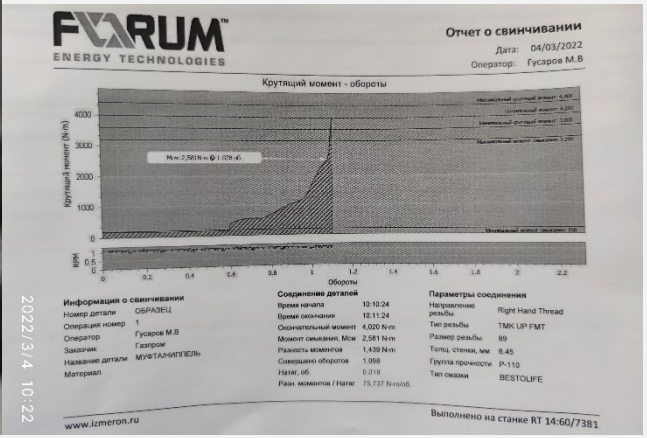
Отраслевые решения – Нефтегазовая промышленность

Медное напыление резьб НКТ(Насоса-Компрессорных Труб)

- Произведена замены технологии гальванического нанесения медных покрытий на **HVAF** нпыление для завода «ИЗМЕРОН» г. Санкт-Петербург, после многократных испытаний на свинчивание напыленное покрытие показало превосходные данные по Адгезии (30 МПА) и моменту смыкания.
- Материал: Медь(Cu) , Толщина: 10-20 МКМ , Время напыления <100 сек/деталь
- Количество циклов от 5 до 10 раз без нарушения целостности покрытия и задиров
- Стоимость напыленного медного покрытия в 2 раза ниже чем гальванической меди



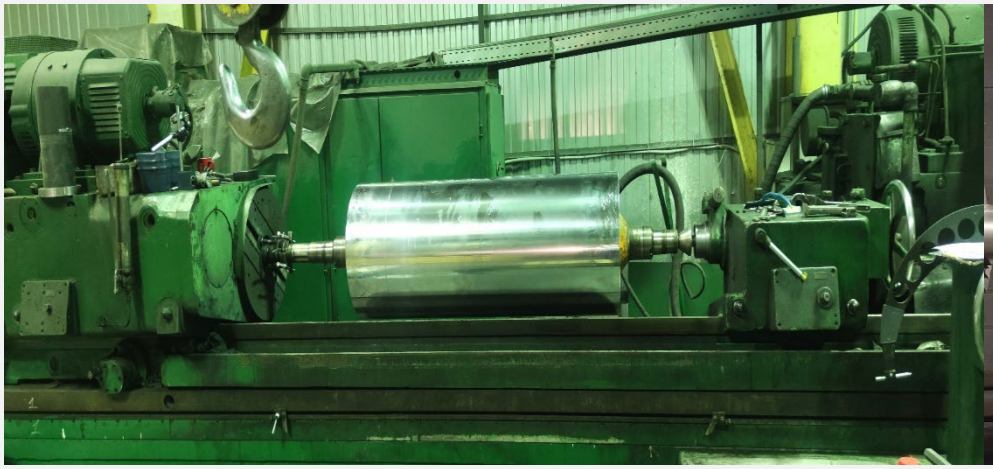




Отраслевые решения – Пищевая промышленность

Восстановление каландрового вала Ф546х1700мм

- **Заказчик:** «Полиэр» г.Переславль-Залесский, производитель упаковки
- **Оборудование:** Линия полимерной пленки Перини
- **Работы:** Замена покрытия рабочей поверхности бочки каландра, материал Твердого Хрома 120 МКМ с царапиной, на 250 мкм Карбида Вольфрама, микротвердостью 1250 HV 0,3
- **По операционно:** Входной контроль, дефектовка, Правка центровочных отверстий, Предварительная шлифовка старого покрытия, шлифовка шеек, Напыление бочки Карбид Вольфрама, Шлифовка в чертежный размер, Полировка бочки в шероховатость **Ra 0,05 мкм**, Сдача Заказчику в чертежный размер с паспортом измерительной скобы RollTest
- После запуска в работу была получена положительная референция от Заказчика ООО «ПОЛИЭР»





Отраслевые решения – Машиностроение

Напыление Карбида Хрома на телескопический шток

Работы выполнялись как замена Гальванического Хрома на телескопический шток, при напылении температура детали не превышала 150 град. С, что исключила возможность образования термических поводок, изменения геометрии и соответствия допусков.

1. Локальный ремонт задиров наплавкой
2. Предварительная шлифовальная обработка под напыление
3. Напыление защитного покрытия Карбида Хрома твердость 1000 HV
4. Финишная шлифовальная обработка в чертежный размре
5. Полировальная обработка до Ra 0,3мкм



Отраслевые решения – Машиностроение

Регулирующий плунжер Sacmi

В данном случае деталь ремонтная, по этому нам понадобилось **снятие старого покрытия метолом электролиза**, т.к. сложный рельеф детали с учетом канавок и внутренних отверстий.

2. Выполнено напыление Карбида Вольфрама микротвердостью 1200 HV 0,3, 300мкм на сторону, восстановление посадочных мест под подшипники
3. Шлифовка в соответствии с требованиями КД , полировка Ra 0,3мкм

4. Налажен сменный ремонт аналогичных деталей на 2х заводах

На нашей площадке Мы делаем услугу «Распокрытие»
снятие старого покрытия Карбида Вольфрама
в ванне 2000х1000х750 мм



Отраслевые решения – Нефтегазовая промышленность

Напыление клапанов, чаш, роликов, плунжеров, колец, втулок



Отраслевые решения – Машиностроение

Внутреннее напыление корпуса тройника Карбидом Вольфрама

Горелка АК05ID Подходит для внутренних поверхностей от 200 мм и более, глубиной до 1500 мм
Используется для напыления:

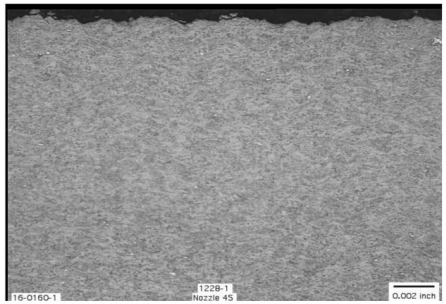
WC-10Co-4Cr
Cr3C2-NiCr
Hastelloy C276
Нержавеющие стали

Применяется для: Гильз ГЦ, сосудов, Фланцев, тройников, труб, отводов

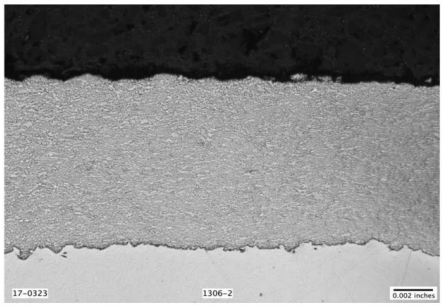


Структура покрытия WC-10Co-4Cr, пистолет AK5-ID
Влияние плотности порошка

I.D.=300 mm, D20 Agg.-sint.,1320 HV_{300}



I.D.=200 mm, D15 Sint.-crush., 1205 HV_{300}

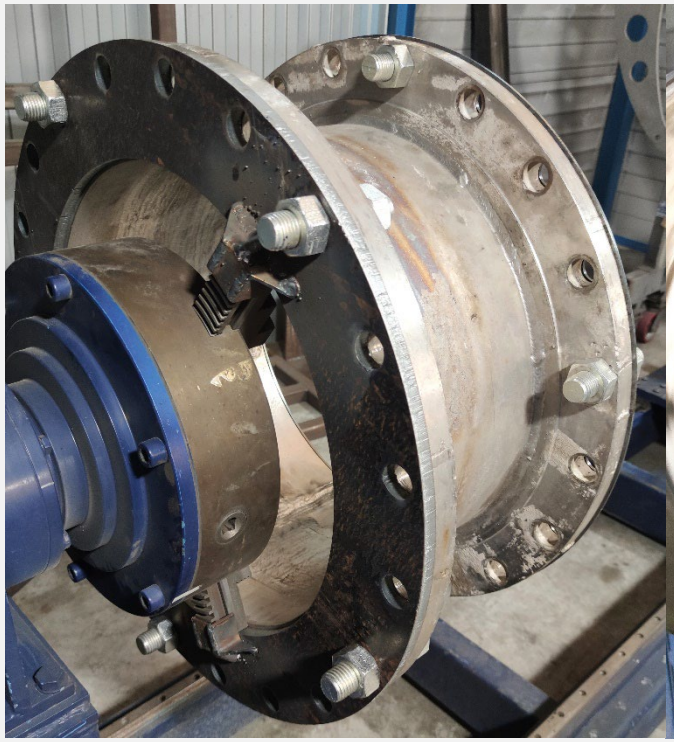






Отраслевые решения – Нефтегазовая промышленность

Напыление Карбида Вольфрама на отводы, переходники







Отраслевые решения – Машиностроение

Напыление воздуходувок крыльчатки и корпуса Карбидом Вольфрама

1. Локальный ремонт чугунного корпуса воздуходуки
2. Напыление Карбида Вольфрама 150-200 мкм на внутреннюю поверхноть Корпуса
Напыление Карбида Вольфрама 150-200 мкм на поверхность крыльчатки, заходных ламелей
3. Нанесено покрытие Карбида Хрома толщиной 250МКМ с заданными свойствами

Работы выполнены на площадке «ИНДМЕТ» в 2021 году для Компании «БТК»



Отраслевые решения – Машиностроение

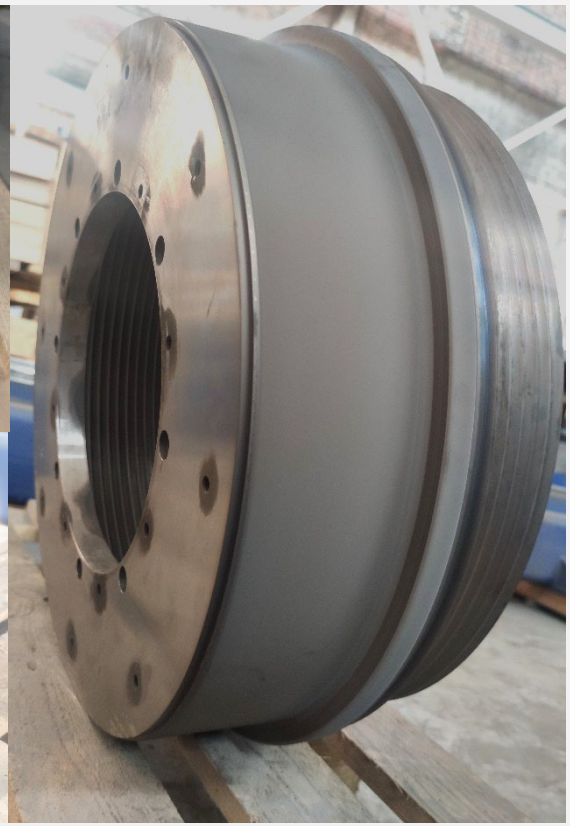
Изготовление тянущего ролика волочильного барабана с покрытием

Работа направлена на увеличение ресурса работы волочильного стана порошковой проволоки

1. Деталь изготовлена по чертежу Заказчика
2. Выполнено нанесение покрытия Карбида Вольфрама 1200HV 0,3, толщина покрытия 300 мкм

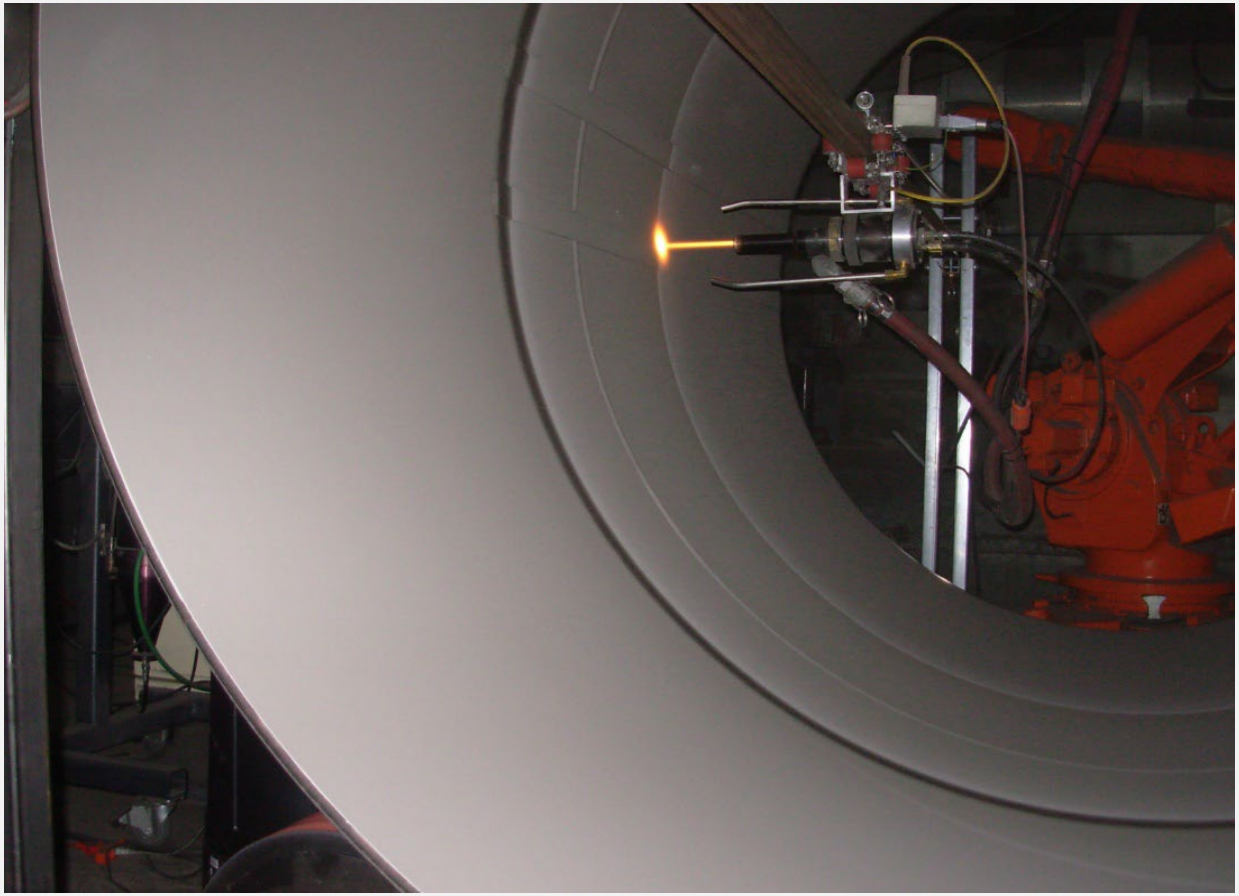
Работы выполнены на площадке «ИНДМЕТ» в 2022 году для компании «ЭСАБ-СВЕЛ»





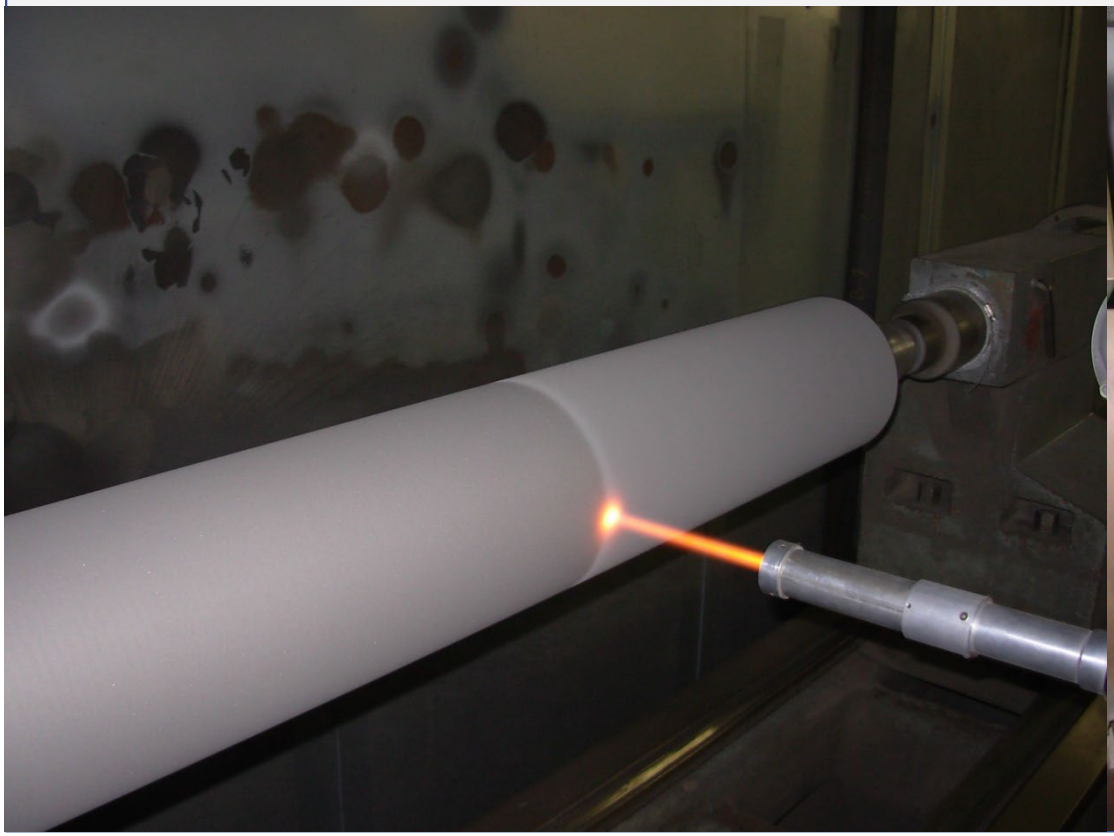
Отраслевые решения – Металлургия

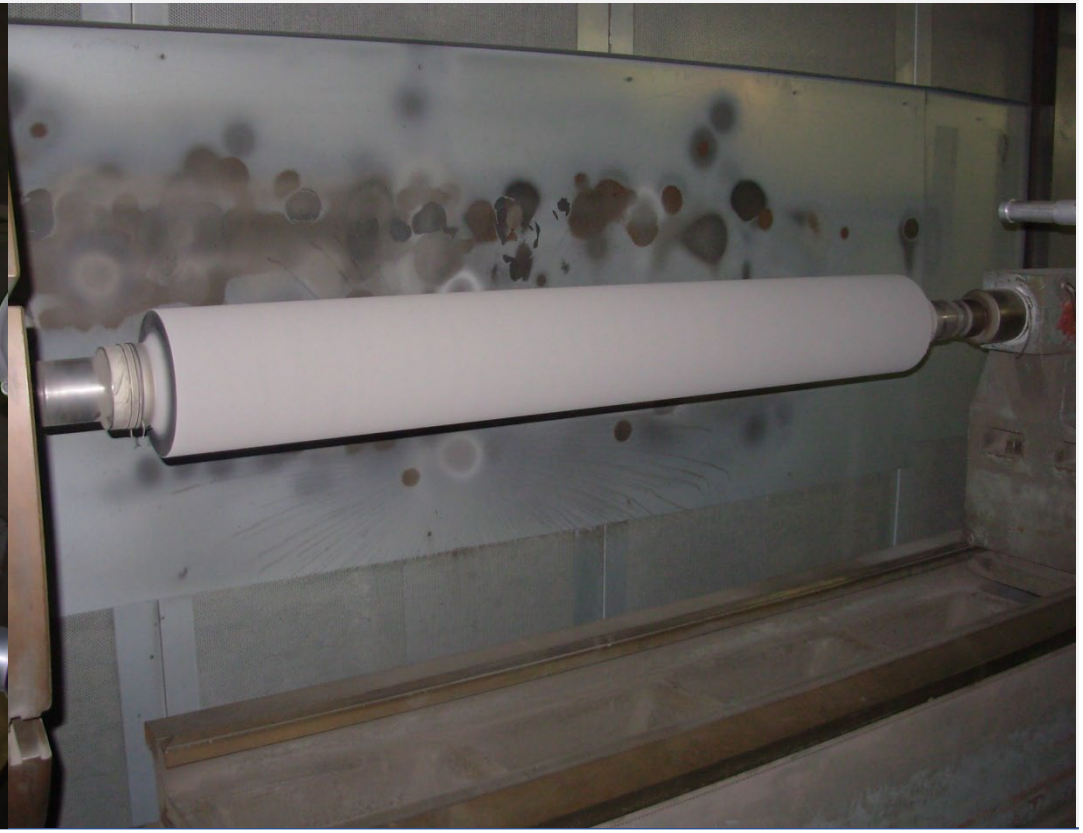
Напыление дымоходной трубы материалом Hastelloy C276



Отраслевые решения – Пищевая промышленность

Нижние прижимные ролики/ Bottom pinch rolls





Отраслевые решения – Пищевая промышленность

Альтернатива Гальваническому Хрому

Твердое хромирование было наиболее часто используемым процессом для защиты с хорошими характеристиками в отношении их износостойкости

Основным недостатком является то, что из-за присутствия шестивалентного хрома в его составе этот процесс был внесен в список Международного агентства по изучению рака (IARC) как канцерогенный и мутагенный и регулируется REACH, поэтому представители комитета REACH Европейского Союза договорились отказаться от использования триоксида хрома к 21 сентября 2024 года.

КОНЕЧНЫЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛИ ищут альтернативное покрытие для замены твердого хромового покрытия на шестивалентной основе.

Этим решением становится технологии HVAF Kermetico inc.



Отраслевые решения – Металлургия

Таблица 1. Сравнение свойств функциональный покрытий

Свойства	Гальванический Хром	Быстрый Карбид	Карбид Вольфрама	Карбид Хрома
Толщина фунционального покрытия (мкм)	30-100	30-100	150-300	200-300
Микротвердость HV 0,3H	900-1000	1300-1400	1150-1250	1000-1100
Микропористость %	Склонность к трещинам	<0,5	<0,9	<1
Адгезия, МПа	25-40	>80	>70	>70
Износостойкость ASTM G65 мг/см2	24,62	1,21	2,56	5,0
Кавитационный износ(мг)	нет данных	1,4	2,8	4,7
Шероховатость после нанесения Ra мкм	0,8	1,6	2,5	3,2
Коэф.Трения на стали	0,12	0,14	0,13	0,13
Коррозионая стойкость (ч)	55	620	420	320
Термостойкость град, С	650	550	450	750

Выводы: Инновации HVAF

1. Покрытие Карбида Вольфрама- это современная замена твердого Хрома!

2. Технологии нанесения защитных покрытий и как следствие, результаты работы покрытий в конкретных условиях, могут кратно отличаться по качеству напыления!

3. Покрытия HVAF работает там, где другие покрытия не работают!

- Экологии – нет вредных выбросов
- Эксплуатации – увеличение ресурса в 3 – 10 раз по сравнению гальваникой
- Экономика – снижение капитальных затрат на обслуживание и ремонт

Благодарим за внимание!

Приглашаем на наше производство: г.Санкт-Петербург, г. Колпино, ул. Североная, дом 12

Моя почта: Karpenko@indmet.ru