

СОДЕРЖАНИЕ

I. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ И ТОНКИХ ПЛЕНОК

■ Нанотвердомер	3
■ Машина трения	4
■ Скратч-тестер	5
■ Оптический профилометр	6
■ Импакт-тестер	7

II. АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

■ Высокотемпературная машина трения	8
■ Атомно-силовой микроскоп	9
■ Сканирующий силовой микроскоп	10
■ Профилометр	11
■ Установка для проведения коррозионно-электрохимических испытаний	12
■ Высокотемпературная вакуумная печь	13
■ Универсальная машина для механических испытаний «LF-100KN»	14
■ Установка для определения краевого угла смачивания	15
■ Оптический эмиссионный спектрометр тлеющего разряда	16

III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ И ОСАЖДЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК И ПОКРЫТИЙ

■ Установка магнетронного напыления UDP 850/4	17
■ Установка дуального магнетронного напыления UNICOAT 900	18
■ Модернизированная установка магнетронного напыления	19
■ Комбинированная установка магнетронного, ионного распыления и ионной имплантации	20
■ Оборудование для электроискрового легирования	21

IV. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СИНТЕЗА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

■ Опытно-промышленный участок СВС	22
■ Анализатор субмикронных частиц	23
■ Гелиевый пикнометр	23
■ Планетарная мельница «ПУЛЬВЕРИЗЕТТЕ 5»	24



В Научно-учебном центре СВС МИСиС-ИСМАН имеется уникальная приборная база, позволяющая проводить комплексные прецизионные исследования физических, химических, механических и трибологических свойств материалов и покрытий, а также технологическое оборудование как для производства функциональных керамических и металлокерамических материалов, включая композиционные мишени и электроды для осаждения покрытий, так и лабораторные и опытно-промышленные установки для нанесения однослойных, многослойных, наноструктурных и функционально-градиентных покрытий.

Свойства поверхности, испытываемой воздействием динамических нагрузок, высоких температур и агрессивных сред, во многом определяют служебные характеристики материала в целом. Стандартные методы определения свойств объемных материалов не пригодны для измерения свойств покрытий и поверхностных слоев толщиной в несколько мкм и менее. Кроме того, интенсивное развитие нанотехнологий и внедрение наноматериалов требует разработки новых сертифицированных методов анализа поверхности материалов и покрытий.

В последние годы ведущими разработчиками и производителями научного оборудования созданы высокоточные приборы для измерения свойств тонких поверхностных слоев, многофункциональных защитных покрытий, многослойных тонких пленок и др. на микро- и наноуровне.

НАНОТВЕРДОМЕР

Nanohardness Tester, CSM Instruments, Швейцария

Прибор предназначен для измерения твердости H , модуля упругости E и упругого восстановления W_e по методу наноиндентирования. Испытания соответствуют стандарту ISO/CD 14577-4. В процессе измерений снимается кривая нагружение–разгрузка (см. рисунок), которая в дальнейшем обрабатывается по методу Оливера-Фарра.

Суть метода состоит в аппроксимации начального участка разгрузочной кривой степенной функцией

$$P_{max} = B(h - h_f)^m,$$

где P_{max} — максимальная нагрузка, h — глубина проникновения индентора, h_f — глубина проникновения индентора после снятия нагрузки, B и m — эмпирически определяемые параметры.

Наклон начального этапа разгрузочной кривой определяет жесткость материала:

$$S = \left(\frac{dP}{dh} \right)_{h=h_{max}} = mB(h_{max} - h_f)^{m-1}$$

Глубина проникновения индентора h_c при которой отпечаток повторяет форму алмазной пирамиды также определяется из графика нагружение-разгрузка по формуле:

$$h_c = h_{max} - \varepsilon \frac{P_{max}}{S},$$

где h_{max} — максимальная глубина проникновения индентора, $\varepsilon = 0,75$ для пирамиды Берковича. H и E рассчитываются по формулам:

$$H = \frac{P_{max}}{A}, \quad E_{eff} = \frac{1}{\beta} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{S}{\sqrt{A}} \quad \text{и} \quad \frac{1}{E_{eff}} = \frac{1-\nu^2}{E} + \frac{1-\nu_i^2}{E_i},$$

где ν — коэффициент Пуассона покрытия, $\beta = 1,034$ для пирамиды Берковича, A — площадь проекции отпечатка, определяемая из глубины максимального проникновения индентора h_{max} . Для алмазного индентора коэффициент Пуассона ν_i и модуль упругости E_i соответственно составляют 0,07 и 1141 GPa.

Величину упругого восстановления покрытий определяют по формуле:

$$W_e = \frac{(h_{max} - h_f)}{h_{max}}.$$

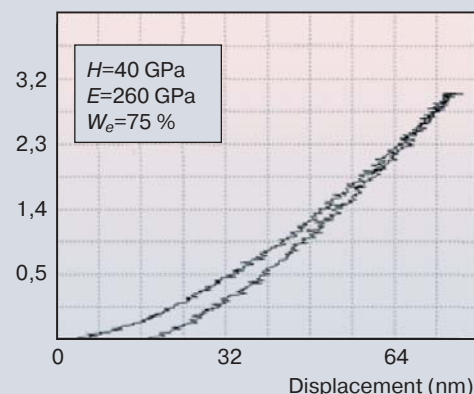
Для оценки стойкости материалов к упругой деформации разрушения можно использовать величину отношения твердости к модулю упругости, H/E , называемую также индексом пластичности материала, а для оценки сопротивления материала пластической деформации — параметр H^3/E^2 .



Технические характеристики

Диапазон нагрузки	От 0,1 до 500 Н
Разрешение по нагрузке	0,04 мкН
Максимальная глубина индентирования	200 мкм
Разрешение по глубине	0,04 нм
Скорость нагружения	До 10 Н/мин
Платформа XY (for OPX)	120 мм×20 мм 245 мм×120 мм
Разрешение XY	0,25 мкм
Увеличение видеомикроскопа	200×, 1000×
Камера видеомикроскопа	Color 768×58

Normal Load (mN)



МАШИНА ТРЕНИЯ

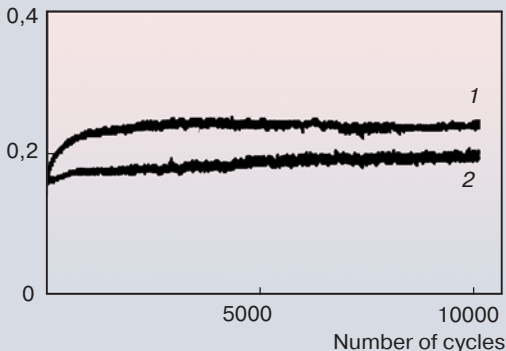
Tribometer, CSM Instruments, Швейцария



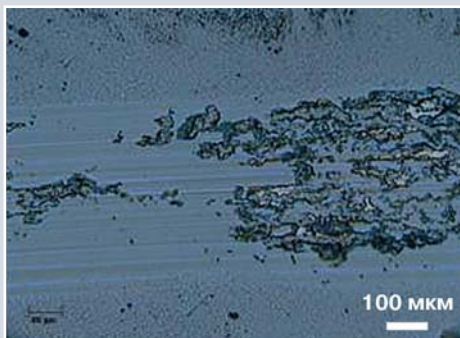
Технические характеристики

Схема испытания	«Стержень–диск», «стержень–пластина»
Диапазон нагрузок	От 1 до 10 Н
<i>Модуль вращательного движения, схема «шарик–диск»</i>	
Частота вращения	0,06–600 об/мин
Диаметр дискового образца	10–60 мм
Среда испытания	Воздух, жидкость
<i>Модуль возвратно-поступательного движения, схема «шарик–пластина»</i>	
Длина хода при линейном перемещении	До 100 мм/с
Скорость	1,6 Гц при полном ходе
Частота	до 10 Гц при ограниченном ходе

Friction coefficient



**Коэффициент трения покрытий
Ti–Ca–C–N–O в паре с WC + 6 % Co**



**Трибослой внутри канавки износа
покрытия Ti–Ca–P–C–O, испытанного
в физиологическом растворе**

Трибологические испытания проводят на автоматизированной машине трения по схеме «шарик-диск» (модуль вращательного движения) или «шарик-пластина» (модуль возвратно-поступательного движения).

Испытания можно проводить как на воздухе, так и в жидких средах. Эти испытания соответствуют международным стандартам ASTM G99-959, DIN50324 и ISO 20808.

Непосредственно при испытании определяют коэффициент трения трущейся пары изучаемый материал/контртело — шарик диаметром 3 мм, изготовленный из сертифицированного материала (Al₂O₃, SiC, WC, различные марки сталей). Для определения скорости износа материала и контртела соответственно проводят измерения профиля вертикального сечения канавки износа и диаметра площадки износа на контртеле.

Износ шарика рассчитывают по формуле:

$$V = \pi h^2 (r - l/3h),$$

где $h = r - (r^2 - [d/2]^2)^{1/2}$, d — диаметр пятна износа, r — радиус шарика, h — высота сегмента.

Износ образца рассчитывают по формуле:

$$V = S \cdot l,$$

где l — длина окружности, S — площадь сечения бороздки износа.

СКРАТЧ-ТЕСТЕР

Scratch Tester REVETEST, CSM Instruments, Швейцария

Технические характеристики

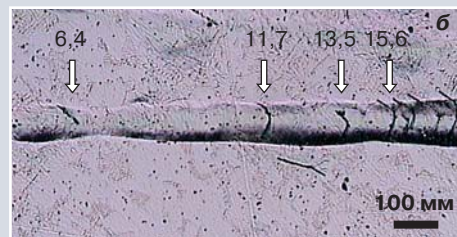
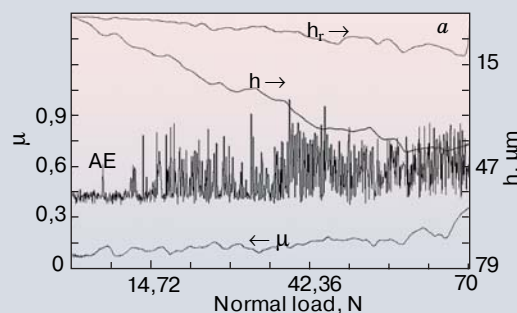
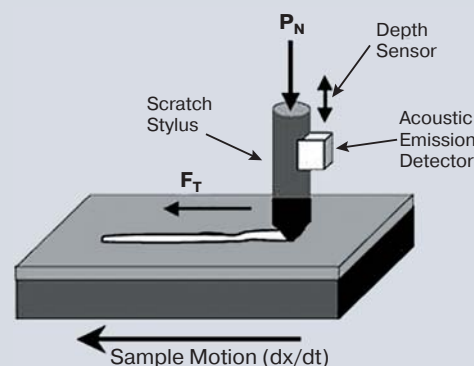
Диапазон нормальной силы	От 0,5 до 200 Н
Разрешение по нагрузке	3 мН
Максимальная сила трения	200 Н
Разрешение по силе трения	3 мН
Максимальная длина царапины	70 мм
Скорость царапания	От 0,4 до 600 мм/мин
Максимальная глубина	1 мм
Разрешение по глубине	1,5 нм
Платформа XY	70 мм × 20 мм
Разрешение XY	0,25 мкм
Увеличение видеомикроскопа	200×, 800×
Камера видеомикроскопа	Color 768 × 582

Одним из наиболее надежных способов определения адгезии покрытия к подложке является царапание поверхности алмазным индентором типа Роквелла при непрерывно нарастающей нагрузке. В процессе испытаний осуществляется регистрация различных физических параметров в зависимости от приложенной нагрузки и длины царапины. Момент адгезионного или когезионного разрушения покрытия фиксируется после испытаний визуально с помощью оптического микроскопа, оборудованного цифровой камерой, а также по изменению одного из пяти параметров:

- ◆ акустическая эмиссия;
- ◆ сила трения;
- ◆ коэффициент трения;
- ◆ глубина проникновения индентора;
- ◆ остаточная глубина царапины (см. рис.).

В результате испытаний определяется минимальная (критическая) нагрузка (L_c), которая приводит к разрушению покрытия. Следует отметить, что не все регистрируемые события, связанные с разрушением покрытия, описывают собственно адгезию покрытия к подложке. Так L_{c1} обозначает момент появления первой трещины, L_{c2} — отслаивание участков покрытия и L_{c3} — пластичное истирание покрытия до подложки. Совокупность различных параметров, регистрируемых в процессе испытаний, повышает достоверность методики и точность определения критической нагрузки.

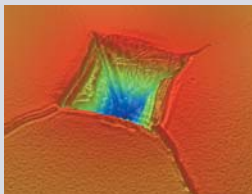
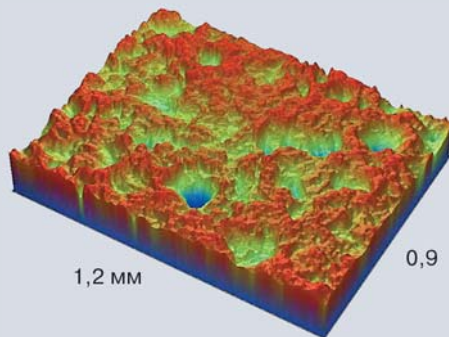
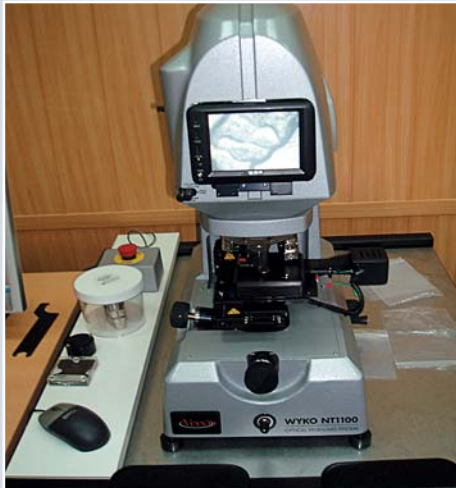
Данная методика соответствует международному стандарту ISO DIS 20502.



Д. В. Штанский, и др., Физика твердого тела, 48 (7) (2006) 1231.

ОПТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛОМЕТР

Optical profiling system Veeco WYKO NT1100, США



Технические характеристики

Тип измерения	Интерферометрия
Скорость измерения	До 100 мкм/с
Увеличение	От 1,25х до 100х
Поле зрения	От 0,05 мм до 4,95 мм
Диапазон измерения по вертикали	Режим PSI — 160 нм Режим VSI — 2 мм
Разрешение по вертикали	Режим PSI — 0,1 нм Режим VSI — < 1 нм

Прибор предназначен для определения топографии и параметров шероховатости поверхности широкого спектра различных материалов (металлические и неметаллические материалы, различные покрытия и тонкие пленки, биологические объекты и др.) оптическим методом. Данный профилометр относится к классу бесконтактных оптических приборов, чей принцип действия основан на оптической интерференционной микроскопии — бесконтактном методе для быстрого получения трехмерного (3D) и двухмерного (2D) топографического изображения поверхности, позволяющем наглядно представить и количественно оценить неровности и ступеньки от нанометрового до миллиметрового диапазона.

Измерения могут осуществляться по двум различным методикам в автоматическом режиме:

- ♦ Фазосмещающая интерферометрия (Phase-shifting interferometry PSI) позволяет проводить измерения очень гладких поверхностей, при этом расстояние между двумя соседними точками не должно превышать 160 нм;

- ♦ Вертикальная сканирующая интерферометрия (Vertical scanning interferometry VSI) позволяет измерять поверхности с высокими значениями шероховатости, а также различные дефекты высотой (глубиной) до нескольких миллиметров.

Имеющееся программное обеспечение (Wyko Vision 32) позволяет совмещать обе методики в одном измерении, строить трехмерные изображения рельефа поверхности, линейные профили поверхности в заданном направлении и гистограммы распределения пиков по высоте, а также позволяет рассчитывать объемные и линейные параметры шероховатости.

Основным преимуществом метода оптической профилометрии является возможность проникновения пучка света в такие места на поверхности образца, которые не доступны при использовании контактных методов определения шероховатости из-за большего диаметра иглы.

ИМПАКТ-ТЕСТЕР

Impact Tester, CemeCon, Германия

Технические характеристики

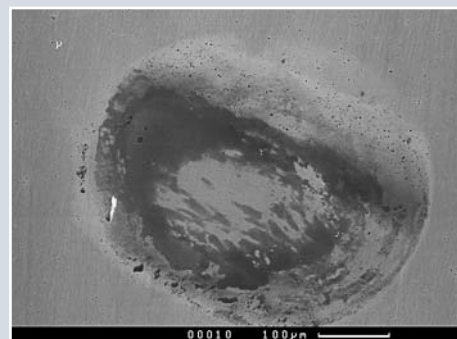
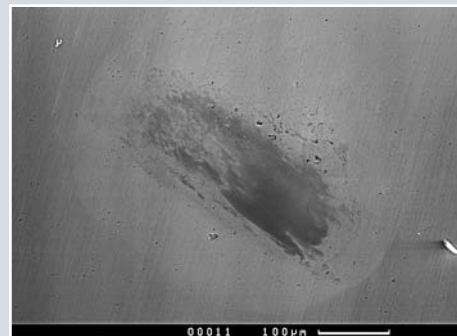
Сила удара, Н	100–1500 ($\pm 3\%$)
Частота ударов, Гц	50
Длительность эксперимента при 1 млн. ударов, час	5,5
Диаметр индентора, мм	2,5/ 5
Материал индентора	Твердый сплав, стали, сплавы, керамика и др.
Контроль процесса	Полное компьютерное управление
Программное обеспечение	ITEC PLUS, LabView

Импакт-тестер фирмы CemeCon позволяет проводить комплексное исследование, как покрытий, так и объемных материалов, в условиях ударных нагрузок. Принцип действия прибора основан на ударном, однократном или циклическом, воздействии на исследуемую поверхность шарика-индентора с фиксированной нагрузкой и частотой. Режим испытания задается путем варьирования двух основных характеристик — силы удара и количества ударов.

С помощью прибора могут быть оценены следующие характеристики:

- ◆ скорость износа в условиях ударных воздействий (на основе измерений глубины или площади поперечного сечения образовавшегося кратера);
- ◆ адгезионная и когезионная прочность покрытий (путем определения критической нагрузки или критического уровня напряжения, приводящих к адгезионному или когезионному разрушению);
- ◆ усталостная прочность материала;
- ◆ трещиностойкость материала;
- ◆ стойкость режущего инструмента по схеме Flank Wear (моделирование)*;
- ◆ распределение напряжений по глубине и по сечению кратера*;
- ◆ построение кривых «напряжение-деформация»*;
- ◆ упруго-пластические свойства материала*.

* при использовании дополнительного программного обеспечения и алгоритмов (ANSYS, SSCUBONI и др.)



**Микрофотографии областей контакта
стального шарика с покрытием Ti–B–N
после 1 000 и 10 000 ударов,
соответственно**

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ МАШИНА ТРЕНИЯ

High-temperature Tribometer, CSM Instruments,
Швейцария



Технические характеристики

Модуль вращательного движения, схема «шарик-диск»	
Диапазон нагрузок	От 1 до 10 Н
Температурный диапазон	20–1000°C
Частота вращения	0,06–600 об/мин
Диаметр дискового образца	26–60 мм
Среда испытания	Воздух

Высокотемпературный трибометр фирмы CSM Instruments с комплектом керамических (Al_2O_3 , SiN, SiC), стальных (100Cr6, 440C, INOX) и твердосплавных шариков различного радиуса позволяет изучать трение и износ при высоких температурах (до 1000°C), что особенно важно для новых функциональных материалов, предназначенных для авиационной и космической техники.

Прибор предназначен для определения долговечности работы покрытий в парах трения скольжения, подвергающихся различным нагрузкам при повышенных температурах и скоростях, и представляет собой автоматизированную прецизионную машину трения, работающую при высоких температурах по схеме «стержень-диск». Для выбранной пары трения прибор позволяет изучать коэффициент трения скольжения, а также скорость износа образца и контртела (испытания проводятся согласно стандартам ASTM G99-959 и DIN50324).

Образец в виде диска с упрочненной поверхностью (покрытием), вращается с заданной частотой в зоне нагрева. Контртело в виде сертифицированного шарика закреплено неподвижно в держателе, который передает ему заданную нагрузку и связан с датчиками силы трения и глубины погружения контртела. Такая схема контакта позволяет также проводить математический расчет начальных контактных напряжений (напряжений Герца).

Прибор управляется компьютером, который контролирует параметры калибровки и испытания при нагреве, осуществляет сбор данных и позволяет проводить расчеты простым нажатием кнопки.

АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОП

Atomic Force Microscope, CSM Instruments,
Швейцария

Технические характеристики

Область сканирования XY	40×40 кв. мкм
Разрешение по оси X, Y	50 нм
Разрешение по оси Z	1 нм

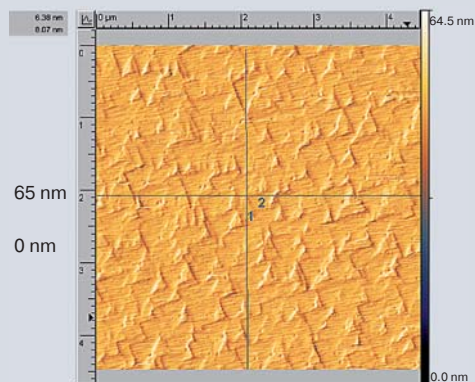
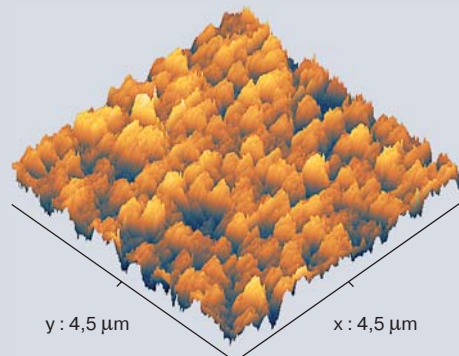
Атомно-силовой объектив AFM-Objective (CSM Instruments, Швейцария) интегрирован в твердомер NanoHardness Tester (CSM Instruments, Швейцария) и дополняет его возможности.

Он может быть использован для изучения строения отпечатков, полученных при малых нагрузках (менее 5–10 мН), когда размер отпечатка от индентора становится меньше, чем разрешение оптического микроскопа.

Объектив также позволяет наблюдение поверхностного рельефа любых плоских образцов с разрешением 50 нм в опорной горизонтальной плоскости (координаты $x-y$) и 1 нм по вертикальной координате (z). Для построения трехмерного изображения поверхности с возможностью измерения в трех направлениях используют топографический контраст, который характеризует отклик материала при сканировании поверхности кантилевером (кремниевой иглой специальной формы) в условиях упругого механического контакта с постоянной силой прижима или при сохранении постоянным расстояния поверхность-индентор.

Калибровка объектива проводится по эталонному образцу, который имеет известный пространственный профиль (канавку глубиной 80 нм и шириной 10 мкм).

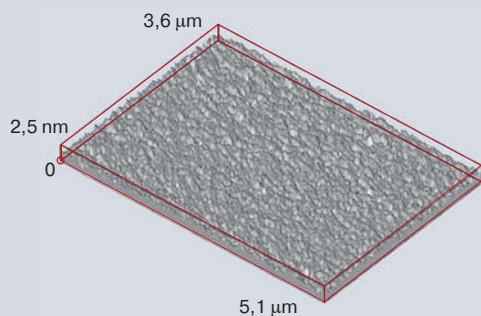
Таким образом, анализ изображений, полученных с помощью атомно-силового объектива позволяет проводить качественную и количественную оценку топографии и параметров шероховатости поверхности



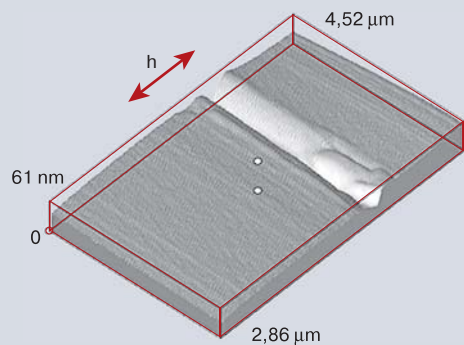
Поверхность кремниевой пластины.
Трехмерное и двумерное изображение

СКАНИРУЮЩИЙ СИЛОВОЙ МИКРОСКОП

NanoScan, Россия



Покрытие Ti-Zr-C-N-O на поверхности Si



**Измерение твердости по методу
склерометрии**

Прибор предназначен для определения топографии поверхности твердых тел и измерения твердости по методу склерометрии (царапанье) с постоянной нагрузкой.

Прибор отличается от других подобных устройств высокой жесткостью (6×10^4 Н/м) керамического биморфного кантилевера и возможностью использовать в качестве индентора помимо алмазной пирамиды иглы из ультратвердого фулерита. В отличие от метода наноиндентирования (твердость в условиях упругой и пластической деформации), метод склерометрии позволяет измерять твердость в условиях разрушения. В методе склерометрии отсутствует проблемы связанные с высоким упругим восстановлением материала и влиянием размера отпечатка индентора.

Определение твердости с помощью прибора НАНОСКАН основано на методе сравнительной склерометрии, когда царапина наносится поочередно на изучаемый материал и эталон, твердость которого известна. Повторное сканирование царапин осуществляется тем же самым зондом.

Твердость рассчитывается по формуле:

$$H_x = H_s (P_x / P_s) (h_s^2 / h_x^2)$$

где H_x — твердость изучаемого образца, P_x и P_s — нагрузка на индентор при царапанье образца и эталона, соответственно, H_s — твердость эталона.

ПРОФИЛОМЕТР

Profilometer SJ-402, Япония

Прибор представляет собой автоматизированный прецизионный контактный профилومتر. Измерение линейного профиля поверхности осуществляется путем измерения вертикального отклонения алмазного наконечника (щупа), перемещающегося под минимальной нагрузкой с постоянной скоростью в условиях механического контакта с образцом.

Прибор имеет три диапазона измерений, отличающихся чувствительностью, и несколько скоростей перемещения измерительного щупа, что позволяет проводить быстро оценочные измерения и более тщательно изучать важные образцы.

Для калибровки профилометра используют прецизионный сертифицированный эталонный образец со специально обработанной поверхностью, который имеет известные значения среднего арифметического отклонения профиля R_a и высоты неровностей профиля R_z .

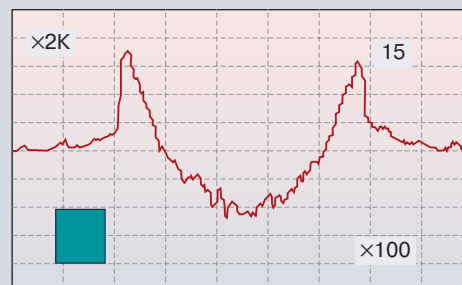
По результатам измерений определяют поверхностный профиль вдоль прямой линии и с помощью программного обеспечения рассчитывают параметры шероховатости поверхности.

Прибор может определять 35 параметров шероховатости согласно стандартам ГОСТ 2789-73, ISO, ANSI, JIS, DIN.



Технические характеристики

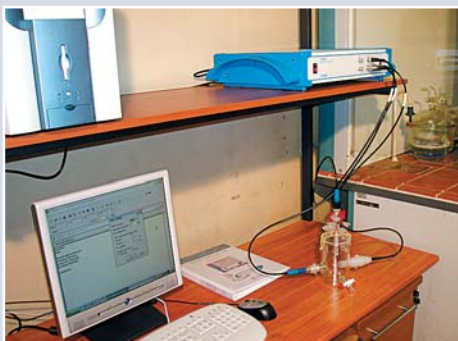
Длина пробега измерительного щупа	1–50 мм		
Приложенная нагрузка	0,75 мН		
Радиус закругления щупа	2 мкм		
Скорость перемещения	0,05–1 мм/с		
Диапазон измерения по вертикали, мкм	8	80	800
Разрешение по оси Z, нм	0,125	1,25	12,5



Профилограммы бороздок износа
(размеры маркера: 100 мкм по горизонтали, 5 мкм по вертикали)

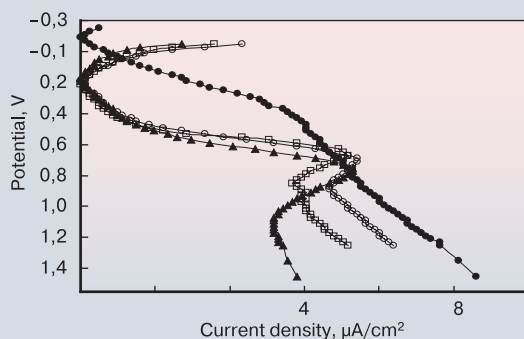
УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРО- ХИМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Complete System for Electrochemical Research
(VoltaLab), Франция



Технические характеристики

Наличие режима гальваностата	Есть
Выносной электрометрический усилитель	Есть
Выходное напряжение	30 В
Поляризация	15 В
Максимальный ток	1 А
Чувствительность по току	300 фА
Диапазон скоростей развертки	0–20 В/с
Входное сопротивление	1012 Ом
Активная IR компенсация	Есть
Наличие программного обеспечения	Есть



D.V. Shtansky, et al., Surface and Coatings Technology, 2001 (2006) 4111.

Установка предназначена для изучения коррозионно-электрохимических свойств различных пар покрытие/металлическая подложка. Испытания соответствуют ISO 16429 и ГОСТ Р ИСО 10993-15-2001.

Определение кинетики изменения потенциала покрытий позволяет выполнять оценку изменения содержания активных элементов на поверхности, а изучение катодно-анодного поведения покрытий — проводить расчеты скорости коррозии и прогнозировать их поведения в паре с металлическими подложками.

Установка состоит из потенциостата, электрохимической термостатической ячейки и набора электродов.

Потенциостат VoltaLab-50 предназначен для исследования любых электрохимических процессов, в частности, процессов осаждения и растворения металлов, электродных процессов в химических источниках тока, характеристики коррозионной стойкости различных материалов, вольтамперметрического и кулонометрического определения состава веществ и проведения других электрохимические измерений.

Потенциостат имеет возможность задания потенциала или тока в стационарных и нестационарных режимах и регистрации стационарных и циклических вольтамперограмм, хроноамперограмм, хронопотенциограмм, кулонометрических кривых и проведения других электрохимических измерений.

Управление потенциостатом осуществляется с помощью компьютера под управлением операционной системы Windows. Программное обеспечение позволяет осуществлять управление измерениями на потенциостате-гальваностате и управление внешними устройствами, задание и редактирование программ-алгоритмов измерений, графическое представление и запись результатов измерений в любом из режимов работ, полный анализ данных в различных координатах, преобразование исходных данных в другие форматы для обработки в других стандартных программах.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ВАКУУМНАЯ ПЕЧЬ

Производитель «Фирма ВакЭТО», Россия

Вакуумная электропечь ВЭ-3-16 предназначена для проведения экспериментальных и лабораторных термических процессов в вакууме или среде нейтральных (защитных) газов при температурах до 1600°C.

Корпус выполнен в шахтном (вертикальном) исполнении. Нагреватель выполнен из УКМ (углеродного композиционного материала) и имеет цилиндрическую симметрию. Система управления является двухуровневой: возможно проведение нагрева в ручном (наладочном) и в автоматическом режиме с помощью микропроцессорного регулятора. В качестве температурного датчика применена термопара ВР-5/20.

Вакуумная электропечь ВЭ-3-16 используется в научном и учебном процессе для:

- ◆ изучения термической стабильности композиционных наноструктурных материалов и покрытий;
- ◆ термической обработки СВС сплавов с целью получения и стабилизации заданного фазового и структурного состояния, в том числе получения МАХ-фаз;
- ◆ спекания порошковых электродов для технологии электроискрового легирования;
- ◆ спекания твердых сплавов и керамики;
- ◆ высокотемпературной пайки СВС мишеней к водоохлаждаемым пластинам для вакуумного распыления;
- ◆ в учебном практикуме по технологии порошковой металлургии.



Технические характеристики

Максимальная температура	1600°C
Размеры рабочего пространства, мм	не менее: Диаметр 150 Высота 150
Предельное остаточное давление в вакуумной камере без садки при температуре 1600°C	не менее: 5×10^{-5} мм рт.ст.
Натекание (без учета дегазации в пустой, холодной печи)	не хуже 0,2 сссм
Равномерность температурного поля при 1000 °C	не хуже ± 10 °C
Максимальная масса садки	10 кг

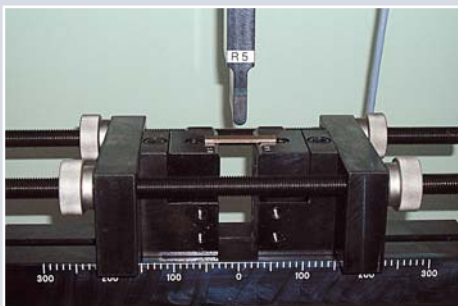
УНИВЕРСАЛЬНАЯ МАШИНА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ «LF-100kN»

Walter + Bai, Швейцария



Технические характеристики

Максимальное усилие в статике	100 кН
Точность согласно ISO 7500-1	ENISO-7500-1
1% ÷ 100% нагрузки	класс 0,5%
0,4% ÷ 1% нагрузки	класс 1%
Ход поршня	400 мм
Максимальная скорость поршня/испытания	200 мм/мин
Точность перемещения	0,2 % от полного диапазона
Размер образцов плоские	0,01–32 мм
круглые	2,5–30 мм



НАЗНАЧЕНИЕ

Оборудование предназначено для механических испытаний на растяжение, сжатие и изгиб различных образцов с нагрузкой до 100 кН.

- ◆ стандартные испытания на сжатие металлических образцов согласно DIN 50106, ASTM и др. строительных материалов согласно EN 12390-3, EN196-1;
- ◆ стандартные испытания на изгиб/загиб согласно EN ISO 7438, ASTM A615-85, A615M, ASTM.

Машина снабжена устройством для проведения испытаний на сжатие типа DP-100 (диаметр нажимных пластин — 200 мм, твердость пластин 60-62 HRC) и устройством для проведения испытаний на 3-х точечный изгиб типа BT-100 (расстояние между суппортами составляет 4–300 мм, набор нажимных и опорных роликов диам. 5, 10, 20 и 25 мм).

УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

осуществляется с помощью цифровой системы управления Digiwin 2000-EDC120 с базовым модулем DION-Basic, что позволяет проводить:

- ◆ *стандартные испытания на сжатие и изгиб* с определением значения предела упругости, значения предела пропорциональности, условного предела текучести, относительного сжатия, укорочения, % укорочения, модуля упругости, максимального усилия при разрушении, построения диаграммы напряжения, диаграммы нагрузка/укорочение и др.;

- ◆ *циклические испытания и испытания на ползучесть* при сжатии с отображением количества циклов, типа и длительности преднагружения, времени удерживания нагрузки при достижении определенной температуры (при температурных испытаниях), длительности испытания, модуля упругости (в том числе при нагреве и пониженных температурах), предела прочности, деформации при разрушении, максимальной нагрузки, упругой деформации, пластической деформации и т.д.

- ◆ *измерение осевой и поперечной деформации* с отображением значений r и n , коэффициента Пуассона μ , количества измерений N , постоянной долговечности K , вертикальной анизотропии r и т. д.

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ

CAM 101, KSV Instruments, Финляндия

Технические характеристики

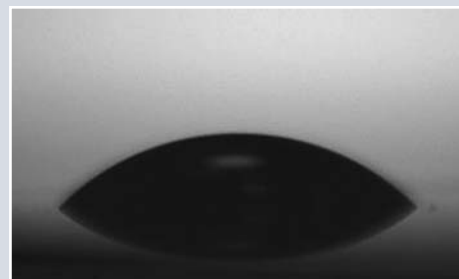
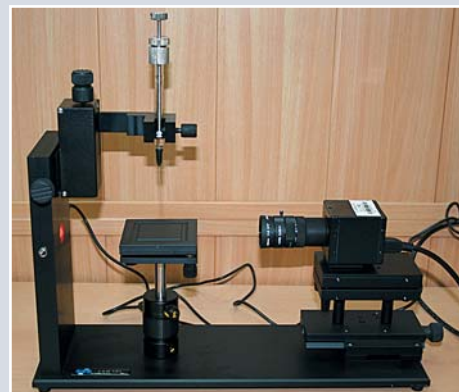
Максимальный размер образца	неограниченный×150×150 мм (l×w×h)
Временной интервал между кадрами	33 мс...1000 с
Максимальная скорость съемки	30 изображений в секунду
Интервал измерения краевых углов смачивания	0...180 град
Точность измерения	±0,1 град
Интервал измерения поверхностного натяжения	0,01...999 мН/м
Точность измерения	0,1 мН/м
Метод расчета	полностью автоматизированный оптимизационный поиск кривой Лапласа, наилучшим образом описывающий координаты оцифрованного профиля межфазной поверхности

CAM 101 — контролируемая компьютером система для определения статического и динамического краевого угла смачивания, поверхностного и межфазного натяжения жидкостей в статическом и динамическом режимах, а также свободной поверхностной энергии.

Установка оснащена цифровой видеокамерой (FireWire, IEEE 1394) и программным обеспечением C200SW, позволяющими получать видеоизображение капли и проводить компьютеризованный анализ геометрических параметров ее оцифрованного изображения. Установка может быть использована для проведения фундаментальных научных исследований, при разработке и тестировании новых материалов, контроля качества продукции, а также в учебных целях.

Области применения:

- ◆ исследование свойств поверхности биоматериалов;
- ◆ исследование фармацевтических препаратов (порошки, таблетки, капсулы);
- ◆ исследование косметических средств;
- ◆ изучение свойств поверхности композиционных материалов;
- ◆ исследование свойств поверхности полупроводников;
- ◆ исследование свойств поверхности и качества покрытий;
- ◆ изучение свойств поверхности текстильных материалов;
- ◆ изучение свойств поверхности упаковочных материалов.



**Геометрия капли на гидрофильной
и гидрофобной поверхности**

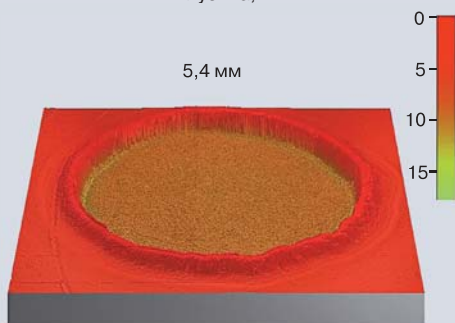
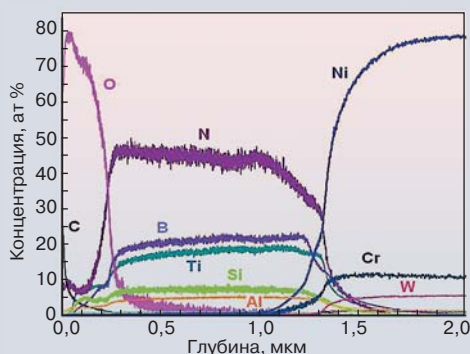
ОПТИЧЕСКИЙ ЭМИССИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

PROFILER-2, Horiba Jobin Yvon, Франция



Технические характеристики

Количество каналов	до 47
Спектральный диапазон	110–620, (до 900) нм
Тип генератора	ВЧ
Полихроматор	Пашена-Рунге (и Flat-Field)
Фокусное расстояние	0,5 м
Решетка полихроматора	2400 штр/мм
Система автоматич. сканирования	Polyscan
Чувствительность	1×10^{-4} ат %
Детекторы	HDD
Зона анализа	4 мм
Спектральное разрешение в УФ	Лучше 0,018 нм
Программное обеспечение	Quantum XP
Глубина анализа	До 200 мкм
Разрешение по глубине	До 1–2 нм



**Покрытие Ti-Al-Si-B-N, нанесенное
на никелевый сплав, после отжига
на воздухе при 700°C**

Оптический эмиссионный спектрометр тлеющего разряда PROFILER-2 производства компании HORIBA Jobin Yvon (Франция) предназначен для поверхностного и послойного элементного анализа покрытий и объёмных материалов. Позволяет одновременно количественно определять широкий спектр элементов, в т. ч. газвые (N, O, H, Cl, F) и щелочные (Na, Li, K, Cs).

Спектрометр оснащен ВЧ-генератором, позволяющим проводить анализ в импульсном режиме, что обеспечивает возможность исследования материалов различной природы. В качестве образцов для анализа могут быть использованы как проводящие (металлы, сплавы, тугоплавкие соединения металлов), так и непроводящие материалы, в том числе хрупкие (оксидная керамика, стекла) и разлагающиеся при нагреве (полимеры).

Спектрометр подходит для изучения различных покрытий, нанесенных вакуумными методами, диффузионным насыщением, лакокрасочных, газотермических, гальванических и др. Прибор может быть использован для исследования процессов высокотемпературного окисления, диффузионных процессов, электрохимической коррозии.

УСТАНОВКА МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ UDP 850/4

TEER COATINGS Ltd., Великобритания

Установка UDP 850/4 производства компании Teer Coatings Limited (Великобритания) предназначена для нанесения упрочняющих покрытий в вакууме на изделия различного назначения (режущий и штамповый инструмент, подшипники, медицинские изделия и др.). Возможно нанесение однослойных и многослойных покрытий в том числе:

- ◆ металлических покрытий (Ti, Cr, Al и др.);
- ◆ двух- и трехкомпонентных покрытий на основе тугоплавких соединений TiN, CrN, ZrN, TiC, TiAlN, TiCN;
- ◆ углеродных покрытий и покрытий на основе халькогенидов с низким коэффициентом трения;
- ◆ оксидных покрытий Al₂O₃, TiO₂, SiO₂ и др.
- ◆ многокомпонентных биоактивных наноструктурных покрытий Ti–Ca–C–O–N, Ti–Ta–Ca–P–C–O–N и др.;
- ◆ сверхтвердых износостойких наноструктурных покрытий Ti–Cr–B–N, Ti–Si–B–N и т. д.

В вакуумной камере установки UDP 850/4 размещены четыре прямоугольных магнетрона с замкнутыми магнитными полями (Closed Field Unbalanced Magnetron System — CFUBMS). Использование схемы с замкнутым магнитным полем обеспечивает увеличение степени ионизации газа, повышение соотношения ион/атом в плазменном потоке, приводит к улучшению структуры и свойств покрытий. Для электропитания магнетронов и подачи отрицательного напряжения смещения используются блоки Pinnacle и Pinnacle Plus (Advanced Energy, США) с частотой импульсов в диапазоне 0÷350 кГц.

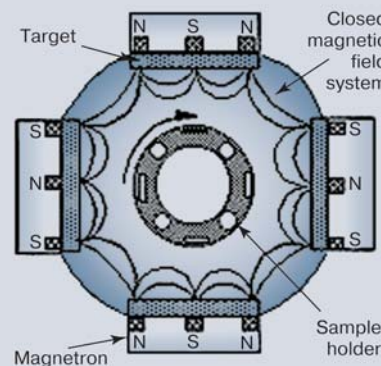
Устройство магнетронов позволяет использовать для распыления не только литые металлические, но и керамические мишени, в том числе изготовленные методом силового СВС-компактирования (TiC_x+CaO, TiSi_x+ZrO₂, TiB₂+TiN, TiCr_xB_y и др.)

Обрабатываемые изделия помещаются в вакуумную камеру и размещаются на специальной карусели, имеющей две оси вращения. Откачка вакуумной камеры в базовом варианте обеспечивается тремя насосами: диффузионным, бустерным и пластинчато-роторным. Контроль расхода газов осуществляется автоматической системой с оптическим эмиссионным спектрометром тлеющего разряда. Процесс нанесения покрытий может полностью контролироваться управляющим компьютером по заранее заданной программе.



Технические характеристики

Количество магнетронов	4
Длина/ширина магнетрона	725/134 мм
Тип электропитания магнетрона	DC и/или Pulse DC
Максимальная частота в режиме Pulse DC	350 кГц
Максимальная мощность на магнетрон	6 кВт (DC) 5 кВт (DC Pulse)
Напряжение смещения (U _{см})	0–1200 В
Частота для U _{см}	0–350 кГц
Контроль реакционного газа	Система обратной связи
Контроль процесса	Полное компьютерное управление. Возможность программирования



УСТАНОВКА ДУАЛЬНОГО МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ UNICOAT 900

ООО «НПФ Элан-Практик», Россия



Технические характеристики

Количество магнетронов	4
Длина/ширина магнетрона	810/90 мм
Тип электропитания магнетрона	DC и/или Pulse DC
Максимальная частота в режиме Pulse DC	40 кГц
Максимальная мощность на магнетроне	12 кВт
Напряжение смещения ($U_{см}$)	0–1200 В
Частота для $U_{см}$	0–40 кГц
Высота щели ионного источника	800 мм
Напряжение на ионном источнике	до 3 кВ
Контроль процесса	Полное компьютерное управление. Возможность программирования

Установка UNICOAT 900 предназначена для нанесения покрытий в вакууме на изделия различного назначения (режущий инструмент, медицинские изделия и др.). Возможно нанесение однослойных и многослойных покрытий, в том числе металлических покрытий; оксидов, карбидов, боридов и нитридов переходных металлов; многокомпонентных наноструктурированных покрытий, нанопозиционных покрытий и др.

В вакуумной камере установки находятся четыре попарно смонтированных несбалансированных магнетрона, ионный источник щелевого типа и два протяженных нагревателя. Использование дуальной схемы обеспечивает повышение соотношения ион/атом в потоке, улучшение структуры и свойств покрытий, предотвращает образование оксидных пленок на поверхности мишени при распылении в кислородсодержащей газовой среде. Для электропитания магнетронов используются блоки ИВЭ-157Д (ЗАО Плазматех, Россия) с частотой импульсов в диапазоне 0–40 кГц и мощностью до 12 кВт на каждый канал (имеется возможность работы двух каналов в дуальном режиме или параллельное подсоединение каналов с увеличением мощности до 24 кВт).

Устройство магнетронов позволяет использовать для распыления не только литые металлические, но и сегментные керамические или металлокерамические мишени, в том числе изготовленные методом силового СВС-компактирования ($TiC_x + CaO$, $TiSi_x + ZrO_2$, $TiB_2 + TiN$, $TiCr_xB_y$ и др.).

Обрабатываемые изделия располагаются на специальной карусели, имеющей две оси вращения. Может быть обеспечено два типа перемещения изделий в процессе осаждения покрытий:

- ♦ вращение всей карусели вокруг центральной оси одновременно с индивидуальным вращением каждой периферийной стойки с изделиями;

- ♦ вращение каждой периферийной стойки с изделиями напротив пары магнетронов или ионного источника. Откачка вакуумной камеры в базовом варианте обеспечивается тремя насосами: диффузионным, бустерным и пластинчато-роторным. Система газоподачи позволяет поддерживать соотношение аргона и двух реакционных газов при постоянном рабочем давлении. Процесс нанесения покрытий может полностью контролироваться управляющим компьютером по заранее заданной программе.

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

УВН-2М, Россия

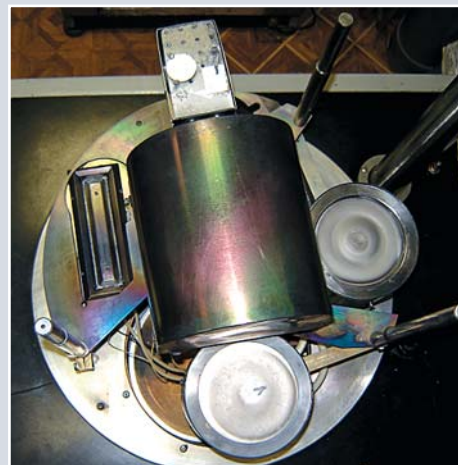
Технические характеристики

Количество магнетронов	2
Диаметр магнетрона	140 мм
Максимальная мощность на магнетрон	3 кВт
Тип электропитания магнетрона	Постоянного тока и/или импульсное
Напряжение смещения	От 0 до -1 кВ
Максимальная мощность на ионный источник	300 Вт

Модернизированная установка магнетронного напыления на базе вакуумной системы УВН-2М предназначена для нанесения упорочняющих покрытий на мелкогабаритные изделия различного назначения. Возможно нанесение однослойных и многослойных покрытий в том числе:

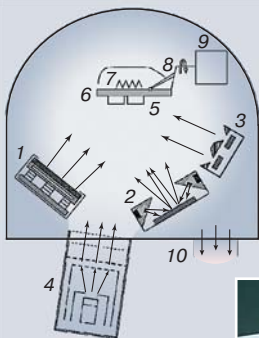
- ◆ металлических покрытий (Ti, Cr, Al и др.),
- ◆ покрытий на основе тугоплавких соединений, таких как TiN, CrN, ZrN, TiC, TiAlN, TiCN,
- ◆ многокомпонентных биоактивных наноструктурных покрытий Ti-Ca-C-O-N, Ti-Ta-Ca-P-C-O-N и др.
- ◆ сверхтвердых износостойких наноструктурных покрытий Ti-B-N, Ti-Si-N, Ti-Cr-B-N, Ti-Si-B-N и т. д.
- ◆ оксидных покрытий Al₂O₃, TiO₂, SiO₂ и др.

В вакуумной камере установки смонтированы два дисковых магнетрона и ионный источник шелевого типа. Ионный источник позволяет проводить очистку подложек путем травления поверхности ионами Ag⁺ непосредственно перед нанесением покрытий. Комбинация из двух магнетронов позволяет использовать один из магнетронов для нанесения адгезионных подслоев. Образцы закрепляются на столике, в котором смонтированы нагреватель (нагрев до 500°C), термопара (ХА) и обеспечен подвод напряжения смещения. Столик с помощью двухосной системы вращения позиционируется над магнетроном или ионным источником. Контроль давления и состава газовых смесей (Ar, N₂, O₂) осуществляется с помощью системы Multi Gas Controller 647C (MKS, США). Диагностика плазмы проводится с помощью переносного оптического эмиссионного спектрометра тлеющего разряда Plasmascope (Horiba Jobin Yvon, Франция) с использованием кварцевого световода, подключенного через отдельный порт.



КОМБИНИРОВАННАЯ УСТАНОВКА МАГНЕТРОННОГО, ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ И ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Россия



В вакуумной камере установки находятся два дисковых магнетрона (диаметр 140 мм, максимальная мощность 3 кВт), ионный источник для очистки подложек, ионный источник для распыления пучком Ar^+ непроводящих материалов (3кВ, 100мА) и имплантор высокоэнергетических ионов металлов «Сокол 50/20» (максимальное ускоряющее напряжение 50 кВ, ток 20 мА).

Технологические устройства совмещены по вакууму, что позволяет проводить процессы магнетронного, ионного распыления и ионной имплантации как независимо друг от друга, так и одновременно.

Возможно нанесение однослойных и слоистых покрытий на основе металлов, сплавов, интерметаллидов, неметаллов, тугоплавких соединений, оксидов, халькогенидов, полимеров, в том числе в комбинации с обработкой подложки и покрытия высокоэнергетическим пучком ионов. Подложки закрепляются на поворотный столик. Предусмотрен нагрев подложек до 500°C и подача напряжения смещения до -1 кВ. Процесс осаждения контролируется блоком управления механизмами рабочей камеры. Контроль давления и состава газовых смесей (Ar , N_2 , O_2) осуществляется с помощью системы Multi Gas Controller 647C (MKS, США).

Возможна диагностика плазмы с помощью переносного оптического эмиссионного спектрометра тлеющего разряда Plasmascope (Horiba Jobin Yvon, Франция) с использованием кварцевого световода, подключенного через отдельный порт.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ (ЭИЛ)

Alier-Metal, Россия-Молдова

Отличительной особенностью установок для электроискрового легирования марок «Alier-303 Metal» (рис. вверху) и «Alier-Metal G-53» (рис. внизу) в комплекте с инструментами для ручной и механизированной обработки являются малые габаритные размеры, а также возможность оптимизации процесса нанесения покрытий для любого типа электродного материала путем изменения режимов работы генератора. Получаемые в результате ЭИЛ поверхностные слои имеют высокую прочность сцепления с основой (деталью) и могут обеспечить:

- ◆ увеличение твердости, коррозионной стойкости, износо- и жаростойкости;
- ◆ получение стабильного коэффициента трения в узлах, работающих в экстремальных условиях (переменные температуры, различные газовые среды и вакуум, режим многократных пуск-остановок и т.п.);
- ◆ восстановление размеров инструмента, деталей машин и механизмов;
- ◆ изменение электрических свойств контактов и эмиссионных способностей поверхности;
- ◆ формирование на поверхности необходимых химических соединений.

Преимуществом ЭИЛ является возможность локальной обработки поверхности, относительная простота, отсутствие жестких требований к предварительной подготовке обрабатываемой поверхности, высокая надежность оборудования, экологичность. Установки комплектуются следующими типами электродных материалов:

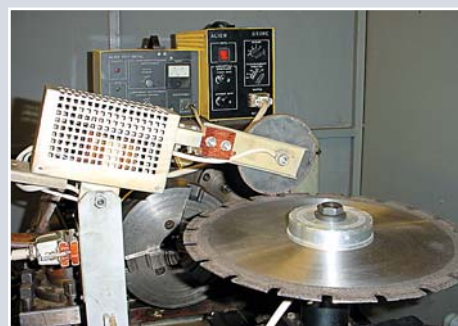
- ◆ электродные материалы, изготавливаемые по технологии СВС;
- ◆ дисперсно-упрочненные наночастицами твердосплавные материалы с модифицированной структурой;
- ◆ твердосплавные наноструктурные электроды.

В зависимости от решаемой задачи выбираются электроды для осаждения на поверхность инструмента многофункциональных защитных покрытий. Электроды выпускаются как для ручной, так и механизированной обработки. Все составы электродных материалов стандартизированы в виде ТУ.



Технические характеристики

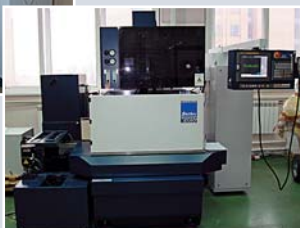
Тип	независимый
Количество режимов	7
Количество подрежимов	5
Рабочий ток	200 А
Тип инструмента	– ручной низкочастотный 100 Гц – с вибрирующим дисковым электродом – осевой инструмент – инструмент многоэлектродный
Длительность импульса, мкс	28–1800 мкс
Частота импульсов	3200–50 Гц
Габаритные размеры	≤ 160×320×360 мм



Технические характеристики

Тип	зависимый
Количество режимов	7
Количество подреж-в	5
Рабочий ток	200 А
Тип инструмента	– ручной низкочастотный 100 Гц – с вибрирующим дисковым электродом
Габаритные размеры	≤ 170×250×430 мм
Масса генератора	15 кг

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ УЧАСТОК СВС



Опытно-промышленный участок порошковой металлургии и СВС — технологии оснащен оборудованием для подготовки порошков (дезинтеграция, размол, дробление, рассев, сушка, взвешивание, шаровое смешивание, смешивание в ультразвуковом поле, механическое активирование в планетарной мельнице), синтеза и механической обработки новых материалов — катодов-мишеней для магнетронного распыления и электродов для электроискрового упрочнения (гидравлические прессы, пресс горячего прессования, реакторы, шлифовальные станки, электроэрозионный станок, шлифовально-полировальный станок; муфельная и вакуумная печи для термообработки и испытаний на жаростойкость; ультразвуковой дефектоскоп).



Волна горения во время СВС



Катоды-мишени для магнетронного распыления и электроды для электроискрового упрочнения марки СВС

АНАЛИЗАТОР СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ

Beckman COULTER® N5, США

Прибор предназначен для определения размера частиц и гранулометрического состава порошков. Размер частиц определяется путем измерения скорости диффузии частиц в жидкости. Для раствора с заданной вязкостью и при постоянной температуре скорость диффузии или коэффициент диффузии (D) обратно пропорционален размеру частицы в соответствии с уравнением Стокса-Эйнштейна:

$$D = \frac{k_B \cdot T}{3 \pi \eta \cdot d}$$

где: k_B = постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг / °К)

T = температура (К)

π = вязкость растворителя (пуаз)

d = диаметр эквивалентной сферы (сантиметры).

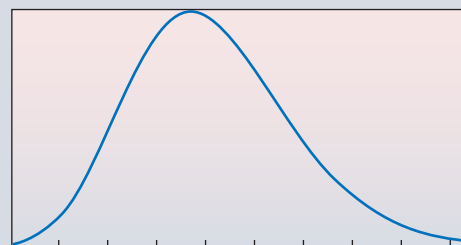
Частицы, подверженные Броуновскому движению, детектируются и анализируются путем освещения частиц лазерным светом и измерения рассеянного света с помощью ФЭУ. Свет, рассеянный частицами в любой данный момент, складывается и образует интерференционную картину. Большие, относительно медленно двигающиеся частицы, изменяют свои положения медленно и вызывают медленные флуктуации на детекторе, наоборот, малые, быстро двигающиеся частицы, вызывают быстрые флуктуации интенсивности. Спектроскопия корреляции фотонов (СКФ) основывается на измерении флуктуаций рассеянного света (или флуктуаций числа фотонов рассеянного света). СКФ измеряет частицы путем определения точного временного масштаба случайных флуктуаций интенсивности, вызванных меняющимися конфигурациями диффундирующих Броуновских частиц. Для того чтобы рассчитать коэффициент диффузии и, следовательно, размер частицы из изменяющегося сигнала интенсивности света, сигнал должен быть математически преобразован. Результат этого преобразования называется автокорреляционной функцией, АКФ, (autocorrelation function, ACF) и оно осуществляется коррелятором прибора.

Программное обеспечение прибора, полностью совместимое с Windows XP, позволяет строить гранулометрическую кривую порошка, определять средний размер частиц и статистически обрабатывать результаты измерения.



Технические характеристики

Принцип измерения	Спектроскопия корреляции фотонов
Среда измерения	Вода, толуол, стирол, оливковое масло, минеральное масло, метанол, гексан, гептан, этанол, хлороформ, ацетон и др.
Диапазон измеряемых размеров частиц	3–3000 нм
Температура измерения	0–90 ±2 °С
Время измерения	2–30 мин



Гранулометрическая кривая
ультрадисперсного порошка Al_2O_3

ГЕЛИЕВЫЙ ПИКНОМЕТР AccuPyc 1340, Micromeritics, США



Технические характеристики

Объем камеры	10, 35, 100 см ³
Достоверность	±0,01 % шкалы объема камеры образца
Время анализа	2–3 минуты
Газы	Гелий чистотой 99,995 %

Гелиевый пикнометр AccuPyc 1340 предназначен для высокоскоростного и высокоточного измерения объема и вычисление истинной плотности порошков, твердых материалов, паст, концентрированных суспензий и жидкостей с низким давлением пара, имеющих объемы от 0.01 до 70 см³.

Измерение объема проводится в специальной калиброванной камере, наполненной гелием. В процессе анализа газ проникает в самые мельчайшие поры образца, и образец вытесняет объем газа, равный объему только истинно твердой фазы. Если предварительно был введен вес образца, то прибор вычисляет его плотность.

Программное обеспечение в среде Windows® XP обеспечивает дополнительные возможности по представлению и архивированию данных, а также вычисление процентной концентрации твердого вещества в пастах и концентрированных взвешях с содержанием твердых веществ более 20 %. При известных геометрических размерах образца или объемной плотности программа позволяет вычислять общий объем пор.

ПЛАНЕТАРНАЯ МЕЛЬНИЦА «ПУЛЬВЕРИЗЕТТЕ 5» FRITSCH GmbH, Германия



Технические характеристики

Принцип работы	удар
Количество мест для размольных стаканов	2
Размеры размольных стаканов	250 и 500 мл
Диаметр мелющих шаров	0,5–40 мм
Материал размольных стаканов и шаров	нержавеющая сталь, агат
Максимальный начальный размер частиц	10 мм
Минимальное количество пробы	30 мл
Максимальное количество пробы	450 (2×225) мл
Конечная тонкость измельчения	< 1 мкм
Число оборотов планетарного диска	50–400 об/мин
Центробежное ускорение ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$)	22 g

Прибор предназначен для сверхтонкого измельчения до коллоидальной тонкости сухих лабораторных проб или твердых материалов в суспензии. Перемешивание и совершенная гомогенизация эмульсий или паст.