ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ ГАЗОПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

Цели и задачи

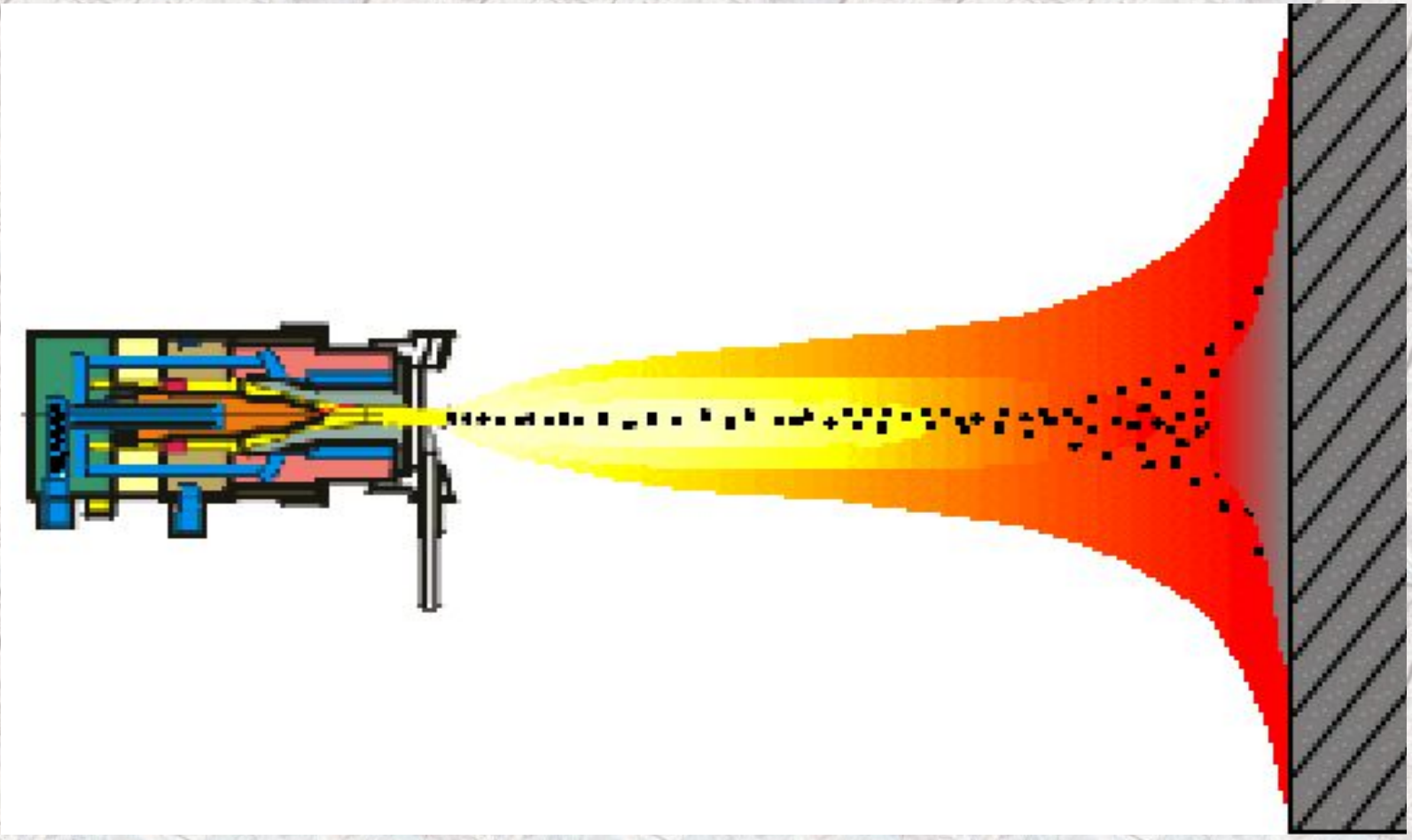
Целью настоящей работы являлось исследование влияния термодинамических параметров гетерогенной плазменной струи на формирование покрытий с заданными функциональными свойствами, в частности, покрытий с защитными свойствами на различных подложках.

Решались следующие задачи:

1. Исследование состава и термодинамических характеристик плазмообразующих газов (Ar, N2, H2, смеси xAr + (1-x)N2, xAr + (1-x)H2) в зависимости от температуры с применением методов термодинамического моделирования.
2. Моделирование равновесного состава и термодинамических свойств систем "плазма + частица".
3. Моделирование формирования покрытий с использованием программного комплекса «Plasma 2002».
4. Практическое применение метода плазменного напыления для получения покрытий с защитными свойствами на стальных (чугунных) подложках.

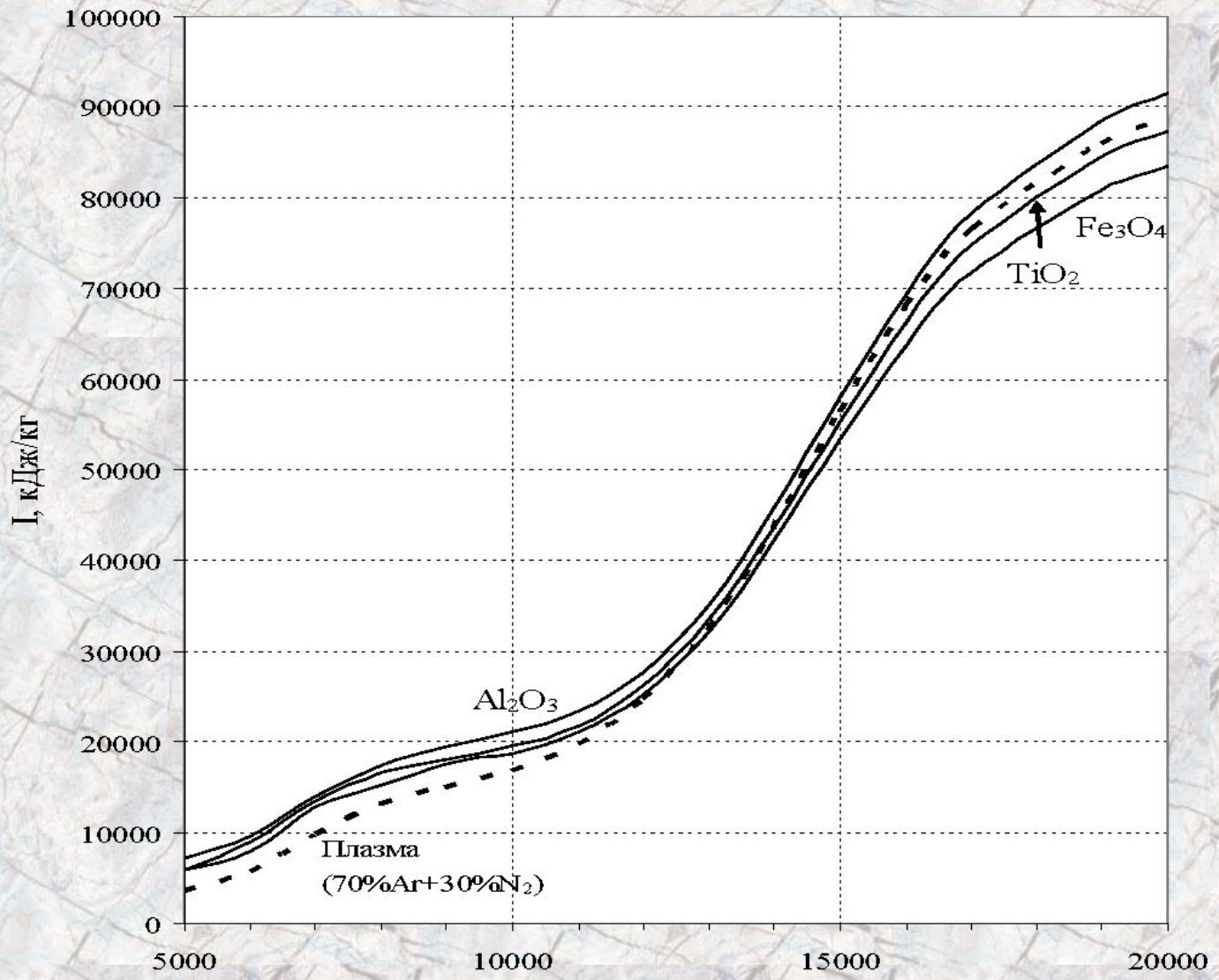
ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

Процесс плазменного напыления



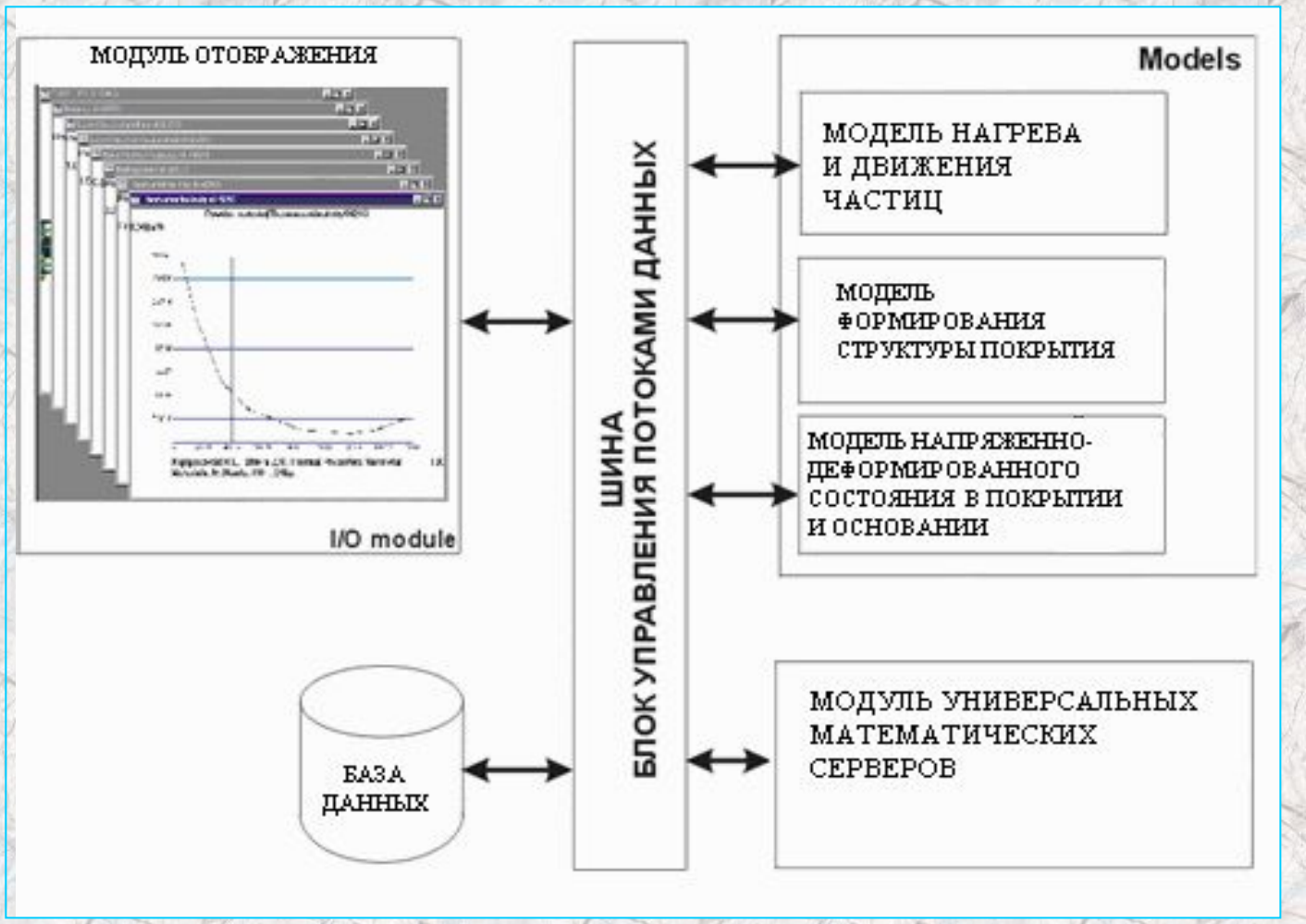
ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

Энтальпия системы "плазма – частица". Состав плазмообразующего газа - 70%Ar+30%N2. Частица -оксиды



ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

Программный комплекс «PLASMA 2002»



ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

ДВИЖЕНИЯ И НАГРЕВА ЧАСТИЦ ПОРОШКА В ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРОНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Исследования проведены со следующими исходными данными:

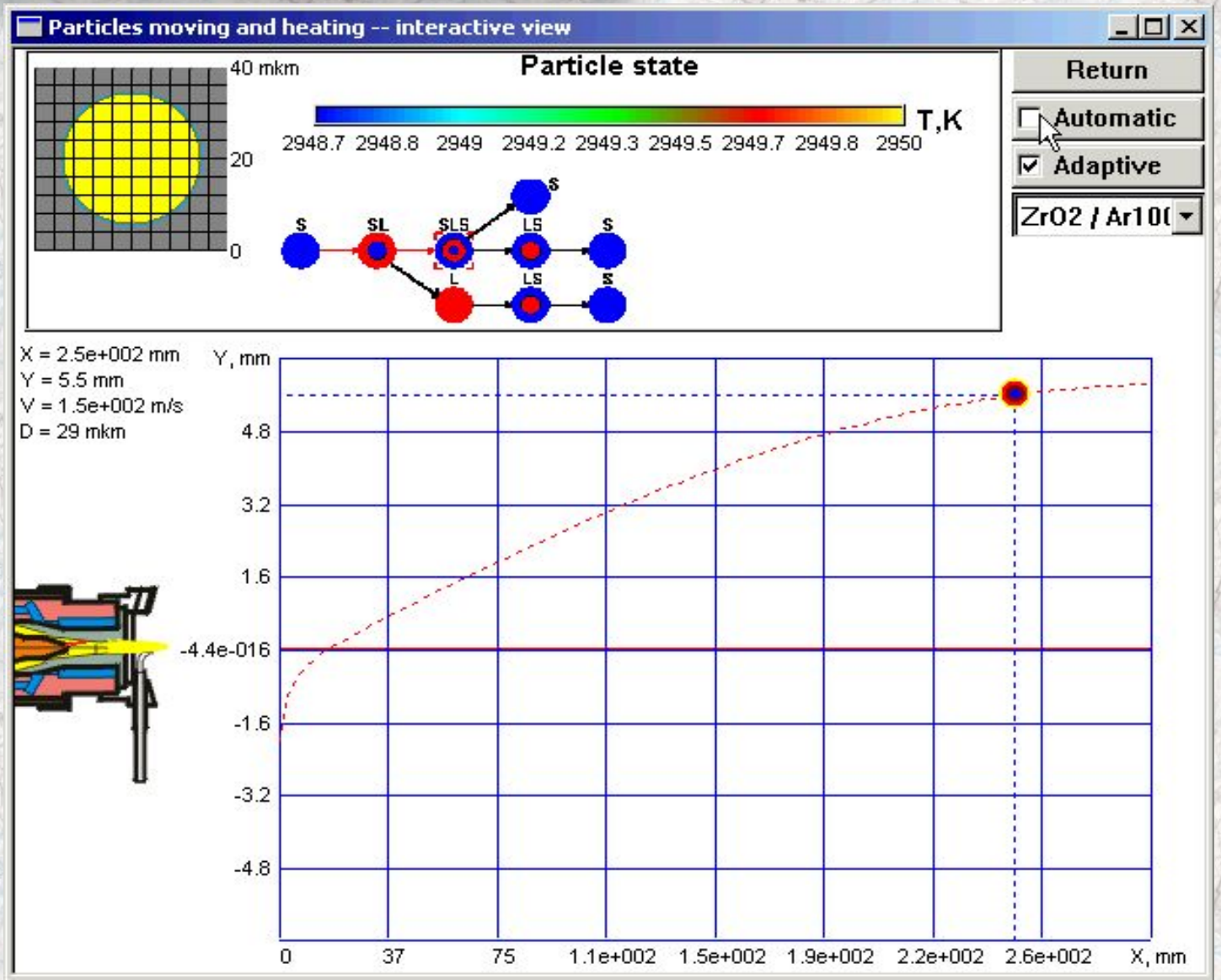
- **плазмообразующий газ - N_2;**
- **материал напыляемого порошка - оксид алюминия Al_2O_3;**
- **начальный диаметр частиц – 63 мкм;**
- **начальная температура - 300 K;**
- **дистанция напыления - 200 мм;**
- **начальная скорость ввода частиц изменялась от 2 до 14 м/с (с шагом 2 м/с)/**

Исследовалось влияние начальной скорости ввода частиц в плазменную струю на:

- **траекторию движения частиц в плазменной струе;**
- **изменение скорости полета частиц порошка вдоль оси плазменной струи с момента их ввода;**
- **изменение температуры в центре частицы при нахождении в плазменной струе.**

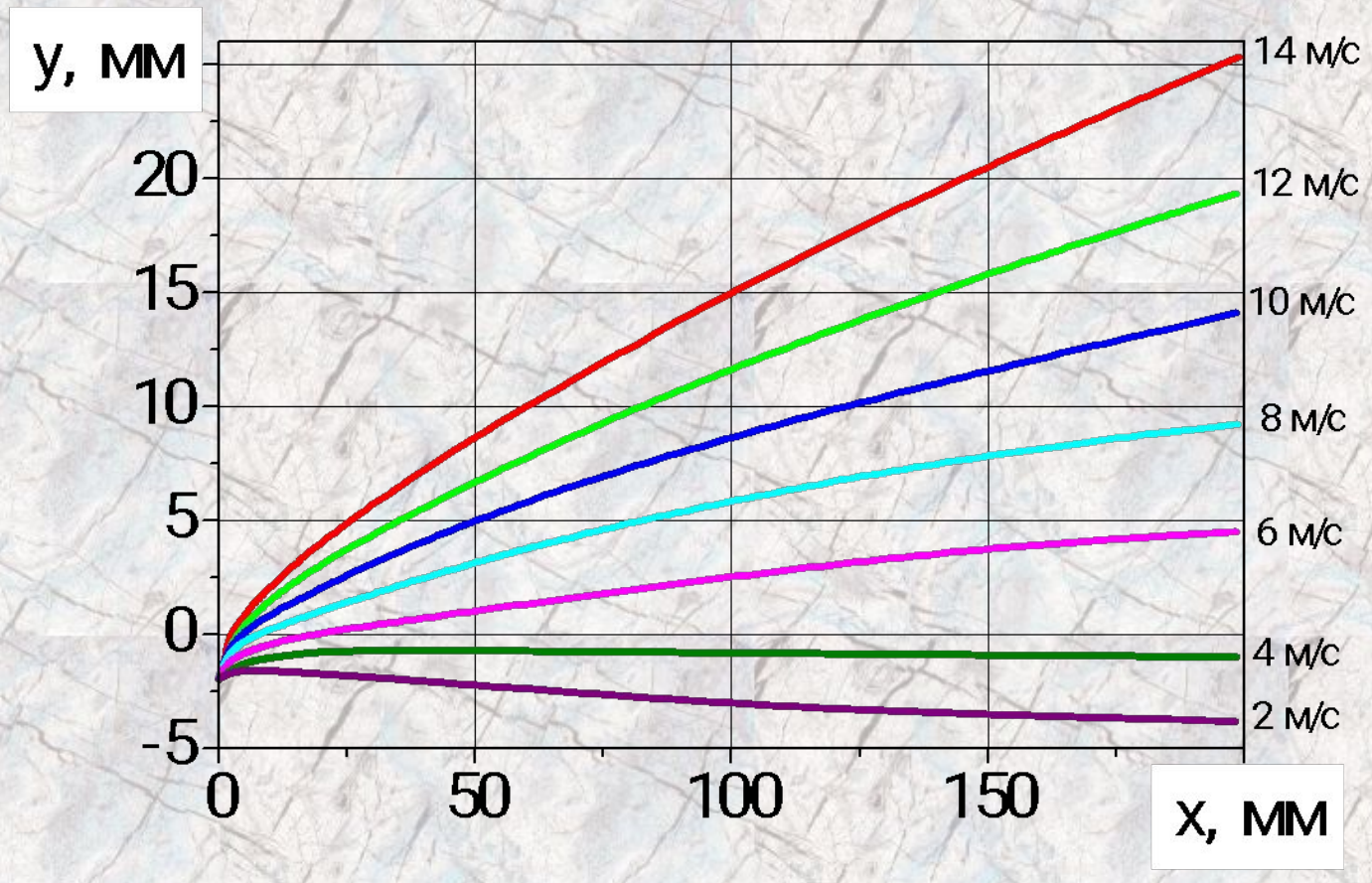
ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА И ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПОРОШКА В ПЛАЗМЕННОЙ



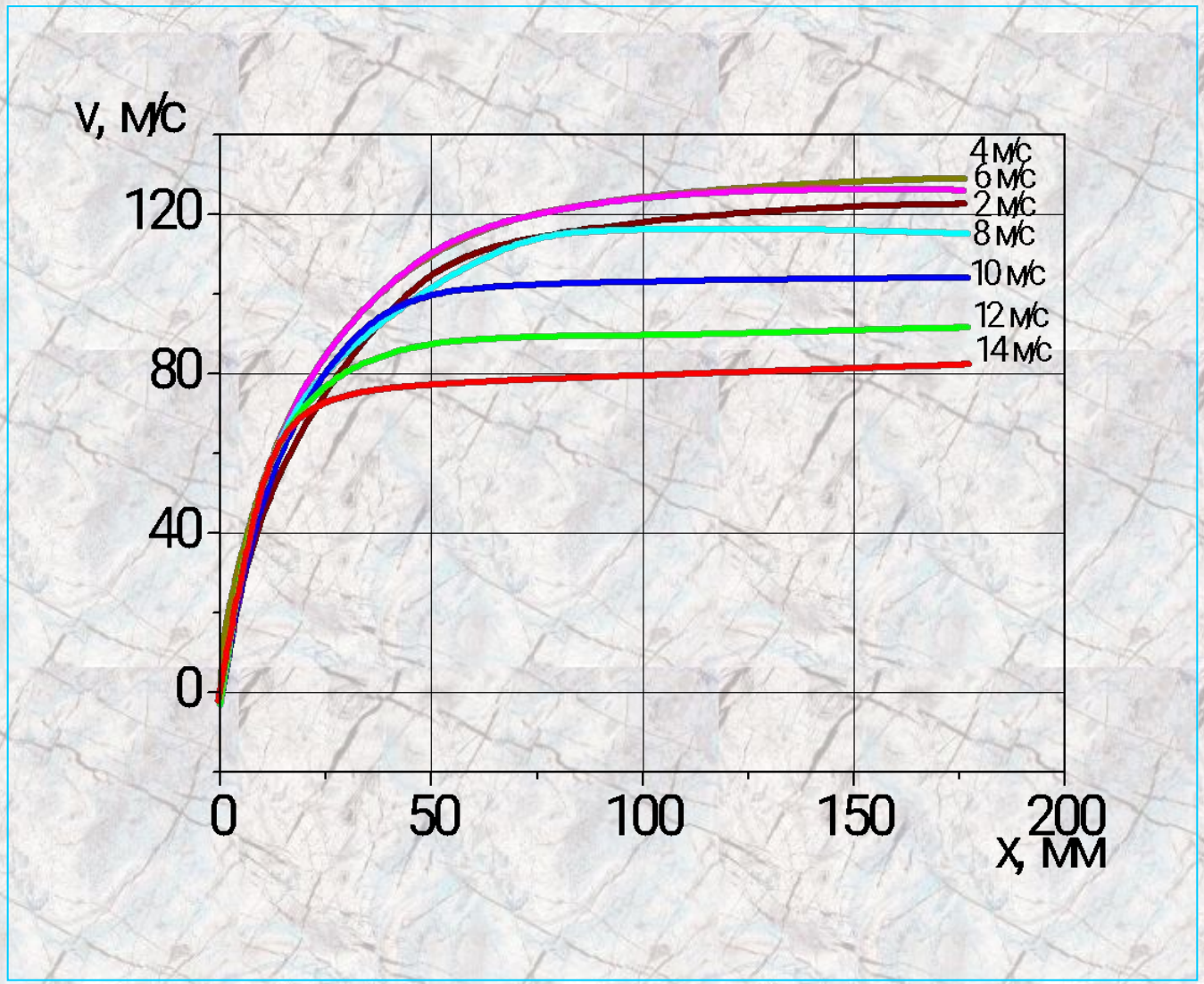
ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

Траекторию движения частиц в плазменной струе



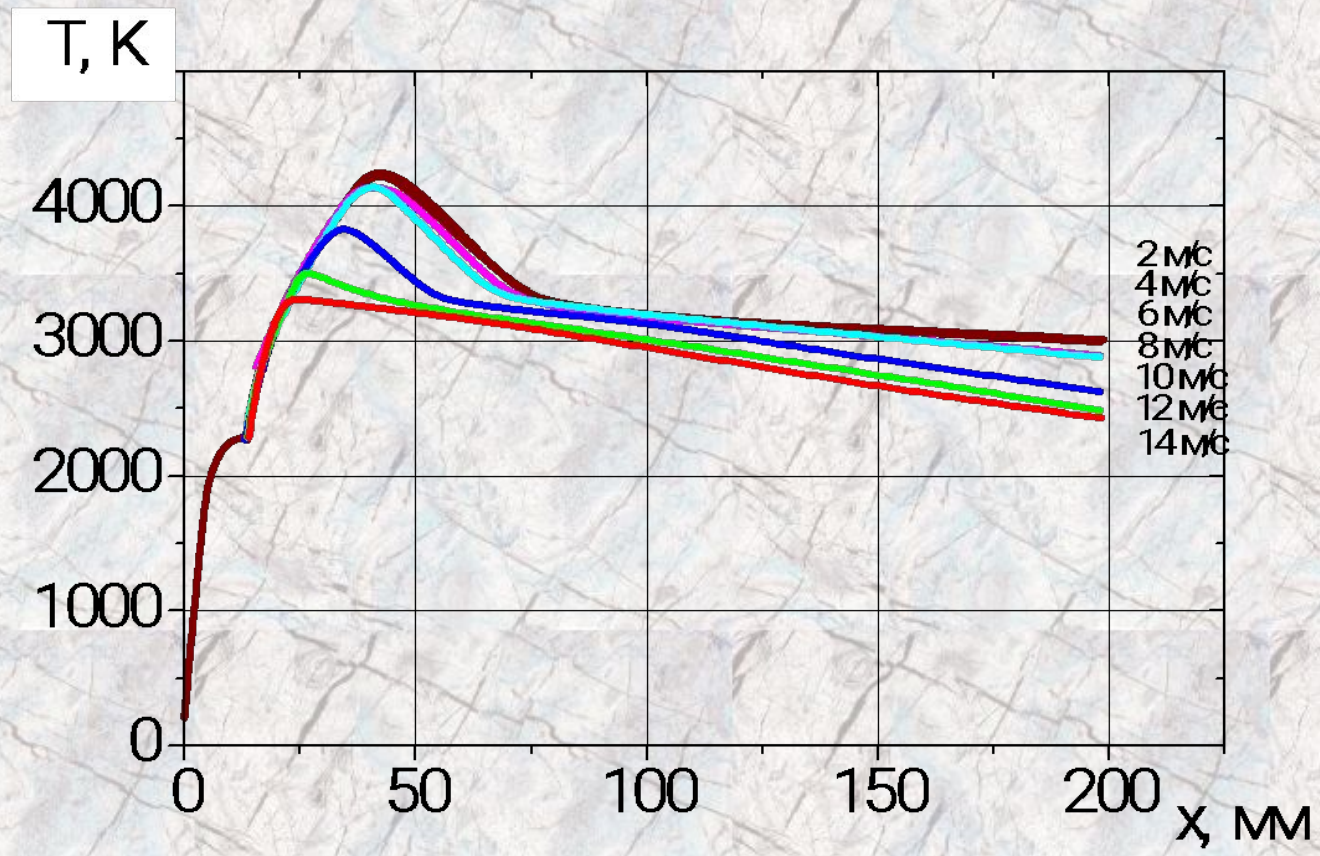
ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

Изменение скорости полета частиц порошка вдоль оси плазменной струи с момента их ввода



ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

Изменение температуры в центре частицы при нахождении в плазменной струе



ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

Таблица 1.

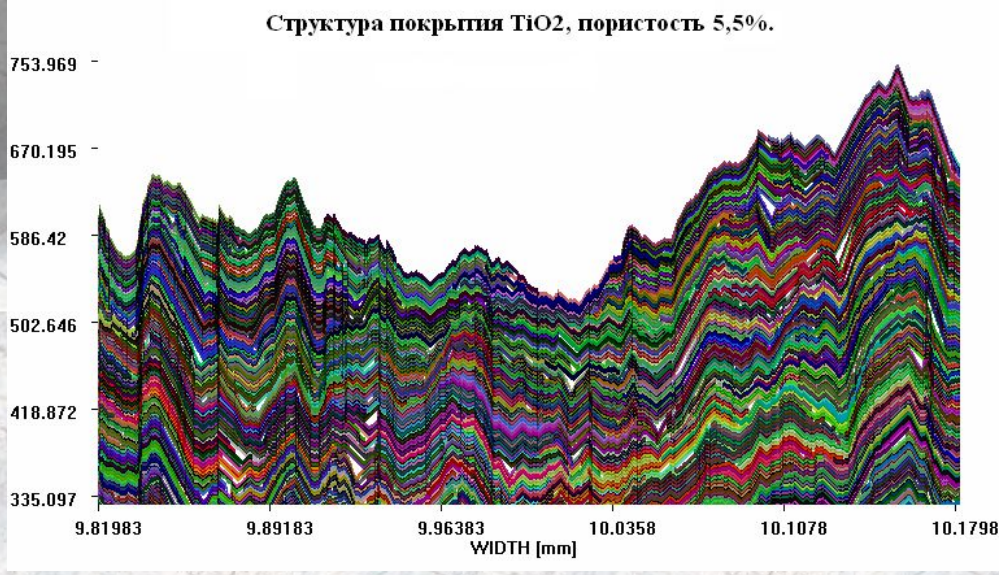
Начальная скорость частиц порошка вводимого в плазменную струю, м/с	Диаметр частицы порошка в момент соударения с поверхностью, мкм	Максимальная скорость частиц в плазменной струе, м/с	Пористость покрытия, %	Шероховатость покрытия, мкм
2	38	120	4.4	11.0
4	37	125	4.19	10.8
6	37	122	4.06	10.6
8	39	115	4.00	10.0
10	44	105	4.03	13.0
12	51	95	4.20	15.5
14	59	85	4.26	16.6

Комплексное моделирование процесса плазменного напыления

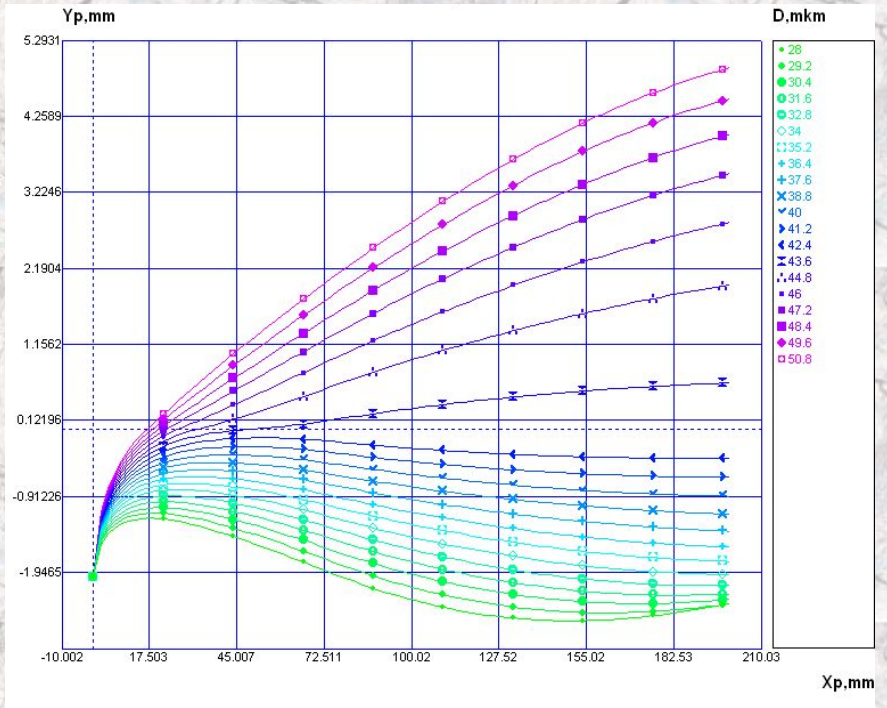
Исследования проведены со следующими исходными данными:

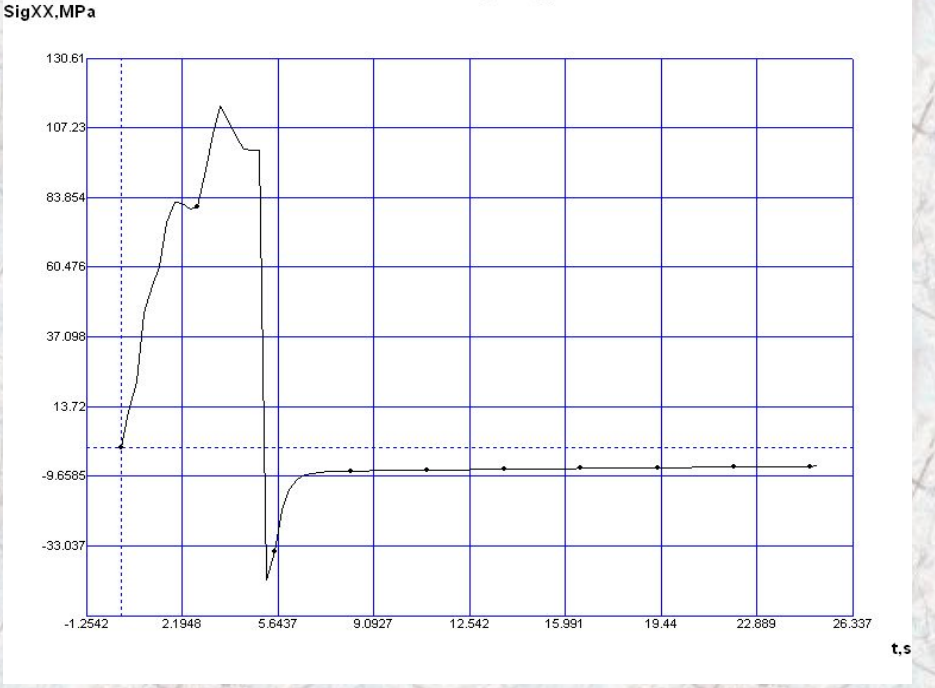
- **плазмообразующий газ – Ar (100%), Ar+H (90%+10%);**
- **материал напыляемого порошка - Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2;**
- **начальный диаметр частиц – D = 40 мкм;**
- **начальная температура - 300 K;**
- **дистанция напыления - 200 мм;**
- **начальная скорость 8 – 12 м/с.**

ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем



Траектория полета частиц





Динамика изменения напряжений в интерфейсном слое системы покрытие-основание

ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

Таблица 2.

Порошок	Al2O3				ZrO2				TiO2			
Плазмообразующий газ	Ar	Ar+H	Ar	Ar+H	Ar	Ar+H	Ar	Ar+H	Ar	Ar+H	Ar	Ar+H
Начальная скорость ввода частиц, V_0, м/с	8		12		8		12		8		12	
Дистанция проплавления, мм	45	40	70	45	50	45	80	50	40	38	50	43
Скорость частиц в момент соударения, V_p, м/с	163	175	155	157	105	105	92	82	180	190	160	170
Шероховатость, R_z, мкм	16,1 – 8, 1				10-7				8,5 -6,5			
Пористость, %	9,88 – 8,96				3,58 – 2,03				7,5 - 5,5			

ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

Плазменное напыление износостойких покрытий порошков на основе AlxOy, TiOy, ZrOy.

Эксперимент 1: Получение двухслойного износостойкого покрытия (основа - серый чугун, марки СЧ-10, подслой - механическая смесь ПН85Ю15 и ПН70Ю3О, защитный слой – многокомпонентный порошок МКП 1 (Al_2O_3 и ZrO_2).

Разработан технологический процесс восстановления волочильных пирамид ЗАО «Уралкабель».

Эксперимент 2: Получение термостойкого покрытия. Порошковые материалы: подслой – ПТНА-01; основные слой – Al_2O_3 (механическое плакирование мелкодисперсным Al); МКП 2 (основа TiO_2с подшихтовкой ПГСР-3, 4 от 10 до 50%).

Разработан технологический процесс упрочнения металлических отжиговых поддонов для прокалки катализаторов.

ГУ ИМЕТ УрО РАН
Лаборатория математического моделирования металлических, оксидных и солевых систем

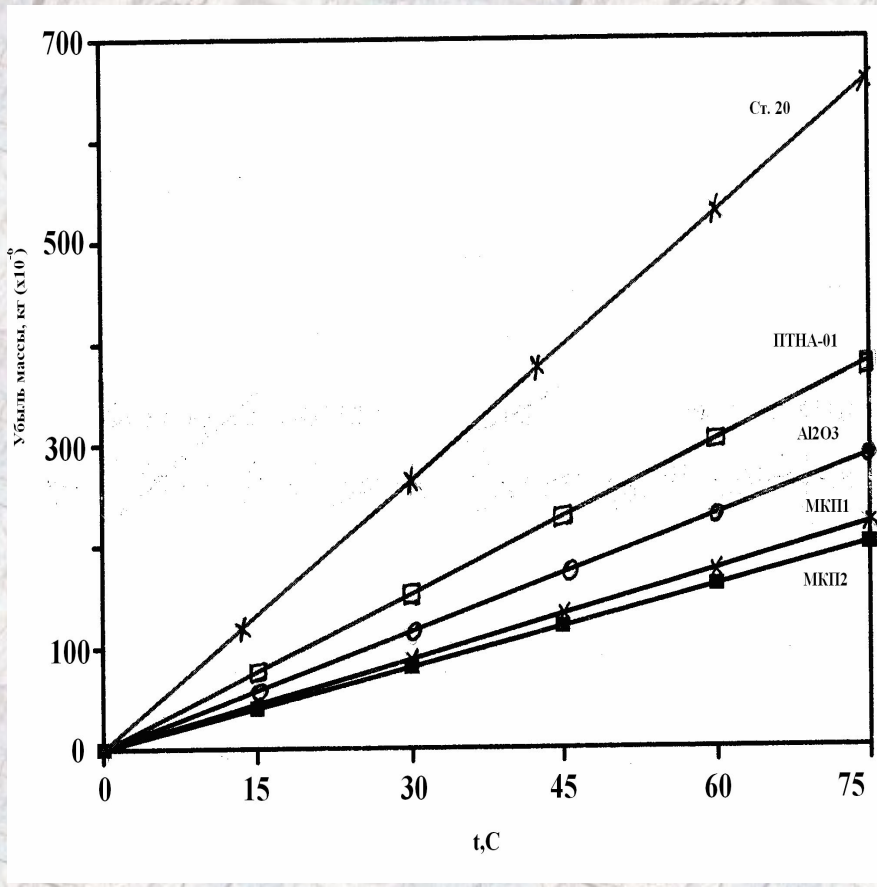
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Средние значения твердости покрытий исследуемых материалов.

№	Порошок	Твердость, HRC	Толщина покрытия, мм
1.	МКП 1	59	2.0
2	МКП 2	61	2.0
3.	Al2O3	57	2.0

Средние значения прочности сцепления покрытия с подложкой, σ кг/мм^2.

№	Порошок	Дробеструйная обработка	Дробеструйная обработка с травлением 10% HNO_3
1.	МКП 1	22	37
2.	МКП 2	23	38
3.	Al2O3	19	28



Зависимость износа от времени испытаний