

4. Kambarova Zh.T., Saulebekov A.O. Calculation of the structure of electrostatic quadrupole-cylindrical fields // Bulletin of the University of Karaganda-Physics. – 2018. – Vol.1. – Issue 89. – P. 66-71.
5. Wannberg B. An electrostatic mirror spectrometer with coaxial electrodes for multi-detector operation // Nuclear Instruments and Methods. – 1973. – V.107. – P. 549-556.
6. Saulebekov A.O., Kambarova Zh.T. Development of mirror energy analyzer based on electrostatic quadrupole-cylindrical field // Eurasian Physical Technical Journal. – 2017. - V.14, No 2 (28). – P.42-47.
7. Zashkvara V.V., Ashimbaeva B.U., Chokin K.Sh. Calculation of trajectories in a multipole cylindrical field // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. - 2002. - Vol.122. – P.195-202. doi.org/10.1016/S0368-2048(01)00346-2
8. Ashimbaeva B.U., Chokin K.Sh., Saulebekov A.O. Focusing Properties of a mirror analyzer with hexapole cylindrical field // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. - 2005 – Vol.143. – P.29-32. dx.doi.org/10.1016/j.elspec.2004.11.002
9. Trubitsyn A., Grachev E., Gurov V., Bochkov I., Bochkov V. CAE “FOCUS” for modelling and simulating electron optics systems: development and application // Proceedings of SPIE. - 2017. - V.10250. - P.0V-1 – 0V-7. DOI: 10.1117/12.2256570

Кудусова И.А.

*Магистрант физико-технического факультета КарГУ им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, ilona256k@gmail.com*

### **Изучение износостойкости особо твердых покрытий**

Одной из важных характеристик физического тела является его твердость. Именно это свойство определяет срок эксплуатации деталей машин и механизмов. Уже более 50 лет с целью увеличения их срока службы используются различные технологии нанесения на поверхность деталей упрочняющих покрытий.

Одним их методов является нанесение тонких (~10 мкм) ионно-плазменных покрытий, который в настоящее время считается наиболее универсальным и перспективным, позволяющим получать покрытия с наперед заданными свойствами [1,2]. Нанесение защитных, упрочняющих, износостойких покрытий на различные изделия является эффективным способом повышения работоспособности и кроме того, использование относительно дешевых металлов также увеличивает экономический эффект.

В работе были изучены два вида покрытий: TiN и (Ti+Cu)N, которые наносились на подложки из стали марки 12X18H10T. Подложки, толщиной 5 мм, изготавливались из шестигранного прутка с гранью длиной 14 мм, после чего шлифовались и полировались на полировально-шлифовальном станке FORCIPOLO 102. Следует отметить, что только одна сторона подложки полировалась до зеркального блеска, противоположная сторона подвергалась только шлифовке, грани обработке не подвергались. Перед установкой в камеру подложки промывались органическим растворителем Нефрас С2-80/120, протирались этиловым спиртом-ректификатом и сушились при комнатной температуре.

Нанесение покрытий осуществлялось на установке вакуумного напыления ННВ 6.6-И1, на которой были установлены два электродуговых испарителя и плазменный источник с накаливаемым катодом (ПИНК), который совмещал в себе функции ионно-плазменной очистки и активации подложек, а также ионного ассистирования во время нанесения покрытий. Таким образом, в ННВ 6.6-И1 были установлены два катода: из Ti и Cu. Подложки располагались на вращающемся столике с плоскостью напыления под углом в 45 градусов к испарителям и к ПИНКу, что позволяло наносить покрытие в основном на полированную поверхность подложки.

Режим нанесения покрытий был выбран следующим. Рабочая камера установки откачивалась до давления  $P = 0,005$  Па, затем с помощью системы напуска газа в камеру

подавался азот особой частоты (99,996) и устанавливалось давление  $P = 0,5$  Па. На подложки подавалось напряжение смещения  $-1000$  В, включались ПИНК и привод вращения стола, после чего в течении  $t = 20$  минут проводилась очистка и активация поверхности образцов.

После очистки и активации напряжение смещения уменьшалось до  $U = -200$  В и включался либо только титановый катод, либо оба испарителя одновременно. Ток дуги каждого катода в течение всего процесса поддерживался  $I = 80$  А. Время нанесения покрытий в среде азота составляло 90 мин.

Твердость полученных покрытий определялась на микротвердомере HVS-1000A по методу Виккерса. В качестве индентора применена четырехгранная алмазная пирамида. Нагрузка на индентор была выбрана 0,05кг, чтобы диагональ отпечатка была меньше толщины исследуемого покрытия. Результаты измерения микротвердости образцов приведены в таблице 1.

Из результатов, приведенных в табл. 1 видно, что уже нанесение нитрида титана значительно, почти на порядок, увеличивает твердость поверхности образцов, а твердость покрытия (Ti+Cu)N ещё больше, почти на 20%.

Таблица 1. Микротвердость образцов и материала подложки.

№	Образец	HV <sub>0,05</sub>
1	TiN	2100
2	(Ti+Cu)N	2500
3	Сталь 12X18H10T	240

Испытания на трение и износ проводились на приборе, изготовленном сотрудниками научно-исследовательского центра «Ионно-плазменных технологий и современного приборостроения» Карагандинского государственного университета, фото которого приведено на рис. 1.

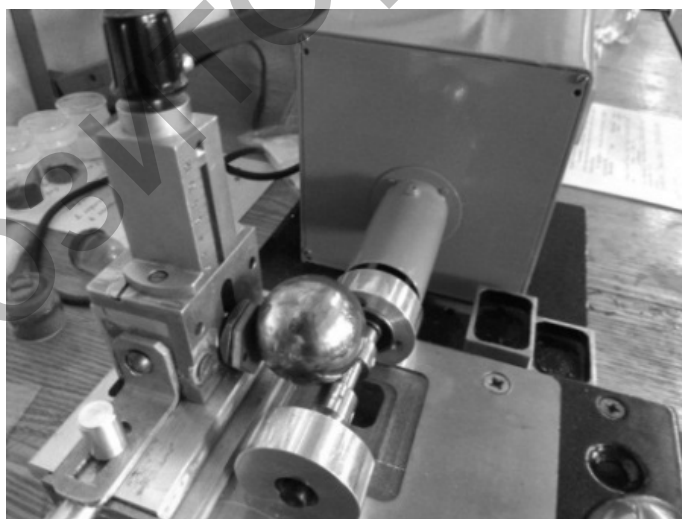


Рисунок 1. Фото внешнего вида устройства по определению износостойкости

Стальной шар (сталь марки ШХ15) весом 262 грамма и диаметром 40 мм, вращался с постоянной скоростью. Несколько ниже центра тяжести вращающегося шара располагался исследуемый образец, которого касался шар. Чтобы исключить протирание покрытия до подложки, время контакта в одной точке было экспериментально подобрано 120 с, а количество точек – 25. Взвешивание образцов (до и после испытаний) проводилось на

электронных весах RADWAG AS 60/220.R2, позволяющих производить взвешивание с точностью до 10 мкг. Приняв убыль массы на образце с покрытием TiN (160 мкг) за единицу износостойкости, износостойкость покрытия (Ti+Cu)N (убыль 90 мкг) можно считать равной – 1,78.

Таким образом, из приведенных результатов следует, что микротвердость покрытия нитрида титана возросла на 20% с добавлением меди, а износостойкость увеличилась на 78%, что может быть объяснено меньшим коэффициентом трения последнего.

*Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК. Гранты № 0118PK000063 и № O.0781*

#### *Литературы:*

1. Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Вертягина Е.Н., Завацкая О.Н. Структура и свойства ионно-плазменных покрытий. Караганда: Издательско-полиграфический центр Казахстанско-Российского университета, 2013, 150 с.

2. Yurov V.M., Guchenko S.A., Platonova E.S., Syzdykova A.Sh., Lysenko E.N. Multiphase composite coatings: structure and properties //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2015. Vol. 81.

N. Kantay<sup>1</sup>, N.K. Kasmamyrov<sup>2</sup>, B.Rakhadilov<sup>3</sup>, S. Plotnikov<sup>1</sup>, M.Pashkovskiy<sup>4</sup>,  
B.Tuyakbayev<sup>3</sup> D. Serikbayev<sup>1</sup>

*EKSTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan* <sup>2</sup> *Institute of Physical-Technical Problems and Materials Science NAS KR, Bishkek, Kyrgyz Republic* <sup>3</sup> *S.Amanzholov EKSU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan* <sup>4</sup> *Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Poland, e-mail: nurgan85@mail.ru*

### **Change in structure and physical properties of porcelain ceramics at various firing temperatures**

Electrical products based on high-voltage porcelain ceramics (HVPC) are widely used for the transmission and safe exploitation of electrical energy. In this regard, certain requirements for mechanical and electrical insulating properties are introduced to HVPC electrical products, which must satisfy the values established by GOSTs [1-2]. It can be seen from the data [3-5] that, during the formation of the structural phase components of the HVPC, there are serious discrepancies in the understanding of the phase and microstructural evolution of the HVPC, which are caused by a number of external technological factors, as well as the multicomponent nature of the initial raw material of the ceramic composition. Along with this, in the production of electrical ceramics, much attention is paid to lowering the firing temperature of porcelain ceramics. It is known that the properties of porcelain depend on a number of parameters, but one of the final properties of the HVPC determining is the formation of a sufficient amount of crystalline mullite during firing. According to [7], the porcelain firing temperature should be sufficient for the development of mullite crystal formation processes in the system of clay-non-plastic fluxes. Thus, the firing temperature of porcelain ceramics should not be lower than the temperature of 1150-1200°C at which the processes of mullite formation in HVPC are completed.

The aim of this work is to study the change in the structure and properties of porcelain ceramics at various firing temperatures.

#### *Practical part*

Ceramic mass of HVPC is prepared from four different components: kaolin, porcelain stone, clay and feldspar. Previously, each raw material individually was subjected to fine grinding in a ball mill. After grinding, all four components of the raw material were weighed in a certain proportion by weight from which a ceramic mixture (mass) was prepared for further joint wet grinding. The