

## УДК 621.793.7

**И.В. СМИРНОВ**, канд. техн. наук, доцент, НТТУ Украины «КПИ», г. Киев

**И.А. СЕЛИВЕРСТОВ**, канд. техн. наук, доцент, ХНТУ, г. Херсон

**О.А. ВОЙТОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент, ХНТУ, г. Херсон

**А.В. ЧОРНИЙ**, ассист., НТТУ Украины «КПИ», г. Киев

**В.И. КОПЫЛОВ**, докт. техн. наук, профессор, НТТУ Украины «КПИ», г. Киев

### **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОРОШКА С НАНОЧАСТИЦАМИ SiO<sub>2</sub>**

Проведены исследования микроструктуры и износостойкости плазменных покрытий на основе порошка ПГ19М с наночастицами SiO<sub>2</sub>. Показано, повышение износостойкости и микротвердости данных покрытий при незначительном, массовом содержании наночастиц SiO<sub>2</sub>.  
Ключевые слова: узел трения, газотермическое напыление, износостойкость, микротвердость.

Проведені дослідження мікроструктури та зносостійкості плазмових покриттів на основі порошка ПГ19М с наночастицками SiO<sub>2</sub>. Показано, підвищення зносостійкості і микротвердості цих покриттів при незначному, масовому вмісті наночастинок SiO<sub>2</sub>.

Ключові слова: вузол тертя, газотермічне напилення, зносостійкість, микротвердість.

Researches of a microstructure and wear resistance of plasma spray coatings on the basis of powder ПГ19М with nanoparticles SiO<sub>2</sub> are conducted. It is shown, increase of wear resistance and microhardness of the given coatings at the insignificant, mass maintenance nanoparticles SiO<sub>2</sub>.

Keywords: node of friction, plasma spray coating, wear resistance, microhardness

С повышением долговечности и надежности деталей и механизмов, работающих в условиях трения, резко возрастают требования к свойствам антифрикционных материалов. Во многих случаях применение известных материалов и технологии их получения исчерпали возможность улучшения механических свойств. Для получения антифрикционных материалов с часто противоречивыми свойствами поверхности (высокая твердость и износостойкость, высокие антифрикционные характеристики) необходимы приемы и методы, позволяющие создать совершенно новый композиционный материал.

Одним из методов может быть создание на поверхностях деталей газотермических покрытий различного функционального назначения. В последнее время активно развиваются исследования в области создания газотермических покрытий, в состав которых входят неравновесные, дисперсные и наноразмерные компоненты, которые значительно повышают защитные и механические свойства [1,2,3].

В работе [4] были полученные теплозащитные, износостойкие покрытия и покрытия биомедицинского назначения. Основу таких покрытий составляли наноразмерные частицы композиций из оксидов алюминия, циркония, титана и иттрия. Эти исследования демонстрируют, что наноструктурные композиции дают возможность регулировать свойства покрытий в широких пределах и совмещать полностью противоположные рабочие характеристики.

Наноструктурные композиционные порошки непосредственно использовались в работе [5] Средний размер частичек карбидов составлял 24 нм. Применение наноструктурной композиции из карбидов хрома позволило конкурировать с покрытиями на основе карбидов вольфрама, термическое нанесение которых является довольно проблематичным. Добавление наноразмерных компонентов в состав композиционных порошков содействует улучшению формирования покрытия за счет уменьшения температуры плавления композита. Так, в работе [6] с использованием композиции TiC-Ni с добавками наноразмерных частичек  $Zr_2$ ,  $Al_2O_3$  были отмечены снижения температуры плавления в среднем на 300-400 С°.

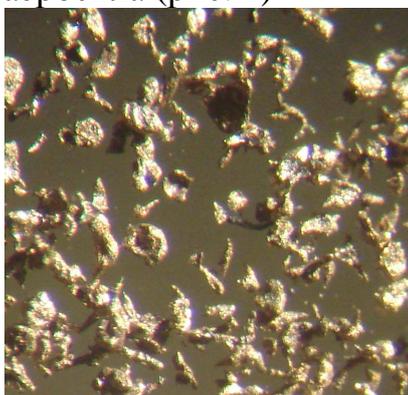
Таким образом, исследования в области создания газотермических покрытий с использованием наноструктурных компонентов для формирования покрытий являются актуальными и требуют детального научного исследования.

### **Цель работы**

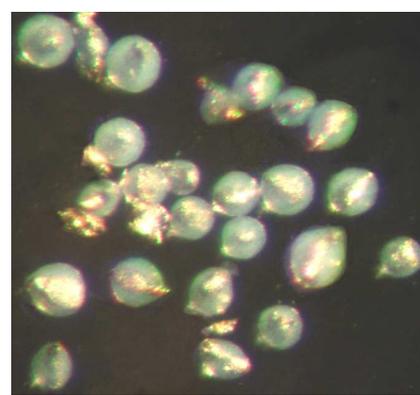
Заключается в повышении износостойкости плазменных покрытий путем применения смеси порошков ПГ19М и наноразмерного аэросила ( $SiO_2$ ) применительно к тяжело нагруженным узлам трения.

### **Методики исследований**

В качестве исходных материалов применяли порошок бронзы ПГ19М фракцией 60-80 мкм, и аэросил ( $SiO_2$ ) (наночастички диаметром до 5-40 нм). С целью создания устойчивого композита для транспортировки в зону плавления и переноса материала на подложку, порошок бронзы подвергался термомеханической обработке. В результате чего, аэросил за счет своих силанольных и силоксановых связей при смешивании с макрочастицами порошка обволакивает их образованием своеобразного «коксона», формировался конгломерат состоящий из ядра (частицы бронзы), окруженный оболочкой из частиц аэросила (рис. 1)



а)



б)

Рис.1. Частицы исходного порошка ПГ19М (а) и после смешивания с аэросилом (ПГ19М+aL) (б)  $\times 100$

Плазменное напыление осуществлялось плазмотроном с частично вынесенной дугой, в режиме генерации ламинарной плазменной струи, которая обеспечивает лучшее проплавление и сохранение на частичке- ядре оболочки. Мощность плазмотрона составляла до 8 кВт, производительность до 4 кг/ч, рабочий ток дуги плазмотрона 80-90А, напряжение 60В, в качестве плазмообразующего и транспортирующего газа использовался аргон с общим расходом 6 л/мин.

Износостойкость покрытий исследовались на специально разработанной машине трения. Пара трения: неподвижный плоский образец – исследуемый; подвижный (контртело) цилиндр диаметром 8 мм - сталь 45. Износ определяли гравиметрическим методом. По условиям экспериментов значение окружной скорости контртела 0,1 м/с, нагрузка 10,0 Н. Элементный состав полученных плазменных покрытий определялся методом локального микрорентгеноспектрального анализа на растровых электронных микроскопах Camscan-4DV и ZEISS EVO 50XVP, с применением энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора. Для оценки износостойкости и микротвердости применяли общеизвестный склерометрический метод испытаний, заключающийся в «царапании» (деформировании) твердым индентором поверхности металла с заданной шероховатостью [7]. В качестве индентора использовалась четырехгранная алмазная пирамида Виккерса с ромбической основой и углом между гранями при вершине 136°. Шероховатость испытуемых образцов по ГОСТ 2789-73 не была грубее  $R_a = 0,32$  мкм.

#### Экспериментальные результаты и их обсуждение.

В таблице 1 приведены результаты испытаний на микротвердость.

Таблица 1. Состав и микротвердость плазменных покрытий

№ образца	Состав порошковой смеси	Микротвердость покрытия, ГПа
1.	бронза (ПГ19М) (Ø80 мкм)	0,38
2.	бронза + аэросил (Ø 5-40 нм);	0,46

Как видно, микротвердость покрытий, содержащих аэросил, возрастает практически на 15%, при этом количество кремния в покрытии незначительно, что подтверждается результатами исследований, представленными на рис 2. и таблице 2.

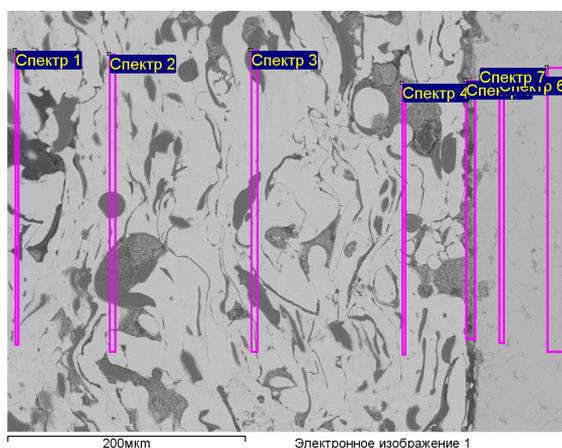


Рис. 2. Электронное изображение плазменного покрытия при напылении порошка системы ПГ 19М+aL

Таблица 2. Химический состав плазменного покрытия при напылении порошка системы ПГ 19М+aL

Спектр	Al, %, вес	Si, %, вес	Cr, %, вес	Mn, %, вес	Fe, %, вес	Cu, %, вес
Спектр1	9.27	0.88			1.74	46.74
Спектр2	10.40	9.78	0.27		1.94	48.68
Спектр3	18.08	4.40	0.44		1.99	50.39
Спектр4	6.92	0.87	6.58		2.53	52.46
Спектр5	1.13	0.37	11.10		22.04	5.11
Спектр6				0.46	93.20	
Спектр7					93.66	
Макс.	18.08	9.78	11.10	0.46	93.66	52.46
Мин.	1.13	0.37	0.27	0.46	1.74	5.11

Как известно, увеличением твердости покрытия сопровождается повышением износостойкости, поэтому в работе является важным определить эти характеристики. На рис.3. приведены результаты испытаний плазменных покрытий на износостойкость.

На протяжении первого часа трения происходит притирание материалов, которое сопровождается высшей потерей массы, после чего износ стабилизируется. Износостойкость покрытия, полученного из порошка бронзы с аэросилом на 35-40 % выше, чем с ПГ19М. После первого часа трения плазменных покрытий наблюдается перенос материала покрытия на поверхность контртела, что оказывает содействие дальнейшему снижению износа материала и его стабилизации (кривые 1 и 2)

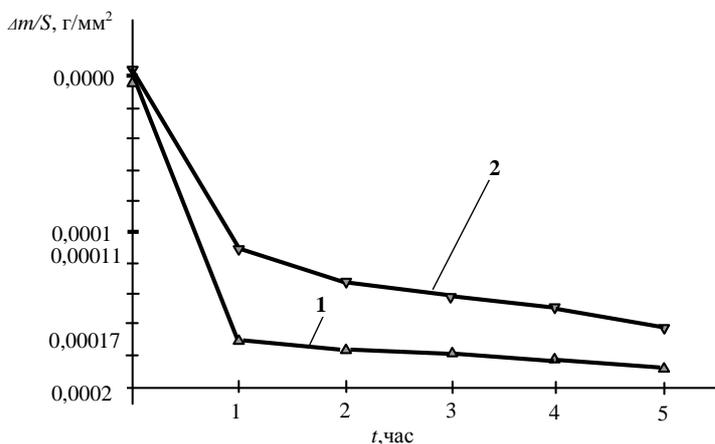


Рис.3. Кинетика изнашивания газотермических покрытий на основе порошковых смесей 1 - ПГ19М; 2 - ПГ19М+аэросил

Отмечено, что в обоих случаях контртело изнашивается одинаково, что обуславливается схожестью продуктов изнашивания порошкового покрытия.

### Выводы

Таким образом в работе экспериментально показано, что плазменным напылением из порошковых смесей содержащих незначительное количество наноструктурных составляющих можно повысить износостойкость покрытия. Более высокую износостойкость при условиях трения без смазки в паре с контртелом из стали 45 зафиксировано у образцов с покрытием на основе ПГ19М+аэросил.

**Список литературы:** 1. Состояние и перспективы создания композиционных порошков и покрытий с наноразмерными ингредиентами/ Ф.И. Пантелеенко. Ф. Г. Ловшенко, А. В.

Рогачев, Н. А. Руденская. В. А. Струк.// Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин.- УИ «Технопринт», 2003.- С. 14–15. 2. Morphology, crystallization and dynamic mechanical properties of PA66/nano-SiO<sub>2</sub> composites / Huimin Lu, Xiangmin Xu, Xiaohong Li And Zhijun Zhang // Indian Academy of Sciences, Bull. Mater. Sci., Vol. 29, No. 5, October 2006, pp. 485–490. 3. Новые плазменные покрытия многофункционального назначения и их самоорганизация / Н. А Руденская // Защита металлов. –2004. –том 40, №2. –С. 173–177. 4. Thermal Spray Coatings Engineered from Nanostructured Ceramic Agglomerated Powders for Structural, Thermal Barrier and Biomedical Applications: A Review/ R.S. Lima and B.R. Marple// Journal of Thermal Spray Technology. – March 2007. –Volume 16(1) –P. 40 –63. 5. Synthesis of Nanostructured Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-25(Ni20Cr) Coatings/ Jianhong He, Michael Ice, Enrique J. Lavernia// Metallurgical And Materials Transactions. – february 2000. –volume 31a – p. 555 –564. 6. TiC–Ni-Based Composite Materials Dispersion-Strengthened by Nanoparticles for Electrospark Deposition / E. A. Levashov, Yu. S. Pogozhev, A. E. Kudryashov, S. I. Rupasov, and V. V. Levina// Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2008. – Vol. 49. – № 5, P. 397–403. 7. Матюнин, В.М. Определение механических свойств и адгезионной прочности ионно-плазменных покрытий склерометрическим методом / В.М. Матюнин, П.В. Быков, Р.Х. Сайдахмедов [ и др. ] //МИТОМ. — 2002. — № 3. — С. 36-39.

*Поступила в редколлегию 21.01.2011*