

УДК 621.7937

ВПЛИВ ФОРМИ ТА КРУПНОСТІ АБРАЗИВУ НА КІНЦЕВУ ШОРСТКІСТЬ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ

ВАШКЕВИЧ Ф.Ф.¹, *к.т.н, доцент*,
СПІЛЬНИК А.Я.^{2*}, *к.т.н, доцент*,
ЗАГОРОДНИЙ О.Б.³, *асистент*,
ЗВОНАРЬОВ К.І.⁴, *студент*.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0003-0962-0890.

² Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 778-99-14, e-mail: anatoly脾@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4931-9675.

³ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0002-4158-1740.

⁴ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0002-7376-3354.

Анотація. Мета. Для плазмового напилення захисних покриттів жарових труб ГТД зроблена спроба вирішити питання пов'язані з підбором абразивного матеріалу, технології його використання для створення необхідної шорсткості на нікелевому сплаві ВЖ-98. З великого переліку абразивних матеріалів найбільше поширення для створення шорсткості отримали корунд (Al_2O_3) та карбід кремнію (SiC). Кожний з цих матеріалів має свої переваги та свої недоліки. Необхідно встановити закономірності впливу форми та крупності вибраного абразиву на кінцеву шорсткість обробленої під покриття поверхні і вказати шляхи подальшого підвищення показників міцності і адгезії покриттів. **Методика.** Випробування проводили на листових заготовках нікелевого сплаву ВЖ-98 товщиною від 3,0 до 11,0 мм, розміром 50 x 50 мм. Шорсткість створювалась пневмопідготовкою. При цьому способі кінетичну енергію абразивному матеріалу передавав повітряний струмінь під тиском 4-5 атмосфер. Величина шорсткості вимірювалась на приладі Talysurf 5-20 (Талісерф 5-20), фірма «TAYLOR - HOBSON», Великобританія, по ГОСТ 2789-73. **Результати.** Встановлено, що в стані поставки обидва матеріали електрокорунд синтетичний " α " Al_2O_3 і карборунд – карбід кремнію SiC мають гостро кутову форму зерен. Кожний з абразивів створює шорсткість з наявністю гостро кутових пік при величині шорсткості мікронерівностей Rz в межах 56-60 мкм. При наступних обробках змінюється зовнішній вигляд абразивних частинок та їх розмір. Якщо корунд при подальшій обробці не змінює свого розміру, а лише округлює свої гостро кутові кромки, то карбід кремнію зберігаючи гостро кутову форму, подрібнюється на більш дрібні частинки, при обробці якими зменшується висота мікронерівностей на оброблюваній поверхні. При повторному використанні абразивних матеріалів нерівності зменшуються по висоті і поверхня стає більш гладкою, що повинно приводити до зменшення міцності зчеплення підшару з основним матеріалом. В результаті досліджень встановлено, що частинки після першої пневмопідготовки змінюють форму, крупність і їх розподілення. Якщо карбід кремнію в стані поставки має гостро кутову форму і крупність в межах 1-2 мм, то після першої пневмопідготовки крупність його зменшується до 0,5-1 мм при зберіганні гострокутової форми. Корунд після першої пневмопідготовки в основному зберігає розміри частинок, але вони стають більш округлої форми. Вивчення оброблених поверхонь дозволяє зробити висновок, що при порівнянні корунду і карборунду перевагу треба віддати першому, але обмежити його чотириразовим використанням. **Наукова новизна.** Отримані нові наукові дані про вплив форми та крупності абразиву на кінцеву шорсткість обробленої поверхні. **Практична значимість.** Встановлено матеріали для абразивної обробки нікелевого сплаву ВЖ-98, їх параметри шорсткості, закономірності впливу форми та крупності вибраного абразиву на кінцеву шорсткість обробленої поверхні і вказані шляхи підвищення показників адгезії покриттів.

Ключові слова: плазмове напилення, шорсткість, абразив, нікелевий сплав ВЖ-98, електрокорунд, карборунд, пневмопідготовка.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И КРУПНОСТИ АБРАЗИВА НА КОНЕЧНУЮ ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

ВАШКЕВИЧ Ф.Ф.¹, *к.т.н, доцент*,
СПИЛЬНИК А.Я.², *к.т.н, доцент*,
ЗАГОРОДНИЙ А.Б.³, *ассистент*,
ЗВОНАРЁВ К.И.⁴, *студент*.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0003-0962-0890.

² Кафедра материаловедения и обработки материалов, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 778-99-14, e-mail: anatolyspl@gmail.com., ORCID ID: 0000-0002-4931-9675.

³ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0002-4158-1740.

⁴ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0002-7376-3354.

Аннотация. Цель. Для плазменного напыления защитных покрытий жаровых труб ГТД сделана попытка решить вопросы связанные с подбором абразивного материала, технологии его использования для получения необходимой шероховатости на никелевом сплаве ВЖ-98. Из большого количества абразивных материалов наибольшее распространение для получения шероховатости получили корунд (Al_2O_3) и карбид кремния (SiC). Каждый из этих материалов имеет свои достоинства и свои недостатки. Необходимо установить закономерности влияния формы и крупности выбранного абразива на конечную шероховатость обработанной под покрытие поверхности и указать пути дальнейшего повышения показателей прочности и адгезии покрытий **Методика.** Испытания проводили на листовых заготовках никелевого сплава ВЖ-98 толщиной от 3,0 до 11,0 мм, размером 50 x 50 мм. Шероховатость получали пневмоподготовкой. При этом способе кинетическую энергию абразивному материалу передавала воздушная струя под давлением 4-5 атмосфер. Величина шероховатости измерялась на приборе Talysurf 5-20 (Талисерф 5–20), фирма «TAYLOR - HOBSON», Великобритания, по ГОСТ 2789-73. **Результаты.** Установлено, что в состоянии поставки оба материала электрокорунд синтетический " α " Al_2O_3 и карборунд – карбид кремния SiC. имеют остро угловую форму зерен. Каждый из абразивов создаёт шероховатость с наличием остро угловых пик при величине шероховатости микронеровностей Rz в пределах 56-60 мкм При последующих обработках изменяется внешний вид абразивных частиц и их размер. Если корунд при последующей обработке не меняет свой размер, а только округляет свои остро угловые кромки, то карбид кремния сохраняя остро угловую форму, размельчается на более мелкие частицы, при обработке которыми уменьшается высота микронеровностей на обрабатываемой поверхности. При повторном использовании абразивных материалов неровности уменьшаются по высоте и поверхность становится более гладкой, что должно приводить к уменьшению прочности сцепления подслоя с основным материалом. В результате исследований установлено, что частицы после первой пневмоподготовки изменяют форму, крупность и их распределение. Если карбид кремния в состоянии поставки имеет остро угловую форму и крупность в границах 1-2 мм, то после первой пневмоподготовки крупность его уменьшается до 0,5-1 мм при сохранении остроугольной формы. Корунд после первой пневмоподготовки в основном сохраняет размеры частиц, но они становятся более округлой формы. Изучение обработанных поверхностей сделать вывод, что при сравнении корунда и карборунда преимущество нужно отдать первому, но ограничить его четырехразовым использованием. **Научная новизна.** Получены новые научные данные о влиянии формы и крупности абразива на конечную шероховатость обработанной поверхности. **Практическая значимость.** Установлены материалы для абразивной обработки никелевого сплава ВЖ-98, их параметры шероховатости, закономерности влияния формы и крупности выбранного абразива на конечную шероховатость обработанной поверхности и указаны пути повышения показателей адгезии покрытий.

Ключевые слова: плазменное напыление, шероховатость, абразив, никелевый сплав ВЖ-98, электрокорунд, карборунд, пневмоподготовка.

INFLUENCE OF FORMS AND FINAL SIZE OF ABRASIVE SURFACE FINISH

VASHEKEVICH F.F.¹, Ph.D., Associate Professor,
SPILNIK A.Y., Ph.D.², Associate Professor,
ZAGORODNY O.B.³, Assistant,
ZVONAREV K.I.⁴, student.

¹Department of Materials and Materials Processing, Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevsky st., 24a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: : 0000-0003-0962-0890.

² Department of Materials and Materials Processing, Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevsky st., 24a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 778-99-14, e-mail: anatolyspl@gmail.com., ORCID ID:; 0000-0002-4931-9675..

³ Department of Materials and Materials Processing, Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevsky st., 24a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel +38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0002-4158-1740.

⁴ Department of Materials and Materials Processing, Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevsky st., 24a, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel.+38 (0562) 46-98-82, ORCID ID: 0000-0002-7376-3354.

Abstract. Purpose. For plasma spraying protective coatings flame tube GTE attempt to resolve issues related to the selection of abrasive material, its use of technology to create the required roughness on Nickel VJ-98. From a large number of abrasive materials most widely used for obtaining corundum received roughness (Al_2O_3) and silicon carbide (SiC). Each of these materials has its advantages and its disadvantages. It is necessary to establish patterns of influence of the shape and size of the abrasive selected the final roughness treated by coating the surface and indicate ways to further improve performance strength and adhesion of coatings.

Methods. Tests carried out on the sheet blanks nickel alloy VJ-98 with a thickness of 3.0 to 11.0 mm, size 50 x 50 mm. The roughness created air training. With this method, the kinetic energy of abrasive material conveyed an air jet pressure of 4-5 atmospheres. The value of roughness measured on the instrument Talysurf 5-20 (Taliserf 5-20), the company «TAYLOR - HOBSON», UK. GOST 2789-73. **Results.** Established in position to supply both synthetic materials electrocorundum "α" Al₂O₃ and carborundum - silicon carbide SiC. with sharply angular shape grains. Each of abrasives creates roughness with the presence of acute angle peak at a value of microscopic roughness Rz within 56-60 microns. When these treatments varies appearance abrasive particles and their size. If corundum during further processing does not change its size, but only their rounds sharp angular edges, the silicon carbide while maintaining sharp angular shape, crushed into smaller particles, which decreases the processing height of asperities on the treated surface. Repeated use abrasives inequality vary the height and the surface becomes smoother, which should lead to a reduction in grip strength sublayer of the basic material. Our results revealed that the particles after the first training air change shape, size and their distribution. If silicon carbide in a position to supply a sharply angular shape and particle size in the range of 1-2 mm, after the first air training its particle size is reduced to 0.5-1 mm in storage acute angular shape Aluminium oxide after the first air training basically keeps the size of particles, but they become more rounded shape. The study treated surfaces suggests that the comparison of corundum and silicon carbide preference must pay first, but limit it to quadruple use. **Scientific novelty.** Obtained new scientific data on the effect of form and size of the abrasive on the final machined surface roughness. **The practical significance.** Found materials for abrasive machining nickel alloy VJ-98, their roughness parameters, patterns influence the form and size of the abrasive selected the final machined surface roughness and the ways of improving adhesion performance coatings

Keywords: plasma spraying, roughness, abrasive, Nickel VJ-98, electrocorundum, carborundum, air preparation.

Вступ

Плазмові покриття, тобто покриття отримані розпиленням матеріалу в струмені плазми, формуються за рахунок :

- металургійного зв'язку, за яким розплавлена або доведена до високо пластичного стану частинка (капля) зустрічаючи на захисній поверхні гострокутовий виступ, розплавляє його і приварюється до нього;

- дифузійного зв'язку, обумовленого дифузиею матеріалу основи і напишеного матеріалу в період формування покриття;

- механічного зчеплення частинок розпилюваного матеріалу (розплавлених, оплавлених і просто нагрітих до високих температур) [1-13].

Роль зв'язків в процесі напилення покриття постійно змінюється. Так, перший шар покриття на основі формується за рахунок механічного зчеплення частинок порошку, що мають високу кінетичну енергію і частково зустрічається металургійний зв'язок при гострокутовій формі створених нерівностей. Наступні шари формуються вже на покритті і в цьому випадку переважають дифузійні процеси, які і визначають дифузійні зв'язки.

В даній роботі розглядаються питання пов'язані з підбором абразивного матеріалу, технології його використання для створення необхідної шорсткості на нікелевому сплаві ВЖ-98.

Мета

Метою даної роботи є встановлення закономірностей впливу форми та крупності абразиву на кінцеву шорсткість обробленої поверхні.

Методика

Дослідження проводили на листових заготовках нікелевого сплаву ВЖ-98 товщиною від 3,0 до 11,0 мм, розміром 50 x 50 мм. Шорсткість створювалась пневмопідготовкою. Кінетичну енергію абразивному матеріалу передавав повітряний струмінь під тиском 4-5 атмосфер. Величина шорсткості вимірювалась

на приладі Talysurf 5-20 (Талисерф 5-20), фірма «TAYLOR - HOBSON», Великобританія. по ГОСТ 2789-73. В якості абразиву використані матеріали : електрокорунд синтетичний "α" Al₂O₃ та карборунд – карбід кремнію SiC.

Результати

В процесі дослідження було вивчено вплив форми та крупності абразиву на кінцеву шорсткість обробленої поверхні.

Створити шорсткість доволі просто пневмопідготовкою. При цьому способом кінетичну енергію абразивному матеріалу передає повітряний струмінь під тиском 4-5 атмосфери.

З великого переліку абразивних матеріалів найбільше поширення для створення шорсткості отримали корунд (Al₂O₃) та карбід кремнію (SiC). Кожний з цих матеріалів має свої переваги та свої недоліки. Деякі важливі властивості вказаних матеріалів приведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Фізикомеханічні властивості абразивних матеріалів карбиду кремнію та корунду

Physical and mechanical properties of silicon carbide abrasives and corundum

Назва абразивних матеріалів (в зерні)*	Властивості			
	Щільність г/см ³	Мікротвердість, МПа	Твердість по мінералогічній шкалі, умовні одиниці	Міцність зерна, Н
Електрокорунд синтетичний "α" Al ₂ O ₃	3,97	19025-24600	9	8,8-10,7
Карборунд – карбід кремнію SiC.	3,21	25000-30000	9	11,0-14,7

*Фракція абразивних матеріалів складала 1,0 – 1,2мм.

В стані поставки обидва ці матеріали мають гостро кутову форму зерен. Загальний вигляд порошку перед його використанням показано на рис 1.

Кожний з вказаних порошоків створює шорсткість з наявністю гостро кутових пік при величині шорсткості мікронерівностей Rz в межах 60-56 мкм (табл.2).

Величина шорсткості вимірювана на приладі Talysurf 5-20 по ГОСТ 2789-73 при обробці новим абразивним матеріалом корундом, шорсткість отримана при повторній обробці матеріалу корундом

Таблиця 2.

Результати вимірювання шорсткості поверхні зразків – пластин сплаву ВЖ-98 після обробки корундом * / The results of measurement of surface roughness samples - alloy plates VJ-98 after treatment corundum *

Матеріал	Ra, мкм	Rz, мкм	H max	H min
Корунд в стані поставки	9,2;11,7;10,6;11,2;10,9;11,0 (10,75)	56;60;60;58;59 (58,5)	60	56
Корунд після викорис тання	3,4;3,8;3,4;3,7 ;3,6;3,5 (3,57)	39;34;28;32;30;33 (32,7)	39	28

*Вимірювання на високоточному приладі «Talusurf 5-20» (Талісерф 5-20), фірма «TAYLOR - HOBSON»,

Великобританія. База вимірювань $\ell = 2,5$ та 8мм. При наступних обробках змінюється зовнішній вигляд абразивних частинок та їх розмір. Якщо корунд при подальшій обробці не змінює свого розміру, а лише округлює свої гостро кутові кромки (рис.2), то карбід кремнію зберігаючи гостро кутову форму, подрібнюється на більш дрібні частинки, при обробці якими зменщується висота мікронерівностей на оброблюваній поверхні.

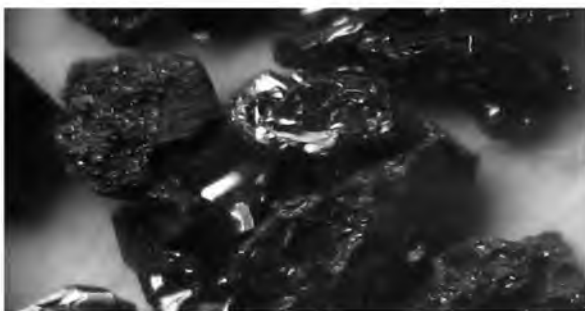


Рис 1. Загальний вигляд абразивних частинок корунду (Al_2O_3) в стані поставки $\times 10$.
Figure 1. General view of the abrasive particles of corundum (Al_2O_3) in a position to supply $\times 10$.

Характер нерівностей отриманих при першій пневмообробці корундом (Al_2O_3) показаний на

поперечному перерізі зразка після початкової пневмообробки (рис.3).

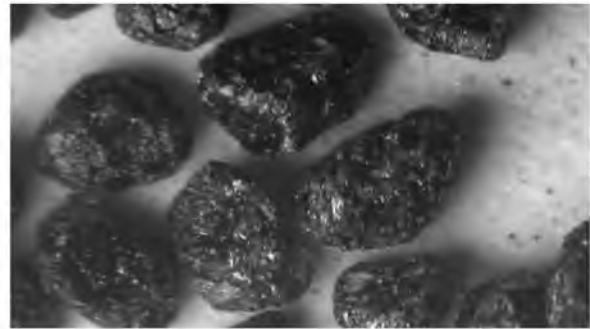


Рис. 2. Загальний вигляд абразивних частинок корунду (Al_2O_3) після повторної пневмообробки $\times 10$
Fig. 2. General view of the abrasive particles of corundum (Al_2O_3) after repeated air handling $\times 10$



Рис.3. Характер нерівностей отриманих абразивним матеріалом корундом після першої пневмообробки.
Figure 3. The nature of the inequalities obtained abrasive corundum after the first air training.

При повторному використанні абразивних матеріалів нерівності зменшуються по висоті і поверхня стає більш гладкою, що повинно приводити до зменшення міцності зчеплення підшару з основним матеріалом. Характер нерівностей отриманих при двох, трьохкратному використанні абразивного порошку корунду Al_2O_3 показана на рис.4.



Рис.4. Характер нерівностей отриманих абразивним матеріалом Al_2O_3 при наступних обробках сплаву ВЖ-58.
Figure 4. The nature of the inequalities obtained abrasive Al_2O_3 in these arrangements alloy VJ-58.

Якщо розглядати розподілення абразивних частинок за крупністю в стані поставки та після першої пневмообробки, то можна спостерігати деякі зміни в складі і формі абразивних частинок (рис.5).

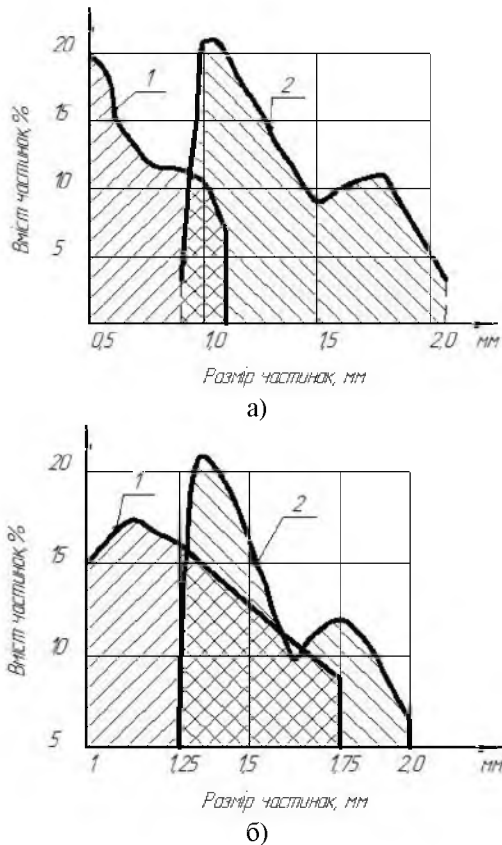


Рис.5. Розподілення абразивних частинок порошку карбїду кремнію (а) та корунду (б) в стані поставки (2) та після першої пневмопідготовки цими матеріалами (1).

Аналіз графіків представлених на рис.5 показує, що частинки після першої пневмопідготовки змінюють форму, крупність і їх розподілення. Якщо карбїд кремнію в стані поставки має гостро кутову форму і крупність в межах 1-2 мм, то після першої

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.В.П.Лялякин, Н.Н.Литовченко., А.С.Саблуков, В.И.Денисов, В.Н.Соковцева. Физическая сущность и условия сцепления частиц металлического порошка с подложкой при газотермическом напылении //Технология металлов.-2006.-№5.С. 36-44.
 V.P.Lyalyakin, N.N.Litovchenko., A.S.Sablukov, V.I.Denisov, V.N.Sokovceva. Fizicheskaya sushhnost' i usloviya scephleniya chastic metallicheskogo poroshka s podlozhkoj pri gazotermicheskom napy'lenii //Tekhnologiya metallov.-2006.-№5.С. 36-44.
 2.В.Г.Пейчев, С.Ю.Плинер. Повышение прочности керамики из диоксида циркония за счет эвтектичного распада твердых растворов в системе ZrO_2-MgO // Огнеупоры.-1987.-2.-С 30-31.
 V.G.Pejchev, S.Yu.Pliner. Povy'shenie prochnosti keramiki iz dioksida cirkoniya za schet e'vtektoidnogo raspada tverdy'x rastvorov v sisteme ZrO_2-MgO // Огнеупоры'.-1987.-2.-С 30-31.

пневмопідготовки крупність його зменшується до 0,5-1 мм при зберіганні гострокутової форми. Корунд після першої пневмопідготовки в основному зберігає розміри частинок, але вони стають більш округлої форми.

Наукова новизна та практична значимість

Отримані нові наукові дані про вплив форми та крупності абразиву на кінцеву шорсткість обробленої поверхні.

Встановлено матеріали для абразивної обробки нікелевого сплаву ВЖ-98, їх параметри шорсткості, закономірності впливу форми та крупності вибраного абразиву на кінцеву шорсткість обробленої поверхні і вказані шляхи підвищення показників адгезії покриттів.

Висновки

Проведені дослідження показали, що

- 1.Абразивний матеріал корунд (Al_2O_3) і карборунд створюють шорсткість необхідної форми та величини.
- 2.При багаторазовому використанні корунду абразивні частинки заовалюються і шорсткість поверхні зменшується.
- 3.При багаторазовому використанні карбїду кремнію абразивні частинки дрібніються зберігаючи гостроконечну форму і створюючи шорстку поверхню з малою висотою нерівностей.
- 4.При порівнянні корунду і карборунду перевагу треба віддати першому, але обмежити його чотириразовим використанням.

- 3.В.В.Кудинов.Плазменные покрытия.-М.:Наука, 1977.-270с.
 V.V.Kudinov.Plazmennye pokry'tiya.-M.:Nauka, 1977.-270с.
- 4.Ю.С.Борисов, А.Л.Борисова. Плазменно-порошковые покрытия.-К.: Техника, 1986.-223с.
 Yu.S.Borisov, A.L.Borisova. Plazmennoporoshkovye pokry'tiya.-K.: Tekhnika, 1986.-223с.
- 5.С.С.Бартенёв, С.В.Невзоров. Некоторые технические характеристики плазменно-напыленной ZrO_2 // Неорганические материалы.-1977.- С.2187-2190.
 S.S.Bartenyov, S.V.Nevzorov. Nekotorye texnicheskie karakteristiki plazmenno-napy'lennoj ZrO_2 // Neorganicheskie materialy'.-1977.- S.2187-2190.
- 6.А.Ф.Гордеев.Подготовка поверхности под напыление //Технология металлов.-2000.№6.-С 22-27.
 A.F.Gordeev.Podgotovka poverxnosti pod napy'lenie //Tekhnologiya metallov.-2000.№6.-С 22-27.
- 7.Л.И.Дехтярь, А.М.Вирник, А.И.Муравьев и др. Роль технологии в повышении качества плазменно-

напыленной двуокиси циркония // Теория и практика газотермического нанесения покрытий.-Рига :Зинатие.-1980.-С.19-22

L.I.Dexyiar', A.M.Virnik, A.I.Murav'ev i dr. Rol' tehnologii v povy'shenii kachestva plazmenno-napy'lennoj dvuokisi cirkoniya // Teoriya i praktika gazotermicheskogo naneseniya pokry'tij.-Riga :Zinatie.-1980.-S.19-22

8.Б.М.Захаров, М.Г.Трофимов. Влияние степени расплавления двуокиси циркония на её адгезию при плазменном нанесении покрытий // Порошковая металлургия.-1970.-№3.-С51-56.

В.М.Захаров, М.Г.Трофимов. Vliyanie stepeni rasplavleniya dvuokisi cirkoniya na eyo adgeziyu pri plazmennom nanesenii pokry'tij // Poroshkovaya metallurgiya.-1970.-№3.-S51-56.

9.Ю.С.Елисеев,Н.В.Абрамов,В.В.Крымов. Химико-термическая обработка и защитные покрытия в авиадвигателестроении.-М.:Высшая школа, 1999.-256 с.

Yu.S.Eliseev,N.V.Abramov,V.V.Kry'mov. Химико-термическая обработка i zashhitny'e pokry'tiya v aviadvigatelestroenii.-М.:Vy'sshaya shkola, 1999.-256 s.

10.V.S.Stubican, J.R.Hellman. Phase Equilibria in some Zirconia System, Science and Technology of Zirconia, vol. 3, 1981, p. 25.

11.Ю.С.Борисов, Ю.А.Харламов, С.П.Сидоренко, Е.Н.Ардатовская. Газотермические покрытия из порошковых материалов.Справочник. Киев, Наукова думка, 1987. с. 543.

Yu.S.Borisov, Yu.A.Xarlamov, S.P.Sidorenko, E.N.Ardatovskaya. Gazotermicheskie pokry'tiya iz poroshkovix materialov.Spravochnik. Kiev, Naukova dumka, 1987. s. 543.

12.Г.Г.Максимович, В.Ф.Шатинский, В.И.Копылов. Физикохимические процессы при плазменном напылении и разрушении материалов с покрытиями. Киев, Наукова думка, 1983. с. 35-72.

G.G.Maksimovich, V.F.Shatinskij, V.I.Kopy'lov. Fizikoximicheskie processy' pri plazmennom napy'lenii i razrushenii materialov s pokry'tiyami. Kiev, Naukova dumka, 1983. s. 35-72.

13.А.Хасуй ,О.Моригаки. Наплавка и напыление.- М.:Машиностроение, 1985.-237с.

.A.Xasuj ,O.Morigaki. Naplavka i napy'lenie.-М.: Mashinostroenie, 1985.-237s.

Статья рекомендована к публикации д-ром. техн. наук, проф. Г. Г. Шломчаком (Украина); д-ром. техн. наук, проф. Г. Д. Суухомлин (Украина)

Поступила в редколлегию 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015