

[5] Казимиренко Ю. О., Дрозд О. В., Жарський Є. І. Технологічні особливості і фізико-хімічні процеси переробки кристалевих стекол на порошок // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, 2020. Серія : Технічні науки.– Том 31 (70), № 4. С. 180-185.

[6] Фарионова Т. А., Казимиренко Ю. А., Аистова Ю. С. Компьютерные информационные ресурсы в исследовании и проектировании неметаллических композиционных материалов // Матеріали IV міжнар. Наук.-техн. Конф. «Інновації у суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв : НУК, 2013. С. 496-498.

System-analytical research of waste processing technologies of glass manufacturing

Y. Kazymyrenko¹, O. Drozd²

¹⁻²Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. With the help of a systematic approach, the prospect of recycling of waste which is generated at the enterprises for the production of glass products for construction, household, decorative purposes, art objects has been analyzed.

It is determined that broken glass is a strategically important raw material base, the use of which creates the preconditions for obtaining new functional composite materials. The purpose, chemical composition of glasses, type of structure, thermal history, cost indicators of processing are accepted as identification signs of the system. The need to use electronic reference information has been emphasized. The technological scheme of processing of broken glass into powder has been offered.

Key words: recycling, broken glass, production, powder, technologies, electronic reference information, system approach.

УДК 621.793.7

ОТРИМАННЯ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ З КОМПЛЕКСОМ ПІДВИЩЕНИХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Карпеченко А.А.¹, Бобров М.М.², Савенков О.І.³, Кондратьєва А.А.⁴

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства і технології металів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

²кандидат технічних наук, асистент кафедри матеріалознавства і технології металів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

³асистент кафедри механіки та конструювання машин Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

⁴студентка Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна.

Анотація. Досліджено можливість підвищення комплексу фізико-механічних і експлуатаційних властивостей плазмових покриттів з порошків марок ПГ-19М-01 і ПРХ18Н9 за рахунок електроімпульсного впливу на гетерофазний високотемпературний струмінь при напиленні і подальшої поверхневої пластичної деформації нанесених покриттів дробоструменевою обробкою. Показано, що дробоструменева обробка забезпечує формування зміцненого шару товщиною до 180...200 мкм, при цьому максимальний рівень мікротвердості спостерігається на глибині близько 60 мкм. Мікротвердість покриття з порошку ПГ-19М-01 в точці максимального зміцнення підвищується на 35%; сталевих покриттів з порошку ПР-Х18Н9 – на 48% в порівнянні зі станом після напилення. Проведено експериментальні дослідження впливу зазначеної обробки на міцність зчеплення і зносостійкість отриманих покриттів.

Показано, що після проведення дробоструменевої обробки міцність зчеплення покриттів знижується на 10...15%, а зносостійкість підвищується на 32...38%.

Ключові слова: плазмові покриття, поверхнева пластична деформація, твердість, зносостійкість, міцність зчеплення.

У сучасних тенденціях розвитку технології плазмового напилення можна виділити ряд перспективних напрямків. Найбільш кардинальним є підвищення комплексу функціональних властивостей покриттів за рахунок їх наноструктурування. Отримують такі покриття напиленням агломерованих порошків з нанорозмірними частинками [1]. При цьому підготовлені порошки мікронних розмірів подають у високотемпературний плазмовий струмінь традиційним способом за рахунок використання транспортувального газу. Також для подачі ультрадисперсних порошків використовують суспензії [2], а сам процес їх нанесення отримав назву Suspension Plasma Spraying (SPS). Останнім часом запропоновано плазмову технологію нанесення покриттів з використанням прекурсорів, що містять дрібнодисперсні порошки керамік – Solution Precursor Plasma Spraying (SPPS). Процес складається з послідовного швидкого випаровування розчинника при вприскуванні прекурсора в плазмовий факел на зріз сопла плазмотрону, піролізу в плазмовому високотемпературному струмені і кристалізацією на підкладці [3]. Зазначені способи характеризуються складністю додаткового обладнання, необхідністю трудомісткої підготовки матеріалів, що напилюються. Досить перспективними вважаються способи формування нанокристалічного стану в поверхневому шарі за рахунок поверхневої пластичної деформації ультразвуковою ударною або електромеханічною обробкою [4, 5]. Окремий напрямок складають способи які спрямовані на створення композиційних плазмових покриттів за рахунок застосування металевих матеріалів і наповнювачів (скло, полімер, кераміка, карбіди) [6] або напилення плакованих порошків [7]. Багатообіцяючими вважаються способи, в яких використовується імпульсний вплив на процес напилення. Попередні дослідження [8] показали, що саме електроімпульсний вплив на гетерофазний високотемпературний потік при напиленні дозволяє значно підвищити міцність зчеплення з основою, щільність і твердість покриттів за рахунок зменшення середнього розміру частинок, що напилюються і збільшення їх швидкості. При цьому додаткове обладнання є досить недорогим у виробництві і простим у застосуванні.

Актуальним є дослідження можливості комбінації декількох способів, що дозволяє значно підвищити фізико-механічні та експлуатаційні властивості функціональних плазмових покриттів і забезпечити їх необхідний рівень.

Для отримання плазмових покриттів з підвищеними фізико-механічними та експлуатаційними властивостями їх формування здійснювали із застосуванням електроімпульсного впливу на гетерофазний високотемпературний струмінь. Для подальшого підвищення їх властивостей, отримані зразки з плазмовими покриттями піддавали дробоструйній обробці.

Тривалість дробоструминної обробки розраховували за формулою [10]:

$$t = \frac{7.6ld\sqrt{H}}{k_i v m_{op} \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

де l – відстань від сопла до оброблювальної поверхні, мм; d – діаметр дробу, мм; H – твердість оброблювального матеріалу; k_i – коефіцієнт, який враховує кількість необхідних ударів для забезпечення зміцнення ($k_i = 0,8$); v – швидкість часток дробу, м/с; m_{op} – витрати дробу, кг/хв; α – кут між потоком дробу та оброблювальною поверхнею, град.

Тривалість дробоструменевої обробки зразків з плазмовими покриттями становила 1 хв. Необхідність визначення часу пов'язана з тим, що більш тривалий наклеп знижує твердість поверхні за рахунок появи великої кількості дефектів, які сприяють передчасному руйнуванню покриття. Глибину наклепаного шару встановлювали шляхом визначення значень мікротвердості плазмового покриття на поперечних шліфах (рис. 1).

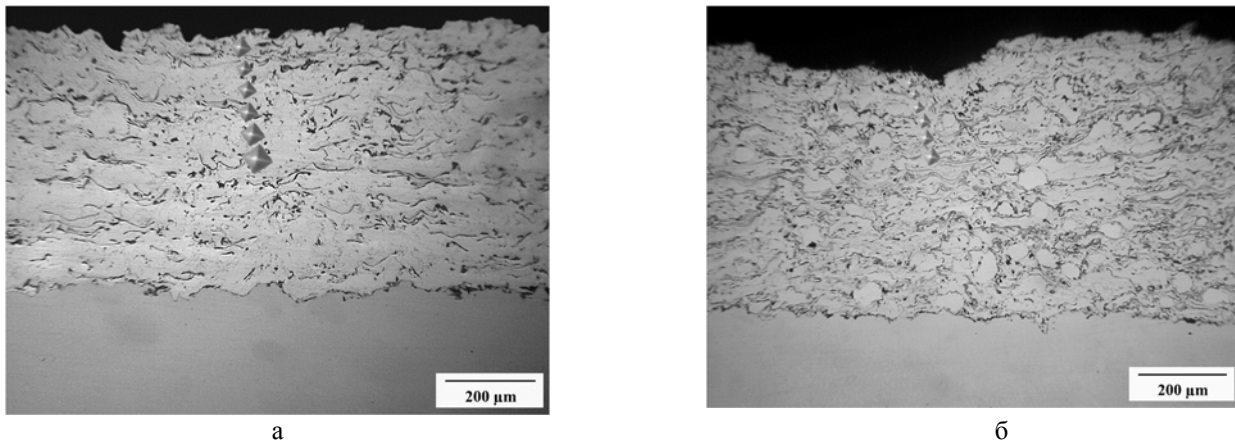


Рис. 1. Розмір відбитків індентору в залежності від глибини наклепаного шару плазмового покриття, отриманого з порошків марок ПГ-19М-01 (а) та ПР-Х18Н9 (б)

Згідно з отриманими результатами визначення значень мікротвердості у всіх випадках максимальна їх величина спостерігаються не поблизу поверхневого шару плазмового покриття (рис. 1), а на глибині приблизно 60 мкм від місця дробоструменевої обробки. Пояснюється це тим, що в місці удару дробу виникає локальний нагрів поверхневого шару, який і приводить до зниження наклепу тонких приповерхневих шарів, а зона максимального зміцнення зміщується до підповерхневого шару. Мікротвердість покриття отриманого з порошку ПГ-19М-01 в точці максимального зміцнення підвищується з 1,6 ГПа до 2,16 ГПа (+ 35%); нержавіючих сталевих покриттів з порошку марки ПР-Х18Н9 з 2,95 ГПа до 4,37 ГПа (+ 48%). Більший ефект підвищення твердості покриттів з нержавіючої сталі пояснюється їх здатністю до деформаційного зміцнення за рахунок формування α' -фази мартенситного типу [10]. Глибина наклепаного шару складає 180...200 мкм, після чого мікротвердість приймає значення, які відповідають необробленому матеріалу покриття.

У даній роботі для визначення міцності зчеплення з металевою основою використовували штифтовий метод, оскільки він дозволяє оперативно проводити випробування безпосередньо після нанесення покриття на зразки. Згідно з отриманими даними, після проведення дробоструменевої обробки міцність зчеплення покриттів зі сталеву основою знижується на 10...15% у порівнянні зі станом після напилення, ймовірно, за рахунок виникнення додаткових внутрішніх напружень в поверхневих шарах плазмового покриття.

Дробоструминна обробка забезпечує підвищення зносостійкості на 32% для покриттів, отриманих з порошку марки ПГ-19М-01; на 38% для покриттів, сформованих з порошку нержавіючої сталі марки ПР-Х18Н9. Ефект збільшення зносостійкості покриттів корелюється з ефектом підвищення їх твердості. Знос контртіла обернено пропорційний зносу покриття: чим більша твердість і зносостійкість покриття, тим більше зношується контртіло, але остання характеристика зростає менш інтенсивно, ніж твердість покриття.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Gao Y. A novel plasma-sprayed nanostructured coating with agglomerated-unsintered feedstock / Y. Gao, Y. Zhao, D. Yang, J. Gao // *Journal of Thermal Spray Technology*. – 2016. – Vol. 25, pp. 291-300. doi: 10.1007/s11666-015-0340-1.
- [2] Qiu C. Manufacturing process of nanostructured alumina coatings by suspension plasma spraying / C. Qiu, Y. Chen // *Journal of Thermal Spray Technology*. – 2009. – Vol. 18, pp. 272-283. doi: 10.1007/s11666-009-9295-4.
- [3] Lohia A. Deposition of nanocomposite coatings employing a hybrid APS + SPPS technique / A. Lohia, G. Sivakumar, M. Ramakrishna // *Journal of Thermal Spray Technology*. – 2014. – Vol. 23, pp. 1054-1064. doi: 10.1007/s11666-014-0071-8.
- [4] Васильєв М.О. Синтез деформаційних нанокомпозитів на поверхні алюмінійового сплаву Д16 за допомогою ультразвукового ударного оброблення / М.О. Васильєв, Б. М. Мордюк,

С. І. Сидоренко // Металофізика та новітні технології. – 2016. - №4 - С.545-563. doi: 10.15407/mfint.38.04.0545.

[5] Ivannikov A.Y. The effect of electromechanical treatment on structure and properties of plasma-sprayed Fe-30Cr coating / Journal of Thermal Spray Technology. – 2019. – Vol. 28, pp. 883-892. doi: 10.1007/s11666-019-00868-y.

[6] Mal'tseva S. V. Structure and properties of modified plasma-sprayed composite coatings on a titanium base / S. V. Mal'tseva, I. P. Mel'nikova, A. V. Lysanikova, A. M. Zaharevich // Mechanics of Composite Materials. – 2016. – Vol. 52, pp. 531-534. doi:10.1007/s11029-016-9603-2.

[7] Borisov Y.S. High-velocity air plasma spraying of (Ti, Cr)C-32 wt.% Ni clad powder / Y.S. Borisov, A.L. Borisova, M.V. Kolomytsev // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2017. – Vol. 56, pp. 305-315. doi: 10.1007/s11106-017-9898-0.

[8] Dubovyi O.M. Perspectives of improving physical and mechanical properties of thermal coatings by electropulse exposure / O.M. Dubovyi, O.V. Chechel, M.M. Bobrov, Yu. Ye. Nedelko // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2017. – Vol. 1, pp. 82-87.

[9] Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник / Л.Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

[10] Бородулин Г.М. Нержавеющая сталь / Г.М. Бородулин, Е.И. Мошквич. – М.: Металлургия, 1973. – 319 с.

Obtaining of plasma coatings with the complex of improved physical-mechanical and operating properties

Anton Karpechenko¹, Maksym Bobrov², Oleg Savenkov³, Anna Kondratieva⁴

¹⁻⁴Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The possibility of improving of the complex of physical, mechanical and operational properties of plasma coatings from the powders of PG-19M-01 and PRH18N9 due to the electric pulse effect on the heterophase high-temperature flow during spraying and further surface plastic deformation of the deposited coatings by the shot blasting has been investigated. It is shown that the shot blasting provides the formation of the hardening layer with the thickness of up to 180...200 μm, while the maximum level of microhardness is observed at the depth of about 60 μm. The microhardness of the coating from PG-19M-01 powder at the point of maximum hardening increases by 35%; steel coatings from PR-H18N9 powder – by 48% compared to the post-spraying state. Experimental studies of the effect of this treatment on the bond strength and wear resistance of the obtained coatings have been carried out. It is shown that after shot-blasting the bond strength of the coatings decreases by 10...15%, and the wear resistance increases by 32...38%.

Keywords: plasma sprayed coatings, surface plastic deformation, hardness, wear resistance, bond strength.

УДК 621.534.762.134

МОДУЛИРОВАННЫЕ И ИМПУЛЬСНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И УСТАНОВОК

Лебедев В.А.¹, Лой С.А.²

¹доктор технических наук, профессор кафедры сварки Херсонского филиала Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Херсон, Украина

²доцент НУК, старший преподаватель кафедры сварки Херсонского филиала Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Херсон, Украина

welding.kherson@nuos.edu.ua