

УДК 621.3.035.183

Сучасні процеси та технології холодного газодинамічного напилення виробів техніки сільськогосподарського призначення

Веселовська¹ Н.Р., Іскович-Лотоцький² Р.Д.¹ Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна² Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Сучасне обладнання переробної промисловості, тваринництва, біоенергетичних комплексів використовується для переробки, зберігання або транспортування агресивних речовин. Функціональні покриття з інертних матеріалів не вступають у будь які хімічні реакції з харчовими продуктами, продуктами переробки, відходами тваринництва, кислотами та іншими агресивними середовищами. Постає питання захисту обладнання переробної промисловості, тваринництва, біоенергетичних комплексів від агресивних середовищ шляхом застосування процесів холодного газодинамічного напилення. Це є актуальною проблемою для розвитку захисних технологій та відповідного обладнання для реалізації процесу створення функціональних покриттів. Крім того важливим аспектом є створення електропровідних і електроізоляційних поверхонь електричного обладнання, яке широко використовується на підприємствах АПК. Холодне газодинамічне напилення (ХГДН) є одним з широко поширених процесів порошкового напилення. Експериментально було доведено, що процес газодинамічного напилення можна назвати методом «адитивного виробництва». Метод напилення газом під високим тиском зі швидкістю 300 м/с для прискорення металевого порошку вперше запатентував 12 серпня 1902 року Терстон, а згодом це було досягнуто шляхом високошвидкісного зіткнення з основним матеріалом. Основні інноваційні розробки почалися в 1950-х роках компанією Rochevill, яка використала потік газу зі швидкістю вище, ніж ті, які були отримані за допомогою існуючих в той час методів. Потік суміші газу та порошку через сопло, назване соплом Де Лавалья, дає однорідне тонке покриття [1]. Метали, металеві сплави, композиційні матеріали та полімери, були успішно нанесені на матеріал підкладки українськими вченими, які досягли дуже високої швидкості нанесення покриття за допомогою газодинамічного напилення [2]. В області авіакосмічної, енергетичної, автомобільної, біотехнологічної та військової промисловості кількість промислових застосувань для холодного напилення у всьому світі зростає. Осадження під час ХГДН можна підсумувати як молекулярне тяжіння між відкладенням частинок на поверхні підкладки і вбудованим зростанням відкладень. Висока швидкість від 500 до 1500 мс⁻¹ газу-носія прискорює дрібнодисперсні частинки порошку (1-50 мкм) через звужено-розширене сопло Де Лавалья. З надзвуковою швидкістю частинки вдаються об підкладку і пластично деформуються. Процес деформації призводить до адгезії поверхні [3]. Метою роботи є аналіз технологій холодного газодинамічного напилення та розробка способів та методів створення функціональних покриттів для виробів техніки сільськогосподарського призначення. На сучасному етапі холодне газодинамічне напилення поділяється на два типи, в залежності від методу подачі порошку в горловину сопла, а саме, холодне газодинамічне напилення низького тиску (ХГДННТ) і холодне газодинамічне напилення високого тиску (ХГДНВТ). При холодному напиленні низького тиску частки порошку подаються за допомогою прискореного газом порошку. В системі ХГДННТ використовується відносно низький тиск в діапазоні від 5 до 10 бар і попередньо нагрітий до 50° С азот, гелій або чисте повітря в якості газу-витискувача, який потім пропускається через сопло. Попередньо нагрітий газ прискорюється зі швидкістю від 60 до 300 м/с. Тиск всередині сопла постійно підтримується нижче атмосферного. Система холодного напилення низького тиску

більш гнучка, портативна і значно знижує витрати на розпорошення, ніж система ХГДНВТ, в якій використовується подача під високим тиском. Але недоліком методу ХГДННТ є його можливість забезпечити ефективність осадження лише нижче 50%. Термін служби сопла ХГДННТ більше, оскільки частинки порошку проходять тільки через надзвукову область сопла, тим самим знижуючи знос стінки сопла. Холодне напилення під високим тиском змушує частинки порошку з повітрям, азотом (N_2) або гелієм (He) в якості пропелленту проходити через сопло Де-Лавалля при високому тиску від 25 до 30 бар і температурі попереднього нагрівання до $1000^\circ C$. Нагрітий газ прискорюється до надзвукової швидкості близько 1200 м/с, в той же час знижуючи його температуру. Але системи ХГДННТ і ХГДНВТ мають деякі обмеження. ХГДННТ з більш простим устаткуванням має відносно низьке число Маха на виході (зазвичай >3) через обмеження конструкції сопла. За допомогою методів подачі нижче по потоку можуть бути досягнуті тільки низькі швидкості частинок, оскільки допускається тиск на вході 1 МПа. Компресори високого тиску для частинок мають великі розміри і високу вартість. Ще одним обмеженням є засмічення сопла, особливо при збільшенні швидкості і температури частинок. Ця проблема може бути подолана шляхом змішування частинок з високою межею плинності або частинок з більшим діаметром. Іншим обмеженням ХГДНВТ є ерозія частинок, яка виникає на межі поділу сполук, що викликає знос надзвукової горловини сопла. Це може бути більшою перешкодою при розпилюванні твердих порошків у якості сировини. Процес формування покриття ділиться на дві фази: формування першого шару, який представляє собою адгезію відкладення до субстрату і нарощування покриття, тобто зростання самого відкладення. Поведінка механічної структури частки/підкладки під час удару визначає когезійну здатність напилення. В даний час передбачені дві консолідовані природи, і це залежить від того, чи деформуються порошки пластично на підкладці. Металеве з'єднання досягається за рахунок пластичної деформації, в той час як в міжфазній зоні під час напилення пластична деформація призводить до сильного удару. Як зазначалося раніше, трансформація структури матеріалу відбувається через суттєву пластичну деформацію, в той час як металургійне з'єднання може використовуватися для створення зчеплення частинок. Для посилення консолідації відкладень після формування першого шару були виділені наступні етапи. Зростання осаду починається як за рахунок обертального руху частинок, так і за рахунок деформації. Таке поєднання кінематики покращує щільність нанесення. На третьому етапі відбувається зв'язування між частинками, коли покриття пластично деформується на підкладці. В цьому випадку відбувається зменшення пористості. Під час останньої стадії спостерігається ущільнення покриття, яке продовжує збільшувати твердість частинок. В процесі холодного газодинамічного напилення в якості основного палива використовується повітря, азот або гелій. Гелій (He) має особливі характеристики, які роблять його більш ефективним, ніж повітря і азот (N_2). Низька молекулярна вага і більш висока газова постійна (R_s) гелію роблять його більш привабливим. Крім того, гелій економічно не вигідний і його не можна отримати вільно у порівнянні з азотом і повітрям, хоча він має кілька переваг, таких як поліпшення щільності покриття, висока продуктивність і підвищення робочої температури. Азот і повітря більше використовуються для управління виробничими витратами. Недоліком повітря є окислення, на відміну від азоту, який запобігає окисленню зразка. Технологія холодного газодинамічного напилення доповнює інші відомі термічні напилення і тому не замінює їх. Функціональні покриття виконані методом ХГДН легко усувають будь-які дефекти без додаткових витрат на якість продукції. Наприклад, покриття можуть бути ефективними в ремонті дефектів машин та механізмів тощо. Газодинамічне напилення також широко використовується в якості механізму реставрації, для сприяння оновленню антикварних предметів, як технічних, таких як автомобілі, літаки, так і мистецтва, таких як металеві скульптури [4-7]. Варто відзначити, що в аерокосмічній промисловості покриття з алюмінію і алюмінієвих сплавів для прискорювачів космічних кораблів наносяться цим методом для ремонту / відновлення. Він також діє як агент,

що зменшує корозію, в протиковзких покриттях. Крім того, ефективними антикорозійні покриття є в нафтохімічній промисловості та в литих частинах газових турбін. На майданчиках для ремонту автомобілів і автомобільних майстерень покриття ХГДН допомагає усунути пов'язані з ними дефекти, відновити форму і герметизувати витоки. Метод також корисний для покриття твердих поверхонь і мідних сплавів, таких як перила ліжок, крани, вимикачі світла, дверні ручки, зони приготування їжі та інше обладнання, яке часто контактує з людьми. Цей метод нанесення покриття також знаходить застосування при виробництві титанових труб (безшовних). ХГДН використовується для виконання функціональних покриттів при обробці зварювальних ліній, виробництві елементів оптичних окулярів. За допомогою цього процесу легко обслуговувати старе обладнання, дорогі, дефіцитні і зношені деталі. Обладнання для кондиціонування повітря в автомобілях і теплообмінники з алюмінієвими трубками також можуть бути виготовлені з використанням методу холодного газодинамічного напилення. Цей процес також може бути використаний для виробництва утеплювачів з високими теплоізоляційними властивостями, а також компонентів з високою корозійною стійкістю при менших витратах на виробництво. Метод холодного газодинамічного напилення (ХГДН), крім того, що перетворився в один з всеосяжних процесів порошкового напилення з помітними результатами досліджень, значно розширився з роками. Продовжує вдосконалюватись обладнання для ХГДН з використанням сопла Де Лавалля як інноваційного пристрою.

Список використаних джерел

1. Villafuerte J. Current and future applications of cold spraying technology. *Met. Finish.* 2010. No108. P. 37–39.
2. Гайдамак О. Л., Матвійчук В. А., Кучеренко Ю. С. Перспективи створення полімерних функціональних покриттів із застосуванням газодинамічного напилення. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.* No2(109). 2020. С. 105–112.
3. Шоринов А. В., Волков А. О., Маркович С. Е. Холодное газодинамическое напыление металлических покрытий на композиционные материалы и пластики: литературный обзор. *Вестник ХНАДУ*, вып. 81. 2018. С. 62–73.
4. Tinashe S. E. Conceptual Design of a Low Pressure Cold Gas Dynamic Spray (LPCGDS) System. *University of the Witwatersrand Paper.* 2010. P. 12–17.
5. Han Y. K., Birbilis N., Spencer K., Zhang M., Muddle B. C. Investigation of Cu coatings deposited by kinetic metallization, *Mater. Charact.* 61. 2010. P. 1167–1186.
6. Hanft D., Glosse P., Denneler S., Berthold T., Oomen M. The aerosol deposition method: a modified aerosol generation unit to improve coating quality. *Material (Basel).* 2018.No11. P. 1–11.
7. Ganesan A., Yamada M., Fukumoto M. Cold spraying coating deposition mechanism on the thermoplastic and thermosetting polymer substrates. *J. Therm. Spray Technol.* 2013. No22. P. 1275–1282.
8. Yin S., Suo X., Liao H., Guo Z., Wang X. Significant influence of carrier gas temperature during the cold spraying processes. *Surf. Eng.* 2014. No30. P. 443–450.
9. Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А., Ялина О.О., Брацлавець Б.С. (10%), Дослідження особливостей виявлення дефектів підшипників на основі вейвлет-аналізу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.* Вінниця. 2020. № 4(111).С.5-13.

Modern processes and technologies of cold gas dynamic spraying of products agricultural equipment

Veselovska N.R., Iskovich-Lototsky R.D.

Modern equipment of processing industry, animal husbandry, bioenergy complexes is used for processing, storage or transportation of aggressive substances. Functional coatings made of inert materials do not enter into any chemical reactions with food, processed products, livestock waste, acids and other aggressive media.

There is a question of protection of the equipment of the processing industry, animal husbandry, bioenergy complexes from aggressive environments by application of processes of a cold gas-dynamic spraying. This is an urgent problem for the development of protective technologies and appropriate equipment for the implementation of the process of creating functional coatings.