

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ГАЗОТЕРМІЧНИХ СПОСОБІВ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ

Проведенный обзор по материалам международной организации International Thermal Spray Association и Международной конференции-выставке по термическому напылению ITSC-2010-International Thermal Spray Conference and Exposition в Сингапуре, современного состояния газотермических способов нанесения покрытий. Показанные перспективные направления внедрения технологий и покрытий, при комплексной разработке материалов и оборудования в США и мире.

Conducted review on materials of international organization of International Thermal Spray Association and International Thermal Spray Conference and Exposition ITSC-2010 the modern state of gas-thermal methods of overcoating. Shown perspective directions of introduction of technologies and coverages, at complex development of properties and equipment in the USA and world.

Розвиток і вдосконалення техніки пов'язаний з підвищенням швидкості та експлуатаційного навантаження машин та механізмів, агресивності середовища, де вони експлуатуються і т. інш.

Використання традиційних конструктивних матеріалів в окремих випадках не задовольняє комплекс вимог, які висуваються до машин і механізмів. У зв'язку з цим економічно та технічно доцільно поширювати принципово новий підхід до вибору матеріалів на етапі проектування деталей машин та конструкцій, який полягає в тому, що механічна міцність деталі або конструкції гарантується за рахунок одного матеріалу, а спеціальні властивості (зносоустійкість, жароміцність, корозійна стійкість та інш.) за рахунок формування на поверхні тонких шарів інших матеріалів - покриттів. Внаслідок цього забезпечується підвищення довговічності роботи деталі або конструкції, зменшуються витрати легуючих елементів, знижується ціна виробу. Одним з перспективних методів нанесення захисних покриттів є процеси газотермічного нанесення покриття, які набули широкого розповсюдження в Україні і в світі, як при виготовленні нових виробів так і при відновленні деталей і конструкцій, що були в експлуатації.

Газотермічне нанесення покриття в теперішній час є високотехнологічною галуззю світової економіки з річним обсягом біля 5 млрд. доларів.

Запровадження методів нанесення покриття активно розвивається в авіації, машинобудуванні енергетиці, будівництві, нафтопереробці, металургії, електроніці. В розвинених державах (США, Німеччина, Франція, Японія, Скандинавські країни) темп зростання цих методів складає 5-7%, в Індії - 15-17%, у Китаї - 20%.

Про велику зацікавленість міжнародної промислової спільноти в широкому використанні технологій газотермічного напылення свідчить створення професійних асоціацій у технічно розвинених країнах, метою яких є просування науки і технологій в промисловість на користь суспільства. У США це International Thermal Spray Association (ITSA), яка у взаємодії з American Welding Society (AWS), пропонує до відома інженерів, дослідників і студентів, які цікавляться проблемами нанесення покриття, новини промисловості газотермічного напылення, компанії, події і продукцію. Аналогічну роботу у Німеччині проводить Association of Thermal Sprayers (GTS) у взаємодії з German Welding Society (DVS). У Японії таку роботу веде японська спілка термічного напылення Japan Thermal Spray Society (JTSS) яка спеціалізується виключно на технологіях термічного напылення. На міжнародній виставці, яка відбулася у Сингапурі 3-5 травня 2010 року, присвяченій газотермічному напыленню (ITSC-2010-International Thermal Spray Conference and Exposition) було представлено біля 200 доповідей і 70 стендових докладів, 37 фірм виставили на виставці свої поточні і перспективні розробки [1].

В США науково-дослідні роботи пов'язані з розробкою нового обладнання для нанесення покриття і вдосконалення конструкції покриттів, створення наноструктурованих і метало-керамічних матеріалів, програм розвитку аерокосмічної, напівпровідникової, нафтової, газової і металургійної та інших галузей промисловості з урахуванням можливості використання досягнень інженерії поверхні [2].

Основні напрямки діяльності науково-дослідних установ, крім зазначених вище, направлені на підвищення фундаментального розуміння процесів і їх впливу на комплексні макроструктурні характеристики нанесеного шару і через це, на властивості матеріалу (Center for Thermal Spray Society) на інформацію про термічне напылювання в світі (ASM Thermal Spray Society).

Проводиться аналіз ринку для компаній з термічного напылення для планування випуску продукції і просування нових продуктів.

За даними ITSA у США у 2009 році практично третина галузей промисловості використовувала плазмове напылення, причому 25% з цієї третини використовували плазмове напылення в динамічному вакуумі і в контрольованій атмосфері. По 20-22% галузей промисловості використовували газополуменеве напылення і HVOF процеси, 10-15% детонаційне напылення і залишок - електродугові та інші процеси напылення.

Практично всі процеси газотермічного напilenня використовуються при виготовленні і відновленні деталей авіаційних, газових та гідротурбін. Більшість існуючих процесів газотермічного напilenня використовується в аерокосмічній та оборонній промисловості, хімічній і харчовій промисловості, медичній промисловості.

Біля 20% галузей промисловості США використовують газотермічне напilenня для зменшення абразивного зношування деталей. Приблизно 18% галузей промисловості використовують газотермічне напilenня для відновлення деталей і 16% для захисту від корозії. По 9-10% галузей промисловості використовують нанесення покриттів для захисту від ударного, ерозійного і адгезійного зношування, а інші використовують, як захист від фретінг-корозії, кавітації, спеціальних покриттів: ущільнюючих, електропровідних з підвищеним електричним опором і таке інше.

Найбільшу функціональну номенклатуру газотермічних покриттів використовують при виготовленні і відновленні деталей автомобільних двигунів, авіаційних і стаціонарних газових турбін, в оборонній і аерокосмічній промисловості, виготовлені та відновлені деталі гідротурбін, дизельних двигунів, деталей електропостачання і залізничних деталей.

Створена потужна промислова база для забезпечення промисловості газотермічного нанесення покриття витратними матеріалами: металевими та керамічними порошками, дротом з залізних сплавів та кольорових металів, прутків для способів газотермічного напilenня, постачання промислових газів різного складу газоподібного у балонах і рідинному стані у цистернах.

21% галузей промисловості США використовує для газотермічного напilenня матеріали з конструкційних сталей і сплавів, 19% матеріали з кольорових металів, 15% галузей нікелеві сплави і 14% самофлюсуючі порошки. Кобальтові сплави використовуються у 11% галузях промисловості, карбід хрому в 7%, жаростійкі порошки системи М-Сr-Al-Y в інших галузях промисловості.

Функціональне призначення деяких найбільш поширених порошків для газотермічного напilenня наведено в таблиці:

Таблиця 1

Загальна характеристика деяких порошків для термічного напilenня

Клас матеріалу	Типовий сплав	Характеристика	Приклад застосування
Чисті метали	Zn	Захист від корозії	Мостові конструкції
Самофлюсуючі	Fe-Ni-B-Si	Висока твердість, мінімальна пористість нанесеного шару	Вали, опори
Сталі	Fe-Cr13	Економічність, зносостійкість	Відновлення
MCrAlY	NiCrAlY	Висока жаростійкість	Лопатки газових турбін
Сплави Ni-C	Ni-25C	Опір фретінг-корозії	Впускні клапани компресорів
Оксиди	Al ₂ O ₃	Стійкість до окислення, висока твердість	Текстильна промисловість
Карбіди	WC-Co12	Зносостійкість	Вали

В постачанні промисловості термічного напilenня устаткуванням для термічного напilenня переважає обладнання для газополуменового напilenня в тому числі для HVOF; плазмового VPS напilenня, допоміжне обладнання, включаючи роботи, пилезбірники, токарні верстати, охолоджувачі і таке інше.

Є компанії, які спеціалізуються на виробництві допоміжних матеріалів у вигляді екранних стрічок, тканин компаундів для екранування поверхні при дробоструменевій обробці і нанесенні покриття.

Приділяється увага розробці систем очищення навколишнього середовища відповідним устаткуванням. Серія картриджних колекторів для важкого режиму роботи з вертикальними самоочисними картриджами забезпечує добрі показники в промисловості.

ITSA пропонує щорічні стипендії спеціалістам і студентам у відповідності до стипендіальної програми, яка сприяє розвитку спільноти термічного напilenня, особливо в підготовці нових технологів та інженерів.

Міжнародна асоціація термічного напilenня видає бюлетень ITSA SPRAYTAME в якому висвітлює новини промисловості термічного напilenня.

На Міжнародній конференції по термічному напilenню, що відбулася в Сінгапурі 3-5 травня 2010 року ITSC-2010-International Thermal Spray Conference and Exposition, що була організована сумісними зусиллями Німецького зварювального товариства (DBS), товариства термічного напilenня Американського товариства матеріалів (ASM-TSS) та міжнародним інститутом зварювання (IIW) були представлені провідні світові дослідники, розробники і виробники матеріалу, обладнання та технології термічного напilenня. Основна увага була приділена деталізації нових досягнень в наукових дослідженнях і технологіях напilenня, зокрема у таких перспективних напрямках, як:

- газові турбіни ;
- аерокосмічній індустрії ;
- морські конструкції ;
- промислове будівництво ;
- паперо- виробництво і друкарська промисловість;
- біомедичні покриття.

Більшість доповідей була зроблена по плазмовому напilenні – біля 70 доповідей. Значна частина з них присвячена:

- розпиленню у вигляді суспензій нанопорошків діаметром 0,001-1мкм і дослідженню властивостей цих покриттів;
- покриття на деталях газових турбін ;
- покриття для твердопаливних елементів.

Крім плазмового напilenня (ПН) , було достатньо уваги приділено обговоренню таких методів нанесення покриття (рис.1): надзвукового газополуменевого напilenня (HVOF/ HVOF); холодного газодинамічного напilenня (ХГН) та дугової металізації (ДМ).

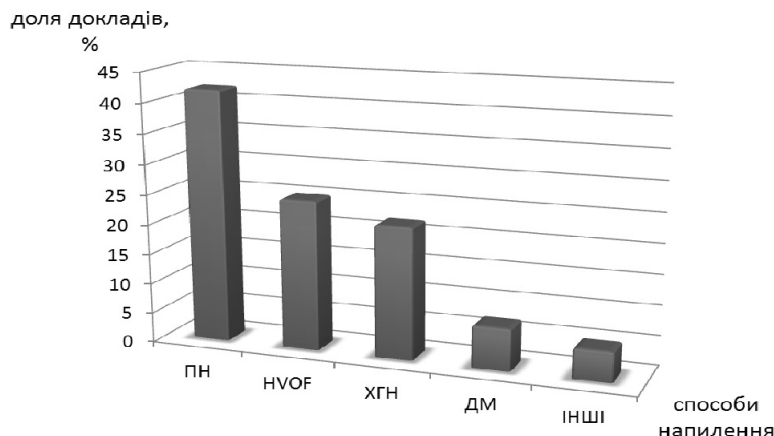


Рис. 1. Доля докладів на ITSC-2010 по різним способам напilenня

Іншим способом газотермічного напilenня у доповідях було приділено менше уваги (біля 3%), враховуючи високу відпрацьованість процесів, а також завдяки тому, що галузі їх використання у теперішній час звужуються, або вони вже не мають стимулів до розвитку внаслідок низьких параметрів технологічності (продуктивність, питомі витрати і т.і) в порівнянні з наведеними вище. Наприклад по газополуменевому напilenню було представлена одна доповідь, хоча доля робіт на ринках складає від 12% (Японія), до 30% (Китай) [3].

Основним напрямом прикладних досліджень в світі є підвищення продуктивності, надійності і технологічності

існуючих галузей використання покриттів: захист від різних видів спрацьовування, атмосферної та високотемпературної корозії. Зокрема дуже велика увага приділяється покриттям на елементах газових турбін. Від них вимагається підвищення ресурсу роботи при високих температурах. Одним з перспективних напрямків в вирішенні цього питання є використання термобар'єрних покриттів, які мають резерв для підвищення ресурсу і робочої температури додатково на 150-200 °С.

До нових галузей використання газотермічного нанесення покриттів відносять нанесення термобар'єрного покриття на мембрани для твердопаливних елементів. Для цього ведеться розробка нових матеріалів, нанопорошків та нових процесів.

Покриття з нанопорошків мають кращі якості ніж при використанні тих же матеріалів, але більшого діаметру. Зокрема при порівнянні покриттів з окислів алюмінію і титану з розміром від 10-20нм і 300 мкм. Спостерігається, що при використанні порошків мілких фракцій, подрібнюється структури і підвищується адгезійна міцність [4]. Також покращуються характеристики для покриття з оксиду ітрію. Зменшення діаметру часток з 37 до 1 мкм дає підвищення ерозійної стійкості плазмового покриття до дії на нього плазмового струменя на 30-40 % [5].

Галузь використання покриття з нанопорошків - термобар'єрні покриття і керамічні мембрани твердосплавних елементів. Але при використанні нанопорошків необхідно забезпечити їх рівномірне подавання. Для цього використовують напilenня суспензій.

В розвитку газотермічного нанесення покриття проглядається ще одна нова тенденція – зменшення температури часток, що напilenються, при збільшенні їх швидкості.

Це забезпечує такі переваги:

1. Зменшення окислення часток і відповідно покриття.
2. Формування стискуваних напружень в покритті в наслідок наклепу від удару часток о поверхню.
3. Підвищення адгезійної міцності.

Для реалізації цього напряму розвиваються методи холодного газодинамічного напilenня (ХГН) та надзвукового газоповітряного напilenня (High Velocity Air Fuel, HVOF).

Розвиток ХГН спрямовано на підвищення тиску газу до 4 МПа та його температури за рахунок електричного нагрівання до 800° С.

При HVOF використовується тепло горіння палива. Тут навпаки, зменшують температуру газового струменя за рахунок додавання у суміш «кисень - паливо» баластного газу –азоту у вигляді компоненту повітря, або його окремого подавання . При цьому збільшуються масові витрати транспортуючого газу , що веде до збільшення швидкості часток.

Типові галузі використання ХГН- електропровідні покриття з легкоплавких металів для зменшення контактного опору, для сенсорних елементів, індукційних нагрівачів, теплопровідні покриття, нанесення припою.

ХГН дозволяє отримати покриття у холодному стані, коли велика міцність зчеплення співпадає з дуже низькою пористістю. Але його продуктивність невелика: 1-2 кг/год. Тому зараз ведуться дослідження спрямовані на використання його у нових цілях і на підвищення його продуктивності.

При HVOF температуру газового струменя зменшують порівняно з надзвуковим газополуменевим напilenням (HVOF) на 30-50%, до 2200 К , за рахунок використання в якості пального газу пропану, а окислювача – суміші кисню і азоту аж до повітря. При цьому збільшуються масові витрати газу, що веде до збільшення швидкості часток, що напilenються. Цей напрямок знаходиться в стадії швидкого розвитку.

Висновки

1. Способи газотермічного нанесення покриття є високотехнологічною галуззю світової економіки з річним обсягом біля 5 млрд. доларів, що динамічно розвивається і охоплює, як виготовлення нових виробів, так і реновацію виробів.

2. Газотермічні способи нанесення покриття впроваджені в багатьох провідних галузях промисловості і забезпечують функціональні покриття, що значно продовжують експлуатаційну довговічність промислових виробів.

3. Для успішного розвитку промисловості газотермічного нанесення покриття необхідно мати розвинену інфраструктуру виробництва витратних матеріалів і обладнання.

4. Враховуючи високий технологічний рівень обладнання і технології промисловості нанесення покриття потрібно організовувати підготовку кваліфікованих спеціалістів цієї галузі, звертаючи особливу увагу на підготовку інженерів і технологів.

Список літератури

1. Термическое напыление. Современное состояние / Учебное электронное текстовое издание. Подготовленное кафедрой «Технология сварочного производства» отв.ред. д.т.н. Ю.С.Коробов; ФГАОУ ВПО УрФУ. Екатеринбург. 2010-115с.
2. Thermal Spraying: What it Was and What it Has Become .by Frank I. Hermanek// International Thermal Spray Association. Third Edition Oct.2009.www.themalspray.org.
3. The Current Statys of Thermal Spraying in Asia / M. Fukumoto // ITST.-2008.- Vol.17(1) -5.
4. G Darut , S.Valette, G.Montavon [etc.] // Thermal Spray: Global Solution for future application : Int. Thermal Spray Conf.and Exposition ITSC 2010, Singapore. – May 3-5/-2010.
5. I. Kitamura, H.Mizuno, K.Sato [etc.] // Thermal Spray: Global Solution for future application : Int. Thermal Spray Conf.and Exposition ITSC 2010, Singapore. – May 3-5/-2010.