

МЕТОДИ НАНЕСЕННЯ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ З ПІДВИЩЕНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ У СУЧАНОМУ СУДНОБУДУВАННІ

Покуй Сергій Іванович, аспірант

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

Олійник Віталій Анатолійович, здобувач вищої освіти

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

Проаналізовано сучасний стан і перспективи розвитку методів нанесення газотермічних покриттів з підвищеними фізико-механічними властивостями, які враховують потреби суднобудівної галузі, як однієї з найважливіших у оборонному комплексі країни.

The current state and prospects of development of methods for applying gas-thermal coatings with enhanced physical-mechanical properties, taking into account the needs of the shipbuilding industry as one of the most crucial sectors in the country's defense complex, have been analyzed.

Вступ. Газотермічне напилення (ГТН) – це комплекс сучасних, відпрацьованих методів нанесення функціональних, відновлювальних і декоративних покриттів з широкого спектру матеріалів. Під газотермічним напиленням розуміють сукупність процесів, при яких напилюваний матеріал розплавляється, диспергується і переноситься на оброблювану поверхню за допомогою газового струменя. Нанесення газотермічних покриттів практикується у промисловості близько 100 років, проте за останні 25 років в даній галузі відбулися істотні зміни, які висунули ці технології на новий рівень можливостей. Подібні зміни були викликані удосконаленням технологічного обладнання і технологій виробництва вихідних матеріалів для напилення, впровадженням новітніх систем автоматизації та контролю якості. Область використання напилених покриттів надзвичайно широка – від космічної техніки до виробів побутового призначення [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ,8]. Їх застосовують в різних галузях промисловості для створення на поверхні деталей і устаткування захисних шарів різного функціонального призначення: зносостійких, корозійностійких, антифрикційних, антизадирних, теплостійких, електроізоляційних, електропровідних і т.п. Для отримання покриттів напиленням використовують матеріали у вигляді порошків, прутків, шнурів і дротів, які виготовлені з металів та сплавів, металокераміки і кераміки.

Газотермічне напилювання покриттів дозволяє підвищити ресурс роботи машин і механізмів у 2...8 разів. Узагальнення даних аналізу, виконаного у Німеччині, Великобританії, Китаї, США, Франції, Південній Кореї, Японії, показало, що річний обсяг світового ринку ГТН щороку зростає на 8...9% [9]. Крім того рушійною силою збільшення об'єму використання покриттів стануть саме переваги, що пов'язані з захистом від корозії, зносу та екологічністю [10].

Наноситися як покриття, можуть як метали і сплави, так і неметалеві сполуки, карбіди, оксиди, скло, кераміки і полімери, а також композиційні матеріали [4, 6, 11, 12, 13, 14]. В принципі, методами ГТН можна нанести будь-який матеріал, що не сублимує і не розкладається при нагріванні до температури плавлення. У ролі підкладки можуть виступати метали, сплави, кераміки, деревина або пластмаси [5, 15, 16, 17, 18, 19].

Вибір методу нанесення покриття залежить від висунутих вимог до властивостей покриття, які визначаються, з одного боку, складом матеріалу покриття, а з іншого – параметрами процесу його напилення і досягаються значеннями теплової і кінетичної енергії частинок. Іншими критеріями є витрати на нанесення покриттів, що включають вартість енерговитрат і витрати матеріалу на одиницю напилюваного покриття.

Мета - проаналізувати методи нанесення газотермічних покриттів з підвищеними фізико-механічними властивостями, що використовуються в сучасному судновому машинобудуванні.

Виклад основного матеріалу.

Газополуменеве напилення. Газополуменеве напилення здійснюється за допомогою спеціального пальника, в який подається повітря (або кисень) і горючий газ (ацетилен, пропан, водень або ін.). У зону горіння подається напилюваний матеріал, який розплавляється полум'ям пальника, розпилюється і переноситься газовим струменем на оброблювану поверхню. При газополуменевому напилюванні тепловий ККД газополуменевого пальника становить 0,8...0,9, однак ступінь корисного використання тепла струменя на нагрів частинок порошку і їх прискорення становить всього 0,02...0,1 [3, 6].

Газополуменевим напилення створюють покриття з відносно високою пористістю (5...12%) і невисокою адгезією до підкладки. Це обумовлено малою швидкістю витікання газового струменя з сопла пальника (близько 50 м/с). Газополуменеве напилення має обмеження за переліком застосовуваних матеріалів, пов'язаних із температурою продуктів згорання [16, 18, 20, 21].

При надзвуковому газополуменевому напилюванні досягається більш високий рівень властивостей покриттів (міцність зчеплення, пористість), однак проведення процесу потребує підвищених витрат палива (газу, рідкого палива), що призводить до подорожчання одиниці отриманого покриття [3, 22].

Детонаційне напилення. Установа для детонаційного напилення складається з замкнутої камери згорання, до якої прикріплюється ствол. У камеру подається суміш кисню і горючого газу, ствол спрямований на напилювану поверхню. Через завантажувальний отвір в камеру подається порошок. Суміш підпалюється електричною іскрою і вибухає. Розжарені частинки разом з продуктами згорання вилітають на оброблювану поверхню. Температура частинок в момент удару досягає 4000 °С. Частота пострілів – 3...4 за секунду [1, 4, 7, 23].

Через високу швидкість вильоту частинок, покриття, отримані детонаційними напиленням, мають високу міцність, твердість і зносостійкість. Детонаційним напиленням формують покриття з металокераміки: карбіду вольфраму, титану і кобальту, нітридів титану і бору, оксиду алюмінію [1, 2, 4, 21, 24, 25].

Недоліком методу є низька продуктивність, неоднорідність одержуваного покриття і складність технологічного обладнання.

Електродугове напилення. Електродуговий процес нанесення покриттів заснований на явищі плавлення матеріалу у вигляді дроту високоамперною дугою і диспергуванням утвореного розплаву струменем стисненого газу.

Відсутність необхідності нагрівання частинок, що швидко рухаються і з яких формується покриття, до стадії плавлення на всій дистанції напилення та за їх короткий час перебування в об'ємі струменя зумовлює високий ступінь енергетичної економічності процесу. Показник термічного ККД процесу досягає 0,7...0,9, що в поєднанні з простотою апаратури забезпечує його масове

застосування. Крім того електродуговий метод напилювання має найбільший коефіцієнт використання матеріалу (КВМ), який також може досягати 0,7...0,9. Порівняльна оцінка витрат на отримання покриттів різними методами ГТН показує, що електродугові покриття мають вартість в 3...10 разів нижче, ніж інші [9, 26, 27, 28].

До недоліків електродугового методу відносять: можливість отримання покриттів тільки із струмопровідних матеріалів; вигорання легуючих елементів з дротів у високотемпературній зоні дугового розряду; окиснення та насичення азотом часток розпиленого матеріалу при використанні в якості розпилюючого газу стисненого повітря, що приводить до зниження адгезійної та когезійної міцності покриття; відносно низька міцність зчеплення покриття з основою (до 40 МПа) і його пористість (5...15%).

Найбільш широке поширення електродугове напилення набуло для нанесення корозійностійких покриттів переважно з алюмінію і цинку на різні конструкції і споруди [5, 16, 18, 29]. Як зносостійкі застосовують електродугові покриття з різних сталей, бронз та ін. Перспективні псевдосплавні покриття зі сталі та міді, міді та олова і інших поєднань, а також покриття отримані з використанням порошкових дротів [30, 31, 32].

Плазмове напилення. Плазмове напилювання є логічним розвитком електродугового методу. Для отримання покриттів плазмовим (газотермічним) напилюванням застосовують такі матеріали: матеріали, з яких формується покриття (напилювані матеріали); матеріали для підготовки поверхні виробу; гази плазмотвірні та гази-носії. Для плазмового напилення застосовують головним чином порошок, дріт і гнучкий шнур. У практиці напилення застосовують як однорідні порошки різних матеріалів (металів, сплавів, оксидів, безкисневих тугоплавких з'єднань), так і гетерогенні складні структури — композиційні, а також механічні суміші вказаних матеріалів. На частку сплавів припадає 32 %, а на механічні суміші — 27 % із загального переліку матеріалів для напилення. Напилювані матеріали у вигляді порошоків використовують для плазмового, газополуменевого і детонаційного процесів. Номенклатура порошоків дуже широка. Вона охоплює різноманітні галузі застосування

покриттів. Для плазмового напилювання переважно застосовують дріт діаметром до 1,2 мм з аустенітної низьковуглецевої корозійностійкої сталі типу 12X18H10T. Цей, а також дріт з високохромистих сталей доцільно застосовувати для нанесення зносостійких покриттів на зношені і нові деталі. Покриття із цих дротів мають низьку усадку і малу схильність до утворення тріщин. Ці позитивні властивості зберігаються і в покриттів збільшеної товщини. Дріт із Ni-Al, екзотермічних сплавів, а також із NiCr використовують для підшарів, бо вони мають високу міцність зчеплення з основою. Дріт із BrA10 застосовують для нанесення антифрикційних покриттів. Ведуться роботи у напрямі використання порошкових дротів і гнучких шнурів.

Матеріал нагрівається, плавиться, розпилюється і сформований потік частинок направляється у бік напилюваної поверхні. При співударі та деформації часток з поверхнею підкладки відбувається їх взаємодія, що і приводить до формування шару покриття.

Плазмовий струмінь утворюється шляхом нагрівання за допомогою електричної дуги плазмотвірного газу, який обдуваючи дугу і проходячи крізь неї, підвищує свою температуру, змінює склад, дисоціює та іонізується. Традиційно найбільш розповсюдженими плазмотвірними газами при напилюванні покриттів є аргон, азот, водень, гелій та їх суміші, хоча для стабілізації дуги теоретично можуть використовуватися і використовуються й інші гази і газові суміші, зокрема аміак, повітря, суміш аміаку з азотом, водяна пара тощо.

При плазмовому напилюванні можливо формувати покриття практично із всіх відомих матеріалів, які не розкладаються при нагріванні до точки плавлення. Тепловий ККД плазмотрона зазвичай знаходиться в межах 0,55...0,70 в залежності від його конструкції і параметрів роботи. Частка витрат тепла плазмового струменя на нагрів і прискорення частинок порошку становить 0,02...0,27 в залежності від організації подачі порошку у високотемпературний струмінь [4, 23].

До переваг плазмового нанесення покриттів відносяться: можливість найбільш широкого варіювання напилюваного матеріалу, що дозволяє використовувати метали, кермети та кераміки; мінімально можливий нагрів підкладки і мала зона

термічного впливу; можливість нанесення покриттів у всіх положеннях. В наш час плазмовий метод відноситься до числа найбільш розповсюджених серед технологій газотермічного напилювання, оскільки він являється найбільш універсальним по виду використовуваних матеріалів і в багатьох випадках являється технічно або економічно найбільш сприятливим. Інколи використання даного методу стримується його недоліками. До недоліків плазмового напилювання відносяться: недостатня при високих експлуатаційних навантаженнях міцність зчеплення покриттів з основою, шаруватість структури покриття, підвищена пористість, накопичення залишкових напружень в покритті і тенденції до його відшаровування при товщині більшій за 1 мм [33].

Таким чином можливо зробити висновок, що газотермічні покриття широко застосовують для зміцнення, захисту, відновлення зношених поверхонь та усунення деяких дефектів, а також для виготовлення деталей з високими фізико-механічними і експлуатаційними властивостями у різноманітних галузях промисловості: чорній і кольоровій металургії, машинобудуванні і суднобудуванні, авіабудуванні і ракетно-космічній техніці, енергетиці, електротехніці, електроніці та радіотехніці, приладобудуванні, будівельній, вугіля- і нафтодобувній промисловості, медичній техніці тощо. Найпоширенішим методом нанесення газотермічних покриттів є плазмовий.

Висновки. В результаті аналізу сучасного стану і перспективи розвитку методів нанесення газотермічних покриттів з підвищеними фізико-механічними властивостями встановлено, що найпоширенішим та універсальним методом їх напилення є плазмовий.

Список використаних джерел

1. Анциферов, В.Н. Порошковая металлургия и напыленные покрытия [Текст] / В. Н. Анциферов, Г. В. Бобров, Л. К. Дружинин и др. // – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
2. Анциферов, В. Н. Газотермические покрытия [Текст] / В. Н. Анциферов, А. М. Шмаков, С. С. Агеев и др. // – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. – 320 с.
3. Белоцерковский, М. А. Технология активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий [Текст] / М. А. Белоцерковский // – Минск: Технопринт, 2004. – 200 с.
4. Борисов, Ю. С. Газотермические покрытия из порошковых материалов [Текст] / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко и др. // – К.: «Наукова думка», 1987. – 544 с.
5. Катц, Н. В. Металлизация распылением [Текст] / Н. В. Катц, Е. В. Антошин, Д. Г. Вадивасов и др. // – М.: «Машиностроение», 1966. – 198 с.
6. Кулик, А. Я. Газотермическое напыление композиционных порошков [Текст] / А. Я. Кулик, Ю. С. Борисов, А. С. Мнухин, М. Д. Микитин // – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 199 с.
7. Куприянов, И. Л. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления [Текст] / И. Л. Куприянов, М. А. Геллер // – М.: Наука и техника, 1990. – 176 с.

8. Куприянов, И. Л. Электродуговая металлизация – перспективный метод нанесения защитных покрытий [Текст] / И. Л. Куприянов, В. С. Ивашко, Г. И. Лытко и др. // – Мн.: Беларуская навука, 1988. – 321с.
9. Коробов, Ю. С. Рациональный подход к восстановлению деталей оборудования газотермическим напылением [Текст] / Ю. С. Коробов, В. И. Шумяков, А. С. Прядко // Сварщик. – 2011. – № 6 (82). – С. 20 – 24.
10. Thermal spray coatings market analysis report by product, by technology, by application, by region, and segment forecasts, 2019 – 2025: (Market research report) [Электронный ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступа: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/thermal-spray-coatings-market>.
11. Дубовой, А. Н. Исследование возможности напыления композиционного покрытия электродуговым методом [Текст] / А. Н. Дубовой, А. А. Карпеченко // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2007. – № 5 (416). – С. 66 – 70.
12. Казимиренко, Ю. А. Исследование ионизирующего излучения композиционными материалами [Текст] / Ю. А. Казимиренко, А. А. Карпеченко, С. И. Шкурят, А. А. Жданов // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 2 (425). – С. 105 – 109.
13. Казимиренко, Ю. А. Формирование электродуговых покрытий, наполненных полыми стеклянными микросферами [Текст] / Ю. А. Казимиренко, А. А. Карпеченко // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 1 (424). – С. 81 – 86.
14. Карпеченко, А. А. Формирование металлокерамических и металlostеклянных покрытий электродуговым напылением [Текст] / А. А. Карпеченко // Автоматическая сварка. – 2011. – № 4 – С. 31 – 34.
15. Сварочное оборудование, расходные материалы, вспомогательное оборудование, сырье для изготовления электродов, газосварочное оборудование, оборудование для специальных способов сварки, резки, наплавки и напыления: справочник [Текст] / К: Салон «Сварка», 1994. – 100 с.
16. Сонин, В. И. Газотермическое напыление материалов в машиностроении [Текст] / В. И. Сонин // – М.: «Машиностроение», 1973. – 152 с.
17. Соснин, Н. А. Плазменные покрытия (технология и оборудование) [Текст] / Н. А. Соснин, П. А. Тополянский, Б. Л. Вичик // – СПб.: Об-во «Знание» России, СПб О ДНТП, 1992. – 28 с.
18. Хасуй, А. Техника напыления. Пер. с японского [Текст] / А. Хасуй // – М.: «Машиностроение», 1975. – 286 с.
19. Хокинг, М. Металлические и керамические покрытия: получение, свойства и применения: Пер. с англ. [Текст] / М. Хокинг, В. Васантагри, П. Сидки // – М.: «Мир», 2000. – 518 с.
20. Белоцерковский, М. А. Технология активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий [Текст] / М. А. Белоцерковский // – Минск: Технопринт, 2004. – 200 с.
21. Пантелеенко, Ф. И. Восстановление деталей машин. Справочник [Текст] / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов, В. М. Константинов // – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
22. Белоцерковский, М. А. Восстановление деталей методом активированного газопламенного напыления [Текст] / М. А. Белоцерковский // Тяжелое машиностроение. – 2004. – № 2. – С. 38 – 41.
23. Дубовий, О. М. Технологія наплення покриттів [Текст] / О. М. Дубовий, А. М. Степанчук // – Миколаїв: НУК, 2007. – 236 с.
24. Оликер, В. Е. Триботехнические характеристики детонационных покрытий из механически синтезированных порошков Ti-Al-B [Текст] / В. Е. Оликер, В. Л. Сироватка, Т. Я. Гридасова, Е. Ф. Гречишкин, А. Д. Костенко // Порошковая металлургия. – 2009. – № 9/10. С. 41 – 48.
25. Щепетов, В. В. Повышение износостойкости детонационных покрытий путем оптимизации режимов напыления [Текст] / В. В. Щепетов, А. М. Волхов // Трение и износ. – 1990. – Том 11. – № 5. – С. 844 – 848.
26. Tani, K. Status of thermal spray in Japan [Text] / K. Tani, H. Nakahira // Journal of Thermal Spray Technology, 1992, Vol. 1 (4). – P. 333 – 339.
27. Коробов, Ю. С. Применение активированной дуговой металлизации при ремонте машиностроительного и металлургического оборудования [Текст] / Ю. С. Коробов, А. С. Прядко // Сварщик. – 2005. – № 2. – С. 30 – 31.
28. Коробов, Ю. С. Эффективность применения активированной дуговой металлизации для нанесения защитных покрытий [Текст] / Ю. С. Коробов // Сварочное производство. – 2005. – № 2. – С. 47 – 49.
29. Демьянов, И. А. Применение электродуговой металлизации для антикоррозионной защиты телевизионной башни в Киеве [Текст] / И. А. Демьянов, А. П. Мурашов, Ю. С. Борисов, А. П. Грищенко и др. // Сварщик. – 2005. – № 3. – С. 19 – 21.
30. Meng, Fan-gang. Микроструктура и высокотемпературная характеристика эрозии-износа покрытий, полученных дугowym распылением армированного провода [Текст] / Meng Fan-gang, Wang Yong, Dong Li-xian, Han Tao, Zeng Li-bo // Zhongguo shiyou daxue xuebao. Ziran kexue ban = J. China Univ. Petrov. Ed. Natur. Sci. – 2009. – 33, N 2. – С. 122 – 126.
31. Исакаев, Э. Х. Износостойкие покрытия деталей погружных центробежных насосов [Текст] / Э. Х. Исакаев, В. М. Гусев, В. Б. Мордынский // Сварочное производство. – 2006. – № 6. – С. 40 – 45.
32. Хроленок, В. В. Восстановление деталей машин нанесением композиционных покрытий [Текст] / В. В. Хроленок, А. М. Яркович, А. С. Никитина // Сварщик. – 2002. – № 5 (27). – С. 8 – 11.
33. Соловых, Е. К. Оптимизация по критериям прочности плазменного напыления эрозионно стойких покрытий [Текст] / Е. К. Соловых, Б. А. Ляшенко, Ю. В. Дмитриев, Ю. С. Борисов // Проблемы прочности. – 2008. – № 6. – С. 136 – 151.