

Винахід може бути віднесено до ультразвукових фізико-хімічних процесів у різних галузях техніки, в яких застосовуються нанотехнології, наприклад, у прецизійному машино- і приладобудуванні.

Відомий спосіб високочастотної металізації, в якому матеріал для покриття, що розпилюється, - метал дроту, поміщеного в сопло концентратора, розплавляють індукційним нагрівом струмами високої частоти і напилують на оброблювану поверхню, глибину розплаву металу дроту забезпечують залежно від його питомого опору, магнітної проникності, а глибину його прогрівання регулюють залежно від частоти струму і діаметра дроту [1].

Недоліки способу:

- нанесення на оброблювану поверхню достатньо товстого шару напилуюваного металу (10мкм і більше), що не завжди застосовно, оскільки відносно товсті покриття можуть ускладнити складальні роботи в прецизійному машино- і приладобудуванні;

- тривалий час нанесення покриттів, приблизно 4-7 годин [2].

Найближчим по технічній суті і результату, що досягається, є спосіб нанесення покриттів, в якому плазмовий струмінь газу високої температури і високої швидкості, що містить матеріал для покриття у вигляді дрібних частинок, направляють на оброблювану поверхню, тонкий приповерхневий шар якої при цьому розігрівається і деформується за рахунок часткового розплавлення від високої температури струменя, а також від ударів частинок, що рухаються, внаслідок чого останні налипають на оброблювану поверхню [3].

Недоліки способу:

- товщина покриття визначається розмірами частинок, що напиляються; для запобігання доступу окислювача (кисню, води) до оброблюваної поверхні, достатньо нанести на неї шар, наприклад, оксиду алюмінію, порядку 0,01-0,03мкм [4]; проте товщина моношару частинок оксиду алюмінію, що звичайно використовується при виготовленні антикорозійних покриттів, біля 1мкм, а оскільки для забезпечення суцільності покриття наноситься декілька шарів, то навіть з урахуванням розплавлення частинок товщина покриття, що наноситься, перевищує 7-10мкм; такі відносно товсті покриття можуть ускладнювати складальні роботи;

- тривалий час нанесення жароміцних покриттів при температурах 700-1100°C - протягом приблизно 2-16 годин [2];

- нестійкість структури оброблюваної поверхні внаслідок її нагріву може привести до зміни кристалічних ґрат в приповерхневих шарах,

- за звичайних температурних умов матеріал оброблюваної поверхні має деяку певну структуру, яка із зростанням температури при відповідному її значенні стрибкоподібно змінюється [5].

Задачею передбачуваного винаходу є створення ультразвукового способу нанесення покриттів, в якому як матеріал покриття використовують наночастинки, що містяться в рідкому середовищі, рухи яких забезпечуються поглиненою ними енергією, яка виділяється при захопленні кавітаційних бульбашок і областей у рідкому середовищі в умовах розвиненої кавітації, викликаній потужними ультразвуковими коливаннями, що дозволяє зменшити товщину покриття, яке наноситься, до 0,5-1мкм, скоротити час його нанесення до 10-15 хвилин, а також забезпечити нанесення покриття без розігрівання оброблюваної поверхні. Поставлена задача розв'язується тим, що в ультразвуковому способі нанесення покриттів, при якому на оброблювану поверхню наносять матеріал для покриття у вигляді частинок, які при русі ударами деформують поверхню і налипають на неї, згідно винаходу оброблювану поверхню поміщають в рідке середовище, наприклад, воду, яка містить частинки матеріалу для покриття нанорозміру, де генерують потужні ультразвукові коливання, що викликають високорозвинену кавітацію, при якій періодично зароджуються і захоплюються кавітаційні бульбашки, що супроводжується надвисокими температурами ( $\geq 10^4$  K) в виділенні в оточуючу їх рідину локальної енергії величезної густини, яка створює надвисокий тиск, під впливом якого поряд з налипанням наночастинок відбувається і їх проникнення в оброблювану поверхню без її розігрівання.

Технічний ефект передбачуваного винаходу пояснюється таким чином.

Спосіб ультразвукового нанесення покриттів, який пропонується, на відміну від найближчого аналогу забезпечує нанесення надтонких покриттів, оскільки матеріалом для них є частинки нанорозміру (порядку 50-80нм), наприклад, оксиду алюмінію, які містяться в рідкому середовищі. Товщина декількох шарів, що наноситься звичайно для забезпечення суцільності покриття, не перевищує 1мкм. При цьому товщина покриття варіюється концентрацією наночастинок оксиду в рідкому середовищі, тривалістю нанесення покриттів і частотою ультразвукових коливань.

Тривалість нанесення покриттів в пропонованому способі, на відміну від найближчого аналогу, мала і обчислюється хвилинами, а не годинами. Сумарна тривалість нанесення покриттів визначається тривалістю переміщення частинки, яка напиляється, з об'єму рідини до оброблюваної поверхні і тривалістю проникнення частинки в її приповерхневий шар. Тривалість (t) переміщення частинки до поверхні при концентрації наночастинок в рідині  $10^{11}-10^{12}\text{см}^{-3}$ , яка використовується в запропонованому способі, можна визначити за допомогою формули  $t=l/v$ , де l - відстань частинки до оброблюваної поверхні (звичайно 300-500мкм), v - швидкість руху частинки, яка приблизно дорівнює одній третині швидкості звуку у воді, тобто приблизно 500м/с. Таким чином, тривалість переміщення частинки складає мікросекунди. Тривалість проникнення частинки при непружному ударі її об поверхню визначається часом розповсюдження звукового сигналу в матеріалі поверхні (швидкість звуку в металі перевищує 5000м/с). Можна показати, що і ця складова сумарної тривалості визначається мікросекундами.

При концентрації кавітаційних бульбашок  $10^6-10^7\text{см}^{-3}$  [6] для нанесення моношару наночастинок на занурену в рідину оброблювану поверхню потрібно 15-20 с у зв'язку з тим, що по нормалі до поверхні розповсюджується тільки 1/6 частина потоку наночастинок з прилягаючого шару рідини; для створення моношару на одному квадратному сантиметрі потрібно приблизно  $10^{10}$  частинок; коефіцієнт корисної дії проникнення наночастинок в поверхню не перевершує 10%, оскільки мають місце і відсмоктування частинок, і кінематично слабкий удар, і холосте захоплення бульбашок, і тривалість їх захоплення становить  $5\cdot 10^{-6}\text{с}$ , тобто в одну секунду роботу по проникненню наночастинок виконує близько  $10^{10}-10^{11}$

бульбашок.

Запропонований спосіб передбачає "холодне" нанесення частинок, тобто нанесення без нагріву поверхні виробу та без відповідного руйнування кристалічної структури приповерхневих шарів поверхні, що обробляється. Удари наночастинок об поверхню також її не розігріють, оскільки енергія "руйнування" перешийди на глибину 0,05-0,1мкм, порівняну з діаметром частинок, що наносяться, звичайно в 5-10 разів менша, ніж теплота плавлення і, тем більше, ніж теплота випарювання цього шару оброблюваної поверхні [7].

Запропоновано застосувати як покриття нанодисперсні порошки оксидів металів, що одержані методом газодисперсного синтезу, який заснований на спалюванні металевих частинок в ламінарному двофазному факелі і забезпечує продукти згорання у вигляді порошків наноксидів металів з діаметрами частинок 50-80нм. Для "холодного" нанесення покриття частинкам, які напильються, необхідно надати велику кінетичну енергію, щоб їх тиск на поверхню металу був достатній не тільки для налипання, але й для проникнення в поверхню, яка обробляється.

Відомо, що потужні ультразвукові поля, які виникають при нелінійних режимах випромінювання, застосовуються для інтенсифікації багатьох фізико-хімічних технологічних процесів: диспергування, кристалізації, очищення тощо. Очевидно, це відбувається завдяки енергії, яка виділяється кавітаційними бульбашками при їх захопуванні у стадії стиснення. Це дає підставу вважати, що нанесення покриттів може бути здійснене без нагрівання поверхні завдяки використанню лише енергії захопування локалізованих кавітаційних областей і кавітаційних бульбашок, розташованих біля оброблюваної поверхні, що знаходиться у рідкому середовищі в умовах потужних акустичних полів. Передача енергії бульбашки, що захопується, наночастинці може значною мірою вплинути на її рух тільки завдяки її малим масі і розміру, істотно меншому ніж розмір кавітаційної бульбашки.

Газорідна маса, що викидається при захопуванні бульбашки, має швидкість порядку сотень метрів у секунду і швидкісний натиск порядку  $10^3$ Па [8], температура її досягає  $10^4$ К [9], тобто експериментально підтверджено факт виникнення високих температур у момент захопування бульбашок і виділення величезних кінетичних енергій в мікрооб'ємах рідини. Вплив ультразвукових коливань на наночастинку відбувається протягом приблизно однієї десятої періоду коливань  $T$ , а сила впливу оцінюється як  $F \approx 10m\omega v$ , де  $m$  - маса частинки,  $v$  - швидкість її руху,  $f$  - частота діючих коливань. Розрахунки показали, що, наприклад, при температурі  $1000^\circ\text{C}$  [10] ударна дія частинок діаметрами 100 і 1000нм на поверхню, яка обробляється, складає приблизно  $19 \cdot 10^5$  та  $180 \cdot 10^5$ Па відповідно. На основі уявлень класичної фізики залежність густини пари від температури визначається виразом  $\rho = 0,5467e^{-0,0013t}$ , де  $t$  - температура в градусах Цельсія. Виходячи з цього були одержані залежності тиску  $P$  частинок в зоні кавітації на оброблювану поверхню від температури (Фіг.1). Розрахунки показали, що для температури  $7000^\circ\text{C}$  тиск частинок діаметрами 50, 80 і 100нм на оброблювану поверхню дорівнює відповідно  $460 \cdot 10^5$ ,  $750 \cdot 10^5$  і  $940 \cdot 10^5$ Па.

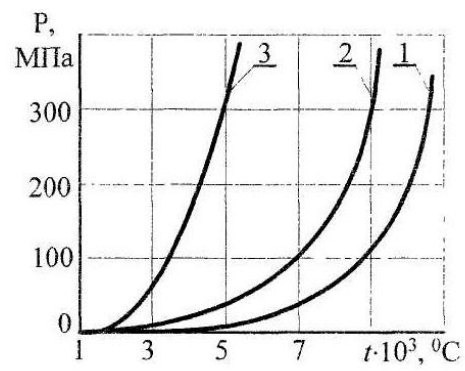
Запропонований спосіб може бути реалізовано, наприклад, на спеціально розробленій установці (Фіг.2). Вона складається з ультразвукового генератора 1, магнітострикційного випромінювача 2, хвилеводу-концентратора 3 з системою 4 його кріплення у вузлових точках і монолітною пластиною 5 на його кінці, а також ємністю 6, заповненою водою 7, яка містить матеріал напильнення у вигляді наночастинок.

Ультразвуковий генератор 1 потужністю 1,5кВт з магнітострикційним випромінювачем 2 через хвилевід-концентратор 3 з системою 4 його кріплення і пластиною 5, занурений в ємності 6, яка заповнена рідким середовищем, наприклад, водою з введенням матеріалом напильнення у вигляді наночастинок, генерував потужні ультразвукові коливання в рідкому середовищі 7. Оброблялися поверхні хвилеводу-концентратора 3 і металеві пластинки, встановлені на дні ємності 6.

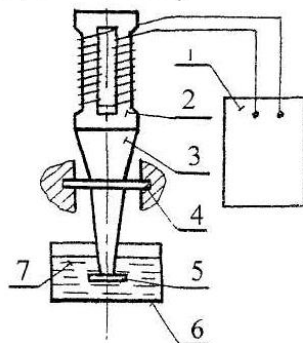
Потужні ультразвукові коливання генерувалися в нелінійному режимі з частотою понад 20кГц. Це викликало розвинену кавітацію, за якої в рідкому середовищі зароджувалися і захопувалися кавітаційні бульбашки, внаслідок чого навколо них випромінювалася енергія величезної локальної густини. Енергія кавітації, в свою чергу, створювала надзвичайно високий тиск на наночастинки, завдяки чому частинки налипали і проникали в приповерхневий шар оброблюваної поверхні. Наприклад, наносився суцільний шар оксиду алюмінію, що за товщиною не перевищував один мікромметр. При цьому нанесення покриття відбувалося на "холодну" оброблювану поверхню, а тривалість процесу складала 10-15хв.

Джерела інформації

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. Под ред. Митина Б.С. - М.: Металлургия, 1987. - 792с.
2. Коломыцев П.Т. Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов. - М.: Металлургия, 1991. - 237с.
3. Кудинов В.В., Пекшев П.Ю., Белашенко В.Е. и др. Нанесение покрытий плазмой. - М.: Наука, 1990.
4. Окисление металлов. Т.1. Металлургия. Теоретические основы. Под ред. Бена-ра Ж. - М.: Металлургия, 1968. - С.82.
5. Жданов Г.С. Физика твердого тела. - М.: Изд. МГУ, 1962. - 501с.
6. Сиротюк М.Г. Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации // мощные ультразвуковые поля / АН СССР. - М.: Наука, 1968 - С.167-220.
7. Михатулин Х.С., Полежаев Ю.В. Особенности профилирования сверхзвуковых сопел для разгона частиц в гетерогенных систем. 2<sup>nd</sup> International Seminar, June 30 - July 5, 1997, S-Peterburg, Russia. V.I. P.139.
8. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. - М.: Наука, 1984. - 400с.
9. Тесленко В.С., Санкин Г.Н., Дрожинин А.П. Свечение в глицерине в поле сферически фокусируемых и плоских ударно-акустических волн // Физика горения и взрыва. - 1999. Т.35, вып.6. - С.120-123.
10. Вукалович М.И. Теплофизические свойства воды и водяного пара. - М.: Машиностроение. 1967. - 159с.



Фіг.1. Залежність тиску наночастинок різних діаметрів на оброблювану поверхню від температури (1 – 50 нм, 2 – 100 нм, 3 – 1000 нм)



Фіг. 2. Схема установки для нанесення покриття на оброблювану поверхню