

Дослідження критичної швидкості частинки для оцінки її зчеплення з полімерною підкладкою при холодному газодинамічному напиленні

Скулкін Н.О., студ., Чемерис А.О., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Розглянуто параметри, які впливають на критичну швидкість частинки при холодному газодинамічному напиленні. Також проведено літературний огляд з питання оцінки зчеплення металевої/керамічної частинки з полімерною підкладкою.

Вступ. Холодне напилення – це процес нанесення покриття, при якому зчеплення досягається, коли швидкість удару дрібних частинок перевищує критичне значення, що називається критичною швидкістю, але вона менше верхньої межі, при якій відбувається ерозія [1]. Успіх процесу холодного напилення в основному залежить від правильного вибору швидкості процесу, що повинна бути встановлена між критичною швидкістю і швидкістю ерозії, і на яку впливають багато параметрів. Це виправдовує інтерес багатьох дослідників визначення моделей для оцінки критичної швидкості.

Найбільш важливим критерієм при холодному напиленні є те, що осадження матеріалу відбувається тільки в тому випадку, якщо швидкість удару частинок об підкладку перевищує певне значення, що залежить від матеріалу - так звану критичну швидкість.

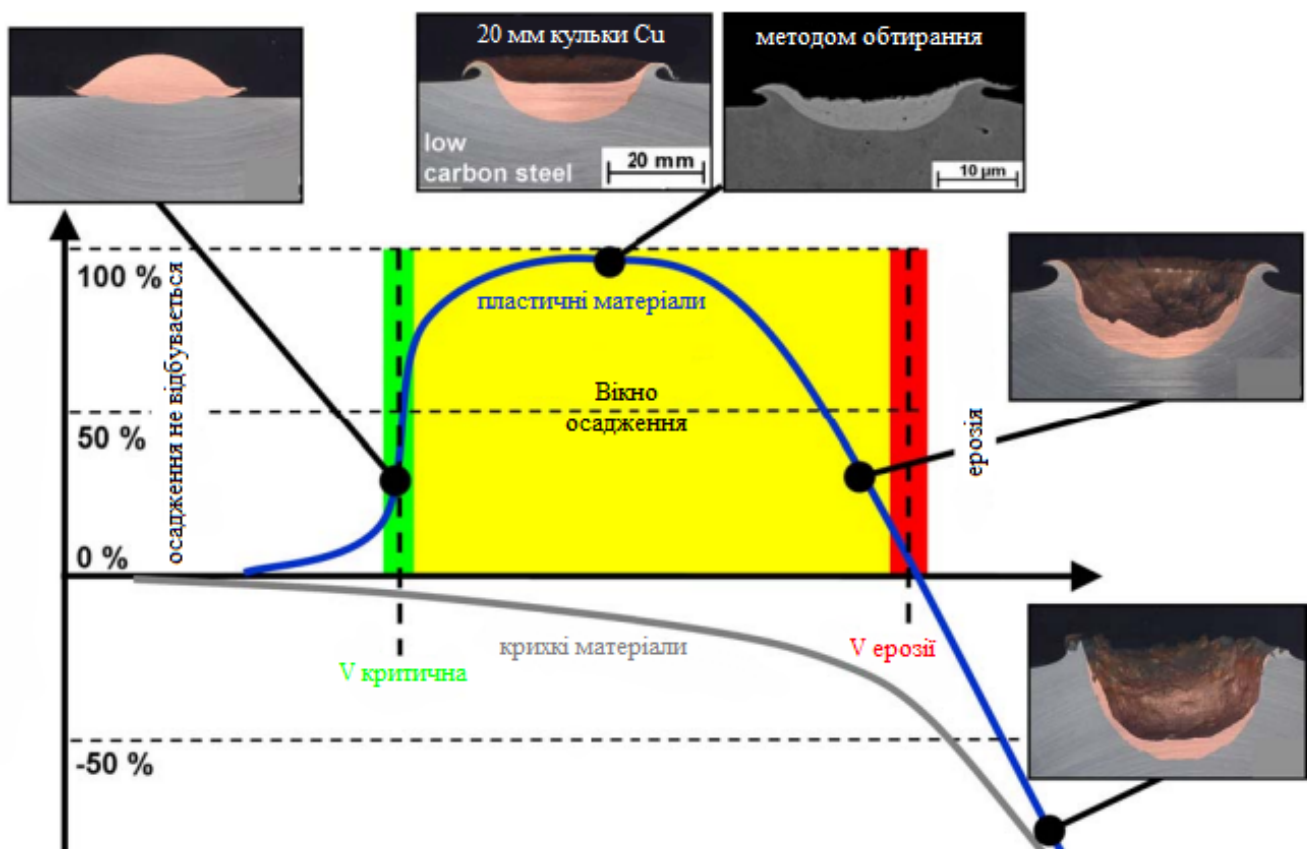


Рисунок 1 – Схематична залежність між швидкістю частинок, ефективністю осадження та ефектом удару за постійної температури удару

Як видно з рис. 1, осадження відбувається тільки для в'язких матеріалів у діапазоні швидкостей для даного розміру порошку і температури, так зване «вікно осадження» [2].

Кореляція між властивостями матеріалу і критичною швидкістю є швидше результатом взаємодії між кінетичною енергією, міцністю матеріалу і виділенням тепла в результаті пластичної деформації. На основі докладного аналізу цієї взаємодії [3], критична швидкість може бути виражена як функція властивостей матеріалу та температури матеріалу безпосередньо перед ударом:

$$v_{crit} = \sqrt{\frac{A\sigma}{\rho} + Bc_p(T_m - T)} \quad (1)$$

де σ – напруження течії в залежності від температури, ρ – густина, c_p – теплоємність, T_m – температура плавлення, T – середнє значення температури частинок при ударі, а A і B – константи розрахунку.

Це рівняння передбачає однаковий матеріал та однакову температуру для матеріалу розпилення та підкладки.

Однак нанесення металу/кераміки на полімерне покриття залишається відносно недослідженим. Для вирішення цієї проблеми в дослідженні [4] використовують модель полімеру, реалізовану в програмі FEA, щоб відобразити реакцію металевих і керамічних частинок, що ударяються об поліамідну підкладку, а також для визначення умов, за яких частинки буде закріплюватись і забезпечуватимуть основу для подальших адгезійних покриттів. Використовувана модель заснована на експериментальних результатах удару з високою швидкістю деформації. В дослідженні розглядався ряд параметрів, таких як швидкість частинок, їх розмір та властивості матеріалу, для того, щоб зрозуміти вплив механічного прикріплення частинки до полімерної підкладки.

На основі докладного аналізу [4] впливає, що зі збільшенням розміру частинок та їх швидкості, частинки схильні прилипати до полімерної підкладки. За результатами швидкості відскоку були побудовані графіки втрати кінетичної енергії (2).

$$\eta = \frac{v_{in}^2 - v_r^2}{v_r^2} \quad (2)$$

де v_{in} – швидкість зіткнення частинок, а v_r – швидкість відскоку частки.

Коли η близько 1 – частка прилипає, а ближче до 0 – вона відлітає від підкладки. Для побудови графіків автор обирає значення η , аргументуючи тим, що η дає більш точні, нормалізовані, чіткі результати, що вказують на те, що частки більш схильні до прилипання до полімерної підкладки зі збільшенням розміру частинок та швидкості удару (рис. 2).

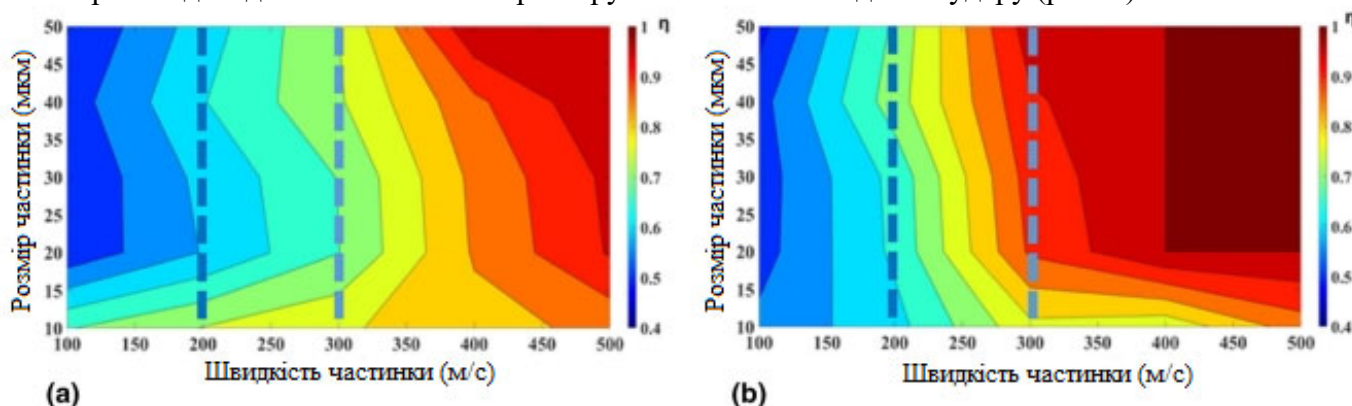


Рисунок 2 – Вплив розміру частинок на швидкість частинок: *a* – Al₂O₃, *b* – Cu [4]

Однак, при відображенні значення η , можна передбачити кількісну область - картографічна діаграма надає інформацію для звуження перспектив параметрів покриття.

Результати показують, що збільшення кінетичної енергії частинок призводить до збільшення в'язко-пластичної деформації полімеру. У результаті частинки менш схильні до відскоку через зменшення енергії деформації та збільшення енергії пластичної деформації.

Частка втраченої кінетичної енергії, яка перевищує значення 0.9, показує на адгезію частинок і дозволяє прогнозувати технологічні вікна для різних матеріалів. Це дослідження демонструє модель, яка дозволяє мінімізувати процес проб та помилок для визначення успішного холодного напилення на полімерні підкладки.

Висновки. Проведений аналіз сучасного стану питання у галузі формування металевих покриттів на неметалевих поверхнях холодним газодинамічним напиленням показав, що дана технологія є перспективною та багатообіцяючою для отримання покриттів на пластиках. Холодне газодинамічне напилення із певними модифікаціями все частіше використовується для металізації металевих або керамічних матеріалів, але все ж представляє певні складнощі.

За результатами літературного аналізу пропонується алгоритм, що дозволяє мінімізувати втрати часу для пошуку оптимального пошуку режиму нанесення покриття на полімерну підкладку з запобіганням ерозії, що вважається основною перешкодою для нарощування покриттів.

Перелік посилань

1. А. Алхимов, С. Клинков, В. Косарев и В. Фомин, Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика, ФИЗМАТЛИТ, 2010.
2. T. Schmidt, H. Assadi, F. Gärtner and H. Richter, "From Particle Acceleration to Impact and Bonding in Cold Spraying," Journal of Thermal Spray Technology, pp. 794-808, 2009.
3. T. Schmidt, F. Gaertner, H. Assadi and H. Kreye, "Development of a Generalized Parameter Window for Cold Spray Deposition," Acta Mater, pp. 729-742, 2006.
4. J.-T. Tsai, S. Akin, F. Zhou, D. F. Bahr and M. Byung-Guk Jun, "Establishing a Cold Spray Particle Deposition Window on Polymer Substrate," Journal of Thermal Spray Technology, p. 1069–1080, 2021.