

УДК.621.791.92

**М.В. Красота, канд. техн. наук, А.М. Артюхов, канд. техн. наук, І.В. Шепеленко,
канд. техн. наук, В.О. Дубовик, канд. техн. наук**

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження впливу параметрів циліндричних електродів на формування покриттів при контактному наварюванні порошків

Досліджено вплив геометричних співвідношень циліндричного електроду контактної зварювальної машини та діаметру деталі типу „вал” на процес ущільнення порошкового матеріалу при контактному наварюванні порошків, встановлено оптимальні співвідношення діаметрів електроду та поверхні для отримання мінімальної пористості порошкової формовки **контактне наварювання, порошок, електрод**

Умовні позначення

R_e, R_d – радіуси електроду та деталі;
 D_e, D_d – діаметри електроду та деталі;
 α – кут захвату;
 β – кут нахилу ліній ковзання;
 h – товщина покриття

При відновленні та зміцненні деталей типу „вал” перспективно використання методу контактного наварювання порошків [1, 2, 3] з використанням циліндричних електродів. Електроконтактне наварювання передбачає електронагрів металевого порошку, що засипається між деталлю і електродом, за рахунок теплової енергії, яка виділяється електричним струмом на активному опорі.

Енергія, необхідна для спікання порошку і наварювання його до поверхні деталі при контактному наварюванні, виділяється електричним струмом у вигляді тепла безпосередньо в порошковому шарі в основному на контактах між частинками порошку, поверхнею деталі і електрода. Процес наварювання забезпечується сумісною дією на порошковий шар високої температури (0,9...0,95 температури плавлення порошку) і тиску (до 100 МПа), при утворенні металевого покриття приймають участь як бездифузійні явища схоплення, так і дифузійні процеси спікання і зварювання в твердій фазі.

Процес спікання порошку в компактне тіло і його наварювання на заготовку з використання методу електроконтактного наварювання характеризується трьома етапами [1, 4].

На першому етапі холодного пресування порошок підготовлюється до наступного пропускання через нього електричного струму і відбувається стабілізація його електроопору. Ця стадія низьких тисків (до 100 МПа) практично закінчується через 0,2...0,8 с від початку пресування порошку. Подальше збільшення часу пресування не впливає на щільність і електроопір шихти. До моменту закінчення холодного пресування порошку питомий електроопір його повинен бути не вище $(10...15) \cdot 10^{-4}$ Ом·см, в іншому випадку ускладнюється електричне пробивання і знижується стабільність процесу.

На першому етапі процесу утворюється пористе порошокове тіло - пресовка. Воно володіє порівняно високим електроопором, значення якого визначає кінетику процесу і якість отриманого шару. Тому аналіз процесів, що відбуваються на даному етапі, необхідно виконувати з урахуванням основ теорії холодного контакту та з позицій механіки тіла, що деформується, металофізики, теорії тертя, пластичного і в'язкого деформування і інших суміжних наук.

З теорії холодного пресування металевих порошоків відомо [1, 5-11], що електроопір і інші фізико-механічні властивості пресованого матеріалу в значній мірі визначаються контактними явищами між частинками порошкового тіла. При вільному насипанні порошковий матеріал має малу щільність, так як утворює так звані містки або арки при хаотичному розташуванні контактних ділянок частинок. У такого тіла великий електроопір через малу густину і абсолютну площину струмопровідних контактів.

Вже при вільному насипанні порошку, коли відсутній зовнішній тиск на нього, дійсні тиски в окремих контактах частинок можуть досягати значень граничної напруги стану матеріалу і викликати місцеві руйнування частинок. При цьому матеріал характеризується значною пористістю, малою контактною поверхнею і високим питомим електроопором.

Зминання, зсув і руйнування частинок відбувається за рахунок комбінацій нормального і тангенціального навантажень, що виникають при дії електроду на порошковий матеріал. При збільшенні тиску пресування росте кількість плям контактування, оголюються ювенільні поверхні і можлива молекулярна їх взаємодія.

При ковзанні частинок відбуваються деякі руйнування мікронерівностей і їх мікрорельєф безперервно змінюється.

В результаті холодного пресування при відносно малих тисках (13...100 МПа), характерних для контактного наварювання, зростає щільність пресовки і знижується її питомий електричний опір.

В холодному контакті при малих тисках електричний опір окремого контакту складається з опору стягнення ліній струму, який проходить через контактну площину, і послідовного з ним опору поверхневих плівок [1].

Другий етап наварювання характеризується протіканням імпульсів електричного струму через порошок, який знаходиться під тиском. При цьому струмопровідні контакти частинок і їх приконтактні об'єми швидко нагріваються. Нагрів може досягати температур плавлення і навіть перегріву металу, можливе виникнення мікродугових розрядів, випаровування металу, зварювання і розрив контактів частинок. Електроопір порошку швидко знижується, так як в мікроконтактах частинок матеріал досягає пластичного стану, а прикладений тиск стискання приводить до збільшення щільності матеріалу. Ростуть кількість і площа контактів в струмопровідних поверхнях частинок, збільшуються діючі значення струму і температури нагріву всього об'єму порошкового матеріалу. При цьому активно протікають процеси рекристалізації, схоплювання, спікання, зварювання в мікроконтактах в твердій і рідкій фазах. В залежності від вибраного режиму можливо довести легкоплавкий компонент шихти до часткового або повного розплавлення, тоді формуванню щільного матеріалу сприяє рідка фаза. Імпульсний режим пропускання струму необхідний для стабілізації процесу і попередження перегріву, особливо при нагріванні до 670...720 °С.

Третій етап - час від моменту вимкнення струму до повного охолодження матеріалу.

Таким чином, можливо стверджувати, що саме перший етап є найважливішим у процесі формуванні покриття та значною мірою впливає на його якість.

З метою підвищення якості покриттів в даній роботі пропонується розглянути вплив параметрів електродів контактних зварювальних машин, що грають роль основного деформуючого та формуючого елементу.

При розгляді процесів ущільнення порошкових матеріалів, що відбуваються при контактному наварюванні порошків припускають, що формування порошкових матеріалів відбувається в симетричній зоні деформації, а саме за рівності діаметрів електроду та деталі, на яку наноситься покриття.

Метою роботи є дослідження характеру ущільнення та зони деформації порошкового матеріалу при різних параметрах деформуючого елементу (електроду), та виявити вплив співвідношення діаметрів електроду та деталі на процес ущільнення.

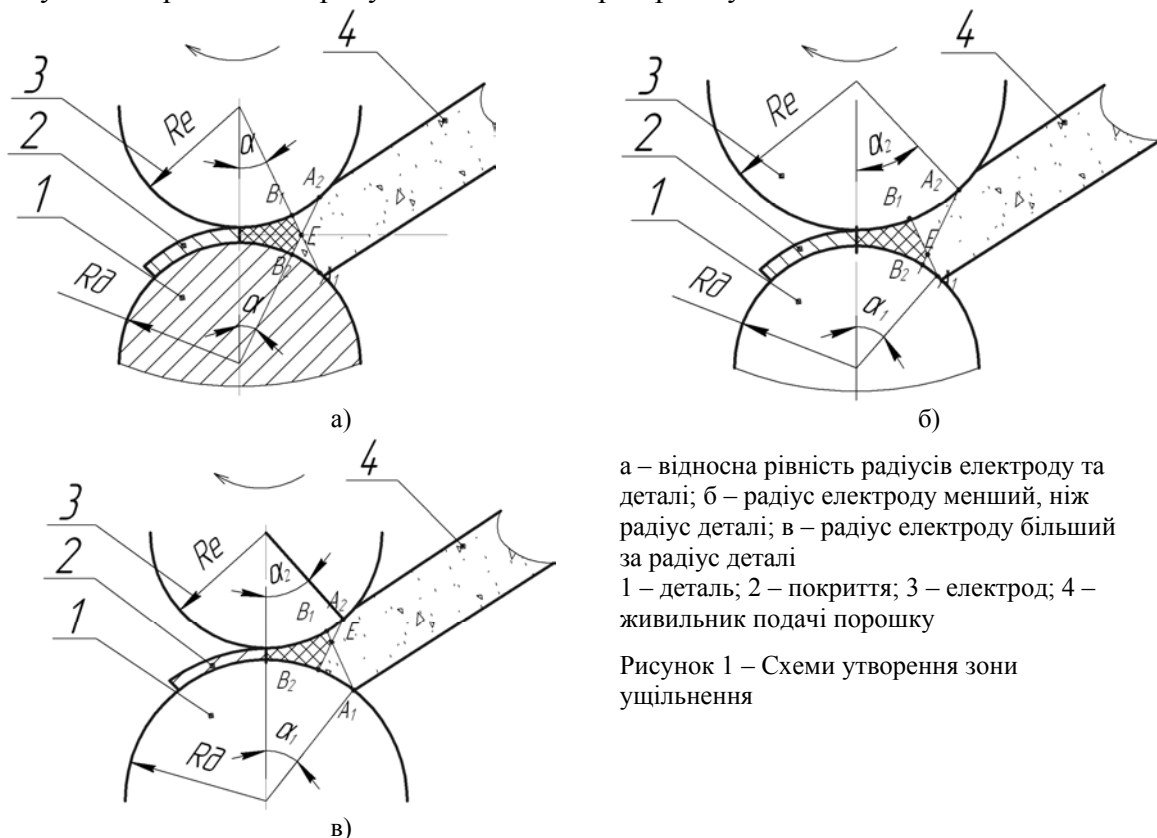
Для аналізу різних схем наварювання можливо навести три варіанти співвідношення розмірів деталі та електроду.

Перший варіант передбачає наварювання на поверхню деталі при близьких діаметрах електродів та деталі, на яку наноситься покриття. При другому варіанті діаметр електроду більший за діаметр деталі, а при третьому – менший.

Схеми нанесення покриттів за цими трьома варіантами будуть мати вигляд (рис. 1).

При збереженні незмінного коефіцієнту внутрішнього тертя (порошок-деталь, порошок-електрод), а також за умов, коли коефіцієнт зовнішнього тертя електроду та деталі приблизно рівні.

При рівних діаметрах електроду та деталі (рис. 1, а) зона деформації порошку обмежується зварювальною точкою (між електродом та деталлю) та ломаною B_1EB_2 , яка утворюється відрізками A_1B_1 та A_2B_2 , що лежать на лініях ковзання, які отримуються при дії електроду та деталі на шар порошку.



а – відносна рівність радіусів електроду та деталі; б – радіус електроду менший, ніж радіус деталі; в – радіус електроду більший за радіус деталі
1 – деталь; 2 – покриття; 3 – електрод; 4 – живильник подачі порошку

Рисунок 1 – Схеми утворення зони ущільнення

В реальних умовах при нанесенні покриття на конкретні деталі, як правило, діаметр електроду не дорівнює діаметру деталі. Номенклатура деталей, що відновлюються або змінюються, може бути досить широка, а отже, діаметри поверхонь також можуть змінюватися в широкому діапазоні. У зв'язку з цим умови ущільнення

при різних співвідношеннях діаметрів електроду та деталі (D_e/D_d) також будуть розрізнятися.

При радіусі $R_e > R_d$ (рис. 1, б) зона деформації порошку, що належить електроду і обмежена відрізком A_2B_2 , збільшується в порівнянні з першим варіантом, спільна зона деформації також дещо збільшується. Збільшення спільної зони деформації супроводжується порушенням її симетрії і по мірі збільшення радіуса R_e , її вершина E зміщується по напрямку до деталі.

У випадку, коли радіус електроду менший від радіусу деталі ($R_e < R_d$) зона ущільнення змінюється навпаки (рис. 1, в). Зона деформації деталі збільшується, спільна зона деформації також збільшується, а вершина зони зменшується в напрямку електроду.

Збільшення зони деформації є позитивним моментом, адже дозволяє краще ущільнити порошок перед наварюванням та в кінцевому випадку отримати покриття з низькою пористістю та відповідно високою якістю.

З рис. 1 видно, що при певному співвідношенні діаметрів електроду та деталі, кута нахилу ліній ковзання β та кута захвату α , точки E і A можуть співпадати. Це буде відповідати максимальній величині спільної для електроду та деталі зони деформації. Подальше збільшення діаметру електроду не приведе до збільшення товщини та щільності покриття.

Якщо розглянути геометричне співвідношення діаметрів з метою визначення граничного співвідношення діаметрів деталі та електроду, при яких отримується максимальна зона ущільнення.

Воно складе

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{(\sin \alpha - \beta) + \sin \beta(1 + h)}{\sin(\alpha + \beta) - \sin \beta} \quad (1)$$

Вплив збільшення діаметра електроду або деталі на якість покриттів досліджували експериментально.

При наварюванні використовували порошок на основі заліза з розміром частинок 60...100 мкм. Зусилля притиснення електродів до деталі складало 3 кН. Покриття наносили на модернізованій установці для контактного наварювання 011-1-12Н при частоті обертання деталі і електроду 10 хв^{-1} , матеріал електроду – бронза, діаметр електроду був постійним і складав 160 мм, діаметр деталі варіювався таким чином, щоб співвідношення діаметрів D_e/D_d змінювалося в межах 1,0...1,6, товщина покриття складала 0,5 мм. Привод здійснювався від шпинделя установки до деталі, ширина покриття відповідала ширині електроду та складала 8 мм. В електрод встановлювали месдозу з тензодатчиками, за допомогою якої визначали контактні напруження.

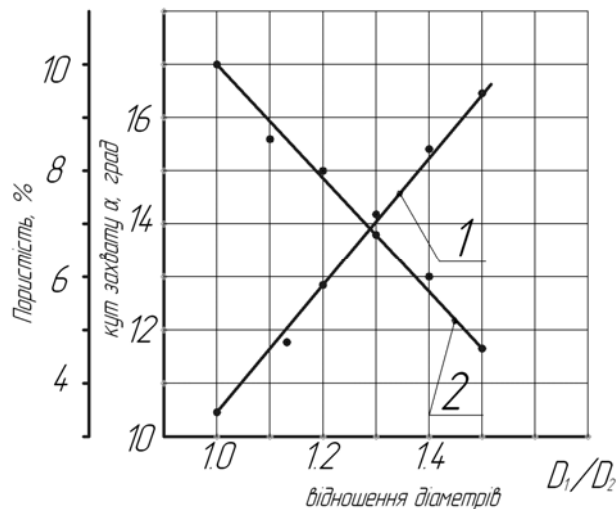
В результаті було отримано епюри контактних нормальних напруг, за якими визначали кут захвату α . Залежність між кутом захвату та співвідношенням діаметрів представлена на рис. 2.



Рисунок 2 – Залежність кута захвату від співвідношення діаметра електрода та деталі

Як видно з графіку (рис. 2), збільшення діаметра деталі до $D_1 \approx 1,5D_2$ припиняється збільшення зони ущільнення. Таким чином, на практиці не доцільно виконувати процес нанесення покриттів з співвідношенням діаметрів електрода та деталі більше як 1:1,5, також перевищення даного співвідношення може ускладнити підведення подачі покриттів в зону ущільнення.

Порівняльні значення досліджень параметрів покриттів виконували при одному значенні зусилля стиснення для різних співвідношень діаметрів, якість процесу ущільнення оцінювали за пористістю покриттів. Результати досліджень представлені на графіках рис. 3.



1 – кут захвату, 2 - пористість покриття

Рисунок 3 - Зміна пористості та кута захвату порошку залежно від співвідношення діаметрів електрода та деталі

За результатами експерименту можливо встановити, що при збільшенні співвідношення діаметрів електрода та деталі від 1 до 1,5 спостерігається зменшення пористості покриттів з 10 до 5% та відповідно збільшення кута захвату порошку.

Зменшення пористості можливо пов'язати із збільшенням зони ущільнення, яка спостерігається при несиметричній деформації порошкового шару при нерівних діаметрах електрода та деталі.

Збільшення протяжності зони деформації дозволяє краще ущільнити порошковий шар, а отже отримати покриття вищої якості.

При контактному наварюванні порошків доцільно наносити покриття при співвідношеннях діаметра деталі та роликів електрода від 1 до 1,5. В цьому

діапазоні вказаного співвідношення спостерігається несиметрична деформація порошкового матеріалу, збільшення протяжності зони деформації, а також покращення ущільнення порошку. При більших значеннях даного співвідношення ріст зони деформації припиняється. Нанесення покриття з вказаними розмірами дозволяє знизити пористість покриттів приблизно з 10 до 5%.

Список літератури

1. Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А. Электроконтактное упрочнение. – Минск: Наука и техника, 1982.- 256 с.
2. Дорожкин Н.Н., Миронов В.А., Верещагин В.А. Электрофизические методы получения покрытий из металлических порошков. – Рига: Зинатне, 1985.- 131с.
3. Лопата Л.А., Красота М.В., Голубев С.В., Василенко І.Ф. Основні напрямки створення основ електроконтактного нанесення покриттів//Проблеми підвищення надійності та довговічності машин. Збірник наукових праць., Кіровоград: КІСМ, 1996. - С 28-32.
4. Дорожкин Н.Н. Получение покрытий методом припекания. – Минск: Наука и техника, 1980.- 176 с.
5. Дорожкин Н.Н. Восстановление деталей с/х машин. – Минск: Ураджай, 1987.- 143 с.
6. Григорьев А.К. Рудской А.Н. Деформация и уплотнение порошковых материалов. – М.-Металлургия, 1992. – 190 с.
7. Каташинский В.П., Штерн М.Б., Напряженно-деформированное состояние прокатываемого порошка в зоне уплотнения. // Порошковая металлургия, 1983. - №11. – С. 17-21.
8. Степаненко А.В. Непрерывное формирование металлических порошков и гранул. – Минск: Наука и техника, 1980. – 256 с
9. Виноградов Г.А. Теория листовой прокатки металлических порошков и гранул.- М.: Металлургия, 1979.-284 с.
10. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков.- М: Металлургия, 1969.- 265 с.
11. Целиков А.И., Гришков А.И. Теория прокатки.- М.: Металлургия, 1970.-260 с.

М. Красота, А. Артюхов, І. Шепеленко, В. Дубовик

Исследование влияния параметров цилиндрических электродов на формирование покрытий при контактной наварке порошков

Исследовано влияние геометрических соотношений электродов контактных сварочных машин и диаметров деталей типа „вал” на процесс уплотнения порошкового материала при контактной наварке порошков, установлено оптимальные соотношения диаметров электрода и поверхности с целью получения минимальной пористости порошковой формовки.

M. Krasota, A. Artjuhov, I. Shepelenko, V. Dubovik

Probe of influence of parametres of cylindrical electrodes on formation of coverings at contact welding of powders

Influence of geometrical parities of a cylindrical electrode of the contact welding mashine and diameter of a shaft on process of sealing of a powder material at contact welding of powders is investigated, optimum parities of diameters of a shaft and an electrode for reception of the minimum porosity of a covering are established.

Одержано 24.11.09