

การผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชัน

Production of Lead-Free Solder Powder by Atomization Process

ไพโรจน์ สังข์ไพฑูรย์*

Phairote Sungkhaphaitoon*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Department of Materials Science and Technology, Faculty of Science, Prince of Songkla University

Received : 16 September 2015

Accepted : 22 March 2016

Published online : 29 March 2016

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ ศึกษากระบวนการผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันจากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว สามารถผลิตด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก กระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยง และกระบวนการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม ซึ่งแต่ละกระบวนการจะให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน โดยกระบวนการที่มีความเหมาะสมมากที่สุดที่ใช้ในการผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วคือ กระบวนการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม เนื่องจากสามารถผลิตผงโลหะที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยได้เล็กที่สุด และให้ผลผลิตที่สูงกว่ากระบวนการอื่นๆ สำหรับรูปร่างของผงโลหะที่ผลิตได้จากทั้งสามกระบวนการขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งต้องผลิตที่ปริมาณออกซิเจนต่ำและภายใต้บรรยากาศแก๊สเฉื่อย ผงโลหะที่ผลิตได้จะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลม มีปริมาณออกซิเจนที่ผิวของโลหะต่ำ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า

คำสำคัญ : โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว การอะตอมไมเซชันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก การอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยง การอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม

Abstract

This research article studied the production of lead-free solder powder by atomization process. From literature review, it was found that the lead-free solder powders can be produced by ultrasonic atomization, centrifugal atomization, and hybrid atomization. Each process produces different metal powders. Hybrid atomization is the most suitable process to produce the lead-free solder powder because this process provides metal powder with a smaller median particle size and higher production yield as compared to the other processes. The shapes of metal powders produced from these three processes depend on the amount of oxygen in the process. Metal powders produced at low oxygen and under inert gas atmosphere form spherical shape with low oxygen content on the metal surface. Therefore, it is suitable to be used in electronic and electric industries.

Keywords : Lead-free solder, Ultrasonic atomization, Centrifugal atomization, Hybrid atomization

*Corresponding author. E-mail: phairote.s@psu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าของไทยกำลังตื่นตัวในการนำมาตรฐานของโลหะบัดกรีสูตรใหม่ ที่ปราศจากสารตะกั่วมาใช้งาน เนื่องจากประเทศคู่ค้าที่สำคัญของไทยหลายประเทศตระหนักถึงอันตรายของโลหะตะกั่ว เช่น สหภาพยุโรปหรือ EU (European Union) ได้ออกกฎหมายเพื่อควบคุมการปนเปื้อนของสารเคมีอันตราย ในสิ่งแวดล้อม 2 ข้อคือ WEEE (Waste from Electrical and Electronics Equipment) และ RoHS (Restriction on Hazardous Substances) เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญเป็นลำดับต้นๆของไทย โดยในปี พ.ศ. 2557 มีมูลค่าการส่งออกรวมสูงถึง 829,468.40 ล้านบาท แยกเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ประกอบ มูลค่า 588,613.80 ล้านบาท และแผงวงจรไฟฟ้า มูลค่า 240,854.60 ล้านบาท (Thai Trade, 2015) เพื่อเป็นการรักษาสถานะการค้าของผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนวัสดุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตทั้งหมด เพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดดังกล่าว ดังนั้นโลหะบัดกรีที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนจากโลหะบัดกรีที่มีส่วนผสมของโลหะดีบุกและตะกั่ว มาใช้โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วทดแทน โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ โลหะบัดกรีที่มีส่วนผสมของโลหะดีบุก เงิน และทองแดง (Sn-Ag-Cu) ตัวอย่างเช่น Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305), Sn-4.0Ag-0.5Cu (SAC405) เป็นต้น โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วเหล่านี้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายรูปแบบ เช่น ในลักษณะของโลหะบัดกรีแท่ง (Solder bar) ครีมโลหะบัดกรี (Solder paste) ลวดบัดกรี (Solder wire) และลูกบอลโลหะบัดกรี (Solder ball) สำหรับครีมโลหะบัดกรีนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาค่อนข้างสูง ครีมโลหะบัดกรีเป็นส่วนผสมของผงโลหะบัดกรีที่มีขนาดละเอียดมาก (-45 ไมโครเมตร) และสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) ดังนั้นผงโลหะบัดกรีขนาดละเอียด มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีปริมาณออกซิเจนในผงโลหะต่ำ จึงเป็นที่ต้องการของตลาดอยู่สูง ผงโลหะบัดกรีสามารถผลิตได้จากการนำเอาโลหะบัดกรีชนิดแท่งไปแปรรูปให้เป็นผงด้วยกระบวนการผลิตผงโลหะ โดยทั่วไปกระบวนการผลิตผงโลหะมี 4 วิธีคือ วิธีการอะตอมไมเซชัน (Atomization) วิธีทางเคมี (Chemical) วิธีทางกล (Mechanical) และวิธีอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic) ซึ่งกระบวนการที่ใช้ในการผลิตผงโลหะนั้นมีความสำคัญมาก เพราะกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อขนาด รูปร่าง และสมบัติทางกายภาพของผงโลหะที่ผลิตได้ วิธีการผลิตผงโลหะที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบันนี้คือ วิธีการผลิตผงโลหะด้วยเทคนิคการอะตอมไมเซชัน ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตผงโลหะที่มีกระบวนการค่อนข้างซับซ้อนแต่ให้ประสิทธิภาพสูง สามารถใช้ผลิตผงโลหะได้หลากหลายชนิด โดยใช้หลักการทำให้โลหะหลอมเหลวแล้วแตกตัวเป็นหยด หรือเป็นละอองที่มีขนาดละเอียดมาก แล้วทำให้ละอองโลหะเย็นตัวจนแข็งตัวกลายเป็นเม็ดผงโลหะที่มีขนาดต่างๆกัน การทำให้โลหะหลอมเหลวเป็นละอองนั้นต้องมีแรงมากกระทำต่อโลหะหลอมเหลวด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ (Gas atomization) การอะตอมไมเซชันด้วยน้ำ (Water atomization) การอะตอมไมเซชันด้วยน้ำมัน (Oil atomization) การอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยง (Centrifugal atomization) การอะตอมไมเซชันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic atomization) และการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม (Hybrid atomization) เพื่อทำให้เกิดเป็นผงโลหะขึ้น (German, 1994 และ Animesh, 1995) สำหรับผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วสามารถผลิตได้ด้วยวิธีการอะตอมไมเซชันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก การอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยงและการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม ซึ่งวิธีการอะตอมไมเซชันที่ต่างกัน จะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตที่แตกต่างกัน เช่น ผลผลิต (Yield) ขนาดอนุภาค (Particle size) รูปร่าง (Shape) ปริมาณออกซิเจนในผงโลหะ (Oxygen content) และต้นทุนที่ใช้ในการผลิต ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

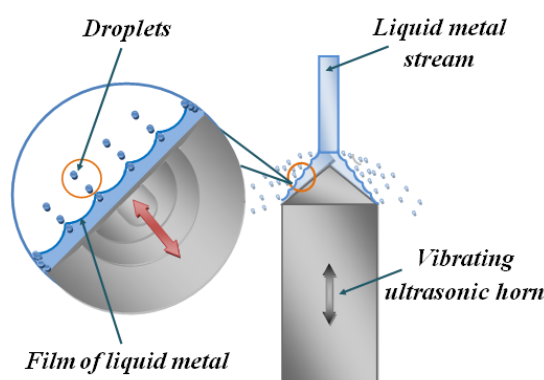
เพื่อสร้างองค์ความรู้ทางด้านการผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันแบบต่างๆ เพื่อจะได้เป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมผลิตผงโลหะของประเทศไทย

การผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชัน

กระบวนการอะตอมไมเซชันเป็นกระบวนการที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการผลิตผงโลหะ เนื่องจากสามารถผลิตผงโลหะได้ในปริมาณที่สูง อนุภาคผงโลหะมีขนาดเล็ก ผงโลหะที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์สูง และสามารถควบคุมองค์ประกอบทางเคมีได้ ซึ่งกระบวนการอะตอมไมเซชันที่นิยมใช้ในการผลิตผงโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วมีดังนี้

1. การอะตอมไมเซชันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic atomization)

กระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว โดยอาศัยการสั่นของคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อทำให้น้ำโลหะเกิดการแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็กโดยกระบวนการเริ่มจากเมื่อน้ำโลหะไหลลงไหลไปปกคลุมอยู่บนหัวโพรบของเครื่องอัลตราโซนิก น้ำโลหะที่ไปปกคลุมจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง จากนั้นเมื่อหัวโพรบเกิดการสั่นจะส่งผลทำให้ฟิล์มบางของน้ำโลหะเกิดการสั่นและเกิดเป็นคลื่นขนาดเล็กๆ ขึ้น (Capillary wave) การสั่นเกิดจากการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูด (Amplitude) เมื่อแอมพลิจูดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดคลื่นขนาดเล็กสูงขึ้น และกลายเป็นยอดคลื่น จากนั้นยอดคลื่นจะเริ่มพอร์มตัวเป็นหยดน้ำโลหะขนาดเล็กและเมื่อหยดน้ำโลหะขนาดเล็กที่เกิดขึ้นสามารถเอาชนะแรงตึงผิวบริเวณนั้นได้ก็จะทำให้เกิดเป็นละอองน้ำโลหะขนาดเล็กกระเด็นหลุดออกมาจากหัวโพรบ และเย็นตัวกลายเป็นผงโลหะ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กลไกการแตกตัวของน้ำโลหะโดยวิธีการอะตอมไมเซชันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

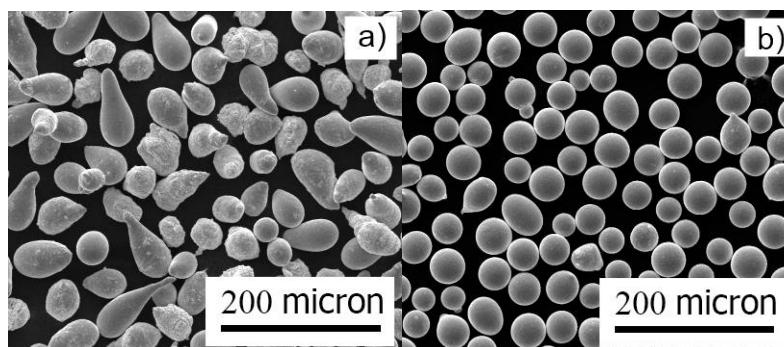
(Wisutmethangoon et al., 2011)

Wisutmethangoon และคณะ ได้ศึกษากระบวนการผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิด Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305) ด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยเครื่องอัลตราโซนิกที่ใช้ในการทดลองมีความถี่ขนาด 20 กิโลเฮิร์ตซ์และตัวแปรที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมโลหะ 270-350 องศาเซลเซียส แอมพลิจูด 60-90 เปอร์เซ็นต์อัตราการฉีดน้ำโลหะ 15-25 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและปริมาณออกซิเจนในกระบวนการผลิต 20.9-1.8 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่ผลิตได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 100-143 ไมโครเมตร เมื่อพิจารณาถึงปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการผลิตพบว่าที่ปริมาณออกซิเจนต่ำสุด 1.8 เปอร์เซ็นต์

ผงโลหะที่ผลิตได้จะมีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ดกลม มีปริมาณออกซิเจนในผงโลหะ 97 เปอร์เซ็นต์และมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าผงโลหะที่ผลิตภายใต้บรรยากาศออกซิเจนสูง (20.9%) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยผงโลหะที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้จะมีควมบริสุทธิ์ที่สูง แต่ผลผลิต (Yield) ที่ได้จะค่อนข้างต่ำ (Wisutmethangoon *et al.*, 2011) ซึ่งขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงโลหะที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้มีความสัมพันธ์ตามสูตรของ Lang's (Lang, 1962)

$$d_{50} = 0.34 \left(\frac{8\pi\sigma}{\rho f^2} \right)^{1/3}$$

- เมื่อ d_{50} คือ ขนาดเฉลี่ยของผงโลหะ (μm)
 σ คือ แรงตึงผิวของน้ำโลหะ (N/m)
 ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำโลหะ (kg/m^3)
 f คือ ความถี่ (kHz)



ภาพที่ 2 ลักษณะรูปร่างของผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่ผลิตภายใต้บรรยากาศออกซิเจน a) 20.9% และ b) 1.8% (Wisutmethangoon *et al.*, 2011)

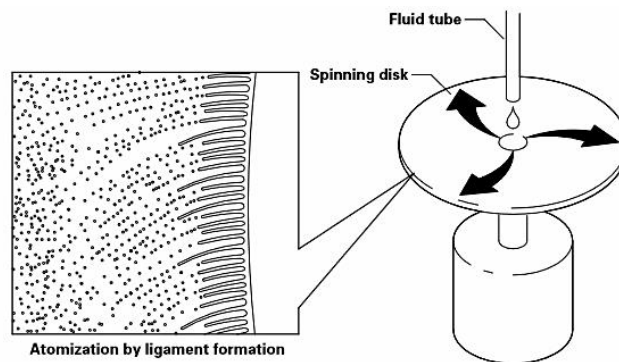
เมื่อเปรียบเทียบการผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วด้วยกระบวนการอื่นๆ กับกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก พบว่ากระบวนการนี้มีจุดเด่นคือ สามารถผลิตผงโลหะที่มีความบริสุทธิ์สูง มีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ดกลม และมีปริมาณออกซิเจนในผงโลหะต่ำ แต่กระบวนการนี้มีจุดด้อยคือ มีอัตราการผลิตค่อนข้างต่ำ และขนาดอนุภาคของผงโลหะที่ผลิตได้ค่อนข้างโต

2. การอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยง (Centrifugal atomization)

การอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยง อาศัยหลักการใช้แรงเหวี่ยงน้ำโลหะที่อยู่บนผิวจานหมุนเพื่อทำให้น้ำโลหะเกิดการแตกตัวเป็นละอองน้ำโลหะขนาดเล็กและเย็นตัวกลายเป็นผงโลหะดังแสดงในรูปที่ 3 ขนาดเฉลี่ยของผงโลหะที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของจานอะตอมไมเซอร์ ขนาดและรูปทรงของจานอะตอมไมเซอร์ อัตราการป้อนน้ำโลหะ และอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมโลหะ โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้ (Lawley, 2000)

$$d_{50} = \sqrt{\frac{A \cdot \sigma}{\rho_m \omega^2 R}}$$

- เมื่อ d_{50} คือ ขนาดเฉลี่ยของฝงโลหะ (μm)
 σ คือ ความตึงผิวของน้ำโลหะ (N/m)
 ρ_m คือ ความหนาแน่นของน้ำโลหะ (kg/m^3)
 ω คือ อัตราเร็วเชิงมุมของจานอะตอมไมเซอร์ (s^{-1})
 R คือ รัศมีของจานอะตอมไมเซอร์ (m)
 A คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 6

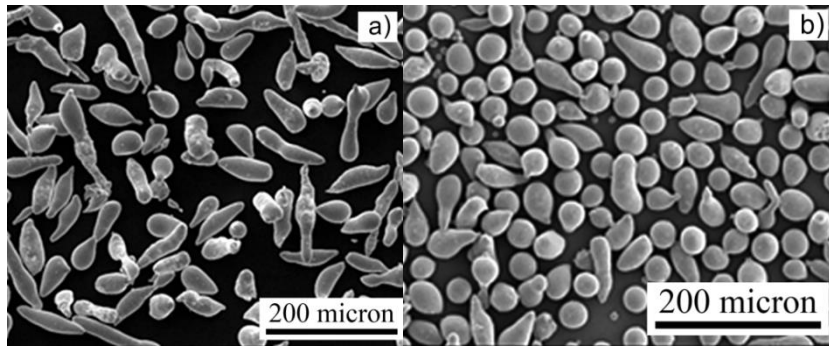


ภาพที่ 3 กลไกการแตกตัวของน้ำโลหะโดยวิธีการอะตอมไมเซอร์ด้วยแรงหมุนเหวี่ยง (Graco Inc., 1995)

Xie และคณะ ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อรูปร่างของขนาดฝงโลหะที่ผลิตด้วยกระบวนการอะตอมไมเซอร์ด้วยแรงหมุนเหวี่ยง พบว่าการแข็งตัวก่อนกำหนดของน้ำโลหะทำให้เกิดก้อนโลหะแข็ง (Skull) บนจานอะตอมไมเซอร์ และการที่น้ำโลหะไม่เกิดการเปียก (Wetting) บนผิวจานอะตอมไมเซอร์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การอะตอมไมเซอร์ไม่มีประสิทธิภาพ ฝงโลหะที่ผลิตโดยกระบวนการอะตอมไมเซอร์ด้วยแรงหมุนเหวี่ยงในอากาศ มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน (Irregular shape) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างน้ำโลหะกับออกซิเจนในอากาศ และตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อขนาดเฉลี่ยของอนุภาคฝงโลหะคือ อัตราเร็วเชิงมุมของจานอะตอมไมเซอร์ อัตราการป้อนน้ำโลหะและรูปทรงของจานอะตอมไมเซอร์ โดยที่ขนาดเฉลี่ยของฝงโลหะเล็กลงเมื่อเพิ่มอัตราเร็วเชิงมุม ลดอัตราการป้อนน้ำโลหะ และใช้จานอะตอมไมเซอร์แบบถ้วย (Xie et al., 2003) ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Plookphol และคณะ

Plookphol และคณะ ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณออกซิเจนในระหว่างการผลิตฝงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว ด้วยกระบวนการอะตอมไมเซอร์ด้วยแรงหมุนเหวี่ยง โดยทำการศึกษาที่เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนระหว่าง 2.0-20.9% ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนโดยใช้จานอะตอมไมเซอร์แบบถ้วยขนาด 40 มิลลิเมตร ใช้ความเร็ว 30,000 รอบต่อนาที และใช้อัตราการป้อนน้ำโลหะ 32 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าเมื่อปริมาณออกซิเจนภายในถังอะตอมไมเซอร์ลดลง ปริมาณออกซิเจนในฝงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่ผลิตได้มีค่าลดลง และฝงโลหะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลมมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4 (Plookphol et al., 2011) นอกจากนี้กระบวนการอะตอมไมเซอร์ด้วยแรงหมุนเหวี่ยงสามารถผลิตฝงโลหะที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่าฝงโลหะที่ผลิตด้วยกระบวนการอะตอมไมเซอร์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกและให้ผลผลิตในปริมาณ

ที่สูงประมาณ 75-80% (-45+25 ไมโครเมตร) ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shemyakina และคณะ (Shemyakina et al., 2010)

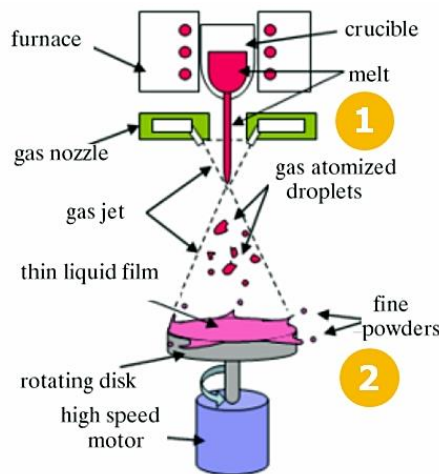


ภาพที่ 4 ลักษณะรูปร่างของผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่ผลิตภายใต้บรรยากาศออกซิเจน a) 20.9% และ b) 2.0% (Plookphol et al., 2011)

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยงกับกระบวนการอื่นๆ พบว่ากระบวนการนี้มีจุดเด่นคือ สามารถผลิตผงโลหะที่มีอนุภาคขนาดเล็กในช่วง -45+25 ไมโครเมตรได้ในปริมาณที่สูง มีอัตราการผลิตสูง ผงโลหะที่ผลิตได้มีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ดกลมเมื่อผลิตภายใต้บรรยากาศก๊าซเฉื่อย แต่กระบวนการนี้มีจุดด้อยคือ ใช้พลังงานในการผลิตสูงส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตสูง และเครื่องมือมีราคาค่อนข้างสูง

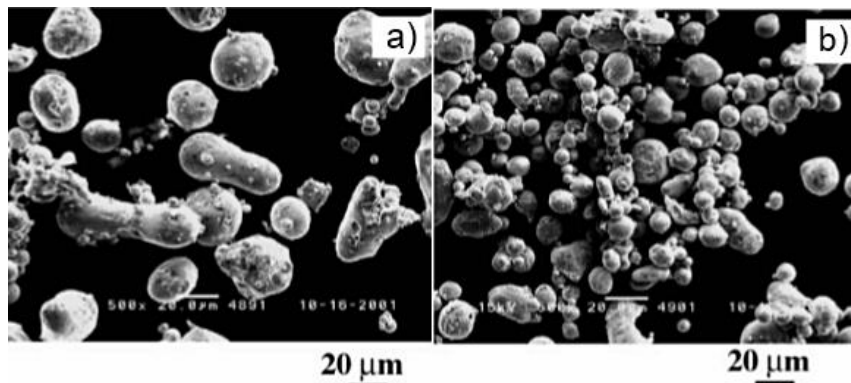
3. การอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม (Hybrid atomization)

กระบวนการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม เป็นวิธีการรวมเทคนิคการอะตอมไมเซชันสองแบบเข้าด้วยกัน โดยอาศัยหลักการแตกตัวของน้ำโลหะสองขั้นตอน จึงทำให้สามารถผลิตผงโลหะที่มีขนาดอนุภาคละเอียดได้ ตัวอย่างเช่น การอะตอมไมเซชันโดยอาศัยแรงหมุนเหวี่ยงผสมกับการอะตอมไมเซชันด้วยแก๊สเฉื่อยในการทำให้น้ำโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วเกิดการแตกตัวและเย็นตัวลงกลายเป็นผงโลหะดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กลไกการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม (Minagawa et al., 2006)

วิธีการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสมประกอบไปด้วยชุดหลอมโลหะ ทำหน้าที่หลอมโลหะและปล่อยน้ำโลหะไหลผ่านหัวฉีดไปปะทะกับแก๊สเฉื่อยทำให้น้ำโลหะแตกตัวเป็นละอองน้ำโลหะในขั้นตอนแรก (หมายเลข 1) จากนั้นละอองน้ำโลหะจะตกลงบนจานอะตอมไมเซชันที่หมุนด้วยความเร็วรอบสูงเกิดการแตกตัวในขั้นที่สอง (หมายเลข 2) จึงทำให้ได้ละอองน้ำโลหะขนาดเล็กมาก ซึ่งในการผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วชนิดดีบุก-สังกะสี (Sn-9%Zn) ใช้อุณหภูมิหลอมโลหะ 300-550 องศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุนของจานอะตอมไมเซชัน 5,000-20,000 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างหัวฉีดแก๊สกับจานอะตอมไมเซชัน 50-100 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานอะตอมไมเซชัน 50-100 มิลลิเมตร ใช้แรงดันของแก๊สไนโตรเจนขนาด 0.6 เมกะปาสคาล หัวฉีดแก๊สทำมุมกับลำน้ำโลหะประมาณ 40 องศา และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดน้ำโลหะ 2 มิลลิเมตร โดยกระบวนการนี้สามารถผงโลหะที่มีความละเอียดมาก โดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 10 ไมโครเมตร ผงโลหะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลม และมีผลผลิตที่สูงดังแสดงในภาพที่ 6 (Minagawa *et al.*, 2003) อิทธิพลที่ส่งผลต่อสมบัติของผงโลหะที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้คือ อุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างหัวฉีดแก๊สกับจานอะตอมไมเซชันและความเร็วของจานอะตอมไมเซชัน (Minagawa *et al.*, 2006) นอกจากนี้พฤติกรรมกรรมการแตกตัวของน้ำโลหะยังส่งผลต่อขนาดอนุภาคของผงโลหะที่ผลิตได้ดังนี้



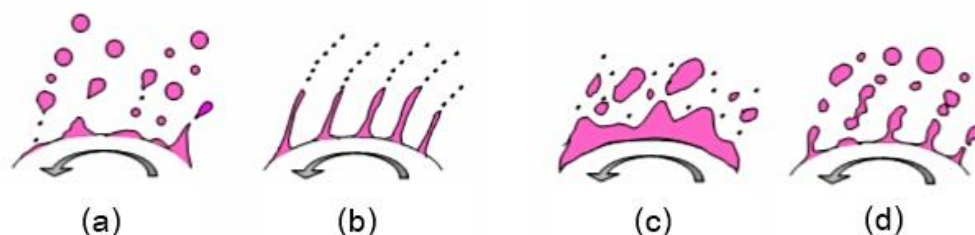
ภาพที่ 6 ลักษณะรูปร่างผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วที่ผลิตด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม

a) อุณหภูมิหลอมโลหะ 300 องศาเซลเซียส ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที

b) อุณหภูมิหลอมโลหะ 400 องศาเซลเซียส ความเร็ว 20,000 รอบต่อนาที (Minagawa *et al.*, 2003)

Zhong และคณะ ได้ศึกษาการฟอร์มตัวและการแตกตัวของฟิล์มน้ำโลหะในระหว่างกระบวนการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสมเปรียบเทียบกับกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยง โดยทำการผลิตผงโลหะบัดกรีกลุ่ม (Sn-9%Zn และ Sn-40%Pb) พบว่าโหมดของการแตกตัวของน้ำโลหะของกระบวนการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสมและกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยงมีทั้งหมด 4 โหมดคือ การเกิดละอองน้ำโลหะขนาดเล็กโดยตรง (Direct droplet formation, DDF) การเกิดลิแกเมนต์ (Ligament formation, LF) การเกิดแผ่นฟิล์มบาง (Film formation, FF) และการเกิดเป็นคอลัมน์ (Column formation, CF) ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งโหมดของการแตกตัวของน้ำโลหะขึ้นอยู่กับความไม่เสถียรภาพของฟิล์มน้ำโลหะและความสามารถในการอะตอมไมเซชันของจานอะตอมไมเซชัน โดยกระบวนการอะตอมไมเซชันโดยอาศัยแรงหมุนเหวี่ยงจะเกิดการแตกตัวแบบคอลัมน์ (CF) เป็นโหมดหลักและเกิดแบบผสมระหว่างลิแกเมนต์กับแผ่นฟิล์ม (LF/FF) บางส่วน จึงทำให้ได้ผงโลหะที่มีขนาดอนุภาคหยาบ สำหรับกระบวนการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสมจะเกิดการแตกตัวแบบละอองน้ำโลหะโดยตรง (DDF) เป็นโหมดหลักในการผลิตผงโลหะบัดกรีชนิด Sn-9%Zn และในการ

ผลิตผงโลหะบัดกรีชนิด Sn-40%Pb จะเกิดการแตกตัวแบบลิกาเมนต์ (LF) เป็นโหมดหลักจึงทำให้ได้ผงโลหะที่มีขนาดอนุภาคละเอียด (Zhong *et al.*, 2007)



ภาพที่ 7 ลักษณะการแตกตัวของฟิล์มน้ำโลหะที่เกิดจากการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม และการอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยงโดยที่ (a) โหมด DDF, (b) โหมด LF, (c) โหมด FF และ (d) โหมด CF (Zhong *et al.*, 2007)

ดังนั้นการผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสมเป็นกระบวนการที่พัฒนาจากกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยงและกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ โดยนำเอาจุดเด่นจากทั้งสองกระบวนการมาผสมกันจึงทำให้สามารถผลิตผงโลหะที่มีอนุภาคเฉลี่ยขนาดเล็กได้ในปริมาณที่สูง (10 ไมโครเมตร) มีอัตราการผลิตสูง ผงโลหะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลม และมีปริมาณออกซิเจนในผงโลหะต่ำ แต่กระบวนการนี้ยังมีจุดด้อยคือ ใช้พลังงานในการผลิตสูงเนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีระบบซับซ้อน ส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ และเครื่องมือมีราคาสูง

บทสรุป

การผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชัน สามารถผลิตได้ด้วย 3 กระบวนการหลัก คือ การอะตอมไมเซชันด้วยคลื่นอัลตราโซนิก การอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยง และการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม ซึ่งแต่ละกระบวนการจะให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน โดยกระบวนการที่มีความเหมาะสมมากที่สุดที่ใช้ในการผลิตผงโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วคือ กระบวนการอะตอมไมเซชันแบบลูกผสม เนื่องจากสามารถผลิตผงโลหะที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยได้เล็กที่สุด และให้ผลผลิตที่สูงกว่ากระบวนการอื่นๆ สำหรับรูปร่างของผงโลหะที่ผลิตได้จากทั้ง 3 กระบวนการขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งต้องผลิตที่ปริมาณออกซิเจนต่ำและภายใต้บรรยากาศแก๊สเฉื่อย (อาร์กอนหรือไนโตรเจน) ผงโลหะที่ผลิตได้จะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลม

เอกสารอ้างอิง

Animesh, B. (1995). *Advances in Particulate Materials*. USA: Butter Worth-Heinemann.

German, R.M. (1994). *Powder Metallurgy Science*. (Second Edition). Princeton: Metal Powder Industries Federation.

Graco Inc. (1995). *Atomization Concept and Theory*. Retrieved August 3, 2015, from http://wwwd.graco.com/training/concept_and_theory/Atomization%20v2.pdf

Lang, R.J. (1962). Ultrasonic atomization of liquids. *Journal of the Acoustical Society of America*, 34, 6-8.

Lawley, A. (2000). Metal Powder Production via Melt Atomization. In *Proceeding of the 2000 TMS Annual Meeting in Nashville*. (pp.3-21). Tennessee.

- Minakawa, K., Kakisawa, H., Takamori, S., Osawa, Y., & Halada, K. (2006). Hybrid atomization method suitable for production of fine spherical lead-free solder powder. *ProcessingNukleonika*, 51, 83-88.
- Minagawa, K., Liu, Y., Kakisawa, H., Osawa, Y., Takamori, S., & Halada, K. (2003). Hybrid atomization process applied to fine lead-free solder powder production. *Materials Transactions*, 44(7), 1316-1319.
- Plookphol, T., Wisutmethangoon, S., & Gonsrang, S. (2011). Influence of process parameters on SAC305 lead-free solder powder produced by centrifugal atomization. *Powder Technology*, 214, 506-512.
- Shemyakina, O.A., Sheikhalieva, Z.I., & Sheikhaliev, Sh.M. (2010). Obtaining solder powder by centrifugal atomization of melt. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 51, 250-254.
- Thai Trade. (2015). *Top 10 Export Products of Thailand*. Retrieved August 25, 2015, from <http://www2.ops3.moc.go.th/>
- Wisutmethangoon, S., Plookphol, T., & Sungkhaphaitoon, P. (2011). Production of SAC305 powder by ultrasonic atomization. *Powder Technology*, 209, 105-111.
- Xie, J.W., Zhao, Y.Y., & Dunkley, J.J. (2004). Effect of processing condition on powder particle size and morphology in centrifugal atomization of tin. *Powder Metallurgy*, 47, 168-172.
- Zhong, Y.L., Minakawa, K., Kakisawa, S., & Halada, K. (2007). Melt film formation and disintegration during novel atomization process. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, 17, 1276-1281.