

<http://journal.rmutp.ac.th/>

ลักษณะรูปแบบหัวพ่นอะตอมไมซ์ในกระบวนการอะตอมไมซ์เซชันด้วยก๊าซ

มนตรี ขาวสุข^{1*} สุรัตน์ วรรณศรี² และ ศิริชัย ต่อสกุล³

^{1,3} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

^{1,3} 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12000

² 744 ถนนสุนทราราม ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

รับบทความ 20 ธันวาคม 2563 แก้ไขบทความ 14 พฤษภาคม 2564 ตอรับบทความ 7 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ศึกษาลักษณะรูปแบบหัวพ่นอะตอมไมซ์ในกระบวนการอะตอมไมซ์เซชันด้วยก๊าซ กรรมวิธีการผลิตผงโลหะด้วยกระบวนการอะตอมไมซ์เซชันด้วยก๊าซ เป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยได้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องทางด้านวิศวกรรม แต่ยังคงขาดการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตอนุภาคผงโลหะมีค่าที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับออกมาเผยแพร่ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เป็นเหตุผลหลักที่ทำให้คณะผู้วิจัยสนใจที่ศึกษาวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับของไทยที่กำลังอยู่ในช่วงของการเปลี่ยนผ่านเทคโนโลยีการผลิตที่ผู้ประกอบการหันมาให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีโลหะผงมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งกระบวนการกรรมวิธีการผลิตผงโลหะด้วยกระบวนการอะตอมไมซ์เซชันด้วยก๊าซประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การหลอม การทำให้น้ำโลหะเกิดการแตกตัวเป็นละออง เย็นตัวและการแข็งตัวกลายเป็นอนุภาคของแข็งภายใต้บรรยากาศก๊าซควบคุม ปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่าง ขนาดและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงโลหะ ประกอบด้วย ชนิดของก๊าซเฉื่อย อุณหภูมิของน้ำโลหะ และรูปแบบของหัวพ่นที่มีลักษณะแตกต่างกัน ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าหัวพ่นอะตอมไมซ์ แบบ Close-Coupled เป็นหัวพ่นที่ให้ประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด ขนาดของอนุภาคที่ผลิตได้มีขนาดเล็กที่สุดและมีรูปร่างเป็นเม็ดอนุภาคทรงกลม จากการศึกษาวิจัยข้อมูลที่ได้จะส่งเสริมการผลิตเครื่องประดับในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

คำสำคัญ : กระบวนการอะตอมไมซ์เซชัน; กระบวนการอะตอมไมซ์เซชันด้วยก๊าซ ; หัวพ่นอะตอมไมซ์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 5709 7884, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: montri.k@mail.rmutt.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Characteristics of Atomizer Nozzle in Gas Atomization

Montri Kawsuk ^{1*} Surat Wannasri² and Sirichai Torsakul³

^{1,3}Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi Patumtani

² Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan

^{1,3}39 Moo. 1, Rangsit-Nakhon Nayok Road, Klong6, Khlong Luang Pathum Thani 12000

²744 Suranarai Road, Muang, Nakhon Ratchasima 30000

Received 20 December 2020; Revised 14 May 2021; Accepted 7 June 2021

Abstract

This research article aims to study of the atomizer nozzle pattern in the gas atomization process. The production of metal powder by using a gas atomization process. It is the most popular process. This process is used in various industry and engineering application. However, there is lack of information on the production of various precious metal powders in the jewelry manufacturing industry both in the country and abroad. For this reasons, the research team is interested in applying this process for the Thai jewelry manufacturing industry. Currently, the jewelry industry is in a transitional period of manufacturing technology with an increased focus on powder metallurgy technology. The production of metal powder by using a gas atomization process consisting of the following 3 steps: melting, making of atomized molten metal, cooling and solidifying for solid particles under a controlled gas atmosphere. Factors affecting particle shape, particle size, and particle size distribution are consisting of inert gas type, molten metal temperature, and the configuration or pattern of the nozzle that are different characteristics. The results can be concluded that Close-Coupled Nozzle is the most suitable nozzle for production due to the highest productivity providing the smallest particle size and spherical granular shape. The information from this study will be useful for the Thai jewelry manufacturing industry.

Keywords : Atomization Processes; Atomization Processes with Gases; Atomizer Nozzle

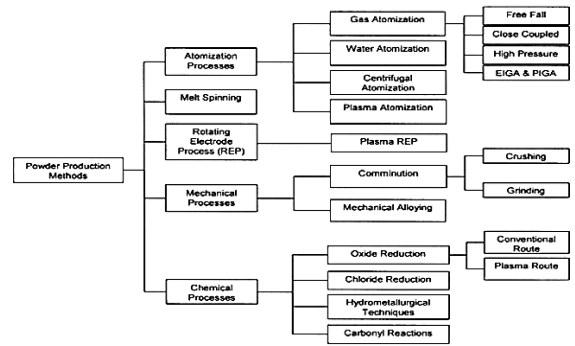
** Corresponding Author. Tel.: +668 5709 7884, E-mail Address: montri.k@mail.rmutt.ac.th*

1. บทนำ

เทคโนโลยีทางด้านโลหะผงวิทยา (Powder Metallurgy Technology) เป็นเทคโนโลยีโลหะผงที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรม มีการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ การผลิตโลหะผงด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชัน เป็นกระบวนการผลิตที่มีการใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการอะตอมไมเซชันมีกำลังผลิตสูง สามารถผลิตได้ทั้งโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม นอกจากนี้โลหะผงที่ได้อังยังมีการแข็งตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้โลหะผงมีโครงสร้างละเอียด เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจะได้ชิ้นงานมีความแข็งแรงสูง สำหรับการผลิตโลหะผงด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันในประเทศไทยยังอยู่ในระหว่างการศึกษาเพื่อทำการผลิต เนื่องจากยังขาดองค์ความรู้เชิงบูรณาการ ในการออกแบบและสร้างเครื่องมือ รวมถึงการจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการผลิตโลหะผงด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชัน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโลหะผงและการวิจัยทางด้านโลหะผงวิทยา [1] อีกทั้งยังขาดการศึกษาการผลิตอนุภาคผงโลหะมีค่าด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับทั้งในประเทศและต่างประเทศ

กระบวนการทางด้านโลหะผงวิทยา เป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานโดยมีวัสดุตั้งต้นเป็นผงนำมาอัด ให้ได้รูปทรงที่ต้องการแล้วนำไปให้ความร้อนโดยไม่มีสารหล่อลื่น เพื่อให้ผงโลหะและส่วนผสมอื่นประสานติดกันเป็นชิ้นงาน เทคนิคการขึ้นรูปโลหะ (Powder Metallurgy) มีอยู่ 3 ขั้นตอน คือ การจำแนกคุณลักษณะของผงโลหะ (The Characterization of Metal Powders) การขึ้นรูปผงโลหะ (The Forming of Metal Powders) และการเผาผนึก (Sintering) [2] การที่จะเลือกใช้เทคนิคหรือกรรมวิธีการใดเป็นการเฉพาะสำหรับการผลิตผงโลหะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่างของอนุภาค โครงสร้าง และสมบัติเคมีของผงโลหะที่ต้องการ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายของกรรมวิธีการผลิต [3] กรรมวิธีการผลิตผงโลหะ สามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มคือ กระบวนการอะตอมไมเซชัน (Atomization Processes) การปั่นหลอม (Melt Spinning) การใช้แรงเหวี่ยง (Rotating Electrode

Process (REP)) กระบวนการทางกล (Mechanical Processes) และ กระบวนการทางเคมี (Chemical Processes) [4] ดังแผนแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตโลหะผง [4]

ลักษณะรูปแบบหัวพ่นอะตอมไมซ์ในกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ ถูกนำมาเป็นวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งกรรมวิธีการผลิตผงโลหะด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันที่นิยมใช้มากที่สุดสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 วิธี จำแนกตามวิธีการทำให้โลหะเหลวแตกตัว คือ อะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ (Gas Atomization) อะตอมไมเซชันด้วยน้ำ (Water Atomization) อะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Atomization) อะตอมไมเซชันด้วยพลาสมา (Plasma Atomization)

หลักการทั่วไปของกระบวนการอะตอมไมเซชันประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การหลอมก้อนโลหะให้เป็นของเหลว (Melting) การทำให้น้ำโลหะแตกตัวเป็นละออง (Disintegration or Atomization) และการเย็นตัวและแข็งตัวของละอองน้ำโลหะกลายเป็นอนุภาคผงโลหะ (Cooling and Solidification) อีกทั้งยังสามารถแยกสายละเอียดปลีกย่อยตามวิธีการที่ทำให้น้ำโลหะเหลวแตกตัวเป็นละออง [5]

1.1 อะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ

กระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซทำได้โดยการใช้ก๊าซเป็นตัวทำให้โลหะเหลวเกิดการแตกตัว โดยลำกระแส น้ำโลหะเหลวถูกปะทะด้วยก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน อาร์กอน หรือฮีเลียม ที่พ่นจากหัวพ่นอะตอมไมซ์ ทำให้เกิดการแตกตัวที่มีลักษณะเป็นละอองอนุภาคผง และเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว แสดงในรูปที่ 2 ก)

อนุภาคผงโลหะที่ผลิตได้มีรูปร่างเป็นทรงกลมขนาดเล็ก ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 50 ถึง 300 ไมโครเมตร

1.2 อะตอมไมเซชันด้วยน้ำ

กระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยน้ำ เป็นกระบวนการที่ใช้น้ำแรงดันสูงสำหรับการทำให้น้ำโลหะเกิดการแตกตัว กระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยน้ำจะมีอัตราการเย็นตัวที่สูงกว่ากระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ สำหรับหัวพ่นน้ำอาจมีเพียงหัวพ่นเดียวหรือหลายหัวพ่น โดยน้ำจะถูกฉีดเข้าปะทะกับลำกระแสโลหะเหลวโดยตรงทำให้เกิดการแตกตัว และทำให้เกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วเป็นอนุภาคผงด้วยแรงดันของน้ำ ดังรูปที่ 2 ข) ผงโลหะที่ได้มีรูปร่างแบบไม่แน่นอน (Irregular) มีผิวขรุขระ ขนาดอนุภาคผงโลหะที่ผลิตได้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 100 ไมโครเมตร นอกจากนี้ ผงโลหะที่ผลิตได้อาจเกิดการออกซิเดชัน (Oxidation) ได้บ้าง ซึ่งการเปลี่ยนของเหลวจากน้ำเป็นน้ำมันอาจมีส่วนช่วยในการควบคุมรูปร่างของผงโลหะและช่วยลดการเกิดออกซิเดชัน

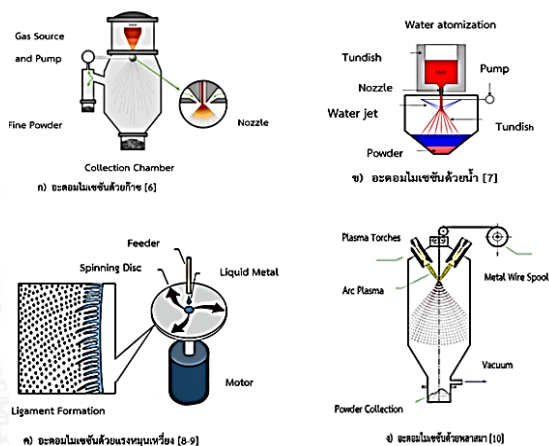
1.3 อะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยง

กระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยแรงหมุนเหวี่ยง เป็นกระบวนการที่ใช้หลักการแรงเหวี่ยงสลัดน้ำโลหะที่อยู่บนผิวจานหมุนเพื่อทำให้น้ำโลหะเกิดการแตกตัวเป็นละอองน้ำขนาดเล็กและเย็นตัวกลายเป็นผงโลหะ วิธีการนี้จะได้ผงโลหะที่สะอาด และมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่มีกำลังการผลิตที่ต่ำ ดังรูปที่ 2 ค) รวมทั้งอุปกรณ์มีราคาแพงและได้ขนาดผงอนุภาคค่อนข้างหยาบเมื่อเทียบกับกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยน้ำ ขนาดอนุภาคผงโลหะที่ผลิตได้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 200 ไมโครเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ ขนาดและรูปทรงของจานหมุน อัตราการป้อนน้ำโลหะและอุณหภูมิ น้ำโลหะที่ถูกหมุนเหวี่ยงด้วยแรงหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง [8-9]

1.4 อะตอมไมเซชันด้วยพลาสมา

กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการแปลงพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพลาสมาไปเป็นพลังงานความร้อนสูง ซึ่งจะสร้างไอพ่นของก๊าซเฉื่อยที่แตกตัวเป็นไอออนที่ร้อนจัดด้วยความเร็วสูง ดังรูปที่ 2 ง) ทำให้เส้นโลหะแตกตัวเป็นละอองอนุภาคผงในขณะที่ไอออนอุณหภูมิสูงที่ขยายออกไปช่วยทำให้เกิดกระบวนการอบเพื่อให้ได้โครงสร้าง

เมื่อต่อนุภาคทรงกลมอย่างสมบูรณ์ และขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยสำหรับการผลิตผงไทเทเนียมประมาณ 125 ไมโครเมตร [10]



รูปที่ 2 กระบวนการอะตอมไมเซชัน

2. กระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ

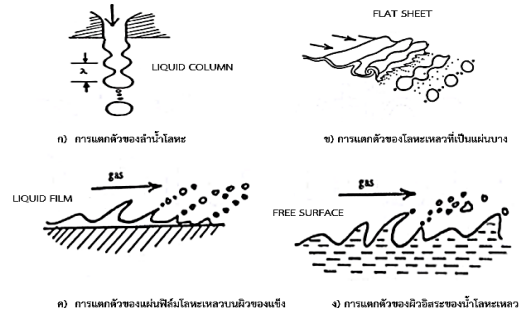
กระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ เป็นกระบวนการที่น้ำโลหะเหลวถูกทำให้แตกตัวเป็นละอองด้วยก๊าซที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ซึ่งขั้นตอนแรกโลหะจะถูกหลอมภายในเบ้าหลอม และถูกทำให้ไหลผ่านช่องเล็กๆ ด้วยแรงแคพิลลารี (Capillary Force) หรือแรงโน้มถ่วงขึ้นอยู่กับกรอกแบบหัวพ่น จากนั้นก๊าซจะถูกพ่นออกจากหัวพ่นด้วยความเร็วสูง โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงความดันทำให้ก๊าซมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็ว เมื่อก๊าซปะทะกับลำกระแสโลหะเหลวจะทำให้เกิดการแตกออกเป็นละอองน้ำโลหะตามมาด้วยการเย็นตัวและแข็งตัวอย่างรวดเร็ว และตกลงถึงพักหรือภาชนะรองรับ สำหรับการทำอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซที่อุณหภูมิสูง (สำหรับโลหะที่มีอุณหภูมิหลอมละลายสูง) ต้องมีการออกแบบถึงพักหรือภาชนะรองรับให้มีระยะห่างมากพอที่จะทำให้น้ำโลหะเกิดการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ก่อนกระทบผนังหรือกันถัง [5]

2.1 การทำให้น้ำโลหะเหลวแตกตัวเป็นละอองน้ำโลหะและผงโลหะ (Mechanism of gas atomization)

กลไกการแตกตัวเป็นละอองของน้ำโลหะเหลวของกระบวนการอะตอมไมเซชัน ใช้หลักการของการทำ

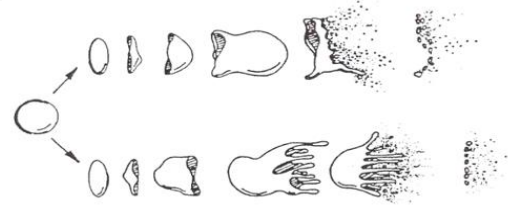
ให้น้ำโลหะเหลว (Molten Metal) แตกตัวเป็นหยดหรือละอองที่มีขนาดเล็กหรือละเอียดมากๆ แล้วทำให้เกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วจนละอองน้ำโลหะเหลวแข็งตัวกลายเป็นเม็ดอนุภาคของแข็งหรือผงโลหะที่มีขนาดต่างๆ ซึ่งการให้น้ำโลหะเหลวเป็นละอองนั้นต้องมีแรงกระทำต่อน้ำโลหะเหลว การแตกตัวของน้ำโลหะเหลวด้วยแรงกระทำให้ของไหลที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ซึ่งก๊าซ หรือของเหลวที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง หรือมีพลังงานจลน์สูง โดยที่น้ำโลหะเหลวและของไหลที่ใช้เป็นตัวกลางในการทำให้เกิดการแตกตัวต่างเป็นของไหลทั้งคู่ แรงกระทำจากของไหลมีผลทำให้ลำกระแสลำน้ำโลหะเหลว (Melt Stream) ไม่เสถียรและเกิดการแตกตัว ในการแตกตัวของน้ำโลหะเหลวไม่ได้เกิดจากกลไกใดกลไกหนึ่งเพียงกลไกเดียวซึ่งกลไกที่กล่าวถึงนี้ประกอบด้วย [11]

1. การแตกตัวของลำกระแสลำน้ำโลหะเหลวที่ไหลออกจากรูเล็กๆ (Orifice) ดังรูปที่ 3 ก) ซึ่งการแตกตัวด้วยกลไกนี้เกิดจาก 2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ น้ำหนักของหยดน้ำโลหะเหลวและแรงตึงผิว (Surface Tension) ของน้ำโลหะเหลว
2. การแตกตัวของโลหะเหลวที่เป็นแผ่นบาง ดังรูปที่ 3 ข) ในกลไกนี้แรงกระทำจากของไหล ซึ่งมีความเร็วสูงจะให้น้ำโลหะเหลวที่เป็นแผ่นบางเรียบก่อตัวเป็นคลื่นที่ไม่เสถียร และแตกตัวต่อไปเป็นรูปร่างคล้ายไส้กรอก หรือที่นิยมเรียกว่า “ลิกามেন্ট (Ligaments)” และแรงกระทำที่มีอยู่อย่างต่อเนื่องมีผลทำให้ลิกามেন্টถูกกระทำต่อไปอีกและมีผลทำให้เกิดการแตกตัวเป็นหยดหรือละอองที่ละเอียดต่อไป
3. การแตกตัวของแผ่นฟิล์มโลหะเหลวบนผิวของแข็ง ดังรูปที่ 3 ค) กลไกนี้แรงกระทำจากก๊าซที่มีความเร็วสูงจะฉีกแผ่นฟิล์มบนผิวของแข็งฉีกขาดออกเป็นชิ้นเล็กๆ และก่อตัวเป็นทรงกลมเนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำโลหะเหลว
4. การแตกตัวของผิวอิสระของน้ำโลหะเหลว ดังรูปที่ 3 ง) โดยกลไกการแตกตัวแบบนี้จะมีลักษณะที่คล้ายกับแบบที่ 3 และคล้ายกับกรณีของการเกิดละอองน้ำบนผิวน้ำที่ลมพัดด้วยความเร็วที่เพียงพอ



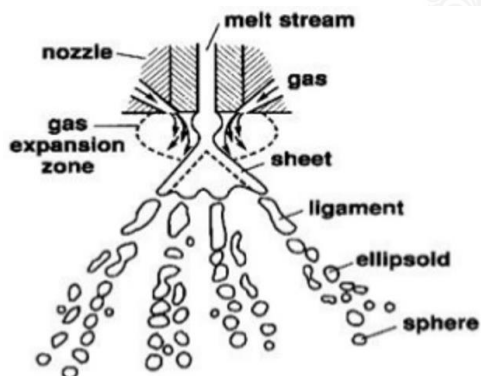
รูปที่ 3 กลไกการแตกตัวของน้ำโลหะเหลวด้วยวิธีอะตอมไมเซชัน [11]

หลังจากที่น้ำโลหะเหลวแตกตัวเป็นหยดหรือละอองเล็กๆ แล้วหากแรงกระทำยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องจะมีผลทำให้หยดหรือละอองน้ำโลหะเหลวสามารถเกิดการแตกตัวต่อไปได้อีก และเรียกรวมการแตกตัวที่เกิดขึ้นอีกครั้งในขั้นนี้ว่า “การแตกตัวครั้งที่สอง (Secondary Breakup)” ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับค่า Gas Phase Weber Number ($We_g = \rho_g \Delta U^2 D / \sigma$) โดยค่า Gas Phase Weber Number นี้จะมีความสัมพันธ์แปรผกผันกับแรงตึงผิวของน้ำโลหะเหลว ดังนั้น หากน้ำโลหะเหลวมีแรงตึงผิวสูง หยดของเหลวจะถูกแรงกระทำและมีรูปร่างเป็นถุงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนท้ายที่สุด ถุงทนแรงกระทำไม่ไหวเกิดการแตกตัวเป็นละอองที่มีขนาดเล็กและละเอียดยิ่งขึ้น ลักษณะของกลไกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นแสดงในรูปที่ 4 แถวบน และในทำนองเดียวกันในทางตรงกันข้าม หากน้ำโลหะเหลวมีแรงตึงผิวต่ำ หยดของเหลวเมื่ออยู่ภายใต้แรงกระทำจะฟอร์มตัวเป็นรูปร่างแมงกะพรุน และต่อมาท้ายที่สุดจะแตกตัวเป็นหยดหรือละอองขนาดเล็กและละเอียดเช่นกัน ลักษณะของกลไกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นแสดงในรูปที่ 4 แถวล่าง



รูปที่ 4 กลไกการแตกตัวของน้ำโลหะครั้งที่สอง [11]

กระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ ถ้ามีการใส่พลังงานให้กระแทกกับลำกระแสโลหะมาก ผงโลหะที่ได้จะยังมีขนาดเล็กและละเอียดยิ่งขึ้น การปะทะกันระหว่างก๊าซกับน้ำโลหะเหลวที่บริเวณทางออกของหัวพ่นมีผลทำให้ลักษณะทางกายภาพของการอะตอมไมเซชันเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 5 โดยก๊าซที่แผ่รอบๆ น้ำโลหะเหลวจะมีความดันลดลงและทำให้น้ำโลหะเหลวเกิดการแตกกระจายกลายเป็นละอองน้ำโลหะ การลดลงของความดันของก๊าซทำให้น้ำโลหะเหลวกระจายเป็นรูปทรงกรวยกลวงหลังจากออกมาจากหัวพ่น ซึ่งกรวยบางลักษณะจะไม่มีเสถียรเนื่องจากมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงและส่งผลให้ละอองน้ำโลหะเกิดการแตกตัวออกไปได้อีกอย่างต่อเนื่องซึ่งเกี่ยวข้องกับการแตกตัวแยกขาดออกจากกันของน้ำโลหะเหลวจากการขยายตัวของก๊าซอย่างรวดเร็ว โดยแรงดูดที่เกิดขึ้นในบริเวณที่มีการขยายตัวของก๊าซมีผลทำให้น้ำโลหะเหลวก่อตัวเป็นแผ่นกลวงบางกลายเป็นลิแกเมนต์ รูปร่างรี และทรงกลมในท้ายที่สุด [3]-[12]



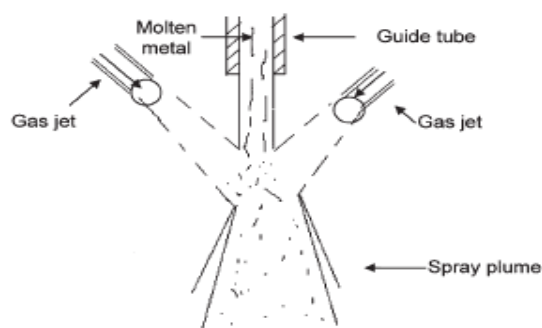
รูปที่ 5 การฟอร์มตัวของผงโลหะในกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ [3]-[12]

2.2 หัวพ่นอะตอมไมซ์

รูปแบบของหัวพ่นอะตอมไมซ์ที่ทำให้น้ำโลหะเหลวแตกตัวเป็นละอองในกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ โดยส่วนใหญ่แล้ว หัวพ่นอะตอมไมซ์ที่นิยมใช้โดยทั่วไปมี 2 รูปแบบหลักๆ คือ หัวพ่นอะตอมไมซ์แบบ Free-Fall และ Close-Coupled ซึ่งหัวพ่นแต่ละแบบจะมีกลไกการทำงานที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.2.1 หัวพ่นแบบ Free-Fall Gas Atomizer

หัวพ่นแบบ Free-Fall ใช้หลักการของการให้ก๊าซพุ่งผ่านหัวพ่นเข้าชนกระแทกลำกระแสโลหะเหลวตรงบริเวณที่อยู่ห่างจากปลายท่อเลี้ยงน้ำโลหะ (Guide Tube) เป็นระยะทางหนึ่ง ดังรูปที่ 6 ข้อดีคือ ไม่เกิดปัญหาเรื่องการหล่อเย็นและการเกิด Thermal Shock กับอุปกรณ์ลำเลี้ยงน้ำโลหะ แต่มีข้อเสียคือ การสูญเสียพลังงานจลน์และความเร็วของก๊าซก่อนที่จะพุ่งเข้าชนกระแทกลำกระแสโลหะ เนื่องจากระยะห่างระหว่างช่องพ่นก๊าซกับลำกระแสโลหะ ทำให้อนุภาคผงโลหะที่ผลิตได้มีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่และหยาบกว่าการใช้หัวพ่นแบบ Close-Coupled [13], [14]

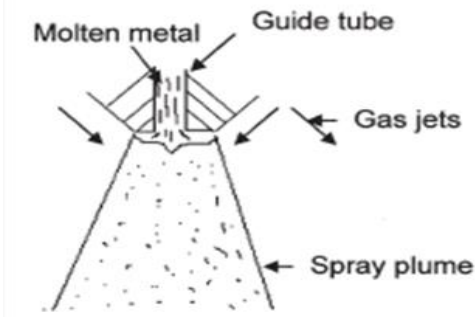


รูปที่ 6 ลักษณะของหัวพ่นอะตอมไมซ์แบบ Free-Fall [13]

2.2.2 หัวพ่นแบบ Close-Coupled Gas Atomizer

หัวพ่นแบบ Close-Coupled ใช้หลักการของการทำให้ก๊าซพุ่งผ่านหัวพ่นเข้าชนกระแทกลำกระแสโลหะเหลวตรงบริเวณที่อยู่ห่างจากปลายท่อเลี้ยงน้ำโลหะ (Guide Tube) ด้วยระยะทางที่สั้นกว่าหัวพ่นแบบ Free-Fall ซึ่งช่องพ่นก๊าซของหัวพ่นกับท่อลำเลี้ยงน้ำโลหะถูกสร้างให้เป็นชิ้นเดียวกันหรืออยู่ชิดกันมากกว่า ดังรูปที่ 7 [14] ซึ่งมีข้อดีคือ ลดการสูญเสียพลังงานจลน์และความเร็วของก๊าซที่ใช้ในการทำให้น้ำโลหะแตกตัวสามารถผลิตอนุภาคผงโลหะที่มีขนาดเล็กและละเอียดกว่า แต่มีข้อเสียคือ ก๊าซที่ใช้ทำให้น้ำโลหะเหลวแตกตัวเป็นละอองจะหล่อเย็นอุปกรณ์ลำเลี้ยงน้ำโลหะที่ร้อนกว่า ทำให้เกิดปัญหา Thermal Shock ได้ การไหลของก๊าซบริเวณปลายเปิดของอุปกรณ์ลำเลี้ยงน้ำโลหะอาจก่อให้เกิด Back Pressure หรือ Suction Effect อย่าง

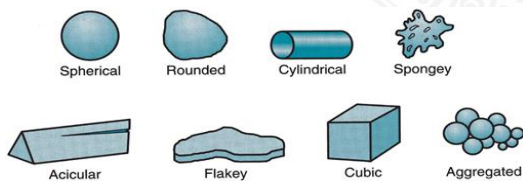
โดยอย่างหนึ่ง ซึ่ง Back Pressure เป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำโลหะ



รูปที่ 7 ลักษณะของหัวพ่นอะตอมไมซ์แบบ Close-Coupled [14]

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่าง ขนาดและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผง

ปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่าง ขนาดและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงโลหะที่ผลิตด้วยกระบวนการอะตอมไมซ์ด้วยก๊าซที่สำคัญได้แก่ 1) ชนิดก๊าซเฉื่อย ได้แก่ ไนโตรเจน อาร์กอน หรือฮีเลียม 2) น้ำโลหะเหลว ได้แก่ ชนิดของโลหะ อุณหภูมิ ความหนืด และอัตราการไหลของน้ำโลหะ 3) หัวพ่น ได้แก่ ชนิดของหัวพ่น ขนาดของท่อลำเลียงน้ำโลหะ มุมกระทำการระหว่างก๊าซที่พุ่งชนกระแทกและลำกระแส น้ำโลหะ และระยะห่างของการพุ่งชนกระแทกน้ำโลหะหรือระยะห่างระหว่างช่องพ่นก๊าซกับลำกระแส น้ำโลหะ ซึ่งการแปรเปลี่ยนค่าของตัวแปรหรือปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลให้อนุภาคผงโลหะมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป [15-16] ดังตัวอย่างลักษณะรูปร่างอนุภาคผงโลหะที่มีความแตกต่างกันที่แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 รูปร่างอนุภาคผงโลหะที่อาจเกิดขึ้นได้จากกระบวนการผลิตและตัวแปรต่าง ๆ [14]

จากการศึกษาของ B. Zheng, Y. และคณะ [17] ได้อธิบายปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างและขนาดและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงไว้ดังนี้

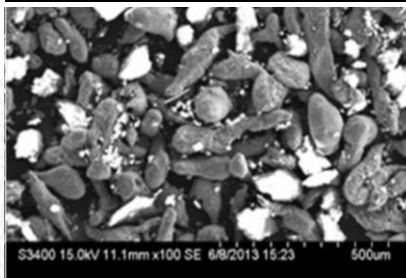
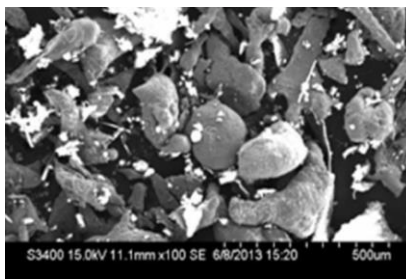
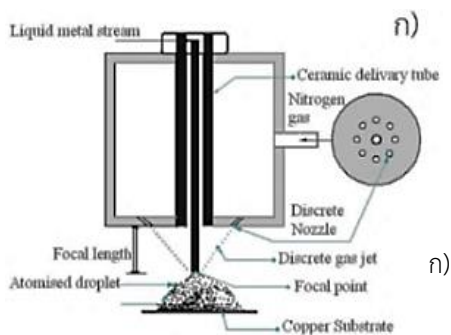
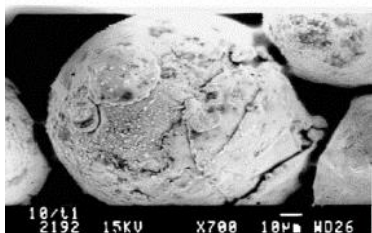
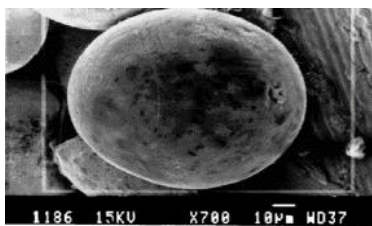
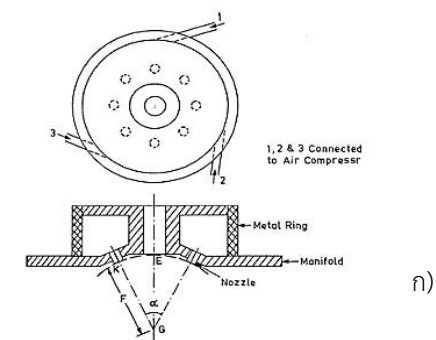
1. ชนิดของก๊าซ ที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการอะตอมไมซ์ด้วยก๊าซโดยส่วนใหญ่จะใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น อาร์กอน หรือฮีเลียม ซึ่งทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องการเกิดออกซิเดชัน แต่เนื่องจากก๊าซดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูง ซึ่งจะมีผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูง จึงมีการออกแบบห้องพ่นโลหะเหลว (Atomizing Chamber) ให้เป็นระบบที่สามารถนำก๊าซเฉื่อยที่พ่นออกไปแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ [17]

2. อัตราการไหลของก๊าซและความเร็วของก๊าซ ที่ใช้ในกระบวนการอะตอมไมซ์ด้วยก๊าซ เป็นปัจจัยสำคัญอย่างมาก สำหรับการออกแบบหัวพ่นที่กำหนดหากมีการใช้อุณหภูมิ น้ำโลหะที่เหมาะสมจะช่วยลดขนาดของอนุภาคโดยการเพิ่มความเร็วมัธยพัทธ์กับขนาดของอนุภาคและความดันก๊าซ [18]

3. อุณหภูมิและความหนืดของน้ำโลหะเหลว อุณหภูมิ น้ำโลหะมีผลต่อความหนาแน่น ความหนืด และแรงตึงผิวของน้ำโลหะ การเพิ่มอุณหภูมิ น้ำโลหะให้สูงขึ้น มีผลทำให้ความหนาแน่น ความหนืดและแรงตึงผิวของน้ำโลหะลดต่ำลง ซึ่งมีผลต่อการแตกตัวของน้ำโลหะเหลวไปเป็นละออง เมื่อถูกพ่นกระแทกด้วยก๊าซความเร็วสูง หรืออาจกล่าวได้ว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ น้ำโลหะให้สูงขึ้นความสามารถในการแตกตัวเพิ่มขึ้น และมีผลทำให้ได้อนุภาคผงโลหะที่มีขนาดเล็กลง [19]

2.4 งานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผงโลหะและหัวพ่น

Singh และคณะ [20] ได้ศึกษาการผลิตอนุภาคผงโลหะของดีบุก อลูมิเนียมและสังกะสี ด้วยกระบวนการอะตอมไมซ์ด้วยก๊าซ โดยใช้หัวพ่นแบบ Free-Fall ดังรูปที่ 9 ก) และ มีการกำหนดตัวแปรที่ทำการศึกษา ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ น้ำโลหะและมุมมองของหัวพ่น พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิ น้ำโลหะให้สูงเกิน 150 เคลวิน และการเพิ่มมุมมองของหัวพ่นจะให้นิวเคลียสของอนุภาคผงลดลง อนุภาคผงของดีบุกและสังกะสีมีลักษณะรูปร่างโค้งมนขนาดใหญ่ผิดปกติ ส่วนอนุภาคผงของอลูมิเนียม พบว่า ไม่เป็นทรงกลมมีรอยแตกตรงพื้นผิวแสดงดังในรูปที่ 9 ข)

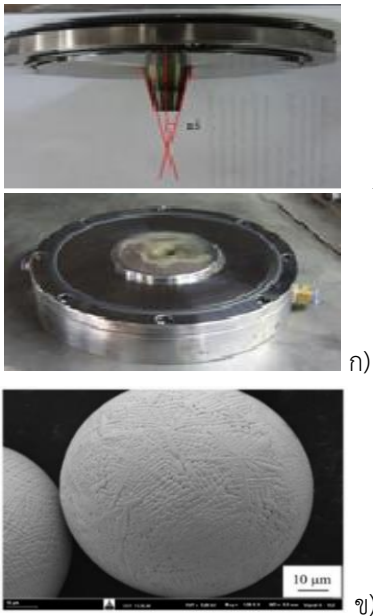


รูปที่ 9 ก) หัวพ่นเป็นแบบ Free-Fall ข) รูปร่างอนุภาคผงโลหะ[20]

Dayanand และคณะ [21] ได้ศึกษาการผลิตอนุภาคผงโลหะผสมของ Al-17Si ที่ผลิตด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ โดยใช้หัวพ่นแบบ Free-Fall ที่มีรูปปล่อยก๊าซสำหรับพ่นกระทากล้ากระแสน้ำโลหะจำนวน 6 รูที่อยู่รอบลำกระแสน้ำโลหะ ดังรูปที่ 10 ก) และมีการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย ระยะห่างแต่ละรูของหัวพ่นมุมกระทำระหว่างรูปปล่อยก๊าซกับลำกระแสน้ำโลหะ และอุณหภูมิน้ำโลหะ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคผงโลหะโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า มุมองศาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเร็วของก๊าซลดลงตามแนวแกนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ น้ำโลหะจาก 100 เป็น 200 องศาเซลเซียส ส่งผลได้อนุภาคผงโลหะที่มีขนาดเล็กและมีรูปร่างไม่สมมาตร ดังรูปที่ 10 ข)

รูปที่ 10 ก) หัวพ่นอะตอมไมซ์ ข) ภาพ SEM ของอนุภาคผง 100 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส [21]

สมหมาย และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาการผลิตอนุภาคผงโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 ด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซ โดยใช้หัวพ่นแบบ Free-Fall ดังแสดงในรูปที่ 11 ก) ที่มีการกำหนดตัวแปรที่ทำการศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิเต้าน้ำโลหะและอัตราการไหลของก๊าซ พบว่า อุณหภูมิเต้าน้ำโลหะและอัตราการไหลของก๊าซที่แตกต่างกันมีผลทำให้ขนาดรูปร่างและการกระจายตัวของอนุภาคผงโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งรูปร่างของอนุภาคผงโลหะที่ได้มีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ดอนุภาคทรงกลม ดังลักษณะที่แสดงในรูปที่ 11 ข) พื้นผิวของอนุภาคมีลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ ที่เกิดจากการที่ละอองน้ำโลหะมีสภาวะการเย็นตัวที่เร็วกว่าสภาวะสมดุลภายใต้สภาวะของการทดลองที่แตกต่างกัน



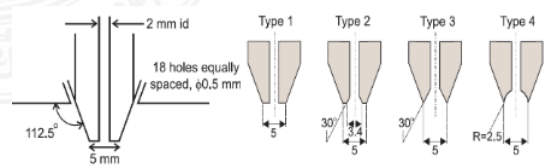
รูปที่ 11 ก) หัวพ่นแบบ Free-fall nozzle ข) รูปร่างของอนุภาคผงโลหะ[22]

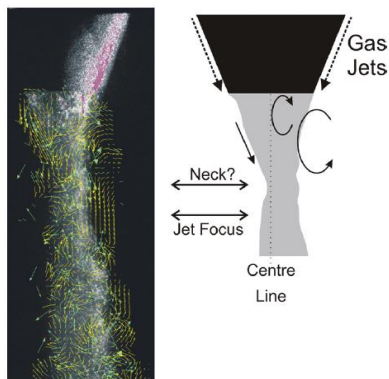
Sedat O' zbilen [23] ศึกษาอิทธิพลของแรงดันของแก๊สที่มีผลต่อรูปทรงอนุภาคของผงอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม หัวพ่นที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ Close-Coupled แก๊สอาร์กอนเป็นตัวกลางใช้แรงดัน 1.05-1.85 เมกกะปาสคาล และแก๊สฮีเลียมใช้แรงดัน 1.03-1.77 เมกกะปาสคาล ทำการตรวจสอบของผงโลหะโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผงแมกนีเซียมมีการกระจายตัวของขนาดผงระหว่าง 12.97 ถึง 24.13 ไมโครเมตร และผงอะลูมิเนียมมีการกระจายตัวของขนาดความแตกต่างกันระหว่าง จาก 9.2 ถึง 20.7 ไมโครเมตร พบว่า อนุภาคมีขนาดเล็กจะมีลักษณะทรงกลม ในขณะที่อนุภาคขนาดใหญ่จะมีลักษณะที่เป็นรูปทรงเหลี่ยมและแรงดันแก๊สอาร์กอนสูงอนุภาคผงโลหะแมกนีเซียมเป็นทรงกลม แก๊สที่มีแรงดันต่ำทำให้เกิดการผลิตที่ไม่สมบูรณ์ของผงแมกนีเซียม มีช่วงของผงที่มีความหยาบมากขึ้นพื้นผิวขรุขระไม่สม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับความดันแก๊สสูง ทั้งนี้เกิดจากการแตกตัวที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในกระบวนการของอะลูมิเนียมเปรียบเทียบกับแมกนีเซียม

Lydia Achelis และคณะ [24] ศึกษาความดันแก๊สที่ใช้ในการผลิตผงโลหะด้วยกระบวนการอะตอมไม

เซชันด้วยแก๊ส ในการศึกษาเป็นการรวมหลักการอะตอมไมเซชันสองชั้น ชั้นแรกให้ Pressure Swirl Atomizer จากนั้นพ่นด้วยหัวพ่นแบบมีศูนย์กลางเพื่อสร้างหยดทรงกลมละเอียดของโลหะ ปกติในการผลิตผงโลหะด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยแก๊ส จะมีเม็ดโลหะขนาดเล็กเกาะที่ผิวของอนุภาคของผง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านั้นจำเป็นต้องลดการหมุนวนของแก๊สภายในห้องอะตอมไม ในการทดลองนี้ใช้ดีบุกบริสุทธิ์เพื่อศึกษาลักษณะของการหลอมละลาย ผงที่ได้มาวิเคราะห์โดยเลนส์เลเซอร์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสแกน ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลกระทบระหว่างอัตราส่วนแก๊สกับโลหะหลอมเหลว รวมถึงการหมุนวนของแก๊สใจกลางการเกิดปฏิกิริยาอะตอมไมเซชัน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของรูปร่างอนุภาคผงโลหะดีบุก

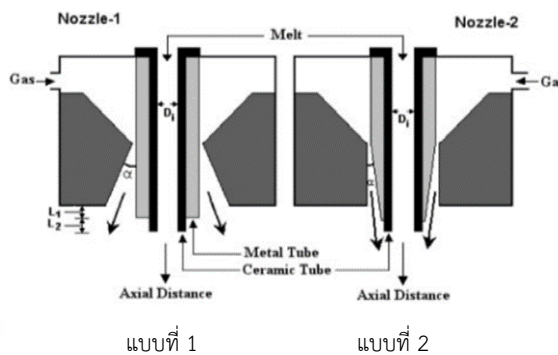
A. M. Mullis และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาการผลิตอนุภาคผงโลหะอะลูมิเนียม โดยใช้หัวพ่นแบบ Close-Coupled ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังรูปที่ 12) ซึ่งทำการเก็บข้อมูลพฤติกรรมแตกตัวเป็นละอองน้ำโลหะโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการถ่ายภาพนิ่งความเร็วสูงเพื่อให้เห็นภาพพฤติกรรมการไหลและการแตกตัวเป็นละอองของอนุภาค ซึ่งบริเวณปลายท่อลำเลียงน้ำโลหะมีลักษณะเว้าเข้ามารับการปะทะหรือกระแทก พบว่าหัวพ่นรูปแบบที่ 4 มีความเร็วของการไหลปะทะหรือกระแทกของแก๊สกับลำกระแสน้ำโลหะเพื่อให้เกิดการแตกตัวเป็นละออง ลดการสูญเสียพลังงานจลน์และความเร็วของแก๊สที่ใช้ในการทำให้น้ำโลหะแตกตัวสามารถผลิตอนุภาคผงโลหะที่มีขนาดเล็กและละเอียดกว่า





รูปที่ 12 หัวพ่นแบบ Close-Coupled ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 4 รูปแบบ และภาพถ่ายการปะทะของก๊าซกับของล้ากระแสโลหะ[25]

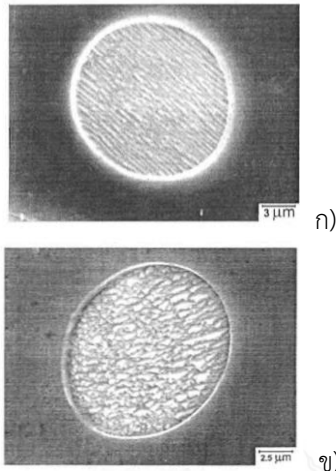
V. C. Srivastava และคณะ [26] ได้ศึกษาการผลิตอนุภาคผงโลหะผสม Al-6.5Si โดยใช้หัวพ่นแบบ Close-Coupled ที่มีการติดตั้งท่อเซรามิกเพื่อทำหน้าที่เป็นท่อลำเลียงน้ำโลหะ ซึ่งท่อเซรามิกนี้ถูกติดตั้งอยู่ในท่อโลหะอีกชั้นหนึ่ง แสดงในรูปที่ 13 ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 2 แบบ โดยการทำให้บริเวณทางออกของก๊าซมีลักษณะแตกต่างกัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการขยายตัวของก๊าซที่ออกจากหัวพ่นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตอนุภาคผงโลหะ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคือ เปลี่ยนมุมการไหลของก๊าซที่กระทำกับกระแสโลหะ (15, 30 และ 50 องศา) ระยะของท่อเซรามิกที่ยื่นพ้นท่อโลหะ (0, 2 และ 4 มิลลิเมตร) และแรงดันน้ำโลหะ (1.0 และ 1.2 เมกกะปาสกาล) โดยกำหนดตัวแปรของการทดลองคงที่ ซึ่งประกอบด้วย ขนาดท่อลำเลียงหรือล้ากระแสโลหะ (D) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร อุณหภูมิน้ำโลหะ 800 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลาง 24.5 กรัมต่อนาที พบว่า หัวพ่นแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพในผลิตหรือการทำให้โลหะแตกตัวเป็นละอองได้ดีกว่า โดยขนาดอนุภาคผงโลหะที่ผลิตได้มีขนาดเล็กกว่าและ มีการกระจายตัวของขนาดดีกว่าหัวพ่นแบบที่ 1



รูปที่ 13 หัวพ่น 2 แบบที่แตกต่างกัน [26]

Chaorun Si และคณะ [27] ได้ทดลองวิธีการทำอะตอมไมเซชัน แบบสองเฟส (Gas Solid Two Phase) สำหรับการผลิตผงโลหะ วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ 7055Al ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงข้อดีและคุณลักษณะเฉพาะของการทดลอง เมื่อความดันแก๊สอาร์กอน 0.6 เมกกะปาสกาล และอัตราการไหลอนุภาคเหล็ก 235.6 กรัมต่อนาที พบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของการกระจายตัว (d50) ที่ผลิตได้มีขนาด 22.8 ไมโครเมตร ซึ่งลดลงร้อยละ 52.7 เมื่อเทียบกับการพ่นก๊าซแบบเดิมภายใต้พารามิเตอร์การทดลองเดียวกัน (d50 = 48.2 ไมโครเมตร) ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นถึงรูปร่างที่ผิดปกติมากกว่า อัตราการระบายความร้อนของผงส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของ 104-105 กิโลกรัมต่อวินาที และสำหรับผงที่ละเอียดจะได้รับการตรวจสอบเป็นพิเศษด้านอัตราการระบายความร้อน พบว่าสามารถทำได้ถึง 106 เคลวิน/วินาที จะเห็นได้ว่ามีอัตราการระบายความร้อนได้ดีทำให้อนุภาคแข็งตัวเร็วกว่าผงโลหะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกัน การศึกษารังนี้ แสดงให้เห็นว่าเฟส Gas Solid Two Phase อาจเป็นเทคโนโลยีการเตรียมโลหะที่มีคุณภาพสูงแต่ราคาไม่แพง กิตติชัย พักพันธ์ [1] ได้ศึกษาการผลิตผงอนุภาคติบูกด้วยกระบวนการอะตอมไมเซชันด้วยก๊าซโดยใช้ติบูกบริสุทธิ์ร้อยละ 99.6 เป็นสารตั้งต้นในการผลิต ก๊าซที่ใช้พ่นเป็นไนโตรเจน ตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาในที่นี้คือ ความดันก๊าซ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อลำเลียงน้ำโลหะ และน้ำโลหะอุณหภูมิเหนือจุดหลอมละลายของติบูก เพื่อการออกแบบหัวพ่น พบว่า การพ่นด้วยแรงดันก๊าซที่ต่ำกว่า 2 เมกกะปาสกาล หัวพ่นแบบ Close-Coupled จะให้สัดส่วนน้ำหนักของอนุภาคผงติบูกที่มีขนาด

180 ไมโครเมตร ปริมาณมากกว่าการใช้หัวพ่นแบบ Free-Fall ในขณะที่การพ่นด้วยแรงดันก๊าซที่มากกว่า 2 เมกกะปาสคาล หัวพ่นทั้งสองแบบให้ปริมาณอนุภาคผงดีบุกที่มีขนาด 180 ไมโครเมตร เฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่ลักษณะรูปร่างที่ได้มีความแตกต่างกัน ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ลักษณะรูปร่างของอนุภาคผงดีบุกที่มีขนาดต่ำกว่า 20 ไมโครเมตร ซึ่งผลิตจากหัวพ่นแบบ[1]

ก) Close-Coupled ข) Free-Fall

3. สรุป

คณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการผลิตอนุภาคผงโลหะมีค่า ด้วยกระบวนการทางด้านโลหะวิทยา ศึกษาพฤติกรรมการแตกตัวของน้ำโลหะกลายเป็นละอองอนุภาคผงโลหะ ชนิดหรือรูปแบบของหัวพ่นอะตอมไมซ์ และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอนุภาคผงโลหะที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตประกอบไปด้วย รูปร่าง ขนาด และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงโลหะ กระบวนการผลิตผงโลหะโดยเน้นกระบวนการอะตอมไมซ์ด้วยก๊าซ หัวพ่นอะตอมไมซ์ที่นิยมใช้โดยทั่วไปมี 2 รูปแบบหลักๆ คือ หัวพ่นอะตอมไมซ์แบบ Free-Fall และ Close-Coupled พบว่า หัวพ่นอะตอมไมซ์ด้วยก๊าซ แบบ Close-Coupled ให้ประสิทธิภาพการผลิตที่ดีที่สุด สามารถผลิตอนุภาคผงโลหะได้รูปทรงกลมที่มีขนาดเล็ก ประกอบด้วยโลหะชนิดต่างๆ ที่ใช้อุณหภูมิหลอมเหลว มีมุมของการปะทะต่างกัน และจากการรวบรวมงานวิจัย พบว่าไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตอนุภาคผงโลหะมีค่าที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับซึ่งประเทศไทย เป็นผู้ส่งออกเครื่องประดับ

แท้ อัญมณี โลหะมีค่าและของที่หุ้มด้วยโลหะมีค่าอื่นๆ เครื่องประดับอัญมณีเทียม และอัญมณีสังเคราะห์[28] แต่ขาดเทคโนโลยีใหม่ๆ ในการผลิตเครื่องประดับทดแทนการนำเข้าอนุภาคผงโลหะเงิน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับต่อไป

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Fakpan, "Production of Tin Powder by Gas Atomization Process", M.S. thesis, Depart. Materials Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand, 2007.
- [2] Thermal Spray Technology. (2020, september 18), Thermal Spray Technology.mov, [Online] Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ah9kLdUFDQY,2563>
- [3] N. Meemongkol, "Powder metallurgy," University textbook, Songkla: Department of industrial engineering, Faculty of engineering Prince of Songkla University, 2005.
- [4] V.M. Leo Antony and Ramana G, Reddy. "Processes for Production of High-Purity Metal Powders," *JOM*, vol. 55, pp. 14–18, 2003.
- [5] S. Boonme. "Teaching Publications 431328 Powder Metallurgy," School of Metallurgical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 2020.

- [6] Material Technology Innovations Co., Ltd. (2020, September 18). Gas Atomization. [Online]. Available: <http://www.mtinov.com/index.php?ac=article&at=list&tid=14>
- [7] D. Kopeliovich. (2020, September 18). Water atomization. [Online]. Available: https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=powder_preparation
- [8] P. Sungkhaphaitoon, S. Wisutmethangoon and T. Plookpho, "Influence of Process Parameters on Zinc Powder Produced by Centrifugal Atomisation," *Materials Research*, pp. 718-724, 2017.
- [9] P. Sungkhaphaitoon, "Production of Lead-Free Solder Powder by Atomization Process," *Burapha Science Journal*, vol. 21 Jan.–Apr. 2016.
- [10] A. S. Baskoro, S. Supriadi and Dharmanto, "Review on plasma atomizer technology for metal powder," in *Proceeding of MATEC web of conferences 269*, 05004, 2019.
- [11] P. Bunnaul, S. Wisutmethangoon and L. Sikong, "Design and construction of gas atomizer for making metal powder," Research, Prince of Songkla University, 2545.
- [12] R. M. German. *Powder metallurgy sciences*. 2nd ed. New Jersey: MPIF; 1994.
- [13] D. Singh, S. C. Koria and R. K. Dube, "Study of Free-Fall Gas Atomization of Liquid Metal to Produce Powder," *Powder Metallurgy*, vol. 44, no. 2, pp, 177–184, 2001.
- [14] W. G. Hopkins, "Fine Powder, Close or Open Die Atomization," *Metal Powder Report*, vol. 45, no. 1, pp, 41–42, 1990.
- [15] Powder metallurgy is the manufacturing, (2563, October 2 8). Networks. [Online]. Available:http://thelibraryofmanufacturing.com/powder_processes.html
- [16] G. G. Nasr, A. J. Yule and L. Bendig, *Industrial Sprays and Atomization: Design, Analysis and Applications*. New York, 2002.
- [17] B. Zheng, Y. Lin, Y. Zhou and E. J. Lavernia, "Gas atomization of amorphous aluminum powder: Part II," *Metallurgical and Materials Transactions B.*, vol. 40, no. 6, pp, 995-1004, 2003.
- [18] O. Hong-wu, C. Xin and H. Bai-yun, "Influence of melt superheat on breakup process of close-coupled gas atomization," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 17, no. 5, 967-973, Oct. 2007,
- [19] J. B. See and G. H. Johnston, "Interactions Between Nitrogen Jets and Liquid Lead and Tin Streams," *Powder Technology*, vol. 21, pp. 119-133, 1978.
- [20] D. Singh and S. Dangwal, "Effects of process parameters on surface morphology of metal powders produced by Free-Fall gas atomization," *J. MATER SCI.*, vol. 41, pp. 3853–3860, 2006.
- [21] M. D. Goudar, V. C. Srivastava and G. B. Rudrakshi, "Effect of Atomization Parameters on Size and Morphology of Al-17 Si Alloy Powder Produced by Free-Fall Atomizer," *Engineering Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 155-168, 2016.
- [22] S. Thamprakon, S. Torsakul and S. Wannasri, " Influence of Melt Metal Pouring Temperature and Gas Flow Rate affecting 925 Sterling Silver Powder Particles," in *Proceedings of the 9nd National and International research conference on Local & Global Sustainability: Meeting the*

- Challenges & Sharing the Solutions*. March 20, 2018, Suan Sunandha Rajabhat University.
- [23] S. Ozbilen, "Influence of atomising gas pressure on particle shape of Al and Mg Powders," *Powder Technology*, vol. 102, pp. 109–119, 1999.
- [24] L. Achelis and V. Uhlenwinkel, "Characterisation of metal powders generated by a pressure gas atomizer," *Materials Science and Engineering A*, vol. 477, pp. 15–20, 2008.
- [25] A. M. Mullis, I. N. McCarthy and R. F. Cochrane, "High Speed imaging of the flow during Close-Coupled gas atomization: Effect of melt delivery nozzle geometry," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 211, pp. 1471–1477, 2011.
- [26] V. C. Srivastava and S. N. Ojha, "Effect of aspiration and gas–melt configuration in close coupled nozzle on powder productivity," *Powder Metallurgy*, vol. 49, no. 3, pp. 211–218, 2014.
- [27] C. Si, "Characteristics of 7055Al alloy powders manufactured by gas-solid two-phase atomization A comparison with gas atomization process," *Materials and Design*, vol. 118, pp. 66–74, 2017.
- [28] Department of International Trade Promotion Ministry of Commerce. (2021, May 10). Information about the export situation of gems and jewelry. (January - December 2020). [Online]. Available: <https://www.ditp.go.com>

