บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิเกินจุดหลอมของโลหะ(Superheat of molten metal)

โดยทั่วไประดับอุณหภูมิเกินจุดหลอมเหลวที่ใช้สำหรับกระบวนการอะตอมไมเซชัน จะอยู่ในช่วง 75 ถึง 150°C (ASM, 1984) จากผลการทดลองที่ได้ทดลองใช้กับโลหะทุกชนิดในการทำวิจัยนี้พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิเกินจุดหลอมเหลวในระดับสูงสุด คือ 150°C จะสามารถทำให้การแตกตัวของโลหะเหลวสามารถแตกกระจายเป็นละอองขนาดเล็กได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิเกินจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อโลหะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากระดับจุดหลอมเหลวจะทำให้มีความหนืดลดลง การไหลตัวดีขึ้น ง่ายต่อการแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็กเมื่อถูกแรงกระแทกจากแก๊ส ในทางกลับกันหากระดับอุณหภูมิเกินจุดหลอมมีระดับลดลง คือเข้าใกล้จุดหลอมเหลวจะส่งผลให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น การไหลตัวไม่ดี ทำให้โอกาสที่จะแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็กเกิดขึ้นได้น้อยลง สำหรับอุณหภูมิเกินจุดหลอมในระดับที่สูงมากกว่า 150°C จะไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้เพราะโลหะเกือบทุกชนิดจะทำปฏิกริยากับอ็อกซิเจน และไฮโดรเจนได้มากขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อโลหะอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะยิ่งทำให้อ็อกซิเจน และไฮโดรเจนซึ่งเป็น Soluble gas สามารถละลายในน้ำโลหะได้มากขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาให้เกิดขึ้นในกระบวนการหลอมโลหะ เว้นเสียแต่ว่าจะสามารถทำการหลอมและพ่นโลหะเหลวภายใต้ภาวะที่มีการควบคุมบรรยากาศ

5.1.2 อิทธิพลของอัตราการไหลของโลหะหลอม(Molten metal flow rate)

อัตราการไหลของโลหะหลอมจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณและแรงดันของแก๊สที่ใช้พ่นเพื่อทำให้โลหะเหลวเกิดการแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็ก(เมื่อโลหะเหลวมีค่าความหนืดและความสามารถในการไหลตัวที่ค่าคงที่ใดๆ) จากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่า เมื่อใช้ค่าแรงดันของแก๊สที่ค่าใดๆก็ตาม ทำการพ่นโลหะเหลวที่มีอัตราการไหลในปริมาณต่าง ๆ และให้โลหะแต่ละชนิดมีระดับอุณหภูมิเกินจุดหลอมที่ระดับต่าง ๆ ปรากฏผลคือเมื่อใช้อัตราการไหลของโลหะเหลวน้อยสุด(ในการทำวิจัยนี้ควบคุมอัตราการไหลโดยกำหนดขนาดความโตผ่านศูนย์กลางของหัวจ่ายโลหะเหลว คือ ∅ 2 mm, ∅ 3 mm, ∅ 4 mm) จะมีผลทำให้การแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็กของโลหะเหลวเกิดขึ้นได้มากกว่าการใช้อัตราการไหลของโลหะเหลวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการดังกล่าวเกิดขึ้นกับโลหะทุกชนิดที่ใช้ในการทดลอง

5.1.3 อิทธิพลของแรงดันแก๊ส(Gas pressure)

จากผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองไปทั้งสิ้นจำนวน 162 การทดลอง ซึ่งเป็นการทดลองที่ได้มีการกำหนดใช้ตัวแปรควบคุมภาวะการทำงานของเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์ในภาวะต่าง ๆดังรายละเอียดการทดลองที่ผ่านมา จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองพบว่าแรงดันของแก๊สที่ใช้พ่นโลหะเหลวให้เกิดการแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็กเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากเป็นอันดับหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากว่าแก๊สที่มีแรงดันสูงเมื่อพุ่งชนหรือกระแทกของเหลวย่อมทำให้ของเหลวแตกกระจายเป็นละอองขนาดเล็กได้มากกว่าแก๊สที่มีแรงดันต่ำกว่า และจากผลการทดลองปรากฏผลคือ เมื่อใช้ภาวะควบคุมการทำงานให้โลหะเหลวมีระดับอุณหภูมิเกินจุดหลอมที่ระดับใดๆ(เฉพาะกรณีที่ใช้ในการทำวิจัยนี้คือ 50, 100, 150°C) และที่อัตราการไหลของโลหะเหลวปริมาณต่าง ๆ ภาวะการทำงานจะดีที่สุดเมื่อใช้แรงดันแก๊สสูงสุด (140 psi) นั่นคือทำให้สามารถผลิตผงโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า 210μm ได้ในปริมาณมากกว่าการใช้แรงดันแก๊สที่ต่ำลงซึ่งเกิดขึ้นกับโลหะทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 2.3 (Coombs et al, 1990)

$$d_{av} = K_1 \frac{D^{1/2}\left(1 + M/A\right)^{1/2}}{\left(P+1\right)} \qquad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ d_{av} คือ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงโลหะ (μ m)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อจ่ายโลหะเหลว (mm)

M คือ อัตราการไหลของโลหะเหลว (kg / min)

A คือ อัตราการไหลของแก๊สหรืออากาศ (kg / min)

P คือ แรงดันของแก๊ส (bar)

K_1 คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับสมบัติเฉพาะทั้งของแก๊สและโลหะ

จากสมการที่ 2.3 ชี้ให้เห็นว่า เมื่อใช้อัตราการไหลของโลหะเหลวน้อยซึ่งในที่นี้ควบคุมโดยการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำโลหะเหลว และเมื่อใช้แรงดันอากาศในค่าที่สูงเพิ่มขึ้นก็จะมีผลทำให้ได้อนุภาคผงโลหะที่มีขนาดเฉลี่ยเล็กลง ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองดังได้แสดงไว้ในตอนต้น จากผลของข้อมูลซึ่งได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันของแก๊สที่ใช้ในการพ่นโลหะเหลวเป็นตัวแปรที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้กว้างมาก โดยเฉพาะในทางที่เพิ่มสูงขึ้น เพราะจากผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้แรงดันของแก๊สเพิ่มขึ้นก็จะทำให้โลหะเหลว

สามารถแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็กได้มากขึ้น ซึ่งหมายถึงการได้ผลผลิตผงโลหะขนาดเล็กเพิ่มขึ้น และหากสามารถสร้างแรงดันแก๊สได้สูงมากขึ้นกว่าที่ใช้ในการทดลองนี้ก็จะทำให้สามารถผลิตผงโลหะชนิดต่าง ๆที่มีขนาดเล็กกว่า 210μm ได้ในอัตราส่วนต่อโลหะเหลวที่ใช้ในการพ่นแต่ละครั้งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณผงโลหะขนาดเล็กกว่า 210μm ของโลหะชนิดต่าง ๆที่ผลิตได้จากการใช้ภาวะควบคุมการทำงานที่กำหนดใช้อุณหภูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะเหลวสูงสุด อัตราการไหลของโลหะเหลวต่ำสุด และแรงดันแก๊สสูงสุด ทำให้สามารถผลิตผงโลหะชนิดต่าง ๆได้อัตราส่วนต่อโลหะเหลวดังนี้

- ผงโลหะดีบุก (- 210μm) เปอร์เซ็นต์ที่ได้ 49.6
- ผงโลหะอะลูมิเนียม (- 210μm) เปอร์เซ็นต์ที่ได้ 44.8
- ผงโลหะทองแดง (- 210μm) เปอร์เซ็นต์ที่ได้ 59.8
- ผงโลหะดีบุกผสมตะกั่ว (- 210μm) เปอร์เซ็นต์ที่ได้ 47.4
- ผงโลหะอะลูมิเนียมผสมทองแดง (- 210μm) เปอร์เซ็นต์ที่ได้ 44.6
- ผงโลหะทองแดงผสมสังกะสี (- 210μm) เปอร์เซ็นต์ที่ได้ 52.4

จากสมมุติฐานของการวิจัยซึ่งได้ประมาณการไว้ว่าปริมาณผงโลหะที่ได้ควรมีปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำโลหะที่ใช้ ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามสมมุติฐานที่วางไว้ นอกจากนั้นผงโลหะที่ได้จากผลิต ได้ถูกนำไปใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการสำหรับการศึกษาวิจัยเรื่องต่าง ๆที่เกี่ยวข้องแล้วในหลาย ๆโครงการ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อจำกัดของเครื่องมือและอุปกรณ์

จากการดำเนินโครงการที่ผ่านมามีข้อจำกัดของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆที่นำมาใช้งานร่วมกับเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์แนวนอนหลายประการ ดังนี้

1) เครื่องอัดอากาศ เป็นเครื่องอัดอากาศที่มีอยู่แล้ว มีขนาดความจุของถังพักอากาศ 200 ลิตร สามารถสร้างแรงดันสูงสุดได้ที่ 140 psi ซึ่งเป็นข้อจำกัดอันหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองในกรณีการพ่นด้วยค่าแรงดันที่สูงกว่านี้ นอกจากนั้นยังเป็นข้อจำกัดที่ทำให้ไม่สามารถออกแบบให้หัวฉีดแก๊ส(Gas nozzle) มีขนาดและรูปแบบที่แตกต่างไปจากที่ได้ออกแบบไปแล้วได้มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของขนาด ซึ่งหากสามารถเพิ่มขนาดความโตของหัวฉีดได้มากขึ้นพร้อมกับสามารถให้แรงดันของแก๊สที่พ่นออกได้สูงขึ้นด้วย ก็จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของโลหะเหลวได้มากขึ้นด้วย (ค่าแรงดันแก๊สที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ 50 – 1,200 psi)

2) ชุดตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในการคัดแยกขนาดผงโลหะ จากการปฏิบัติงานพบว่าการใช้เครื่องคัดแยกขนาดเพียงชุดเดียวทำการคัดแยกขนาดผงโลหะหลายๆชนิดมักเกิดปัญหาในเรื่องการปนเปื้อนระหว่างผงโลหะต่างชนิดกัน โดนเฉพาะผงโลหะที่มีรูปร่างแบบ Irregular ซึ่งเป็นชนิดที่มีโอกาสฝังติดอยู่กับช่องตะแกรงขนาดต่าง ๆได้แน่นมาก ยากต่อการทำความสะอาดให้หมดไป เมื่อนำผงโลหะอีกชนิดหนึ่งเข้าทำการคัดขนาดด้วยตะแกรงชุดเดิมจึงมีโอกาสทำให้ผงโลหะเก่าซึ่งติดค้างอยู่หลุดปนออกมาได้ ทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของผงโลหะต่างชนิดกัน

5.2.2 แนวทางการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์

จากลักษณะของเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์แนวนอนที่จัดสร้างขึ้นจะมีข้อจำกัดอยู่บ้าง ซึ่งสามารถปรับปรุงและพัฒนาในส่วนต่าง ๆให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ โดยมีแนวทางดังต่อไปนี้

1) ชุดจ่ายและพ่นโลหะเหลว(Tundish) หากพัฒนาโดยสร้างให้เป็นส่วนเดียว(Build in)กับห้องพ่นโลหะเหลว(Atomizing chamber) น่าจะทำให้การควบคุมภาวะการทำงานในด้านต่าง ๆสามารถควบคุมได้ดีขึ้น และหากเปลี่ยนเป็นการให้ความร้อนโดยใช้ระบบการเหนี่ยวนำ (Induction) ก็จะทำให้สามารถประยุกต์ใช้กับการผลิตโลหะผงได้หลากหลายชนิดมากขึ้น ในส่วนของการพ่นโลหะเหลวซึ่งจากข้อมูลที่ได้พบว่าแรงดันของแก๊สเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากและในทางปฏิบัติก็เป็นการยากในการที่จะผลิตแก๊สที่มีแรงดันสูงมาก ๆ โดยที่สามารถจ่ายออกได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ ซึ่งหากเปลี่ยนจากแก๊สเป็นของเหลวเช่นน้ำ น่าจะมีความเป็นไปได้มากในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าการเพิ่มแรงดันให้กับของเหลวสามารถควบคุมและกระทำได้ง่ายกว่าการกระทำกับแก๊ส

2) ห้องพ่นโลหะเหลว(Atomizing chamber) หากทำการปรับปรุงให้เป็นระบบปิด หรือเป็นระบบสุญญากาศก็จะทำให้สามารถใช้แก๊สเฉื่อย(Inert gas) แทนอากาศทำการพ่นโลหะเหลวสำหรับทำการผลิตผงโลหะที่ต้องการคุณภาพสูงได้ โดยจะต้องมีระบบดูดแก๊สกลับมาวนใช้ซ้ำ และระบบทำความสะอาดแก๊ส(Recirculation and purification system) ทั้งนี้เนื่องจากแก๊สเฉื่อยมีราคาค่อนข้างสูงมาก สำหรับกรณีการใช้ของเหลวเช่นน้ำแทนแก๊ส การออกแบบห้องพ่นโลหะเหลวจะมีความแตกต่างกันเป็นอย่างมาก เพราะจะต้องมีระบบการปรับสภาพของน้ำหรือของเหลวที่ใช้แล้วก่อนทิ้งหรือการนำวนกลับมาใช้ใหม่

3) หัวจ่ายโลหะเหลวซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของโลหะเหลว หากสามารถประยุกต์ใช้อะลูมินาซีเมนต์ หรือวัสดุอื่นที่เหมาะสมและราคาไม่สูงมากนักแทนที่การใช้ท่อเซรามิกได้ จะทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อครั้งลงได้เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนดังกล่าวจะใช้งานได้เพียงครั้งเดียวซึ่งต้องเปลี่ยนและทำการติดตั้งใหม่ทุกครั้งเมื่อจะผลิตผงโลหะในครั้งต่อไป