

บทที่ 3

ขั้นตอนการวิจัย การออกแบบและสร้างเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบและสร้างเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์แนวนอนเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรควบคุมที่มีผลต่อขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงโลหะ จากการผลิตโดยวิธีแก๊สอะตอมไมเซชัน ซึ่งตัวแปรควบคุมดังกล่าวได้แก่

- ความดันของแก๊ส
- อุณหภูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะหลอม
- อัตราการไหลของโลหะหลอม

เพื่อให้การทำวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ผู้วิจัยกำหนดใช้ระเบียบวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research method) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1. ออกแบบ และสร้างเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์แนวนอน
2. ทดสอบการทำงานของเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์แนวนอน
3. ทดลองการผลิตผงโลหะบางชนิด เพื่อนำผลที่ได้มาใช้ปรับปรุงแก้ไขการทำงานของเครื่อง

3.1 ออกแบบ และสร้างเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์แนวนอน

การดำเนินงานในขั้นตอนนี้ เป็นการออกแบบเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์แนวนอนซึ่งได้ประยุกต์นำเอาหลักการของเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์แบบต่าง ๆ และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งหลายๆท่านได้ทำวิจัยไว้แล้ว นำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์แนวนอนให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ตลอดจนให้สามารถนำเอาอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็นบางอย่างที่มีอยู่แล้วมาใช้งานร่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ประการสำคัญเนื่องจากโครงการนี้มีงบประมาณที่จำกัดการออกแบบจึงมีข้อจำกัดอยู่บ้าง การดำเนินงานในขั้นตอนนี้แบ่งเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

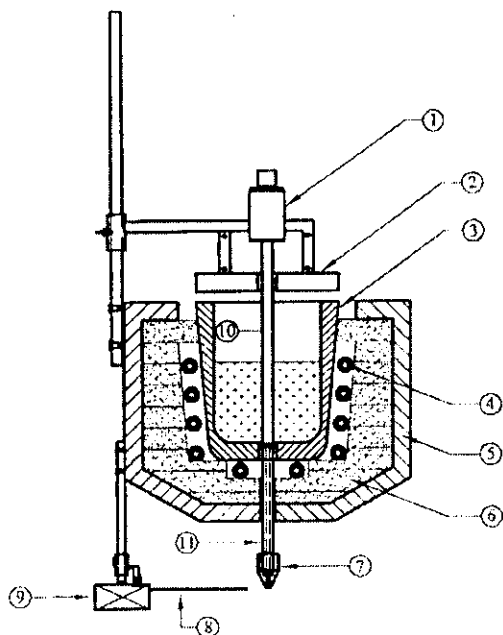
- ออกแบบและสร้างเครื่องจ่ายโลหะเหลว (Tundish)
- ออกแบบและสร้างห้องพ่นโลหะเหลว (Atomizing chamber)
- ออกแบบและสร้างเตาหลอมโลหะชนิดเบ้า (Crucible furnace)

3.1.1 ออกแบบและสร้างเบ้าจ่ายโลหะเหลว (Tundish)

เนื่องจากการทำวิจัยนี้มีขอบเขตที่จะทดลองทำการผลิตผงโลหะชนิดต่าง ๆ ที่มีจุดหลอมเหลวไม่เกิน $1,100^{\circ}\text{C}$ ซึ่งโลหะที่จะทดลองเหล่านั้นมีทั้งชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ และชนิดที่มีความหนาแน่นสูง ดังนั้นการออกแบบระบบการจ่ายโลหะเหลวจึงกำหนดให้เป็นการจ่ายโลหะเหลวลงด้านล่าง ทั้งนี้เพื่อให้มีความเหมาะสมและครอบคลุมต่อการใช้งานได้กับโลหะหลายชนิด นอกจากนั้นเครื่องจ่ายโลหะเหลวต้องสามารถให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิได้อย่างถูกต้อง (ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 200°C ถึง $1,200^{\circ}\text{C}$) ตลอดจนสามารถควบคุมจังหวะการจ่ายและปรับเปลี่ยนปริมาณการไหลของโลหะเหลวได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรควบคุม คือ

- อุณหภูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะเหลว
- อัตราการไหลของโลหะเหลว

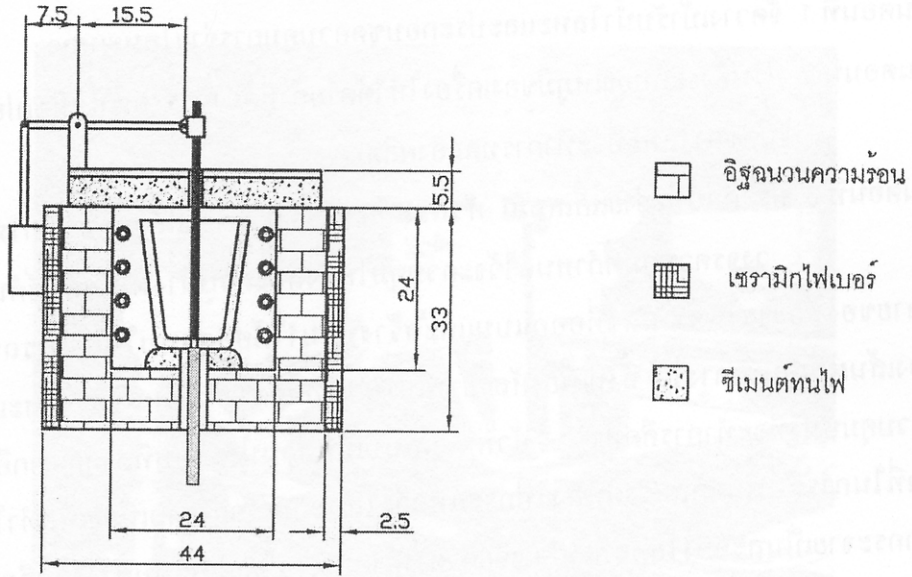
เมื่อได้ข้อกำหนดในหน้าที่หลักที่ชุดจ่ายโลหะเหลวจะต้องมีแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดขนาด กลไกของชิ้นส่วนต่าง ๆ และชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการสร้าง โดยมีแบบที่จะทำการสร้าง ดังรูปที่ 3.1



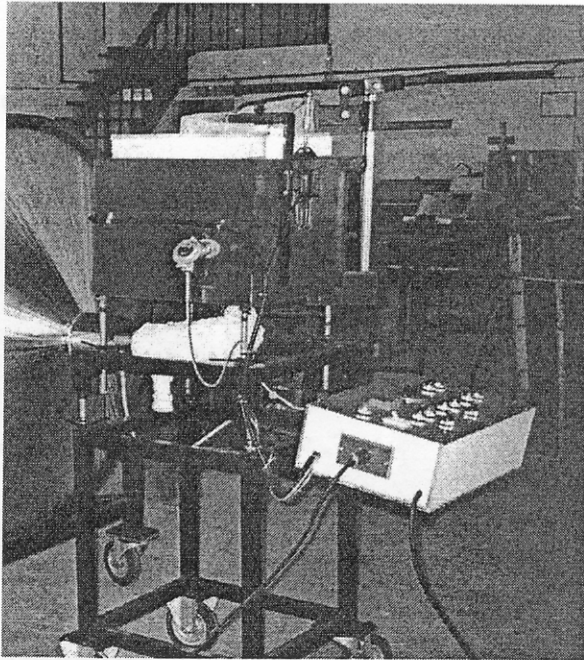
| No. | Part |
|-----|-----------------------|
| 1 | Solenoid |
| 2 | Cover plate |
| 3 | Crucible |
| 4 | Heating element |
| 5 | Ceramic fiber |
| 6 | Insulator brick |
| 7 | Melt metal tip nozzle |
| 8 | Air or Gas nozzle |
| 9 | Solenoid valve |
| 10 | Carbon rod |
| 11 | Ceramic tube |

รูปที่ 3.1 แบบร่างแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเบ้าจ่ายโลหะเหลว

จากแบบร่างที่ออกแบบไว้เบื้องต้น ขั้นตอนต่อไปเป็นการดำเนินการสร้างเบ้าจ่ายโลหะเหลวตามแบบซึ่งมีการปรับปรุงแบบและขนาดให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการจัดวางอิฐฉนวนและชุดลดความร้อนของเบ้าจ่ายโลหะเหลว



รูปที่ 3.3 เบ้าจ่ายโลหะเหลวที่ดำเนินการสร้างเสร็จแล้ว

จากรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องจ่ายและพ่น โลหะเหลวซึ่งได้ออกแบบกลไกการทำงานและระบบควบคุมให้ทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติโดยมีขั้นตอนการทำงานของเครื่องดังต่อไปนี้

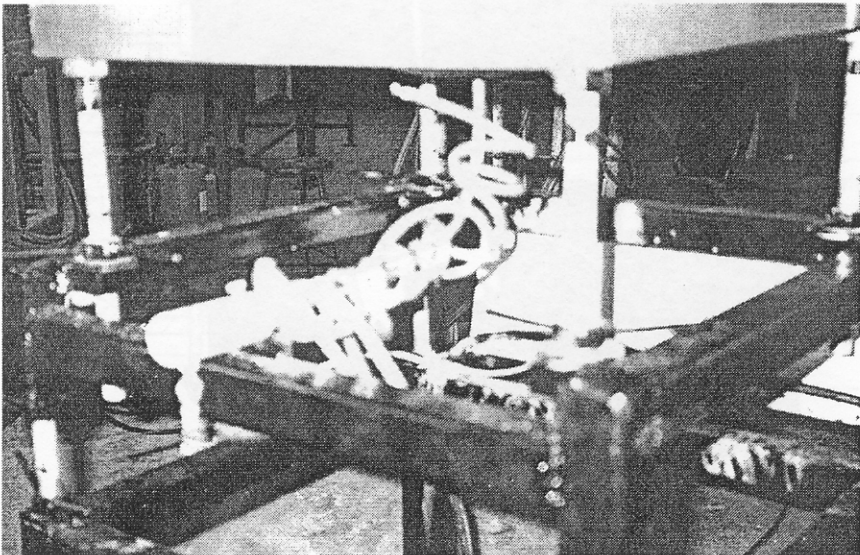
ขั้นตอนที่ 1 จัดวางเบ้ารับน้ำโลหะและประกอบชุดควบคุมการจ่ายโลหะเหลว

ขั้นตอนที่ 2 ปรับตั้งระดับอุณหภูมิของเครื่องให้ได้ตามค่าที่ต้องการ (อุณหภูมิซูเปอร์ฮีทตามชนิดของโลหะที่จะทำการทดลองผลิต)

ขั้นตอนที่ 3 ประกอบท่อจ่ายแก๊ส(ลม) หัวพ่นแก๊ส (Gas nozzle) แล้วทดสอบการทำงานซึ่งวางจรรยาบรรณที่กำหนดไว้จะควบคุมให้ทั้งสองส่วนทำงานสัมพันธ์กัน

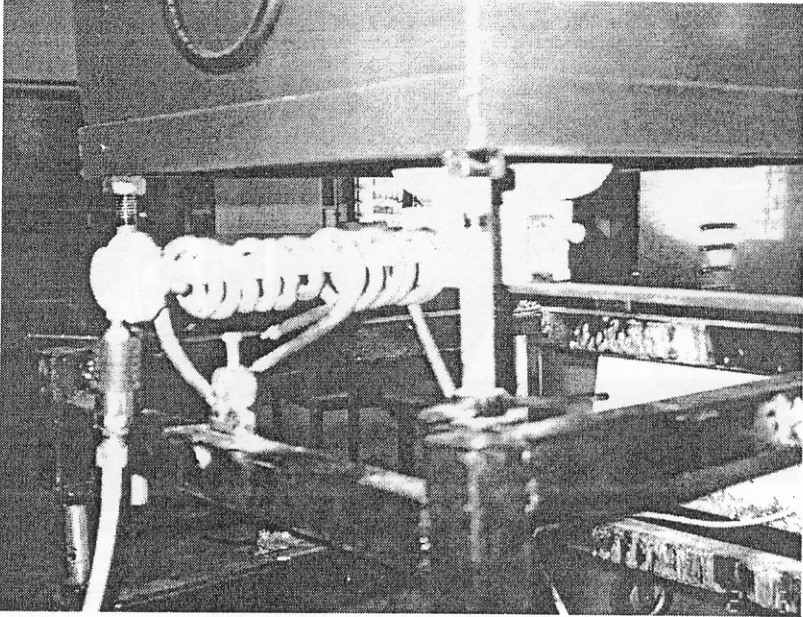
ปลายของท่อจ่ายโลหะเหลวที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาได้ออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางได้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของโลหะเหลวซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมหนึ่งที่จะทำการศึกษา หัวพ่นแก๊สนับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่งซึ่งมีหน้าที่ในการฉีดพ่นแก๊สแรงดันสูงไปกระแทกลำโลหะเหลวอย่างต่อเนื่องเพื่อทำให้ลำโลหะเหลวแตกกระจายเป็นละอองโลหะที่เล็กละเอียด การดำเนินงานได้ออกแบบสร้างหัวฉีดแบบต่าง ๆ เพื่อหาประสิทธิภาพการพ่นโลหะเหลวของหัวพ่นแต่ละแบบ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าหัวฉีดแบบใดให้ประสิทธิภาพดีและเหมาะสมที่สุดสำหรับถังอะตอมไมเซอร์แนวนอน หัวฉีดที่ได้ออกแบบสร้างเพื่อใช้ในการทดลองมีแบบต่าง ๆ ดังนี้

- แบบ Confined (closed) nozzle | แนวพู่ของแก๊สนานกับลำโลหะเหลว



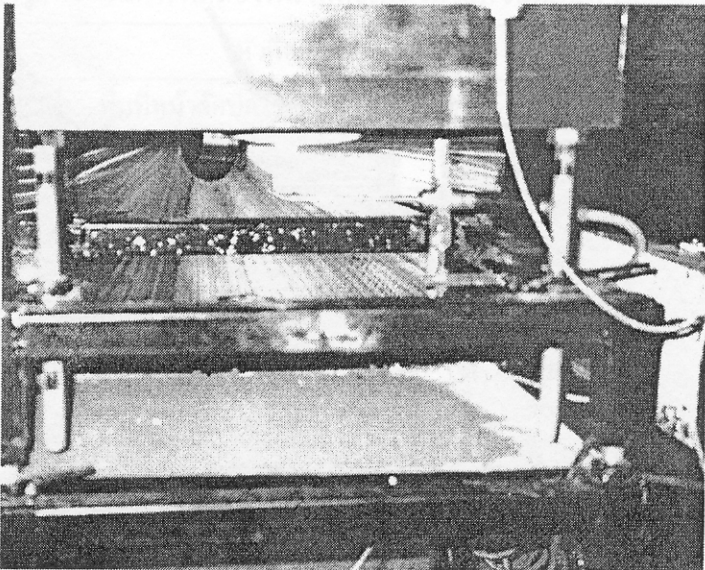
รูปที่ 3.4 Confined (closed) nozzle ลักษณะที่ 1

- แบบ Confined (closed) nozzle II แนวพุ่งของแก๊สปรับมุมได้ 3 – 5 องศา



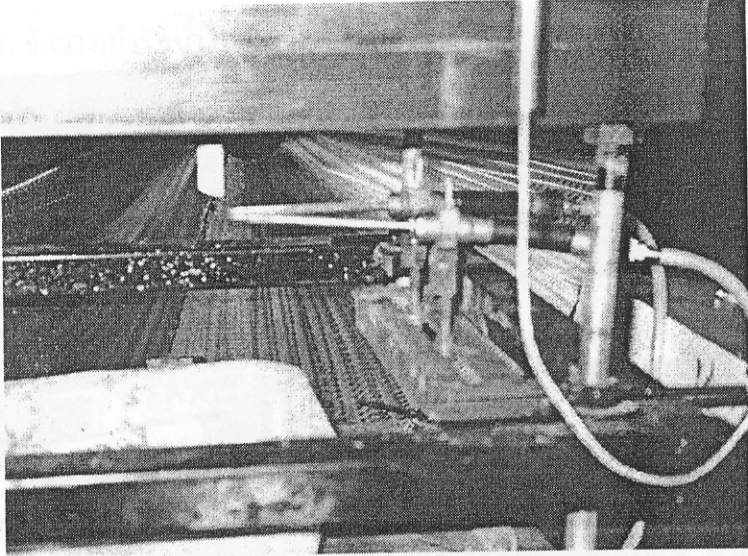
รูปที่ 3.5 Confined (closed) nozzle ลักษณะที่ 2

- แบบ Single jet nozzle



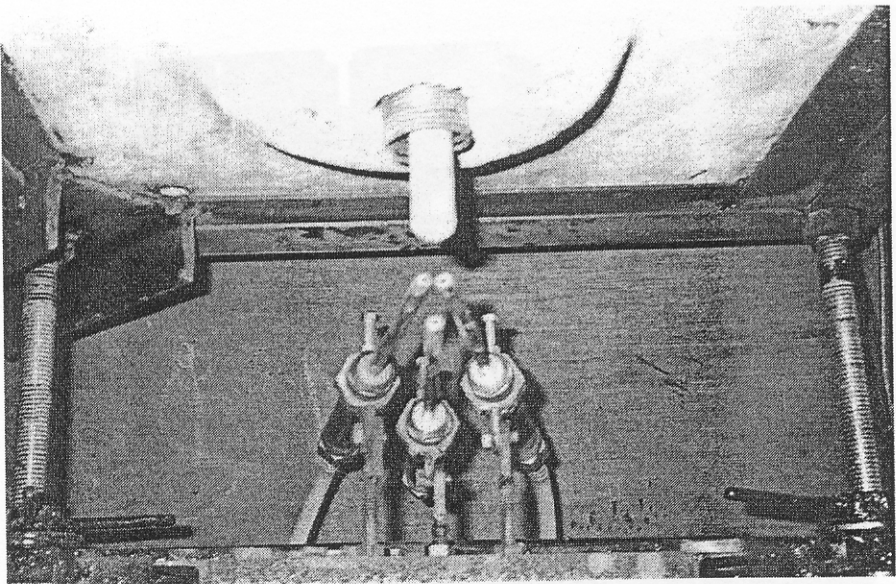
รูปที่ 3.6 หัวฉีดแบบ Single jet nozzle

- แบบ Double jet nozzle



รูปที่ 3.7 หัวฉีดแบบ Double jet nozzle

- แบบ Triple jet nozzle



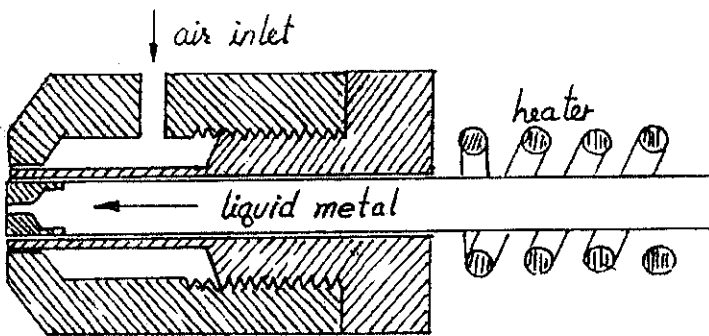
รูปที่ 3.8 หัวฉีดแบบ Triple jet nozzle

หัวฉีดทั้ง 5 แบบที่จัดสร้างและภายหลังการทดลองพ่นโลหะเหลว ได้กำหนดใช้เงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

- โลหะเหลวที่ใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพหัวพ่นทั้ง 5 แบบ คือ โลหะดีบุก
- อุณหภูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะเหลว 150°C
- แรงดันอากาศที่ใช้ในการทดลอง 140 psi (เป็นค่าแรงดันสูงสุดของเครื่องอัดอากาศ)
- ปริมาณโลหะเหลวที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง 1,500 กรัม

จากทดลองพบว่าหัวฉีดแต่ละแบบให้ผลที่แตกต่างกัน และบางแบบมีข้อจำกัดในตัวเองดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) หัวฉีดแบบ Confined (closed) nozzle I



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะภายในของหัวฉีดแบบ Confined (closed) nozzle I

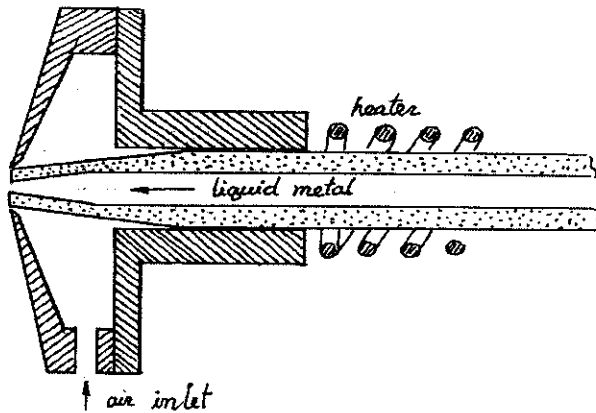
ตารางที่ 3.1 แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลองพ่นโลหะเหลวด้วยหัวฉีดแบบ Confined I

| หัวฉีดแบบ Confined I | | | |
|----------------------|--|----------------------------------|---------------------|
| ลักษณะปลายพ่นแก๊ส | พื้นที่หน้าตัดปลายพ่นแก๊ส (ม.ม.) ² | ∅ ปลายท่อ จ่ายโลหะเหลว (ม.ม.) | แรงดันแก๊ส (psi) |
| Annular | 4 | 3 | 140 |

จากการทดลองพบว่าหัวฉีดแบบ Confined I ให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดี โดยมีข้อจำกัด คือ

- ได้ผงโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า $210 \mu\text{m}$ ในปริมาณต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของโลหะที่พ่น
- โลหะเหลวถ่ายเทความร้อนให้กับชุดหัวพ่นแก๊สมากทำให้โลหะแข็งตัวค้างในท่อจ่ายก่อนที่จะไหลได้หมด ทำให้มีโลหะตกค้างในเบ้าจ่ายโลหะเหลวปริมาณมาก
- แรงดันของอากาศมีค่าลดลงเร็วมาก (หลังจาก 30 วินาที)

2) หัวฉีดแบบ Confined (closed) nozzle II



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะภายในของหัวฉีดแบบ Confined (closed) nozzle II

ตารางที่ 3.2 แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลองพ่นโลหะเหลวด้วยหัวฉีดแบบ Confined II

| หัวฉีดแบบ Confined II | | | |
|-----------------------|--|----------------------------------|---------------------|
| ลักษณะปลายพ่นแก๊ส | พื้นที่หน้าตัดปลายพ่นแก๊ส ปรับระยะได้ (ม.ม.) ² | ∅ ปลายท่อ จ่ายโลหะเหลว (ม.ม.) | แรงดันแก๊ส (psi) |
| Annular | 3 - 6 | 3 | 140 |

ผลจากการทดลองพบว่าหัวฉีดแบบ Confined II ให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดี โดยมีข้อจำกัด คือ

- ได้ผงโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า $210 \mu\text{m}$ ในปริมาณต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของโลหะที่พ่น
- โลหะเหลวถ่ายเทความร้อนให้กับชุดหัวพ่นแก๊สมากทำให้โลหะแข็งตัวค้างในท่อจ่ายก่อนที่จะไหลได้หมด ทำให้มีโลหะตกค้างในเบ้าจ่ายโลหะเหลวปริมาณมาก
- แรงดันของอากาศมีค่าลดลงเร็วมาก (หลังจาก 35 วินาที)

3) หัวฉีดแบบ Single jet nozzle (ดังรูปที่ 3.6)

ตารางที่ 3.3 แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลองพ่นโลหะเหลวด้วยหัวฉีดแบบ Single jet nozzle

| หัวฉีดแบบ Single jet nozzle | | | |
|-----------------------------|---|----------------------------------|---------------------|
| ลักษณะปลายพ่นแก๊ส | พื้นที่หน้าตัดปลายพ่นแก๊ส ปรับมุมและระยะพ่นได้ (ม.ม.) ² | ∅ ปลายท่อ จ่ายโลหะเหลว (ม.ม.) | แรงดันแก๊ส (psi) |
| Annular | 3.14 | 3 | 140 |

จากการทดลองพบว่าหัวฉีดแบบ Single jet nozzle ให้ประสิทธิภาพค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับสองแบบแรก คือ

- ได้ผงโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า $210 \mu\text{m}$ ในปริมาณมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของโลหะที่พ่น
- การสูญเสียความร้อนของโลหะเหลวเกิดขึ้นน้อยมาก ทำให้มีโลหะแข็งตัวค้างในท่อจ่ายโลหะเหลวน้อยลง
- แรงดันของอากาศลดลงไม่มากนัก (หลังจาก 45 วินาที)

4) หัวฉีดแบบ Double jet nozzle (ดังรูปที่ 3.7)

ตารางที่ 3.4 แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลองพ่นโลหะเหลวด้วยหัวฉีดแบบ Double jet nozzle

| หัวฉีดแบบ Double jet nozzle | | | |
|-----------------------------|---|----------------------------------|---------------------|
| ลักษณะปลายพ่นแก๊ส | พื้นที่หน้าตัดปลายพ่นแก๊ส ปรับมุมและระยะพ่นได้ (ม.ม.) ² | ∅ ปลายท่อ จ่ายโลหะเหลว (ม.ม.) | แรงดันแก๊ส (psi) |
| Annular | 3.14×2 | 3 | 140 |

จากการทดลองพบว่าหัวฉีดแบบ Double jet nozzle ให้ประสิทธิภาพค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับสามแบบแรก คือ

- ได้ผงโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า $210 \mu\text{m}$ ในปริมาณมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของโลหะที่พ่น
- การสูญเสียความร้อนของโลหะเหลวเกิดขึ้นน้อยมาก ทำให้มีโลหะแข็งตัวค้างในท่อจ่ายโลหะเหลวน้อยลง
- แรงดันของอากาศลดลงไม่มากนัก (หลังจาก 45 วินาที)

5) หัวฉีดแบบ Triple jet nozzle (ดังรูปที่ 3.8)

ตารางที่ 3.5 แสดงภาวะที่ใช้ในการทดลองพ่นโลหะเหลวด้วยหัวฉีดแบบ Triple jet nozzle

| หัวฉีดแบบ Triple jet nozzle | | | |
|-----------------------------|---|----------------------------------|---------------------|
| ลักษณะปลายพ่นแก๊ส | พื้นที่หน้าตัดปลายพ่นแก๊ส ปรับมุมและระยะพ่นได้ (ม.ม.) ² | ∅ ปลายท่อ จ่ายโลหะเหลว (ม.ม.) | แรงดันแก๊ส (psi) |
| Annular | 3.14 x 3 | 3 | 140 |

จากการทดลองพบว่าหัวฉีดแบบ Triple jet nozzle ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับทุกๆ แบบที่กล่าวมา คือ

- ได้ผงโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า $210 \mu\text{m}$ ในปริมาณมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ของโลหะที่พ่น
- การสูญเสียความร้อนของโลหะเหลวเกิดขึ้นน้อยมาก ทำให้มีโลหะแข็งตัวค้างในท่อจ่ายโลหะเหลวนี้น้อยลง
- แรงดันของอากาศลดลงไม่มากนัก (หลังจาก 40 วินาที)

หมายเหตุ หัวฉีดแบบที่ 3 4 และ 5 จะมีลักษณะการทำงานในแบบ Free - fall

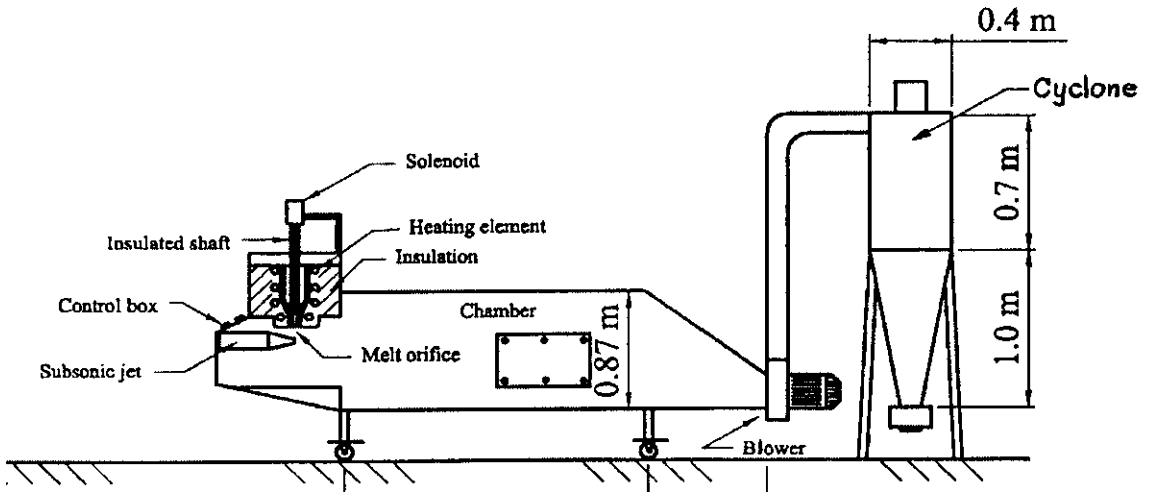
3.1.2 ออกแบบและสร้างห้องพ่นโลหะเหลว (Atomizing chamber)

ห้องพ่นโลหะเหลว หมายถึงห้องที่ทำหน้าที่ให้ละอองโลหะเหลวที่ถูกพ่นมาจากเครื่องพ่นโลหะเหลวเกิดการถ่ายเทความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็ง จากลักษณะต่างๆของเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์ซึ่งมีการออกแบบห้องพ่นโลหะเหลวที่วางตั้งในแนวตั้งและแนวนอนซึ่งมีทั้งข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไปดังตารางที่ 2.2 การทำวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาเลือกลักษณะห้องพ่นแบบแนวนอน ทั้งนี้เพื่อให้มีความเหมาะสมในส่วนต่างๆดังได้กล่าวไว้ในตอนต้น การดำเนินงานมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ออกแบบรูปร่าง ลักษณะการทำงานและขนาด

การออกแบบเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์ได้พิจารณาเลือกลักษณะการทำงานโดยกำหนดให้โลหะเหลวถูกจ่ายลงจากด้านบน และพ่นด้วยแก๊สแรงดันสูงกระแทกโลหะเหลวให้แตกกระจายเข้าสู่ห้องพ่นโลหะเหลวในแนวระนาบกับพื้น โดยส่วนปลายของห้องพ่นจะติดตั้งเครื่องเป่าอากาศ (Blower) ซึ่งทำหน้าที่เป่าเอาแก๊สหรืออากาศภายในห้องพ่นซึ่งมีละอองโลหะที่มีขนาดเล็กเพื่อส่ง

ต่อไปยังถังคัดแยกผงโลหะและอากาศ (Cyclone) และเพื่อป้องกันการย้อนกลับของแก๊สและผงโลหะ

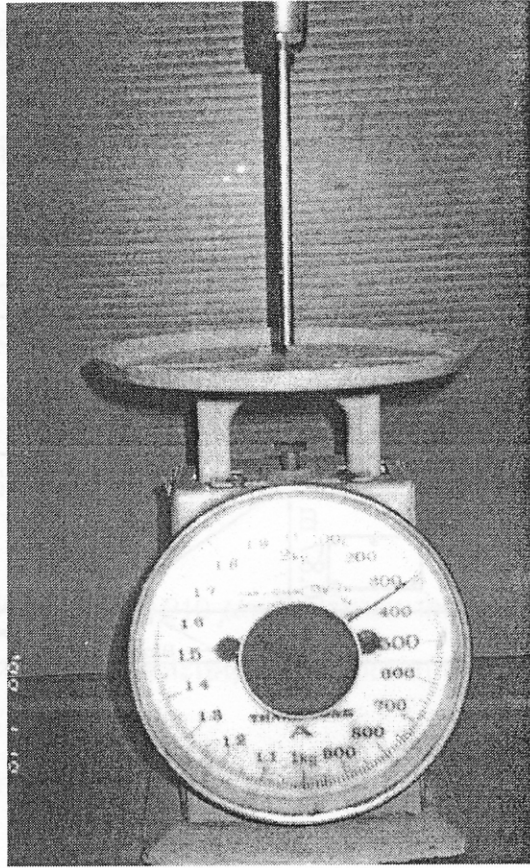


รูปที่ 3.11 แบบร่างเครื่องแก๊สอะตอมไมเซอร์เนวอน

การใช้อากาศหรือแก๊สแรงดันสูงฉีดพ่นโลหะเหลวมีวัตถุประสงค์หลักสองประการคือ

- เพื่อให้เกิดการกระแทกโลหะเหลวแตกกระจายออกเป็นละอองที่เล็กละเอียด
- เพื่อให้ละอองโลหะเหลวถ่ายเทความร้อนสู่อากาศหรือแก๊สอย่างรวดเร็ว

เนื่องจากการพุ่งของอากาศและละอองโลหะที่ถูกพ่นเข้าสู่ห้องพ่นมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบขนานกันไป (Parallel flow) จึงมีผลทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองหาปริมาณของอากาศที่พ่นออกจากหัวฉีดลักษณะทรงกระบอกกลมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. ที่ความดัน 140 ปอนด์/ตารางนิ้ว ทำการวัดค่าของแรงลมที่ระยะห่างจากปลายหัวฉีด 20 มม. ในทิศทางตั้งฉากกับแนวการพ่นดังแสดงในรูปที่ 3.12 ได้ค่าของแรง 0.34 ก.ก. สามารถคำนวณหาความเร็วของลมที่พ่นออกจากหัวฉีดดังนี้



รูปที่ 3.12 แสดงการวัดค่าของแรงลมที่พุ่งออกจากหัวฉีด

จากสมการ
$$V^2 = \frac{Fg}{\gamma A} \dots\dots\dots(3.1)$$

เมื่อ V = ความเร็วของลม (m/s)

F = แรงที่วัดได้ = 0.34 kg

γ = น้ำหนักจำเพาะของอากาศ = 11.4456 kg/m³

A = พื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด = 0.0000071 m²

แทนค่าในสมการ
$$V^2 = \frac{(0.34)9.81}{(11.4456)0.0000071}$$

$$= 41044.12$$

$$V = 202.6 \text{ m/s}$$

นั่นคือเมื่อใช้หัวฉีดทรงกระบอกกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 ม.ม. จะมีความเร็วของลมที่บริเวณด้านหน้าของหัวฉีดประมาณ 202.6 เมตร / วินาที

คำนวณหาปริมาตรการไหลของลมจากสมการ

$$Q = VA \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

เมื่อ $Q =$ ปริมาณลม (m^3 / s)

$V =$ ความเร็วของลมที่ปลายหัวฉีด (m / s)

$A =$ พื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด (m^2)

แทนค่าในสมการที่ (3.2)

$$Q = (202.6)(0.0000071) = 1.44 m^3 / s$$

จากอัตราการไหลของมวล $m = \rho Q \quad \dots\dots\dots(3.3)$

เมื่อ $m =$ อัตรามวลไหล (kg / s)

$\rho =$ ความหนาแน่นของแก๊ส (kg / m^3)

$Q =$ ปริมาณลม (m^3 / s)

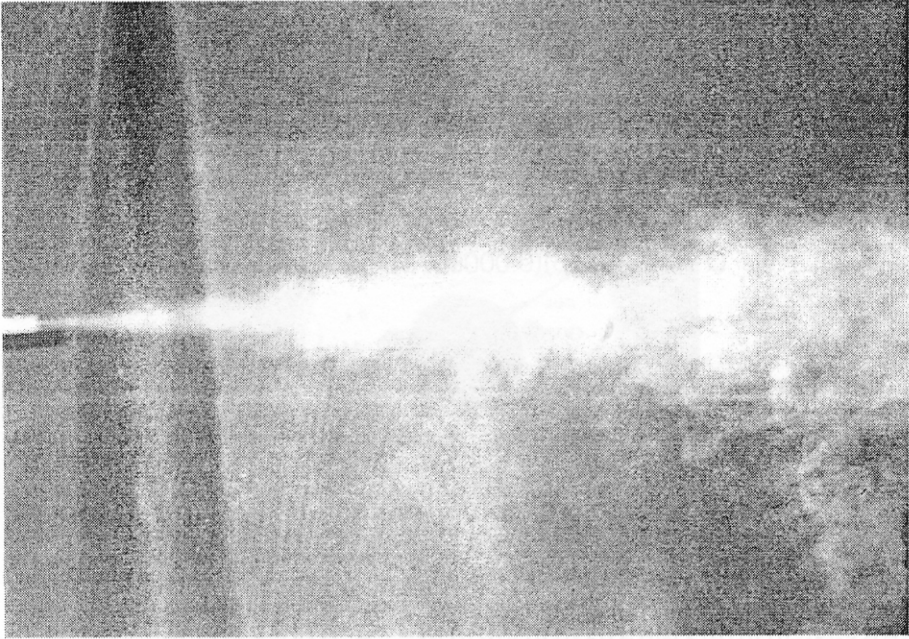
และความหนาแน่นของอากาศที่ความดันบรรยากาศอากาศ = $0.0012 kg / m^3$

∴ คิดเป็นอัตราการไหลของมวลลม = $0.0012 \times 1.44 = 0.0017 kg / s$

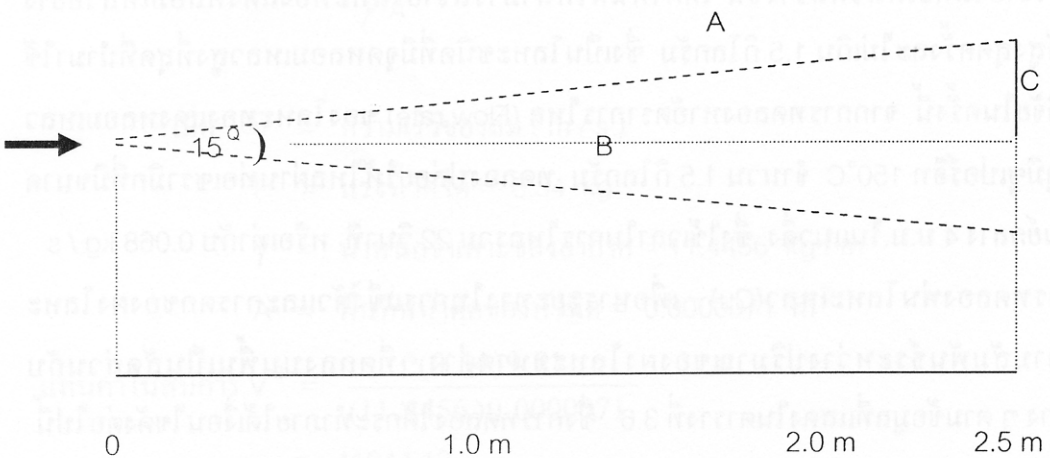
เครื่องจ่ายโลหะเหลวที่สร้างขึ้น ได้กำหนดให้สามารถจ่ายโลหะทองแดงหลอมเหลวอย่างต่อเนื่องได้สูงสุดครั้งละไม่เกิน 1.5 กิโลกรัม ซึ่งเป็นโลหะชนิดที่มีจุดหลอมเหลวสูงที่สุดที่นำมาใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ จากการทดลองหาอัตราการไหล (Flow rate) ของโลหะทองแดงหลอมเหลว ซึ่งมีอุณหภูมิซูเปอร์ฮีท $150^\circ C$ จำนวน 1.5 กิโลกรัม ทดลองปล่อยให้ไหลผ่านท่อเซรามิกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ม.ม. ในแนวตั้ง ซึ่งใช้เวลาในการไหลรวม 22 วินาที หรือเท่ากับ $0.068 kg / s$

ทำการทดลองพ่นโลหะเหลว(Cu) เพื่อหาระยะทางในการแข็งตัวและการตกของผงโลหะ พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของผงโลหะขนาดต่าง ๆ ที่ตกลงบนพื้นเป็นสัดส่วนกับระยะทางต่าง ๆ ตามข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 3.6 ซึ่งการทดลองได้กระทำภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

- หัวฉีด (Nozzle) เป็นแบบทรงกระบอกกลมชนิด Single jet nozzle ซึ่งมีลักษณะของลำพ่นเป็นรูปกรวย โดยมีมุมของยอดกรวยประมาณ 15 องศา (ดังรูปที่ 3.13)
- แรงดันอากาศที่ใช้เป็นค่าแรงดันสูงสุดของเครื่องอัดอากาศ (140 psi)
- การทดลองพ่นโลหะเหลวกระทำในห้องโล่งที่มีสภาพอากาศนิ่ง



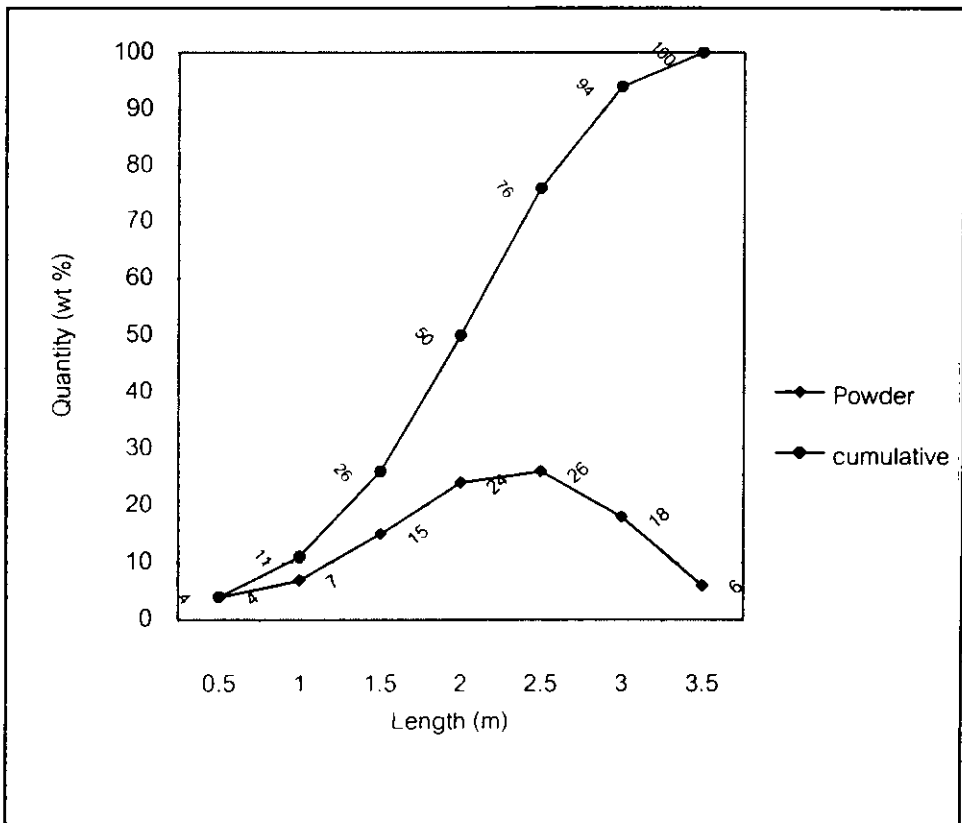
รูปที่ 3.13 การทดสอบหาลักษณะการพ่นของลมที่ออกจากหัวฉีดด้วยการใช้ควัน



รูปที่ 3.14 ลักษณะแนวการพ่นของลมที่พ่นออกจากหัวฉีด

ตารางที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงโลหะที่ตกลงพื้นเทียบกับระยะทาง ซึ่งได้จากการทดลองพ่นโลหะทองแดงโดยใช้ค่าแรงดันอากาศสูงสุด 140 psi อุณหภูมิซูเปอร์ฮีทของโลหะเหลว 150°C และทำการพ่นในห้องโล่งที่มีอากาศนิ่ง

| ระยะทาง (m) | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ปริมาณผงโลหะ (%) | 4 | 7 | 15 | 24 | 26 | 18 | 6 |



รูปที่ 3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงโลหะที่ตกลงพื้นเทียบกับระยะทาง จากตำแหน่งที่พ่น

จากการทดลองพบว่าที่ระยะทาง 2.5 m จะมีปริมาณของผงโลหะตกกองอยู่มากกว่าระยะทางอื่น ๆ ซึ่งมีปริมาณถึง 26 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ระยะซึ่งไกลออกไปที่ 3.5 m จะมีปริมาณผงโลหะเพียง 6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นข้อมูลได้ว่าเมื่อทำการพ่นผงโลหะด้วยค่าแรงดันของลมสูงสุด (140 psi) จะต้องใช้ระยะทางไม่น้อยกว่า 3.5 m และจากลักษณะของหัวฉีดซึ่งมีรูปแบบการพุ่งของลมเป็น

แบบกรวยมีมุมยอดกรวย 15 องศา เมื่อพิจารณาที่ระยะทาง 2.5 m จะสามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยได้จากรูปที่ 27

$$\text{เมื่อ } A = B / \cos 7.5 = 2.5 / \cos 7.5 = 2.525 \text{ m}$$

$$\text{หาค่า } C = A \sin 7.5 = 0.329 \text{ m}$$

$$\therefore \text{เส้นผ่านศูนย์กลางฐานกรวยที่ระยะ 2.5 m} = 2C = 0.658 \text{ m}$$

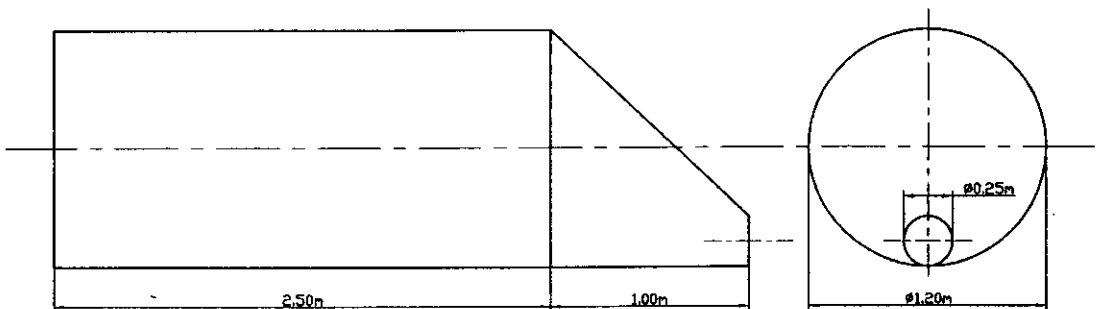
แสดงว่าห้องพ่นโลหะเหลวต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 0.658 m ในการพิจารณาเลือกวัสดุที่จะนำมาสร้างห้องพ่นโลหะเหลวได้พิจารณาเลือกใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด Austenitic stainless steel ซึ่งมีความเหมาะสมหลายประการ คือ

- สามารถต้านทานการกัดกร่อนต่อสภาพบรรยากาศได้ดี
- ลักษณะของพื้นผิวมีความสวยงาม ไม่มีความจำเป็นต้องเคลือบผิวด้วยสีซึ่งสอดคล้องกับสภาพการใช้งานที่มีภาวะของอุณหภูมิสูง
- สามารถจัดหาได้ง่ายในท้องตลาด

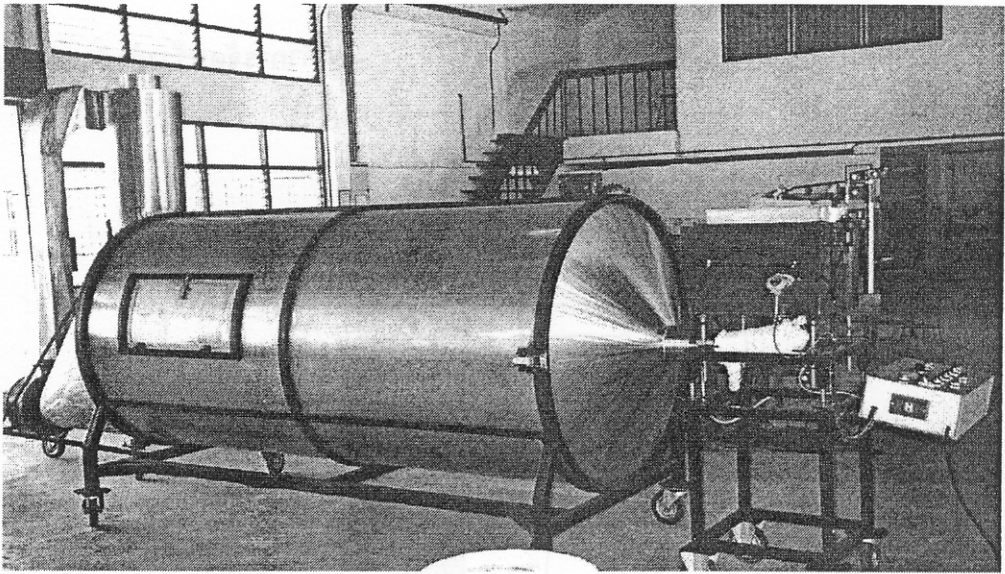
การดำเนินการสร้างห้องพ่นโลหะเหลวได้กำหนดให้ห้องพ่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตเท่ากับ 1.5 m ซึ่งเป็นขนาดที่มากกว่าค่าที่คำนวณได้และลงตัวกับขนาดของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป

2) ดำเนินการสร้างห้องพ่นโลหะเหลวและถังคัดแยกผงโลหะ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาระยะทางการตกของผงโลหะและรัศมีการกระจายของผงโลหะ จึงได้กำหนดให้ห้องพ่นโลหะเหลว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m และมีความยาวในส่วนทรงกระบอก (ส่วน A) 2.5 m และส่วนปลายรูปกรวยตัดยาว (ส่วน B) 1.0 m



รูปที่ 3.16 แสดงขนาดจริงที่ใช้สร้างห้องพ่นโลหะเหลว



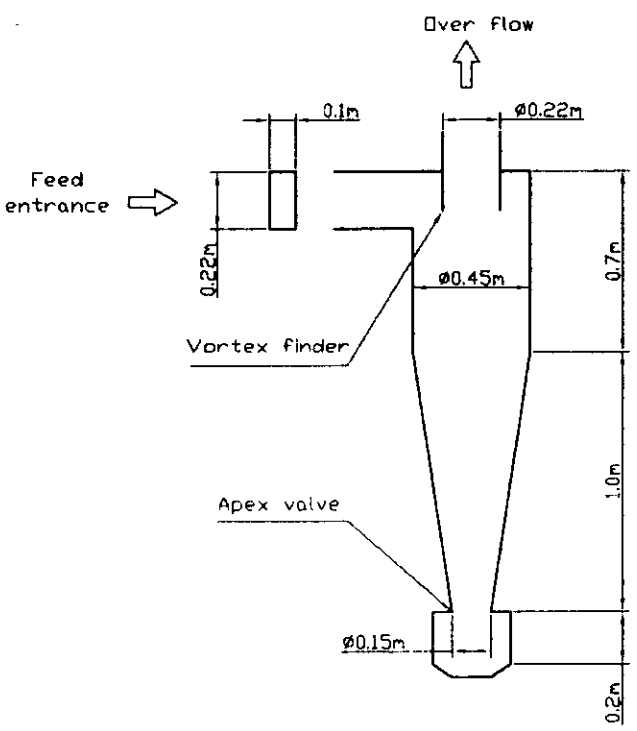
รูปที่ 3.17 ห้องพ่นโลหะเหลวที่สร้างเสร็จแล้ว

ที่ส่วนปลายของห้องพ่น (ส่วน B) ได้ออกแบบเป็นรูปกรวยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ลมและผงโลหะขนาดเล็กถูกบีบให้มีแนวการพุ่งกระจายเป็นลำเล็กลงเพื่อให้เครื่องเป่าอากาศ สามารถเป่าอากาศออกจากห้องพ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อส่งเข้าไปยังถังคัดแยกฝุ่นอีกต่อหนึ่ง จากสมการที่ 3.2 และ 3.3 สามารถคำนวณหาปริมาณของลมที่พ่นเข้าสู่ห้องพ่นได้เท่ากับ $1.44 \text{ m}^3/\text{s}$ หรือเท่ากับ $51.4 \text{ ft}^3/\text{s}$ ในที่นี้ได้เลือกใช้เครื่องดูดอากาศที่มีความสามารถดูดอากาศได้ในปริมาณ $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งเพียงพอต่อปริมาณของอากาศที่ถูกพ่นเข้าสู่ห้องพ่น อากาศที่ถูกดูดออกจากห้องพ่นจะมีผงโลหะขนาดเล็กมาก (เล็กกว่า $53 \mu\text{m}$) จำนวนหนึ่งถูกพัดพาไปกับลม จากการทดลองใช้ถุงกรองดักจับพบว่า เป็นผงโลหะขนาด $- 53 \mu\text{m}$ ปริมาณ 15 ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ของผงโลหะขนาด $- 53 \mu\text{m}$ ทั้งหมดที่ได้จากการทดลองพ่นแต่ละครั้ง (ผงโลหะขนาด $- 53 \mu\text{m}$ ซึ่งได้จากการทดลองพ่นแต่ละครั้งมีปริมาณเฉลี่ยอยู่ที่ 100 g) ดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ปริมาณผงโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า $53 \mu\text{m}$ ที่ถูกดูดออกจากห้องพ่น และดักจับโดยการใช้อุปกรณ์กรอง

| การทดลองครั้งที่ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------------------|------|------|------|------|
| ปริมาณผงโลหะ (Cu) ที่ดักจับได้ (g) | 15.5 | 17.5 | 18.0 | 16.0 |
| คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) | 15.5 | 17.5 | 18.0 | 16.0 |

จากปริมาณของผงโลหะที่ดักจับได้ตามข้อมูลในตารางที่ 3.7 ได้ทำการจัดสร้างถังคัดแยกฝุ่นซึ่งทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาดของส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.18

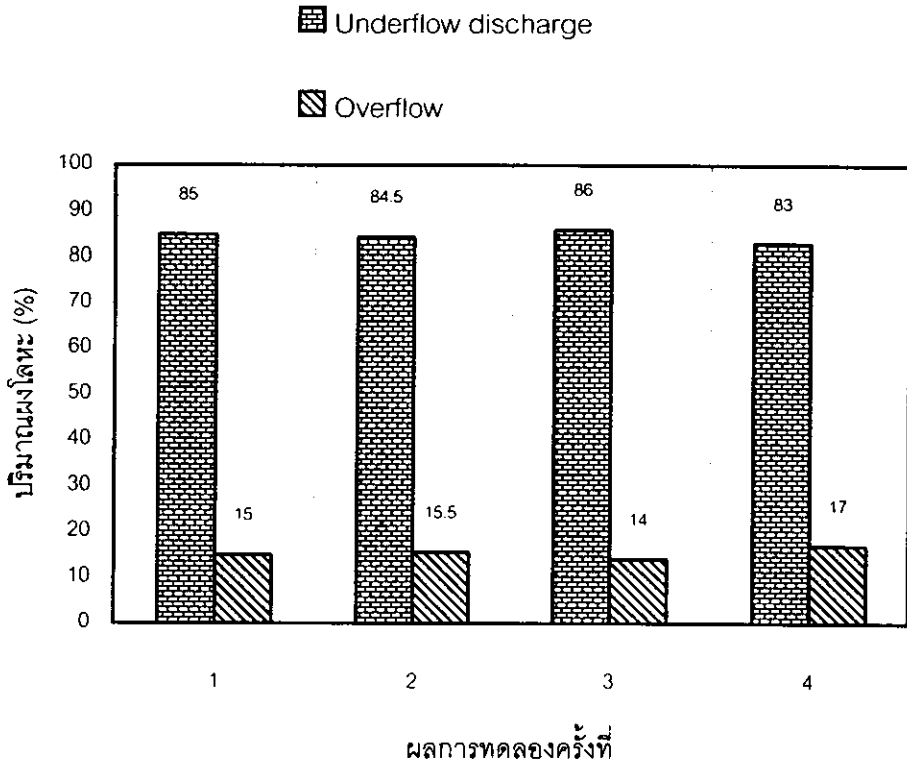


รูปที่ 3.18 ขนาดส่วนต่าง ๆ ของถังคัดแยกฝุ่น

เมื่อติดตั้งถังคัดแยกฝุ่นและทำการทดลองโดยใช้ถุงกรองติดตั้งที่ส่วน Overflow เพื่อตรวจหาปริมาณผงโลหะที่ถังคัดแยกฝุ่นสามารถดักจับได้พบว่าสามารถดักจับละอองผงโลหะทั้งหมดที่ถูกส่งเข้าถังคัดแยกได้มากกว่า 80 % โดยคิดจากปริมาณผงโลหะส่วนที่ดักเก็บได้จากส่วน Underflow discharge และจากถุงกรองซึ่งติดตั้งไว้ที่ส่วน Overflow ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการทดลองที่ถังคัดแยกฝุ่นสามารถดักจับผงโลหะขนาดเล็กซึ่งถูกดูดออกจากห้องพ่นโลหะเหลว และถูกส่งเข้าถังคัดแยกฝุ่น

| การทดลองครั้งที่ | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|---|------|----|------|------|------|----|------|----|
| | g | % | g | % | g | % | g | % |
| ปริมาณผงโลหะ Cu ที่เก็บได้จากส่วน Underflow discharge | 13.5 | 85 | 14.5 | 84.5 | 15.5 | 86 | 13.0 | 83 |
| ปริมาณผงโลหะที่เก็บได้จากถุงกรองส่วน Overflow | 2.3 | 15 | 15.5 | 17 | 2.5 | 14 | 3.0 | 17 |

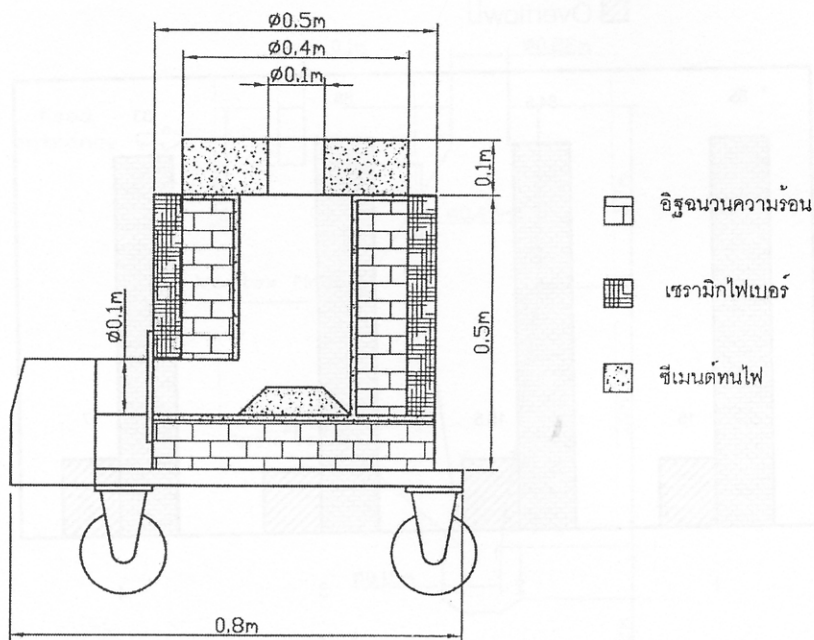


รูปที่ 3.19 ปริมาณผงโลหะที่ดักเก็บได้ในส่วนต่าง ๆ ของถังคัดแยก

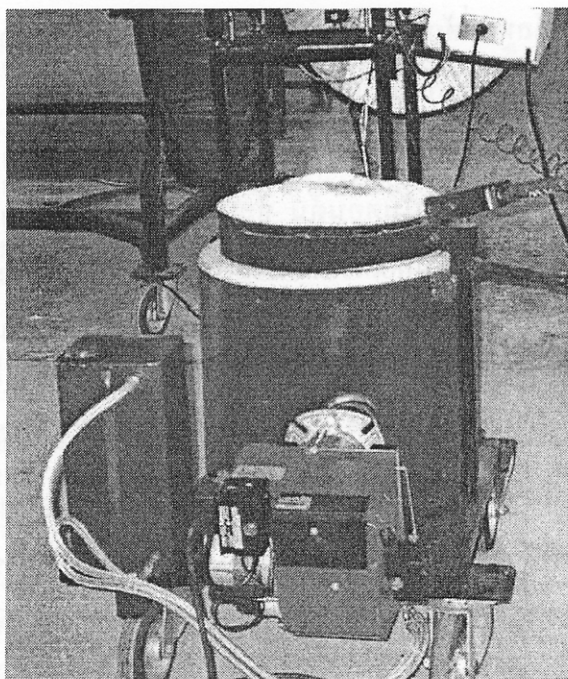
3.1.3 ออกแบบและสร้างเตาหลอมโลหะแบบเตาเบ้า

การผลิตผงโลหะด้วยวิธีอะตอมไมเซชันเป็นกระบวนการทำให้โลหะหลอมเหลวแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็กด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังได้กล่าวไว้ในตอนต้น ฉะนั้นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอีกอย่างหนึ่งของการผลิตผงโลหะด้วยวิธีอะตอมไมเซชันคือเตาหลอมโลหะ การหลอมโลหะชนิดต่าง ๆ จะใช้เทคนิคการหลอมแตกต่างกันไปซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่จะหลอม ปริมาณในการหลอมแต่ละครั้ง ตลอดจนต้นทุนในการปฏิบัติงาน เนื่องจากในการทำวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตการผลิตผงโลหะที่มีจุดหลอมเหลวไม่เกิน $1,100^{\circ}\text{C}$ และโลหะชนิดที่มีจุดหลอมเหลวสูงสุดที่ใช้ในการทำวิจัยคือ โลหะทองแดงซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ $1,085^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่อพิจารณาเตาหลอมชนิดต่าง ๆ แล้วพบว่าเตาหลอมชนิดเตาเบ้า เป็นเตาหลอมที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้หลอมโลหะเพื่อการผลิตผงโลหะ ในการทำวิจัยนี้ ในการออกแบบสร้างเตาหลอมโลหะได้กำหนดให้สามารถทำการหลอมโลหะทองแดงได้ครั้งละไม่น้อยกว่า 4 กิโลกรัม โดยใช้เบ้าหลอม ชนิดที่ทำด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์

(แบบ AX - 8) การให้ความร้อนในการหลอมโลหะชนิดต่าง ๆ กำหนดใช้ชุดหัวเผา น้ำมัน (Oil burner) โดยขนาดของส่วนต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แบบร่างเตาหลอมโลหะ



รูปที่ 3.21 เตาหลอมโลหะที่ดำเนินการสร้างตามแบบ

ทดลองการทำงานของเตาหลอมเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงที่ต้องใช้สำหรับการหลอมโลหะชนิดต่าง ๆ โดยใช้บ้ำหลอมชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์ ขนาด AX- 8 โดยวิธีการตรวจวัดปริมาณของเชื้อเพลิงที่หมดไปสำหรับการหลอมโลหะแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองการหลอมโลหะชนิดต่าง ๆ เพื่อหาประสิทธิภาพของเตาหลอม

| ชนิดโลหะที่หลอม | น.น. โลหะ (ก.ก.) | อุณหภูมิที่ต้องการ (°C) | เวลาที่ใช้หลอม (นาที) | ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (ลิตร) |
|-----------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 1. Sn | 3 | 300 | 8 | 0.7 |
| 2. Al | 3 | 740 | 15 | 1.8 |
| 3. Cu | 4 | 1,250 | 25 | 2.5 |

หมายเหตุ : น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้คือน้ำมันดีเซล