# บทที่ 5

## ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

### 5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

ในการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบเป็นการตรวจรูปแบบของความผิดพลาดที่เกิดขึ้น (error) ว่าเป็นไปตามหลัก $e_{ij} \sim NID(o, \sigma^2)$ ซึ่งทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ ซึ่ง $e_{ij} \sim NID(o, \sigma^2)$ มีความหมายดังต่อไปนี้

1)ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

2)ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

3)ข้อมูลมีความผันแปรที่สม่ำเสมอ

ซึ่งผลการทดสอบ สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามหลัก $e_{ij} \sim NID(o, \sigma^2)$ ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก.2 จะพบว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และจากภาคผนวก ก.3 พบว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันและมีความผันแปรที่สม่ำเสมอ เมื่อพิจารณารูปที่ ก.4และรูปที่ ก.5 แล้วอธิบายได้ว่าอุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์มีการกระจายที่สม่ำเสมอ คือทั้งด้านบวกและด้านลบมีปริมาณข้อมูลพอๆกัน ในการวาดกราฟแบ่งตามปัจจัยทั้งสองปัจจัย และข้อมูลเกาะกลุ่มกันไม่กระจายตัวมาก สังเกตได้ว่าเมื่อวาดกราฟแบ่งตามอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ในอัตราการไหลต่างๆกันดังรูปที่ ก.4 การกระจายตัวของข้อมูล(อุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์)จะสม่ำเสมอในทุกๆอัตราการไหล จึงเป็นการสนับสนุนข้อสมมติฐานที่ว่า การให้น้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์เป็นการรักษาระดับอุณหภูมิของผิวหน้าแม่พิมพ์ให้คงที่ เมื่อพิจารณารูปที่ ก.5 พบว่าการกระจายตัวของข้อมูล(อุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์) จะกระจายตัวมากที่เวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ต่ำๆ (1.5-2 วินาที) และอุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์ เริ่มคงตัว หรือมีการกระจายของข้อมูลน้อย ตั้งแต่การให้การพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ที่ 3 วินาที

### 5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถสรุปอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผิว(ไฟลว์ไลน์และโคลด์ชัต) และผลต่ออุณหภูมิแม่พิมพ์ ภายใต้ความมีนัยสำคัญ 0.05 ได้ดังนี้

5.2.1 ปัจจัยหลัก (Main Effect)

-อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นผ่านแม่พิมพ์

-เวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์

5.2.2 ปัจจัยร่วม (Interaction Effect)

-อิทธิพลร่วมระหว่าง อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นผ่านแม่พิมพ์กับเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์

ซึ่งการคำนวณและผลการคำนวณการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก.4 ซึ่งค่า $F_0$ของปัจจัยที่มีผลจะมีค่ามากกว่า $F_{\alpha,\nu_1,\nu_2}$ ที่มีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

ผลการทดสอบสรุปได้ดังตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อหาว่าปัจจัยที่ทำการศึกษามีอิทธิพลต่ออุณหภูมิแม่พิมพ์ กับคุณภาพของผิวงาน (พิจารณาจาก โฟลว์ไลน์และโคลด์ชัต) หรือไม่ โดยใช้ตาราง ANOVA(ตารางที่ 5.1 และ5.2) ช่วยในการวิเคราะห์ ดังนี้

ตารางที่5.1 ตารางANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์

| *Source of Variation* | *Sum of Squares* | *Degrees of Freedom* | *Mean Square* | $F_0$ |
|---|---|---|---|---|
| Flow rate | 1209.09 | 3 | 403.03 | 12.92* |
| Spray time | 26968.41 | 4 | 6742.10 | 216.2* |
| Interaction | 873.59 | 12 | 72.80 | 2.33 * |
| Error | 8731.60 | 280 | 31.18 | |
| Total | 37782.69 | 299 | | |

$F_{.10,3,280} = 2.08$ $F_{.05,3,280} = 2.60$

$F_{.10,4,280} = 1.94$ $F_{.05,4,280} = 2.37$

เมื่อได้ทำการทดลองแบบฟิกซ์เอฟเฟก (Fixed Effects Model) และวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วพบว่าอิทธิพลของอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์และเวลาในการให้น้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ ต่อ อุณหภูมิของหน้าแม่พิมพ์นั้น เป็นดังนี้

1. เวลาในการให้น้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์มีอิทธิพลสูงที่สุดและมีอิทธิพลมากกว่าอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์มากๆ โดยดูจากค่า $F_0$ ที่มากถึง 216.20

2. อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ก็มีอิทธิพลเหมือนกันโดยมีค่า $F_0$ เท่ากับ 12.92

3.อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาการให้น้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์และอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ มีอิทธิพลน้อยที่สุดคือ 2.33 ซึ่งถ้าใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 อิทธิพลร่วมนี้จะถือได้ว่าไม่อิทธิพล แต่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 อิทธิพลร่วมนี้จะมีอิทธิพล ดังนั้นอิทธิพลร่วมนี้จึงมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิแม่พิมพ์น้อยมาก

ตารางที่5.2 ตารางANOVA แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยกับคุณภาพของผิวชิ้นงาน(พิจารณาโฟลว์ไลน์และโคลด์ชัต)

| *Source of Variation* | *Sum of Squares* | *Degrees of Freedom* | *Mean Square* | $F_o$ |
|---|---|---|---|---|
| Flow rate | 59.64 | 3 | 19.88 | 44.18 * |
| Spray time | 91.69 | 4 | 22.92 | 50.93 * |
| Interaction | 18.31 | 12 | 1.53 | 3.40 * |
| Error | 126.93 | 280 | 0.45 | |
| Total | 296.57 | 299 | | |

$F_{.05,3,280} = 2.60$

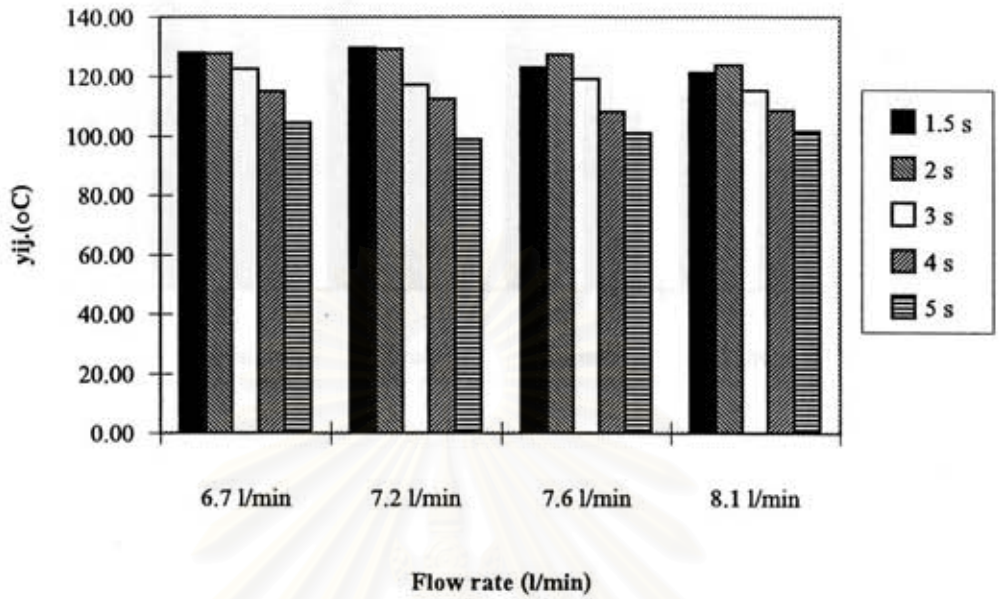
$F_{.05,4,280} = 2.37$

เมื่อได้ทำการทดลองแบบฟิกซ์เอฟเฟก (Fixed Effects Model) และวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วพบว่าอิทธิพลของอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์และเวลาในการให้น้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ ต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน(พิจารณาโฟลว์ไลน์และโคลด์ชัต) เป็นดังนี้

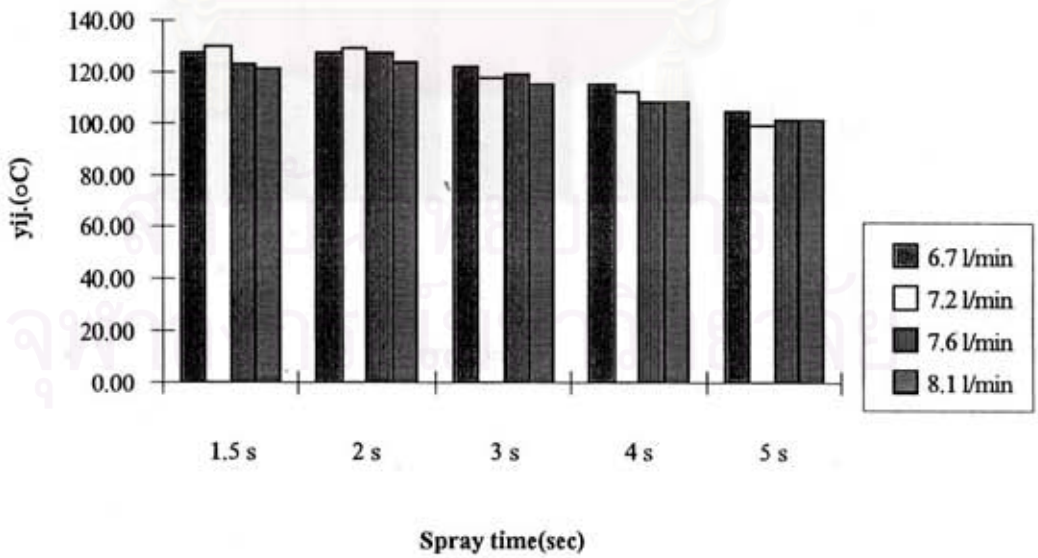
1. เวลาในการให้น้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์มีอิทธิพลสูงที่สุด มีค่า $F_o$ ที่ 50.93
2. อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ก็มีอิทธิพลสูง มีค่า $F_o$ ที่ 44.18
3. อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาการให้น้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์และอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ มีอิทธิพลน้อยที่สุดคือ มีค่า $F_o$ ที่ 3.4

## 5.3 การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย

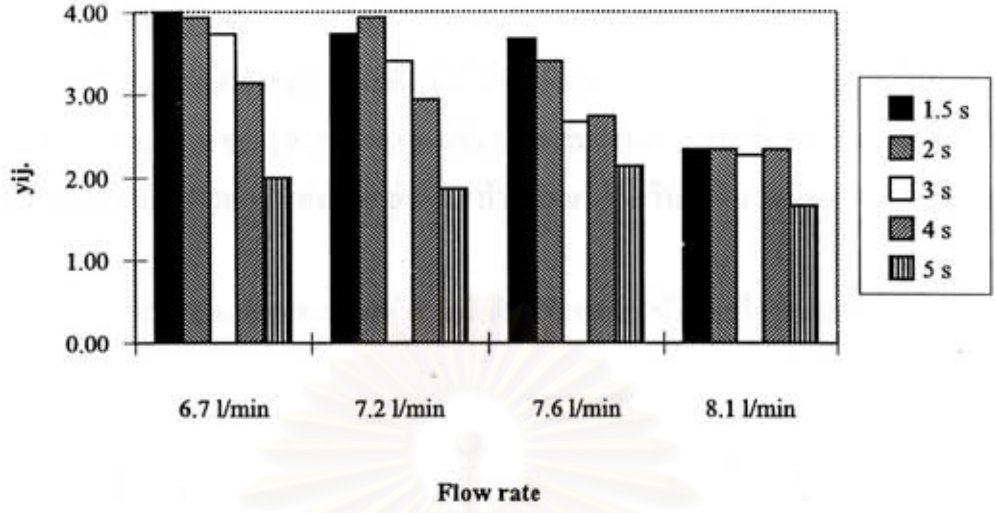
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ คืออุณหภูมิของแม่พิมพ์มาวาดกราฟร่วมกับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ โดยแบ่งตามเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ ดังรูปที่5.1 จะเห็นได้ว่าอิทธิพลที่มีต่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์นั้น เป็นอิทธิพลที่ช่วยทำให้อุณหภูมิของหน้าแม่พิมพ์มีความสม่ำเสมอ พิจารณาประกอบกับรูปที่ ก.4 เห็นได้ว่าอุณหภูมิของผิวหน้าแม่พิมพ์มีกระจายตัวน้อยในแต่ละอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ และเมื่ออัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นเพิ่มขึ้น การกระจายตัวของความแตกต่างของอุณหภูมิยิ่งน้อยลง เป็นหลักการสำคัญในกระบวนการฉีดอะลูมิเนียมแบบไดแคสติง ส่วนน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์นั้นจะมีอิทธิพลอย่างมากในการลดอุณหภูมิของหน้าแม่พิมพ์ เมื่อเพิ่มเวลาในการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์อุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 5.2 และเมื่อพิจารณาประกอบกับรูปที่ ก.5 เห็นได้ว่า เมื่อเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น การกระจายตัวของความแตกต่างของอุณหภูมิยิ่งน้อยลง




**รูปที่5.1 รูปแสดงอุณหภูมิเฉลี่ย (°C)กับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์แบ่งตามเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์**

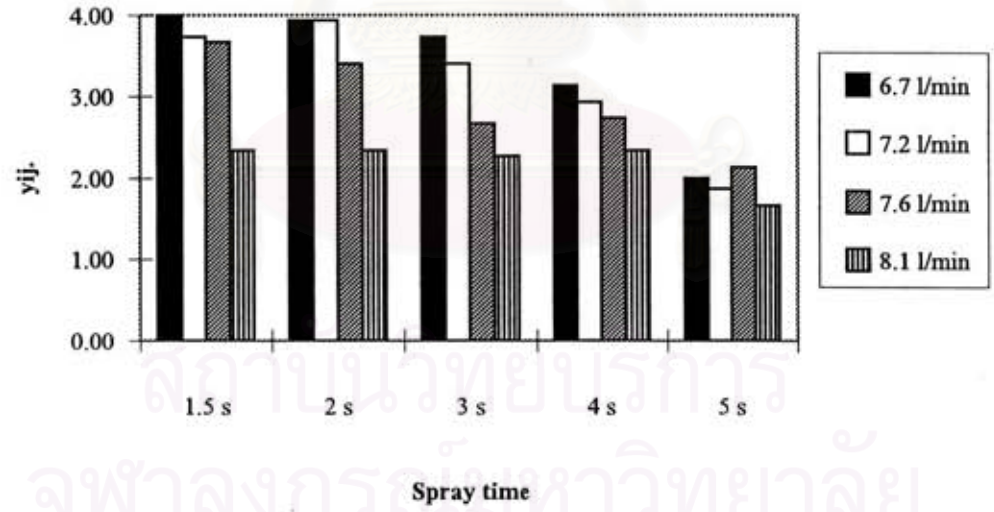



**รูปที่ 5.2 รูปแสดงอุณหภูมิเฉลี่ย (°C) กับเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์แบ่งตามอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์**




**รูปที่5.3 รูปแสดงคุณภาพผิวงานกับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์แบ่งตามเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์**

**(คุณภาพผิวงานแบ่งเป็น 4 ระดับ ดังหัวข้อ 4.2.3 หน้า 43)**




**รูปที่5.4 รูปแสดงคุณภาพผิวงานกับเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์แบ่งตามอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์**

**(คุณภาพผิวงานแบ่งเป็น 4 ระดับ ดังหัวข้อ 4.2.3 หน้า 43)**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 เป็นกราฟแสดงให้เห็นว่าคุณภาพผิวงานจะดีเมื่อใช้เวลาในการหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ต่ำๆที่ 1.5-2 วินาที และอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ที่เหมาะสมคือ 6.7-7.2 ลิตรต่อนาที แต่เกิดผลกระทบอื่นขึ้น เมื่อให้น้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ที่ 1.5 วินาที ชิ้นงานเอาออกได้ยากและเป็นรอยครูด เนื่องจากแม่พิมพ์มีความร้อนมากเกินไป ซึ่งมีผลให้แม่พิมพ์มีอายุสั้นลง ดังนั้นควรเลือกเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ที่ 2 วินาทีดีกว่าเนื่องจากไม่เกิดปัญหานี้

สรุปได้ว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ยิ่งสูงยิ่งดี เป็นผลทำให้โฟลว์ไลน์และโคลด์ชัตมีน้อยหรือไม่มีเลย แต่มีข้อจำกัดคือ ผิวของชิ้นงานจะติดกับแม่พิมพ์ ทำให้การกระทุ้งชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ทำได้ยาก และตัวแม่พิมพ์มีอุณหภูมิสูงเกินไปทำให้อายุแม่พิมพ์ต่ำลง โดยเฉพาะจุดที่มีพื้นที่น้อยและส่วนที่เป็นแกน (core) เมื่อนำค่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์มาเปรียบเทียบกับคุณภาพผิวของชิ้นงานที่สภาวะการฉีดต่างๆ ดังตารางที่ 5.3 และแจกแจงเป็นชิ้นงานที่ยอมรับได้ดังตารางที่ 5.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแม่พิมพ์(°C)เปรียบเทียบกับคุณภาพผิวที่สภาวะการฉีดต่างๆ

| อัตราการไหลน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ | เวลาพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1.5s | | 2s | | 3s | |
| 6.7 l/min | 112.67 4 | 135.00 4 | 116.00 4 | 129.33 4 | 117.00 4 | 123.67 4 |
| | 112.00 4 | 133.67 4 | 115.67 4 | 131.33 4 | 119.67 4 | 124.33 2 |
| | 112.33 4 | 138.33 4 | 121.00 4 | 133.67 4 | 121.33 4 | 123.33 4 |
| | 115.33 4 | 140.67 4 | 119.33 4 | 135.33 4 | 120.67 4 | 124.67 4 |
| | 124.33 4 | 138.00 4 | 123.00 3 | 137.00 4 | 121.00 4 | 124.67 4 |
| | 125.33 4 | 139.33 4 | 127.00 4 | 135.33 4 | 120.33 3 | 126.00 3 |
| | 125.00 4 | 135.67 4 | 128.33 4 | 134.67 4 | 122.00 4 | 125.67 4 |
| | 130.33 4 | | 129.33 4 | | 124.00 4 | |
| 7.2 l/min | 121.33 4 | 131.67 4 | 119.00 3 | 129.67 4 | 115.00 4 | 117.67 3 |
| | 121.67 4 | 133.67 3 | 120.33 4 | 132.67 4 | 115.00 4 | 117.00 2 |
| | 123.00 4 | 134.67 2 | 121.67 4 | 134.00 4 | 115.33 4 | 117.67 3 |
| | 124.67 4 | 135.33 3 | 123.33 4 | 134.67 4 | 114.33 3 | 120.33 3 |
| | 125.00 4 | 135.67 4 | 125.67 4 | 135.67 4 | 116.33 4 | 119.33 4 |
| | 126.00 4 | 137.33 4 | 127.67 4 | 138.00 4 | 116.67 4 | 120.67 3 |
| | 127.00 4 | 138.33 4 | 128.67 4 | 138.67 4 | 116.67 4 | 119.00 2 |
| | 130.00 4 | | 130.00 4 | | 118.00 4 | |
| 7.6 l/min | 104.00 4 | 127.33 3 | 118.00 3 | 127.67 3 | 119.33 4 | 119.00 3 |
| | 108.33 3 | 128.00 4 | 119.00 2 | 129.67 4 | 119.00 3 | 120.00 2 |
| | 115.00 4 | 130.00 4 | 123.33 3 | 129.67 4 | 118.67 3 | 119.33 3 |
| | 115.00 4 | 130.00 4 | 126.33 4 | 128.33 3 | 119.33 3 | 118.67 2 |
| | 117.67 2 | 131.33 4 | 129.33 4 | 130.00 4 | 119.67 3 | 120.67 2 |
| | 121.33 4 | 133.67 4 | 128.67 3 | 130.33 4 | 118.00 2 | 120.67 2 |
| | 123.67 3 | 132.67 4 | 129.67 3 | 129.67 4 | 117.33 3 | 118.67 2 |
| | 126.00 4 | | 129.33 3 | | 118.67 3 | |
| 8.1 l/min | 117.00 3 | 124.33 1 | 119.00 3 | 125.67 2 | 109.67 1 | 117.67 2 |
| | 118.00 2 | 126.00 1 | 117.00 1 | 126.00 2 | 112.67 2 | 115.67 3 |
| | 87.00 1 | 127.67 4 | 120.67 3 | 127.00 3 | 114.00 2 | 117.67 3 |
| | 118.67 3 | 128.33 2 | 121.00 2 | 126.00 4 | 114.33 2 | 117.00 3 |
| | 119.67 3 | 128.33 1 | 122.33 3 | 127.00 2 | 113.67 1 | 117.00 3 |
| | 122.33 1 | 126.33 3 | 123.67 1 | 125.67 3 | 115.00 2 | 116.00 2 |
| | 123.00 4 | 128.33 3 | 125.67 2 | 126.00 3 | 115.67 3 | 116.33 3 |
| | 124.33 3 | | 126.33 1 | | 116.00 2 | |

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

| อัตราการไหลน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ | เวลาฟ่นน้ำหล่อถึ่นหน้าแม่พิมพ์ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 4s | | 5s | |
| 6.7 l/min | 111.33 2 | 115.33 3 | 100.67 2 | 106.67 2 |
| | 114.00 3 | 115.67 3 | 102.33 2 | 105.33 2 |
| | 115.67 3 | 115.00 3 | 101.67 2 | 105.67 2 |
| | 113.67 4 | 114.67 3 | 101.67 2 | 106.00 2 |
| | 114.33 2 | 115.00 4 | 104.67 2 | 105.67 2 |
| | 117.00 4 | 116.00 4 | 105.00 2 | 105.00 2 |
| | 115.00 3 | 116.33 2 | 104.67 2 | 106.00 2 |
| | 115.33 4 | | 106.00 2 | |
| 7.2 l/min | 105.33 1 | 110.33 3 | 98.00 2 | 100.33 1 |
| | 107.33 3 | 111.67 4 | 99.67 1 | 73.33 2 |
| | 110.33 3 | 110.33 4 | 100.33 2 | 101.33 2 |
| | 109.67 3 | 111.67 3 | 101.33 3 | 101.33 2 |
| | 109.33 3 | 111.33 3 | 101.00 2 | 101.33 2 |
| | 110.33 4 | 112.00 2 | 100.67 2 | 102.33 1 |
| | 145.67 2 | 111.00 2 | 100.67 2 | 101.00 2 |
| | 111.00 4 | | 100.67 2 | |
| 7.6 l/min | 107.33 2 | 107.67 3 | 97.67 1 | 102.00 1 |
| | 108.00 3 | 108.33 3 | 100.00 1 | 102.00 3 |
| | 107.67 2 | 109.00 2 | 100.67 3 | 101.33 3 |
| | 107.00 3 | 108.00 3 | 100.00 1 | 101.67 3 |
| | 107.67 3 | 109.67 3 | 100.67 2 | 101.67 2 |
| | 108.67 3 | 109.33 3 | 101.67 2 | 102.00 2 |
| | 108.00 3 | 110.33 2 | 101.33 3 | 102.00 2 |
| | 107.00 3 | | 101.33 3 | |
| 8.1 l/min | 102.33 1 | 108.33 3 | 99.00 1 | 102.00 1 |
| | 105.00 1 | 110.33 2 | 100.67 2 | 103.67 2 |
| | 106.00 1 | 110.33 3 | 101.33 1 | 104.33 3 |
| | 106.67 3 | 111.33 1 | 101.00 1 | 103.67 2 |
| | 107.67 3 | 111.00 4 | 101.67 2 | 101.00 1 |
| | 109.67 3 | 111.00 3 | 101.67 1 | 101.33 1 |
| | 109.67 2 | 111.00 2 | 100.67 2 | 101.33 3 |
| | 109.00 3 | | 101.33 2 | |

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงผลสรุประหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์กับคุณภาพผิวชิ้นงานในการยอมรับชิ้นงานหรือไม่เป็นดังนี้

| อุณหภูมิ (°C) | จำนวนชิ้นงานที่ผ่านการตรวจ | จำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจ | ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจ/ชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจ |
|---|---|---|---|
| 80-90 | - | 2 | - |
| 91-100 | - | 6 | - |
| 101-110 | 30 | 53 | 0.57 |
| 111-120 | 66 | 27 | 2.44 |
| 121-130 | 69 | 15 | 4.60 |
| 131-140 | 29 | 1 | 29.00 |
| 141-150 | 1 | 1 | 1.00 |
| | 195 | 105 | |

หมายเหตุ ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจ คือ มีคุณภาพผิวระดับ 3และ4

ชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจคือ มีคุณภาพผิวระดับ 1และ 2

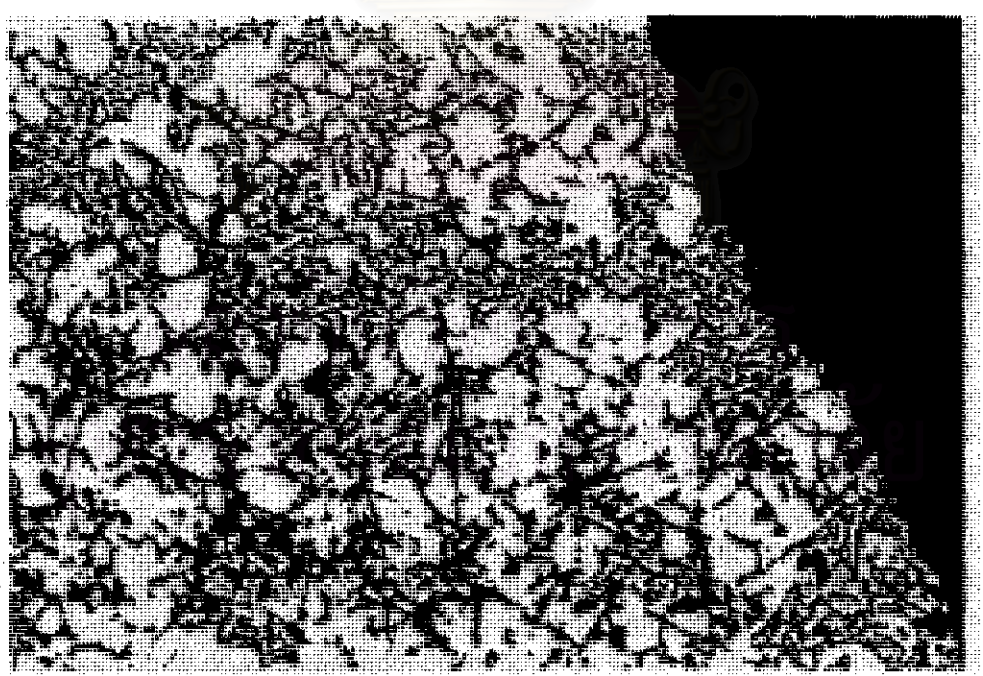
จากตารางที่ 5.4 สรุปได้ว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิต่ำๆ (น้อยกว่า110°C) ของเสียจะมีปริมาณสูงนั่นคือ เกิดโฟลว์ไลน์และโคลด์ชัดมากนั่นเอง ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบก็มีมากขึ้นโดยที่อุณหภูมิระหว่าง 131-140°C สัดส่วนชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบมากกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบถึง 29 เท่า แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นคือที่ มากกว่า 140°C พบว่ามีชิ้นงานที่อยู่ในสภาวะนั้นเพียง 2 ชิ้น เนื่องจากเป็นสภาวะที่ให้น้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ต่ำที่สุดเท่าที่เครื่องฉีดจะทำได้คือ 1.5 วินาที ทั้งนี้ชิ้นงานที่ได้จะเป็นรอยครูดจากการดันชิ้นงานออกอีกด้วย

ดังนั้นอิทธิพลของปัจจัยอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์จะทำให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์คงที่ และอิทธิพลของปัจจัยเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์จะทำให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ที่เหมาะสมคือ 6.7-7.2 ลิตร/นาที และเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ที่เหมาะสมคือ 2 วินาที และอุณหภูมิของแม่พิมพ์ภายหลังการพ่นน้ำหล่อลื่นที่เหมาะสมคือ 131-140 องศาเซลเซียส ต่างจาก Harold J. Smith (1972:305) ได้แนะนำไว้ว่าอุณหภูมิควรมีค่าเฉลี่ยประมาณ 288°C (รายละเอียดหน้า 38) เนื่องจากอุณหภูมินั้นเป็นอุณหภูมิขณะฉีด ซึ่งต่างจากการทดลองที่เป็นอุณหภูมิภายหลังการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ เนื่องจากการทดลองต้องการทราบอิทธิพลของปัจจัยคือ อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์และเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ ดังนั้นค่าอุณหภูมิของผิวหน้าแม่พิมพ์จึงทำการวัดภายหลังจากพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์แล้ว เมื่อพิจารณารูปที่2.4 ในหน้า 25 พบว่า อุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์เมื่อเริ่มต้นพ่นน้ำหล่อลื่นจนกระทั่งพ่นเสร็จ อุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์จะลดลง

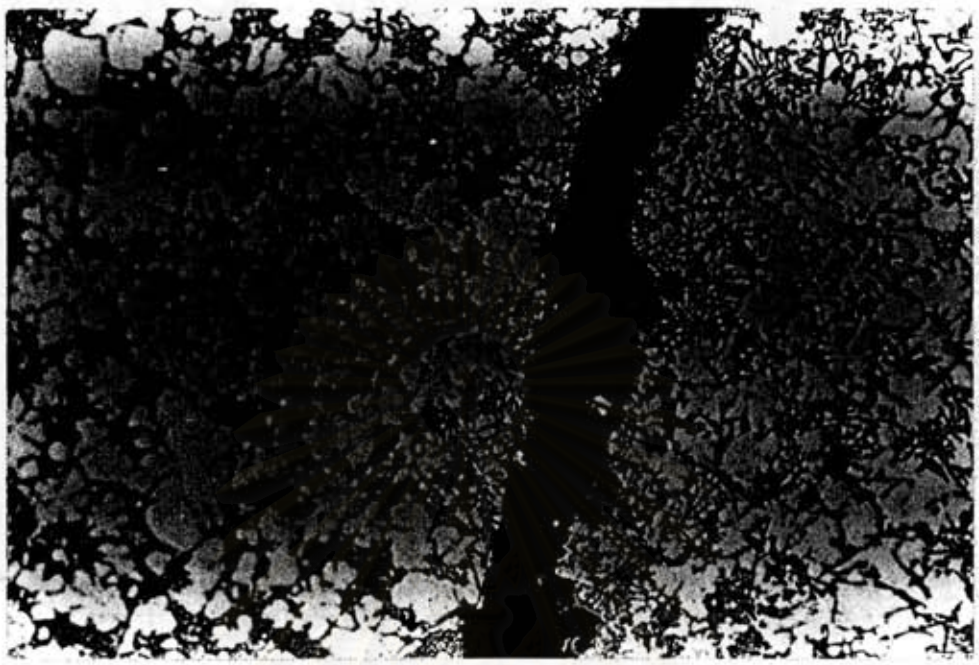
ประมาณครึ่งหนึ่ง ซึ่งจากการทดลองได้ค่าอุณหภูมิผิวหน้าแม่พิมพ์ที่เหมาะสมประมาณ131-140°C ซึ่งจะต่างจากที่ Harold J. Smith และคณะได้แนะนำไว้ที่ 288°C ประมาณครึ่งหนึ่งเหมือนกัน โดยสภาวะการฉีดนั้นควรตั้งอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ให้คงที่ เมื่อต้องการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้ปรับที่เวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์

## 5.4 โครงสร้างทางจุลภาค

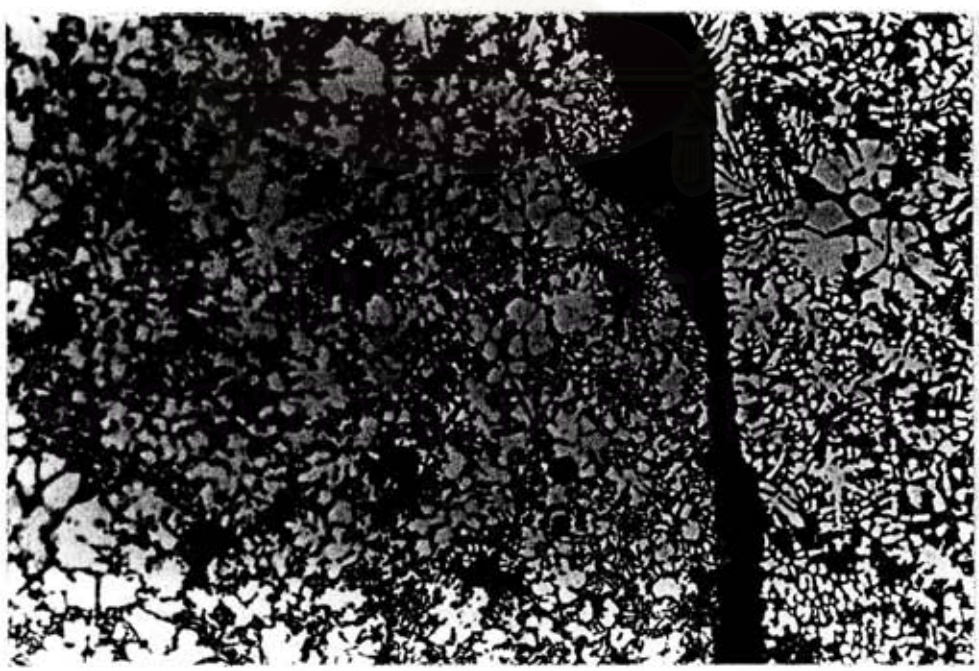
เมื่อนำชิ้นงานที่แยกแยะแล้วว่ามีคุณภาพผิวระดับ4, 3, 2 และ 1 นำชิ้นงานทั้งสี่ระดับมาทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ซึ่งภาพถ่ายโครงสร้างของชิ้นงานของคุณภาพผิวระดับ 1-4 เป็นดังรูปที่ 5.5, 5.6, 5.7 และ5.8



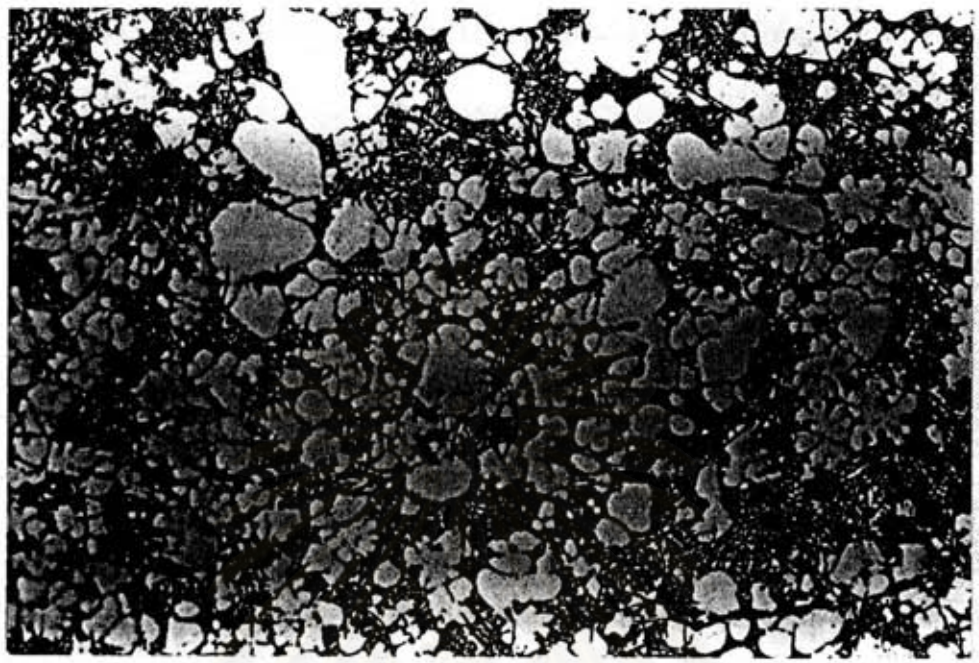
รูปที่5.5 รูปแสดงโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานคุณภาพผิวระดับที่ 1 หลังกัดกรด (500x)



รูปที่5.6 รูปแสดงโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานคุณภาพผิวระดับที่ 2 หลังกัดกรด (500x)



รูปที่5.7 รูปแสดงโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานคุณภาพผิวระดับที่ 3 หลังกัดกรด (500x)



รูปที่5.8 รูปแสดงโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานคุณภาพผิวระดับที่ 4 หลังกัดกรด (500x)

จากภาพจะเห็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นสีพื้นขาวนั่นคือ Aluminum Solid Solution($\alpha$) ซึ่งมีความแข็งน้อย ส่วนที่เป็นเข็มสีดำเป็น Interdendritic Eutectic Silicon ซึ่งเป็นผลึกขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจากอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็ว และส่วนผสมของซิลิกอนที่ยูเทคติก ทำให้ขณะน้ำอะลูมิเนียมแข็งตัวที่อุณหภูมิ 577°C ส่วนผสมที่เป็นอะลูมิเนียมบริสุทธิ์กับส่วนผสมที่เป็นซิลิกอน ที่จุดยูเทคติก แข็งตัวพร้อมกันทั้งหมด ทำให้ได้ผลึกรูปเข็มขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไป แนวสีดำขนาดใหญ่ในรูปที่5.5 5.6 และ 5.7 นั้น คือบริเวณผิวที่เปิดเนื่องจากโฟลว์ไลน์และโคลด์ชัต (แป็คกาไลท์จากการเม้าท์ชิ้นงานเข้ามาแทรกบริเวณที่เป็นที่ว่าง ดังนั้นแนวดำที่เห็นจึงเป็นสีของแป็คกาไลท์นั่นเอง)

จากภาพเมื่อเปรียบเทียบทั้ ง 4 รูป ที่กำลังขยายเดียวกัน พบว่า คุณภาพผิวระดับที่ 4 นั้น โครงสร้างยูเทคติกมีความละเอียดมากที่สุด ดูที่ผลึกรูปเข็มซึ่งเป็นผลึกขนาดเล็กของเฟส K กับเฟส $\beta$ สลับกัน และ ที่คุณภาพผิวระดับที่ 1 โครงสร้างยูเทคติกหยาบที่สุด มีขนาดของเข็มใหญ่ที่สุดและยังมีผลึกขนาดใหญ่ของ Primary Silicon ซึ่งเหล่านี้เกิดจากอัตราการเย็นตัว ถ้าอัตราการเย็นตัวช้าจะทำให้ซิลิกอนแยกตัวออกมาในรูปเกล็ดหยาบ (Coarse Flake) ขึ้นในเมตริกซ์ของอะลูมิเนียม

## 5.5 การวิเคราะห์ความแข็ง

เมื่อนำชิ้นงานที่ระดับคุณภาพผิวต่างๆมาทำการวัดความแข็ง ได้ผลดังตารางที่5.5

ตารางที่5.5 ตารางแสดงค่าความแข็ง (BHN) ของชิ้นงานที่ระดับคุณภาพผิวต่างๆ

| ระดับคุณภาพผิว | ชิ้นที่1 | ชิ้นที่2 | ชิ้นที่3 | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 105,104,105 | 106,104,105 | 103,102,103 | 104.11 |
| 3 | 104,104,105 | 102,102,102 | 104,104,104 | 103.44 |
| 2 | 102,102,101 | 101,101,100 | 100,99,100 | 100.67 |
| 1 | 98,99,98 | 97,98,97 | 98,97,97 | 97.67 |

ค่าความแข็งนั้นได้จากการวัดแบบบริเนล โดยใช้ลูกบอลมาตรฐานขนาด 2.5 mm. แรงกด 62.5 kg. ซึ่งทำการวัดบริเวณเดียวกับที่พิจารณาโครงสร้างทางจุลภาค โดยทำการวัดที่ระดับคุณภาพเดียวกัน 3 ชิ้น แต่ละชิ้นทำวัด 3 ครั้ง ค่าความแข็งจะใช้ค่าเฉลี่ยในการพิจารณา เนื่องจากชิ้นงานนั้นเป็นอะลูมิเนียมที่มีส่วนผสมของซิลิกอนที่ยูเทคติก ดังนั้นจะมีผลึกของซิลิกอนที่เป็นโครงสร้างยูเทคติกกระจายอยู่ทั่วไปบนเมตริกซ์ของอะลูมิเนียม และในขณะทำการวัดความแข็งได้ดูภาพของรอยกด พบว่าครอบคลุมทั้งเมตริกซ์และโครงสร้างยูเทคติก เนื่องจากใช้ลูกบอลมาตรฐานที่มีขนาดใหญ่พอที่จะครอบคลุมเนื้อที่ทั้งในส่วนเมตริกซ์และโครงสร้างยูเทคติก ดังนั้นความแข็งที่ได้จึงเป็นความแข็งเฉลี่ยของเนื้อชิ้นงาน จากตารางที่5.5 พบว่า ที่คุณภาพผิวระดับที่ 4 มีความแข็งมากที่สุด และลดหลั่นกันลงมาในคุณภาพผิวระดับที่3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดยที่คุณภาพผิวระดับที่ 1 มีความแข็งน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาความแข็งประกอบกับโครงสร้างทางจุลภาคพบว่าที่คุณภาพผิวระดับ4 มีโครงสร้างยูเทคติกละเอียดที่สุด จึงให้ความแข็งมากที่สุดและที่คุณภาพผิวระดับ 1 มีโครงสร้างยูเทคติกหยาบที่สุด และมี ไพรมารี่ซิลิกอนด้วย ทำให้มีความแข็งน้อยที่สุด