

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตัดเฉือน  
ของโปรแกรมงานกัดด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ  
สำหรับการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม

นายคมพันธ์ ชมสมุทร  
นายสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ  
นายสิงห์แก้ว ปือกเท็ง

ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์

|                        |                                        |
|------------------------|----------------------------------------|
| งานห้องสมุด            | ได้รับการอุดหนุนงบประมาณในการดำเนินการ |
| สำนักวิทยบริการและ     |                                        |
| วันที่.....-5..ค. 2552 |                                        |
| เลขทะเบียน.....0001 ๒๐ |                                        |
| เลขหมู่.....๓๑.        |                                        |

ปี พ.ศ. 2549

## การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตัดเฉือนของโปรแกรมงานกัดด้วย เครื่องกัดอัตโนมัติสำหรับการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม

นายคมพันธ์ ชมสมุทร<sup>1</sup> สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ<sup>2</sup> สิงห์แก้ว ปือกเพ็ง<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพหลุสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทรศัพท์ 0-29132424 ต่อ 177

Email:ch.kompan@hotmail.com

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการตัดเฉือน, เครื่องกัดอัตโนมัติ, คำสั่ง G-code

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตัดเฉือนของโปรแกรมงานกัดด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติสำหรับการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม โดยการเปรียบเทียบทิศทางการกัดงานที่ผ่านการกัดโดยใช้ G41 และ G42 เ็นมิลล์ขนาด 12 มม. 4 คมตัดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นเหล็ก S45C โดยกัดชิ้นงานที่ระยะทาง 3,000 มม. ใช้เครื่องกัดจำนวน 3 เครื่อง การวิจัยนี้ทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

ผลการวิจัยและทดสอบข้อมูลทางสถิติโดยการเปรียบเทียบโปรแกรมการกัดงาน โดยใช้ G41 และ G42 ปรากฏว่าชิ้นงานที่ผ่านการกัดงานโดยใช้ G41 และ G42 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยชิ้นงานที่ผ่านการกัดงานโดยใช้ G41 การสึกหรอที่คอกเ็นมิลล์จะเกิดขึ้นน้อย แต่ผิวที่ได้จะมีความหยาบ ส่วนชิ้นงานที่ผ่านการกัดงานโดยใช้ G42 การสึกหรอที่คอกเ็นมิลล์จะเกิดขึ้นมาก แต่ผิวที่ได้จะมีความละเอียดมากกว่า

## สารบัญตาราง

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติการคงสภาพความแข็งของเหล็กกล้าเครื่องมือที่ 540 °C       | 9  |
| ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขในการตัดเฉือนของเอ็นมิลล์HSS ขนาด12มม. จำนวน 4 คมตัด | 22 |
| ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดความสึกหรอของเอ็นมิลล์                               | 36 |
| ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน                                | 37 |



## สารบัญรูปภาพ

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 2.1 เหล็กคาร์บอน S45C                                            | 10 |
| รูปที่ 2.2 การชดเชยรัศมีกัดเตอร์ด้วย G41                                | 11 |
| รูปที่ 2.3 การชดเชยรัศมีกัดเตอร์ด้วย G42                                | 11 |
| รูปที่ 2.4 แสดงถึงส่วนประกอบของผิว                                      | 13 |
| รูปที่ 2.5 แสดงเส้นโค้งความหยาบและเส้นศูนย์กลาง                         | 14 |
| รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการคำนวณเพื่อหาค่า Rq                                | 14 |
| รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน                                   | 16 |
| รูปที่ 3.2 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการทดลอง                              | 17 |
| รูปที่ 3.3 มุมและขนาดรูปทรงเรขาคณิตของเอ็นมิลล์                         | 23 |
| รูปที่ 3.4 แบบชิ้นงานทดลองเหล็ก S45C                                    | 24 |
| รูปที่ 3.5 ชิ้นงานทดลองเหล็ก S45C                                       | 25 |
| รูปที่ 3.6 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ MANFORD รุ่น VH-610               | 26 |
| รูปที่ 3.7 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ EMCO รุ่น VMC-200                 | 26 |
| รูปที่ 3.8 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ EXTRON รุ่น M 230                 | 26 |
| รูปที่ 3.9 ความยาวการจัดยึดเอ็นมิลล์ 4 คมตัด                            | 28 |
| รูปที่ 3.10 เส้นทางการตัดเฉือนในการทดสอบเอ็นมิลล์ โปรแกรม G41           | 28 |
| รูปที่ 3.11 เส้นทางการตัดเฉือนในการทดสอบเอ็นมิลล์ โปรแกรม G42           | 28 |
| รูปที่ 3.12 การเขียนโปรแกรมตามทิศทางการตัดเฉือน                         | 29 |
| รูปที่ 3.13 การ Calibration อุปกรณ์ในการทดสอบ                           | 29 |
| รูปที่ 3.14 การจับยึดเอ็นมิลล์เข้ากับจิกจับ                             | 30 |
| รูปที่ 3.15 สวมจิกจับเข้ากับหัวจับเอ็นมิลล์                             | 30 |
| รูปที่ 3.16 การตรวจสอบระยะห่างจากหัวจับเอ็นมิลล์ถึงส่วนปลายของเอ็นมิลล์ | 30 |
| รูปที่ 3.17 การตัดเฉือนของโปรแกรม G41                                   | 30 |
| รูปที่ 3.18 การตัดเฉือนของโปรแกรม G42                                   | 30 |
| รูปที่ 3.19 อุปกรณ์การจับยึด                                            | 31 |
| รูปที่ 3.20 กำหนดจุดอ้างอิงของคมตัด                                     | 32 |
| รูปที่ 3.21 แสดงระยะอ้างอิงที่คอกเอ็นมิลล์                              | 32 |
| รูปที่ 3.22 ระยะการวัดการสึกหรอ                                         | 33 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| รูปที่ 3.23 จิกจับยึดชิ้นงาน        | 34 |
| รูปที่ 3.24 การCalibration          | 34 |
| รูปที่ 3.25 ทิศทางการวัดผิวเรียบ Ad | 34 |
| รูปที่ 3.26 ค่าการวัดผิวเรียบ Ra    | 34 |



## สารบัญ

|                                         | หน้า |
|-----------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ                                | ก    |
| สารบัญตาราง                             | ข    |
| สารบัญรูปภาพ                            | ค    |
| บทที่ 1 บทนำ                            |      |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา      | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย         | 2    |
| 1.3 สมมติฐานงานวิจัย                    | 2    |
| 1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย               | 2    |
| 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย                  | 3    |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ           | 3    |
| 1.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย          | 4    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง              |      |
| 2.1 บทนำ                                | 5    |
| 2.2 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ            | 5    |
| 2.3 เหล็กกล้าเครื่องมือ                 | 9    |
| 2.4 เหล็กกล้าคาร์บอน                    | 10   |
| 2.5 เครื่องจักรกลอัตโนมัติ              | 10   |
| 2.6 การคำนวณค่าความเร็วตัด              | 12   |
| 2.7 อัตราการป้อนกัด                     | 12   |
| 2.8 การเกิดสภาพผิว                      | 13   |
| บทที่ 3 การดำเนินการและวิธีการทดลอง     |      |
| 3.1 บทนำ                                | 15   |
| 3.2 การเตรียมโปรแกรม NC                 | 18   |
| 3.3 กระบวนการกัดด้วยเครื่อง CNC Milling | 20   |
| 3.4 ประสิทธิภาพการตัดเฉือน              | 21   |
| 3.5 การดำเนินการทดลอง                   | 24   |
| 3.6 การเตรียมโปรแกรม                    | 25   |
| 3.7 การเตรียมเครื่อง CNC Milling        | 27   |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 3.8 การตรวจสอบความพร้อมของเครื่อง CNC Milling                      | 27 |
| 3.9 ทดสอบการตัดเฉือน                                               | 27 |
| 3.10 การตรวจผลการทดลอง                                             | 31 |
| 3.11 การบันทึกและรวบรวมผลการทดลอง                                  | 34 |
| 3.12 การวิเคราะห์ผลการทดลอง                                        | 35 |
| 3.13 สรุปผลการทดลอง                                                | 35 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง                                                 |    |
| 4.1 บทนำ                                                           | 36 |
| 4.2 ผลการวัดความลึกห่อของเอ็นมิลล์                                 | 36 |
| 4.3 ผลการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน                                  | 37 |
| 4.4 การทดสอบสมมติฐาน                                               | 37 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ                                |    |
| 5.1 บทนำ                                                           | 42 |
| 5.2 สรุปผลการวิจัย                                                 | 42 |
| 5.3 สรุปตารางเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของข้อมูลระหว่าง G41 และ G42 | 43 |
| 5.4 ข้อเสนอแนะ                                                     | 43 |
| บรรณานุกรม                                                         | 44 |
| ภาคผนวก                                                            | 45 |
| ภาคผนวก ก. ตารางกำหนดรหัสเอ็นมิลล์ที่ใช้ในการทดสอบ                 | 46 |
| ภาคผนวก ข. โปรแกรม NC Code ที่ใช้ในการตัดเฉือน                     | 47 |
| ภาคผนวก ค. ตารางวัดค่าความลึกห่อที่ผิวหลบ                          | 51 |
| ภาคผนวก ง. ตารางแสดงผลการตรวจสอบความหยาบผิว                        | 60 |
| ภาคผนวก จ. รูปภาพการสึกหรอที่ผิวหลบของเอ็นมิลล์                    | 63 |
| ภาคผนวก ฉ. รูปภาพเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ              | 68 |
| ภาคผนวก ช. รูปภาพชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึด                           | 71 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันกระบวนการผลิตชิ้นส่วนด้วยการตัดเฉือน(Machining) ใช้เทคโนโลยีที่นำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะการใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติเพื่อการผลิต เช่น เครื่องกลึง เครื่องกัด เป็นต้น สำหรับงานกัด นั้นส่วนใหญ่แล้วทำการผลิตชิ้นส่วน ต่าง ๆ ได้แก่ แม่พิมพ์ และเครื่องมืออื่น ๆ ซึ่งต้องใช้โปรแกรมการทำงานแตกต่างกัน ตามงานที่ออกแบบไว้แล้ว ลักษณะการตัดเฉือนนอกจากทราบวัสดุชิ้นงาน ได้แก่ ชนิดของวัสดุ ความแข็ง และส่วนผสมทางเคมี แล้วการกำหนดเงื่อนไขในการตัด ได้แก่ ความเร็วตัด ความเร็วป้อน อัตราป้อน และความลึกในการตัด เป็นต้น เพื่อการผลิตที่เหมาะสมทั้งในด้านต้นทุนการผลิต เวลาและคุณภาพชิ้นงาน เป็นต้น ในทางเทคนิคสำหรับการผลิตด้วยโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่ผู้ผลิตโดยส่วนใหญ่ มองข้ามไปหรือไม่ถึง คือ ลักษณะการตัดเฉือน ได้แก่ ทิศทางการตัด Up-cut และ Down-cut ตามโปรแกรม G-Code ได้แก่ G41 และ G42 การกัดผิวโค้ง G02 และ G03 รวมถึงโปรแกรมการใช้หน่วยของการเคลื่อนที่ มม/รอบ มม/นาที หรือหน่วยเป็น ไมครอนต่อเวลา ซึ่งความละเอียดต่างกัน ตามโปรแกรม เช่น G94 และ 95 เป็นต้น องค์ประกอบการใช้โปรแกรมการผลิตเหล่านี้ ในทางคณิตศาสตร์แล้วย่อมมีความผิดพลาด ในการจำ (Memory) การแปลงสัญญาณ การส่งสัญญาณไปยังส่วนต่าง ๆ จนกระทั่งมอเตอร์ จนถึงขั้นตอนการที่ให้เครื่องมือตัดและชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่ เครื่องจักรกลอัตโนมัติที่นำเข้ามาจากหลายประเทศ คุณภาพ การใช้งาน ย่อมต่างกัน ซึ่งส่งผลถึงคุณภาพ ต้นทุน และเวลาในการผลิตตลอดระยะเวลาในการทำธุรกิจที่ใช้เวลามากกว่า 10 ปี สำหรับเครื่องจักร แต่ละเครื่องจะหมดอายุการใช้งาน และเลิกใช้ไปในที่สุด นักธุรกิจบางราย อาจจะสูญเสียโอกาส ต้นทุน จากปัญหาข้างต้น ไม่นมากก็น้อย

ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้ การศึกษาความสามารถในการตัดเฉือน ของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ตามลักษณะและความแตกต่างของโปรแกรมการทำงานแต่ละแบบ เพื่อให้ทราบถึงสมรรถนะอย่างแท้จริง ทราบถึงความแตกต่างในการทำงานของโปรแกรมแต่ละโปรแกรมที่นำเข้ามาจากหลายประเทศ ทราบถึงโอกาสและความสูญเสียจากการใช้เครื่องจักรอย่างคุ้มค่าต่อการลงทุนและกระทบต่อคุณภาพ ต้นทุน และเวลาในการผลิต ผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมโดยรวมด้าน

การใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติ ผู้วิจัยจึงกำหนดโครงการวิจัยขึ้นเพื่อศึกษาสาเหตุและแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้เครื่องกลให้เหมาะสมมากที่สุด เป็นการลดต้นทุนการผลิตด้านอุตสาหกรรมสนับสนุนสำหรับการผลิตเครื่องมือ แม่พิมพ์และอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกัน ในระดับต้นทุนที่ต่ำลง และสามารถแข่งขันกับต่างประเทศ ได้มากขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการตัดเฉือนของ โปรแกรม G-Code (G41 และ G42 ที่มีผลต่อการคำนวณการสึกหรอของเครื่องมือตัด และความหนาผิว สำหรับงานกัดอัตโนมัติ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความสามารถในการตัดเฉือนด้วยโปรแกรมการทำงานของเครื่องกัดอัตโนมัติ
- 1.2.3 เพื่อการเลือกใช้โปรแกรมการทำงานที่เหมาะสมกับเครื่องจักรกลอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรม

## 1.3 สมมติฐานงานวิจัย

- 1.3.1 ความหนาของผิวกัดที่ผ่านการกัดด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติโดยเขียนโปรแกรมใช้ G41 และ G42 กำหนดทิศทางการตัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่น 0.05
- 1.3.2 การสึกหรอของดอกกัดที่ผ่านการกัดด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ โดยเขียนโปรแกรมใช้ G41 และ G42 กำหนดทิศทางการตัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่น 0.05

## 1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.4.1 การตัดเฉือนด้วย เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling Machine)
- 1.4.2 ออกแบบและเขียนโปรแกรมการทำงาน G Code
- 1.4.3 ออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค Design of experiment (Simple Comparative Experiments)
- 1.4.4 ทดลองเปรียบเทียบโปรแกรม G Code ระหว่าง G41 และ G42 ภายใต้ตัวแปรในการตัดเพื่อการวิเคราะห์ความแตกต่างและความเหมาะสมในการตัดเฉือนในงานกัดอัตโนมัติ
- 1.4.5 เลือกใช้เงื่อนไขในการตัดเฉือนที่เหมาะสม ได้แก่ ความเร็วตัด ความเร็วป้อน และความลึกในการตัดเฉือน
- 1.4.6 ศึกษาเปรียบเทียบผลด้านทานการสึกหรอของคมตัด และความหนาของผิวกัด

- 1.4.7 วัสดุที่ทำการตัดเฉือนคือเหล็ก S45 C ตามมาตรฐาน JIT ที่ใช้ในการทดสอบ
- 1.4.8 ใช้ End Mill เหล็กกล้ารอบสูง เบอร์ M42 ขนาด 12 mm.
- 1.4.9 เงื่อนไขการตัดเฉือนเป็นไปตามมาตรฐานของผู้ผลิต End Mill
- 1.4.10 ใช้เครื่องจักร CNC Milling จำนวน 3 เครื่อง และมีรุ่นที่แตกต่างกัน
- 1.4.11 ทดลองโดยไม่ใช้สารหล่อเย็น
- 1.4.12 ตรวจสอบความเรียบผิวทุกระยะในระหว่าง 500 มม.
- 1.4.13 กระทำการตัดเฉือนในระหว่างทั้งหมด 3000 มม. และตรวจสอบทุกๆ 500 มม.

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 รวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูล
- 1.5.2 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปข้อมูลที่ได้ศึกษามา
- 1.5.3 ศึกษาผลกระทบในทิศทางการกักงานระหว่าง G41 และ G42
- 1.5.4 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทดสอบ
- 1.5.5 เตรียมชิ้นงานในการทดสอบ
- 1.5.6 ทดสอบโดยเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้
- 1.5.7 ตรวจสอบการสึกหรอของเอ็นมิลล์
- 1.5.8 วัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานทดสอบ
- 1.5.9 เปรียบเทียบค่าความต่างในทิศทางการกักงานระหว่าง G41 และ G42
- 1.5.10 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์มีดังนี้

- 1.6.1 ทราบตัวแปรที่เหมาะสมด้านการเลือกใช้ โปรแกรม G-Code และ M-Code สำหรับการตัดเฉือนอัตโนมัติ
- 1.6.2 เป็นข้อมูลเพื่อพัฒนากระบวนการตัดเฉือนด้วยโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ
- 1.6.3 เป็นข้อมูลพื้นฐานต่อการประยุกต์ใช้เพื่อการผลิตและพัฒนาความสามารถในการผลิตได้มากขึ้น
- 1.6.4 เป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนด้านเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์
- 1.6.5 บริษัทผู้ผลิตภายในประเทศ ที่ใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติ โดยเฉพาะเครื่องกัดอัตโนมัติ สามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ ต้นทุน และเวลาในการผลิตเหมาะสมมากขึ้น

1.6.6 หน่วยงานใช้เครื่องจักรได้คุ้มค่าน่ามากขึ้น

1.6.7 สถาบันการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสามารถนำไปใช้เพื่อการพัฒนา  
ในอนาคต

1.6.8 เป็นการส่งเสริมการใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติได้อย่างเหมาะสม

### 1.7. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.7.1 เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling Machine)

1.7.2 มีดกัด (Solid End mills) ที่ผลิตจากวัสดุเหล็กกล้ารอบสูง

1.7.3 ชิ้นงานเหล็กกล้าชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เทียบเท่า AISI 1045

1.7.4 Measuring microscope

1.7.5 เครื่องมือวัดความเรียบผิว (Surface Roughness)

1.7.6 เครื่องกลึง และเครื่องกัดสำหรับการเตรียมชิ้นงาน



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัยเรื่องศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดเลือของโปรแกรมงานกักด้วยเครื่องกักอัด โนมิตีสำหรับการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

#### 2.2 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ( Tests of Statistical Hypotheses )

##### 2.2.1 ความสำคัญของการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ เป็นระเบียบวิธีทางสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจว่า ค่าสถิติที่คำนวณจากตัวอย่างนั้นสามารถใช้อ้างอิงค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากประชากรได้หรือไม่ ตัวอย่างเช่น ถ้าเราต้องการทราบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้ายี่ห้อหนึ่งมีค่าเฉลี่ยของอายุการใช้งานมากกว่า 4 ปีหรือไม่ ในทางปฏิบัติเราอาจไม่สามารถตรวจสอบอายุการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้ายี่ห้อนี้ทั้งหมดได้ ดังนั้นจะทำการสุ่มตรวจสอบเพียงบางเครื่องเพื่อศึกษาอายุการใช้งาน ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจะต้องผ่านขั้นตอนของการวิเคราะห์ทางสถิติ แล้วจึงสรุปผลออกมาในลักษณะของค่าประชากร คือสรุปผลครอบคลุมถึงเครื่องใช้ไฟฟ้ายี่ห้อนี้ทั้งหมด โดยสมมติฐานคือข้อความที่เกี่ยวข้องกับประชากรที่เราสงสัยว่าเป็นจริง ในที่นี้สมมติฐานคือ ค่าเฉลี่ยของอายุการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้ายี่ห้อนี้มากกว่า 4 ปี ขั้นตอนของการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาข้อสรุปว่าสมมติฐานนี้เป็นจริงหรือไม่จะเรียกว่าการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่สำคัญที่จะกล่าวในบทนี้ ได้แก่ การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร การทดสอบค่าสัดส่วนประชากร การทดสอบผลต่างระหว่างค่าสัดส่วนประชากร การทดสอบค่าความแปรปรวนของประชากร และการทดสอบอัตราส่วนระหว่างค่าความแปรปรวนประชากร โดยการทดสอบสมมติฐานมีความรู้ที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 1) การตั้งสมมติฐานในการทดสอบ
- 2) ความผิดพลาดในการทดสอบกับการกำหนดระดับนัยสำคัญ
- 3) เกณฑ์ในการยอมรับและการปฏิเสธสมมติฐาน

## 2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานสามารถดำเนินการตามขั้นตอน 5 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) ตั้งสมมติฐานการทดสอบคือ  $H_0$  คู่กับ  $H_1$  โดยตั้งในรูปของสัญลักษณ์หรือข้อความก็ได้
- 2) กำหนดระดับนัยสำคัญในการทดสอบ
- 3) เลือกตัวสถิติในการทดสอบ ที่ตรงกับลักษณะการแจกแจงของค่าสถิติที่ต้องการทดสอบ และหาค่าวิกฤตโดยการเปิดตารางจากการแจกแจงที่ตรงกัน
- 4) คำนวณค่าสถิติทดสอบตามสูตรที่เลือกในขั้นตอนที่ 3
- 5) สรุปผลการทดสอบ โดยการ นำค่าสถิติที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 4 ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตในขั้นตอนที่ 3 หากค่าสถิติที่คำนวณตกอยู่ในบริเวณการยอมรับ  $H_0$  ก็จะตัดสินใจยอมรับ  $H_0$  แต่ถ้าค่าสถิติคำนวณตกอยู่ในบริเวณการปฏิเสธ  $H_0$  ก็จะตัดสินใจปฏิเสธ  $H_0$

## 2.2.3 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างของค่าเฉลี่ย 2 ประชากร เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างของค่าเฉลี่ย 2 ประชากร เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน  $\sigma_1^2$  และ  $\sigma_2^2$  จะมีสมมติฐานที่เป็นไปได้ 3 แบบ เช่นเดียวกับกรณีที่ทราบค่าความแปรปรวน  $\sigma_1^2$  และ  $\sigma_2^2$  คือ

|          |                              |                             |
|----------|------------------------------|-----------------------------|
| แบบที่ 1 | $H_0: \mu_1 = \mu_2$ หรือ    | $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$    |
|          | $H_1: \mu_1 < \mu_2$ หรือ    | $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$    |
| แบบที่ 2 | $H_0: \mu_1 = \mu_2$ หรือ    | $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$    |
|          | $H_1: \mu_1 > \mu_2$ หรือ    | $H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$    |
| แบบที่ 3 | $H_0: \mu_1 = \mu_2$ หรือ    | $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$    |
|          | $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ หรือ | $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ |

แต่สถิติที่ใช้ในการทดสอบจะแตกต่างกัน โดยแบ่งเป็น 3 กรณี คือ

- 1) กรณีที่ 1 เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ ( $n_1$  และ  $n_2 \geq 30$ )

ในกรณีนี้ จะประมาณค่าความแปรปรวนของประชากร  $\sigma_1^2$  และ  $\sigma_2^2$  ด้วยความแปรปรวนของตัวอย่างคือ  $S_1^2$  และ  $S_2^2$  ตามลำดับ

สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  บริเวณวิกฤต (บริเวณการปฏิเสธ  $H_0$ ) ของสมมติฐานแต่ละรูปแบบ คือ

แบบที่ 1 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $Z$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $< -Z_\alpha$  จากตาราง

แบบที่ 2 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $Z$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $> Z_\alpha$  จากตาราง

แบบที่ 3 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $Z$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $< -Z_{\alpha/2}$

หรือค่า  $Z$  คำนวณจากข้อมูล ตัวอย่าง  $> Z_{\alpha/2}$  จากตาราง

2) กรณีที่ 2 เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ( $n_1$  และ  $n_2 < 30$ ) และทราบค่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$

ในกรณีนี้การประมาณค่า  $\sigma^2$  จะคำนวณจากค่า  $S_p^2$  โดย

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2) - 2}$$

สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

โดย  $T$  จะมีการแจกแจงแบบ  $t$  ด้วยองศาความเป็นอิสระเท่ากับ  $n_1 + n_2 - 2$

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  บริเวณวิกฤต (บริเวณการปฏิเสธ  $H_0$ ) ของสมมติฐานแต่ละรูปแบบ จะเหมือนกรณีที่ 1 แต่การแจกแจงจะเปลี่ยนจาก  $z$  เป็น  $t$

3) กรณีที่ 3 เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ( $n_1$  และ  $n_2 < 30$ ) และทราบค่า  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

ในกรณีนี้ จะประมาณค่าความแปรปรวนของประชากร  $\sigma_1^2$  และ  $\sigma_2^2$  ด้วยความแปรปรวนของตัวอย่าง  $S_1^2$  และ  $S_2^2$  ตามลำดับ

สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

โดย  $T$  มีการแจกแจงแบบ  $t$  ที่องศาความเป็นอิสระเท่ากับ  $V$  กำหนดโดย

$$V = \frac{(S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2)^2}{\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}}$$

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  บริเวณวิกฤต (บริเวณการปฏิเสธ  $H_0$ ) ของสมมติฐานแต่ละรูปแบบจะเหมือนกรณีที่ 1 แต่การแจกแจงจะเปลี่ยนจาก  $z$  เป็น  $t$

### 2.2.4 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอัตราความแปรปรวน 2 ประชากร

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอัตราส่วนความแปรปรวนของ 2 ประชากร หมายถึงการทดสอบการเท่ากันของความแปรปรวนของ 2 ประชากร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ควรนำการทดสอบนี้มาใช้ก่อนการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 2 ประชากร โดยในกรณีที่ไมทราบค่าความแปรปรวนของทั้ง 2 ประชากร และตัวอย่างที่สุ่มมีขนาดเล็ก ( $n_1$  และ  $n_2 < 30$ ) นั้น จำเป็นต้องทราบก่อนว่าค่าความแปรปรวนของทั้ง 2 ประชากรเท่ากันหรือไม่ จึงจะสามารถเลือกใช้สถิติทดสอบได้ถูกต้อง ดังนั้นจะสามารถใช้ความรู้ในหัวข้อนี้ทำการทดสอบสมมติฐานได้ว่าความแปรปรวนของทั้ง 2 ประชากรเท่ากันหรือไม่ เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาด  $n_1$  และ  $n_2$  จาก 2 ประชากรอย่างอิสระกัน โดยแต่ละประชากรมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $\sigma_1^2$  และ  $\sigma_2^2$  ตามลำดับแล้ว กำหนดให้  $S_1^2$  และ  $S_2^2$  คือความแปรปรวนของตัวอย่างจากตัวอย่างสุ่มขนาด  $n_1$  และ  $n_2$  ตามลำดับ สมมติฐานการทดสอบโดยทั่วไปจะมี 3 รูปแบบ คือ

แบบที่ 1  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$   
 $H_1: \sigma_1^2 < \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 < 1$

แบบที่ 2  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$   
 $H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 > 1$

แบบที่ 3  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$   
 $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  หรือ  $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \neq 1$

สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

โดยที่  $S_1^2 > S_2^2$  และ  $df. = (V_1, V_2) = (n_1 - 1, n_2 - 1)$

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  บริเวณวิกฤต (บริเวณการปฏิเสธ  $H_0$ ) ของสมมติฐานแต่ละรูปแบบคือ

แบบที่ 1 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $F$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $< f_{1-\alpha}$  จากตาราง

แบบที่ 2 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $F$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $> f_\alpha$  จากตาราง

แบบที่ 3 จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้าค่า  $F$  คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง  $< f_{1-\alpha/2}$

หรือค่า F คำนวณจากข้อมูล ตัวอย่าง  $> f_{\alpha/2}$  จากตาราง

เมื่อ  $f_{\alpha/2}$  หมายถึง  $f_{\alpha/2, (n_1-1, n_2-1)}$  และ  $f_{1-\alpha/2}$  หมายถึง  $f_{1-\alpha/2, (n_1-1, n_2-1)}$  ซึ่งเป็นค่าวิกฤตด้านบนและค่าวิกฤตด้านล่างตามลำดับจากตารางการแจกแจงแบบ F ตารางที่ 9 ในภาคผนวก และการหาค่า  $f_{1-\alpha/2, (n_1-1, n_2-1)}$  หาได้จากสมการแสดงความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$f_{1-\alpha/2, (n_1-1, n_2-1)} = \frac{1}{f_{\alpha/2, (n_1-1, n_2-1)}}$$

### 2.3 เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool Steels)

เหล็กกล้าเครื่องมือจัดเป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนและธาตุผสมอื่นๆ ในปริมาณสูง เพื่อให้มีความสามารถในการชุบแข็งสูง และเพื่อสร้างคาร์ไบด์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านทานการสึกหรอ และมีธาตุผสมที่สำคัญได้แก่ C, W, Mo, Cr, Co, Ni, Mn, Si, Ti, V ส่วนการเพิ่มธาตุต่างๆเพื่อให้มีคุณสมบัติทางกลเพิ่มขึ้นโดยคุณสมบัติสำคัญของวัสดุทำเครื่องมือได้แก่ ทนการสึกกร่อนและการเสียดทานได้ดี มีความคม มีความเหนียวสูง ความสามารถในการชุบแข็งสูง มีความแกร่งและคงรูป ทนความร้อนได้ดี ขึ้นรูปได้ไม่ยากเกินไป

เหล็กกล้าโคบอลต์ความแข็งสูง ( High-Hardness Cobalt steels ) M42 มีส่วนผสมของธาตุ มีส่วนประกอบของ 1.1%C, 1.5% W, 9.5% Mo, 3.75% Cr, 1.15%V และ 8.25% Co ซึ่งเป็นการเพิ่มธาตุโคบอลต์มากขึ้น ประมาณ 5-12 % เพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติของเหล็กกล้ารอบสูงในด้านต่างๆให้สูงขึ้นและเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานหลังจากชุบแข็งและผลิตเป็นเครื่องมือตัด ความแข็งที่ได้จะอยู่ใน ช่วง 68-70 HRC

| ตาราง 2.1. คุณสมบัติการคงสภาพความแข็งของเหล็กกล้าเครื่องมือที่ 540°C |                    |                |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|
| วัสดุเอ็นมิลล์                                                       | ความแข็ง (Vickers) | ความแข็ง (HRC) |
| M42                                                                  | 655                | 58             |
| T15                                                                  | 575                | 54             |
| M2                                                                   | 525                | 51             |

การมีคุณสมบัติด้านความเหนียวของเหล็กกล้าโคบอลต์ผสมสูง จะมีความแตกต่างกันในแต่ละเกรด เหล็กกล้ารอบสูง M41 และ M42 มีคุณสมบัติการคงความเหนียวที่สภาวะการคงความแข็งสูงมากกว่าเกรดอื่นๆจึงเหมาะที่จะนำมาใช้งานและทำการทดสอบ

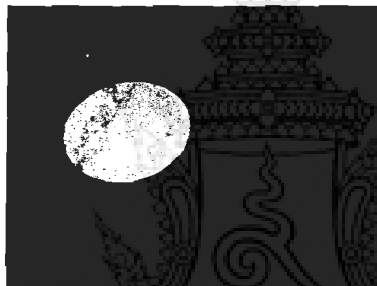
## 2.4 เหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กกล้าคาร์บอนของวัสดุ S45C ตามมาตรฐาน JIS(ญี่ปุ่น) ซึ่งเป็นเหล็กกล้าดีและราคาถูก เกิดขึ้นโดยการประสานกันซึ่งจะขึ้นอยู่กับกรอบที่อุณหภูมิซึ่งแตกต่างกันไป เหล็กกล้าคาร์บอนแบบใช้ตัดวัสดุอ่อนมีข้อพิเศษคือจะไม่ค่อยมีปัญหาในการตัดเฉือนจะไม่ใช้วัสดุอ่อนเป็นชิ้นส่วนต่าง การผลิตมีต้นทุนในการผลิตต่ำโดยทั่วไปแล้วลักษณะของวัสดุจะมีผิวสีดำสามารถกำหนดตามมาตรฐานได้ดังนี้

2.4.1 มาตรฐาน DIN(เยอรมัน) ใช้ C45 , Ck45

2.4.2 มาตรฐาน JIS(ญี่ปุ่น) ใช้ S45C

2.4.3 มาตรฐาน AISI(อเมริกา) ใช้ 1045



รูปที่ 2.1 เหล็กคาร์บอน S45C

สำหรับส่วนผสมของธาตุประกอบต่างๆ ของเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S45C มีดังนี้ C 0.43-0.50 % , Mn 0.60-0.90 % , P (สูงสุด) 0.04 % , S (สูงสุด) 0.05 % และมี ความแข็งแรง Tensile 585 (Mpa) , ความยืดหยุ่น Modulus 190-210 (GPa) , ความหนาแน่น 7.7-8.03 (1000 kg/m<sup>3</sup>)

## 2.5 เครื่องจักรกลอัตโนมัติ

เครื่องจักรกลอัตโนมัติหรือที่เรียกกันว่าเครื่องจักรกลซีเอ็นซี(CNC)ซึ่งย่อมาจาก Computer Numerical Control ซึ่งหมายความว่าควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์ โดยการกำหนดตัวเลขและตัวอักษร

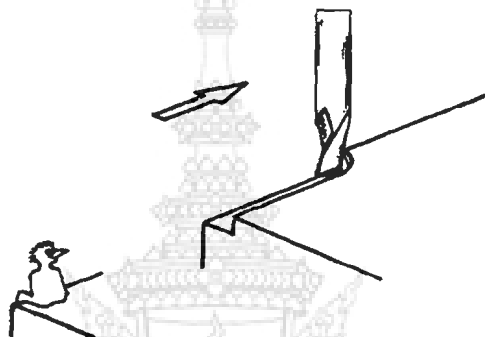
ดังนั้นเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะมีคอมพิวเตอร์ที่เข้าใจตัวเลขและอักษร หรือโปรแกรมที่ป้อนในขณะเดียวกัน จะใช้คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่องจักรจากคำสั่ง หรือโค้ดในโปรแกรมที่ป้อนให้

### 2.5.1 การชดเชยรัศมีเครื่องมือหรือคอกเอ็นมิลล์

ในการกัดงานด้วยเครื่อง CNC มีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องมีการชดเชยรัศมีของคอกกัก เพื่อที่จะได้กำหนดค่าโคออดิเนตได้ง่ายขึ้น การชดเชยรัศมีของคอกกักสามารถกำหนดได้ด้วย G41 และ G42

#### 1) การชดเชยรัศมีคอกเอ็นมิลล์ด้านซ้ายมือ (G 41)

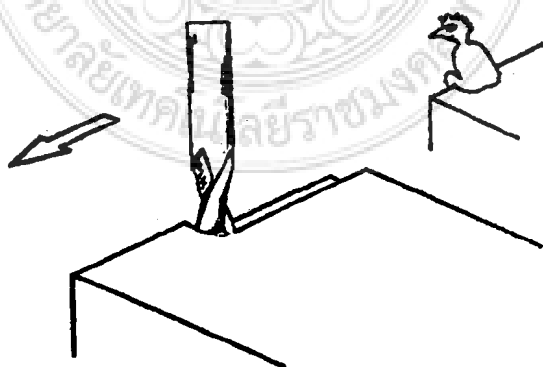
การที่จะใช้ G41 เขียนโปรแกรมทำงานจะต้องให้คอกเอ็นมิลล์เริ่มเดินจากจุดศูนย์กลางของงาน ด้านซ้ายมือของเราและขึ้นไปตามแนวแกน Y



รูปที่ 2.2 การชดเชยรัศมีคอกเอ็นมิลล์ด้วย G41

#### 2) การชดเชยรัศมีคอกเอ็นมิลล์ด้านขวามือ (G 42)

การที่จะใช้ G42 เขียนโปรแกรมทำงานจะต้องให้คอกเอ็นมิลล์เริ่มเดินจากจุดศูนย์กลางของงาน ด้านขวามือของเรา ซึ่งสวนทางกับ G41



รูปที่ 2.3 การชดเชยรัศมีคอกเอ็นมิลล์ด้วย G42

เมื่อเสร็จจากการทำงานที่มีคำสั่งการขุดเศษคาร์บอนของคอกกักแล้วจำเป็นต้องตั้งขกเล็ก  
การทำงานครั้งนั้นเสียก่อนและคำสั่งขกเล็กก็คือ G40 การขกเล็กคำสั่งนี้จะต้องให้ G40 อยู่บรรทัด  
เดียวกับ G00 หรือ G01 ก็ได้

## 2.6 การคำนวณค่าความเร็วตัด

การปรับตั้งค่าความเร็วในการตัดของเครื่องกัดที่ใช้ในโรงงานทั่ว ๆ ไปจะคิดค่าการส่งถ่าย  
กำลังตัดออกมาเป็นค่าความเร็วรอบต่อนาที (Revolution Per Minute) ของเพลาหมัดกัด (Machine  
Spindle)

ค่าความเร็วตัดที่เลือกใช้ จะต้องคำนึงถึงชนิดของหมัดกัด (Cutter) ชนิดของวัสดุงานที่นำมา  
กัดตลอดอัตราการป้อนกัดและสารระบายความร้อนที่จะใช้ให้เหมาะสมกับวัสดุงานและวัสดุหมัดกัด

สูตรค่าความเร็วตัดที่ใช้ทั่ว ๆ ไป

$$\text{ความเร็วรอบ (N)} = \frac{\text{ค่าความเร็วตัด(เมตร/นาที)} \times 1,000}{\pi \times \text{ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของคอกกัก (มม.)}}$$

$$\text{Revolutions Per Minute (N)} = \frac{\text{Cutting Speed m/min} \times 1,000}{\text{Circumference Of Cutter mm}}$$

$$\text{หรือ } N = \frac{V_c \times 1,000}{\pi D}$$

$$N = \frac{V_c \times 1,000}{3.14 \times D}$$

เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหมัดกัด (Diameter of Cutter)

$$\pi = 22/7 = 3.14 \text{ (ค่าประมาณ)}$$

## 2.7 อัตราการป้อนกัด (Feed Rate)

อัตราการป้อนกัดเป็นมิลลิเมตรต่อนาที (Feed Rate In Millimetres Per Minute) จากตาราง  
การป้อนกัด ซึ่งจะเลือกใช้อัตราการป้อนกัดต่อฟัน โดยพิจารณาได้จากชนิดของหมัดกัด และวัสดุงาน  
ที่นำมากัด รวมกัน ซึ่งจะเลือกใช้อัตราการป้อนกัดต่อฟัน โดยพิจารณาได้จากชนิดของหมัดกัด และ  
วัสดุงานที่นำมากัด รวมถึงการป้อนกัดลึกของหมัดกัดด้วย ตลอดจนค่าความเร็วของเพลาหมัดกัดที่ตั้ง  
กัด เพื่อจะนำมาวิเคราะห์ออกเป็นสูตรที่ใช้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหา

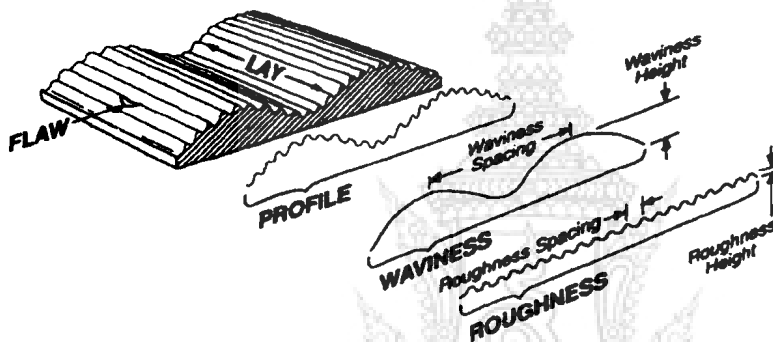
$$\text{Feed Rate} = \text{Feed Per Tooth (mm)} \times \text{Number Of Teeth} \times \text{RPM-Revolution/min}$$

$$V_f = F_z \times Z \times N \text{ mm/min}$$

## 2.8 การเกิดสภาพของผิว

ภายใต้ขบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร เช่น กลึง, มิลลิ่ง, ไส, เจียร ฯลฯ บริเวณผิวงานสำเร็จที่มองเห็นและสัมผัสได้นั้น จะเป็นแหล่งที่รวมและสามารถบ่งบอกผลจากแหล่งกำเนิดหลายอย่างปะปนกันอยู่ โดยจะทราบได้ต่อเมื่อได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผิว(Surface Analyze)

### 2.8.1 ส่วนประกอบของผิว (Surface Components)



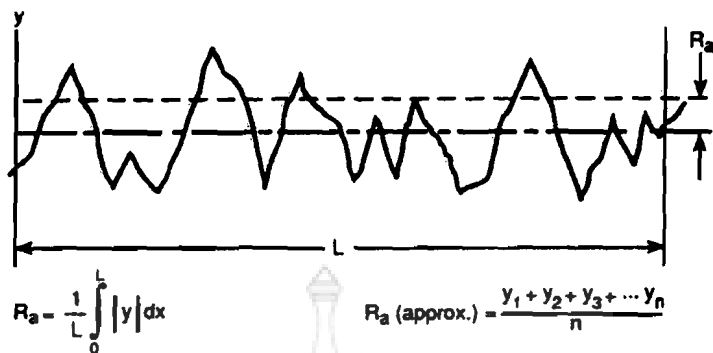
รูปที่ 2.4 แสดงถึงส่วนประกอบของผิว

1) LAY ทิศทางหลักของพื้นผิว หรือ รอยทางเดินของเครื่องมือตัด ซึ่งเกิดขึ้นบนพื้นผิวระหว่างการขึ้นรูป(Machine) ทิศทางที่เกิดขึ้นอาจเป็นได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับเครื่องมือ(Tools)หรือเครื่องที่ใช้ เช่น กลึง, เจียรรัน, มิลลิ่ง, ไส, ตะไบ ฯลฯ

2) FLAW รอยแตกเล็กๆ บนสันของยอด ซึ่งไม่ควรนำมารวมในการคำนวณความเรียบเพื่อแบ่งแยกความแตกต่าง ระหว่างองค์ประกอบต่างๆของผิวงาน หรือกำหนดการตัดสินใจคุณภาพของผิวงาน ว่ามีคุณลักษณะตามต้องการหรือตามที่กำหนดหรือไม่ เราจึงต้องใช้การวัดและคำนวณหาคุณสมบัติของผิวงาน เป็นตัววัด/วิเคราะห์หาความแตกต่างเหล่านั้น

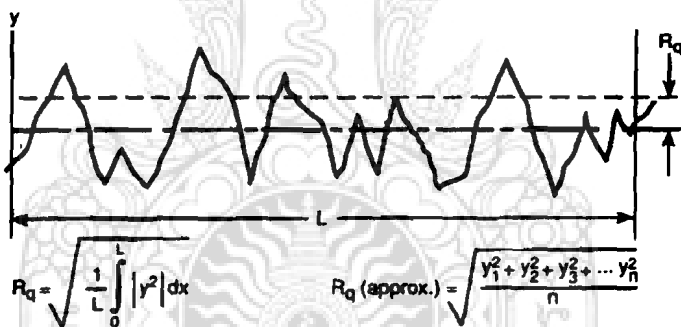
### 2.8.2 ความหมายของคุณสมบัติการวัดผิว (Parameters Detailed)

1)  $R_a$  = ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของผลรวม ของค่าจำนวนเต็มแทนค่าระยะเบี่ยงเบนของเส้นกราฟ ออกจากเส้นศูนย์ ในช่วงระยะอ่านค่า(L)



รูปที่ 2.5 แสดงเส้นโค้งความหนาและเส้นศูนย์กลาง

2)  $R_q$  = ค่ารากกำลังที่สองของค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสอง(Root Mean Square, RMS) ของค่าจำนวนเต็มแทนค่าระยะเบี่ยงเบนของเส้นกราฟออกจากเส้นศูนย์ ในช่วงระยะเก็บค่า (Sample Length)



รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการคำนวณเพื่อหาค่า  $R_q$

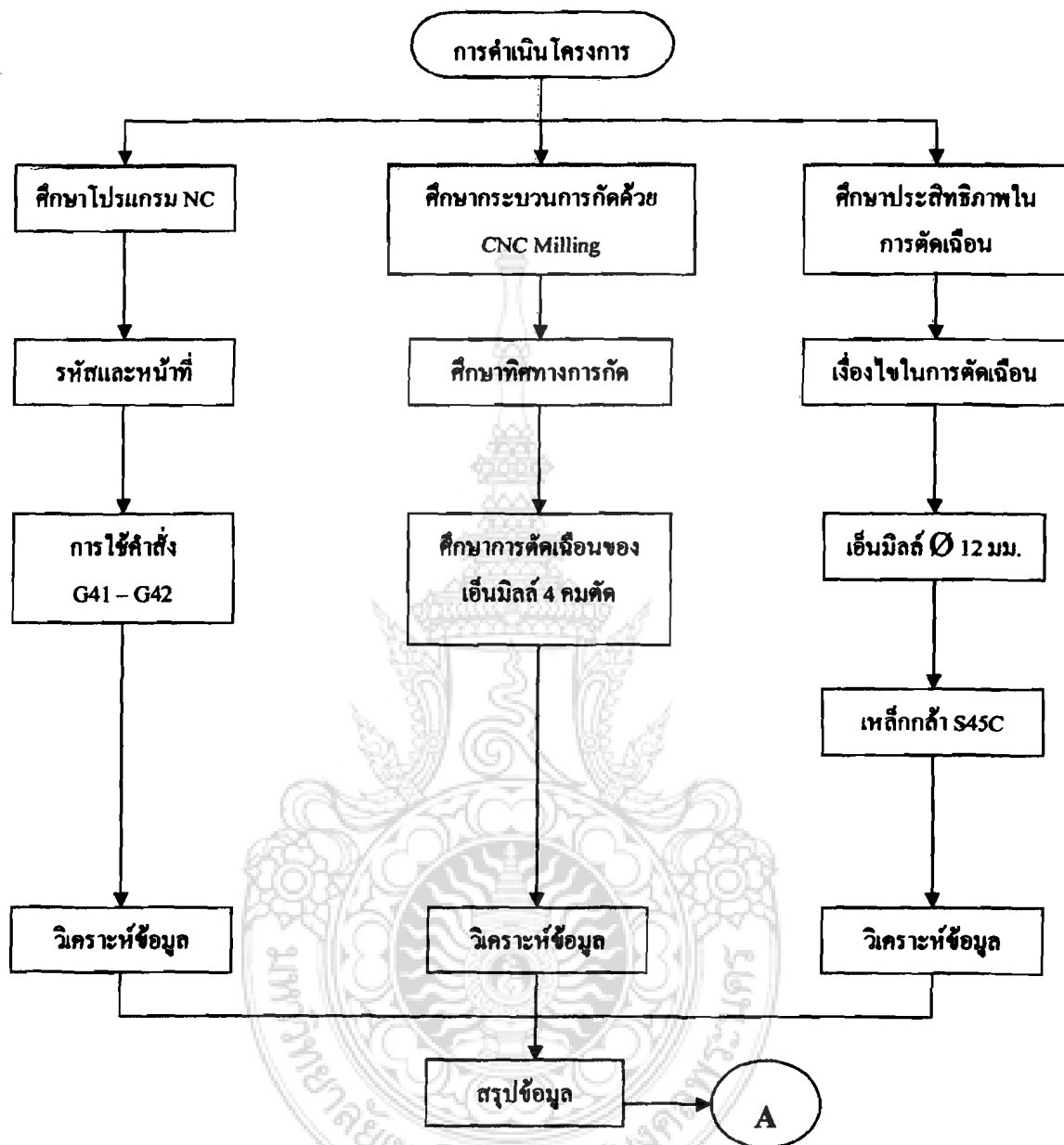
## บทที่ 3

### การดำเนินงานและวิธีวิจัย

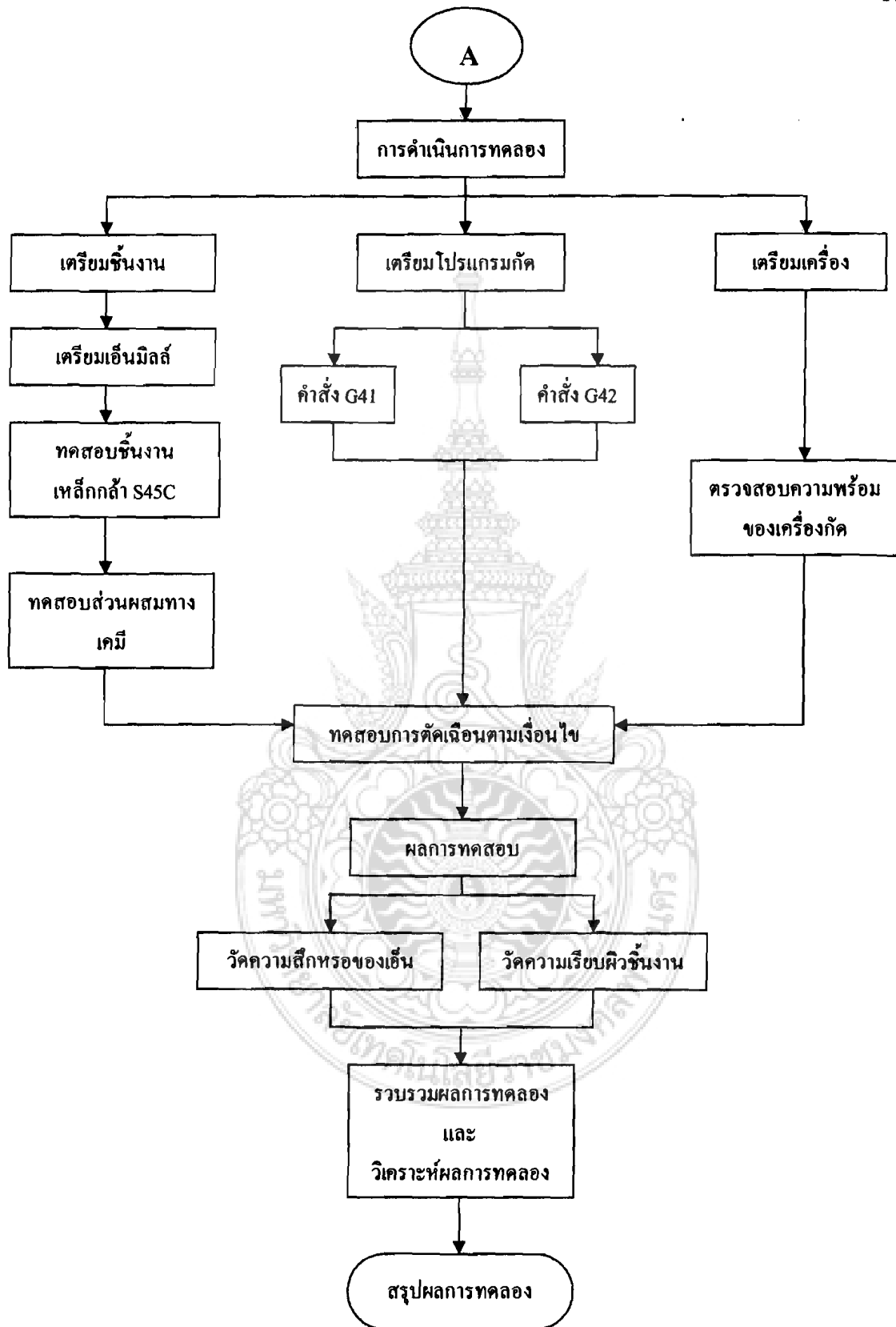
#### 3.1 บทนำ

การดำเนินงานและวิธีวิจัย เรื่องการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดเงื่อนไขโปรแกรมงานกักด้วยเครื่องกักอัดโนมิตีสำหรับการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม ในการดำเนินงานได้กำหนดแผนการดำเนินงาน ตั้งแต่เริ่มต้นศึกษารวบรวมข้อมูลจนถึงทำการทดลอง โดยกำหนดแผนการทำงาน ดังแผนภูมิแสดงขั้นตอนดำเนินการ ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2





รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.2 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

### 3.2 การเขียนโปรแกรม NC

ในการที่จะผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติจำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านภาษา NC เป็นอย่างดี เพราะเครื่องจักรกลอัตโนมัติจะรับรู้แต่เฉพาะภาษา NC ซึ่งจะประกอบด้วย G Code , M Code และ อักษรอื่น ภาษาโปรแกรม NC

#### 3.2.1 ตัวอย่าง G – Code พื้นฐานของเครื่องกลึงและเครื่องกัด

| โค้ด        | คำสั่ง                                                                                    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| G00         | การเคลื่อนที่แนวเส้นตรงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งด้วยความเร็วฟีดสูงสุด โดยไม่โค่นชิ้นงาน |
| G01         | การเคลื่อนที่แนวเส้นตรงลึกเข้าไปในเนื้อของชิ้นงานด้วยความเร็วฟีดที่กำหนด                  |
| G02         | การเคลื่อนที่แนวเส้นโค้งวงกลมลึกเข้าไปในเนื้อชิ้นงานในทิศทางตามเข็มนาฬิกา                 |
| G03         | การเคลื่อนที่แนวเส้นโค้งวงกลมลึกเข้าไปในเนื้อชิ้นงานในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา                 |
| G04         | หยุดการเคลื่อนที่ในระยะเวลาที่กำหนด                                                       |
| G17         | กำหนดใช้ระนาบ XY                                                                          |
| G18         | กำหนดใช้ระนาบ XZ                                                                          |
| G19         | กำหนดใช้ระนาบ YZ                                                                          |
| G20 / G70   | กำหนดหน่วยความยาวเป็น นิ้ว (inch)                                                         |
| G21 / G71   | กำหนดหน่วยความยาวเป็น มิลลิเมตร (mm)                                                      |
| G80         | ยกเลิกไซเคิล (Cycle) ต่าง ๆ                                                               |
| G81 ถึง G83 | ไซเคิลการเจาะรู (Drilling cycle) ต่าง ๆ                                                   |
| G84         | ไซเคิลการทำเกลียว                                                                         |
| G85 ถึง G88 | ไซเคิลการคว้านรู (Boreing cycle) ต่าง ๆ                                                   |
| G90         | กำหนดการ โปรแกรมให้เป็นแบบสัมบูรณ์ (Absolute)                                             |
| G91         | กำหนดการ โปรแกรมให้เป็นแบบสัมพัทธ์ (Increment)                                            |
| G94         | ให้ค่าฟีดเป็น มม. / นาที (mm. / min.) หรือ นิ้ว / นาที (inch / min)                       |
| G95         | ให้ค่าฟีดเป็น มม. / รอบ (mm. / rev) หรือ นิ้ว / นาที (inch / rev)                         |

|     |                                                               |
|-----|---------------------------------------------------------------|
| G96 | ให้ความเร็วผิว(Surface speed) คงที่เป็น เมตร / นาที (m / min) |
| G97 | ให้สปินเดิลหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่เป็น รอบ / นาที (rpm)      |

### 3.2.2 ตัวอย่าง M – Code พื้นฐานของเครื่องกลึงและเครื่องกัด

| โค้ด | คำสั่ง                                                                                                        |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M00  | หยุดโปรแกรมชั่วคราว แล้วจะทำงานต่อเมื่อกดสวิตช์ตั้ง                                                           |
| M01  | หยุดโปรแกรมเมื่อต้องการ (Optional Stop) โดยเมื่อจะให้หยุดต้องกดปุ่ม Optional Stop ที่แผงควบคุมของคอนโทรลเลอร์ |
| M03  | ให้สปินเดิลหมุนตามเข็มนาฬิกา                                                                                  |
| M04  | ให้สปินเดิลหมุนทวนเข็มนาฬิกา                                                                                  |
| M05  | หยุดหมุนสปินเดิล                                                                                              |
| M06  | สลับเปลี่ยนทูล                                                                                                |
| M07  | เปิดน้ำหล่อเย็น (Coolant 2) ให้ไหลเป็นละออง (Mist)                                                            |
| M08  | เปิดน้ำหล่อเย็น (Coolant 1) ให้ไหลท่วมทูล (Flood)                                                             |
| M09  | ปิดการไหลของน้ำหล่อเย็น                                                                                       |
| M13  | ให้สปินเดิลหมุนตามเข็มนาฬิกาและเปิดน้ำหล่อเย็น                                                                |
| M14  | ให้สปินเดิลหมุนทวนเข็มนาฬิกาและเปิดน้ำหล่อเย็น                                                                |
| M30  | จบโปรแกรมแล้วกลับไปบล็อกแรกหรือที่เริ่มต้นโปรแกรม                                                             |

### 3.3 กระบวนการกัดด้วยเครื่อง CNC Milling

เครื่อง CNC Milling เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนทั่วไปหรือชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนให้ออกมาตรงตามแบบที่ต้องการ จากอดีตที่ใช้เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยมือได้มีการพัฒนาเครื่องจักรที่สามารถควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติทำให้สามารถลดเวลาในการผลิต ขั้นตอนการผลิต และความเที่ยงตรงในการผลิตสูง เครื่อง CNC Milling จะทำงานตามโปรแกรมที่ได้กำหนดเอาไว้

#### 3.3.1 ทิศทางการกัด

##### 1) ทิศทางการกัดแบบกัดตาม (Down cut)

ในงานกัดตาม ความหนาของเศษและความดันในการตัดเฉือนจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ที่พื้นมีดกัด และจะมีค่าสูงสุดก่อนที่พื้นมีดกัดจะเลื่อนพื้นวัสดุงานเล็กน้อย เมื่อพื้นมีดกัดเลื่อนพื้นวัสดุงานแล้ว จะเกิดสถานะที่ติดตามมาก็ือ ความดันตัดเฉือนจะหมดไปทันที ทำให้มีดกัดเคลื่อนที่

ไปข้างหน้าโดยเร็ว และฟันมีดกัดตัดไปจะเลื่อนเข้ากัดวัสดุงานในลักษณะการกระตุก (Jerking) เป็นผลให้เกิดเป็นรอยสัน (Chatter marks) ขึ้นที่ผิวงาน

## 2) ทิศทางการกัดแบบกัดทวน (Up cut)

ในงานกัดทวนลักษณะการเกิดเศษจะกลับกันกับงานกัดตาม กล่าวคือ เมื่อฟันมีดกัดเริ่มเข้าตัดเฉือนชิ้นงาน ความหนาของเศษและความดันตัดเฉือนจะมีค่าสูงสุด และเมื่อฟันมีดกัดเลื่อนออกจากวัสดุงาน เศษจะมีขนาดบางที่สุดและความดันตัดเฉือนมีค่าน้อยสุด ดังนั้น จึงทำให้เกิดรอยสันสะท้อนน้อยและชิ้นงานมีผิวสำเร็จที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานกัดตาม งานกัดทวนจะใช้เครื่องกัดที่มีกำลังน้อยกว่าได้ แต่ต้องการความแข็งแรงของเครื่องกัดมากกว่า และมีไต่ะงานที่ปราศจากระยะคลอน (Backlash) เนื่องจากเครื่องจักรกลชนิดอื่นซึ่งจะมีคุณสมบัติเหล่านี้อยู่แล้ว ดังนั้นจึงมักนิยมเลือกใช้งานกัดทวนมากกว่า

### 3.3.2 ศึกษาลักษณะการตัดเฉือนของเอ็นมิลล์

การผลิตชิ้นงานด้วยเครื่องกัด (Milling Machine) เป็นกระบวนการตัดเฉือนเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานที่มีลักษณะต่าง ๆ กันหลายรูปแบบและหลายลักษณะงาน โดยการหมุนตัดของเครื่องมือตัดแบบหลายคมตัด คมตัดแต่ละคมตัดจะปาดผิวงานออกเมื่อเอ็นมิลล์หมุนก่ดงานในแต่ละรอบการหมุนเนื่องจากว่าชิ้นงานและเอ็นมิลล์สามารถเคลื่อนที่ตัดในทิศทางต่าง ๆ ได้มากกว่าหนึ่งทิศทางสำหรับการตัดเฉือนแต่ละครั้ง ผิวงานที่เกิดจากการตัดเฉือนสามารถกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ตัดโดยการทำงานของเครื่องกัด ซึ่งมีเทคนิโกลีและรูปทรงเรขาคณิตที่แตกต่างกันเอ็นมิลล์แต่ละแบบที่นำมาใช้ในการตัดเฉือนจะแตกต่างกันตามวัสดุงานและลักษณะของชิ้นงาน ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างงานกัดและงานตัดเฉือนด้วยวิธีการอื่น ๆ มีดังนี้

- 1.) คมตัดหลาย ๆ คมหมุนสลับการตัดเฉือนผิวงานตลอดเวลา
- 2.) เศษตัดที่ตัดด้วยเอ็นมิลล์จะมีขนาดค่อนข้างเล็ก
- 3.) ความหนาเศษตัดจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากทิศทางการหมุนและการเคลื่อนที่ตัด

ความหนาเศษตัดเปลี่ยนแปลงในขณะที่คมตัดแต่ละคมตัดกำลังตัดเฉือน เพราะว่าขณะที่กำลังตัดเฉือนนั้นมีการป้อนชิ้นงานในทิศทางการเคลื่อนที่ของไต่ะจับงาน และชิ้นงานเคลื่อนที่เข้าหาเอ็นมิลล์ การวัดความหนาเศษตัดจะวัดในแนวรัศมีของเอ็นมิลล์งานกัดส่วนใหญ่จะสามารถตัดเฉือนชิ้นงานที่มีความแข็งประมาณ 25 HRC อย่างไรก็ดี เหล็กกล้าที่มีความแข็ง 35 – 56 HRC สามารถกัดเฉือนด้วยวิธีการกัดได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือตัดแต่ละชนิด เช่น เหล็กกล้ารอบสูง คาร์ไบด์ เป็นต้น

### 3.4 ประสิทธิภาพในการตัดเฉือน

ประสิทธิภาพในการตัดเฉือนจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของเอ็นมิลล์ที่ใช้ วัสดุชิ้นงาน เงื่อนไขในการตัดเฉือนต่างๆ และเครื่องจักรที่มีความสมบูรณ์พร้อมใช้งาน หลายสิ่งหลายอย่างเหล่านี้จะต้องเหมาะสมกันชิ้นงานถึงจะออกมาดีมีคุณภาพ หากขาดสิ่งใดสิ่งหนึ่งชิ้นงานที่ออกมาอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากแบบ

#### 3.4.1 เงื่อนไขการตัดเฉือน

กระบวนการทดสอบการตัดเฉือนของเอ็นมิลล์ 4 กมตัดโดยใช้เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) ตามโปรแกรมการทำงาน ทดลองกัดชิ้นงานเหล็กกล้าชิ้นส่วนเครื่องมือกลชนิด S45C ตามมาตรฐาน JIS เป็นระยะทาง 3,000 มม. โดยมีเงื่อนไขในการตัดเฉือนดังนี้

| ตาราง 3.1 แสดงเงื่อนไขในการตัดเฉือนของเอ็นมิลล์ HSS ขนาด 12 มม. จำนวน 4 กมตัด |                         |                            |                                  |                       |                         |                          |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|
| เอกสารอ้างอิง                                                                 | ความเร็ว<br>รอบ rev/min | ความเร็ว<br>ป้อน<br>mm/min | อัตรา<br>การ<br>ป้อน<br>mm/tooth | ความเร็ว<br>ตัด m/min | ความลึกตัด<br>มิล<br>mm | วัสดุ<br>ชิ้นงาน<br>AISI | ความแข็ง<br>(HB) |
| MachineTool<br>Design hand<br>Book                                            | 716                     | 140s                       | 0.05                             | 27                    | 0.25D                   | 1045                     | 175-225          |
| Osbron                                                                        | 550-672                 | 72-88                      | 0.035                            | 24.25                 | 0.25D                   | 1045                     | 206              |
| Frenken                                                                       | 530-742                 | 84-118                     | 0.04                             | 20.28                 | 0.5D                    | 1045                     | 220              |
| E.C                                                                           | 530-660                 | 80                         | 0.035                            | 23-28                 | 0.25D                   | 1045                     | 250              |
| Machine tools                                                                 | 610                     | 122                        | 0.05                             | 23                    | 0.25D                   | 1045                     | 225              |
| ILLI-CO                                                                       | 636                     | 100                        | 0.04                             | 24                    | 0.25D                   | -                        | 260              |
| Vallorbe                                                                      | 470-660                 | 90-130                     | 0.05                             | 18-25                 | 0.5D                    | -                        | 215-300          |
| Hanita                                                                        | 715                     | 65                         | 0.023                            | 26                    | 0.5D                    | -                        | 300              |
| Y.G.                                                                          | 700                     | 90                         | 0.032                            | 26                    | 0.25D                   | -                        | 175              |
| NW                                                                            | 660                     | 100                        | 0.038                            | 25                    | 0.25D                   | 1045                     | 200              |
| Sumitom                                                                       | 900                     | 90                         | 0.025                            | 33                    | 0.25D                   | -                        | 220              |
| ตาราง โลหะ                                                                    | 636                     | 80-100                     | 0.035                            | 22-24                 | -                       | -                        | 250              |
| เฉลี่ย                                                                        | 665                     | 100                        | 0.04                             | 25                    | 0.25D                   | 1045                     | -                |

จากตาราง เป็นข้อมูลการกำหนดเงื่อนไขในการตัดเฉือนของเอ็นมิลล์ 4 คมตัด จำนวน 12 ตราผลิตภัณฑ์ การทดลองสามารถกำหนดเงื่อนไขในการกักทดสอบได้ดังนี้

เงื่อนไขในการตัดเฉือนของเอ็นมิลล์ 4 คมตัด

|                             |      |          |
|-----------------------------|------|----------|
| ความเร็วรอบ (Rpm)           | 665  | รอบ/นาที |
| อัตราป้อน (Feed Rate)       | 0.04 | มม./ฟัน  |
| ความเร็วป้อน(Feed velocity) | 100  | มม./นาที |
| ความลึก(Depth of cut)       | 3    | มม.      |
| ความเร็วตัด (Cutting Speed) | 25   | ม./นาที  |

#### 3.4.2 เครื่องมือและวัสดุทดลอง

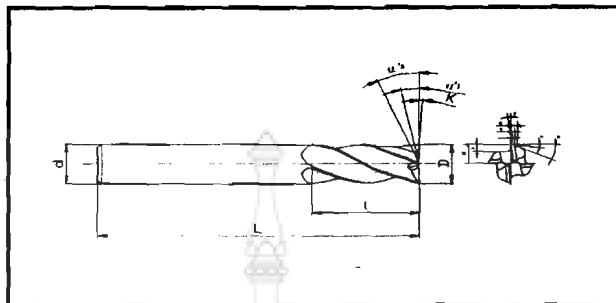
เครื่องมือและวัสดุทดลองจะประกอบด้วยเครื่องมือตัด ใช้เอ็นมิลล์ M42 ประเภท 4 คมตัด ขนาด 12 มิลลิเมตร และวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C ตามมาตรฐาน JIS

#### 3.4.3 รูปทรงเรขาคณิตของเอ็นมิลล์

จากการศึกษาการออกแบบ คือ การศึกษาเกี่ยวกับรูปทรงเรขาคณิตของเอ็นมิลล์และขนาดต่างๆ ของคมตัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการตัดเฉือน ของเอ็นมิลล์ประเภท 4 คมตัดซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- $L$  = ความยาวทั้งหมดของเอ็นมิลล์ (Overall Length)
- $l$  = ความยาวของคมตัด (Length of Cut)
- $d$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter of End mills)
- $D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคมตัด (Cutting Diameter)
- $\gamma$  = มุมคายเศษในแนวรัศมี (Rake Angle)
- $\phi$  = มุมเฉียง (Helix Angle)
- $K$  = มุมหลบในแนวแกน (Axial Relief Angle)
- $\alpha_1$  = มุมหลบในแนวรัศมี (Radial Relief Angle)
- $\alpha_2$  = มุมหลบรองในแนวรัศมี (Secondary Relief Angle) หรือ มุมหลบ
- $\alpha_3$  = มุมเฉียงของคมตัดด้านปลายมีด (End Cutting Edge Concavity Angle)

รูปทรงเรขาคณิตของเอ็นมิลล์ประเภท 4 คมตัด สำหรับศึกษาทางรูปทรงเรขาคณิต และออกแบบในการผลิตเอ็นมิลล์ประกอบด้วยส่วนๆ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 มุมและขนาดรูปทรงเรขาคณิตของเอ็นมิลล์

#### 3.4.4 วัสดุทดลองเหล็กเครื่องมือ



เหล็กเครื่องมือ S45C ตามมาตรฐาน JIS

รูปที่ 3.4 แบบชิ้นงานทดลองเหล็ก S45C

คุณสมบัติและขนาดของชิ้นงานทดลองเหล็กกล้ารหัส S45C ตามมาตรฐาน JIS เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนผสมปานกลาง ที่ผ่านการอบอ่อนมาแล้ว และทำการปาดผิวเรียบให้มีขนาดชิ้นงานเท่ากันทั้งชิ้น โดยขนาดชิ้นงานทดลองการตัดเฉือนมีขนาดหน้าตัด 24.00 มม. และความยาว 100 มม. ความแข็งชิ้นงานเท่ากับ 160 HB

### 3.5 การดำเนินการทดลอง

ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่วางแผนไว้ เพื่อป้องกันการผิดพลาดจากการทดลอง และเพื่อความถูกต้องของผลการทดลอง

#### 3.5.1 ตรวจสอบวัสดุเหล็กกล้า S45C มาตรฐาน JIS

คุณสมบัติและขนาดของชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ตาม มาตรฐาน JIS เป็น เหล็กกล้าคาร์บอนผสมปานกลาง ที่ผ่านการเย็นตัวอย่างช้า ๆ ด้วยอากาศ และทำการปาดผิวเรียบทุก ด้านให้น้ำตัดเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 24 มม. ขนาดความยาวเท่ากับ 100 มม. ความ แข็งชิ้นงานเท่ากับ 160 HB

#### 3.5.2 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

โดยใช้เครื่อง Emission Spectrometer เพื่อตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของวัสดุชิ้นงาน รหัสนี้ 1045 ดูส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ เพื่อเทียบกับมาตรฐาน AISI เพื่อนำมาเป็นข้อมูล ประกอบการวิเคราะห์ในการทดลอง โดยมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

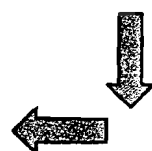
- 1) การเตรียมชิ้นงานขั้วบริเวณที่จะทำการทดสอบส่วนผสมทางเคมีเพื่อไม่ให้ค่าที่ได้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบ
- 2) วิธีการตรวจหาส่วนผสม นำเข้าเครื่อง Emission Spectrometer โดยใช้อุปกรณ์ การจับยึดให้ได้ตำแหน่ง เพื่อให้ได้ค่าที่ออกมาเที่ยงตรงดังรูปที่ 3.5



นำชิ้นงานมาวางบนเครื่อง



ตั้งงานและวิเคราะห์ผลผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์



ทำการ Spark ชิ้นงานจำนวน 4 ครั้งใน ตำแหน่งที่  
ต่างกัน โดยใช้ชิ้นงานจำนวน 3 ชิ้นเพื่อหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานทดลองเหล็ก S45C

### 3.6 เตรียมโปรแกรม

โปรแกรมที่นำมาใช้ในการทดลองเป็น โปรแกรมที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งต้องมีการเขียนโปรแกรมก๊าดงานตามที่กำหนด โดยจะใช้โปรแกรม 2 โปรแกรมคือ

3.6.1 โปรแกรม G41 สำหรับก๊าดชิ้นงานในลักษณะการก๊าดทวน

3.6.2 โปรแกรม G42 สำหรับการก๊าดชิ้นงานในลักษณะการก๊าดตาม

### 3.7 เตรียมเครื่อง CNC Milling

โดยการใช้เครื่อง CNC Milling ที่ต่างรุ่นต่างยี่ห้อ จำนวน 3 เครื่องเพื่อความเป็นกลางในการทดสอบ เครื่องที่นำมาทดสอบต้องสามารถใช้งานได้จริงโดยใช้รุ่นและยี่ห้อดังนี้

3.7.1 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ MANFORD รุ่น VH-610

3.7.2 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ EMCO รุ่น VMC-200

3.7.3 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ EXTRON รุ่น M 230



รูปที่ 3.6 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ MANFORD รุ่น VH-610



รูปที่ 3.7 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ EMCO รุ่น VMC-200



รูปที่ 3.8 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ EXTRON รุ่น M 230

### 3.8 การตรวจสอบความพร้อมของเครื่อง CNC Milling

การตรวจสอบความพร้อมของเครื่องนั้น จะดูจากความสำเร็จของเครื่องว่าเครื่องจักรยังสามารถใช้งานได้อยู่หรือไม่ และอายุการใช้งานของเครื่องว่าเครื่องจักรผ่านการใช้งานมานาน้อยเพียงใด

3.8.1 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ MANFORD รุ่น VH-610 ผลิตจากประเทศไต้หวัน  
สภาพของเครื่องจักรมีความสมบูรณ์

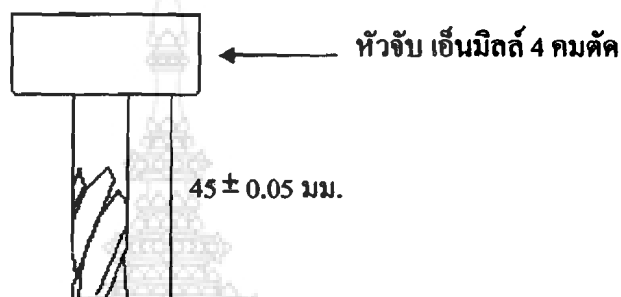
3.8.2 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ EMCO รุ่น VMC-200 ผลิตจากประเทศออสเตรีย  
สภาพของเครื่องมีความสมบูรณ์

3.8.3 เครื่อง CNC MILLING ยี่ห้อ EXTRON รุ่น M 230 ผลิตจากประเทศไต้หวัน  
สภาพของเครื่องจักรมีความสมบูรณ์

### 3.9 ทดสอบการตัดเฉือน

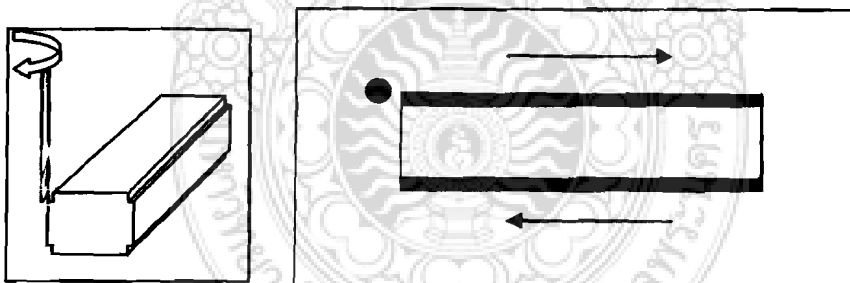
การทดสอบการตัดเฉือน จะใช้เอ็นมิลล์ 4 คมตัดจำนวน 6 คอก ต่อเครื่อง CNC Milling 1 เครื่อง ทำการกัดชิ้นงาน ให้เอ็นมิลล์ 1 คอก กัดชิ้นงานเป็นระยะทาง 3000 มม. โดยจะทำการวัดระยะการสึกหรอของเอ็นมิลล์ น้ำหนักของเอ็นมิลล์ ความหนาของเศษกัด และความเรียบผิว  $A_p$  ทุกๆระยะ 500 มม.

การกำหนดความยาวส่วนปลายของเอ็นมิลล์ 4 คมตัดให้ห่างจากหัวจับเอ็นมิลล์  $40 \pm 0.05$  มม.



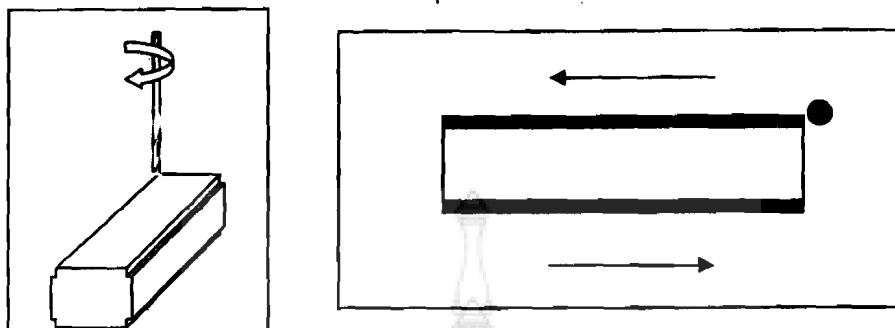
รูปที่ 3.9 ความยาวการจัดยึดเอ็นมิลล์ 4 คมตัด

ทิศทางการตัดเฉือนของเอ็นมิลล์ 4 คมตัด โปรแกรม G41 แสดงดังรูป 3.10



รูปที่ 3.10 เส้นทางการตัดเฉือนในการทดสอบเอ็นมิลล์ โปรแกรม G41

ทิศทางการตัดเฉือนของเอ็นมิลล์ 4 คมตัด โปรแกรม G42 แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เส้นทาง การตัดเฉือนในการทดสอบเอ็นมิลล์ โปรแกรม G42

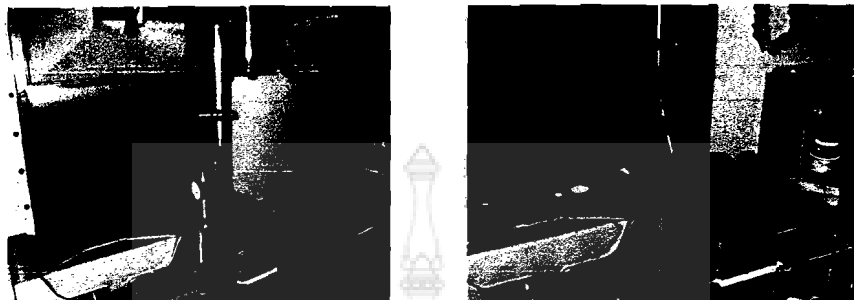
### 3.9.1 ขั้นตอนการทดสอบการตัดเฉือน

- 1) เตรียมชิ้นงานทดสอบให้มีขนาดตามแบบ และกำหนดรหัสชิ้นงานทดสอบ
- 2) เขียน โปรแกรมตามทิศทางการตัดเฉือนซึ่งใช้โปรแกรมG41และโปรแกรม G42



รูปที่ 3.12 การเขียน โปรแกรมตามทิศทางการตัดเฉือน

3) การติดตั้งปากกาจับชิ้นงาน และ Carlibration อุปกรณ์ในการทดสอบ

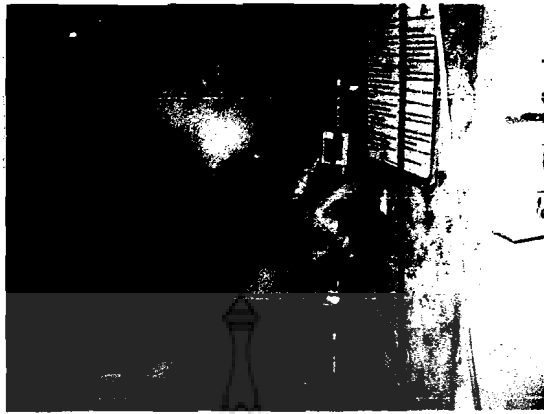


รูปที่ 3.13 การ Carlibration อุปกรณ์ในการทดสอบ

4) การจับยึดคอกเอ็นมิลล์ กำหนดความยาวส่วนปลายของเอ็นมิลล์ ให้ห่างจาก หัวจับเอ็นมิลล์  $40 \pm 0.05$  มม. ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การจับยึดเอ็นมิลล์เข้ากับจิกจับ      รูปที่ 3.15 สวมจิกจับเข้ากับหัวจับเอ็นมิลล์

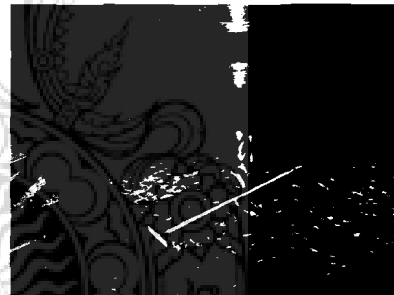


รูปที่ 3.16 การตรวจสอบระยะห่างจากหัวจับเอ็นมิลล์ถึงส่วนปลายของเอ็นมิลล์

- 5.) ทดสอบการตัดเอ็นเป็นระยะทาง 500 มม. และเก็บตัวอย่างเศษของระยะเริ่มต้น เพื่อนำไปตรวจสอบพฤติกรรมเศษตัด



รูปที่ 3.17 การตัดเอ็นของโปรแกรม G41



รูปที่ 3.18 การตัดเอ็นของโปรแกรม G42

- 6) เมื่อทดสอบการตัดเอ็นเสร็จ นำเอ็นมิลล์ไปตรวจสอบระยะการสึกหรอที่ผิวหลบหลังการตัดเอ็น และตรวจสอบด้วยการบันทึกภาพ ณ ที่ระยะการตัดเอ็น 500 มม.

- 7) ทดสอบการตัดเอ็นที่ระยะทาง 500 มม. ถึง 1000 มม. และเก็บตัวอย่างเศษตัด โดยเริ่มเก็บที่ระยะ 500 มม. และระยะ 1000 มม. จากนั้นนำเอ็นมิลล์มาตรวจสอบการสึกหรอที่ผิวหลบหลังการตัดเอ็น ตรวจสอบโดยการบันทึกภาพ และตรวจสอบน้ำหนักที่ระยะการตัดเอ็น 1000 มม. เสร็จแล้วก็เริ่มทำตามขั้นตอนที่ 5 ถึง ขั้นตอนที่ 8 ตามลำดับจนเอ็นมิลล์มีระยะการตัดเอ็นถึง 3000 มม.

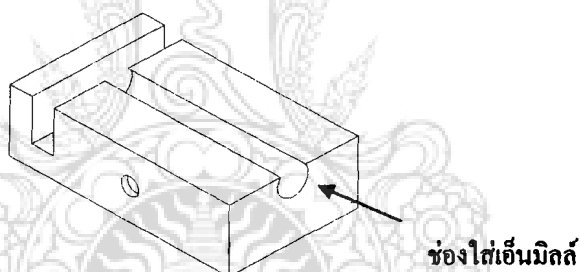
- 8) รวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดลองในเงื่อนไขต่างๆ

### 3.10 การตรวจผลการทดลอง

#### 3.10.1 วิธีการวัดและการตรวจสอบการสึกหรอที่ผิวหอบของเอ็นมิลล์

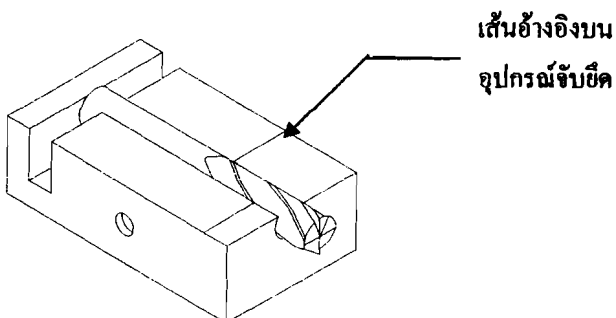
ตรวจสอบโดยใช้เครื่อง Profile Projector ยี่ห้อ Nikon กำลังขยาย 50X ความละเอียด 1/1000 มม. ตรวจสอบก่อนการตัดเฉือน และทุกระยะทางการตัดเฉือน 500 มม. เป็นระยะทาง 3,000 มม. การตรวจสอบวัดจากปลายคมตัดถึงระยะทางป้อนลึกในการตัดเฉือนซึ่งมีระยะทาง 3 มม. โดยวัดจากปลายคมตัด ลงมาครึ่งละ 0.5 มม. จนครบระยะทาง 3 มม. เพื่อหาค่าการสึกหรอที่ผิวหอบในแต่ละระยะทางการทดสอบการตัดเฉือนของเอ็นมิลล์ โดยมีวิธีดังนี้

- 1) เตรียมเครื่องโดยใช้เครื่อง Profile Projector ยี่ห้อ Nikon กำลังขยาย 50X ความละเอียด 1/1000 มม.
- 2) เตรียมเอ็นมิลล์ ทำการล้างด้วยแอลกอฮอล์ 95% แล้วเช็ดด้วยผ้าสะอาดเพื่อกำจัดฝุ่นและคราบต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการสึกหรอที่ผิวหอบ
- 3.) เตรียมอุปกรณ์จับยึดโดยแสดงรายละเอียด ดังรูปที่ 3.19



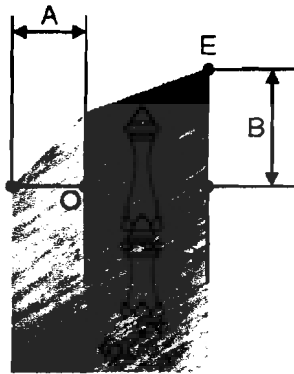
รูปที่ 3.19 อุปกรณ์การจับยึด

- 4) ยึดตำแหน่งอุปกรณ์จับยึดที่แทนกระบอกของเครื่อง Profile Projector
- 5) นำเอ็นมิลล์ใส่อุปกรณ์จับยึดและยึดให้แน่น จากนั้นกำหนดจุดอ้างอิงของคมตัด โดยให้ปลายเส้นอ้างอิงกับโคนพื้นของเอ็นมิลล์ตรงกัน ดังรูปที่ 3.20



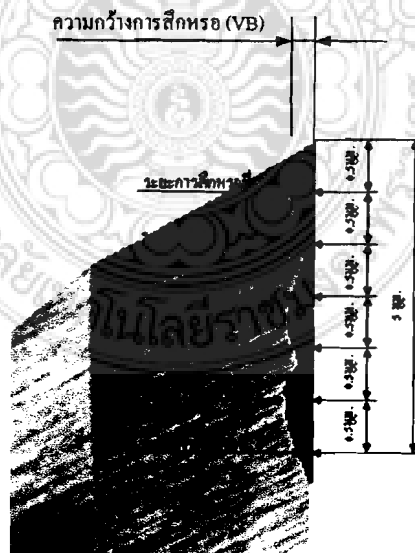
รูปที่ 3.20 กำหนดจุดอ้างอิงของคมตัด

6) วัดระยะอ้างอิงผิวหลบก่อนการทดสอบการตัดเฉือน ดังรูปที่ 3.21 กำหนดจุด o ให้เป็นจุดเริ่มต้นการวัดระยะ A บันทึกผล จากนั้นลากขึ้นไปตามแนวแกน Y ถึงระดับเดียวกับกับจุด E จะได้ระยะ B และบันทึกผล



รูปที่ 3.21 แสดงระยะอ้างอิงที่ดอกเอ็นมิลล์

7) กำหนดจุด o ให้เป็นจุดเริ่มต้นการวัดระยะ จากนั้นวัดระยะ C โดยวัดจากจุด E ลงมาเรื่อยๆ ครั้งละ 0.5 มม. จนครบระยะทาง 3 มม. บันทึกผลในทุกๆครั้งที่วัด เพื่อใช้เป็นระยะอ้างอิงกับคมตัดสึกหรอจากการทดสอบ



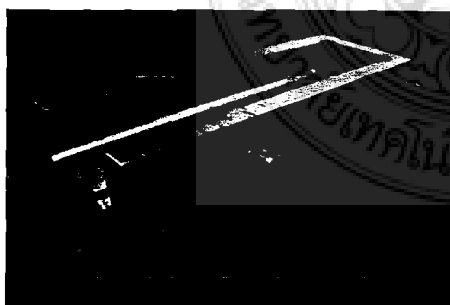
รูปที่ 3.22 ระยะการวัดการสึกหรอ

- 8) นำเอ็นมิลล์ไปทดสอบการตัดเฉือนที่ระยะทาง 500 มม.
- 9) นำเอ็นมิลล์ที่ทดสอบแล้วมาวัดระยะการสึกหรอ ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 1-5 จากนั้นกำหนดระยะอ้างอิง A และ B ตามระยะที่วัดไว้ก่อนนำเอ็นมิลล์ไปทดสอบ
- 10) วัดระยะ C ตามขั้นตอนที่ 7
- 11) นำระยะ C ที่ได้หลังการทดสอบการตัดเฉือนที่ระยะทาง 500 มม. มาลบออกจากระยะ C ที่ได้ก่อนการทดสอบการตัดเฉือนจะได้ระยะการสึกหรอของผิวหลัก ที่ระยะทางการตัดเฉือน 500 มม.
- 12) นำเอ็นมิลล์ไปทดสอบการตัดเฉือนทุกๆระยะทาง 500 มม. จนถึงระยะ 3000 มม. โดยปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 9-11

### 3.10.2 การตรวจสอบความหยาบผิว

ตรวจสอบความหยาบผิวชิ้นงานโดยใช้ Surface Roughness Mittutoyo รุ่น SJ 400 ตรวจสอบความเรียบผิวที่เกิดจากการตัดเฉือน ทุกๆ ระยะ 500 มม. จนถึงระยะ 3,000 มม. เพื่อหาค่าความเปลี่ยนแปลงของความเรียบผิวตามระยะทางการตัดเฉือน ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

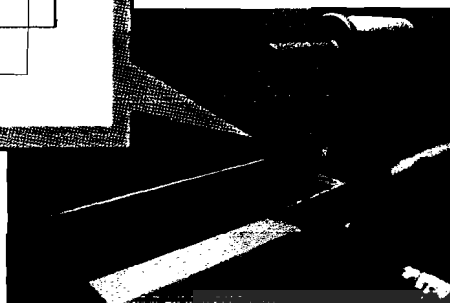
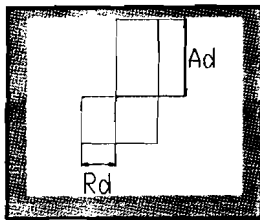
- 1) เตรียมเครื่อง Surface Roughness Mittutoyo รุ่น SJ 400
- 2) ปรับตั้งค่าการใช้งานต่างๆในโปรแกรม
- 3) จับยึดชิ้นงานทดสอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึด
- 4) ตรวจสอบความเรียบผิว 7 ช่วงตามระยะที่กำหนด
- 5) บันทึกผลการทดลองในตารางบันทึกผล



รูปที่ 3.23 จิกจับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 3.24 การ Calibration



รูปที่ 3.25 ทิศทางการวัดผิวเรียบ Ad



รูปที่ 3.26 ค่าการวัดผิวเรียบ Ra

### 3.11 การบันทึกและรวบรวมผลการทดลอง

ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้ทำการทดสอบ โดยละเอียดเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประกอบทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยใช้เครื่องมือช่วยในการจดบันทึกและรวบรวมผลคือ

3.11.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง โดยการทำการร่างบันทึกผลการทดลองเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง เพื่ออำนวยความสะดวกในการนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ เช่น ตารางบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการสึกหรอของตัวอย่างเอ็นมิลล์ ตารางบันทึกผลการชั่งน้ำหนัก ตารางบันทึกผลการวัดความเรียบผิวชิ้นงาน เป็นต้น

3.11.2 รูปภาพในการทดลองขั้นตอนต่าง ๆ จะมีการถ่ายรูปเก็บไว้เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการทดลอง โดยแสดงขั้นตอนการทำงานแสดงการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลองและแสดงผลที่ได้จากการทดลองในส่วนต่างๆ เช่น เป็นข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบเกี่ยวกับการสึกหรอของเอ็นมิลล์ รูปผิวชิ้นงานที่ผ่านการกัดและส่วนผสมทางเคมี เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบก่อนทดลองและหลังทดลองเพื่อประกอบการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

### 3.12 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำแบบฟอร์มรายงานผลการทดลองเพื่อใช้ในการนำเสนอผลการทดลองในบทที่ 4 คือไปโดยแบ่งออกเป็น 6 แบบคือ

3.12.1 รายงานผลการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling)

3.12.2 รายงานผลการทดสอบวัสดุชิ้นงาน S45C เปรียบเทียบโครงสร้าง ความแข็งแรง คุณสมบัติทางเคมีกับมาตรฐาน

3.12.3 รายงานผลการสึกหรอของเอ็นมิลล์แต่ละเงื่อนไขว่ามีผลการสึกหรอเท่าใด วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการสึกหรอ

#### 3.12.4 รายงานผลการวัดความเรียบผิวเพื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของทิศทางการ กัดโดยการทำการวางແຈແຈ

#### 3.12 สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์และรายงานผลการทดสอบ นำมาสรุปหาข้อมูลว่าในการกัดงานโดยใช้  
เครื่องกัดอัตโนมัติใช้คำสั่งในการกัดใดมีประสิทธิภาพการใช้งานดีที่สุด มีประสิทธิภาพในการ  
รักษาคมตักของเครื่องมือตัดดีที่สุด และมีประสิทธิภาพในการกัดผิวเรียบ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบ  
ในการตัดสินใจเลือกใช้คำสั่งในการกัดงานที่เหมาะสมกับงานมากที่สุด จัดทำการสรุปผลการทดสอบ  
และ ข้อเสนอแนะในบทที่ 5 ต่อไป



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

จากการทดลองการเปรียบเทียบโปรแกรมการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม G41 และโปรแกรม G42 โดยใช้เอ็นมิลล์ M42 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. จำนวนทั้งหมด 18 คอก และเครื่องกัดอัตโนมัติจำนวน 3 เครื่อง ที่มีข้อดีและรุ่นของเครื่องแตกต่างกัน ทำการทดลองกัดชิ้นงานเหล็ก S45C (JIS) เป็นระยะทาง 3,000 มม. ต่อเอ็นมิลล์ 1 คอก โดยจะทำการวัดความสึกหรอที่ผิวหลบของคมตัด (Flank Wear) และวัดความเรียบผิวของชิ้นงาน ที่ระยะทุก ๆ 500 มม. เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ

#### 4.2 ผลการวัดความสึกหรอของเอ็นมิลล์

ได้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการสึกหรอของเอ็นมิลล์ได้ตามตาราง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดความสึกหรอของเอ็นมิลล์

| การสึกหรอเอ็นมิลล์( $\mu\text{m}$ ) |     |    |    |     |    |
|-------------------------------------|-----|----|----|-----|----|
|                                     | G41 |    |    | G42 |    |
| 16                                  | 14  | 13 | 15 | 17  | 18 |
| 11                                  | 13  | 17 | 15 | 16  | 16 |
| 12                                  | 15  | 13 | 17 | 20  | 21 |

#### 4.3 ผลการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน

ได้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับความหยาบผิวได้ตามตาราง

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน

| ความหยาบผิว Ra (μm) |      |      |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|------|
| G41                 |      |      | G42  |      |      |
| 1.73                | 2.12 | 2.07 | 1.20 | 1.12 | 1.05 |
| 1.89                | 1.91 | 2.31 | 1.37 | 1.22 | 1.40 |
| 1.96                | 2.10 | 2.19 | 1.07 | 1.11 | 1.00 |

#### 4.4 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานงานวิจัยเรื่อง การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดเลือกของโปรแกรมงานกัดด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติสำหรับผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม ได้แบ่งเป็นการทดสอบ 2 เรื่องคือ

##### 4.4.1 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการสีกรอของเอ็นมิลล์

จากตารางที่ 4.1

| การสีกรอเอ็นมิลล์(μm)        |    |    |                              |    |    |
|------------------------------|----|----|------------------------------|----|----|
| G41                          |    |    | G42                          |    |    |
| 16                           | 14 | 13 | 15                           | 17 | 18 |
| 11                           | 13 | 17 | 15                           | 16 | 16 |
| 12                           | 15 | 13 | 17                           | 20 | 21 |
| $\bar{X} = 13.77$ SD = 1.922 |    |    | $\bar{X} = 17.22$ SD = 2.108 |    |    |

- 1) ตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

- 2) ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

- 3) สถิติที่ใช้ ในการทดสอบคือ

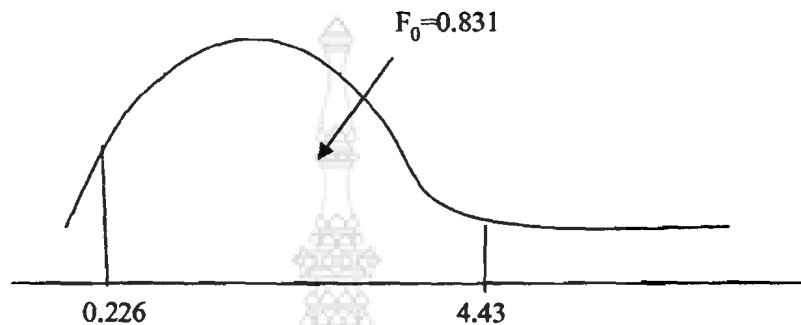
$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{1.922^2}{2.108^2} = \frac{3.694}{4.444}$$

$$F_0 = 0.831$$

เปิดตาราง

ค่าวิกฤตบนคือ  $F_{0.025, 8, 8} = 4.43$

ค่าวิกฤตล่างคือ  $F_{0.975, 8, 8} = \frac{1}{F_{0.025, 8, 8}} = \frac{1}{4.43} = 0.226$



จะเห็นว่าค่า  $F_0$  จากการคำนวณตกอยู่ในเขต  $H_0$  ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4) ตั้งสมมติฐานงานวิจัย

$H_0: \mu_1 = \mu_2$  (การสึกหรอของเอ็นมิลล์ที่กักงานด้วย G41 และ G42 ไม่แตกต่างกัน)

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  (การสึกหรอของเอ็นมิลล์ที่กักงานด้วย G41 และ G42 แตกต่างกัน)

5) ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

6) สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$\text{โดยที่ } S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2) - 2}$$

$$\text{แทนค่า } S_p^2 = \frac{(9-1)3.694 + (9-1)4.444}{(9+9)-2}$$

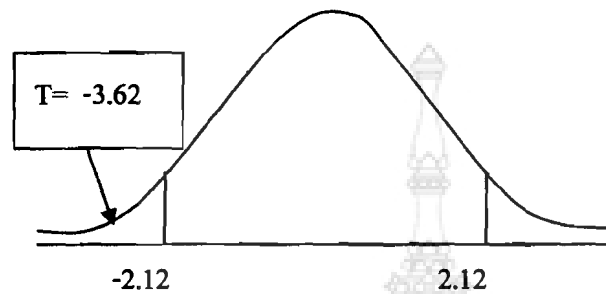
$$= 4.069$$

$$S_p = 2.017$$

$$T = \frac{(13.77 - 17.22) - (0)}{2.017 \sqrt{\frac{1}{9} + \frac{1}{9}}}$$

$$= -3.62$$

$$t_{0.025, 16} = 2.12 \quad (\text{เปิดตาราง})$$



จะเห็นว่าค่า T คำนวณตกอยู่ในเขตปฏิเสธ  $H_0$  (ยอมรับ  $H_1$ ) ดังนั้นแสดงว่าการสึกหรอของเอ็นมิลล์ที่กัดงานด้วย G41 และ G42 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

#### 4.4.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความหยาบผิวของชิ้นงาน

จากตารางที่ 4.2

| ความหยาบผิว Ra ( $\mu\text{m}$ ) |      |      |                              |      |      |
|----------------------------------|------|------|------------------------------|------|------|
| G41                              |      |      | G42                          |      |      |
| 1.73                             | 2.12 | 2.07 | 1.20                         | 1.12 | 1.05 |
| 1.89                             | 1.91 | 2.31 | 1.37                         | 1.22 | 1.40 |
| 1.96                             | 2.10 | 2.19 | 1.07                         | 1.11 | 1.00 |
| $\bar{X} = 2.031$ SD = 0.176     |      |      | $\bar{X} = 1.171$ SD = 0.140 |      |      |

- 1) ตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

- 2) ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

- 3) สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

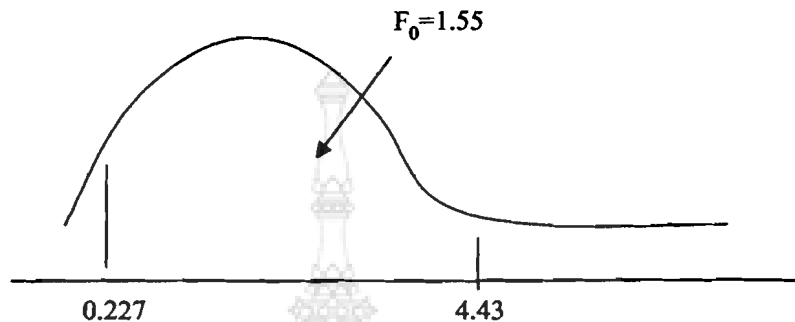
$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{0.176^2}{0.140^2} = \frac{0.031}{0.020}$$

$$= 1.55$$

เปิดตาราง

ค่าวิกฤตบนคือ  $F_{0.025, 8, 8} = 4.43$

ค่าวิกฤตล่างคือ  $F_{0.975, 8, 8} = \frac{1}{F_{0.025, 8, 8}} = \frac{1}{4.43} = 0.226$



จะเห็นได้ว่าค่า  $F_0$  จากการคำนวณตกอยู่ในเขต  $H_0$  ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือค่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4) ตั้งสมมติฐานงานวิจัย

$H_0: \mu_1 = \mu_2$  (ความหยาบผิวของชิ้นงานที่ผ่านการกัดงานด้วย G41 และ G42 ไม่แตกต่างกัน)

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  (ความหยาบผิวของชิ้นงานที่ผ่านการกัดงานด้วย G41 และ G42 แตกต่างกัน)

5) ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

6) สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$\text{โดยที่ } S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2) - 2}$$

$$\text{แทนค่า } S_p^2 = \frac{(9 - 1)0.031 + (9 - 1)0.020}{(9 + 9) - 2}$$

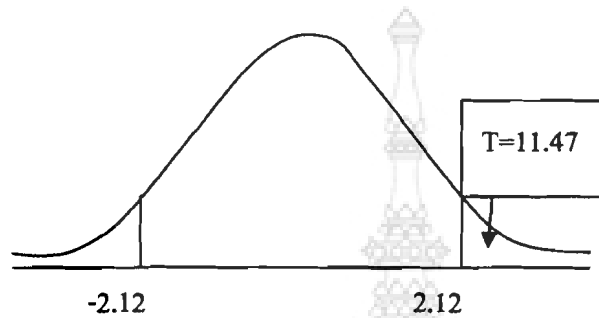
$$= 0.0255$$

$$S_p = 0.160$$

$$T = \frac{(2.031 - 1.171) - (0)}{0.16 \sqrt{\frac{1}{9} + \frac{1}{9}}}$$

$$= 11.47$$

$$t_{0.025, 16} = 2.12 \quad (\text{เปิดตาราง})$$



จะเห็นได้ว่าค่า  $T$  คำนวณตกอยู่ในเขตปฏิเสธ  $H_0$  (ยอมรับ  $H_1$ ) ดังนั้นแสดงว่า การสีกรของเอ็นมิลล์ที่กักงานด้วย G41 และ G42 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

ในการวิจัยเปรียบเทียบโปรแกรมการกัด G41 และโปรแกรมการกัด G42 โดยการใช้ดอกเอ็นมิลล์ M42 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ตามมาตรฐาน AISI ทดลองกัดชิ้นงานเหล็ก S45C ตามมาตรฐาน JIS และใช้เครื่องกัดอัตโนมัติจำนวน 3 เครื่องที่มีความแตกต่างกัน ทำการกัดชิ้นงานด้วยโปรแกรมกัด G41 และ โปรแกรมกัด G42 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบโปรแกรมการกัดงานและสามารถให้ผู้สนใจได้นำผลการทดลองที่ได้นี้ไปใช้ในการอุตสาหกรรมหรืองานด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้องต่อไป

#### 5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเปรียบเทียบการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรมกัด G41 และโปรแกรมกัด G42 สามารถสรุปได้ว่าการกัดชิ้นงานมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ การกัดหยาบและการกัดละเอียด ซึ่งการกัดหยาบมักจะใช้กับงานที่ต้องการลดขนาด และการกัดละเอียดมักจะใช้ในการกัดผิวครั้งสุดท้ายซึ่งจะเน้นที่การทำให้ผิวเรียบที่สุด โปรแกรมกัด G41 เมื่อกัดงานแล้วปรากฏว่าการสึกหรอที่ดอกเอ็นมิลล์จะมีค่อนข้างน้อยเป็นการช่วยยืดอายุการใช้งานของดอกเอ็นมิลล์ให้สามารถใช้งานได้นานแต่ผิวที่ได้จากการกัดนั้นมีความขรุขระไม่เรียบ ส่วนโปรแกรมกัด G42 เมื่อกัดงานแล้วปรากฏว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นที่ดอกเอ็นมิลล์มีสูงกว่าการกัดด้วยโปรแกรมกัด G41 แต่ที่ผิวที่เกิดจากการกัดนั้นมีความเรียบมากกว่า สรุปได้ว่าหากต้องการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติที่ชิ้นงานมีขนาดใหญ่เกินกว่าแบบหลายๆต้องการลดขนาดควรใช้โปรแกรมกัด G41 แต่เมื่อต้องการความเรียบผิวหรือกัดงานครั้งสุดท้ายควรใช้โปรแกรมกัด G42

### 5.3 สรุปตารางเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของข้อมูลระหว่าง G41 และ G42

| G41                                     | G42                                 |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| การสึกหรอของเอ็นมิลล์น้อยแต่ผิวไม่เรียบ | การสึกหรอของเอ็นมิลล์มากแต่ผิวเรียบ |

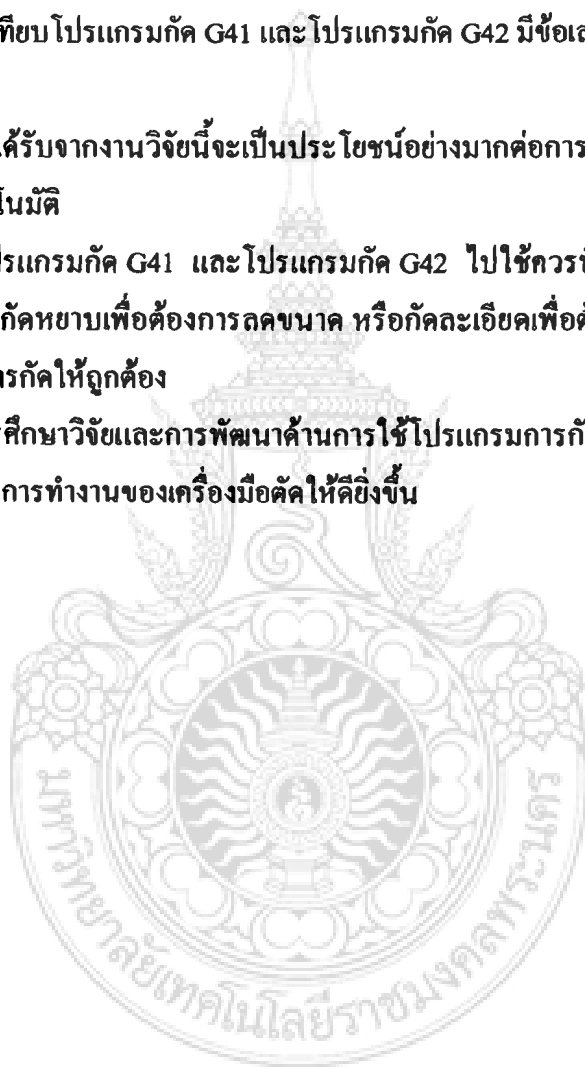
### 5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการเปรียบเทียบโปรแกรมกัด G41 และโปรแกรมกัด G42 มีข้อเสนอแนะสำหรับการใช้งานดังนี้

5.4.1 ข้อมูลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการเลือกใช้โปรแกรมการกัดงานด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ

5.4.2 ผู้ที่นำโปรแกรมกัด G41 และโปรแกรมกัด G42 ไปใช้ควรพิจารณาที่ลักษณะของงานว่าเป็นแบบใด เช่น กัดหยาบเพื่อต้องการลดขนาด หรือกัดละเอียดเพื่อต้องการผิวที่เรียบ และควรเลือกใช้โปรแกรมการกัดให้ถูกต้อง

5.4.3 ควรมีการศึกษาวิจัยและการพัฒนาการใช้โปรแกรมการกัดในลักษณะอื่นๆ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องมือตัดให้ดียิ่งขึ้น



### บรรณานุกรม

บรรเลง ศรีนิล, ผศ.ประเสริฐ ก๊วยสมบุญ. ตารางงานโลหะ.สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.กรุงเทพฯ :พิมพ์โดยศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สหรัดน์ วงษ์ศรีษะ.” การออกแบบและวิเคราะห์การเงื่อนไขในกระบวนการตัดแปดผิว”.

Mechanical Technology , April 2005

เอกสารประกอบการสอนวิชาวัดละเอียด. เรื่องการวัดและตรวจสอบความเรียบผิว.สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น

สังจาทิพย์ ทศนัยพันธุ์ , เทคโนโลยี CNC, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ, 2544

ชาติ ละครการกุล, เทคโนโลยีซีเอ็นซี, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2537

ธิดาเคียว มบุรีสวรรค์. สถิติสำหรับวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544

Yoram Koren, **Computer Control of Manufacturing Systems**, McGraw-Hill Book Company, 1988.

EMCO Maier Elektrische Doku Emcoturn 242 TC Hallein Austria

EMCO Maier Software Description Emco winNC EMCOTRONIC T2 Hallein Austria

# ภาคผนวก

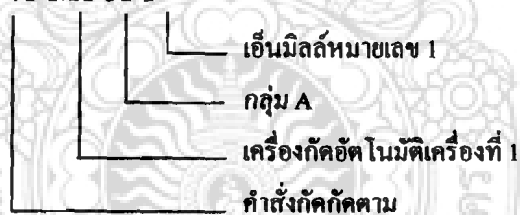


ภาคผนวก ก. ตารางกำหนดรหัสเอ็นมิลต์ที่ใช้ในการทดสอบ

| ลำดับที่ | สัญลักษณ์    | ความหมาย                                                    |
|----------|--------------|-------------------------------------------------------------|
| 2        | G41          | คือ คำสั่งในการกักตาม                                       |
|          | G42          | คือ คำสั่งในการกักทวน                                       |
| 3        | M1           | คือ เครื่องกักอัด โนมติเครื่องที่ 1                         |
|          | M2           | คือ เครื่องกักอัด โนมติเครื่องที่ 2                         |
|          | M3           | คือ เครื่องกักอัด โนมติเครื่องที่ 3                         |
| 4        | ตัวอักษร A-F | คือ กลุ่มของเอ็นมิลต์ แต่ละตัวอักษรจะเอ็นมิลต์มีจำนวน 3 ดอก |
| 5        | หมายเลข 1-3  | คือ เลขประจำตัวของเอ็นมิลต์แต่ละดอก                         |

ตัวอย่าง

G41 M1 A 1



G41M1A1 คือ โปรแกรมคำสั่งกักตาม ที่เครื่องกักอัด โนมติเครื่องที่ 1 กลุ่ม A ดอกที่ 1

### ภาคผนวก ข.1 โปรแกรม NC Code ที่ใช้ในการตัดเฉือน

โปรแกรมที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานด้วยเอ็นมิลล์ 4 คมตัด M42 ขนาด 12 มม.

โปรแกรม G41 เขียนด้วย Program Master Cam (ใช้กับเครื่อง CNC ยี่ห้อ MANFORD และ EXTRON)

O1000

T2M6

G0G90G54X-60.Y14.95S665M3

G43H2Z5.

Z3.

G1Z-3.F500.

X60.F100.

G0Z5.

Y-14.95

Z3.

G1Z-3.F500.

X-60.F100.

G0Z5.

M5

G0Z200.

Y200.

M30



## ภาคผนวก ข.2 โปรแกรม NC Code ที่ใช้ในการตัดเฉือน

โปรแกรมที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานด้วยเอ็นมิลล์ 4 คมคัต M42 ขนาด 12 มม.

โปรแกรม G42 เขียนด้วย Program Master Cam (ใช้กับเครื่อง CNC ยี่ห้อ MANFORD และ EXTRON)

O1000

T2M6

G0G90G54X-60.Y-14.952S665M3

G43H2Z5.

Z3.

G1Z-3.F500.

X60.F100.

G0Z5.

Y14.95

Z3.

G1Z-3.F500.

X-60.F100.

G0Z5.

M5

G0Z200.

Y200.

M30



### ภาคผนวก ข.3 โปรแกรม NC Code ที่ใช้ในการตัดเฉือน

โปรแกรมที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานด้วยเอ็นมิลล์ 4 คมตัด M42 ขนาด 12 มม.

โปรแกรม G41 เขียนด้วย EMCO WinNC EMCOTRONIC M2

G54

G92 X0.00 Y0.00 Z10.00

G59

T0101

S665 G94 F100 M03

G00 G41 X-15.00 Y10.00 Z5.00

Z-3.00

X110.00

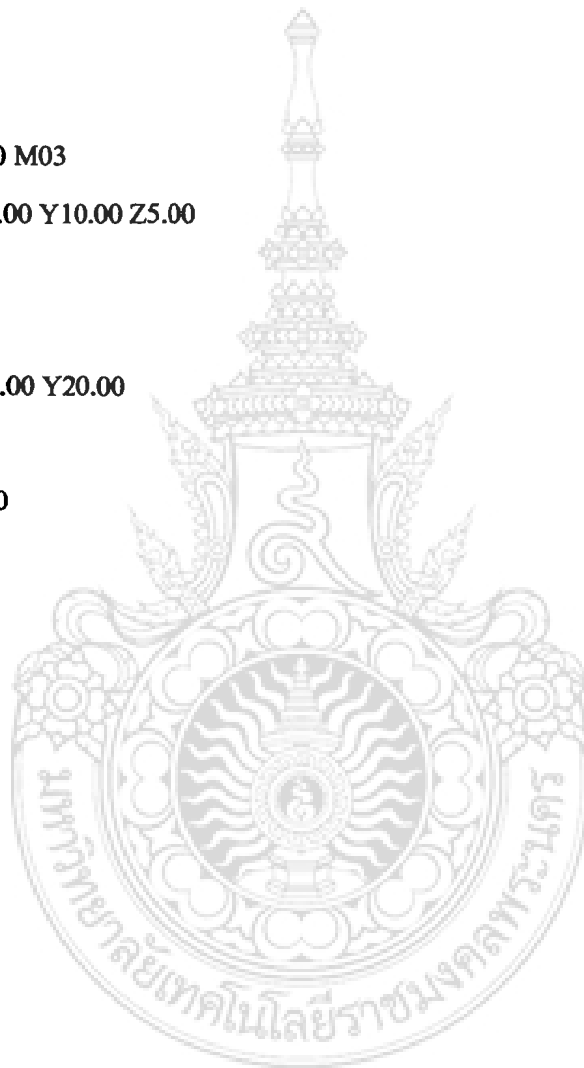
G00 G40 X120.00 Y20.00

Z30.00

X-15.00 Y10.00

G53 G56

M30



#### ภาคผนวก ข.4 โปรแกรม NC Code ที่ใช้ในการตัดเฉือน

โปรแกรมที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานด้วยเอ็นมิลล์ 4 คมตัด M42 ขนาด 12 มม.

โปรแกรม G42 เขียนด้วย EMCO WinNC EMCOTRONIC M2

G54

G92 X0.00 Y0.00 Z10.00

G59

T0101

S665 G94 F100 M03

G00 X120.00 Y10.00 Z5.00

Z-3.00

G01 G42 X105.00 Y-3.50

X-10.00

G00 G40 X-20.00 Y15.00

Z30.00

X120.00 Y10.00

G53 G56

M30



ภาคผนวก ก. ตารางวัดค่าความถี่การที่ผิวหอบ

ผลการวัดความถี่การที่ผิวหอบเส้นมิลล์ 4 มม.ตัด

| รหัส    | ขนาด | ระยะ<br>การวัด (มม.) | ระยะการสึกหรอ (มม.) |       |       |       |       |       |       |
|---------|------|----------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |      |                      | 0                   | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 2500  | 3000  |
| G41M1A1 | 1    | 0.5                  | 0                   | 0.013 | 0.013 | 0.009 | 0.008 | 0.020 | 0.024 |
|         |      | 1                    | 0                   | 0.009 | 0.010 | 0.012 | 0.012 | 0.027 | 0.022 |
|         |      | 1.5                  | 0                   | 0.008 | 0.002 | 0.012 | 0.012 | 0.034 | 0.015 |
|         |      | 2                    | 0                   | 0.007 | 0.014 | 0.004 | 0.005 | 0.025 | 0.024 |
|         |      | 2.5                  | 0                   | 0.012 | 0.016 | 0.005 | 0.004 | 0.030 | 0.021 |
|         |      | 3                    | 0                   | 0.012 | 0.017 | 0.004 | 0.003 | 0.035 | 0.027 |
|         | 2    | 0.5                  | 0                   | 0.008 | 0.012 | 0.006 | 0.007 | 0.015 | 0.019 |
|         |      | 1                    | 0                   | 0.007 | 0.002 | 0.013 | 0.016 | 0.022 | 0.035 |
|         |      | 1.5                  | 0                   | 0.002 | 0.005 | 0.017 | 0.023 | 0.017 | 0.029 |
|         |      | 2                    | 0                   | 0.002 | 0.000 | 0.008 | 0.021 | 0.021 | 0.026 |
|         |      | 2.5                  | 0                   | 0.012 | 0.009 | 0.014 | 0.011 | 0.031 | 0.019 |
|         |      | 3                    | 0                   | 0.019 | 0.009 | 0.008 | 0.003 | 0.032 | 0.022 |
|         | 3    | 0.5                  | 0                   | 0.006 | 0.007 | 0.009 | 0.015 | 0.017 | 0.030 |
|         |      | 1                    | 0                   | 0.005 | 0.002 | 0.019 | 0.041 | 0.017 | 0.014 |
|         |      | 1.5                  | 0                   | 0.005 | 0.015 | 0.005 | 0.014 | 0.026 | 0.035 |
|         |      | 2                    | 0                   | 0.016 | 0.019 | 0.006 | 0.009 | 0.022 | 0.038 |
|         |      | 2.5                  | 0                   | 0.022 | 0.009 | 0.019 | 0.020 | 0.018 | 0.017 |
|         |      | 3                    | 0                   | 0.011 | 0.016 | 0.036 | 0.007 | 0.042 | 0.060 |
|         | 4    | 0.5                  | 0                   | 0.009 | 0.011 | 0.012 | 0.008 | 0.033 | 0.015 |
|         |      | 1                    | 0                   | 0.007 | 0.002 | 0.028 | 0.019 | 0.014 | 0.021 |
|         |      | 1.5                  | 0                   | 0.009 | 0.015 | 0.011 | 0.042 | 0.014 | 0.032 |
|         |      | 2                    | 0                   | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 0.015 | 0.034 | 0.021 |
|         |      | 2.5                  | 0                   | 0.011 | 0.010 | 0.024 | 0.020 | 0.022 | 0.036 |
|         |      | 3                    | 0                   | 0.014 | 0.014 | 0.010 | 0.014 | 0.030 | 0.029 |
| G41M1A2 | 1    | 0.5                  | 0                   | 0.005 | 0.003 | 0.007 | 0.012 | 0.028 | 0.020 |
|         |      | 1                    | 0                   | 0.015 | 0.002 | 0.016 | 0.019 | 0.021 | 0.019 |
|         |      | 1.5                  | 0                   | 0.015 | 0.009 | 0.009 | 0.030 | 0.014 | 0.014 |
|         |      | 2                    | 0                   | 0.019 | 0.019 | 0.007 | 0.020 | 0.017 | 0.025 |
|         |      | 2.5                  | 0                   | 0.009 | 0.015 | 0.016 | 0.022 | 0.019 | 0.018 |
|         |      | 3                    | 0                   | 0.019 | 0.006 | 0.046 | 0.018 | 0.017 | 0.019 |
|         | 2    | 0.5                  | 0                   | 0.003 | 0.006 | 0.009 | 0.007 | 0.034 | 0.016 |
|         |      | 1                    | 0                   | 0.011 | 0.010 | 0.003 | 0.007 | 0.020 | 0.014 |
|         |      | 1.5                  | 0                   | 0.017 | 0.016 | 0.008 | 0.025 | 0.017 | 0.024 |
|         |      | 2                    | 0                   | 0.012 | 0.004 | 0.005 | 0.008 | 0.024 | 0.024 |
|         |      | 2.5                  | 0                   | 0.017 | 0.013 | 0.005 | 0.005 | 0.023 | 0.022 |
|         |      | 3                    | 0                   | 0.014 | 0.008 | 0.006 | 0.008 | 0.032 | 0.023 |
|         | 3    | 0.5                  | 0                   | 0.008 | 0.005 | 0.005 | 0.004 | 0.031 | 0.016 |
|         |      | 1                    | 0                   | 0.008 | 0.009 | 0.005 | 0.008 | 0.031 | 0.024 |
|         |      | 1.5                  | 0                   | 0.008 | 0.008 | 0.005 | 0.007 | 0.025 | 0.018 |
|         |      | 2                    | 0                   | 0.006 | 0.003 | 0.009 | 0.011 | 0.020 | 0.029 |
|         |      | 2.5                  | 0                   | 0.008 | 0.009 | 0.007 | 0.004 | 0.023 | 0.017 |
|         |      | 3                    | 0                   | 0.006 | 0.011 | 0.005 | 0.011 | 0.013 | 0.021 |
|         | 4    | 0.5                  | 0                   | 0.006 | 0.005 | 0.007 | 0.006 | 0.017 | 0.019 |
|         |      | 1                    | 0                   | 0.008 | 0.004 | 0.011 | 0.006 | 0.013 | 0.025 |
|         |      | 1.5                  | 0                   | 0.005 | 0.006 | 0.013 | 0.010 | 0.020 | 0.021 |
|         |      | 2                    | 0                   | 0.007 | 0.005 | 0.009 | 0.016 | 0.022 | 0.020 |
|         |      | 2.5                  | 0                   | 0.005 | 0.008 | 0.011 | 0.014 | 0.018 | 0.017 |
|         |      | 3                    | 0                   | 0.007 | 0.004 | 0.017 | 0.027 | 0.012 | 0.023 |

## ภาคผนวก ก. ตารางวัดค่าความถี่การสั่นไหวของ

ผลการวัดความถี่การสั่นไหวของเขื่อนมีด 4 คมดัด

| รหัส    | ชนิด | ระยะการวัด (มม.) | ระยะการสั่นไหว (มม.) |       |       |       |       |       |       |
|---------|------|------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |      |                  | 0                    | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 2500  | 3000  |
| G41M1A3 | 1    | 0.5              | 0                    | 0.007 | 0.007 | 0.008 | 0.020 | 0.025 | 0.021 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.004 | 0.014 | 0.014 | 0.024 | 0.015 | 0.025 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.004 | 0.005 | 0.019 | 0.036 | 0.022 | 0.019 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.004 | 0.006 | 0.018 | 0.052 | 0.018 | 0.018 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.006 | 0.004 | 0.012 | 0.035 | 0.014 | 0.022 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.006 | 0.007 | 0.014 | 0.040 | 0.009 | 0.020 |
|         | 2    | 0.5              | 0                    | 0.006 | 0.003 | 0.010 | 0.008 | 0.030 | 0.028 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.005 | 0.009 | 0.009 | 0.011 | 0.013 | 0.021 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.005 | 0.003 | 0.016 | 0.011 | 0.006 | 0.023 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.003 | 0.004 | 0.017 | 0.006 | 0.010 | 0.019 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.005 | 0.004 | 0.014 | 0.018 | 0.013 | 0.009 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.004 | 0.015 | 0.012 | 0.022 | 0.018 | 0.012 |
|         | 3    | 0.5              | 0                    | 0.006 | 0.010 | 0.002 | 0.003 | 0.016 | 0.026 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.012 | 0.010 | 0.006 | 0.005 | 0.014 | 0.012 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.002 | 0.005 | 0.010 | 0.017 | 0.010 | 0.013 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.003 | 0.006 | 0.012 | 0.014 | 0.010 | 0.019 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.007 | 0.001 | 0.013 | 0.018 | 0.006 | 0.015 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.016 | 0.019 | 0.004 | 0.008 | 0.012 | 0.014 |
|         | 4    | 0.5              | 0                    | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.012 | 0.017 | 0.020 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.004 | 0.007 | 0.006 | 0.020 | 0.016 | 0.016 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.008 | 0.005 | 0.009 | 0.033 | 0.017 | 0.019 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.004 | 0.009 | 0.014 | 0.032 | 0.013 | 0.023 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.003 | 0.005 | 0.011 | 0.044 | 0.009 | 0.017 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.010 | 0.007 | 0.015 | 0.038 | 0.014 | 0.021 |
| G42M1B1 | 1    | 0.5              | 0                    | 0.008 | 0.006 | 0.015 | 0.020 | 0.023 | 0.018 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.008 | 0.003 | 0.026 | 0.022 | 0.015 | 0.026 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.005 | 0.015 | 0.009 | 0.025 | 0.020 | 0.013 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.009 | 0.014 | 0.013 | 0.008 | 0.019 | 0.011 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.007 | 0.017 | 0.013 | 0.033 | 0.020 | 0.024 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.008 | 0.016 | 0.019 | 0.033 | 0.012 | 0.016 |
|         | 2    | 0.5              | 0                    | 0.016 | 0.004 | 0.022 | 0.008 | 0.041 | 0.032 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.007 | 0.006 | 0.011 | 0.008 | 0.048 | 0.005 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.006 | 0.004 | 0.013 | 0.012 | 0.052 | 0.015 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.009 | 0.005 | 0.013 | 0.021 | 0.033 | 0.014 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.009 | 0.005 | 0.021 | 0.037 | 0.020 | 0.018 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.009 | 0.010 | 0.026 | 0.040 | 0.015 | 0.007 |
|         | 3    | 0.5              | 0                    | 0.009 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.019 | 0.009 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.009 | 0.004 | 0.005 | 0.012 | 0.031 | 0.009 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.006 | 0.012 | 0.004 | 0.002 | 0.023 | 0.007 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.010 | 0.012 | 0.004 | 0.006 | 0.010 | 0.007 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.007 | 0.007 | 0.004 | 0.015 | 0.006 | 0.022 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.009 | 0.007 | 0.001 | 0.003 | 0.006 | 0.006 |
|         | 4    | 0.5              | 0                    | 0.010 | 0.011 | 0.009 | 0.021 | 0.029 | 0.019 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.008 | 0.005 | 0.025 | 0.017 | 0.023 | 0.016 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.004 | 0.012 | 0.024 | 0.025 | 0.014 | 0.014 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.010 | 0.013 | 0.009 | 0.013 | 0.030 | 0.010 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.009 | 0.005 | 0.028 | 0.023 | 0.019 | 0.027 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.006 | 0.011 | 0.027 | 0.037 | 0.016 | 0.013 |

ภาคผนวก ก. ตารางวัดค่าความตึกหรือที่ผิวหอบ

ผลการวัดความตึกหรือที่ผิวหอบเอ็นมิลล์ 4 คมตัด

| รหัส    | ชนิด | ระยะการวัด (มม.) | ระยะการตึกหรือ (มม.) |       |       |       |       |       |       |
|---------|------|------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |      |                  | 0                    | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 2500  | 3000  |
| G42M1B2 | 1    | 0.5              | 0                    | 0.012 | 0.012 | 0.019 | 0.023 | 0.023 | 0.026 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.005 | 0.014 | 0.019 | 0.026 | 0.013 | 0.025 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.008 | 0.007 | 0.022 | 0.054 | 0.006 | 0.009 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.007 | 0.005 | 0.022 | 0.035 | 0.035 | 0.015 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.010 | 0.006 | 0.017 | 0.033 | 0.011 | 0.018 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.006 | 0.007 | 0.025 | 0.056 | 0.013 | 0.006 |
|         | 2    | 0.5              | 0                    | 0.009 | 0.011 | 0.013 | 0.012 | 0.032 | 0.009 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.011 | 0.005 | 0.024 | 0.015 | 0.011 | 0.014 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.011 | 0.012 | 0.006 | 0.008 | 0.015 | 0.011 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.018 | 0.035 | 0.025 | 0.012 | 0.015 | 0.012 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.024 | 0.018 | 0.013 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.009 | 0.013 | 0.018 | 0.017 | 0.021 | 0.005 |
|         | 3    | 0.5              | 0                    | 0.004 | 0.007 | 0.005 | 0.014 | 0.020 | 0.017 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.007 | 0.008 | 0.027 | 0.015 | 0.017 | 0.012 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.012 | 0.007 | 0.021 | 0.008 | 0.014 | 0.035 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.004 | 0.005 | 0.020 | 0.028 | 0.007 | 0.017 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.008 | 0.005 | 0.011 | 0.047 | 0.016 | 0.020 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.016 | 0.009 | 0.021 | 0.055 | 0.016 | 0.018 |
|         | 4    | 0.5              | 0                    | 0.008 | 0.009 | 0.017 | 0.036 | 0.029 | 0.015 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.014 | 0.010 | 0.023 | 0.021 | 0.015 | 0.018 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.007 | 0.019 | 0.003 | 0.034 | 0.019 | 0.018 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.009 | 0.010 | 0.024 | 0.017 | 0.023 | 0.021 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.018 | 0.015 | 0.021 | 0.027 | 0.012 | 0.049 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.014 | 0.016 | 0.021 | 0.004 | 0.020 | 0.017 |
| G42M1B3 | 1    | 0.5              | 0                    | 0.007 | 0.014 | 0.018 | 0.028 | 0.022 | 0.030 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.015 | 0.009 | 0.023 | 0.030 | 0.013 | 0.013 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.009 | 0.012 | 0.014 | 0.029 | 0.016 | 0.034 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.011 | 0.009 | 0.014 | 0.051 | 0.011 | 0.015 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.008 | 0.011 | 0.018 | 0.028 | 0.018 | 0.015 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.009 | 0.005 | 0.016 | 0.047 | 0.010 | 0.012 |
|         | 2    | 0.5              | 0                    | 0.006 | 0.007 | 0.013 | 0.019 | 0.042 | 0.015 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.009 | 0.012 | 0.020 | 0.030 | 0.019 | 0.022 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.013 | 0.009 | 0.030 | 0.008 | 0.030 | 0.018 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.015 | 0.015 | 0.016 | 0.013 | 0.034 | 0.017 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.008 | 0.015 | 0.017 | 0.021 | 0.029 | 0.017 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.013 | 0.021 | 0.017 | 0.041 | 0.007 | 0.010 |
|         | 3    | 0.5              | 0                    | 0.015 | 0.016 | 0.031 | 0.008 | 0.031 | 0.009 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.010 | 0.005 | 0.033 | 0.028 | 0.012 | 0.021 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.004 | 0.002 | 0.024 | 0.039 | 0.013 | 0.008 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.006 | 0.023 | 0.012 | 0.034 | 0.007 | 0.005 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.006 | 0.022 | 0.012 | 0.012 | 0.009 | 0.016 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.022 | 0.037 | 0.012 | 0.026 | 0.016 | 0.026 |
|         | 4    | 0.5              | 0                    | 0.023 | 0.011 | 0.023 | 0.020 | 0.030 | 0.030 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.019 | 0.007 | 0.035 | 0.003 | 0.017 | 0.016 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.012 | 0.007 | 0.031 | 0.031 | 0.021 | 0.020 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.026 | 0.020 | 0.006 | 0.030 | 0.013 | 0.011 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.015 | 0.025 | 0.020 | 0.016 | 0.011 | 0.021 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.025 | 0.038 | 0.017 | 0.021 | 0.008 | 0.015 |

ภาคผนวก ค. ตารางวัดค่าความตึกหรือที่ผิวหอบ

ผลการวัดความตึกหรือที่ผิวหอบเอ็นมิลล์ 4 คมตัด

| รหัส    | คมตัด | ระยะการวัด (มม.) | ระยะการตึกหรือ (มม.) |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |       |                  | 0                    | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 2500  | 3000  |
| G41M2C1 | 1     | 0.5              | 0                    | 0.012 | 0.007 | 0.006 | 0.004 | 0.008 | 0.011 |
|         |       | 1                | 0                    | 0.006 | 0.012 | 0.007 | 0.004 | 0.011 | 0.007 |
|         |       | 1.5              | 0                    | 0.013 | 0.007 | 0.005 | 0.011 | 0.006 | 0.009 |
|         |       | 2                | 0                    | 0.012 | 0.014 | 0.012 | 0.011 | 0.009 | 0.007 |
|         |       | 2.5              | 0                    | 0.013 | 0.018 | 0.012 | 0.022 | 0.008 | 0.007 |
|         |       | 3                | 0                    | 0.011 | 0.008 | 0.007 | 0.004 | 0.015 | 0.007 |
|         | 2     | 0.5              | 0                    | 0.010 | 0.007 | 0.006 | 0.004 | 0.014 | 0.013 |
|         |       | 1                | 0                    | 0.011 | 0.008 | 0.002 | 0.002 | 0.005 | 0.008 |
|         |       | 1.5              | 0                    | 0.009 | 0.016 | 0.010 | 0.023 | 0.007 | 0.004 |
|         |       | 2                | 0                    | 0.018 | 0.016 | 0.013 | 0.005 | 0.009 | 0.007 |
|         |       | 2.5              | 0                    | 0.016 | 0.023 | 0.012 | 0.007 | 0.007 | 0.008 |
|         |       | 3                | 0                    | 0.015 | 0.005 | 0.003 | 0.011 | 0.013 | 0.008 |
|         | 3     | 0.5              | 0                    | 0.012 | 0.012 | 0.009 | 0.008 | 0.007 | 0.013 |
|         |       | 1                | 0                    | 0.012 | 0.012 | 0.011 | 0.006 | 0.013 | 0.009 |
|         |       | 1.5              | 0                    | 0.011 | 0.023 | 0.006 | 0.011 | 0.016 | 0.005 |
|         |       | 2                | 0                    | 0.021 | 0.019 | 0.015 | 0.006 | 0.013 | 0.009 |
|         |       | 2.5              | 0                    | 0.018 | 0.017 | 0.012 | 0.008 | 0.008 | 0.004 |
|         |       | 3                | 0                    | 0.010 | 0.010 | 0.009 | 0.012 | 0.008 | 0.011 |
|         | 4     | 0.5              | 0                    | 0.017 | 0.024 | 0.019 | 0.052 | 0.004 | 0.008 |
|         |       | 1                | 0                    | 0.016 | 0.006 | 0.007 | 0.004 | 0.016 | 0.015 |
|         |       | 1.5              | 0                    | 0.008 | 0.010 | 0.012 | 0.006 | 0.015 | 0.010 |
|         |       | 2                | 0                    | 0.018 | 0.007 | 0.011 | 0.011 | 0.009 | 0.008 |
|         |       | 2.5              | 0                    | 0.009 | 0.021 | 0.007 | 0.006 | 0.029 | 0.001 |
|         |       | 3                | 0                    | 0.015 | 0.014 | 0.008 | 0.007 | 0.014 | 0.012 |
| G41M2C2 | 1     | 0.5              | 0                    | 0.016 | 0.024 | 0.006 | 0.004 | 0.006 | 0.007 |
|         |       | 1                | 0                    | 0.008 | 0.019 | 0.007 | 0.008 | 0.002 | 0.011 |
|         |       | 1.5              | 0                    | 0.012 | 0.017 | 0.008 | 0.010 | 0.011 | 0.013 |
|         |       | 2                | 0                    | 0.019 | 0.009 | 0.006 | 0.006 | 0.025 | 0.007 |
|         |       | 2.5              | 0                    | 0.011 | 0.008 | 0.008 | 0.009 | 0.025 | 0.020 |
|         |       | 3                | 0                    | 0.019 | 0.010 | 0.012 | 0.007 | 0.018 | 0.015 |
|         | 2     | 0.5              | 0                    | 0.006 | 0.003 | 0.008 | 0.007 | 0.006 | 0.008 |
|         |       | 1                | 0                    | 0.008 | 0.009 | 0.017 | 0.007 | 0.005 | 0.012 |
|         |       | 1.5              | 0                    | 0.005 | 0.006 | 0.025 | 0.010 | 0.017 | 0.008 |
|         |       | 2                | 0                    | 0.013 | 0.008 | 0.025 | 0.015 | 0.010 | 0.002 |
|         |       | 2.5              | 0                    | 0.006 | 0.017 | 0.018 | 0.013 | 0.017 | 0.013 |
|         |       | 3                | 0                    | 0.009 | 0.013 | 0.011 | 0.013 | 0.009 | 0.006 |
|         | 3     | 0.5              | 0                    | 0.027 | 0.019 | 0.003 | 0.009 | 0.010 | 0.007 |
|         |       | 1                | 0                    | 0.012 | 0.016 | 0.011 | 0.006 | 0.013 | 0.017 |
|         |       | 1.5              | 0                    | 0.019 | 0.020 | 0.008 | 0.012 | 0.004 | 0.019 |
|         |       | 2                | 0                    | 0.024 | 0.019 | 0.005 | 0.003 | 0.018 | 0.016 |
|         |       | 2.5              | 0                    | 0.028 | 0.018 | 0.010 | 0.009 | 0.005 | 0.007 |
|         |       | 3                | 0                    | 0.030 | 0.008 | 0.014 | 0.013 | 0.015 | 0.016 |
|         | 4     | 0.5              | 0                    | 0.020 | 0.028 | 0.012 | 0.014 | 0.003 | 0.013 |
|         |       | 1                | 0                    | 0.021 | 0.021 | 0.013 | 0.010 | 0.011 | 0.014 |
|         |       | 1.5              | 0                    | 0.022 | 0.019 | 0.013 | 0.010 | 0.002 | 0.013 |
|         |       | 2                | 0                    | 0.024 | 0.044 | 0.009 | 0.013 | 0.009 | 0.009 |
|         |       | 2.5              | 0                    | 0.027 | 0.020 | 0.008 | 0.009 | 0.010 | 0.015 |
|         |       | 3                | 0                    | 0.026 | 0.010 | 0.005 | 0.016 | 0.023 | 0.017 |

ภาคผนวก ก. ตารางวัดค่าความถี่การที่ผิวหอบ

ผลการวัดความถี่การที่ผิวหอบเอ็นมิลล์ 4 คมตัด

| รหัส    | ชนิด | ระยะการวัด (มม.) | ระยะการสึกหอบ (มม.) |       |       |       |       |       |       |
|---------|------|------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |      |                  | 0                   | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 2500  | 3000  |
| G41M2C3 | 1    | 0.5              | 0                   | 0.006 | 0.007 | 0.013 | 0.007 | 0.010 | 0.011 |
|         |      | 1                | 0                   | 0.011 | 0.021 | 0.005 | 0.003 | 0.018 | 0.063 |
|         |      | 1.5              | 0                   | 0.019 | 0.019 | 0.014 | 0.004 | 0.022 | 0.014 |
|         |      | 2                | 0                   | 0.019 | 0.036 | 0.014 | 0.023 | 0.012 | 0.013 |
|         |      | 2.5              | 0                   | 0.025 | 0.013 | 0.019 | 0.028 | 0.015 | 0.018 |
|         |      | 3                | 0                   | 0.021 | 0.016 | 0.007 | 0.011 | 0.008 | 0.017 |
|         | 2    | 0.5              | 0                   | 0.003 | 0.005 | 0.012 | 0.009 | 0.031 | 0.012 |
|         |      | 1                | 0                   | 0.016 | 0.011 | 0.008 | 0.006 | 0.025 | 0.019 |
|         |      | 1.5              | 0                   | 0.013 | 0.028 | 0.010 | 0.007 | 0.020 | 0.008 |
|         |      | 2                | 0                   | 0.041 | 0.026 | 0.011 | 0.019 | 0.021 | 0.007 |
|         |      | 2.5              | 0                   | 0.025 | 0.036 | 0.018 | 0.032 | 0.028 | 0.010 |
|         |      | 3                | 0                   | 0.022 | 0.027 | 0.018 | 0.021 | 0.013 | 0.012 |
|         | 3    | 0.5              | 0                   | 0.009 | 0.009 | 0.011 | 0.005 | 0.009 | 0.006 |
|         |      | 1                | 0                   | 0.016 | 0.007 | 0.006 | 0.003 | 0.035 | 0.012 |
|         |      | 1.5              | 0                   | 0.022 | 0.014 | 0.019 | 0.017 | 0.016 | 0.012 |
|         |      | 2                | 0                   | 0.018 | 0.034 | 0.012 | 0.019 | 0.037 | 0.009 |
|         |      | 2.5              | 0                   | 0.008 | 0.035 | 0.015 | 0.021 | 0.053 | 0.009 |
|         |      | 3                | 0                   | 0.011 | 0.029 | 0.007 | 0.014 | 0.032 | 0.014 |
|         | 4    | 0.5              | 0                   | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.006 | 0.006 | 0.015 |
|         |      | 1                | 0                   | 0.013 | 0.014 | 0.008 | 0.006 | 0.032 | 0.023 |
|         |      | 1.5              | 0                   | 0.020 | 0.023 | 0.005 | 0.005 | 0.009 | 0.024 |
|         |      | 2                | 0                   | 0.033 | 0.031 | 0.007 | 0.006 | 0.057 | 0.013 |
|         |      | 2.5              | 0                   | 0.019 | 0.041 | 0.006 | 0.014 | 0.054 | 0.012 |
|         |      | 3                | 0                   | 0.026 | 0.023 | 0.014 | 0.009 | 0.007 | 0.022 |
| G42M2D1 | 1    | 0.5              | 0                   | 0.023 | 0.011 | 0.008 | 0.015 | 0.013 | 0.011 |
|         |      | 1                | 0                   | 0.013 | 0.022 | 0.009 | 0.007 | 0.015 | 0.016 |
|         |      | 1.5              | 0                   | 0.016 | 0.027 | 0.004 | 0.016 | 0.009 | 0.016 |
|         |      | 2                | 0                   | 0.022 | 0.021 | 0.009 | 0.005 | 0.016 | 0.021 |
|         |      | 2.5              | 0                   | 0.018 | 0.037 | 0.009 | 0.011 | 0.012 | 0.013 |
|         |      | 3                | 0                   | 0.019 | 0.033 | 0.006 | 0.005 | 0.048 | 0.018 |
|         | 2    | 0.5              | 0                   | 0.008 | 0.017 | 0.013 | 0.018 | 0.006 | 0.023 |
|         |      | 1                | 0                   | 0.017 | 0.012 | 0.014 | 0.013 | 0.004 | 0.017 |
|         |      | 1.5              | 0                   | 0.013 | 0.016 | 0.008 | 0.008 | 0.016 | 0.011 |
|         |      | 2                | 0                   | 0.015 | 0.013 | 0.010 | 0.008 | 0.038 | 0.022 |
|         |      | 2.5              | 0                   | 0.040 | 0.027 | 0.009 | 0.005 | 0.020 | 0.015 |
|         |      | 3                | 0                   | 0.022 | 0.033 | 0.006 | 0.013 | 0.043 | 0.015 |
|         | 3    | 0.5              | 0                   | 0.019 | 0.025 | 0.010 | 0.004 | 0.005 | 0.019 |
|         |      | 1                | 0                   | 0.015 | 0.015 | 0.002 | 0.003 | 0.012 | 0.013 |
|         |      | 1.5              | 0                   | 0.020 | 0.019 | 0.007 | 0.009 | 0.046 | 0.027 |
|         |      | 2                | 0                   | 0.022 | 0.021 | 0.018 | 0.011 | 0.029 | 0.021 |
|         |      | 2.5              | 0                   | 0.015 | 0.022 | 0.013 | 0.008 | 0.021 | 0.015 |
|         |      | 3                | 0                   | 0.026 | 0.025 | 0.003 | 0.002 | 0.016 | 0.011 |
|         | 4    | 0.5              | 0                   | 0.023 | 0.014 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.024 |
|         |      | 1                | 0                   | 0.015 | 0.012 | 0.008 | 0.014 | 0.027 | 0.031 |
|         |      | 1.5              | 0                   | 0.016 | 0.012 | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 0.025 |
|         |      | 2                | 0                   | 0.018 | 0.011 | 0.007 | 0.008 | 0.006 | 0.022 |
|         |      | 2.5              | 0                   | 0.022 | 0.011 | 0.008 | 0.008 | 0.023 | 0.014 |
|         |      | 3                | 0                   | 0.014 | 0.035 | 0.004 | 0.006 | 0.011 | 0.012 |

ภาคผนวก ค. ตารางวัดค่าความถี่การสั่นไหวของ

ผลการวัดความถี่การสั่นไหวของเอ็นมิลล์ 4 คมตัด

| รหัส    | ชนิด | ระยะการวัด (มม.) | ระยะการสั่นไหว (มม.) |       |       |       |       |       |       |
|---------|------|------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |      |                  | 0                    | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 2500  | 3000  |
| G42M2D2 | 1    | 0.5              | 0                    | 0.015 | 0.022 | 0.005 | 0.002 | 0.004 | 0.022 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.014 | 0.016 | 0.006 | 0.005 | 0.009 | 0.022 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.022 | 0.008 | 0.007 | 0.003 | 0.024 | 0.015 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.020 | 0.021 | 0.009 | 0.013 | 0.052 | 0.014 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.023 | 0.007 | 0.006 | 0.019 | 0.009 | 0.016 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.014 | 0.016 | 0.006 | 0.006 | 0.073 | 0.021 |
|         | 2    | 0.5              | 0                    | 0.014 | 0.015 | 0.015 | 0.023 | 0.004 | 0.015 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.009 | 0.014 | 0.018 | 0.013 | 0.017 | 0.013 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.019 | 0.025 | 0.009 | 0.013 | 0.006 | 0.017 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.012 | 0.019 | 0.007 | 0.005 | 0.020 | 0.015 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.011 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.030 | 0.017 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.008 | 0.014 | 0.003 | 0.003 | 0.040 | 0.013 |
|         | 3    | 0.5              | 0                    | 0.014 | 0.006 | 0.009 | 0.015 | 0.019 | 0.013 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.017 | 0.008 | 0.007 | 0.009 | 0.004 | 0.027 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.027 | 0.024 | 0.004 | 0.004 | 0.038 | 0.009 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.025 | 0.026 | 0.015 | 0.009 | 0.046 | 0.008 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.043 | 0.034 | 0.008 | 0.007 | 0.051 | 0.012 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.015 | 0.017 | 0.017 | 0.026 | 0.038 | 0.019 |
|         | 4    | 0.5              | 0                    | 0.018 | 0.009 | 0.021 | 0.017 | 0.007 | 0.009 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.010 | 0.014 | 0.011 | 0.022 | 0.028 | 0.007 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.021 | 0.018 | 0.009 | 0.022 | 0.004 | 0.015 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.018 | 0.024 | 0.006 | 0.003 | 0.030 | 0.008 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.021 | 0.010 | 0.012 | 0.012 | 0.021 | 0.007 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.010 | 0.007 | 0.019 | 0.007 | 0.025 | 0.011 |
| G42M2D3 | 1    | 0.5              | 0                    | 0.007 | 0.011 | 0.007 | 0.009 | 0.020 | 0.016 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.004 | 0.011 | 0.017 | 0.034 | 0.017 | 0.012 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.006 | 0.003 | 0.027 | 0.033 | 0.023 | 0.025 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.013 | 0.013 | 0.018 | 0.036 | 0.026 | 0.016 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.012 | 0.007 | 0.009 | 0.007 | 0.062 | 0.012 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.016 | 0.019 | 0.007 | 0.012 | 0.034 | 0.006 |
|         | 2    | 0.5              | 0                    | 0.007 | 0.008 | 0.009 | 0.005 | 0.023 | 0.011 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.005 | 0.011 | 0.006 | 0.005 | 0.087 | 0.017 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.011 | 0.010 | 0.005 | 0.004 | 0.041 | 0.015 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.015 | 0.005 | 0.013 | 0.007 | 0.039 | 0.015 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.007 | 0.009 | 0.012 | 0.016 | 0.036 | 0.014 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.014 | 0.023 | 0.007 | 0.009 | 0.040 | 0.014 |
|         | 3    | 0.5              | 0                    | 0.007 | 0.006 | 0.007 | 0.008 | 0.018 | 0.017 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.009 | 0.006 | 0.010 | 0.004 | 0.033 | 0.014 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.005 | 0.013 | 0.011 | 0.004 | 0.026 | 0.006 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.013 | 0.008 | 0.006 | 0.004 | 0.051 | 0.016 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.008 | 0.007 | 0.006 | 0.007 | 0.017 | 0.014 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.010 | 0.011 | 0.008 | 0.006 | 0.041 | 0.026 |
|         | 4    | 0.5              | 0                    | 0.008 | 0.005 | 0.010 | 0.013 | 0.052 | 0.019 |
|         |      | 1                | 0                    | 0.008 | 0.004 | 0.008 | 0.008 | 0.081 | 0.012 |
|         |      | 1.5              | 0                    | 0.007 | 0.013 | 0.007 | 0.012 | 0.013 | 0.019 |
|         |      | 2                | 0                    | 0.009 | 0.009 | 0.008 | 0.004 | 0.064 | 0.021 |
|         |      | 2.5              | 0                    | 0.011 | 0.007 | 0.012 | 0.018 | 0.032 | 0.023 |
|         |      | 3                | 0                    | 0.011 | 0.012 | 0.022 | 0.025 | 0.029 | 0.018 |

ภาคผนวก ก. ตารางวัดค่าความตึกหรือที่ผิวหอย  
ผลการวัดความตึกหรือที่ผิวหอยเอ็นมิลล์ 4 คมตัด

| รหัส    | คมตัด | ระยะ<br>การวัด (มม.) | ระยะการตึกหรือ (มม.) |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|----------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |       |                      | 0                    | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 2500  | 3000  |
| G41M3E1 | 1     | 0.5                  | 0                    | 0.003 | 0.022 | 0.012 | 0.009 | 0.012 | 0.018 |
|         |       | 1                    | 0                    | 0.011 | 0.008 | 0.006 | 0.015 | 0.011 | 0.016 |
|         |       | 1.5                  | 0                    | 0.009 | 0.016 | 0.009 | 0.019 | 0.013 | 0.005 |
|         |       | 2                    | 0                    | 0.007 | 0.006 | 0.006 | 0.012 | 0.008 | 0.012 |
|         |       | 2.5                  | 0                    | 0.008 | 0.010 | 0.010 | 0.018 | 0.016 | 0.011 |
|         |       | 3                    | 0                    | 0.012 | 0.016 | 0.012 | 0.011 | 0.008 | 0.017 |
|         | 2     | 0.5                  | 0                    | 0.016 | 0.006 | 0.006 | 0.002 | 0.014 | 0.009 |
|         |       | 1                    | 0                    | 0.008 | 0.007 | 0.012 | 0.022 | 0.018 | 0.012 |
|         |       | 1.5                  | 0                    | 0.008 | 0.011 | 0.007 | 0.012 | 0.013 | 0.014 |
|         |       | 2                    | 0                    | 0.013 | 0.014 | 0.015 | 0.013 | 0.009 | 0.009 |
|         |       | 2.5                  | 0                    | 0.010 | 0.016 | 0.013 | 0.007 | 0.010 | 0.018 |
|         |       | 3                    | 0                    | 0.009 | 0.019 | 0.016 | 0.004 | 0.024 | 0.008 |
|         | 3     | 0.5                  | 0                    | 0.008 | 0.019 | 0.007 | 0.006 | 0.014 | 0.009 |
|         |       | 1                    | 0                    | 0.008 | 0.008 | 0.012 | 0.017 | 0.002 | 0.012 |
|         |       | 1.5                  | 0                    | 0.007 | 0.011 | 0.009 | 0.041 | 0.007 | 0.011 |
|         |       | 2                    | 0                    | 0.004 | 0.006 | 0.031 | 0.021 | 0.009 | 0.012 |
|         |       | 2.5                  | 0                    | 0.017 | 0.007 | 0.015 | 0.031 | 0.013 | 0.022 |
|         |       | 3                    | 0                    | 0.013 | 0.015 | 0.008 | 0.028 | 0.011 | 0.015 |
|         | 4     | 0.5                  | 0                    | 0.014 | 0.006 | 0.017 | 0.013 | 0.010 | 0.015 |
|         |       | 1                    | 0                    | 0.008 | 0.008 | 0.027 | 0.033 | 0.010 | 0.012 |
|         |       | 1.5                  | 0                    | 0.014 | 0.012 | 0.016 | 0.014 | 0.005 | 0.011 |
|         |       | 2                    | 0                    | 0.018 | 0.010 | 0.013 | 0.029 | 0.002 | 0.014 |
|         |       | 2.5                  | 0                    | 0.006 | 0.007 | 0.018 | 0.017 | 0.013 | 0.010 |
|         |       | 3                    | 0                    | 0.014 | 0.011 | 0.011 | 0.015 | 0.010 | 0.003 |
| G41M3E2 | 1     | 0.5                  | 0                    | 0.003 | 0.007 | 0.013 | 0.007 | 0.045 | 0.018 |
|         |       | 1                    | 0                    | 0.004 | 0.007 | 0.011 | 0.013 | 0.019 | 0.012 |
|         |       | 1.5                  | 0                    | 0.010 | 0.014 | 0.009 | 0.034 | 0.014 | 0.015 |
|         |       | 2                    | 0                    | 0.011 | 0.021 | 0.014 | 0.024 | 0.009 | 0.016 |
|         |       | 2.5                  | 0                    | 0.015 | 0.010 | 0.018 | 0.016 | 0.018 | 0.006 |
|         |       | 3                    | 0                    | 0.008 | 0.022 | 0.012 | 0.019 | 0.014 | 0.014 |
|         | 2     | 0.5                  | 0                    | 0.007 | 0.015 | 0.019 | 0.019 | 0.023 | 0.017 |
|         |       | 1                    | 0                    | 0.007 | 0.003 | 0.044 | 0.019 | 0.016 | 0.011 |
|         |       | 1.5                  | 0                    | 0.004 | 0.003 | 0.036 | 0.031 | 0.018 | 0.014 |
|         |       | 2                    | 0                    | 0.017 | 0.007 | 0.025 | 0.014 | 0.024 | 0.010 |
|         |       | 2.5                  | 0                    | 0.018 | 0.011 | 0.036 | 0.013 | 0.014 | 0.011 |
|         |       | 3                    | 0                    | 0.027 | 0.032 | 0.009 | 0.010 | 0.009 | 0.016 |
|         | 3     | 0.5                  | 0                    | 0.007 | 0.007 | 0.006 | 0.001 | 0.019 | 0.013 |
|         |       | 1                    | 0                    | 0.004 | 0.003 | 0.013 | 0.028 | 0.005 | 0.014 |
|         |       | 1.5                  | 0                    | 0.008 | 0.017 | 0.021 | 0.018 | 0.007 | 0.005 |
|         |       | 2                    | 0                    | 0.007 | 0.027 | 0.013 | 0.008 | 0.032 | 0.009 |
|         |       | 2.5                  | 0                    | 0.012 | 0.021 | 0.014 | 0.013 | 0.042 | 0.009 |
|         |       | 3                    | 0                    | 0.011 | 0.037 | 0.009 | 0.004 | 0.010 | 0.014 |
|         | 4     | 0.5                  | 0                    | 0.006 | 0.002 | 0.014 | 0.014 | 0.022 | 0.016 |
|         |       | 1                    | 0                    | 0.003 | 0.004 | 0.013 | 0.031 | 0.008 | 0.008 |
|         |       | 1.5                  | 0                    | 0.006 | 0.007 | 0.013 | 0.018 | 0.004 | 0.007 |
|         |       | 2                    | 0                    | 0.008 | 0.015 | 0.006 | 0.021 | 0.031 | 0.016 |
|         |       | 2.5                  | 0                    | 0.012 | 0.020 | 0.018 | 0.025 | 0.021 | 0.012 |
|         |       | 3                    | 0                    | 0.010 | 0.044 | 0.023 | 0.010 | 0.013 | 0.006 |

ภาคผนวก ก. ตารางวัดค่าความถี่การสั่นไหวของ  
ผลการวัดความถี่การสั่นไหวของเอ็นมิลล์ 4 คมตัด

| รหัส    | ชนิด | ระยะ<br>การวัด (มม.) | ระยะการสั่นไหว (มม.) |       |       |       |       |       |       |
|---------|------|----------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |      |                      | 0                    | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 2500  | 3000  |
| G41M3E3 | 1    | 0.5                  | 0                    | 0.004 | 0.008 | 0.009 | 0.008 | 0.015 | 0.016 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.007 | 0.005 | 0.005 | 0.007 | 0.005 | 0.016 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.009 | 0.014 | 0.008 | 0.006 | 0.006 | 0.015 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.014 | 0.009 | 0.008 | 0.007 | 0.041 | 0.015 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.026 | 0.016 | 0.005 | 0.006 | 0.013 | 0.018 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.017 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.009 | 0.012 |
|         | 2    | 0.5                  | 0                    | 0.008 | 0.003 | 0.007 | 0.010 | 0.012 | 0.013 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.003 | 0.004 | 0.014 | 0.018 | 0.019 | 0.015 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.008 | 0.007 | 0.005 | 0.025 | 0.038 | 0.021 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.014 | 0.011 | 0.008 | 0.026 | 0.003 | 0.016 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.023 | 0.031 | 0.004 | 0.010 | 0.030 | 0.019 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.028 | 0.024 | 0.004 | 0.006 | 0.004 | 0.016 |
|         | 3    | 0.5                  | 0                    | 0.006 | 0.006 | 0.007 | 0.012 | 0.013 | 0.007 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.007 | 0.009 | 0.023 | 0.040 | 0.010 | 0.015 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.006 | 0.005 | 0.019 | 0.040 | 0.020 | 0.009 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.016 | 0.013 | 0.009 | 0.031 | 0.011 | 0.014 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.018 | 0.024 | 0.008 | 0.036 | 0.010 | 0.017 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.024 | 0.020 | 0.005 | 0.004 | 0.008 | 0.012 |
|         | 4    | 0.5                  | 0                    | 0.003 | 0.006 | 0.021 | 0.008 | 0.013 | 0.018 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.005 | 0.012 | 0.008 | 0.005 | 0.014 | 0.023 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.012 | 0.006 | 0.017 | 0.009 | 0.011 | 0.018 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.010 | 0.015 | 0.007 | 0.013 | 0.022 | 0.020 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.020 | 0.035 | 0.010 | 0.011 | 0.011 | 0.011 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.019 | 0.007 | 0.011 | 0.005 | 0.035 | 0.012 |
| G42M3F1 | 1    | 0.5                  | 0                    | 0.019 | 0.009 | 0.013 | 0.021 | 0.013 | 0.033 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.014 | 0.017 | 0.013 | 0.036 | 0.031 | 0.014 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.014 | 0.024 | 0.014 | 0.025 | 0.009 | 0.022 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.015 | 0.015 | 0.024 | 0.043 | 0.019 | 0.014 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.027 | 0.025 | 0.011 | 0.016 | 0.021 | 0.036 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.028 | 0.007 | 0.010 | 0.011 | 0.018 | 0.027 |
|         | 2    | 0.5                  | 0                    | 0.012 | 0.009 | 0.013 | 0.011 | 0.026 | 0.025 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.007 | 0.010 | 0.011 | 0.006 | 0.018 | 0.016 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.006 | 0.018 | 0.009 | 0.008 | 0.013 | 0.019 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.013 | 0.020 | 0.032 | 0.018 | 0.014 | 0.027 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.008 | 0.011 | 0.017 | 0.006 | 0.008 | 0.025 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.005 | 0.009 | 0.038 | 0.022 | 0.008 | 0.010 |
|         | 3    | 0.5                  | 0                    | 0.005 | 0.023 | 0.005 | 0.005 | 0.034 | 0.015 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.016 | 0.015 | 0.014 | 0.026 | 0.018 | 0.019 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.014 | 0.024 | 0.018 | 0.013 | 0.030 | 0.014 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.010 | 0.020 | 0.026 | 0.027 | 0.038 | 0.026 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.013 | 0.028 | 0.018 | 0.020 | 0.020 | 0.037 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.023 | 0.012 | 0.016 | 0.031 | 0.029 | 0.010 |
|         | 4    | 0.5                  | 0                    | 0.013 | 0.008 | 0.007 | 0.009 | 0.019 | 0.026 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.007 | 0.006 | 0.013 | 0.014 | 0.011 | 0.015 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.007 | 0.013 | 0.011 | 0.012 | 0.021 | 0.023 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.010 | 0.009 | 0.009 | 0.007 | 0.011 | 0.022 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.013 | 0.006 | 0.025 | 0.019 | 0.006 | 0.015 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.012 | 0.012 | 0.029 | 0.006 | 0.011 | 0.014 |



ภาคผนวก ก. ตารางวัดค่าความตึกหรือที่ผิวหลอด  
ผลการวัดความตึกหรือที่ผิวหลอดเอ็นมิลล์ 4 คนวัด

| รหัส    | ชนิด | ระยะ<br>การวัด (มม.) | ระยะการตึกหรือ (มม.) |       |       |       |       |       |       |
|---------|------|----------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |      |                      | 0                    | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 2500  | 3000  |
| G42M3F2 | 1    | 0.5                  | 0                    | 0.007 | 0.017 | 0.017 | 0.026 | 0.053 | 0.023 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.009 | 0.009 | 0.025 | 0.031 | 0.034 | 0.026 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.009 | 0.016 | 0.023 | 0.032 | 0.010 | 0.022 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.007 | 0.007 | 0.019 | 0.030 | 0.012 | 0.013 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.013 | 0.007 | 0.022 | 0.032 | 0.021 | 0.016 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.013 | 0.008 | 0.020 | 0.046 | 0.017 | 0.022 |
|         | 2    | 0.5                  | 0                    | 0.012 | 0.010 | 0.021 | 0.009 | 0.051 | 0.022 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.013 | 0.009 | 0.020 | 0.030 | 0.017 | 0.017 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.012 | 0.010 | 0.014 | 0.009 | 0.022 | 0.019 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.019 | 0.010 | 0.022 | 0.021 | 0.011 | 0.033 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.015 | 0.008 | 0.029 | 0.027 | 0.022 | 0.027 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.016 | 0.019 | 0.021 | 0.051 | 0.012 | 0.028 |
|         | 3    | 0.5                  | 0                    | 0.007 | 0.026 | 0.016 | 0.029 | 0.008 | 0.021 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.007 | 0.011 | 0.026 | 0.051 | 0.025 | 0.022 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.018 | 0.007 | 0.027 | 0.046 | 0.008 | 0.022 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.037 | 0.031 | 0.019 | 0.017 | 0.018 | 0.022 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.014 | 0.006 | 0.022 | 0.043 | 0.009 | 0.018 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.012 | 0.009 | 0.028 | 0.055 | 0.006 | 0.018 |
|         | 4    | 0.5                  | 0                    | 0.011 | 0.011 | 0.022 | 0.008 | 0.032 | 0.022 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.010 | 0.012 | 0.037 | 0.009 | 0.040 | 0.022 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.014 | 0.008 | 0.018 | 0.030 | 0.032 | 0.032 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.013 | 0.016 | 0.015 | 0.015 | 0.007 | 0.029 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.018 | 0.005 | 0.022 | 0.014 | 0.006 | 0.032 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.009 | 0.026 | 0.015 | 0.029 | 0.011 | 0.027 |
| G42M3F3 | 1    | 0.5                  | 0                    | 0.011 | 0.012 | 0.024 | 0.039 | 0.014 | 0.015 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.008 | 0.023 | 0.019 | 0.054 | 0.013 | 0.011 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.012 | 0.026 | 0.009 | 0.062 | 0.016 | 0.017 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.019 | 0.026 | 0.030 | 0.023 | 0.011 | 0.018 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.018 | 0.027 | 0.013 | 0.006 | 0.017 | 0.024 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.025 | 0.027 | 0.032 | 0.014 | 0.023 | 0.026 |
|         | 2    | 0.5                  | 0                    | 0.015 | 0.028 | 0.019 | 0.018 | 0.011 | 0.039 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.011 | 0.022 | 0.042 | 0.034 | 0.016 | 0.020 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.020 | 0.017 | 0.034 | 0.026 | 0.013 | 0.022 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.028 | 0.026 | 0.011 | 0.016 | 0.008 | 0.021 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.034 | 0.027 | 0.008 | 0.006 | 0.018 | 0.021 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.028 | 0.038 | 0.009 | 0.009 | 0.014 | 0.036 |
|         | 3    | 0.5                  | 0                    | 0.013 | 0.010 | 0.016 | 0.035 | 0.007 | 0.016 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.026 | 0.005 | 0.016 | 0.040 | 0.019 | 0.019 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.023 | 0.015 | 0.020 | 0.041 | 0.010 | 0.019 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.024 | 0.023 | 0.022 | 0.011 | 0.012 | 0.049 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.027 | 0.018 | 0.021 | 0.021 | 0.017 | 0.032 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.026 | 0.026 | 0.027 | 0.021 | 0.009 | 0.017 |
|         | 4    | 0.5                  | 0                    | 0.025 | 0.018 | 0.020 | 0.036 | 0.016 | 0.022 |
|         |      | 1                    | 0                    | 0.018 | 0.019 | 0.038 | 0.029 | 0.013 | 0.017 |
|         |      | 1.5                  | 0                    | 0.016 | 0.021 | 0.035 | 0.012 | 0.009 | 0.012 |
|         |      | 2                    | 0                    | 0.028 | 0.026 | 0.015 | 0.015 | 0.016 | 0.008 |
|         |      | 2.5                  | 0                    | 0.040 | 0.021 | 0.013 | 0.007 | 0.010 | 0.014 |
|         |      | 3                    | 0                    | 0.044 | 0.019 | 0.014 | 0.011 | 0.012 | 0.015 |

## ภาคผนวก ง. ตารางแสดงผลการตรวจสอบความหยาบผิว

## ตารางแสดงผลการตรวจสอบความหยาบผิว

## MANFORD (M1) Ad (Flank)

| รหัส    | ระยะทางใน<br>การวัด (มม.) | ค่ามาตรฐาน |       |       |      | รหัส    | ระยะทางใน<br>การวัด (มม.) | ค่ามาตรฐาน |       |       |      |
|---------|---------------------------|------------|-------|-------|------|---------|---------------------------|------------|-------|-------|------|
|         |                           | Ra         | Ry    | Rz    | Rq   |         |                           | Ra         | Ry    | Rz    | Rq   |
| G41M1A1 | 1 - 4                     | 1.29       | 7.10  | 5.20  | 1.60 | G42M1B1 | 1 - 4                     | 0.19       | 1.40  | 0.90  | 0.24 |
|         | 496 - 500                 | 1.80       | 9.30  | 6.00  | 2.24 |         | 496 - 500                 | 1.52       | 9.40  | 5.50  | 1.98 |
|         | 996 - 1000                | 1.76       | 10.10 | 7.70  | 2.26 |         | 996 - 1000                | 1.61       | 11.40 | 7.90  | 2.18 |
|         | 1496 - 1500               | 1.75       | 9.40  | 7.70  | 2.10 |         | 1496 - 1500               | 0.79       | 5.40  | 3.90  | 1.06 |
|         | 1996 - 2000               | 1.83       | 10.90 | 7.60  | 2.30 |         | 1996 - 2000               | 0.55       | 4.80  | 2.90  | 0.74 |
|         | 2496 - 2500               | 1.22       | 6.40  | 4.50  | 1.51 |         | 2496 - 2500               | 1.32       | 6.10  | 3.76  | 1.24 |
|         | 2996 - 3000               | 2.47       | 12.70 | 8.70  | 3.05 |         | 2996 - 3000               | 2.39       | 13.00 | 8.90  | 2.88 |
| G41M1A2 | 1 - 4                     | 1.32       | 9.60  | 6.40  | 1.74 | G42M1B2 | 1 - 4                     | 0.24       | 1.60  | 1.10  | 0.30 |
|         | 496 - 500                 | 1.26       | 6.90  | 5.50  | 1.59 |         | 496 - 500                 | 0.23       | 1.50  | 1.00  | 0.29 |
|         | 996 - 1000                | 1.86       | 11.10 | 7.60  | 2.37 |         | 996 - 1000                | 0.63       | 3.90  | 2.60  | 0.77 |
|         | 1496 - 1500               | 1.92       | 10.10 | 7.00  | 2.35 |         | 1496 - 1500               | 0.67       | 3.80  | 2.60  | 0.82 |
|         | 1996 - 2000               | 3.36       | 16.40 | 14.90 | 4.09 |         | 1996 - 2000               | 0.89       | 5.69  | 4.40  | 1.23 |
|         | 2496 - 2500               | 1.96       | 9.80  | 7.00  | 2.45 |         | 2496 - 2500               | 1.60       | 7.97  | 6.00  | 2.03 |
|         | 2996 - 3000               | 3.16       | 15.70 | 13.40 | 3.83 |         | 2996 - 3000               | 3.60       | 10.25 | 13.30 | 4.71 |
| G41M1A3 | 1 - 4                     | 1.54       | 7.90  | 6.20  | 1.85 | G42M1B3 | 1 - 4                     | 1.03       | 7.60  | 5.40  | 1.46 |
|         | 496 - 500                 | 1.63       | 8.90  | 6.80  | 2.05 |         | 496 - 500                 | 1.28       | 9.20  | 5.70  | 1.70 |
|         | 996 - 1000                | 1.46       | 7.90  | 5.50  | 1.75 |         | 996 - 1000                | 1.43       | 10.30 | 6.10  | 1.95 |
|         | 1496 - 1500               | 1.59       | 8.40  | 6.20  | 1.93 |         | 1496 - 1500               | 0.63       | 3.80  | 2.60  | 0.77 |
|         | 1996 - 2000               | 2.68       | 15.70 | 14.00 | 3.41 |         | 1996 - 2000               | 0.68       | 6.46  | 2.90  | 0.87 |
|         | 2496 - 2500               | 3.21       | 16.20 | 11.00 | 3.97 |         | 2496 - 2500               | 0.44       | 8.75  | 2.40  | 0.59 |
|         | 2996 - 3000               | 2.36       | 13.90 | 12.10 | 3.59 |         | 2996 - 3000               | 1.89       | 11.30 | 11.40 | 3.36 |

ภาคผนวก ง. ตารางแสดงผลการตรวจสอบความหยาบผิว

ตารางแสดงผลการตรวจสอบความหยาบผิว

EMCO (M2) Ad (Flank)

| รหัส    | ระยะทางใน<br>การวัด (มม.) | ค่ามาตรฐาน |       |       |      |
|---------|---------------------------|------------|-------|-------|------|
|         |                           | Ra         | Ry    | Rz    | Rq   |
| G41M2C1 | 1 - 4                     | 1.40       | 8.20  | 5.70  | 1.72 |
|         | 496 - 500                 | 1.68       | 10.00 | 7.10  | 2.12 |
|         | 996 - 1000                | 1.35       | 7.60  | 5.50  | 1.69 |
|         | 1496 - 1500               | 2.30       | 13.20 | 8.50  | 3.02 |
|         | 1996 - 2000               | 2.42       | 14.10 | 10.40 | 3.29 |
|         | 2496 - 2500               | 1.42       | 10.22 | 5.50  | 1.74 |
|         | 2996 - 3000               | 2.66       | 14.90 | 12.70 | 3.46 |
| G41M2C2 | 1 - 4                     | 1.59       | 9.50  | 7.30  | 1.97 |
|         | 496 - 500                 | 1.59       | 9.50  | 7.00  | 2.01 |
|         | 996 - 1000                | 1.94       | 11.00 | 8.60  | 2.36 |
|         | 1496 - 1500               | 2.17       | 15.10 | 10.90 | 3.04 |
|         | 1996 - 2000               | 1.65       | 6.30  | 4.70  | 1.52 |
|         | 2496 - 2500               | 2.51       | 16.00 | 10.50 | 3.31 |
|         | 2996 - 3000               | 1.90       | 11.60 | 8.90  | 2.43 |
| G41M2C3 | 1 - 4                     | 0.97       | 5.40  | 3.80  | 1.23 |
|         | 496 - 500                 | 1.58       | 10.20 | 6.40  | 2.06 |
|         | 996 - 1000                | 1.42       | 8.00  | 5.30  | 1.73 |
|         | 1496 - 1500               | 2.64       | 14.00 | 10.00 | 3.22 |
|         | 1996 - 2000               | 3.20       | 19.40 | 15.30 | 4.07 |
|         | 2496 - 2500               | 2.85       | 14.40 | 10.40 | 3.53 |
|         | 2996 - 3000               | 3.53       | 17.70 | 15.60 | 4.24 |
| G42M2D1 | 1 - 4                     | 0.21       | 1.50  | 1.00  | 0.26 |
|         | 496 - 500                 | 0.86       | 6.40  | 4.30  | 1.16 |
|         | 996 - 1000                | 1.23       | 8.60  | 4.90  | 1.72 |
|         | 1496 - 1500               | 1.60       | 13.40 | 7.90  | 2.29 |
|         | 1996 - 2000               | 1.80       | 8.50  | 5.23  | 1.21 |
|         | 2496 - 2500               | 1.84       | 10.12 | 7.48  | 1.90 |
|         | 2996 - 3000               | 2.04       | 8.74  | 9.30  | 2.12 |
| G42M2D2 | 1 - 4                     | 0.33       | 2.40  | 1.40  | 0.43 |
|         | 496 - 500                 | 0.52       | 3.90  | 2.20  | 0.68 |
|         | 996 - 1000                | 0.43       | 3.90  | 2.30  | 0.65 |
|         | 1496 - 1500               | 1.66       | 11.00 | 7.70  | 2.19 |
|         | 1996 - 2000               | 1.80       | 10.20 | 6.25  | 2.44 |
|         | 2496 - 2500               | 1.96       | 8.45  | 7.62  | 2.05 |
|         | 2996 - 3000               | 1.87       | 10.70 | 9.53  | 2.56 |
| G42M2D3 | 1 - 4                     | 0.35       | 3.50  | 2.20  | 0.51 |
|         | 496 - 500                 | 0.77       | 5.50  | 3.60  | 1.04 |
|         | 996 - 1000                | 0.84       | 6.50  | 4.10  | 1.14 |
|         | 1496 - 1500               | 1.90       | 12.10 | 6.70  | 2.56 |
|         | 1996 - 2000               | 1.82       | 10.30 | 10.36 | 2.34 |
|         | 2496 - 2500               | 1.94       | 9.26  | 9.20  | 2.65 |
|         | 2996 - 3000               | 2.16       | 13.47 | 11.35 | 2.47 |

## ภาคผนวก ง. ตารางแสดงผลการตรวจสอบความหยาบผิว

## ตารางแสดงผลการตรวจสอบความหยาบผิว

## EXTRON (M3) Ad (Flank)

| รหัส    | ระยะทางใน<br>การวัด (มม.) | ค่ามาตรฐาน |       |       |      |
|---------|---------------------------|------------|-------|-------|------|
|         |                           | Ra         | Ry    | Rz    | Rq   |
| G41M3E1 | 1 - 4                     | 1.31       | 8.00  | 5.30  | 1.67 |
|         | 496 - 500                 | 1.37       | 7.20  | 5.10  | 1.70 |
|         | 996 - 1000                | 1.63       | 8.30  | 6.10  | 1.95 |
|         | 1496 - 1500               | 1.71       | 5.16  | 7.60  | 2.08 |
|         | 1996 - 2000               | 2.46       | 10.26 | 10.70 | 3.07 |
|         | 2496 - 2500               | 2.27       | 12.32 | 10.70 | 2.92 |
|         | 2996 - 3000               | 2.96       | 14.11 | 13.00 | 3.78 |
| G41M3E2 | 1 - 4                     | 1.61       | 10.80 | 7.60  | 2.09 |
|         | 496 - 500                 | 1.50       | 9.30  | 7.20  | 1.93 |
|         | 996 - 1000                | 1.87       | 11.70 | 7.40  | 2.42 |
|         | 1496 - 1500               | 2.73       | 13.35 | 14.80 | 3.64 |
|         | 1996 - 2000               | 2.85       | 16.26 | 13.20 | 3.52 |
|         | 2496 - 2500               | 1.38       | 14.47 | 5.00  | 1.67 |
|         | 2996 - 3000               | 2.78       | 15.64 | 11.60 | 3.42 |
| G41M3E3 | 1 - 4                     | 1.01       | 6.70  | 4.40  | 1.27 |
|         | 496 - 500                 | 1.89       | 10.40 | 7.80  | 2.40 |
|         | 996 - 1000                | 2.21       | 14.10 | 11.20 | 2.90 |
|         | 1496 - 1500               | 2.62       | 10.55 | 11.00 | 3.25 |
|         | 1996 - 2000               | 2.40       | 13.45 | 13.20 | 3.51 |
|         | 2496 - 2500               | 2.67       | 12.63 | 14.90 | 3.72 |
|         | 2996 - 3000               | 2.50       | 15.87 | 9.10  | 3.21 |
| รหัส    | ระยะทางใน<br>การวัด (มม.) | ค่ามาตรฐาน |       |       |      |
|         |                           | Ra         | Ry    | Rz    | Rq   |
| G42M3F1 | 1 - 4                     | 0.23       | 2.40  | 1.40  | 0.34 |
|         | 496 - 500                 | 0.22       | 2.40  | 1.80  | 0.33 |
|         | 996 - 1000                | 0.32       | 3.10  | 1.90  | 0.47 |
|         | 1496 - 1500               | 0.99       | 4.28  | 4.70  | 1.41 |
|         | 1996 - 2000               | 1.31       | 6.39  | 6.20  | 2.01 |
|         | 2496 - 2500               | 2.28       | 7.96  | 17.60 | 5.33 |
|         | 2996 - 3000               | 2.13       | 10.43 | 20.30 | 5.80 |
| G42M3F2 | 1 - 4                     | 1.41       | 11.50 | 6.70  | 2.05 |
|         | 496 - 500                 | 0.37       | 5.70  | 4.80  | 0.81 |
|         | 996 - 1000                | 1.73       | 14.00 | 9.10  | 2.71 |
|         | 1496 - 1500               | 1.56       | 10.32 | 7.10  | 2.28 |
|         | 1996 - 2000               | 1.21       | 11.54 | 5.50  | 1.61 |
|         | 2496 - 2500               | 0.34       | 10.89 | 1.20  | 0.41 |
|         | 2996 - 3000               | 1.16       | 13.37 | 5.50  | 1.64 |
| G42M3F3 | 1 - 4                     | 0.20       | 1.30  | 0.90  | 0.26 |
|         | 496 - 500                 | 0.62       | 3.90  | 2.30  | 0.77 |
|         | 996 - 1000                | 0.85       | 7.40  | 5.10  | 1.14 |
|         | 1496 - 1500               | 0.61       | 8.14  | 2.70  | 0.77 |
|         | 1996 - 2000               | 1.54       | 9.65  | 12.80 | 3.51 |
|         | 2496 - 2500               | 1.21       | 11.49 | 2.10  | 0.56 |
|         | 2996 - 3000               | 1.95       | 13.17 | 8.20  | 2.60 |

ภาพผนวก จ. รูปภาพการฉีกหรือที่ผิวหลุดของเอ็นมิลด์

รูปภาพการฉีกหรือที่ผิวหลุดของเอ็นมิลด์

| รหัส    | ครั้งที่ | ระยะทาง ( มม. ) |     |      |      |      |      |      |
|---------|----------|-----------------|-----|------|------|------|------|------|
|         |          | 0               | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
| G41M1A1 | 1        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4        |                 |     |      |      |      |      |      |
| G41M1A2 | 1        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4        |                 |     |      |      |      |      |      |
| G41M1A3 | 1        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4        |                 |     |      |      |      |      |      |
| G42M1B1 | 1        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3        |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4        |                 |     |      |      |      |      |      |

ภาคผนวก จ. รูปภาพการสึกหรอที่ผิวของเอ็นมิลล์

รูปภาพการสึกหรอที่ผิวของเอ็นมิลล์

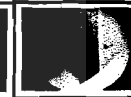
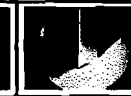
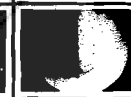
| รหัส    | คมที่ | ระยะทาง ( มม. ) |     |      |      |      |      |      |
|---------|-------|-----------------|-----|------|------|------|------|------|
|         |       | 0               | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
| G42M1B2 | 1     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4     |                 |     |      |      |      |      |      |
| G42M1B3 | 1     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4     |                 |     |      |      |      |      |      |
| G41M2C1 | 1     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4     |                 |     |      |      |      |      |      |
| G41M2C2 | 1     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4     |                 |     |      |      |      |      |      |

ภาพผนวก จ. รูปภาพการสึกหรอที่ผิวหน้าของเอ็นมิลด์  
รูปภาพการสึกหรอที่ผิวหน้าของเอ็นมิลด์

| รหัส    | ค.ม.ที่ | ระยะทาง ( มม. ) |     |      |      |      |      |      |
|---------|---------|-----------------|-----|------|------|------|------|------|
|         |         | 0               | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
| G41M2C3 | 1       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4       |                 |     |      |      |      |      |      |
| G42M2D1 | 1       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4       |                 |     |      |      |      |      |      |
| G42M2D2 | 1       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4       |                 |     |      |      |      |      |      |
| G42M2D3 | 1       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3       |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4       |                 |     |      |      |      |      |      |

ภาคผนวก จ. รูปภาพการสึกหรอที่ผิวท่อนของเอ็นมิลล์

รูปภาพการสึกหรอที่ผิวท่อนของเอ็นมิลล์

| รหัส    | คนที่ | ระยะทาง ( มม. )                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       |
|---------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|         |       | 0                                                                                   | 500                                                                                 | 1000                                                                                | 1500                                                                                | 2000                                                                                 | 2500                                                                                  | 3000                                                                                  |
| G41M3E1 | 1     |    |    |    |    |    |    |    |
|         | 2     |    |    |    |    |    |    |    |
|         | 3     |    |    |    |    |    |    |    |
|         | 4     |    |    |    |    |    |    |    |
| G41M3E2 | 1     |    |    |    |    |    |    |    |
|         | 2     |    |    |    |    |    |    |    |
|         | 3     |   |   |   |   |   |   |   |
|         | 4     |  |  |  |  |  |  |  |
| G41M3E3 | 1     |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 2     |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 3     |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 4     |  |  |  |  |  |  |  |
| G42M3F1 | 1     |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 2     |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 3     |  |  |  |  |  |  |  |
|         | 4     |  |  |  |  |  |  |  |

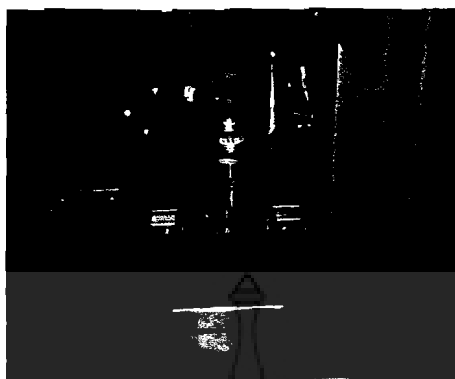
ภาคผนวก จ. รูปภาพการสึกหรอที่ผิวของเซ็นนิตส์

รูปภาพการสึกหรอที่ผิวของเซ็นนิตส์

| รหัส    | คนที่ | ระยะทาง ( มม. ) |     |      |      |      |      |      |
|---------|-------|-----------------|-----|------|------|------|------|------|
|         |       | 0               | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
| G42M3F2 | 1     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4     |                 |     |      |      |      |      |      |
| G42M3F3 | 1     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 2     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 3     |                 |     |      |      |      |      |      |
|         | 4     |                 |     |      |      |      |      |      |



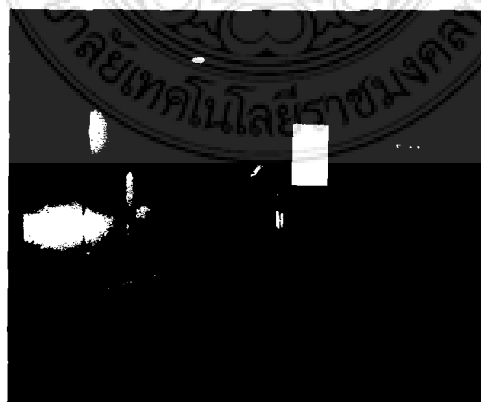
ภาคผนวก ฉ. รูปภาพเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 1 เครื่องตรวจสอบส่วนผสมของเหล็ก Emission Spectrometer



รูปที่ 2 เครื่องกักัดโนมัติ MANFOED รุ่น VH-610 ผลิตจากประเทศไต้หวัน



รูปที่ 3 เครื่องกักัดโนมัติ EMCO VMC-200 ผลิตจากประเทศออสเตรีย



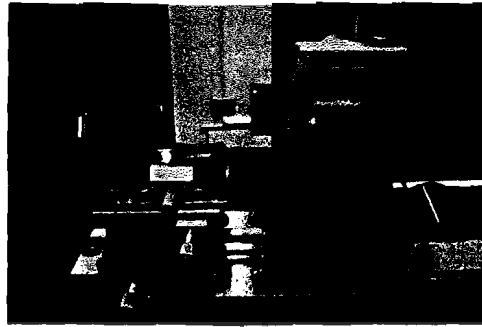
รูปที่ 4 เครื่องกัดอัดโนมัติ EXTRON รุ่น M 230 ผลิตจากประเทศไต้หวัน



รูปที่ 5 เครื่อง Profile Projector ยี่ห้อ Nikon กำลังขยาย 50X ความละเอียด 1/1000 มม.



รูปที่ 6 กล้องจุลทรรศน์และอุปกรณ์ถ่ายภาพยี่ห้อ Nikon กำลังขยาย 60 เท่า



รูปที่ 7 เครื่องวัดความเรียบผิว Surface Roughness Mitutoyo รุ่น SJ 400



**ภาคผนวก ข. รูปภาพชิ้นงานและอุปกรณ์จับยึด**



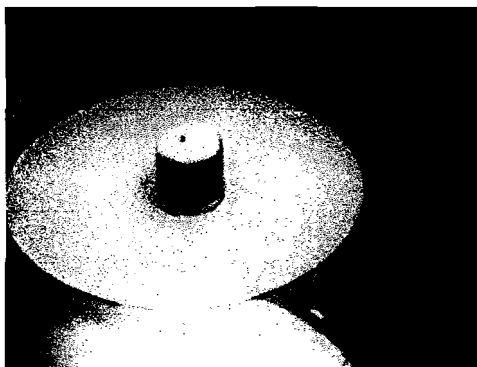
**รูปที่ 1 เ็นมิลล์ M42 ขนาด 12 มม. ชี้อ RAMA TOOL**



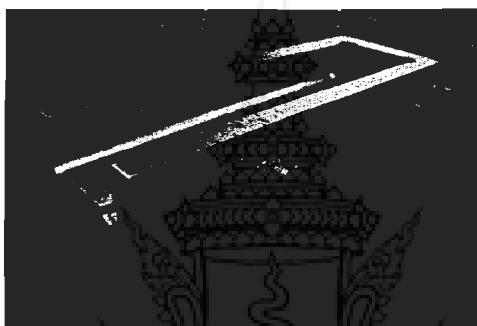
**รูปที่ 2 ชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C ตามมาตรฐาน JIS**



**รูปที่ 3 อุปกรณ์จับยึดเอ็นมิลล์สำหรับวัดค่าความสึกหรอ**



รูปที่ 4 วัสดุจับยึดเสตด (คินน้ำมัน) สำหรับวัดขนาดความหนา



รูปที่ 5 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสำหรับการวัดความเรียบผิว

