



ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิว กรณีศึกษาเครื่องกลึงซีเอ็นซี

FACTORS AFFECT THE SMOOTH SURFACE IN SUBJECT
EDUCATION CNC LATHE

นายศักดิ์สิทธิ์ แสงอะโน รหัส 52371030

นายสันติ ทองน้อย รหัส 52371054

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 12.0.0.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 16897775
เลขเรียกหนังสือ..... ๒๕.
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ๑๖๓๙ ๒ ๒๕๕๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2556



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบร้อย กรณีศึกษาเครื่องกลึงซีเอ็นซี
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายศักดิ์สิทธิ์ แสงอะโนะ รหัส 52371030 นายสันติ ทองน้อย รหัส 52371054
ที่ปรึกษาโครงการงาน	รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ที่ปรึกษาโครงการงาน

(รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน)

กรรมการ

(ดร.พิสุทธิ์ อภิษยกุล)

กรรมการ

(อาจารย์เสาวลักษณ์ ทองกลั่น)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิว กรณีศึกษาเครื่องกลึงซีเอ็นซี		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายศักดิ์สิทธิ์ แสงอะโณ	รหัส	52371030
	นายสันติ ทองน้อย	รหัส	52371054
ที่ปรึกษาโครงการงาน	รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิว และส่งผลในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน ระยะป้อนลึก โดยใช้โปรแกรมทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งในการทดลองได้ใช้เหล็ก AISI 1010, AISI 1045 และ AISI 4140 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร มาตรวจสอบโดยผ่านการกลึงปอกผิวด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ซึ่งตัวแปรในการทดลองประกอบไปด้วย ความเร็วรอบที่ 2131, 2444 และ 2758 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.05, 0.10 และ 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ และใช้ระยะป้อนลึก 2.13, 2.44 และ 2.78 มิลลิเมตร จากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิว และส่งผลในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ได้ผลสรุปดังนี้ เหล็ก AISI 1045 ได้ผลสมการพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง คือ $Ra = -0.46 - 0.000083 \text{ speed} - 4.93 \text{ feed} + 1.89 \text{ depth of cut}$ เหล็ก AISI 4140 ได้ผลสมการพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง คือ $Ra = -0.97 - 0.000085 \text{ speed} - 7.38 \text{ feed} + 2.67 \text{ depth of cut}$ และเหล็ก AISI 1010 ได้ผลสมการพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง คือ $Ra = 1.75 - 0.000154 \text{ speed} + 3.67 \text{ feed} - 0.78 \text{ depth of cut}$

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิว และส่งผลในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ประสบความสำเร็จจลุล่วงไปด้วยดีต้องขอขอบคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ ดร.กวิณ สนิธิเพิ่มพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์ ที่แนะนำการใช้เครื่องวัดผิว และครูช่าง รณกฤต แสงส่อง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการทำโครงการนี้เป็นอย่างดี ตลอดมา

ขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และคณะกรรมการทุกท่าน ซึ่งได้รับความกรุณาให้คำแนะนำเสนอแนวทางการศึกษา ค้นคว้า ให้คำปรึกษา แก้ไข ปรับปรุง ข้อบกพร่องต่างๆ จนเป็นผลให้โครงการฉบับนี้สมบูรณ์ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ญาติพี่น้อง เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยเป็นห่วงและให้กำลังใจด้วยดีมาตลอด จนกระทั่งทำโครงการเสร็จจลุล่วงได้



คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม
นายศักดิ์สิทธิ์ แสงอะไณ
นายสันติ ทองน้อย
พฤศจิกายน 2556

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 สมมติฐานในการวิจัย.....	1
1.4 เกณฑ์ในการชี้วัดผลงาน (Output).....	1
1.5 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	1
1.6 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.7 สถานที่ในการดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล.....	2
1.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย.....	2
1.9 แผนการดำเนินการศึกษา.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 ประวัติความเป็นมาของ CNC.....	4
2.2 โครงสร้างของเครื่องกลึง CNC.....	6
2.3 โครงสร้างของเอ็นซีโปรแกรม.....	9
2.4 ลำดับขั้นตอนการเตรียมงาน.....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ลักษณะการขึ้นรูปพื้นฐานโดยการกลึง.....	10
2.6 ความเร็วรอบ ความเร็วตัด อัตราป้อน เวลากลึงปอก และอัตราป้อนลึก.....	12
2.7 ลักษณะของพื้นผิวของโลหะ.....	15
2.8 เครื่องทดสอบความหยาบของผิว (Surface Roughness Tester).....	18
2.9 เหล็กกล้าคาร์บอน.....	19
2.10 การออกแบบการทดลอง.....	20
2.11 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	24
3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	24
3.2 การเตรียมชิ้นงาน.....	24
3.3 การออกแบบการทดลอง.....	24
3.4 เตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลอง.....	25
3.5 ทำการทดลอง.....	25
3.6 การเก็บข้อมูลและบันทึกผลการทดลอง.....	25
3.7 วิเคราะห์และสรุปผล.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	27
4.1 ลการทดลองแสดงค่าความเรียบผิวของเหล็ก.....	27
4.2 ตารางบันทึกค่าความเรียบ.....	29
4.3 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบง่าย.....	55
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	57



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินการศึกษา.....	3
3.1 แสดงตัวแปรและระดับตัวแปรที่จะศึกษา.....	25
3.2 ตารางบันทึกค่าความเรียบผิวชิ้นงาน.....	25
4.1 ตารางแสดงค่าความเรียบผิวเหล็ก AISI 1045.....	29
4.2 ตารางแสดงค่าความเรียบผิวเหล็ก AISI 4140.....	30
4.3 ตารางแสดงค่าความเรียบผิวเหล็ก AISI 1010.....	30



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปเครื่องกลึง CNC.....	5
2.2 หลักการทำงานของเครื่องจักร NC / CNC.....	5
2.3 รูปโครงสร้างของเครื่องกลึง CNC.....	6
2.4 แสดงแท่นเครื่องและแท่นตัดขวางของเครื่องกลึง.....	7
2.5 ชุดลำเลียงเศษชิ้นงานและชุดรองรับชิ้นงาน.....	8
2.6 ชุดบรรจุและป้อนชิ้นงานและกลไกภายในชุดบรรจุและป้อนชิ้นงาน.....	9
2.7 รูปแสดงตารางการกลึงผิวนอกและผิวใน.....	10
2.8 ตัวอย่างการขึ้นรูปพื้นฐานโดยกระบวนการกลึง.....	11
2.9 ทิศทางการหมุนรอบชิ้นงานและการเคลื่อนที่ของมีดตัด.....	12
2.10 แสดงความเร็วตัดงานกลึง.....	13
2.11 แสดงสวดลายที่เกิดจากผิวลักษณะต่างๆ.....	15
2.12 ลักษณะความผิดพลาดในการผลิตพื้นผิว.....	16
2.13 คำศัพท์ต่างๆสำหรับลักษณะของพื้นผิว.....	17
2.14 แสดงเหล็กคาร์บอนต่างๆ.....	19
4.1 เครื่องกลึง CNC กำลังกลึงปอกชิ้นงาน.....	27
4.2 ชิ้นงานหลังจากการกลึงปอก.....	27
4.3 ชิ้นงานที่ผ่านการวัดค่าความเรียบผิว.....	28
4.4 ชิ้นงานที่กำลังวัดค่าความเรียบผิว.....	28
4.5 การอ่านค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน.....	29
4.6 กราฟแสดงค่าความเรียบผิวเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ.....	31
4.7 กราฟแสดงค่าความเรียบผิวเปรียบเทียบกับอัตราป้อน.....	32
4.8 กราฟแสดงค่าความเรียบผิวเปรียบเทียบกับระยะป้อนลึก.....	33
4.9 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลความเรียบผิว.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 การตรวจสอบการเท่ากันของความแปรปรวน.....	35
4.11 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก.....	36
4.12 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม.....	37
4.13 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	38
4.14 กราฟแสดงค่าความเรียบผิวเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ.....	39
4.15 กราฟแสดงค่าความเรียบผิวเปรียบเทียบกับอัตราป้อน.....	40
4.16 กราฟแสดงค่าความเรียบผิวเปรียบเทียบกับระยะป้อนลึก.....	41
4.17 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลความเรียบผิว.....	42
4.18 การตรวจสอบการเท่ากันของความแปรปรวน.....	43
4.19 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก.....	44
4.20 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม.....	45
4.21 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	46
4.22 กราฟแสดงค่าความเรียบผิวเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ.....	47
4.23 กราฟแสดงค่าความเรียบผิวเปรียบเทียบกับอัตราป้อน.....	48
4.24 กราฟแสดงค่าความเรียบผิวเปรียบเทียบกับระยะป้อนลึก.....	49
4.25 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลความเรียบผิว.....	50
4.26 การตรวจสอบการเท่ากันของความแปรปรวน.....	51
4.27 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก.....	52
4.28 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม.....	53
4.29 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	54
ข.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลต่อความเรียบผิวของเหล็ก AISI 1045.....	62
ข.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลต่อความเรียบผิวของเหล็ก AISI 4140.....	62
ข.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลต่อความเรียบผิวของเหล็ก AISI 1010.....	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วอย่างไม่หยุดยั้ง มีการแข่งขันสูงทั้งด้านคุณภาพ ด้านจำนวนความต้องการที่สูง โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จึงได้มีการนำเครื่องจักรกลซีเอ็นซีเข้ามาช่วยในการผลิต เพราะเครื่องจักรกลซีเอ็นซี เป็นเครื่องจักรกลที่ใช้ผลิตหรือขึ้นรูปชิ้นงานที่มีมาตรฐานสูง ผ่านระบบการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ช่วยควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ในขั้นตอนต่างๆ อย่างอัตโนมัติ แทนการใช้แรงงานคนควบคุมเครื่องเพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพ ประหยัดเวลา และมีความสะดวกในการควบคุมในการทำงาน

จากการที่ได้ศึกษาการปฏิบัติงานของเครื่องกลึง พบว่าคุณภาพที่ได้จากการทำงานไม่เป็นที่พอใจ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อ การป้อนค่าตัวแปรในการกลึงที่ไม่ถูกต้องหรืออาจจะเป็นเพราะคุณสมบัติ และองค์ประกอบของวัตถุดิบที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในเทคโนโลยีเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ซึ่งเป็นคุณสมบัติ และองค์ประกอบวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีผลกระทบต่อความเรียบผิวอย่างไร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาวิจัยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิวในกระบวนการกลึงด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

1.3 สมมุติฐานในการวิจัย

ในการกลึงปกผิวนอกทรงกระบอกด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวคือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน ระยะป้อนลึก

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

สามารถทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึงด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

1.5 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สามารถอธิบายความสัมพันธ์หรือผลกระทบของวัตถุดิบ และตัวแปรในการกลึงที่มีผลต่อความเรียบผิวในการกลึงด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

1.6 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.6.1 เครื่องกลึง CNC

1.6.2 วัสดุชิ้นงานเหล็ก AISI 1010 AISI 1045 และ AISI 4140 เส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มม.

โดยไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ

1.6.3 ศึกษาเฉพาะการกลึงปอกผิวนอกทรงกระบอก

1.6.4 ศึกษาผลกระทบของวัตถุดิบที่ผลต่อการกลึง

1.6.4.1 ความเร็วรอบ

1.6.4.2 อัตราป้อน

1.6.4.3 ระยะป้อนลึก

1.6.4.4 ระยะมุมมีดกลึงตั้ง 90 องศา

1.6.4.5 เปิดน้ำหล่อเย็นในการกลึง

1.7 สถานที่ในการดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล

1.7.1 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7.2 หอสมุดมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7.3 ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

ตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2555 ถึง มกราคม พ.ศ. 2556

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ประวัติความเป็นมาของ CNC

CNC เป็นคำย่อมาจากคำว่า Computer Numerical Control หมายถึง การใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติต่างๆ เช่น เครื่องกัด เครื่องกลึง เครื่องเจาะ เครื่องเจียระไน เป็นต้น โดยการสร้างรหัส ตัวเลข สัญลักษณ์ หรือเรียกว่าโปรแกรม NC ขึ้นมาควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล ซึ่งสามารถทำให้ผลิตชิ้นงานได้รวดเร็วถูกต้อง และเที่ยงตรง

นับตั้งแต่ ปี ค.ศ.1960 เป็นต้นมาเทคโนโลยีทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามามีบทบาทแทนที่หลอดสูญญากาศ และทรานซิสเตอร์ก็มีการพัฒนาจากเครื่องจักร NC มาเป็นเครื่องจักร CNC (Computer Numerically Controlled) และเครื่องจักร CNC ก็กลายเป็นพระเอกที่โดดเด่นเรื่อยมาเนื่องจากมีหน่วยความจำขนาดใหญ่สามารถบรรจุโปรแกรมการทำงานต่างๆ ได้เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีจอภาพแสดงผลแบบกราฟฟิกแสดงผลหรือจำลองการทำงานได้อีกด้วย

ในการโปรแกรมข้อมูลเข้าไปยังตัวควบคุมเครื่องจักร (Machine Control) ซึ่งเรียกการควบคุมแบบนี้ว่าระบบ Softwired โดยมีการเปลี่ยนอุปกรณ์แบบเก่าเป็นอุปกรณ์ที่สามารถจัดเก็บโปรแกรมได้ ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาก็เป็นยุคต้นของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

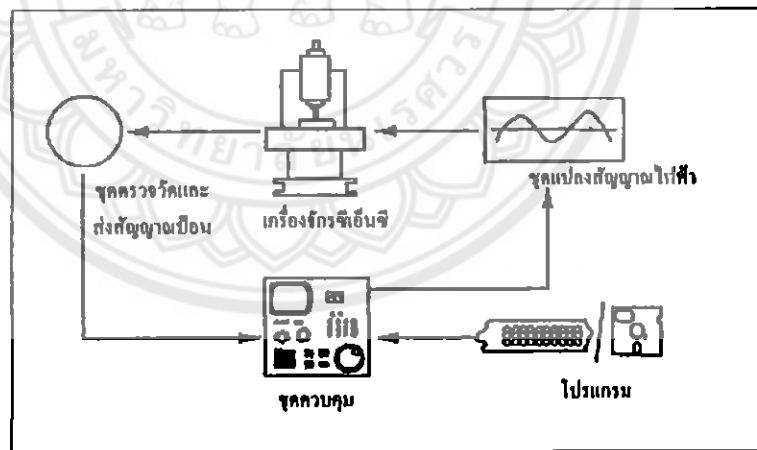
เครื่อง CNC จะใช้เทปแม่เหล็ก แผ่นดิสก์หรือ (Drum) ในการเก็บข้อมูลที่โปรแกรมเอาไว้การโปรแกรมสามารถทำได้ที่สถานีควบคุมไปยังกลุ่มเครื่องจักรกล NC แต่ถ้าเป็นกลุ่มหรือเครื่องจักรกล CNC การโปรแกรมหรือรับสัญญาณมักจะได้รับจาก เครื่องจักรเองโดยตรงหรือเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ประจำเครื่อง CNC เป็นแนวความคิดใหม่ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์หนึ่งตัวเป็นตัวช่วยในการทำ (Main Computer or Host) เป็นศูนย์กลางในการควบคุม และบริหารเครื่องจักรกล NC และ CNC หลายๆ เครื่อง CNC จะใช้เทปแม่เหล็ก, แผ่นดิสก์หรือดรัม (Drum) ในการเก็บข้อมูลที่โปรแกรมเอาไว้การโปรแกรมสามารถทำได้ที่สถานีควบคุมไปยังกลุ่มเครื่องจักรกล NC แต่ถ้าเป็นกลุ่มหรือเครื่องจักรกล CNC การโปรแกรมหรือรับสัญญาณมักจะได้รับจากเครื่องจักรเองโดยตรงหรือเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ประจำเครื่อง

ในการควบคุมเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะใช้โปรแกรมรหัสจีเป็นชุดคำสั่งเพื่อควบคุมขับเคลื่อนเครื่องมือตัด (Tool) จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งหรือ เปิด-ปิดสารหล่อเย็นหรือเปลี่ยนเครื่องมือตัดเดือน โดยเครื่องจักรกลจะทำงานโดยอัตโนมัติตามที่ได้โปรแกรมไว้ตามชุดคำสั่งเราไม่สามารถแยกเครื่องจักรซีเอ็นซี และรหัสจีออกจากกันได้ ถ้าเราต้องการให้เครื่องจักรซีเอ็นซีทำงานเราต้องเรียนรู้รหัสจีเพื่อที่เราจะได้พูดภาษาเดียวกับตัวควบคุมซีเอ็นซีได้ภายหลังจึงได้มีการพัฒนาโปรแกรม CAD/CAM ขึ้นมาใช้งานร่วมกับเครื่องจักรกล CNC ช่วยให้เข้าใจถึงวิธีการโปรแกรมหัสดจี เพื่อให้เครื่องจักรซีเอ็นซีทำงานตามที่ผู้ใช้งานต้องการได้สะดวกรวดเร็วขึ้น



รูปที่ 2.1 รูปเครื่องกลึง CNC

ที่มา : <http://www.siamonlineshop.com/question.asp?QID=167841>



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของเครื่องจักร NC / CNC

ที่มา : <http://kwuan.igetweb.com/index.php?mo=3&art=19557>

ดังนั้นเครื่องจักรกลเอ็นซีในปัจจุบันนั้นส่วนมากจะ หมายถึง เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ซึ่งจะมี คอมพิวเตอร์ที่สามารถเข้าใจตัวเลข และตัวอักษรหรือโปรแกรมที่ป้อน และขณะเดียวกันจะใช้ คอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมเครื่องจักรจากคำสั่งหรือโค้ดในโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปโดยโปรแกรม ดังกล่าวสามารถป้อนเข้าคอมพิวเตอร์

2.1.1 อุปกรณ์และความหมายของอักษร CNC

2.1.1.1 คีย์บอร์ด (Keyboard) หรือแป้นพิมพ์

2.1.1.2 สื่อบันทึกความจำ เช่น แผ่นดิสก์ แลปเทปแม่เหล็ก และแลปเทปกระดาษ

2.1.1.3 ระบบสื่อสารเชื่อมโยงข้อมูล เช่น สายส่งสัญญาณ RS 232

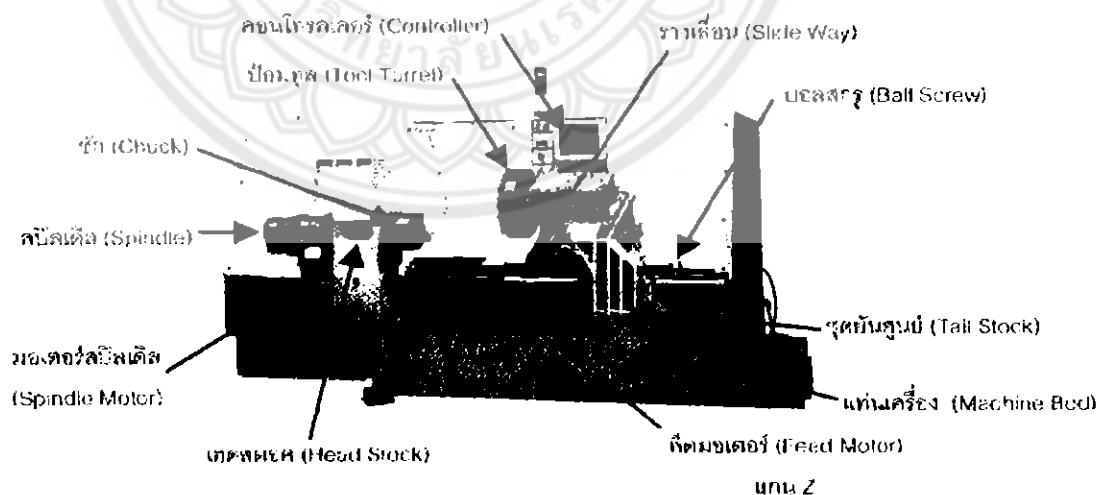
2.1.1.4 อักษร C ย่อมาจาก Computer หมายถึง คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักร

2.1.1.5 อักษร N ย่อมาจาก Numerical หมายถึง ตัวเลข 0 ถึง 9 ตัวอักษรหรือโค้ด เช่น A, B, C ถึง Z และสัญลักษณ์อื่นๆ เช่น เครื่องหมาย +, - และร้อยละ

2.1.1.6 อักษร C ย่อมาจาก Control หมายถึง การควบคุมโดยกำหนดค่าหรือตำแหน่งจริงที่ต้องการเพื่อให้เครื่องจักรทำงานให้ได้ค่าตามที่กำหนด

2.2 โครงสร้างของเครื่องกลึง CNC

เครื่องกลึงซีเอ็นซี หรือ CNC Turning Center แบบพื้นฐานมีการเคลื่อนที่ 2 แกน คือ แกน X และแกน Z และเป็นเครื่องแบบแนวนอน (Horizontal) เครื่องกลึงประเภทนี้มีส่วนประกอบหลัก คือ



รูปที่ 2.3 รูปโครงสร้างของเครื่องกลึง CNC

ที่มา : app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc

2.2.1 แท่นเครื่อง

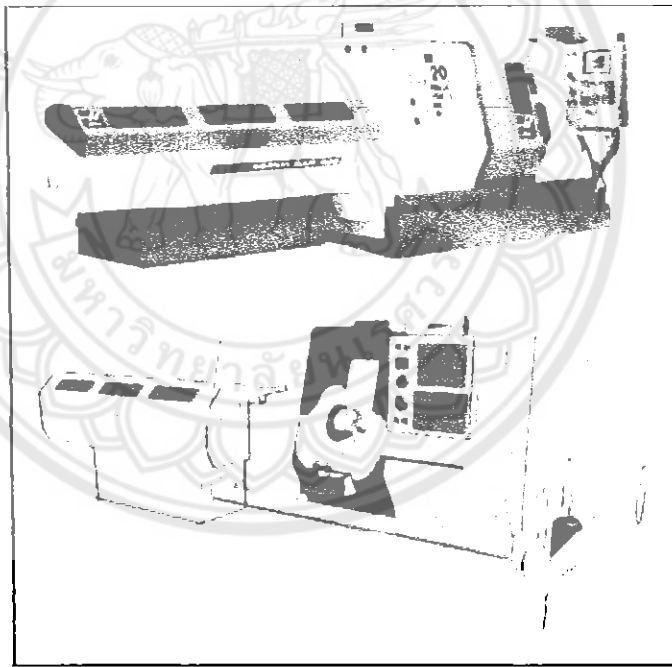
แท่นเครื่องหรือ Machine Bed โดยทั่วไปเป็นเหล็กหล่อพื้นบนเอียงลาด (Slant Bed) ช่วยให้ เศษโลหะ (Chip) ตกลงพื้นได้ง่าย และสะดวกต่อการติดตั้งชิ้นงาน และอุปกรณ์อื่นๆ

2.2.2 แท่นแนวขวาง

แท่นแนวขวางเป็นแท่นสำหรับป้อมทูล (Tool Turret - เทอร์เรต) ให้ทูลเคลื่อนที่ในแนวขวางหรือแกน X

2.2.3 ป้อมทูล

ป้อมทูลเป็นอุปกรณ์สำหรับติดตั้งมีดตัดหรือป้อมทูลสามารถหมุนไปยังตำแหน่งทูลที่ต้องการใช้งานโดยทำการโปรแกรมจากหมายเลขทูล (Tool Number) โดยทั่วไปสามารถหมุนได้ทั้ง 2 ทิศทาง และมีที่อ่อน้ำหล่อเย็น (Coolant) พ่นไปที่ชิ้นงาน



รูปที่ 2.4 แสดงแท่นเครื่องและแท่นตัดขวางของเครื่องกลึง

ที่มา : app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc

2.2.4 อุปกรณ์เสริมอื่นๆ

2.2.4.1 ชุดยันศูนย์หรือเทลสตอค

ชุดยันศูนย์หรือเทลสตอค สำหรับยันปลายชิ้นงานที่ยาวโดยติดตั้งฝั่งตรงข้ามกับสปินเดิล ทำให้ได้ขนาดที่ปลายถูกต้อง และป้องกันอุบัติเหตุจากชิ้นงานหลุดจากชัคเทลสตอค สามารถโปรแกรมให้เลื่อนเข้าออกได้

2.2.4.2 ชุดประคองชิ้นงาน

ชุดประคองชิ้นงาน สำหรับประคองช่วงกลางชิ้นงานไม่ให้โก่งในขณะกลึง ใช้เมื่อทำการกลึงชิ้นงานที่มีขนาดยาว

2.2.4.3 ชุดลำเลียงเศษชิ้นงาน

ชุดลำเลียงเศษชิ้นงาน สำหรับลำเลียงเศษโลหะ (Chip) ออกจากเครื่อง และทิ้งลงถังรองอย่างต่อเนื่อง

2.2.4.4 ชุดรองรับชิ้นงาน

ชุดรองรับชิ้นงาน ลักษณะเป็นกล่องรองรับชิ้นงานที่กลึงเสร็จแล้วเพื่อป้องกันชิ้นงานออกจากเครื่องโดยไม่ให้ตกลงพื้นสำหรับใช้รองรับชิ้นงานขนาดเล็ก

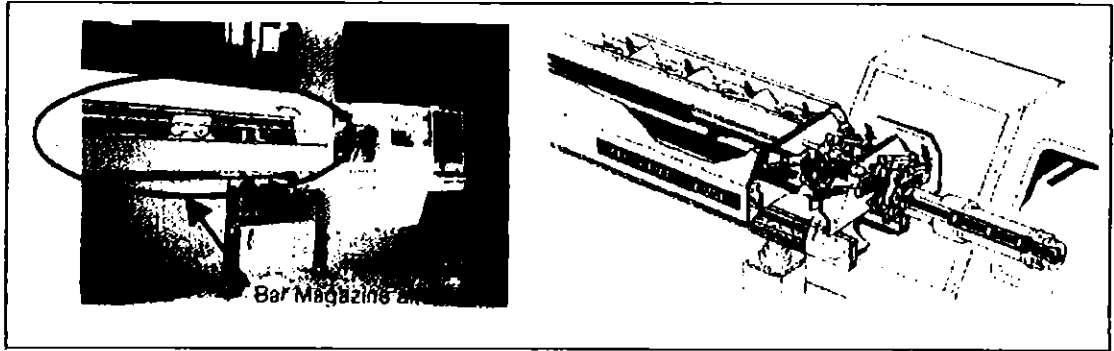


รูปที่ 2.5 ชุดลำเลียงเศษชิ้นงานและชุดรองรับชิ้นงาน

ที่มา : app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc

2.2.4.5 ชุดบรรจุและป้อนท่อนชิ้นงาน

ชุดบรรจุ และป้อนท่อนชิ้นงาน สำหรับบรรจุท่อนชิ้นงานกลมยาว (3 ถึง 5 ม.) โดยป้อนผ่านแกนกลางของสปินเดิล ทำให้ไม่ต้องใช้แรงงานในการตัดเตรียมการตัดให้ได้ขนาด และการป้อนชิ้นงานทีละชิ้น ขนาดความยาว และจำนวนท่อนขึ้นอยู่กับขนาดของชุดบรรจุ (Magazine)



รูปที่ 2.6 ชุดบรรจุและป้อนชิ้นงานและกลไกภายในชุดบรรจุและป้อนชิ้นงาน

ที่มา : app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc

2.3 โครงสร้างของเอ็นซีโปรแกรม

โครงสร้างของเอ็นซีโปรแกรม ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนหัวโปรแกรม ส่วนตัวโปรแกรม และส่วนท้ายโปรแกรม

ส่วนหัวโปรแกรม ส่วนหัวโปรแกรมเป็นส่วนที่บอกว่าเราจะทำงานกับเครื่องจักรแบบใดทำงานในระนาบใด ใช้ทูล ใช้ความเร็วรอบ เปิดปิดน้ำหล่อเย็นทิศทางการหมุนของทูล

ส่วนตัวโปรแกรม เป็นส่วนที่เป็นเส้นทางเดินของทูล (Tool Part) เป็นส่วนที่สั่งให้เครื่องจักร CNC กลิ้งกัดเป็นรูปร่างตามที่เราเขียน

ส่วนท้ายโปรแกรม เป็นส่วนที่จบคำสั่งโปรแกรม และบอกเครื่องจักร CNC ให้พร้อมทำงานในโปรแกรมต่อไป

2.3.1 การกำหนดพิกัดเอ็นซีโปรแกรม

การกำหนดพิกัดที่ใช้ในการเขียนเอ็นซีโปรแกรมมี 2 ประเภท คือ การกำหนดพิกัดแบบสัมบูรณ์ และการกำหนดพิกัดแบบสัมพัทธ์

2.3.1.1 การกำหนดพิกัดแบบสัมบูรณ์

การกำหนดพิกัดแบบสัมบูรณ์ (Absolute) คือ ในการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยทั้งสองจุดใช้จุดอ้างอิงเดียวกัน โดยปกติจุดอ้างอิงดังกล่าวคือจุด Origin หรือที่ $X=0$, $Y=0$ และ $Z=0$ หรือ $(X, Y, Z) = (0, 0, 0)$ โค้ดหรือคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดพิกัดแบบสัมบูรณ์คือ G90

2.3.1.2 การกำหนดพิกัดแบบสัมพัทธ์

การกำหนดพิกัดแบบสัมพัทธ์ (Incremental) หรือในการเคลื่อนที่ไปยังจุดใดๆ ในตำแหน่งปัจจุบันไปยังจุดถัดไปโดยอ้างอิงจากตำแหน่งปัจจุบันหรือเป็นระยะห่างระหว่าง 2 จุด โดยมีเครื่องหมาย + และเครื่องหมาย - ระบุทิศทางของเครื่องที่ตามแนวแกนนั้นๆ โดยอ้างอิงจากตำแหน่งปัจจุบันหรือจุดเริ่มต้นของเส้นนั้นๆ โค้ดหรือคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดพิกัดแบบสัมพัทธ์คือ G91

2.4 ลำดับขั้นตอนการเตรียมงาน

จากข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นในการขึ้นรูปหรือการแมชชีนขึ้นงาน โดยใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีใดๆ สามารถแยกลำดับการทำงานได้เป็น 2 ขั้นตอนหลัก ดังสรุปเป็นบล็อกไดอะแกรมเป็นสองส่วนหลัก ดังนี้

2.4.1 การเขียนโปรแกรมหรือเตรียมโปรแกรมในการเขียน เอ็นซี

การเขียนโปรแกรมหรือเตรียมโปรแกรมในการเขียน เอ็นซี โปรแกรมต้องมีข้อมูลจาก ภาพวาดรายละเอียดของชิ้นงาน กระบวนการเงื่อนไขการตัด และทูลที่จะนำมาใช้

2.4.2 การปฏิบัติการบนเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

การปฏิบัติการบนเครื่องจักรกลซีเอ็นซี การปฏิบัติการบนเครื่องจักรกลซีเอ็นซีแยกเป็น สองงาน คือ งานปฏิบัติการที่ตัวคอนโทรลเลอร์ และงานปฏิบัติการที่ตัวเครื่องจักรงานปฏิบัติการที่ตัวคอนโทรลเลอร์ต้องมี เอ็นซี โปรแกรม และข้อมูลของทูลที่ต้องใช้เพื่อป้อนเข้าคอนโทรลเลอร์ส่วนงานปฏิบัติการที่ตัวเครื่องจักรได้แก่ การติดตั้งชิ้นงานดิบ และการติดตั้งทูล

2.5 ลักษณะการขึ้นรูปพื้นฐานโดยการกลึง

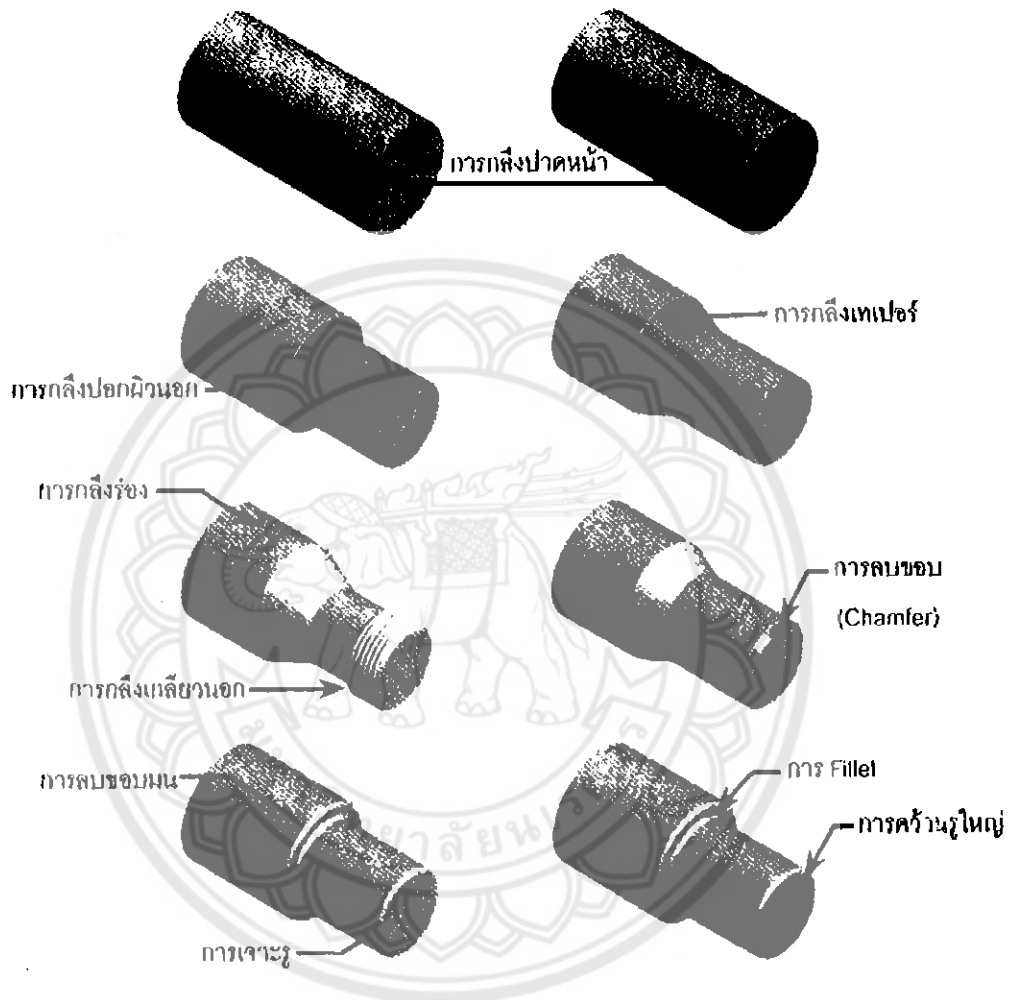
งานกลึงแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ การกลึงผิวนอก (External Cuts) การกลึงผิวใน (Internal Cuts) และงานกลึงพิเศษ (Special Cuts) โดยมีลักษณะการขึ้นรูปพื้นฐานหรือกระบวนการได้แก่

การกลึงผิวนอก	การกลึงผิวใน
การกลึงปาดหน้า	การเจาะรู
การกลึงปอกผิวนอก	การคว้านผิวเรียบ
การกลึงเกลียวนอก	การกลึงร่องใน
การกลึงร่อง หรือการกลึงตกร่อง	การคว้านรูใหญ่
การกลึงร่องผิวหน้า	การกลึงเกลียวใน หรือตีป
การกลึงเทเปอร์ หรือกลึงเรียว	การกลึงตัดขาด

รูปที่ 2.7 รูปแสดงตารางการกลึงผิวนอกและผิวใน

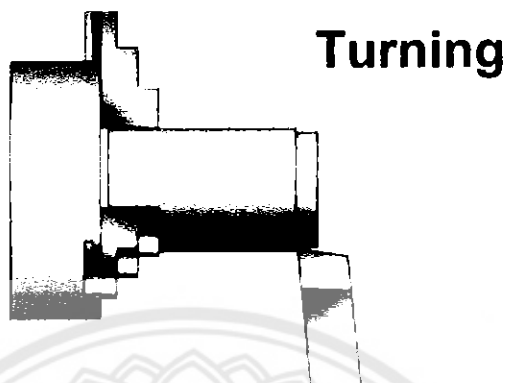
ที่มา : app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc

งานกลึงพิเศษเป็นการกลึงที่มีการใช้อุปกรณ์เสริมอื่นๆ เช่น ตัวขึ้นลายหรือกรณีที่มีงานกัดเข้ามาผสมด้วยหรือเรียกเป็นงาน Mill Turn โดยใช้ทั้งเครื่องกลึง และเครื่องกัดหรือใช้เครื่องกลึงแบบ 3 แกนที่มี Driven Tools



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการขึ้นรูปพื้นฐานโดยกระบวนการกลึง
ที่มา : app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc

2.6 ความเร็วรอบ ความเร็วตัด อัตราป้อน เวลาถึงปอก และอัตราป้อนลึก



รูปที่ 2.9 ทิศทางการหมุนรองชิ้นงานและการเคลื่อนที่ของมีดตัด

ที่มา : bbs.drama-addict.com

2.6.1 ความเร็วรอบ (Speed)

ความเร็วรอบ (Speed) หมายถึง ความเร็วรอบของชิ้นงานหรือความเร็วรอบของเครื่องมือตัดที่หมุนได้ในเวลา 1 นาทีที่มีหน่วยวัดเป็นรอบต่อนาที

$$n = \frac{V \times 1000}{D \times \pi} \quad (2.1)$$

เมื่อกำหนด

V = ความเร็วตัดงานกลึง (เมตร/นาที)

n = ความเร็วรอบชิ้นงานกลึง (รอบ/นาที)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานของงานกลึง (มม.)

2.6.2 ความเร็วตัด (Cutting Speed)

ความเร็วตัดในงานกลึง คือ ความยาวหรือระยะทางของเศษโลหะที่ถูกมีดกลึงตัดเฉือนออกมาในขณะที่กลึง ว่ามีความยาวกี่เมตร ในเวลา 1 นาที ความเร็วตัดจึงมีหน่วยเป็น เมตร/นาที ซึ่งในการคำนวณก็ใช้หลักการ การหาเส้นรอบวงของชิ้นงานกลึง คูณด้วยความเร็วรอบของชิ้นงาน

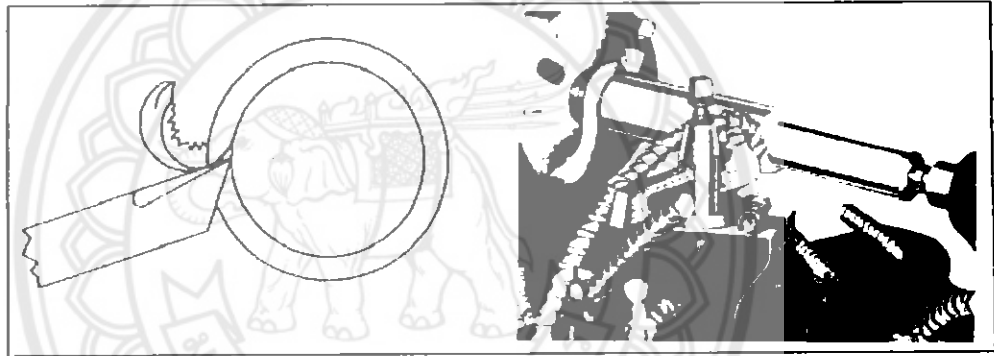
$$V = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \quad (2.2)$$

เมื่อกำหนด

V = ความเร็วตัดงานกลึง (เมตร/นาที)

n = ความเร็วรอบชิ้นงานกลึง (รอบ/นาที)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานของงานกลึง (มม.)



รูปที่ 2.10 แสดงความเร็วตัดงานกลึง

ที่มา : <http://kwuan.iqetweb.com/index.php?mo=3&art=18776>

2.6.3 อัตราป้อน (Feed)

การป้อนตัด หมายถึง ระยะทางการเดินป้อนมีดไปตามความยาวของชิ้นงาน ในแต่ละรอบของการป้อนตัด อาจพิจารณาความหนาของเศษตัดการป้อนตัด 0.2 มม. มีดกลึงจะเคลื่อนที่ป้อนตัดงานเป็นระยะทาง 0.2 มม. ตามความยาวของงานหมุนไป 1 รอบถ้าชิ้นงานหมุน 10 รอบระยะทางของมีดจะเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่ากับ $10 \times 0.2 = 2$ มม.

การป้อนตัดมี 2 ลักษณะ คือ การป้อนตัดหยาบ และป้อนตัดละเอียด

การป้อนตัดหยาบใช้ในการป้อนตัดเมื่อกลึงงานระยะแรกที่ยังเหลือขนาดอีกมากสามารถป้อนกลึงหยาบเพื่อกลึงงานได้รวดเร็ว

การป้อนตัดละเอียดใช้ในการป้อนตัดละเอียดเมื่อกลึงงานที่ได้ขนาดใกล้เคียงที่ต้องการการป้อนละเอียดจะทำให้ผิวที่ได้จากการกลึงมีผิวที่เรียบมากกว่าการกลึงหยาบ

2.6.4 เวลาเกลึงปอก

$$t_h = \frac{l \times i \times \pi \times d}{s \times v \times 1000} \quad \text{นาที} \quad (2.3)$$

- กำหนดให้
- t_h = เวลาเกลึงปอก (นาที)
 - l = ความยาวของชิ้นงานที่เกลึง (รวมช่วงหน้าและหลังมีด) (มม.)
 - i = จำนวนครั้งที่เกลึงออก (ครั้ง)
 - d = ขนาดของชิ้นงาน (มม.)
 - s = ความกว้างของรอยเกลึง
 - v = ความเร็วตัด (ม./นาที)
 - n = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

2.6.5 อัตราป้อนลึก (Depth of Cut)

$$a = \frac{v}{\pi \times d} \quad (2.4)$$

เมื่อกำหนด

- V = ความเร็วตัดงานเกลึง (เมตร/นาที)
- a = อัตราป้อนลึก
- d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานของงานเกลึง (มม.)

2.7 ลักษณะของพื้นผิวโลหะ

ในการใช้งานชิ้นงานส่วนหลายๆ อย่างนั้น ลักษณะของพื้นผิวของชิ้นงานมีความสำคัญต่อการใช้งานเป็นอย่างยิ่งดังนั้น ในการเขียนแบบเพื่อการผลิตนั้นเราจำเป็นจะต้องมีการกำหนด กรรมวิธีการผลิต (Manufacturing Methods) ความหยาบของพื้นผิวที่ต้องการ (Required Roughness) และลักษณะของพื้นผิวที่ต้องการอื่นๆ เข้าไปด้วยเพื่อให้ชิ้นงานสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ในการกำหนดลักษณะของพื้นผิวนั้น เราจะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่าย และเครื่องมือการผลิตที่มีใช้ด้วย และเราจะกำหนดลักษณะพื้นผิวเท่าที่จำเป็นต่อการทำงานของชิ้นงานเท่านั้นเพื่อจำกัดต้นทุนในการผลิต

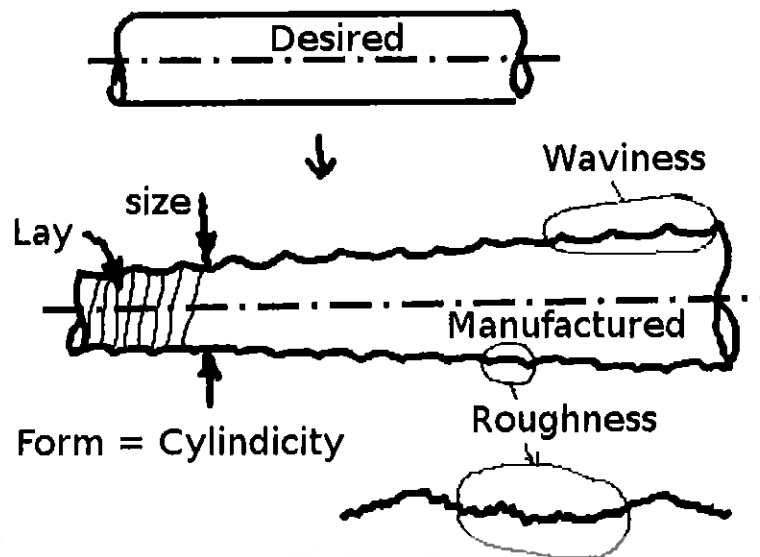


รูปที่ 2.11 แสดงลวดลายที่เกิดจากผิวลักษณะต่างๆ

ที่มา : kucon.lib.ku.ac.th/dbstat/download_count.php?rec_no...mfn...

2.7.1 ความผิดพลาดต่างๆ ในการผลิต

ในการผลิตเราสามารถจำแนกลักษณะความผิดพลาดในการผลิตพื้นผิวได้สามแบบ คือ ความผิดพลาดด้านขนาด และรูปร่าง ความเป็นคลื่น และความหยาบของพื้นผิว ตัวอย่างของความผิดพลาดทั้งสามนั้นแสดงให้เห็นชัดเจนดังในรูป ซึ่งเป็นตัวอย่างลักษณะของความผิดพลาดในการผลิต ชิ้นงานรูปทรงกระบอกในรูปด้านล่าง จะเห็นความผิดพลาดทั้งสามอย่างชัดเจน



รูปที่ 2.12 ลักษณะความผิดพลาดในการผลิตพื้นผิว

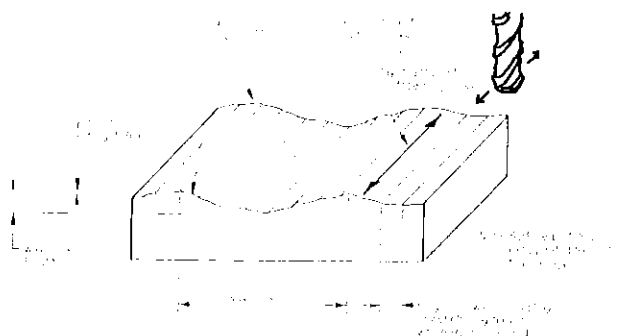
ที่มา : pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/.../Ch3%20surface%20texture.p...

2.7.2 ความผิดพลาดของขนาดและรูปร่าง (Size and Form Error)

ความผิดพลาดในด้านรูปร่างเป็นความผิดพลาดที่มีผลต่อการใช้งานโดยรวมของชิ้นงาน ตัวอย่างเช่น การสวมเพลาลูกปืนกับตลับลูกปืน ถ้าต้องการให้ใส่ได้ง่ายก็ต้องกำหนดให้ขนาดของเพลาลูกปืนเล็กกว่า แต่ถ้าต้องการลดการเสียดสีก็ต้องให้เพลาลูกปืนใหญ่กว่าแหวนในของตลับลูกปืนเล็กน้อยแล้วใช้การสวมอัด การทำดังนี้จะทำให้เพลาลูกปืนและแหวนในของตลับลูกปืนหมุนไปด้วยกันและไม่เกิดการเสียดสี ความผิดพลาดแบบนี้สามารถวัดเพื่อการตรวจสอบได้ง่ายโดยใช้เครื่องมือพื้นฐาน เช่น เวอร์เนียหรือ Dial Gauge ในการกำหนดค่าความผิดพลาดของรูปร่างที่ยอมรับได้สำหรับชิ้นงานหลายๆ ชิ้นที่ต้องประกอบเข้าด้วยกัน จะสามารถทำได้โดยใช้มาตรฐานของ ISO ในเรื่องของความพอดีในการสวมใส่และพิถีพิถันของขนาด (Fits and Tolerance) และ ในเรื่องของพิถีพิถันของรูปร่าง

2.7.3 ความเป็นคลื่น (Waviness)

ความเป็นคลื่นเป็น ความผิดพลาดที่ความยาวคลื่นมากบนพื้นผิวของชิ้นงาน ความเป็นคลื่นมักมีความสม่ำเสมอ ความเป็นคลื่นอาจเกิดจากการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ซึ่งทำให้เกิดความสม่ำเสมอนี้เป็นรูปขยายของชิ้นงาน ความเป็นคลื่นนั้นวัดได้ค่อนข้างยาก และจะแบ่งแยกออกจากความผิดพลาดด้านรูปร่างได้ยากด้วย



รูปที่ 2.13 คำศัพท์ต่างๆ สำหรับลักษณะของพื้นผิว

ที่มา : pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/.../Ch3%20surface%20texture.p...

2.7.4 ความหยาบของผิว (Surface Roughness)

ความหยาบของผิวเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการผลิตแบบหนึ่ง ความหยาบเกิดขึ้นจากรูปร่างของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน และกรรมวิธีการขึ้นรูปสำหรับการวัดความหยาบเราจะวัดลักษณะที่เกิดจากความขรุขระของพื้นผิวที่มีความยาวคลื่นน้อย ดังนั้นในการวัดเราจะต้องจำกัดระยะในการวัดให้ต่ำลักษณะความเป็นคลื่นระยะนี้เรียกว่า Cut Off Length มีค่ามาตรฐานที่ใช้กันมากคือ 0.25 มม., 0.8 มม. และ 2.5 มม. ความหยาบของพื้นผิวมีความสำคัญต่อการใช้งานหลายๆ อย่าง เช่น แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิว การสึกหรอจากการเสียดสี ความสวยงาม (Looks) ความรู้สึกในการสัมผัส (Feels), ความสามารถในการป้องกันการรั่วซึม (Sealing Property)

2.8 เครื่องทดสอบความหยาบของผิว (Surface Roughness Tester)

เครื่องทดสอบผิวนี้จะใช้ในการวัดความหยาบของผิวในเทอมของ R_a (ใช้เลขคณิตหาตัวกลางการเบี่ยงเบน) หรือ R_t (กำหนดขึ้นจากมาตรฐานเยอรมัน) จึงอ่าน R_a และ R_t โดยตรงจากมิเตอร์ เมื่อนำเครื่องบันทึกมารวมเข้าด้วยกันแล้วจะบันทึกออกมาได้เช่นเดียวกัน

เครื่องทดสอบประกอบด้วยเครื่องสามตัว คือ เครื่องรับคลื่น เครื่องขับ และเครื่องขยายมีมิเตอร์อยู่ด้วย

เครื่องรับคลื่น อยู่สคิด (Skid) ลาก (Trace) ไปบนผิวที่ไม่สม่ำเสมอให้ลายแหลมเส้นตัดกัน (Diamond Tipped Stylus) รัศมี 1.5 ไมโครเมตร (0.005") มุม 60 องศาใช้แรงน้อยกว่า 1.5 gf มีระยะเคลื่อนที่ขึ้นลง

เครื่องขยาย และมีเตอร์ติดอยู่ มีทั้งที่กำหนดขึ้นเป็นระบบเมตริก หรือ เมตริก/อังกฤษ ขนาด 0.3 ไมโครเมตร (10 ไมโครนิ้ว ถึง 3000 ไมโครนิ้ว) เครื่องขับ 0.02 ไมโครเมตร ถึง 5.0 ไมโครเมตร (0.5 ไมโครนิ้ว ถึง 200 ไมโครนิ้ว) ค่าตัดออก (Cut off Value) 6 มม. (0.240") permin. ใช้ขนาด 2.5 มม. (1") ถึง 0.25 มม. (0.01") และ 2 มม. (0.808") persec ใช้ขนาด 0.8 มม. (0.030") ถึง 0.08 มม. (0.003")

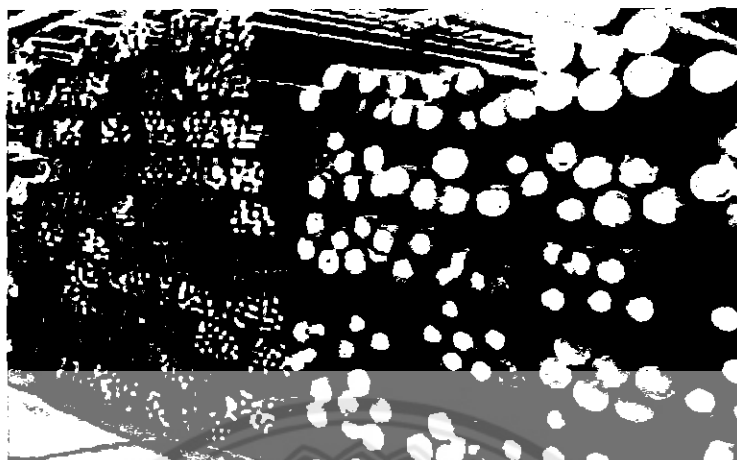
แรงขับเคลื่อนและเครื่องรับคลื่นขนาด 6 มม. (240") persec หรือ 2 มม./วินาที คลื่นละเอียดมีความเร็วเพียงขนาดแน่นอนและไวใจได้

เครื่องนี้เป็นทรานซิสเตอร์อยู่ร่วมกับวงจรพิมพ์มีความสามารถให้จุดต่างๆ ที่เส้นผลิตออกมาสำหรับกรรมวิธีตรวจที่อยู่ระหว่างกลางของความหยาบของผิว

เครื่องบันทึกผิว เมื่อนำไปใช้ร่วมกับเครื่องมือทดสอบผิวแล้วจะบันทึก R_t ออกมาสำหรับผู้ตรวจใช้ได้สะดวกยิ่งขึ้น

เครื่องลากด้วยมือ (Hand Tracer) ใช้สำหรับวัดผิวเว้า (Concave) หรือนูน (Convex) ที่เครื่องรับคลื่น รับคลื่นมาตรฐานอยู่กับเครื่องขับไม่สามารถที่จะใช้ได้จึงใช้เครื่องชนิดนี้โดยลายแหลม (Stylus) รองรับโดยที่สคิดทั้งสามจึงทำให้วัดได้สม่ำเสมอแน่นอน

2.9 เหล็กกล้าคาร์บอน



รูปที่ 2.14 แสดงเหล็กคาร์บอนต่างๆ

ที่มา : siamyota.com

2.9.1 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steels)

เหล็กกล้าคาร์บอน หมายถึง เหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของธาตุคาร์บอนเป็นธาตุหลักที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกลของเหล็ก และยังมีธาตุอื่นผสมอยู่อีกซึ่งแบ่งเหล็กกล้าคาร์บอนออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.9.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel)

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกินร้อยละ 0.25 เช่น เหล็ก AISI 1010 AISI 1015 ซึ่งมีค่าความแข็งประมาณ 170 HB นอกจากคาร์บอนแล้วยังมีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วย ได้แก่ แมงกานีส ซิลิคอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน แต่มีปริมาณน้อยเนื่องจากหลงเหลือมาจากกระบวนการผลิตเหล็กประเภทนี้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรม และในชีวิตประจำวันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 เนื่องจากขึ้นรูปง่ายเชื่อมง่าย และราคาไม่แพง โดยเฉพาะเหล็กแผ่นมีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ตัวถังรถยนต์ ชิ้นส่วนยานยนต์ต่างๆ กระจังรถจักรยาน สังกะสีมุงหลังคา เครื่องใช้ในครัวเรือน และในสำนักงาน

2.9.1.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel)

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 0.2 - 0.5 เช่น เหล็ก AISI 4140 AISI 4340 ซึ่งมีค่าความแข็งประมาณ 190 HB มีความแข็งแรง และความเค้นแรงดึงมากกว่า เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แต่จะมีความเหนียวน้อยกว่า สามารถนำไปชุบแข็งได้ เหมาะกับงานทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รางรถไฟ เฟือง ก้านสูบ ท่อเหล็ก ไขควง เป็นต้น

2.9.1.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel)

เหล็กกล้าคาร์บอนสูง เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 0.5 - 1.5 เช่น เหล็ก AISI 1045 AISI 1050 ซึ่งมีค่าความแข็งประมาณ 210 HB มีความแข็งแรง และความเค้นแรงดึงสูง เมื่อชุบแข็งแล้วจะเปราะ เหมาะสำหรับงานที่ทนต่อการ สึกหรือ ใช้ในการทำ เครื่องมือ สปริงแหนบ ลูกปืน เป็นต้น

2.10 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง Design of Experiment คือ การทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่มีวัตถุประสงค์ที่จะเปลี่ยนแปลง (Factor) นำเข้ากระบวนการ และสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำออกซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่าผลตอบแทน โดยกำหนดให้ปัจจัย X_1, X_2, \dots, X_p เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Variably) ขณะที่ Z_1, Z_2, \dots, Z_p เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) และบางครั้งเรียกว่าปัจจัยรบกวน (Noise) ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการทดลองคือ

2.10.1 การหาปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุดต่อผล Output (Y)

2.10.2 การหาวิธีการตั้งค่าปัจจัยที่ควบคุมได้ (X) ที่มีผลต่อค่า Output (Y) เพื่อให้ Output (Y) ได้ค่าที่ต้องการ

2.10.3 การหาวิธีการตั้งค่าปัจจัยที่ควบคุมได้ (X) ที่มีผลต่อค่า Output (Y) เพื่อให้ Output (Y) มีค่าน้อย

2.10.4 การหาวิธีการตั้งค่า (X) ที่มีผลต่อค่า Output (Y) เพื่อให้ผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ Z มีค่าต่ำที่สุด

2.10.5 หลักการพื้นฐานที่นำไปสู่ความสำเร็จในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย 6 ประการดังนี้

2.10.5.1 กำหนดวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่ต้องการศึกษาก่อนที่จะออกแบบการทดลอง ทำให้ทราบว่าปัจจัยใดที่ไม่มีผลต่อสิ่งที่กำลังจะศึกษา ซึ่งนำไปสู่การออกแบบการทดลองที่ดี

2.10.5.2 Output ต้องสามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ ในการออกแบบการทดลองในหลายกรณีไม่ประสบความสำเร็จเหตุเพราะว่า Output ที่ได้นั้นไม่สามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ

2.10.5.3 จำนวนซ้ำของการทดลองมีความสำคัญที่ทำให้พบผลนัยสำคัญทางสถิติ ในขอบเขตของความแปรปรวนในกระบวนการทางธรรมชาติ เพื่อให้ทราบตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.10.5.4 อันดับการทดลองทำแบบสุ่มเพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การสึกหรอของเครื่องมือหรือการเปลี่ยนวัตถุดิบ เป็นต้น

2.10.5.5 การจัดทำบล็อกทำให้เราทราบแหล่งข้อมูลของความแปรปรวนโดยแบ่งอันดับการทดลองให้อยู่ในบล็อกเดียวกันที่มีความคล้ายกัน และใช้หลักการทางพีชคณิตแยกความแตกต่างออกมาจะทำให้เพิ่มความไวต่อการทดลองต่อการออกแบบการทดลอง

2.10.5.6 ลำดับขั้นตอนของการทดลองประกอบด้วย การกรองปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง เช่น ออกแบบส่วนแฟกทอเรียล (Fractional Factorial) เพื่อที่จะหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากนั้นจะออกแบบการทดลองจำนวนเต็ม (Full Factorial) หรือพื้นผิวผลตอบ (Response Surface) หรือสร้างแบบทดลองของผลตอบ และตรวจสอบซ้ำเพื่อยืนยันผล ดังนั้น ถ้าเกิดการผิดพลาดของการเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมีขนาดใหญ่มาก นั้นหมายความว่าค่าใช้จ่ายในการทดลองจะสูงขึ้น

2.11 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 งานกลึง (Lathe)

งานกลึง คือ การตัดโลหะโดยให้ชิ้นงาน หมุนรอบตัวเองโดยมีดกลึงเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการของการกลึง คือ อัตราป้อน (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ระยะเวลาป้อนลึก (Depth of Cut) มีดกลึง (Cutting Tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Workpiece) และเมื่อมีกระบวนการกลึงปกเกิดชั้นผลที่จะเกิดขี้ตามมา คือ ขนาดของชิ้นงาน (Workpiece Dimension) ความละเอียดของชิ้นงาน (Surface Roughness) เศษกลึง (Chip) การสึกหรอของมีดกลึง (Tool Wear)

2.11.2 ความเร็วตัด (Cutting Speed)

ความเร็วตัด (Cutting Speed) คือ ความเร็วที่คมมีดกลึงตัด ปาดผิวโลหะออก เมื่อโลหะหมุนครบ 1 รอบคมมีดกลึงก็จะตัดโลหะเป็นแนวตัดยาวเท่าเส้นรอบวงพอดี ความเร็วตัดมีหน่วยเป็น เมตร/นาที หลักเกณฑ์การเลือกใช้ความเร็วตัดมีดังนี้

2.11.2.1 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting Tools) ที่ทำมาจากเหล็กอบสูง (High Speed Steel) สามารถใช้ความเร็วตัดเป็น 2 เท่าของความเร็วตัดของมีดที่ทำมาจากวัสดุเหล็กคาร์บอน ส่วนวัสดุคมตัดที่มีส่วนผสมพิเศษออกไปสามารถใช้ความเร็วตัดได้กว่าเหล็กอบสูง

2.11.2.2 ชนิดของวัสดุ (Material) ที่นำมาทำการตัดเฉือน โดยทั่วๆ ไปวัสดุงานแข็งมากจะใช้ความเร็วตัดกว่าวัสดุที่อ่อนกว่า

2.11.2.3 รูปร่างของคมตัด (Form Cutting Tool) มีผลต่อการทำงานมาก เช่น มีดตัดงานขนาดจะใช้ความเร็วรอบต่ำกว่ามีดกลึงปกผิว

2.11.2.4 ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ถ้าป้อนตัดลึกจะใช้ความเร็วรอบน้อยกว่าป้อนตัดตื้น

2.11.2.5 อัตราป้อน (Rate of Feed) ในการป้อนตัดงานหยาบ เช่น อัตราป้อน 3 มม. ความเร็วที่ใช้ในการตัดจะต่ำกว่าการป้อนตัดขั้นสุดท้าย เช่น อัตราป้อนตัด 0.13 มม. จะใช้ความเร็วรอบได้สูง

2.11.2.6 การระบายความร้อน (Cutting lubricant) ความเร็วตัดของวัสดุบางชนิดอาจเพิ่มให้สูงขึ้นได้เมื่อมีการระบายความร้อนที่ถูกต้อง ซึ่งสารระบายความร้อนนี้ จะช่วยรักษาอุณหภูมิของคมตัดไม่ให้ร้อนสูงเกินไปขณะทำงาน การจับงานให้มั่นคงแข็งแรง (Rigidity of the Work) ในกรณีงานที่ถูกจับด้วยหัวจับ โผล่ออกมาสั้นๆ จะใช้ความเร็วได้สูงกว่างานที่ถูกจับโผล่ออกมายาวๆ

2.11.2.7 ความสามารถของสภาพเครื่อง เครื่องที่แข็งแรงมีกำลังสูงสามารถใช้ความเร็วตัดได้สูง อย่างไรก็ตามอย่าใช้สูงจนคมตัดไหม้

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัด และอายุการใช้งานของมีดกลึงนั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้ ขณะที่ใช้ความเร็วตัดต่ำๆ การสึกหรอของมีดจะเป็นไปอย่างช้าๆ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจากการเสียดสี ระหว่างมีดกลึงกับชิ้นงานจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าใช้ความเร็วตัดสูงขึ้นความร้อนระหว่างผิวมีดกลึงกับชิ้นงาน และเศษตัดจะเกิดมากขึ้น ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอที่บริเวณผิวของมีดกลึงกับชิ้นงานที่เสียดสีกัน ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงสั้น โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัด และอายุการใช้งานของมีดกลึงได้

2.11.3 อัตราป้อน (Feed Rate)

อัตราป้อน หมายถึง ระยะทางการเดินป้อนของมีดไปตามความยาวของชิ้นงาน ในแต่ละรอบของการหมุนของเพลลาของเครื่อง หรือการป้อนตัด อาจพิจารณาจากความหนาของเศษตัด (Chips) การป้อนตัด 0.5 มม. หมายถึง มีดตัดเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 0.5 มม. ตามความยาวของชิ้นงานขณะที่ชิ้นงานหมุน 1 รอบ

การกลึงหยาบ ใช้อัตราป้อนที่สูง มีดตัดชิ้นงานได้ปริมาณเศษมากผิวงานออกมาไม่เรียบ และการกลึงละเอียด อัตราป้อนที่น้อย ทำให้ผิวงานเรียบ ส่วนมากจะใช้กลึงในขั้นสุดท้ายจะได้ผิวเรียบ และขนาดถูกต้องในทางปฏิบัติที่ดีที่สุด

การเลือกใช้ความลึกในการตัดปานกลางขณะทำการป้อนตัดหนักๆ และใช้ความเร็วตัดให้ถูกต้อง เมื่อกลึงงานหยาบ ถ้าต้องการให้กลึงงานผิวเรียบในขั้นสุดท้ายให้เพิ่มความเร็วตัดมากขึ้น การป้อนกินลึกน้อยลง พร้อมกับให้อัตราการป้อนตัดละเอียดให้สัมพันธ์กัน ในกรณีที่ใช้ความลึกในการตัดมาก และอัตราการป้อนตัดน้อยๆ จะดีกว่าการใช้ความลึกในการตัดเท่ากับอัตราป้อนตัดถึงแม้ว่าอัตราการไหลของเศษโลหะจะเท่ากัน

อัตราป้อนตัด และความลึกในการตัดมีผลต่อแรงตัดเฉือน และอุณหภูมิในการทำงาน โดยจะเกิดแรงกระทำกับมีดกลึง และเกิดอุณหภูมิในการตัดเฉือนสูงถ้าใช้อัตราป้อนตัด และความลึกในการตัดสูงๆ นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีดกลึงเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้าต้องการให้อายุการใช้งานของมีดกลึงสูงขึ้น ก็จะต้องเลือกใช้ความเร็วตัดต่ำๆ

2.11.4 ระยะเวลาป้อนลึก (Depth of Cut)

ความลึกในการตัดทำให้เศษโลหะไหลออกมา ทุกครั้งที่ทำการกลึงหยาบในการตั้งความลึกในการตัด และอัตราการป้อนตัด จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับได้ของมีดตัด และเครื่องที่จะทนได้หลักเกณฑ์การพิจารณาเลือกใช้ความลึกในการตัดสำหรับงานปกติทั่วไปควรพิจารณาขนาดความโตของชิ้นงานก่อนทำการตัดเนื่องดังนี้

2.11.4.1 ถ้าคำนวณความเร็วรอบอยู่ในช่วงกลางของค่าสองค่า ให้เลือกใช้ความเร็วรอบในขั้นต่ำ ถ้าหากสภาพของเครื่อง มีดกลึง และชิ้นงานเหมาะสม อาจจะใช้ความเร็วรอบในขั้นสูงได้ แต่ถ้าความเร็วรอบที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าในช่วงสูง ให้เลือกความเร็วรอบในช่วงสูงได้

2.11.4.2 ความลึกในการกลึงหยาบควรป้อนลึก และหยาบมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เหลือไว้ประมาณ 0.76 มม. สำหรับขนาดความโตของชิ้นงาน ก่อนจะกลึงผิวสุดท้าย

2.11.4.3 ในการกลึงเหล็กหล่อ โลหะอื่นๆ ซึ่งผิวรอบๆ ชิ้นงานจะเป็นสะเก็ดความลึกในการกลึงครั้งแรก การป้อนมีดกินลึกจะต้องให้คมตัดของมีดกลึงตัดให้ลึกพอ ที่จะให้ส่วนผิวเปลือกแข็งหลุดออกไปให้หมด เพราะผิวเปลือกแข็งนี้จะทำให้มีดสึกหรือเร็ว

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิมล บุญรอด และธเนศ รัตนวิไล อธิพลของปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

จากผลการศึกษาปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระผิวของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็งเกรด 7075 โดยใช้เครื่องกลึงควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และใช้มีดกลึงคาร์ไบด์ยี่ห้อ Plansee Tizit แบบ DCGT 07024FN - 27 เกรด H10T มีส่วนผสมของ Co 6.0 เปอร์เซนต์ เป็นวัสดุคมตัดปัจจัยที่ได้รับความนิยมคือการควบคุมคือ ความเร็วตัดในช่วง 130 - 220 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.02 - 0.1 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัด 0.45 - 0.85 มิลลิเมตรผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวมากที่สุด คือ อัตราป้อน โดยเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำลงความเร็วตัด และความลึกเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวมีแนวโน้มลดลง

กุลยุทธ์ บุญแข่ง สมศักดิ์ แก้วพลอย ศุภชัย ชัยณรงค์ และชัยยุทธ มิงาม ผลของความขรุขระจากการกลึงปอกผิวเหล็ก AISI 1045 ด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ โปรแกรมวิศวกรรม และการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

จากผลการทดลองการกลึงปอกเหล็กกล้า AISI 1045 ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และระยะป้อนลึกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความขรุขระ เมื่อความเร็วรอบ และระยะป้อนลึกเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความขรุขระมีค่าลดลง ส่วนที่อัตราป้อนมีความแตกต่างกันคือ ยิ่งเพิ่มอัตราป้อนจะทำให้ค่าความขรุขระเพิ่มขึ้นตาม สมการจากการทดลอง คือ $RA = 2.67 - 0.00122 \text{ Speed} + 5.20 \text{ Feed} - 0.556 \text{ Deep of Cut}$

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ทฤษฎีเครื่องจักรกล CNC

3.1.2 ทฤษฎีเหล็กกล้าผสม AISI 1010 AISI 1045 และ AISI 4140

3.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้เครื่องวัดความเรียบผิว

3.1.4 ทฤษฎีอัตราความเร็วรอบ อัตราป้อน ระยะป้อนลึก

3.2 การเตรียมชิ้นงาน

3.2.1 ตัดเหล็กกล้าผสม AISI 1010 AISI 1045 และ AISI 4140 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มม.

3.2.1.1 AISI 1010 จำนวนชิ้นงาน 27 ชิ้น

3.2.1.2 AISI 1045 จำนวนชิ้นงาน 27 ชิ้น

3.2.1.3 AISI 4140 จำนวนชิ้นงาน 27 ชิ้น

3.3 การออกแบบการทดลอง

โดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาในขั้นตอนที่ 3.1 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องแล้วจึงออกแบบการทดลอง โดยตัวแปรที่จะศึกษาของเครื่องกลึง CNC คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน ระยะป้อนลึก ได้ศึกษา และกำหนดค่าเพื่อจะศึกษาโดยอ้างอิงข้อมูลจากหนังสือตารางคู่มืองานโลหะ รศ.บรรเลง ศรีนิล และรศ.สมนึก วัฒนศรีกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งได้ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวแปรและระดับตัวแปรที่จะศึกษา

ตัวแปรในการกลึง	ระดับของตัวแปร		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	2131	2444	2758
อัตราป้อน (มม./รอบ)	0.05	0.1	0.15
ระยะป้อนลึก (มม.)	2.13	2.44	2.78

3.4 เตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลอง

ทำการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลองในการกลึงตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้เหล็ก AISI 1010 จำนวนชิ้นงาน 27 ชิ้น เหล็ก AISI 1045 จำนวนชิ้นงาน 27 ชิ้น และเหล็ก AISI 4140 จำนวนชิ้นงาน 27 ชิ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มม.

3.5 ทำการทดลอง

ทำการกลึงชิ้นงานตามแบบที่ได้เตรียมไว้ด้วยเครื่องกลึง CNC

3.6 การเก็บข้อมูลและบันทึกผลการทดลอง

กำหนดการบันทึกผลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้การบันทึกข้อมูลเชิงสถิติ ของเหล็กทั้งสามชนิด

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกค่าความเรียบผิวชิ้นงาน

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	อัตราป้อน (มม./รอบ)	ระยะป้อนลึก (มม.)	Ra ครั้งที่1 (ไมโครเมตร)	Ra ครั้งที่2 (ไมโครเมตร)	Ra ครั้งที่3 (ไมโครเมตร)	Ra เฉลี่ย (ไมโครเมตร)
2131	0.05	2.13				
	0.1	2.44				
	0.15	2.78				
2444	0.05	2.13				
	0.1	2.44				
	0.15	2.78				
2758	0.05	2.13				
	0.1	2.44				
	0.15	2.78				

3.7 วิเคราะห์และสรุปผล

ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาผลกระทบของวัตุดิบโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบของวัตุดิบ และตัวแปรในการกลึงทั้งสามที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิวชิ้นงานในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

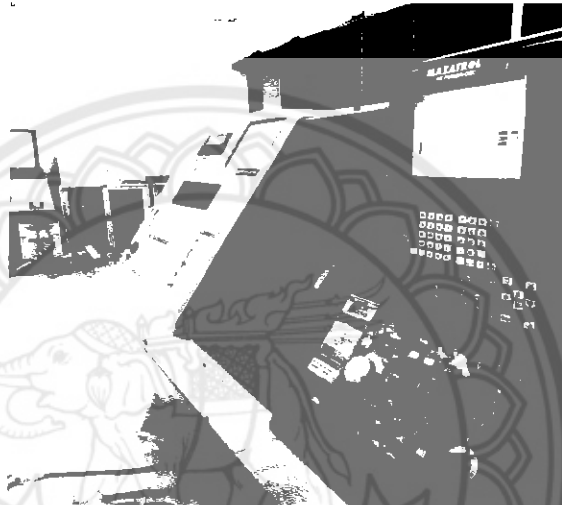


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลองแสดงค่าความเรียบผิวของเหล็ก

4.1.1 ชิ้นงานผ่านการกลึงปอก

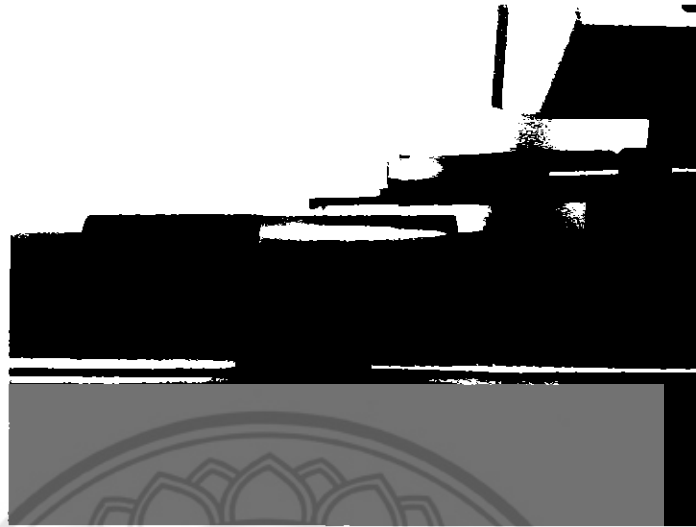


รูปที่ 4.1 เครื่องกลึง CNC กำลังกลึงปอกชิ้นงาน

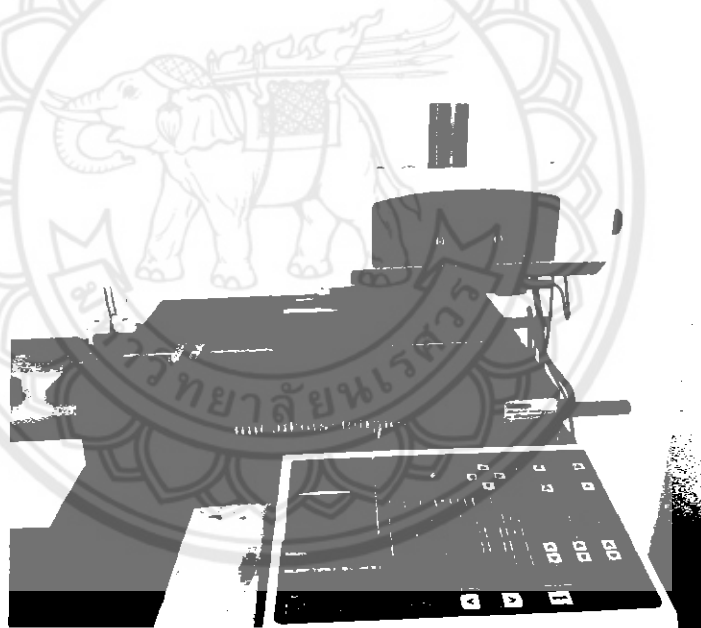


รูปที่ 4.2 ชิ้นงานหลังจากการกลึงปอก

4.1.2 ชิ้นงานผ่านการวัดความเรียบผิว



รูปที่ 4.3 ชิ้นงานที่ผ่านการวัดค่าความเรียบผิว



รูปที่ 4.4 ชิ้นงานที่กำลังวัดค่าความเรียบผิว



รูปที่ 4.5 การอ่านค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน

4.2 ตารางบันทึกค่าความเรียบผิว

ผลการทดลองค่าความเรียบผิวของเหล็กที่ได้จากการกลึงโดยใช้เครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยการนำเหล็ก AISI 1045 AISI 1010 และ AISI 4140 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตรจำนวน 27 ชิ้น ได้ความเรียบผิวตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 1045

ความเร็ว รอบ (รอบ/นาที)	อัตราป้อน (มม./รอบ)	ระยะ ป้อนลึก (มม.)	Ra ครั้งที่1 (ไมโครเมตร)	Ra ครั้งที่2 (ไมโครเมตร)	Ra ครั้งที่3 (ไมโครเมตร)	Ra เฉลี่ย (ไมโครเมตร)
2131	0.05	2.13	1.11	1.13	1.09	1.110
	0.1	2.44	1.18	1.15	1.19	1.173
	0.15	2.78	1.22	1.24	1.27	1.243
2444	0.05	2.13	1.10	1.11	1.08	1.097
	0.1	2.44	1.17	1.13	1.14	1.147
	0.15	2.78	1.21	1.24	1.20	1.217
2758	0.05	2.13	1.08	1.04	1.06	1.060
	0.1	2.44	1.13	1.10	1.11	1.113
	0.15	2.78	1.17	1.22	1.20	1.197

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 4140

ความเร็ว รอบ (รอบ/นาที)	อัตราป้อน (มม./รอบ)	ระยะป้อน ลึก(มม.)	Ra ครั้งที่1 (ไมโครเมตร)	Ra ครั้งที่2 (ไมโครเมตร)	Ra ครั้งที่3 (ไมโครเมตร)	Ra เฉลี่ย (ไมโครเมตร)
2131	0.05	2.13	1.33	1.30	1.29	1.307
	0.1	2.44	1.34	1.36	1.39	1.363
	0.15	2.78	1.49	1.47	1.43	1.463
2444	0.05	2.13	1.29	1.27	1.30	1.287
	0.1	2.44	1.36	1.34	1.31	1.337
	0.15	2.78	1.41	1.43	1.45	1.430
2758	0.05	2.13	1.26	1.24	1.28	1.260
	0.1	2.44	1.35	1.32	1.31	1.327
	0.15	2.78	1.40	1.39	1.37	1.387

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 1010

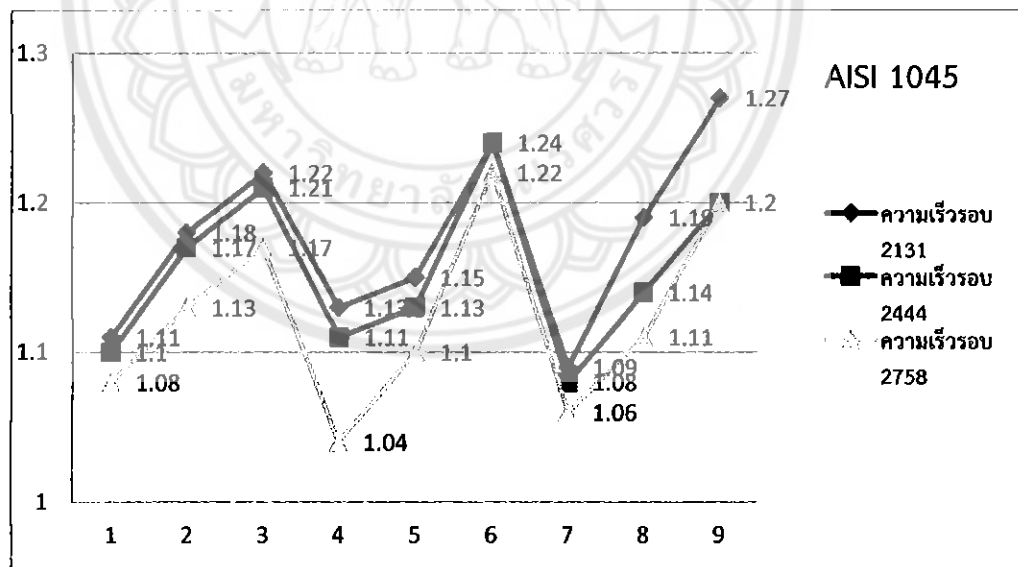
ความเร็ว รอบ (รอบ/นาที)	อัตราป้อน (มม./รอบ)	ระยะป้อน ลึก(มม.)	Ra ครั้งที่1 (ไมโครเมตร)	Ra ครั้งที่2 (ไมโครเมตร)	Ra ครั้งที่3 (ไมโครเมตร)	Ra เฉลี่ย (ไมโครเมตร)
2131	0.05	2.13	0.80	0.77	0.79	0.787
	0.1	2.44	0.81	0.86	0.84	0.837
	0.15	2.78	0.89	0.90	0.87	0.887
2444	0.05	2.13	0.77	0.74	0.72	0.743
	0.1	2.44	0.79	0.81	0.80	0.810
	0.15	2.78	0.85	0.84	0.87	0.853
2758	0.05	2.13	0.68	0.70	0.65	0.677
	0.1	2.44	0.77	0.75	0.72	0.747
	0.15	2.78	0.80	0.81	0.78	0.797

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง

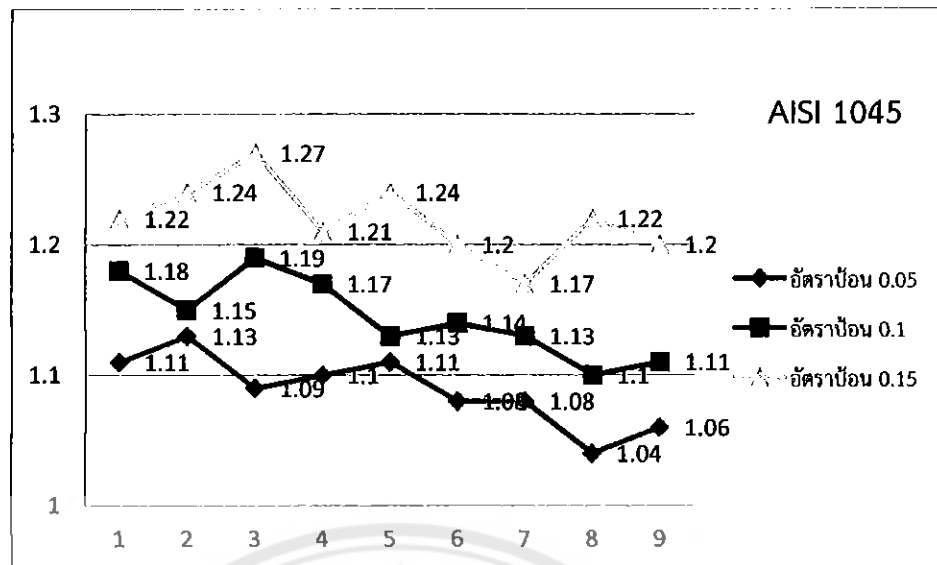
การวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่เก็บได้นั้นมาวิเคราะห์ตามปัจจัยที่ตั้งไว้กับเหล็กแต่ละชนิดเพื่อทดลองความเรียบของผิวของเหล็กแต่ละชนิด ได้แก่ AISI 1045, AISI 4140 และ AISI 1010 โดยการกลึงปอกมีการปรับตัวแปรเพื่อความเหมาะสมในการทดลองตัวแปรที่ใช้ คือ อัตราป้อน 0.05, 0.1 และ 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบ 2131, 2444 และ 2758 รอบต่อนาที และระยะป้อนลึก 2.13, 2.44 และ 2.78 มิลลิเมตร ซึ่งผลการทดลองแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ผลจากการทดลองของเหล็ก AISI 1045

จากการกลึงปอกผิวเหล็ก AISI 1045 พบว่าความเร็วรอบส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานโดยตรงที่ความเร็วรอบ 2758 รอบต่อนาที ให้ค่าความเรียบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.060 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบสูงสุด แต่ที่รอบความเร็ว 2131 รอบต่อนาที ให้ค่าความเรียบผิวเฉลี่ย 1.243 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบต่ำสุด จากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบต่างกันทำให้ผิวของชิ้นงานหลังจากการกลึงปอกผิวมีค่าความเรียบเฉลี่ยต่างกัน โดยที่ความเร็วรอบมากผิวของชิ้นงานหลังจากการกลึงปอกมีค่าความเรียบเฉลี่ยสูงกว่าที่ความเร็วรอบน้อย เนื่องจากความเร็วรอบสูงทำให้อัตราในการตัดเฉือนต่อรอบสูงส่งผลให้ผิวเรียบ แต่ความเร็วรอบช้าทำให้ปลายมีดเกิดการกระแทกจากการตัดเฉือนจนเกิดความเสียหาย และส่งผลให้ผิวของชิ้นงานไม่เรียบ

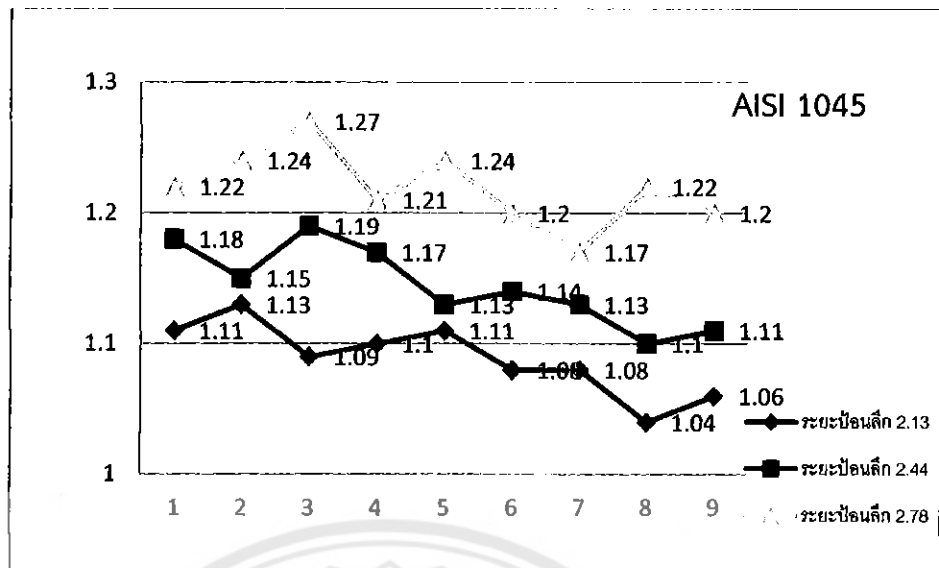


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเรียบผิวเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ



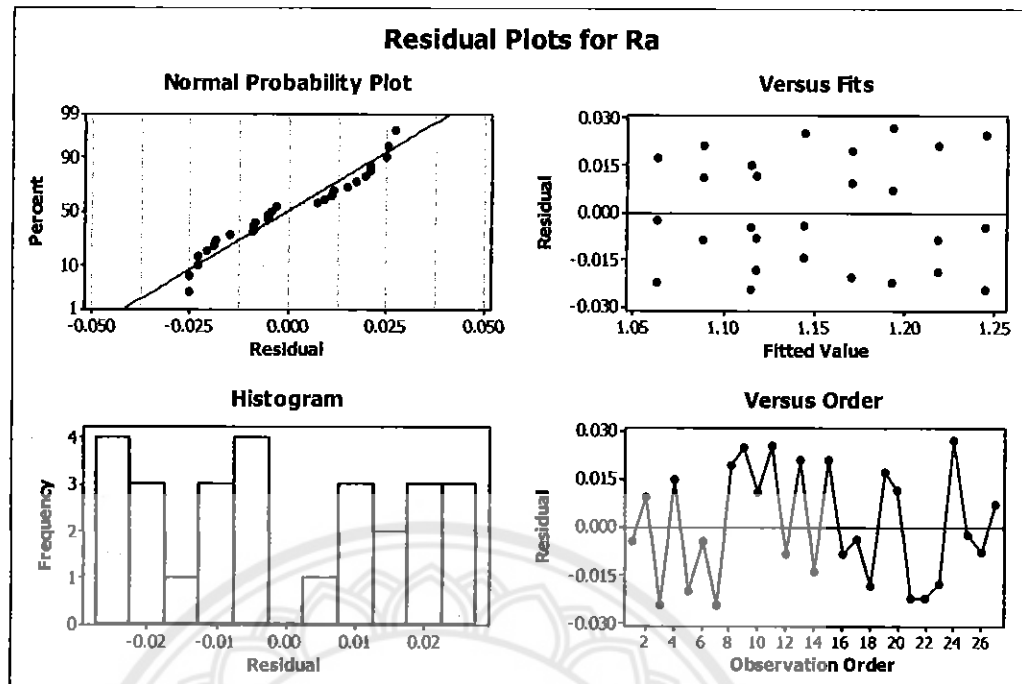
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเรียบเปรียบเทียบกับอัตราป้อน

จากรูปที่ 4.7 พบว่าที่อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าความเรียบผิวสูงกว่าที่อัตราป้อนอื่นๆ โดยที่อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 1.089 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่สูงสุด แต่ที่อัตราป้อน 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 1.219 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่ต่ำสุด เนื่องจากอัตราป้อนที่เร็วเกินไปทำให้อัตราในการตัดเฉือนต่อรอบสูงจนเกินความร้อนจากการเสียดทานระหว่างผิวชิ้นงาน และปลายมีดกลึง นำไปสู่การเกิดการเสียหายของมีดในระหว่างการกลึงได้ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความเรียบผิวชิ้นงานหลังจากการกลึงปอก ดังนั้น อัตราป้อนที่ช้าทำให้ผิวชิ้นงานหลังจากการกลึงปอกมีความเรียบกว่าอัตราป้อนที่เร็ว



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความเรียบเปรียบเทียบกับระยะป้อนลึก

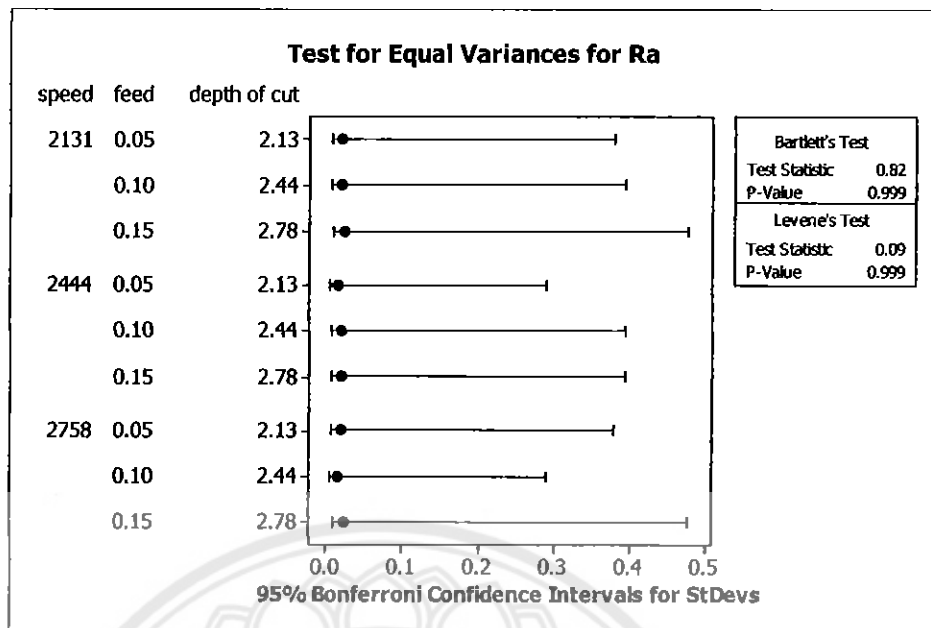
จากรูปที่ 4.8 พบว่าที่ระยะป้อนลึก 2.13 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบผิวสูงกว่าระยะป้อนลึกอื่นๆ โดยที่ระยะป้อนลึก 2.13 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 1.089 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่สูงสุด แต่ที่ระยะป้อนลึก 2.78 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 1.219 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่ต่ำสุดโดยระยะป้อนลึกส่งผลต่อความร้อน และอัตราเฉือนของเนื้อโลหะที่เกิดขึ้นที่ปลายมีดในขณะกลึง ปอก เพราะระยะป้อนลึกสูงทำให้เกิดความร้อนจากการตัดเฉือนที่สูง ดังนั้น ควรเลือกใช้ระยะป้อนลึกที่ต่ำ เพื่อให้ได้ค่าความเรียบผิวที่ดี



รูปที่ 4.9 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลความเรียบผิว

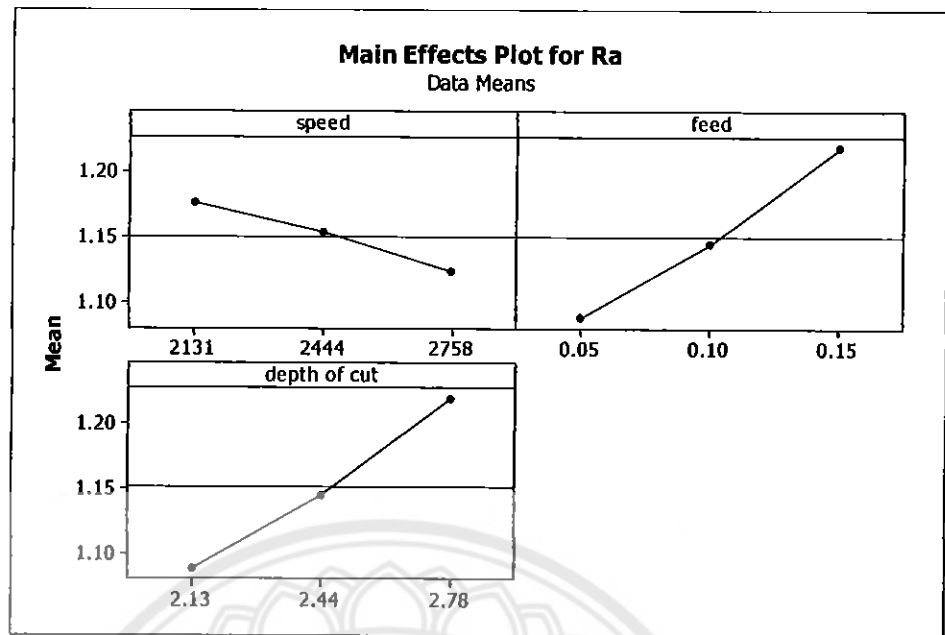
ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลพบว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบสุ่มมีการกระจายตัวแบบปกติ ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิวจากปัจจัยต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.9 เนื่องจากข้อมูลที่ได้นำมาพิจารณา มีจำนวนน้อยกว่า 30 ข้อมูล จึงพิจารณาจากรูปกราฟ Normal Probability Plot of the Residuals

จากการทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability) เพื่อพิจารณาค่า P-Value เปรียบเทียบกับค่า Alpha ที่ 0.05 ผลการวิเคราะห์จากกราฟการกระจายตัวแบบปกติของค่าความเรียบ ได้ค่า P-Value ซึ่งอยู่ในเส้นควบคุมของค่าความแปรปรวนที่ยอมรับได้



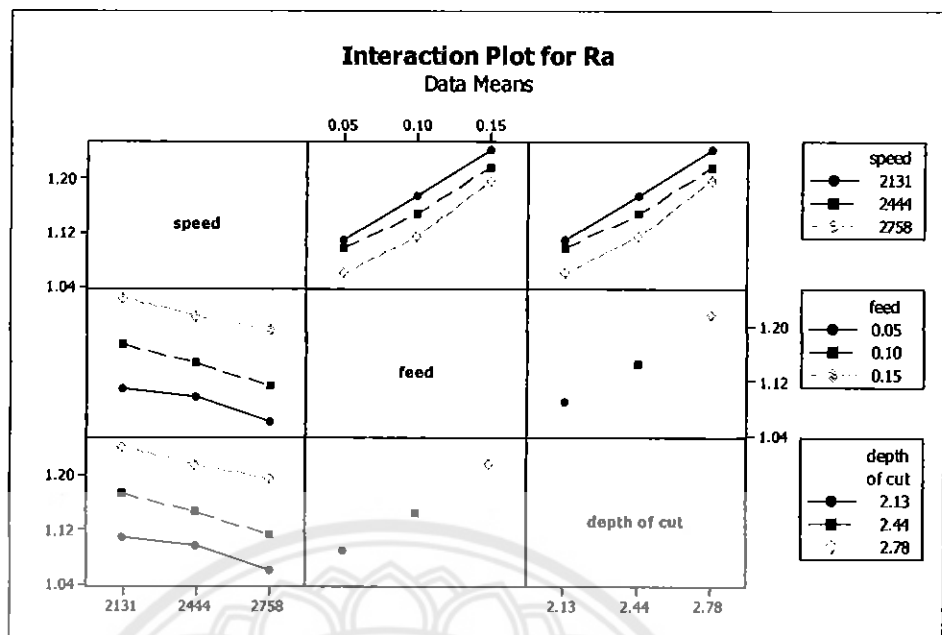
รูปที่ 4.10 การตรวจสอบการเท่ากันของความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.10 แสดงช่วงความเชื่อมั่นความเบี่ยงเบนมาตรฐานความราบเรียบจากปัจจัยต่างๆ เหลื่อมกันแสดงว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดลองทั้ง 27 ครั้งไม่มีความแตกต่างกันการทดลองที่ความเร็วรอบ 2131 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อนลึก 2.78 มิลลิเมตร และการทดลองที่ความเร็วรอบ 2758 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อนลึก 2.78 มิลลิเมตร มีค่าความแปรปรวนสูงกว่าการทดลองอื่นๆ ที่ความเร็วรอบ 2444 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อนลึก 2.13 มิลลิเมตร และที่ความเร็วรอบ 2758 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อนลึก 2.44 มิลลิเมตร มีค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก

ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความเรียบผิว โดยจากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเรียบผิวเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราป้อน และระยะป้อนลึกมีความแตกต่าง คือ ยิ่งเพิ่มอัตราป้อน และระยะป้อนลึกจะทำให้ค่าความเรียบผิวน้อยลง



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม

จากรูปที่ 4.12 กราฟแสดง Interaction มีอิทธิพลต่อการทดลองของปัจจัยของความเร็วรอบ เมื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 2131 ไปถึง 2758 รอบต่อนาที พบว่าค่าความเรียบผิวมีแนวโน้มที่เรียบขึ้นส่วน อัตราป้อนจาก 0.05 ไปถึง 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบพบว่าค่าความเรียบผิวมีแนวโน้มที่เรียบน้อยลง และ ระยะป้อนลึกจาก 2.13 ไปถึง 2.78 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเรียบผิวมีแนวโน้มที่น้อยลง

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests			
	Model	Reduced	
Source	DF	DF	Seq SS
Speed	2	2	0.012363
Feed	2	2	0.076585
Depth of cut	2	0+	0.000000
Error	20	22	0.008037
Total	26	26	0.096985
S = 0.0191133 R-Sq = 91.71% R-Sq (adj) = 90.21%			

รูปที่ 4.13 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าความราบเรียบตามปัจจัยต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.13 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับร้อยละ 91.71 หมายความว่าความผันแปรต่างๆ ของการทดลองที่สามารถควบคุมได้ เช่น เครื่องมือ อุปกรณ์หรือปัจจัยต่างๆ ที่กำหนดให้คงที่ในการทดลอง มีค่าเท่ากับร้อยละ 91.71 ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 8.29 เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น การออกแบบการทดลองครั้งนี้ถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับ

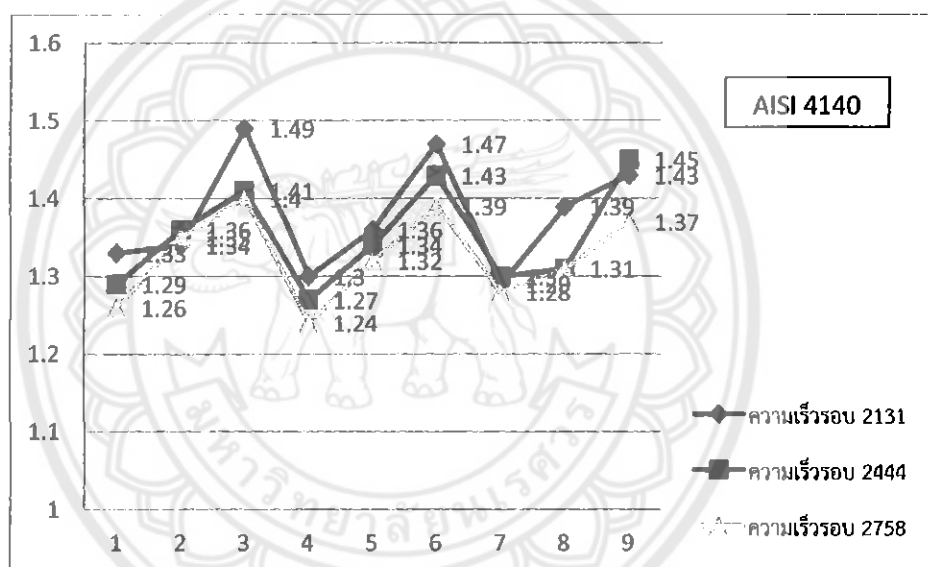
จากการวิเคราะห์การถดถอยของความเรียบผิวกับความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ความเร็วรอบมีผลต่อความเรียบผิวมากที่สุด โดยที่ความเร็วรอบที่ 2758 ทำให้ค่าความเรียบผิวดีที่สุด โดยสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามได้ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย

$$Ra = -0.46 - 0.000083 \text{ speed} - 4.93 \text{ feed} + 1.89 \text{ depth of cut}$$

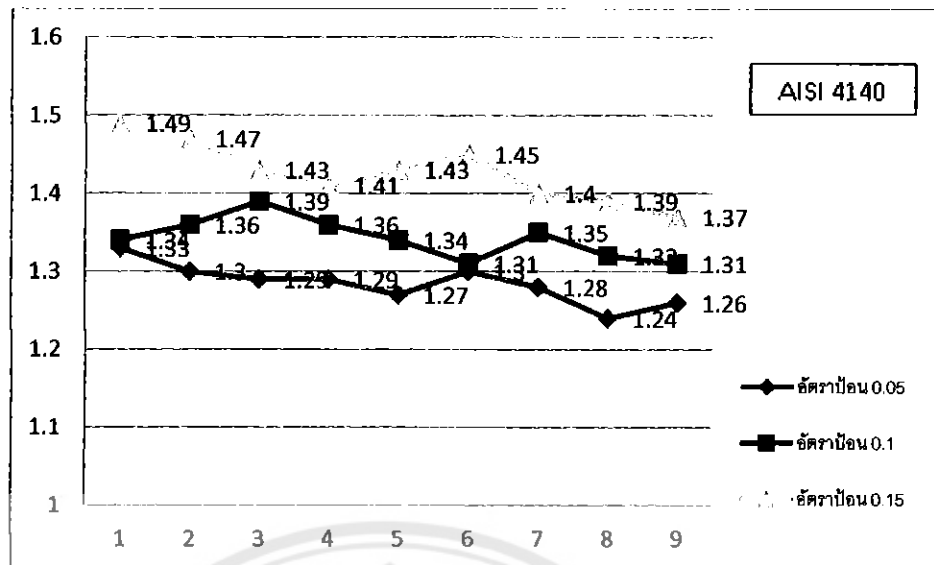
4.2.2 การวิเคราะห์ผลจากการทดลองของเหล็ก AISI 4140

จากการกรึงปกผิวเหล็ก AISI 4140 พบว่าความเร็วรอบส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานโดยตรงที่ความเร็วรอบ 2758 รอบต่อนาที ให้ค่าความเรียบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.260 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเร็วสูงสุด แต่ที่รอบความเร็ว 2131 รอบต่อนาที ให้ค่าความเรียบผิวเฉลี่ย 1.463 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบต่ำสุด

จากการทดลองจะเห็นได้ชัดว่าที่ความเร็วรอบต่างกันทำให้ผิวของชิ้นงานหลังจากการกรึงปกผิวมีค่าความเรียบเฉลี่ยต่างกัน โดยที่ความเร็วรอบมากผิวของชิ้นงานหลังจากการกรึงปกมีค่าความเรียบเฉลี่ยสูงกว่าที่ความเร็วรอบน้อย เนื่องจากความเร็วรอบสูงทำให้อัตราในการตัดเฉือนต่อรอบสูงส่งผลให้ผิวเรียบ แต่ความเร็วรอบช้าทำให้ปลายมีดเกิดการกระแทกจากการตัดเฉือนจนเกิดความเสียหาย และส่งผลให้ผิวของชิ้นงานไม่เรียบ

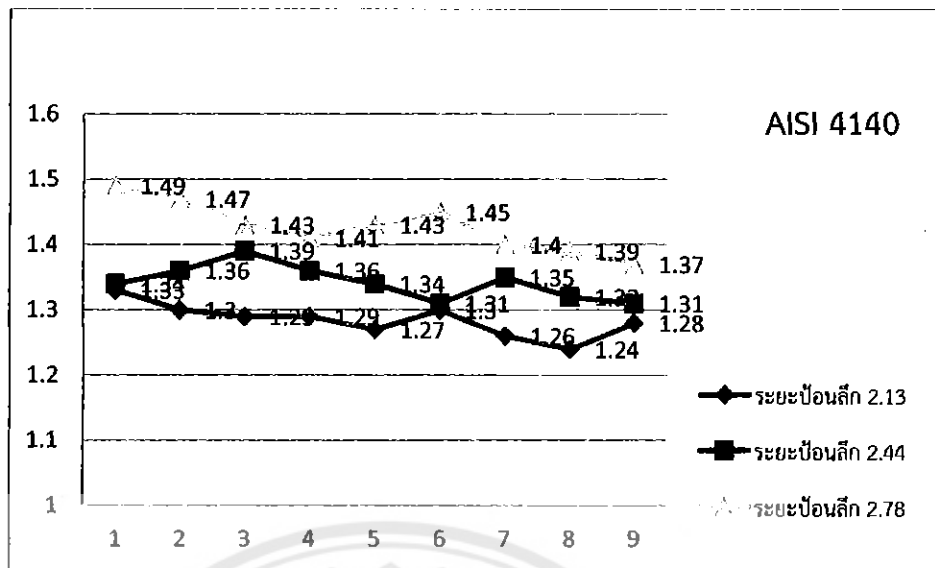


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความเรียบเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ



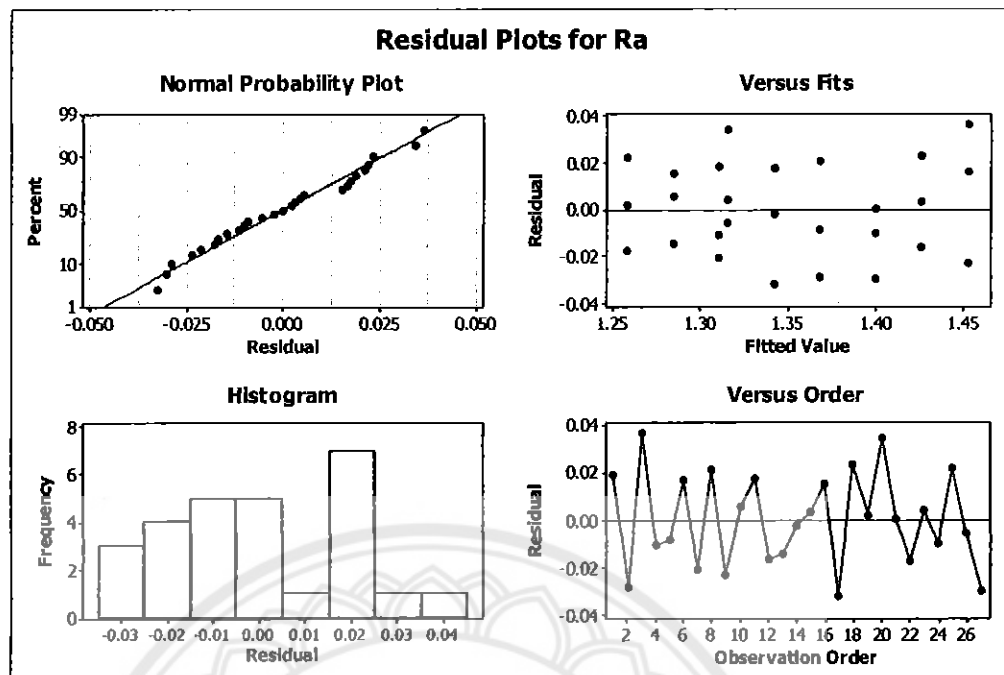
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความเรียบเปรียบเทียบที่อัตราป้อน

จากรูปที่ 4.15 พบว่าที่อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าความเรียบผิวสูงกว่าที่อัตราป้อนอื่นๆ โดยที่อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 1.284 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่สูงสุด แต่ที่อัตราป้อน 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 1.427 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่ต่ำสุดเนื่องจากอัตราป้อนที่เร็วเกินไปทำให้อัตราในการตัดเฉือนต่อรอบสูงจนเกินความร้อนจากการเสียดทานระหว่างผิวชิ้นงาน และปลายมีดกลึง นำไปสู่การเกิดการเสียหายของมีดในระหว่างการกลึงได้ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความเรียบผิวชิ้นงานหลังจากการกลึงปอก ดังนั้น อัตราป้อนที่ช้าทำให้ผิวชิ้นงานหลังจากการกลึงปอกมีความเรียบกว่าอัตราป้อนที่เร็ว



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความเรียบแปรียบเทียบกับระยะป้อนลึก

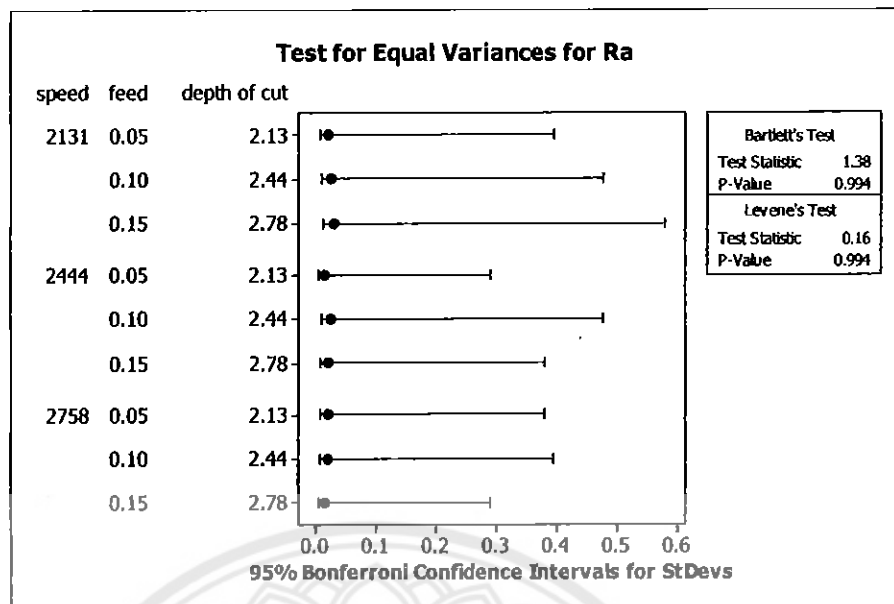
จากรูปที่ 4.16 พบว่าที่ระยะป้อนลึก 2.13 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบผิวสูงกว่าระยะป้อนลึกอื่นๆ โดยที่ระยะป้อนลึก 2.13 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 1.284 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่สูงสุด แต่ที่ระยะป้อนลึก 2.78 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 1.427 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่ต่ำสุดโดยระยะป้อนลึกส่งผลต่อความร้อน และอัตราเดือนของเนื้อโลหะที่เกิดขึ้นที่ปลายมีดในขณะกลึงปอก เพราะระยะป้อนลึกสูงทำให้เกิดความร้อนจากการตัดเฉือนที่สูง ดังนั้น ควรเลือกใช้ระยะป้อนลึกที่ต่ำเพื่อให้ได้ค่าความเรียบผิวที่ดี



รูปที่ 4.17 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลความเรียบผิว

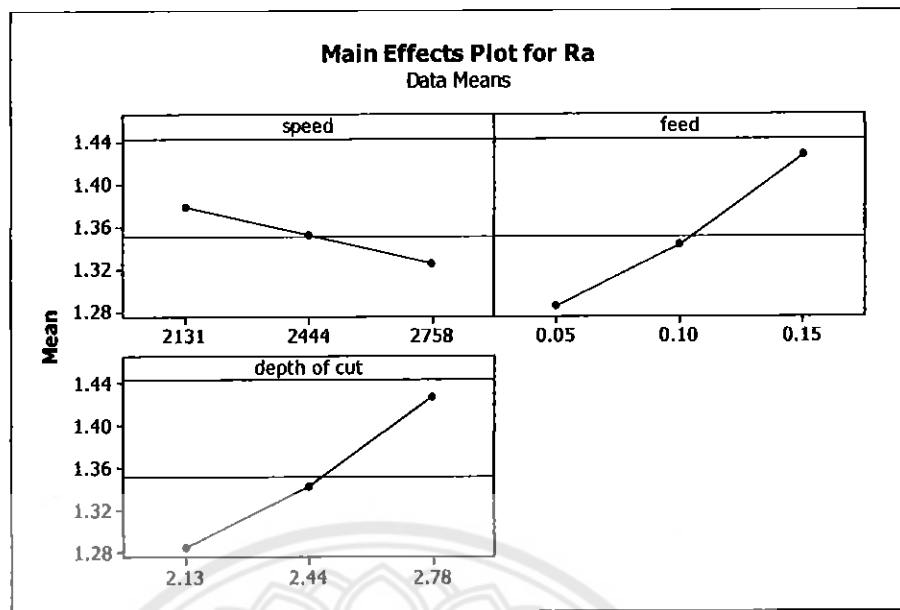
ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลพบว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม มีการกระจายตัวแบบปกติ ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิวจากปัจจัยต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.17 เนื่องจากข้อมูลที่ได้นำมาพิจารณา มีจำนวนน้อยกว่า 30 ข้อมูล จึงพิจารณาจากรูปกราฟ Normal Probability Plot of the Residuals

จากการทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability) เพื่อพิจารณาค่า P-Value เปรียบเทียบกับค่า Alpha ที่ 0.05 ผลการวิเคราะห์จากรูปกราฟการกระจายตัวแบบปกติของค่าความเรียบได้ค่า P-Value ซึ่งอยู่ในเส้นควบคุมของค่าความแปรปรวนที่ยอมรับได้



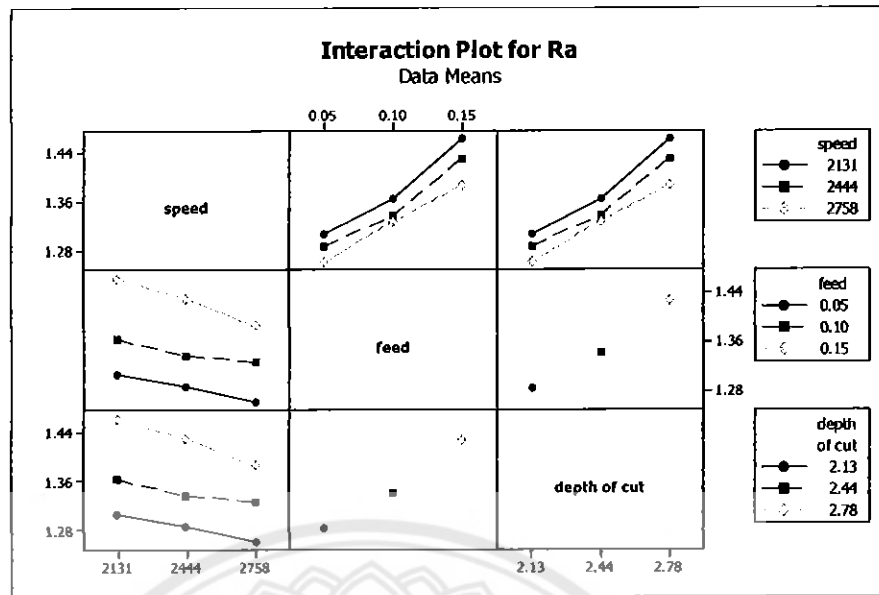
รูปที่ 4.18 การตรวจสอบการเท่ากันของความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.18 แสดงช่วงความเชื่อมั่น ความเบี่ยงเบนมาตรฐานความราบเรียบจากปัจจัยต่างๆ เหลื่อมกันแสดงว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดลองทั้ง 27 ครั้งไม่มีความแตกต่างกันการทดลองที่ความเร็วรอบ 2131 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อนลึก 2.78 มิลลิเมตรมีค่าความแปรปรวนสูงกว่าการทดลองอื่นๆ ที่ความเร็วรอบ 2444 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อนลึก 2.13 มิลลิเมตร มีค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก

ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความเรียบผิว โดยจากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเรียบผิวเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราป้อน และระยะป้อนลึกมีความแตกต่าง คือ ยิ่งเพิ่มอัตราป้อน และระยะป้อนจะทำให้ค่าความเรียบผิวน้อยลง



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม

จากรูปที่ 4.20 กราฟแสดง Interaction มีอิทธิพลต่อการทดลองของปัจจัยของความเร็รรอบ เมื่อเพิ่มความเร็รรอบจาก 2131 ไปถึง 2758 รอบต่อนาที พบว่าค่าความเรียบผิวมีแนวโน้มที่เรียบขึ้นส่วน อัตราป้อนจาก 0.05 ไปถึง 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบพบว่าค่าความเรียบผิวมีแนวโน้มที่เรียบน้อยลง และ ระยะป้อนลึกจาก 2.13 ไปถึง 2.78 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเรียบผิวมีแนวโน้มที่น้อยลง

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests			
	Model	Reduced	
Source	DF	DF	Seq SS
Speed	2	2	0.012800
Feed	2	2	0.092089
Depth of cut	2	0+	0.000000
Error	20	22	0.010178
Total	26	26	0.115067
S = 0.0215087 R-Sq = 91.15% R-Sq (adj) = 89.55%			

รูปที่ 4.21 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน

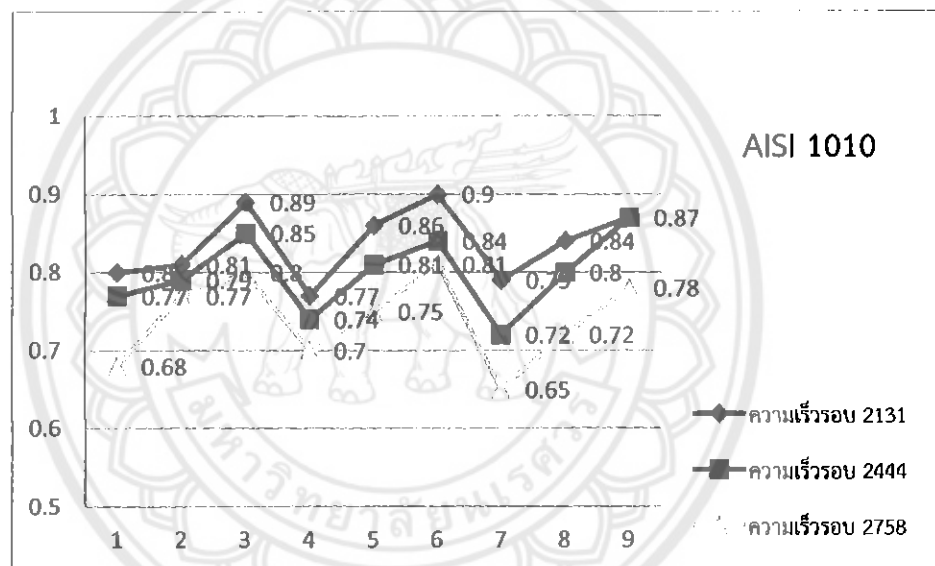
จากการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าความราบเรียบตามปัจจัยต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.21 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับร้อยละ 91.15 หมายความว่าความผันแปรต่างๆ ของการทดลองที่สามารถควบคุมได้ เช่น เครื่องมือ อุปกรณ์หรือปัจจัยต่างๆ ที่กำหนดให้คงที่ในการทดลอง มีค่าเท่ากับร้อยละ 91.15 ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 8.85 เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น การออกแบบการทดลองครั้งนี้ถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

จากการวิเคราะห์การถดถอยของความเรียบผิวกับความเร็วยรอบ อัตราป้อน และระยะป้อน ลึก ความเร็วยรอบมีผลต่อความเรียบผิวมากที่สุด โดยที่ความเร็วยรอบที่ 2758 ทำให้ค่าความเรียบผิวดีที่สุด โดยสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามได้ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย $Ra = -0.97 - 0.000085 \text{ speed} - 7.38 \text{ feed} + 2.67 \text{ depth of cut}$

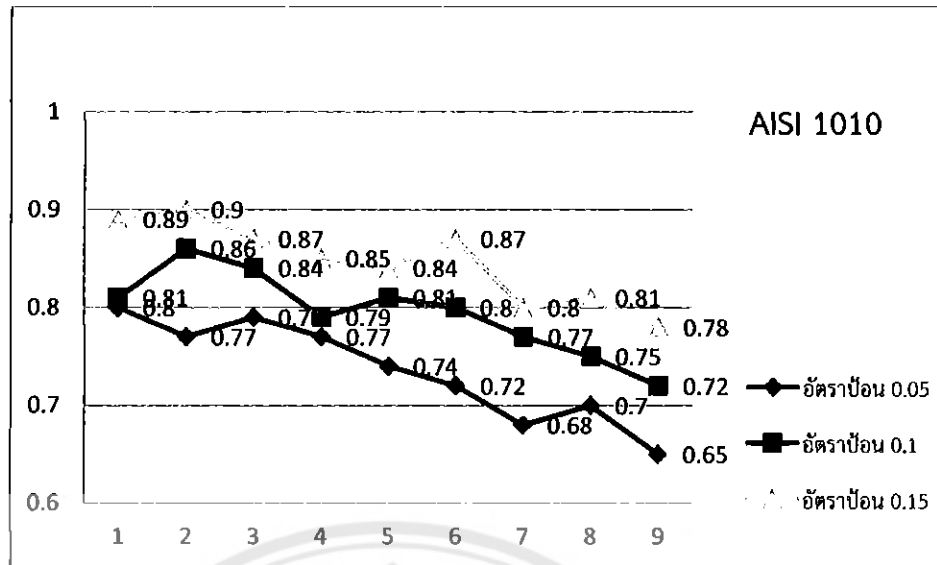
4.2.3 การวิเคราะห์ผลจากการทดลองของเหล็ก AISI 1010

จากการกลึงปีกของเหล็ก AISI 1010 พบว่าความเร็วรอบส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานโดยตรงที่ความเร็วรอบ 2758 รอบต่อนาที ให้ค่าความเรียบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 0.677 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบสูงสุด แต่ที่รอบความเร็ว 2131 รอบต่อนาที ให้ค่าความเรียบผิวเฉลี่ย 0.887 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบต่ำสุด

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบต่างกันทำให้ผิวของชิ้นงานหลังจากการกลึงปีกผิวมีค่าความเรียบเฉลี่ยต่างกัน โดยที่ความเร็วรอบมากผิวของชิ้นงานหลังจากการกลึงปีกมีค่าความเรียบเฉลี่ยสูงกว่าที่ความเร็วรอบน้อย เนื่องจากความเร็วรอบสูงทำให้อัตราในการตัดเฉือนต่อรอบสูงส่งผลให้ผิวเรียบ แต่ความเร็วรอบช้าทำให้ปลายมีดเกิดการกระแทกจากการตัดเฉือนจนเกิดความเสียหาย และส่งผลให้ผิวของชิ้นงานไม่เรียบ

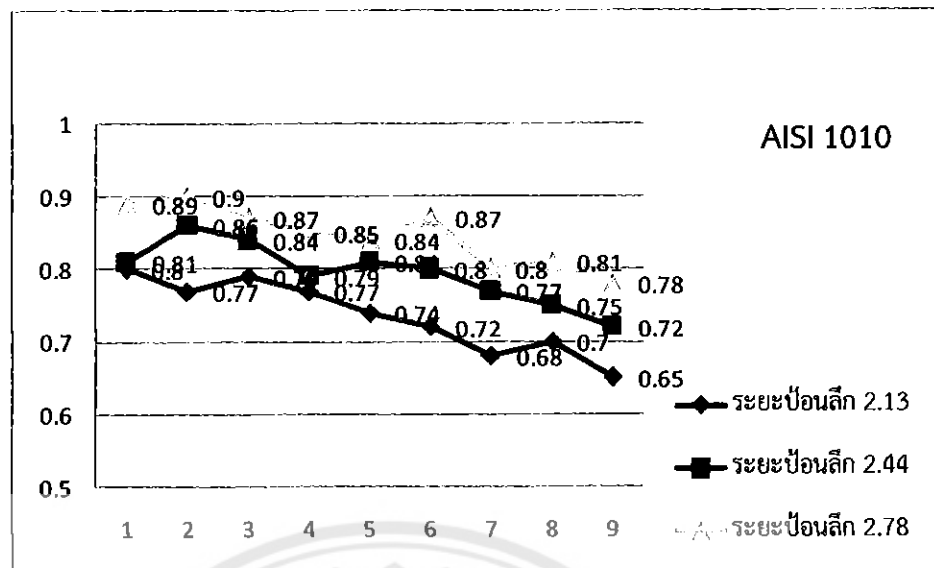


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความเรียบเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ



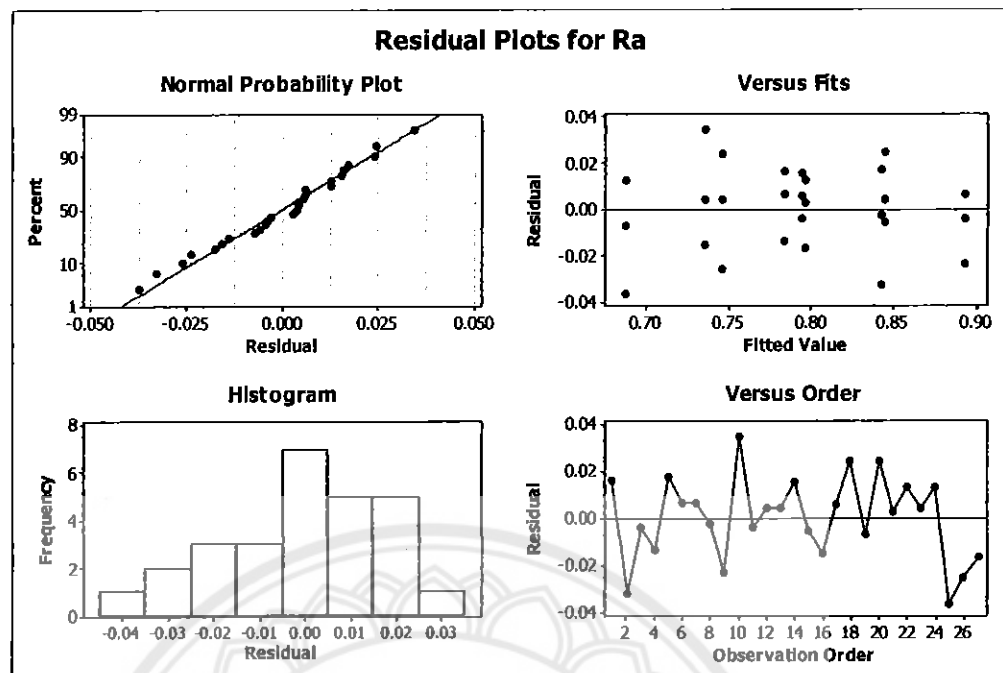
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความเรียบเปรียบเทียบด้วยอัตราป้อน

จากรูปที่ 4.23 พบว่าที่อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าความเรียบผิวสูงกว่าที่อัตราป้อนอื่นๆ โดยที่อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 0.736 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่สูงสุด แต่ที่อัตราป้อน 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 0.846 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่ต่ำสุด เนื่องจากอัตราป้อนที่เร็วเกินไปทำให้อัตราในการตัดเฉือนต่อรอบสูงจนเกินความร้อนจากการเสียดทานระหว่างผิวชิ้นงาน และปลายมีดกลึง นำไปสู่การเกิดการเสียหายของมีดในระหว่างการกลึงได้ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความเรียบผิวชิ้นงานหลังจากการกลึงปอก ดังนั้น อัตราป้อนที่ช้าทำให้ผิวชิ้นงานหลังจากการกลึงปอกมีความเรียบกว่าอัตราป้อนที่เร็ว



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความเรียบเปรียบเทียบกับระยะบ่อนลิก

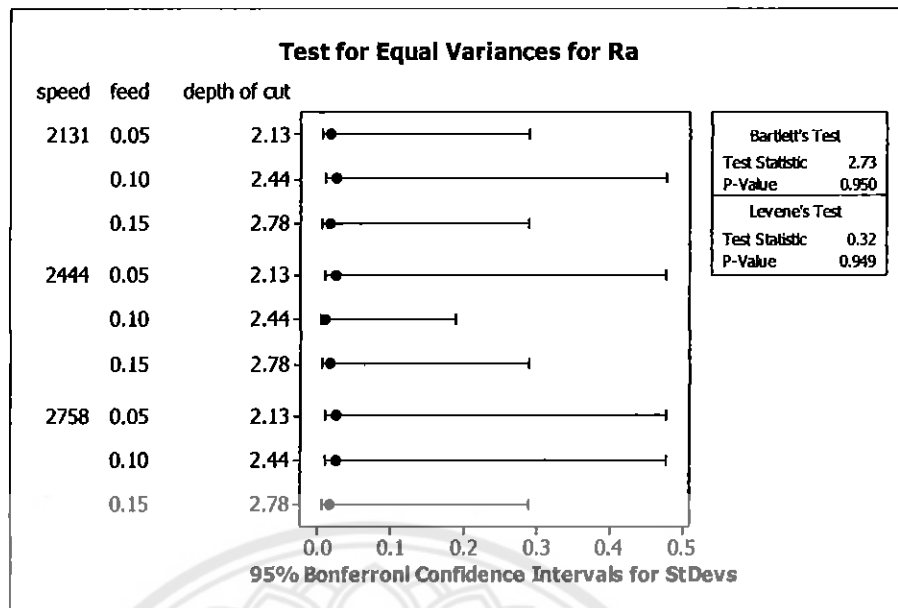
จากรูปที่ 4.24 พบว่าที่ระยะบ่อนลิก 2.13 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบผิวสูงกว่าระยะบ่อนลิกอื่นๆ โดยที่ระยะบ่อนลิก 2.13 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 0.736 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่สูงสุด แต่ที่ระยะบ่อนลิก 2.78 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบเฉลี่ย 0.846 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความเรียบที่ต่ำสุดโดยระยะบ่อนลิกส่งผลต่อความร้อน และอัตราเฉือนของเนื้อโลหะที่เกิดขึ้นที่ปลายมีดในขณะกลึงปอก เพราะระยะบ่อนลิกสูงทำให้เกิดความร้อนจากการตัดเฉือนที่สูง ดังนั้น ควรเลือกใช้ระยะบ่อนลิกที่ต่ำเพื่อให้ได้ค่าความเรียบผิวที่ดี



รูปที่ 4.25 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลความเรียบผิว

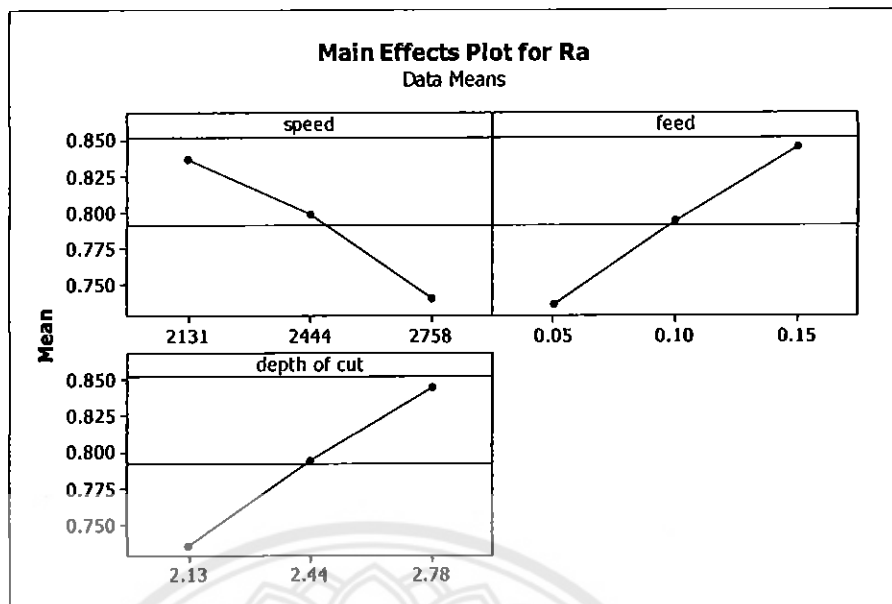
ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลพบว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบสุ่มมีการกระจายตัวแบบปกติ ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิวจากปัจจัยต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.25 เนื่องจากข้อมูลที่ได้นำมาพิจารณา มีจำนวนน้อยกว่า 30 ข้อมูล จึงพิจารณาจากรูปกราฟ Normal Probability Plot of the Residuals

จากการทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability) เพื่อพิจารณาค่า P-Value เปรียบเทียบกับค่า Alpha ที่ 0.05 ผลการวิเคราะห์จากรูปกราฟการกระจายตัวแบบปกติของค่าความเรียบได้ค่า P-Value ซึ่งอยู่ในเส้นควบคุมของค่าความแปรปรวนที่ยอมรับได้



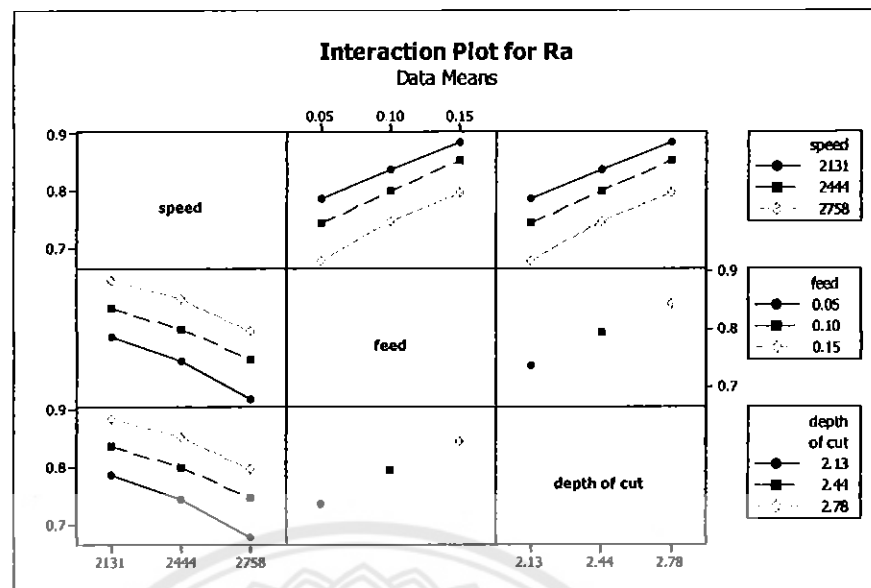
รูปที่ 4.26 การตรวจสอบการเท่ากันของความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.26 แสดงช่วงความเชื่อมั่น ความเบี่ยงเบนมาตรฐานความราบเรียบจากปัจจัยต่างๆ เหลื่อมกันแสดงว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดลองทั้ง 27 ครั้งไม่มีความแตกต่างกันการทดลองที่ความเร็วรอบ 2131 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อน 2.44 มิลลิเมตรกับที่ความเร็วรอบ 2444 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อน 2.13 มิลลิเมตร และที่ความเร็วรอบ 2758 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อน 2.13 มิลลิเมตรกับที่ความเร็วรอบ 2758 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อน 2.44 มิลลิเมตรมีค่าความแปรปรวนสูงกว่าการทดลองอื่นๆ ที่ความเร็วรอบ 2444 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ ระยะป้อน 2.44 มิลลิเมตร มีค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก

ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความเรียบผิว โดยจากรูปที่ 4.27 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเรียบผิวเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราป้อน และระยะป้อนลึกมีความแตกต่าง คือ ยิ่งเพิ่มอัตราป้อน และระยะป้อนลึกจะทำให้ค่าความเรียบผิวน้อยลง



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม

จากรูปที่ 4.27 กราฟแสดง Interaction มีอิทธิพลต่อการทดลองของปัจจัยของความเร็รรอบ เมื่อเพิ่มความเร็รรอบจาก 2131 ไปถึง 2758 รอบต่อนาที พบว่าค่าความเรียบผิวมีแนวโน้มที่เรียบขึ้นส่วน อัตราป้อนจาก 0.05 ไปถึง 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบพบว่าค่าความเรียบผิวมีแนวโน้มที่เรียบน้อยลง และ ระยะป้อนลึกจาก 2.13 ไปถึง 2.78 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเรียบผิวมีแนวโน้มที่น้อยลง

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests			
	Model	Reduced	
Source	DF	DF	Seq SS
Speed	2	2	0.042719
Feed	2	2	0.054541
Depth of cut	2	0+	0.000000
Error	20	22	0.007548
Total	26	26	0.104807
S = 0.0185229 R-Sq = 92.80% R-Sq (adj) = 91.49%			

รูปที่ 4.29 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าความราบเรียบตามปัจจัยต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.28 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับร้อยละ 92.80 หมายความว่าความผันแปรต่างๆ ของการทดลองที่สามารถควบคุมได้ เช่น เครื่องมือ อุปกรณ์หรือปัจจัยต่างๆ ที่กำหนดให้คงที่ในการทดลอง มีค่าเท่ากับร้อยละ 92.80 ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 7.20 เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น การออกแบบการทดลองครั้งนี้ถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

จากการวิเคราะห์การถดถอยของความเรียบผิวกับความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อน ลึก ความเร็วรอบมีผลต่อความเรียบผิวมากที่สุด โดยที่ความเร็วรอบที่ 2758 ทำให้ค่าความเรียบผิวดีที่สุด โดยสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามได้ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย $Ra = 1.75 - 0.000154 \text{ speed} + 3.67 \text{ feed} - 0.78 \text{ depth of cut}$

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการกลึงปอกเหล็ก AISI 1045, AISI 4140 และ AISI 1010 ด้วยเครื่องกลึง CNC เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในเทคโนโลยีเครื่องกลึง CNC ได้ สันนิษฐานว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวในการทดลองนี้ คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อน ลึก การศึกษาได้พบว่า

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิว

5.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวเหล็ก AISI 1040

จากการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลกับวิเคราะห์ความแปรปรวน (รูปที่ 4.9, 4.10, 4.13) และ จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ (รูปที่ 4.6, 4.7, 4.8, 4.11, 4.12) นำข้อมูลมาสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1.1 ตัวแปรที่เหมาะสมในการกลึงปอกผิวเหล็ก AISI 1045 คือ ที่ความเร็วรอบ 2758 รอบ ต่อนาที อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตร และระยะป้อนลึก 2.13 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.06 ไมโครเมตร

5.1.1.2 ผลที่ได้รับจากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 พบว่าความเรียบของเหล็ก AISI 1045 มีผลมาจากปัจจัยในการทดลองทุกตัว โดยค่า R^2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 91.71

5.1.1.3 สมการพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง คือ $Ra = - 0.46 - 0.000083 \text{ speed} - 4.93 \text{ feed} + 1.89 \text{ depth of cut}$

5.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวเหล็ก AISI 4140

จากการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลกับวิเคราะห์ความแปรปรวน (รูปที่ 4.17, 4.18, 4.21) และจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ (รูปที่ 4.14, 4.15, 4.16, 4.19, 4.20) นำข้อมูลมาสรุปผลได้ดังนี้

5.1.2.1 ตัวแปรที่เหมาะสมในการกลึงปอกผิวเหล็ก AISI 4140 คือ ที่ความเร็วรอบ 2758 รอบ ต่อนาที อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตร และระยะป้อน 2.13 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.26 ไมโครเมตร

5.1.2.2 ผลที่ได้รับจากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 พบว่าความเรียบของเหล็ก AISI 4140 มีผลมาจากปัจจัยในการทดลองทุกตัว โดยค่า R^2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 91.15

5.1.2.3 สมการพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง คือ $Ra = - 0.97 - 0.000085 \text{ speed} - 7.38 \text{ feed} + 2.67 \text{ depth of cut}$

5.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวเหล็ก AISI 1010

จากการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลกับวิเคราะห์ความแปรปรวน (รูปที่ 4.25, 4.26, 4.29) และจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ (รูปที่ 4.22, 4.23, 4.24, 4.27, 4.28) นำข้อมูลมาสรุปผลได้ดังนี้

5.1.3.1 ตัวแปรที่เหมาะสมในการกลึงปกผิวเหล็ก AISI 1010 คือ ที่ความเร็วรอบ 2758 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตร และระยะป้อน 2.13 มิลลิเมตร ให้ค่าความเรียบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.26 ไมโครเมตร

5.1.3.2 ผลที่ได้รับจากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 พบว่าความเรียบของเหล็ก AISI 1010 มีผลมาจากปัจจัยในการทดลองทุกตัว โดยค่า R^2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 92.80

5.1.3.3 สมการพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง คือ $Ra = 1.75 - 0.000154 \text{ speed} + 3.67 \text{ feed} - 0.78 \text{ depth of cut}$

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้และความชำนาญเกี่ยวกับเครื่องกลึง CNC เป็นอย่างมากเพื่อให้ได้ผลการทดลองเป็นอย่างถูกต้อง และแม่นยำมากที่สุดและลดการเกิดอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นได้

5.2.2 ผู้ปฏิบัติต้องมีความรู้กับความชำนาญเกี่ยวกับโปรแกรม Minitab เพื่อนำมาช่วยวิเคราะห์ทางสถิติ

5.2.3 ผู้ปฏิบัติต้องมีความรู้ และความชำนาญในการวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน เพื่อได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และแม่นยำที่สุด

5.2.4 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ตั้งปัจจัยไว้เพียง 3 ปัจจัย ซึ่งอาจจะมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

เอกสารอ้างอิง

- CNC Milling Machining Center และประวัติ CNC Milling Machining Center. สืบค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2555, จาก <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc>.
- กฤษณะ อินตะมุค และชัยวัฒน์ บุญทา. “ผลกระทบของวัตถุดิบที่มีผลต่อกระบวนการผลิตในเทคโนโลยีซีเอ็นซี”. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 2552.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. สืบค้นเมื่อ วันที่ 25 สิงหาคม 2555, จาก <http://www2.diw.go.th>.
- กุลยุทธ์ บุญแข็ง สมศักดิ์ แก้วพลอย สุขชัย ชัยณรงค์ และชัยยุทธ มีงาม โปรแกรมวิชาวิศวกรรม และการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สืบค้น วันที่ 10 ตุลาคม 2556
- ขวัญชัย นันติ, (Engine by iGetWeb.com) พื้นฐานซีเอ็นซี, สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2555, จาก <http://kwuan.igetweb.com/index.php>.
- ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2555, จาก <http://pioneer.netsev.chula.ac.th/~rchanat>.
- ทรงชัย แซ่ตั้ง และพีระยศ แสนโกชณ์. การพัฒนาต้นแบบตัวควบคุม CNC 3 แกน ด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล. สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2555 http://kucon.lib.ku.ac.th/dbstat/download_count.php
- บรรเลง ครนินล สมนึก วัฒนศรียกุล. ตารางคู่มืองานโลหะ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สืบค้นเมื่อ วันที่ 24 สิงหาคม 2555
- วิมล บุญรอด และธเนศ รัตนวิไล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สืบค้น วันที่ 10 ตุลาคม 2556



ภาคผนวก ก
การคำนวณหาความเร็วรอบในมิดกึ่ง

ค่า Feed ได้มาจากการเปิดหนังสือคู่มืองานโลหะโดยใช้มีด HSS เคลือบผิวจึงเลือกค่าศึกษาค่า Feed ที่มีค่าเท่ากับ 0.1 มม./นาที จากตารางสำหรับงานกลึงด้วยเหล็ก หนังสือตารางคู่มืองานโลหะรศ.บรรเลง ศรีนิล และรศ.สมนึก วัฒนศรีฤกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ดังนั้น ทำการกำหนดช่วงที่จะศึกษา

ค่า Feed $\pm 50\%$ ของ 0.1 มม./นาที

จะได้ค่า Feed ที่ 0.05, 0.1, 0.15 มม./นาที

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ 25.4 มม.

$$\text{จากสูตร } n = \frac{V \times 1000}{D \times \pi}$$

เมื่อ n คือ ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

V คือ อัตราป้อน (เมตร/นาที)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)

ทำการคำนวณหาความเร็วรอบ โดยกำหนดค่า $D = 25.4$ มม. $V_{\min} = 170$ เมตร/นาที

$$\begin{aligned} \text{แทนในสมการ } n &= \frac{V \times 1000}{D \times \pi} \\ &= \frac{170 \times 1000}{25.4 \times \pi} \\ &= 2130.54 \quad (\text{รอบ/นาที}) \\ &\approx 2131 \quad (\text{รอบ/นาที}) \end{aligned}$$

ทำการคำนวณหาความเร็วรอบ โดยกำหนดค่า $D = 25.4$ มม. $V = 195$ (รอบ/นาที)

$$\begin{aligned} \text{แทนในสมการ } n &= \frac{V \times 1000}{D \times \pi} \\ &= \frac{195 \times 1000}{25.4 \times \pi} \\ &= 2443.71 \quad (\text{รอบ/นาที}) \\ &\approx 2444 \quad (\text{รอบ/นาที}) \end{aligned}$$

ทำการคำนวณหาความเร็วรอบ โดยกำหนดค่า $D = 25.4$ มม. $V_{\max} = 220$ (รอบ/นาที)

$$\begin{aligned} \text{แทนในสมการ } n &= \frac{V \times 1000}{D \times \pi} \\ &= \frac{220 \times 1000}{25.4 \times \pi} \\ &= 2758.41 \quad (\text{รอบ/นาที}) \\ &\approx 2758 \quad (\text{รอบ/นาที}) \end{aligned}$$

$$\text{ความเร็วตัด} \quad v = \frac{\pi \times d \times n}{1000}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วรอบที่ } 2131; \quad v &= \frac{\pi \times 25.4 \times 2131}{1000} \\ &= 170 \text{ เมตร/นาที} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วรอบที่ } 2444; \quad v &= \frac{\pi \times 25.4 \times 2444}{1000} \\ &= 195 \text{ เมตร/นาที} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วรอบที่ } 2758; \quad v &= \frac{\pi \times 25.4 \times 2758}{1000} \\ &= 220 \text{ เมตร/นาที} \end{aligned}$$

$$\text{ระยะป้อนลึก} \quad a = \frac{v}{\pi \times d}$$

$$\text{ที่ความเร็วรอบ } 2131; \quad a = \frac{170}{\pi \times 25.4} = 2.13 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\text{ที่ความเร็วรอบ } 2444; \quad a = \frac{195}{\pi \times 25.4} = 2.44 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\text{ที่ความเร็วรอบ } 2758; \quad a = \frac{220}{\pi \times 25.4} = 2.78 \text{ มิลลิเมตร}$$



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบร้อยของชิ้นงาน

General Linear Model: Ra versus speed, feed, depth of cut

Factor	Type	Levels	Values
speed	fixed	3	2131, 2444, 2758
feed	fixed	3	0.05, 0.10, 0.15
depth of cut	fixed	3	1.06, 1.22, 1.39

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

Source	Model DF	Reduced DF	Seq SS
speed	2	2	0.012363
feed	2	2	0.076585
depth of cut	2	0+	0.000000
Error	20	22	0.008037
Total	26	26	0.096985

S = 0.0191133 R-Sq = 91.71% R-Sq(adj) = 90.21%

รูปที่ ข.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวของเหล็ก AISI 1045

General Linear Model: Ra versus speed, feed, depth of cut

Factor	Type	Levels	Values
speed	fixed	3	2131, 2444, 2758
feed	fixed	3	0.05, 0.10, 0.15
depth of cut	fixed	3	1.06, 1.22, 1.39

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

Source	Model DF	Reduced DF	Seq SS
speed	2	2	0.012800
feed	2	2	0.092089
depth of cut	2	0+	0.000000
Error	20	22	0.010178
Total	26	26	0.115067

S = 0.0215087 R-Sq = 91.15% R-Sq(adj) = 89.55%

รูปที่ ข.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวของเหล็ก AISI 4140

General Linear Model: Ra versus speed, feed, depth of cut

Factor	Type	Levels	Values
speed	fixed	3	2131, 2444, 2758
feed	fixed	3	0.05, 0.10, 0.15
depth of cut	fixed	3	1.06, 1.22, 1.39

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

Model	Reduced	DF	DF	Seq SS
Source		2	2	0.042719
speed		2	2	0.054541
feed		2	0+	0.000000
depth of cut		20	22	0.007548
Error		26	26	0.104807
Total				

S = 0.0185229 R-Sq = 92.80% R-Sq(adj) = 91.49%

รูปที่ ข.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวของเหล็ก AISI 1010





ภาคผนวก ค
ข้อมูลลักษณะמידกึ่งที่ใช้ในการทดลอง

Start > Products > T-Max P > TNMG 16 04 04-PF 4015

TNMG 16 04 04-PF 4015

T-Max® P insert for turning

Insert Tool item (216)

My evolution (0)

Product data from CoroGuide

Product information

Ordering code
 ISO TNMG 16 04 04 PF 4015
 ANSI TNMG 331 F7 4015
 FOP
 Bar code 10742113



Product Description
 T-Max® P insert for turning

SSCN insert seat size code 16
SSCN insert seat size code 3/8
CTST operation type Finishing
L cutting edge length 16.4978 mm
S insert thickness 4.7675 mm
IC main hole diameter 2.525 mm
CP corner radius 0.4 mm
D1 fixing hole diameter 3.81 mm
HAND hand R
TSYC tool style code TNMG PF
GRADE grade 4015
SC insert shape code T



WT weight of item 0.032 kg
TC tolerance class insert M
CUTINT_CLAMPSURF insert clamping interface DESCRIPT_28
CUTINT_SIZESHAPE insert size and shape MSCO_TN1604_1
COATING coating MTCVD
AN clearance angle major 0.069
CBMG chip breaker manufacturer's designation PF
CECC cutting edge condition code E
FINSH insert finish angle 60.063
IFS insert cutting style code 2
ITEMTYPE item type 1154 T
NSIDF number of blades in a tool holder/cutting item 2
RFI/PACK release pack id 90 Z
SUBSTRATE substrate HM
TCE tipped cutting edge code S
WEP upper edge property FALSE

SEEKING...

