



ผลกระทบของวัสดุที่มีผลต่อกระบวนการผลิตในเทคโนโลยีซีเอ็นซี

EFFECT OF MATERIAL IN CNC MANUFACTURING  
TECHNOLOGY

นายกฤษณะ อินตะมุด รหัส 49360044  
นายชัยวัฒน์ บุญทา รหัส 49363168

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์	
วันที่รับ...../...../.....	
เลขทะเบียน.....	5067625 ค.2
เลขเรียกหนังสือ.....	ค.281๗
มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2552	

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น


ปีการศึกษา 2552





## ใบรับรองปริญญาโท

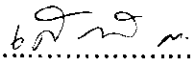
ชื่อหัวข้อโครงการ ผลกระทบของวัตถุดิบที่มีผลต่อกระบวนการผลิตในเทคโนโลยีซีเอ็นซี  
ผู้ดำเนินโครงการ นายกฤษณะ อินตะมุด รหัส 49360044  
นายชัยวัฒน์ บุญทา รหัส 49363168  
ที่ปรึกษาโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน  
ครูช่างรมกฤต แสงผ่อง  
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2552


คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ธนา บุญฤทธิ)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ศรีสัจจา วิทศักดิ์)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์เสาวลักษณ์ ทองกลั่น)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์วัฒน์ชัย เขาวรัตน์)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	ผลกระทบของวัตถุดิบที่มีผลต่อกระบวนการผลิตในเทคโนโลยีซีเอ็นซี
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายกฤษณะ อินตะมุด รหัส 49360044
	นายชัยวัฒน์ บุญทา รหัส 49363168
ที่ปรึกษาโครงการงาน	รองศาสตราจารย์ ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2552

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของวัตถุดิบที่มีผลต่อกระบวนการผลิตในการกลึงด้วยเครื่องจักรกล ซีเอ็นซี คือ ความแข็งของวัตถุดิบ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งในการทดลองใช้เหล็ก AISI 4140 และ AISI 1022 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร มาตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุและผ่านการกลึงปอกผิว ด้วยเครื่องจักรกล ซีเอ็นซี ซึ่งตัวแปรในการทดลองประกอบไปด้วย ความเร็วรอบที่ 2131, 2444 และ 2758 รอบ/นาที อัตราการป้อน 0.05, 0.10 และ 0.15 มิลลิเมตร/รอบ และใช้ความลึกในการป้อนมีคดถึง 1 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อกระบวนการผลิตในการกลึงด้วยเครื่องจักรกล ซีเอ็นซี

ความแข็งมีอิทธิพลต่อความเรียบผิวมากที่สุด ซึ่งทำให้ความเรียบผิวเปลี่ยนไปเมื่อความแข็งเปลี่ยนไป

ชิ้นงานมีความแข็ง 30.67 HRC ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น 22.73% จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ลดลง 25.23% หรือมีความเรียบของผิวมากขึ้น 25.23% และถ้าชิ้นงานมีความแข็ง 23.67 HRC ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น 22.73% ก็จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ลดลง 11.13% หรือมีความเรียบของผิวมากขึ้น 11.13% เช่นกัน

ชิ้นงานมีความแข็ง 30.67 HRC อัตราป้อนลดลง 66.67% จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ลดลง 41.57% หรือมีความเรียบของผิวมากขึ้น 41.57% และถ้าชิ้นงานมีความแข็ง 23.67 HRC อัตราป้อนลดลง 66.67% ก็จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ลดลง 74.67% หรือมีความเรียบของผิวมากขึ้นเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานระหว่างชิ้นงานที่มีความแข็ง 30.67 HRC และชิ้นงานที่มีความแข็ง 23.67 HRC ที่อัตราการป้อนที่เท่ากันและความเร็วรอบที่เท่ากัน ชิ้นงานที่มีความแข็ง 30.67 HRC จะมีค่าความเรียบผิว (Ra) ที่น้อยกว่าชิ้นงานที่มีความแข็ง 23.67 HRC หรือชิ้นงานที่มีความแข็ง 30.67 HRC จะมีความเรียบของผิวที่มากกว่ากว่าชิ้นงานที่มีความแข็ง 23.67 HRC

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องผลกระทบของวัดฤคิพที่มีผลต่อกระบวนการผลิตในเทคโนโลยีซีเอ็นซี ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีต้องขอขอบคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและครูช่างรถกตุต แสงผ่อง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำโครงการนี้เป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและคณะกรรมการทุกท่าน ซึ่งได้รับความกรุณาให้คำแนะนำเสนอแนะแนวทางการศึกษา ค้นคว้า ให้คำปรึกษา แก้ไข ปรับปรุง ข้อบกพร่องต่างๆ จนเป็นผลให้โครงการฉบับนี้สมบูรณ์ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวยุติพี่น้อง เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยเป็นห่วงและให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา จนกระทั่งทำโครงการสำเร็จลุล่วงได้ ประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาโครงการวิจัยครั้งนี้ ขอมอบและอุทิศแด่บิดา มารดา บรรพบุรุษผู้ให้ชีวิตและทรัพย์สิน ครู อาจารย์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้ทำการศึกษาวิจัยตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้ดำเนิน โครงการวิศวกรรม

นายกฤษณะ อินตะมุด

นายชัยวัฒน์ บุญทา

พฤษภาคม 2553

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ญ
<b>บทที่ 1</b> บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมุติฐานงานวิจัย.....	1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน.....	1
1.5 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ.....	2
1.6 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.7 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัยและรวบรวมข้อมูล.....	2
1.8 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.9 แผนการดำเนินการศึกษา.....	3
<b>บทที่ 2</b> หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 ประวัติของ CNC.....	4
2.2 ความหมายของซีเอ็นซี.....	16
2.3 การทำงานของเครื่องจักรกล CNC.....	17
2.4 ข้อเสียของเครื่องจักรกล CNC.....	17
2.5 ความเร็วตัด (Cutting speed).....	18
2.6 กฎทั่วไปในการใช้ความเร็วตัด และอัตราป้อน.....	19
2.7 อัตราป้อน.....	19

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 วิธีคำนวณความเร็วรอบของเครื่องกลึง.....	20
2.9 การวัดความเรียบผิว.....	21
2.10 คำจำกัดความของความเรียบของผิว (SURFACE FINISH DIFFINITION).....	23
2.11 วิธีวัดความเรียบของผิวด้วยเครื่องแสดงผิว.....	24
2.12 เครื่องทดสอบความหยาบของผิว (SURFACE ROUGHNESS TESTER)	24
2.13 การทดสอบความแข็งแบบ Rockwell.....	25
2.14 เหล็กกล้าคาร์บอน.....	27
2.15 ธาตุที่ผสมในเหล็กกล้าคาร์บอน.....	27
2.16 เหล็ก AISI 4140.....	28
2.17 เหล็ก AISI 1022.....	29
2.18 การออกแบบการทดลอง.....	29
2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
<b>บทที่ 3</b> ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	32
3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	32
3.2 การเตรียมชิ้นงาน.....	32
3.3 ตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุ.....	32
3.4 วัดค่าความแข็ง.....	32
3.5 การออกแบบการทดลอง.....	32
3.6 เตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลอง.....	33
3.7 การทดลอง.....	33
3.8 การเก็บข้อมูลและบันทึกผลการทดลอง.....	34
3.9 วิเคราะห์และสรุปผล.....	34
3.10 จัดทำรายงานการวิจัยโครงการ.....	34

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	35
4.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุ.....	35
4.2 ผลการทดสอบความแข็งของเหล็ก.....	36
4.3 ผลการทดลองวัดความเรียบผิวของเหล็ก AISI 4140 และ เหล็ก AISI 1022.....	37
4.4 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	39
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 อิทธิพลของวัสดุคืบที่มีผลต่อความเรียบผิว.....	48
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก ก.....	51
ภาคผนวก ข.....	55
ภาคผนวก ค.....	57

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ.....	3
2.1 ส่วนประกอบของเหล็ก AISI 4140.....	28
2.2 ส่วนประกอบของเหล็ก AISI 1022.....	29
3.1 แสดงตัวแปรและระดับของตัวแปรที่จะศึกษา.....	33
3.2 ตารางบันทึกค่าความเรียบผิว.....	34
4.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุของเหล็ก AISI 4140.....	35
4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุของเหล็ก AISI 1022.....	35
4.3 ค่าความแข็งของเหล็ก.....	36
4.4 แสดงค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 4140.....	38
4.5 แสดงค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 1022.....	38
4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิว.....	42
ก.1 ปึงจัยสำหรับการกลึงของเหล็ก AISI 4140 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี.....	52
ก.2 ปึงจัยสำหรับการกลึงของเหล็ก AISI 1022 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี.....	53
ค.1 ตารางเหล็กโครงสร้างทั่วไป.....	59



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	รูปเครื่องกลึง CNC..... 4
2.2	รูปโครงสร้างของเครื่องกลึง CNC..... 5
2.3	แสดงแท่นเครื่องและแท่นตัดขวางของเครื่องกลึง..... 6
2.4	แสดงป้อมติดตั้งมีดตัด (Tool turret)..... 6
2.5	ชุดลำเลียงเศษชิ้นงานและชุดรองรับชิ้นงาน..... 7
2.6	ชุดบรรจุป้อนชิ้นงานและรูปกลไกภายในชุดบรรจุป้อนชิ้นงาน..... 8
2.7	แสดงชุดแขนหุ่นยนต์จับชิ้นงานออกจากเครื่องกลึง..... 8
2.8	เครื่องกลึงแนวนอนและเครื่องกลึงแนวตั้ง..... 9
2.9	การกลึงในเครื่องกลึงแนวนอนและการกลึงในเครื่องกลึงแนวตั้ง..... 9
2.10	แสดงการกำหนดแนวแกนของเครื่องกลึงซีเอ็นซี..... 10
2.11	แสดงเครื่องกลึงซีเอ็นซีมีป้อมมีด 2 ชุด..... 10
2.12	ภาพตัดแสดงภายในเครื่องกลึงแบบ 2 ป้อนทูล-2 สปินเคิล..... 11
2.13	แสดงเครื่องกลึงซีเอ็นซีที่ติดตั้งทูลแบบ Flat bed..... 12
2.14	วิวมองของผู้ควบคุมเครื่องของเครื่องกลึงแบบ Flat Bed..... 12
2.15	แสดงเครื่องกลึงซีเอ็นซีที่ติดตั้งทูลแบบ Slope bed..... 13
2.16	วิวมองของผู้ควบคุมเครื่องของเครื่องกลึงแบบ Slope Bed..... 13
2.17	การเคลื่อนที่ของเครื่องกลึงแบบ Slope Bed ทูลเอียงเข้าชิ้นงานจากทางด้านหลัง..... 14
2.18	บล็อกไดอะแกรม โดยย่อของลำดับการดำเนินการ..... 15
2.19	รูปตารางการกลึงผิวนอกและกลึงผิวใน..... 15
2.20	รูปตัวอย่างการขึ้นรูปพื้นฐานโดยกระบวนการกลึง..... 16
2.21	เครื่องทดสอบแบบ Rockwell Hardness Test..... 25
4.1	เครื่องวัดความเรียบผิวแบบ Rockwell..... 36
4.2	แสดงตัวอย่างชิ้นงานสำเร็จของเหล็ก AISI 4140 ขนาด 25.4 มม..... 37
4.3	แสดงตัวอย่างชิ้นงานสำเร็จของเหล็ก AISI 1022 ขนาด 25.4 มม..... 37
4.4	กราฟแสดงการกระจายตัวของส่วนที่ตกค้างของเหล็ก AISI 4140..... 39
4.5	กราฟแสดงการกระจายตัวของส่วนที่ตกค้างของเหล็ก AISI 1022..... 40
4.6	แสดงค่าการกระจายตัวของข้อมูลของเหล็ก AISI 4140..... 40
4.7	แสดงค่าการกระจายตัวของข้อมูลของเหล็ก AISI 1022..... 41
4.8	กราฟแสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของ AISI 4140..... 41

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	กราฟแสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของ AISI 1022.....	42
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราป้อนที่ 0.05 mm./rpm.....	45
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราป้อนที่ 0.10 mm./rpm.....	46
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราป้อนที่ 0.15 mm./rpm.....	47
ข.1	การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 4140.....	56
ข.2	การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 1022.....	56



## สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

AISI 4140	=	เหล็กเพล่าฟ้า
AISI 1022	=	เหล็กเพล่าขาว
D	=	ขนาดชิ้นงานที่กลึง
d	=	ความลึกในการป้อนมีดกลึง (Depth of cut)
f	=	อัตราการป้อน (Feed rate)
HRC	=	การทดสอบเหล็กกล้าด้วยตารางทดสอบแบบ C
L	=	ระยะป้อนกลึงปาดหน้า
MS	=	ค่ากำลังสองเฉลี่ย
n	=	ความเร็วรอบของชิ้นงาน (รอบ/นาที)
n	=	ความเร็วรอบ
R - Square	=	สัมประสิทธิ์ภาพการตัดสีนใจ
$R_a$	=	ค่าความเรียบผิว
$R^2$	=	สัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ
S	=	ความกว้างของรอยกลึง
Sd	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SS	=	ผลรวมกำลังสอง
V	=	ความเร็วตัด (Cutting speed)
$\mu$	=	ค่าเฉลี่ยของประชากร

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันเทคโนโลยีอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างไม่หยุดยั้ง เนื่องจากมีการแข่งขันทางด้านคุณภาพและการผลิตสูง ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องมีการนำเครื่องจักรที่ทันสมัยเข้ามาเป็นปัจจัยหลักในการผลิต เพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพ ประหยัดเวลาและมีความสะดวกในการควบคุมการทำงาน

จากการที่ได้ศึกษาการปฏิบัติงานของเครื่องกลึง พบว่าคุณภาพที่ได้จากการทำงานไม่เป็นที่พอใจนัก ซึ่งอาจมีผลกระทบมาจาก การป้อนค่าของตัวแปรในการกลึงที่ไม่ถูกต้องหรืออาจจะเป็นเพราะคุณสมบัติและองค์ประกอบของวัสดุคืบที่นำมาใช้ในการผลิต ด้วยเหตุนี้ได้มีการศึกษาโครงการนี้ขึ้น โดยที่จะทำการศึกษาอิทธิพลของวัสดุคืบที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในเทคโนโลยีเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ซึ่งเป็นการศึกษาว่าคุณสมบัติและองค์ประกอบวัสดุคืบที่ใช้ในการผลิตมีผลกระทบต่อความเรียบผิวอย่างไรบ้าง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการศึกษาวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของวัสดุคืบที่มีผลต่อกระบวนการผลิตในการกลึงด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

### 1.3 สมมุติฐานในการวิจัย

ในการกลึงปอกผิวนอกด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวคือความแข็งของวัสดุคืบและองค์ประกอบของวัสดุคืบ

### 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

สามารถทราบถึงผลกระทบของวัสดุคืบที่มีผลต่อความเรียบผิวในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

### 1.5 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบของวัสดุคืบและตัวแปรการกลึงที่มีผลต่อความเรียบผิวในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

## 1.6 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

- 1.6.1 เครื่องกลึง CNC Mazatrol 640T
- 1.6.2 วัสดุชิ้นงาน เหล็ก AISI 4140 และ AISI 1022 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มม.
- 1.6.3 ศึกษาเฉพาะการกลึงปอกผิววนอก
- 1.6.4 ศึกษาผลกระทบของวัตถุดิบที่มีผลต่อกระบวนการผลิตดังนี้
  - 1.6.4.1 ความแข็งของชิ้นงาน
  - 1.6.4.2 ความเร็วรอบ
  - 1.6.4.3 อัตราป้อน

## 1.7 สถานที่ในการดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล

- 1.7.1 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 1.7.2 หอสมุดมหาวิทยาลัยนเรศวร
- 1.7.3 ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 1.7.4 แผนกช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก
- 1.7.5 แผนกช่างกลโรงงาน สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 9 จังหวัดพิษณุโลก

## 1.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2553

## 1.9 แผนการดำเนินการศึกษา

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการศึกษา

ลำดับ	การดำเนินงาน	ค.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ม.ย.
1	ศึกษาทฤษฎีของเครื่องกลึง CNC และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■						
2	เตรียมชิ้นงาน		■					
3	ตรวจสอบองค์ประกอบธาตุของเหล็ก			■				
4	วัดค่าความแข็ง				■			
5	ทดลองกลึงชิ้นงาน					■		
6	วัดความเรียบผิว						■	
7	สรุปผลการดำเนินงานวิจัย							■
8	จัดทำรูปเล่มรายงาน							■



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1 ประวัติของ CNC

ก่อนที่จะมาเป็นเครื่องกลึงซีเอ็นซี ได้มีการพัฒนาหลายรุ่นเริ่มตั้งแต่สมัยโบราณ เครื่องกลึงมีการให้กำลังในการหมุนอย่างง่าย โดยการให้เท้าเหยียบในการกลึงงาน และก็มี的增加ความสะดวกมากขึ้น โดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังของเครื่องกลึง เมื่อเทคโนโลยีพัฒนามากขึ้นทำให้เครื่องกลึงถูกนำมาใช้ด้านการสงครามมากขึ้น เช่น การทำเครื่องบินชิ้นส่วนจำเป็นต้องมีความละเอียดมากทำให้มีการนำระบบซีเอ็นซี เข้ามาใช้ในเครื่องกลึง

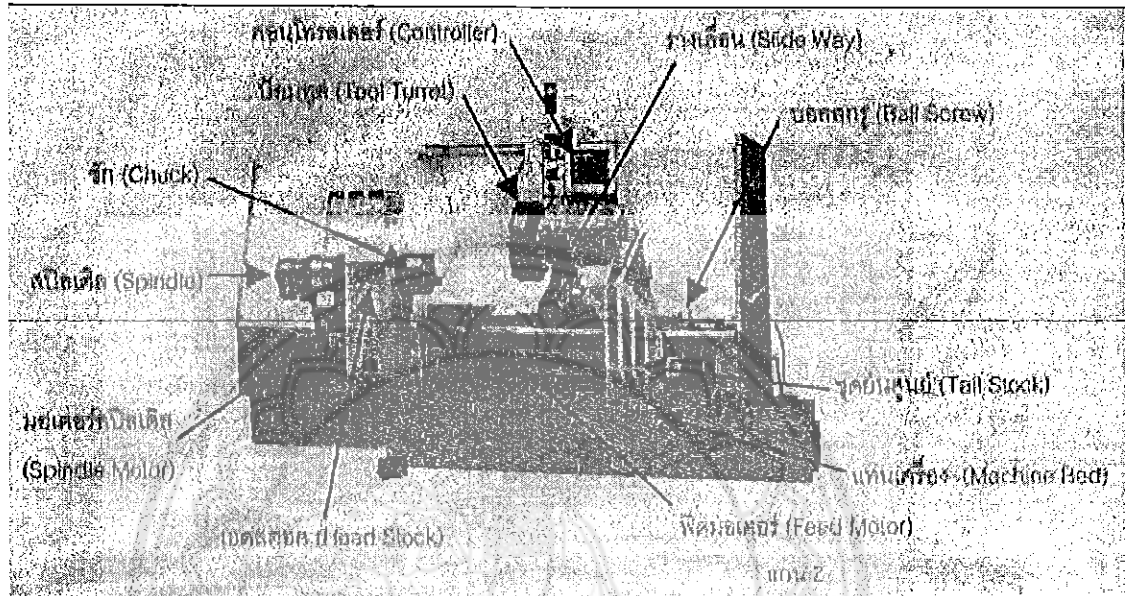


รูปที่ 2.1 รูปเครื่องกลึง CNC

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

### 2.1.1 โครงสร้างของเครื่องกลึง CNC

เครื่องกลึงซีเอ็นซี หรือ CNC Turning Center แบบพื้นฐาน มีการเคลื่อนที่ 2 แกน คือ แกน X และแกน Z และเป็นเครื่องแบบแนวนอน (Horizontal) เครื่องกลึงประเภทนี้ มีส่วนประกอบหลัก คือ



รูปที่ 2.2 รูปโครงสร้างของเครื่องกลึง CNC

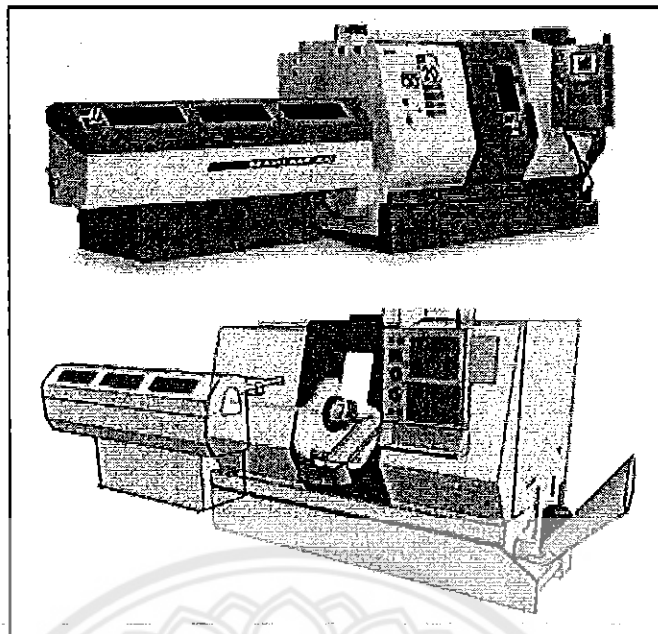
ที่มา : <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc>

แท่นเครื่อง หรือ Machine Bed โดยทั่วไปเป็นเหล็กหล่อ พื้นบนเอียงลาด (Slant-Bed) ช่วยให้เศษโลหะ (Chip) ตกลงพื้นได้ง่ายและสะดวกต่อการติดตั้งชิ้นงาน และอุปกรณ์อื่นๆ

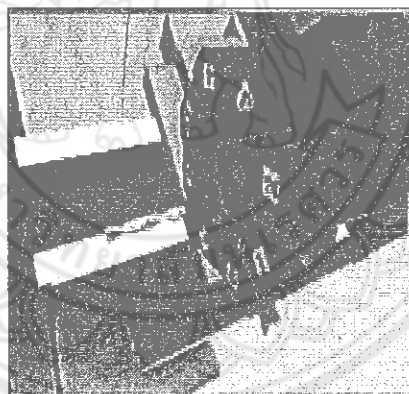
แท่นแนวขวาง (Carriage Slide) เป็นแท่นสำหรับป้อมทูล (Tool Turret) ให้ทูลเคลื่อนที่ในแนวขวางหรือแกน X

ป้อมติดตั้งมีดตัด (Tool Turret) เป็นอุปกรณ์สำหรับติดตั้งมีดตัด หรือทูล ป้อมติดตั้งมีดตัดสามารถหมุนไปยังตำแหน่งทูลที่ต้องการใช้งาน โดยทำการโปรแกรมจากหมายเลขทูล (Tool Number) โดยทั่วไปสามารถหมุนได้ ทั้ง 2 ทิศทาง และมีที่น้ำหล่อเย็น (Coolant) ฟ่นไปที่ชิ้นงาน





รูปที่ 2.3 แสดงแท่นเครื่องและแท่นตัดขวางของเครื่องกลึง  
ที่มา : <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc>



รูปที่ 2.4 แสดงป้อมติดตั้งมีดตัด (Tool turret)  
ที่มา : <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc>

สปินเดิล (Spindle) และมอเตอร์ขับเคลื่อน (สปินเดิลมอเตอร์ หรือ Spindle Motor) สำหรับหมุนชิ้นงาน โดยส่งกำลังผ่านเกียร์ หรือสายพาน หรือต่อตรงกับแกนของสปินเดิล โครงสร้างที่ติดตั้งสปินเดิล มีชื่อเรียกว่า เฮดสต็อก (Headstock)

อุปกรณ์ขับเคลื่อน ประกอบด้วย มอเตอร์บังคับการเคลื่อนที่ในแกน X และแกน Z หรือฟีดมอเตอร์ (Feed Motor) กลไกการขับเคลื่อนได้แก่ บอลสกรู (Ball Screw) และรางเลื่อน (Slide Way)

อุปกรณ์จับชิ้นงาน (Work Holding) ติดตั้งอยู่ในแนวแกนของสปินเดิล สำหรับเครื่องกลึง เรียกว่า ชัค แบบ 3 จับ (Three Jaw Chuck) โดยใช้ไฮดรอลิก ในการจับชิ้นงานให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของสปินเดิลได้เอง (Self-Centering) ตัวจับจำแนกได้เป็นแบบแข็ง (Hardened Jaw) และแบบอ่อน (Soft Jaw) โดยแบบแข็งใช้จับผลงานผิวหยาบ มีแรงบีบจับสูง ส่วนแบบอ่อน สำหรับผิวที่ผ่านการกลึงแล้ว ทำให้เกิดตำหนิน้อย

คอนโทรลเลอร์ หรือ ชุดควบคุม มีคอมพิวเตอร์สำหรับการป้อนและการแก้ไขโปรแกรม และควบคุมการทำงานของเครื่อง

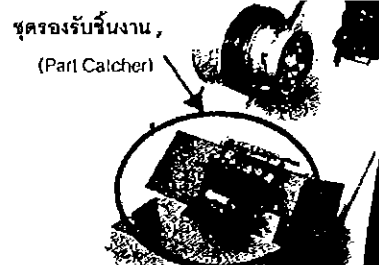
### 2.1.2 อุปกรณ์เสริมอื่นๆ

ชุดยันศูนย์ หรือ เทลสต็อก (Tail Stock) สำหรับยันปลายชิ้นงานที่ยาว โดยติดตั้งฝั่งตรงข้ามกับสปินเดิล ทำให้ได้ขนาดที่ปลายถูกต้อง และป้องกันอุบัติเหตุจากชิ้นงานหลุดจากชัคเทลสต็อกสามารถโปรแกรมให้เลื่อนเข้าออกได้

ชุดประคองชิ้นงาน หรือ Steady Rest สำหรับประคองช่วงกลางชิ้นงานไม่ให้โค้งในขณะกลึง ใช้เมื่อทำการกลึงชิ้นงานที่มีขนาดยาว

ชุดลำเลียงเศษชิ้นงาน (Chip Conveyer) สำหรับลำเลียงเศษ โลหะ (Chip) ออกจากเครื่อง และทิ้งลงถังรองอย่างต่อเนื่อง

ชุดรองรับชิ้นงาน (Part Catcher) ลักษณะเป็นกล่องรองรับชิ้นงาน ที่กลึงเสร็จแล้วเพื่อป้อนชิ้นงานออกจากเครื่อง โดยไม่ให้ตกลงพื้น สำหรับใช้รองรับชิ้นงานขนาดเล็ก



รูปที่ 2.5 ชุดลำเลียงเศษชิ้นงานและชุดรองรับชิ้นงาน

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

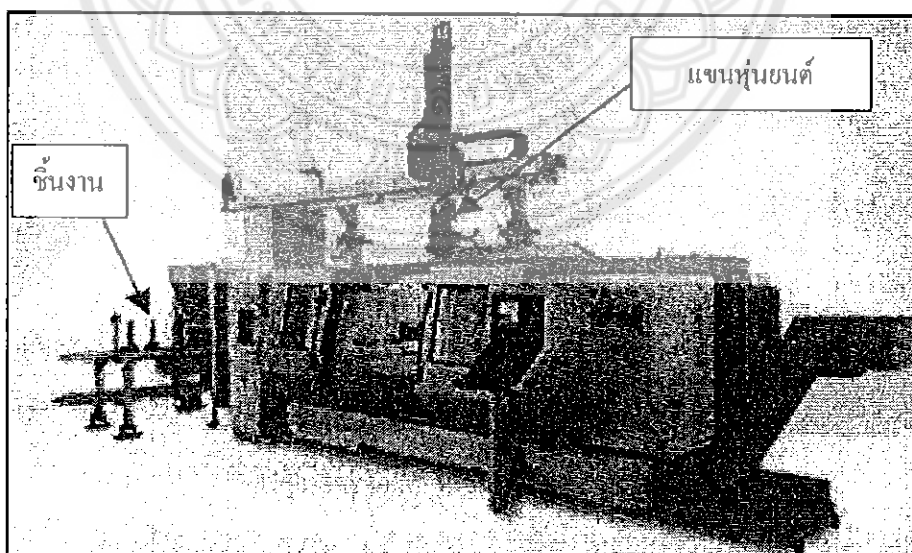
ชุดบรรจุและป้อนชิ้นงาน (Bar Magazine and Feeder) สำหรับบรรจุ ท่อนชิ้นงาน  
กลมยาว (3 ถึง 5 ม.) โดยป้อนผ่านแกนกลางของสปริงเคิล ทำให้ไม่ต้องใช้แรงงานในการตัด  
เตรียมการตัดให้ได้ขนาดและการป้อนชิ้นงานทีละชิ้น ขนาดความยาวและจำนวนท่อน ขึ้นอยู่กับ  
ขนาดของชุดบรรจุ ( หรือ Magazine)



รูปที่ 2.6 ชุดบรรจุป้อนชิ้นงานและรูปกลไกภายในชุดบรรจุป้อนชิ้นงาน

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

อุปกรณ์รับส่งชิ้นงาน (Part Loader and Unload) เป็นแขนจับหรือเป็นแขนหุ่นยนต์  
(Robotic Loading System) นำชิ้นงานเข้าออกจากตัวเครื่องทำให้ใช้พื้นที่น้อยการใช้ อุปกรณ์นี้ต้อง  
ตัดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการก่อนใช้แขนจับป้อนเข้าเครื่อง

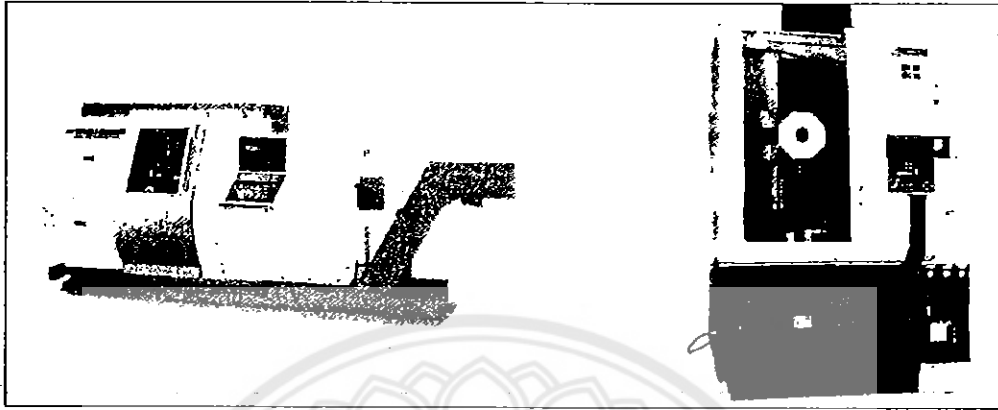


รูปที่ 2.7 แสดงชุดแขนหุ่นยนต์จับชิ้นงานออกจากเครื่องกลึง

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

### 2.1.3 การจำแนกประเภทของเครื่องกลึง CNC

เครื่องกลึงสามารถแยกตามแกนของสปินเดิลได้เป็นแบบ แกนแนวนอน (Horizontal) และ แกนแนวตั้ง (Vertical) เครื่องกลึงส่วนมาก (95%) เป็นแบบแนวนอน



รูปที่ 2.8 เครื่องกลึงแนวนอนและเครื่องกลึงแนวตั้ง

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

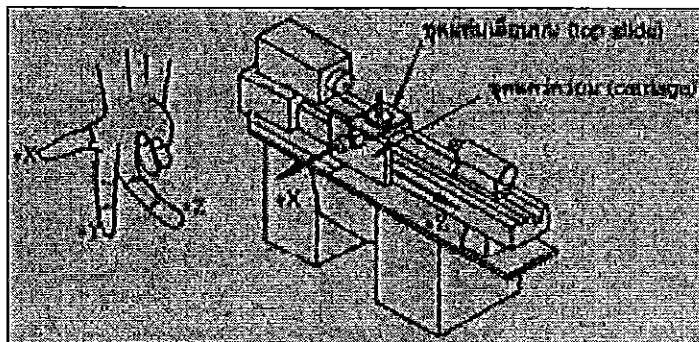


รูปที่ 2.9 การกลึงในเครื่องกลึงแนวนอนและการกลึงในเครื่องกลึงแนวตั้ง

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

การแบ่งตามจำนวนของแกนการเคลื่อนที่ จำนวนป้อนทูลทูลและสปินเดิล ได้ดังนี้

2.1.3.1 แบบ 2 แกน (2-Axis) หนึ่งป้อนทูล มีการเคลื่อนที่ในแกน X และ Z



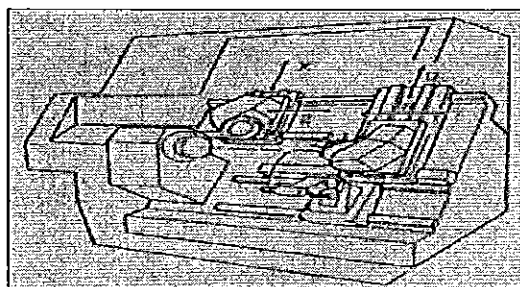
รูปที่ 2.10 แสดงการกำหนดแนวแกนของเครื่องกลึงซีเอ็นซี

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

2.1.3.2 แบบ 3 แกน (3-Axis) หนึ่งป้อนทูล มีการเคลื่อนที่ในแกน X, Z และ C นิยมเรียกเป็นเครื่องกลึงมีแกนซี (C-Axis) แกน C ในการเจาะรูหรือกัด ทั้งในแนวพื้นที่หน้าตัดและแนวขวาง ได้โดยใช้อุปกรณ์สำหรับกัดหรือเจาะ (Driven Tools) ติดตั้งบนป้อนทูล ทำให้ลดขั้นตอน ในการนำชิ้นงานออกไปให้เครื่องกัดหรือเจาะทำต่อ

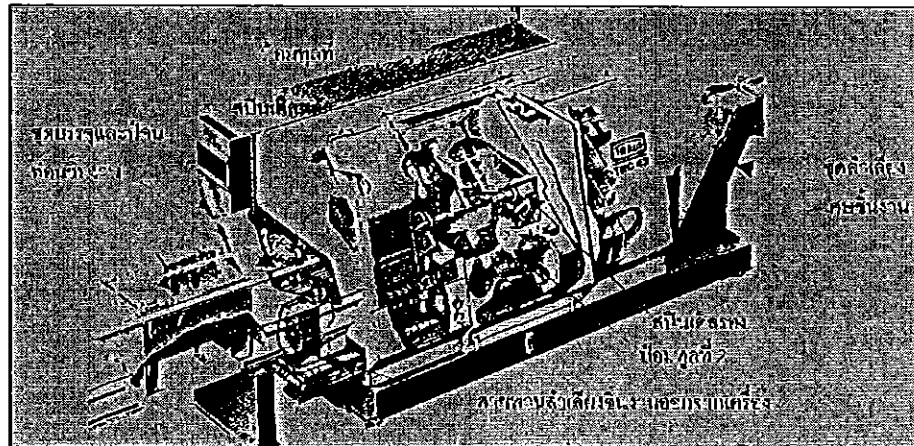
2.1.3.3 แบบ 2 หรือ 3 แกนมี 2 สปินเดิล (Two-Spindle) สามารถย้ายชิ้นงานจากสปินเดิลหลัก (Main Spindle) ไปยังสปินเดิลรอง (Sub Spindle หรือ Opposed Spindle) ในฝั่งตรงข้ามทำให้สามารถกลึงได้ทั้งผิวหน้าและผิวหลัง นอกจากนี้สปินเดิลรอง ยังสามารถใช้จับชิ้นงานหมุนไปพร้อมกับสปินเดิลหลัก ทำหน้าที่เหมือนชุดยึดศูนย์ได้ สปินเดิลรองอาจมีแกน C ได้

2.1.3.4 แบบ 2 ป้อนทูล อาจมี 1 หรือ 2 สปินเดิล แต่ละสปินเดิลมีแกน C ก็ได้ แต่ละป้อนทูลเคลื่อนที่ได้ในแกน X และ Z ทำให้ทำงาน 2 งานได้พร้อม ๆ กัน เช่น ป้อนแรกกลึงหยาบและป้อนสอง ว่างมาเพื่อกลึงละเอียด เป็นต้น



รูปที่ 2.11 แสดงเครื่องกลึงซีเอ็นซีที่มีป้อนมี 2 ชุด

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



รูปที่ 2.12 ภาพตัดแสดงภายในเครื่องกลึงแบบ 2 ป้อนทูล-2 สปีนเดิล

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

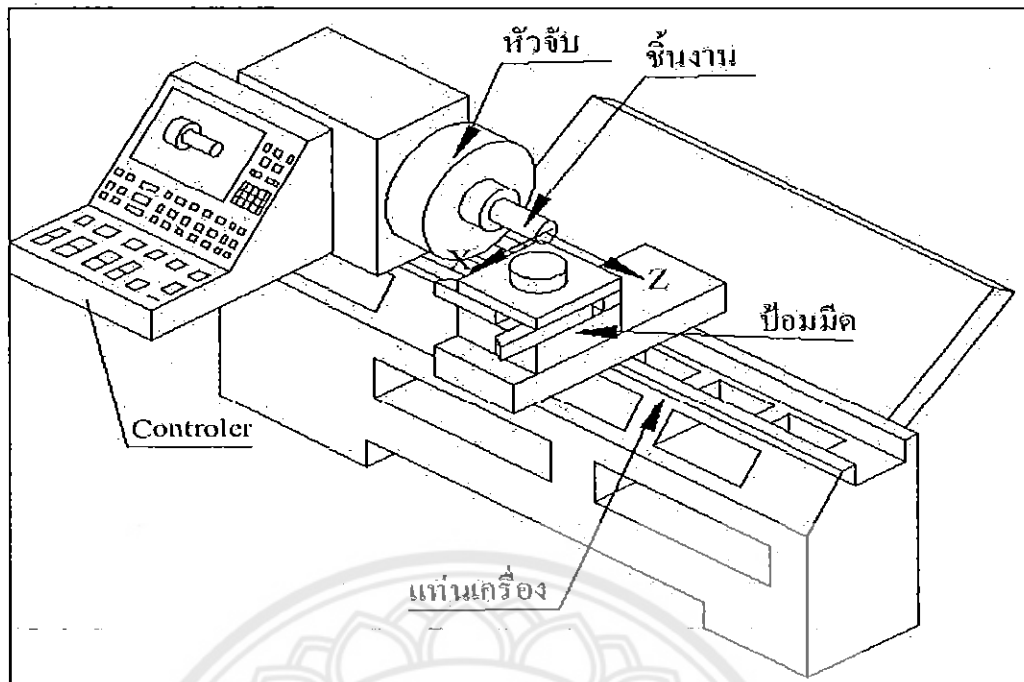
นอกจากนี้เครื่องกลึงสมัยใหม่บางรุ่น สามารถทำได้ทั้งงานกลึงและงานกัดครบ ครอบคลุมการได้ในเครื่องเดียว

#### 2.1.4 การควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องกลึงซีเอ็นซี

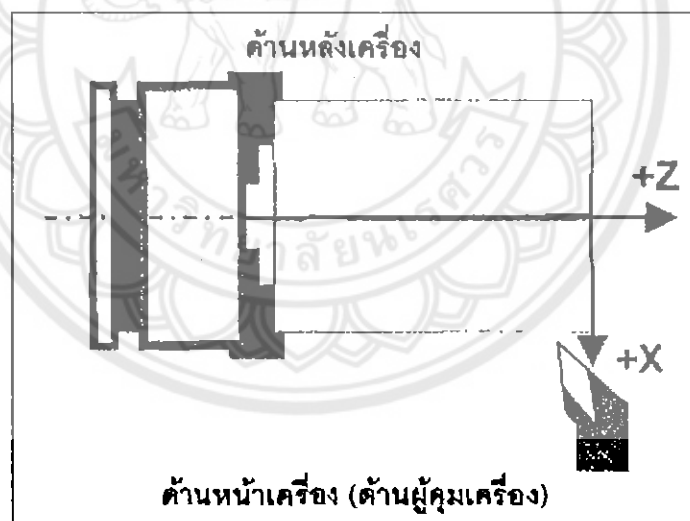
เครื่องกลึง CNC ที่ใช้กันทั่วไปเป็นเครื่องกลึง 2 แกน ใช้สำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ได้แก่ แกน X คือ แกนในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน และแกน Z คือ แกนในแนวความยาวของชิ้นงาน โครงสร้างและตำแหน่งการติดตั้งทูลของเครื่องกลึง แยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

##### 2.1.4.1 เครื่องกลึงแบบ Flat Bed

เครื่องกลึงแบบ Flat Bed มีทูลอยู่ระหว่างผู้ควบคุมเครื่องและสปีนเดิล (หรือชิ้นงาน) หรือทูลอยู่ทางฝั่งด้านหน้าของเครื่อง ส่วนมากจะเป็นเครื่องกลึงทั่วไปที่ควบคุมด้วยมือซึ่งผู้คุมเครื่องสามารถตั้งเหตุการณ์เคลื่อนที่ของทูลได้อย่างสะดวก



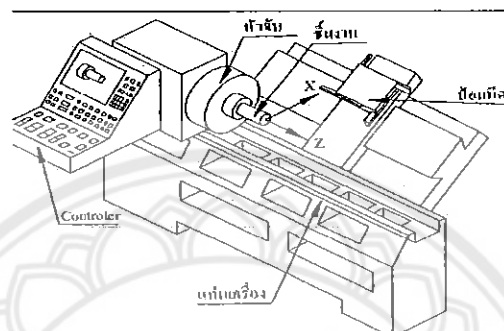
รูปที่ 2.13 แสดงเครื่องกลึงซีเอ็นซีที่ติดตั้งทุลแบบ Flat bed  
ที่มา : <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc>



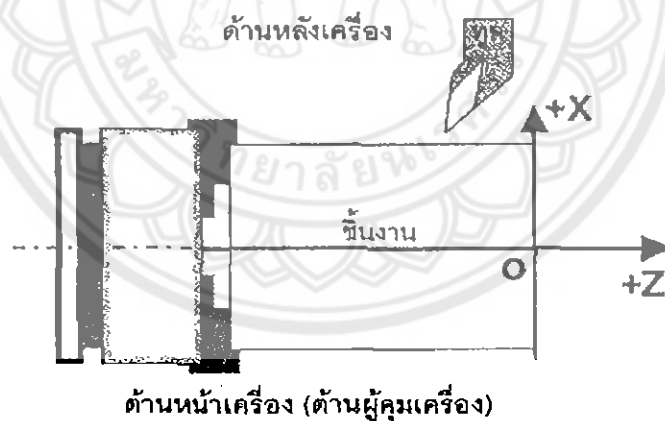
รูปที่ 2.14 วิมมองของผู้ควบคุมเครื่องของเครื่องกลึงแบบ Flat Bed  
ที่มา : <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc>

### 2.1.4.2 เครื่องกลึงแบบ Slope Bed

เครื่องกลึงแบบ Slope Bed มีตำแหน่งของทูลอยู่ด้านหลังชิ้นงาน หรือชิ้นงานอยู่ระหว่างผู้ควบคุมเครื่องและทูล เครื่องกลึงประเภทนี้มีทูลหรือป้อมมีคเคลื่อนที่ในแนวทแยงมุม โดยมีโครงสร้างของแท่นเครื่องเอียงทำมุมมากกว่า 45 องศาับระดับพื้น เครื่องกลึงซีเอ็นซีส่วนมากเป็นแบบ Slope Bed หรือ Slant Bed โครงสร้างแบบนี้ทำให้เศษวัสดุหรือ Chip ตกลงและไหลออกจากเครื่องได้ง่าย

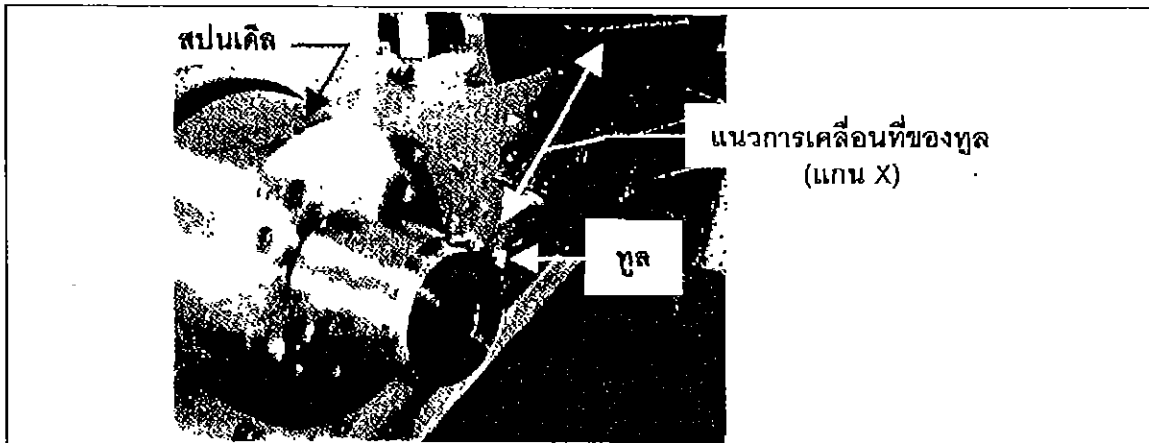


รูปที่ 2.15 แสดงเครื่องกลึงซีเอ็นซีที่ติดตั้งทูลแบบ Slope bed  
ที่มา : <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc>



รูปที่ 2.16 วิวมองของผู้ควบคุมเครื่องของเครื่องกลึงแบบ Slope Bed  
ที่มา : <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc>





**รูปที่ 2.17** การเคลื่อนที่ของเครื่องกลึงแบบ Slope Bed ทูลเอียงเข้าชิ้นงานจากทางด้านหลัง

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

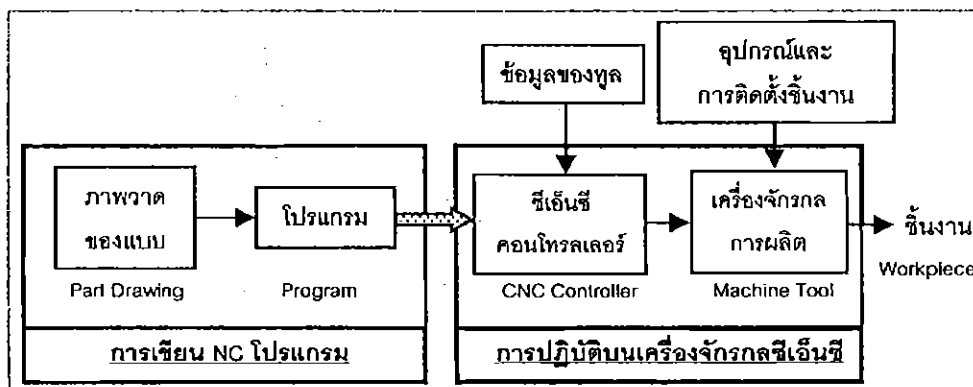
### 2.1.5 ลำดับการเตรียมงาน

จากข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นในการขึ้นรูปหรือการแมชชีนชิ้นงาน โดยใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีใดๆ สามารถแยกลำดับการทำงาน ได้เป็น 2 ขั้นตอนหลัก ดังสรุปเป็นบล็อกไดอะแกรมตามแสดงในรูปข้างล่าง ได้เป็นสองส่วนหลักดังนี้

การเขียนโปรแกรม หรือเตรียม โปรแกรมในการเขียน NC โปรแกรมต้องมีข้อมูลจากภาพวาด รายละเอียดของชิ้นงาน (Detail drawing หรือ Part drawing) กระบวนการ เงื่อนไขการตัด และทูลที่จะนำมาใช้

การปฏิบัติการบนเครื่องจักรกลซีเอ็นซี การปฏิบัติการบนเครื่องจักรกลซีเอ็นซีแยกเป็นสองงาน คือ งานปฏิบัติการที่ตัวคอนโทรลเลอร์ และงานปฏิบัติการที่ตัวเครื่องจักร

งานปฏิบัติการที่ตัวคอนโทรลเลอร์ ต้องมี NC โปรแกรม และข้อมูลของทูลที่ต้องใช้เพื่อป้อนเข้าคอนโทรลเลอร์ ส่วนงานปฏิบัติการที่ตัวเครื่องจักรได้แก่ การติดตั้งชิ้นงานคิบบ และการติดตั้งทูล



รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมโดยย่อของลำดับการดำเนินการ

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

2.1.6 ลักษณะการขึ้นรูปพื้นฐานโดยการกลึง

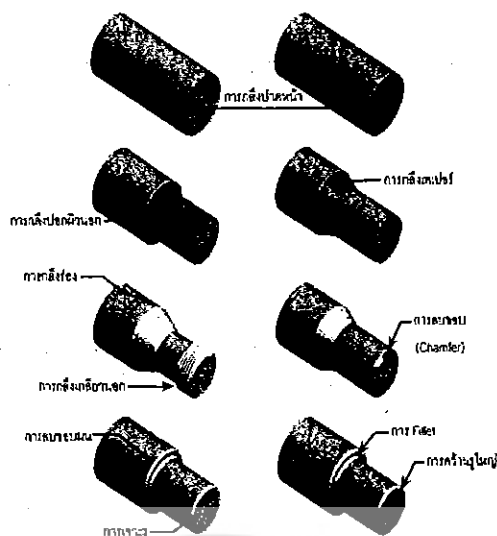
งานกลึงแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ การกลึงผิวนอก (External Cuts), การกลึงผิวใน (Internal Cuts) และงานกลึงพิเศษ (Special Cuts) โดยมีลักษณะการขึ้นรูปพื้นฐานหรือกระบวนการ ได้แก่

การกลึงผิวนอก	การกลึงผิวใน
การกลึงปาดหน้า (Facing)	การเจาะรู (Drilling)
การกลึงปอกผิวนอก (Turning)	การคว้านผิวเรียบ (Reaming)
การกลึงเกลียวนอก (Threading)	การกลึงร่องใน (Recessing)
การกลึงร่อง หรือกลึงตกร่อง (Grooving)	การคว้านรูใหญ่ (Boring)
การกลึงร่องที่ผิวน้ำ (Face Grooving)	การกลึงเกลียวในหรือตีป (Tapping)
การกลึงเทเปอร์ หรือกลึงเรียว (Taper)	การกลึงตัดขาด (Parting Off)

รูปที่ 2.19 รูปตารางการกลึงผิวนอกและกลึงผิวใน

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

งานกลึงพิเศษ เป็นการกลึงที่มีการใช้อุปกรณ์เสริมอื่น ๆ เช่น ตัวขึ้นสาย หรือกรณีที่มีงานกัด (Milling) เข้ามารวมด้วย หรือเรียกเป็นงาน Mill-Turn โดยใช้ทั้งเครื่องกลึงและเครื่องกัด หรือใช้เครื่องกลึงแบบ 3 แกนที่มี Driven Tools



รูปที่ 2.20 รูปตัวอย่างการขึ้นรูปพื้นฐานโดยกระบวนการกลึง  
ที่มา : <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc>

## 2.2 ความหมายของซีเอ็นซี

เครื่องจักรกลซีเอ็นซี (CNC ซึ่งย่อมาจาก Computer Numerical Control) หมายถึง เครื่องจักรกลที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ซึ่งจะมีคอมพิวเตอร์ที่สามารถเข้าใจตัวเลขและตัวอักษรหรือโปรแกรมที่ป้อน และขณะเดียวกันจะใช้คอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมเครื่องจักรจากคำสั่ง หรือโค้ดในโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปโดยโปรแกรมหักล้างสามารถป้อนเข้าคอมพิวเตอร์โดยใช้

2.2.1 คีย์บอร์ด (Keyboard) หรือแป้นพิมพ์

2.2.2 สื่อบันทึกความจำ เช่น แผ่นดิสก์ แถบเทปแม่เหล็ก และแถบเทปกระดาษ

2.2.3 ระบบสื่อสารเชื่อมโยงข้อมูล เช่น สายส่งสัญญาณ RS 232

อักษร C ย่อมาจาก Computer หมายถึง คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักร

อักษร N ย่อมาจาก Numerical หมายถึง ตัวเลข 0 ถึง 9 ตัวอักษร หรือ โค้ดเช่น A, B, C ถึง Z และสัญลักษณ์อื่นๆ เช่น เครื่อง +, - และ %

อักษร C ย่อมาจาก Control หมายถึง การควบคุมโดยกำหนดค่า หรือตำแหน่งจริงที่ต้องการ เพื่อให้เครื่องจักรทำงานให้ได้ค่าตามที่กำหนด ดังนั้น เครื่องจักรกลซีเอ็นซี จะมีคอมพิวเตอร์ที่สามารถเข้าใจตัวเลขและตัวอักษร หรือ โปรแกรมที่ป้อนและในขณะเดียวกัน จะใช้คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่องจักรจากคำสั่งหรือโค้ดในโปรแกรมที่ป้อนให้

## 2.3 การทำงานของเครื่องจักรกล CNC

หลักการการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซีจะคล้ายกับเครื่องจักรกลทั่วไป โดยพื้นฐานแล้วเครื่องซีเอ็นซีจะผลิตชิ้นงานเหมือนเครื่องจักรทั่วไป แต่ว่าระบบควบคุมซีเอ็นซีของเครื่องจะทำงานในขั้นต่างๆ แทนช่างควบคุมเครื่อง อย่างไรก็ตามก่อนเครื่องจักรจะทำงานได้ระบบจะต้องรู้ก่อนว่าจะทำอะไร นั่นคือจะต้องป้อนโปรแกรมเข้าในระบบควบคุมก่อน

เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมแล้วจะนำไปควบคุมเครื่องจักรกลให้ทำงาน โดยแทนเครื่องจะสามารถเคลื่อนที่ได้จากการป้อนมอเตอร์ป้อน (Feed motor) ประกอบอยู่ เช่นเครื่องจักรซีเอ็นซีจะมีการเคลื่อนที่ 2 แนวแกน ก็จะมีมอเตอร์ป้อน 2 ตัว

เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมแล้วก็จะเปลี่ยนโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เมื่อควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมนี้ยังน้อยเกินไปไม่สามารถขับหมุนมอเตอร์ให้ทำงานได้ ดังนั้นต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับเคลื่อน (Drive amplified) และส่งต่อไปยังมอเตอร์ป้อนของแนวแกนการเคลื่อนที่ ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน จะต้องกำหนดให้ระบบควบคุมรู้ ช่วงที่ทำการควบคุมเครื่องอาศัยสายตามองดูตำแหน่งของคมตัดกับชิ้นงาน ก็จะต้องรู้ว่าต้องเลื่อนแท่นเลื่อนไปที่ทิศทางใดแต่ระบบซีเอ็นซีมองไม่เห็น จึงต้องมีอุปกรณ์บอกตำแหน่ง เรียกว่าระบบวัดขนาด (Measuring System) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระยะทางที่แท่นเลื่อนที่กลับไปยังระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมรู้ว่าแท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใดแล้ว

หลังจากการควบคุมทำงานดังกล่าว ที่ให้เครื่องจักรซีเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างและขนาดตามต้องการ ได้จากลักษณะสร้างและการทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรกลทั่วไป ทำให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอัตโนมัติ และปริมาณความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

## 2.4 ข้อเสียของเครื่องจักรกล CNC

2.4.1 มีราคาแพง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

2.4.2 ค่าซ่อมแซมสูง การซ่อมแซมมีความซับซ้อน เพราะมีทั้ง ฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์ รวมถึงคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์

2.4.3 อุปกรณ์และซอฟต์แวร์เสริม (Option) มีราคาสูงและต้องซื้อจากผู้ผลิตนั้นๆ เท่านั้น

2.4.4 ต้องมีความรู้พื้นฐานคณิตศาสตร์พอควรในการเขียนโปรแกรม

2.4.5 ต้องมีพื้นที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เขียนโปรแกรม

2.4.6 ต้องหางานป้อนให้เครื่องทำประจำอย่างสม่ำเสมอ

2.4.7 ไม่เหมาะสมกับการผลิตงานจำนวนน้อยๆ

2.4.8 สัญญาค่าซ่อมบำรุงสูง

2.4.9 ชิ้นส่วนอะไหล่ในบางกรณี ต้องรอจากต่างประเทศ

2.4.10 คอนโทรลเลอร์ เป็นภาษาอังกฤษ ช่วงต้องเรียนรู้ และมีการรับการฝึกอบรมการใช้เครื่องและการเขียนโปรแกรมก่อนเริ่มใช้เครื่องได้

## 2.5 ความเร็วตัด (Cutting speed)

ความเร็วตัด (Cutting speed) คือความเร็วที่คมมีดกลึงตัด หรือปาดผิวโลหะออก เมื่อโลหะหมุนครบรอบ 1 รอบคมมีดกลึงก็จะตัด โลหะเป็นแนวตัดยาวเท่าเส้นรอบวงพอดี ความเร็วตัดมีหน่วยเป็นเมตร/วินาที หลักเกณฑ์การเลือกใช้ความเร็วตัดมีดังนี้ คือ

2.5.1 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting tools) ที่ทำมาจากเหล็กความเร็วสูง (High Speed Steel) สามารถใช้ความเร็วตัดเป็น 2 เท่า ของความเร็วตัดของมีดที่ทำมาจากวัสดุเหล็กคาร์บอน ส่วนวัสดุคมตัดที่มีส่วนผสมพิเศษออกไปสามารถใช้ความเร็วตัดได้สูงกว่าเหล็กความเร็วสูง

2.5.2 ชนิดของวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการตัดเฉือน โดยทั่วไปวัสดุงานที่แข็งมากจะใช้ความเร็วตัดช้ากว่าวัสดุที่อ่อนกว่า

2.5.3 รูปร่างของคมตัด (Form Cutting Tool) มีผลต่อการทำงานมาก เช่น มีดตัดงานขนาด จะใช้ความเร็วรอบต่ำกว่ามีดกลึงปอกผิว

2.5.4 ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ถ้าป้อนตัดลึกจะใช้ความเร็วรอบน้อยกว่าป้อนตื้น

2.5.5 อัตราป้อน (Rate of Feed) ในการป้อนตัดงานหยาบ เช่น อัตราป้อน 4 mm. ความเร็วที่ใช้ในการตัดจะต่ำกว่าการป้อนตัดขั้นสุดท้าย เช่น อัตราป้อนตัด 0.15 mm. เป็นต้น จะใช้ความเร็วรอบได้สูง

2.5.6 การระบายความร้อน (Cutting lubricant) ความเร็วตัดของวัสดุของชนิดอาจเพิ่มให้สูงขึ้นได้เมื่อมีการระบายความร้อนที่ถูกต้อง ซึ่งสารระบายความร้อนนี้ จะช่วยรักษาอุณหภูมิของคมตัดไม่ให้ความร้อนสูงเกินไปขณะทำงาน

2.5.7 การจับงานให้มั่นคงแข็งแรง (Rigidity of the Work) ในกรณีงานที่ถูกจับด้วยหัวจับโผล่ออกมาสั้นๆ จะใช้ความเร็วได้สูงกว่างานที่ถูกจับโผล่ออกมายาวๆ

2.5.8 ความสามารถของสภาพเครื่อง เครื่องที่แข็งแรงมีกำลังสูง สามารถใช้ความเร็วตัดได้สูง อย่างไรก็ตามอย่าใช้สูงจนคมตัดใหม่

## 2.6 กฎทั่วไปในการใช้ความเร็วตัด และอัตราป้อน

ถ้า Feed อัตราป้อน (mm/min.) เพิ่ม speed ความเร็ว (rpm.) ต้องลดลงเมื่อความลึกของการตัดคงที่

ถ้า Speed ความเร็วเพิ่ม Feed อัตราป้อน ต้องลดลงเมื่อความลึกของการตัดคงที่

ถ้าความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น Speed ต้องลดลงเมื่อ Feed คงที่

ผลกระทบของความเร็วตัดที่มีต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง (Effect of Cutting Speed) ในการตัดเฉือนชิ้นงาน ถ้าใช้ความเร็วตัดที่ไม่เหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขของงานซึ่งได้แก่ วัสดุงาน วัสดุมีด ขนาดของชิ้นงาน ฯลฯ ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานเพิ่มขึ้นได้ เช่นถ้าใช้ความเร็วตัดสูงเกินไปก็จะทำให้มีดกลึงสึกหรอได้เร็วกว่าปกติ นั่นก็คืออายุการใช้งานของมีดกลึงสั้นลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่จะต้องลับมีดอยู่บ่อยๆ ทำให้เสียเวลาในการทำงาน คือเสียเวลาในการลับมีดและเสียเวลาในการติดตั้งมีดใหม่อีกด้วย ซึ่งเป็นการลดความสามารถ และจำนวนผลิตชิ้นงานเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำงานโดยใช้เหตุ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดและอายุการใช้งานของมีดกลึงนั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้ ขณะที่ใช้ความเร็วตัดต่ำๆ การสึกหรอของมีดจะเป็นไปอย่างช้าๆ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจากการเสียดสีระหว่างมีดกลึงกับชิ้นงานจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าใช้ความเร็วตัดสูงขึ้นความร้อนระหว่างผิวมีดกลึงกับชิ้นงาน และเศษตัดจะเกิดมากขึ้น ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอที่บริเวณผิวของมีดกลึงกับชิ้นงานที่เสียดสีกัน ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงสั้น โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดและอายุการใช้งานของมีดกลึง ได้โดยสมการของ Taylor

## 2.7 อัตราป้อน

อัตราป้อน หมายถึง ระยะทางการเคลื่อนป้อนของมีด ไปตามความยาวของชิ้นงาน ในแต่ละรอบของการหมุนของเพลลาของเครื่องหรือการป้อนตัด อาจพิจารณาจากความหนาของเศษตัด (Chips) การป้อนตัด 0.5 mm. หมายถึง มีดตัดเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 0.5 mm. ตามความยาวของชิ้นงาน ขณะที่ชิ้นงานหมุน 1 รอบ

การกลึงหยาบ ใช้อัตราป้อนที่สูง มีดตัดชิ้นงานได้ปริมาณเศษมาก ผิวงานออกมาไม่เรียบ

การกลึงละเอียด อัตราป้อนที่น้อย ทำให้ผิวงานเรียบ ส่วนมากจะใช้กลึงในขั้นสุดท้ายจะได้ผิวเรียบและขนาดถูกต้องในทางปฏิบัติที่ดีที่สุด

การเลือกใช้ความลึกในการตัดปานกลางขณะทำการป้อนตัดหนักๆ และใช้ความเร็วตัดให้ถูกต้อง เมื่อกลึงงานหยาบ ถ้าต้องการให้กลึงงานผิวเรียบในขั้นสุดท้ายให้เพิ่มความเร็วตัดมากขึ้น การป้อนกินลึกน้อยลง พร้อมกับให้อัตราการป้อนตัดละเอียดให้สัมพันธ์กัน ในกรณีที่ใช้ความลึก

ในการตัดมาก และอัตราป้อนตัดน้อยๆ จะดีกว่าการใช้ความลึกในการตัดเท่ากับอัตราป้อนตัดถึงแม้ว่าอัตราการไหลของเศษโลหะจะเท่ากัน

## 2.8 วิธีคำนวณความเร็วรอบของเครื่องกลึง

วิธีการคำนวณระยะกลึงปาดหน้า แตกต่างกันตามลักษณะดังนี้

### 2.8.1 งานกลม (ตัน)

ระยะทางป้อนกลึงปาดหน้า = ขนาดของชิ้นงานที่กลึง  $m/2$

$$\text{หรือ } L = \frac{D}{2} \quad (2.1)$$

$L$  คือ ระยะป้อนกลึงปาดหน้า

$D$  คือ ขนาดชิ้นงานที่กลึง

2 คือ ตัวหาร ให้ผลลัพธ์เป็นครึ่งหนึ่งของขนาดชิ้นงานที่จะกลึง

### 2.8.2 งานกลมกลวง (มีหน้าตัดเป็นวงแหวน)

$$\text{ระยะทางป้อนกลึงปาดหน้า } L = \frac{D_1 - D_2}{2} \quad (2.2)$$

$L$  คือ ระยะป้อนกลึงปาดหน้า

$D_1$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก

$D_2$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

สำหรับการกลึงปอกผิวชิ้นงานกลมยาวๆ ต้องใช้กันกลึงสะท้อนอยู่กับที่ช่วยด้วย โดยการใช้กันกลึงสะท้อนอยู่กับที่ จับชิ้นงานกลมยาวๆ ต้องใช้กันกลึงสะท้อนตามช่วยด้วย

### 2.8.3 วิธีคำนวณเวลากลึงปอก

การกลึงปอกผิวชิ้นงานจะกลึงขนานไปกับแนวชิ้นงานจำนวน 1 ครั้ง ถ้าความกว้างของรอยกลึงมีค่า  $S$  mm/r และกลึงชิ้นงานยาวเท่ากับ 1 มิลลิเมตร เพราะฉะนั้นชิ้นงานหมุนได้  $1/S$  รอบ จึงกลึงผิวชิ้นงานได้หมดครึ่งหนึ่งพอดี แต่ความเร็วรอบของชิ้นงานคือ  $n$  rpm หรือในเวลา 1 min. หมุนได้จำนวนรอบ  $n$  และถ้าหมุนได้ครบจำนวน 1 รอบ ต้องใช้เวลาหมุนนาน  $1/n$  rpm

เพราะฉะนั้น เวลากลึงปอกผิวชิ้นงานครึ่งหนึ่ง =  $(1/S) \times (1/n)$  rpm

$$\text{หรือ } = 1/(S \times n) \text{ rpm}$$

$$\text{สูตรเวลากลึงปอก} = \frac{\text{ความยาวของงานที่จะกลึง} \times \text{จำนวนครั้งที่กลึงออก}}{\text{ความกว้างของรอยกลึง} \times \text{ความเร็วรอบ}} \quad (2.3)$$

จากสูตรหาความเร็วรอบ

$$n = \frac{V \times 1000}{D \times \pi} \quad (2.4)$$

สูตรการหาเวลากลับปอก

$$th = \frac{L \times i \times D}{S \times V \times 1000} \quad (2.5)$$

กำหนดให้ Th คือเวลากลับปอก

L คือ ความยาวของงานที่จะกลึง (รวมทั้งช่วงหน้าและหลังมีด) (mm)

i คือ จำนวนครั้งที่กลึงออก (ครั้ง)

D คือ ขนาดของงานที่จะกลึง (mm)

S คือ ความกว้างของรอยกลึง (mm/r)

V คือ ความเร็วการตัด (m/min)

n คือ ความเร็วรอบ (rpm)

อายุคมมีดละความเร็วตัดกลึง มีสัญลักษณ์ดังนี้

30 = m/min หมายถึงอายุคมมีด 60 min ความเร็วตัดกลึง 30 m/min

24 = m/min หมายถึงอายุคมมีด 240 min ความเร็วตัดกลึง 24 m/min

หมายเหตุ อายุคมมีดคือ เวลาที่ใช้มีดกลึงชิ้นงานจริงๆ จนกระทั่งนำไปลับใหม่ให้คมอีกครั้งหนึ่ง ถ้าใช้ความเร็วตัดกลึงมากกว่าอายุมีดคมจะน้อยลง สังเกตได้จากประสบการณ์

#### 2.8.4 วิธีการคำนวณความเร็วรอบของเครื่องกลึง

$$\text{สูตร } V = \frac{n \times \pi \times D}{1000} \quad (2.6)$$

กำหนดให้ v คือ ความเร็วการตัด (m/min)

d คือ ขนาดของชิ้นงานที่จะกลึง (mm)

n คือ ความเร็วรอบของเครื่องกลึง (rpm)

### 2.9 การวัดความเรียบผิว

ในอดีตนั้นความเรียบของผิวไม่มีความสำคัญเท่าปัจจุบันนี้ เพราะฉะนั้นเครื่องจักรและรถยนต์ต่างๆ จึงกำหนดให้ใช้ได้ทนยิ่งขึ้นเพื่อจะป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นจากความเสียดทานจะเป็นเหตุให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรจึงกำหนดเป็นมาตรฐานเสมอ เป็นหยาบ ปานกลาง และละเอียด ที่เป็นชนิดของความเรียบที่แสดงให้ทราบโดยกรรมวิธี (คว้านด้วยดอกคว้าน (Ream) เจียรระโน (Grimo) ขัด (Lap) ฯลฯ) ดังนั้นความเรียบของผิวจึงมักจะตรวจสอบโดยใช้มือลูบไปตามผิว เพื่อแสดงถึง



ความไม่สม่ำเสมอ ส่วนการด้วยตาเปล่าจะใช้อีกด้วย แต่จะไม่ปฏิบัติกับผิวมันที่ไม่จำเป็นต้องแสดงให้เห็นถึงผิวละเอียด

เทคโนโลยีในสมัยใหม่จึงมีความเรียบของผิวที่ทำให้ดีขึ้นตามประเภทการใช้ ลูกสูบ (Pistons) แบริ่ง (Bearing) และเฟืองต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความเรียบของผิวที่ดีมากที่สุดสำหรับการใช้งานที่ถูกต้อง ดังนั้น จึงบังคับขึ้นเล็กน้อยหรือเวลาที่ทำไม่ลดลงมีความเรียบดีกว่าเมื่อบังคับให้ปฏิบัติเพิ่มขึ้นเสมอ เช่น การขัดด้วยแผ่น โลหะหรือสารเชิงทราย (Lapping) หรือการขัดด้วยหินหรือสารเชิงทราย (Honing) และค่าแรงในการผลิตแพงมาก เพื่อให้มีความเรียบตามความประสงค์จึงแสดงไว้บนแรงงานและแจ้งความรู้กับผู้ปฏิบัติเครื่องมือกลด้วยระบบของสัญลักษณ์ที่คิดค้นขึ้น โดยสมาคมมาตรฐานอเมริกัน (American Standard Association, ASA) ใช้ระบบมาตรฐานนี้ขึ้นกำหนดแสดงให้ทราบถึงความเรียบของผิวขึ้นเป็นหน่วยในการวัดความเรียบของผิวคือ ไมโครนิ้ว หรือ ไมโครเมตร เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความเรียบของผิวโดยมาก คือ เครื่องแสดงผิว (Surface indicator)

เครื่องนี้ประกอบด้วยเทรเซอร์เฮด (Tracer Head) และเครื่องขยาย (Amplifier) ซึ่งโครงของเทรเซอร์เฮดเป็นปลายแหลมเส้นตัดกัน (Diamond Stylus) มีรัศมีที่ปลาย 0.0005" (0.01 mm) รองรับการเคลื่อนติดอยู่กับชั้นผิวงานที่อาจจะเคลื่อนที่ไปตามผิวงานด้วยมือหรือจับด้วยมอเตอร์ เมื่อปลายแหลมเคลื่อนที่ไปบนผิวที่ไม่สม่ำเสมอแล้วจะเปลี่ยนเป็น ไฟขึ้นๆ ลงๆ โดยเทรเซอร์เฮด สัญญาณเหล่านี้ขยายให้เห็น โดยเครื่องขยายและแสดงที่มิเตอร์ด้วยเข็มแล้ว อ่านจากที่แสดงที่มิเตอร์เป็นไมโครนิ้ว (ไมโครเมตร) โดยเฉลี่ยความสูงของความหยาบของผิวหรือการยื่นออกของผิวนี้นอกจากที่เกี่ยวข้อง (ศูนย์กลาง)

การอ่านอาจจะเป็นไปได้ทั้งเฉลี่ยตัวเลข หรือรากที่สอง (Root Mean Square (RMS)) ตามปกติรูปตัดตามขวางของชิ้นงานจะขยายได้มากขึ้น เพื่อที่จะคำนวณความเรียบของผิวโดยไม่มีเครื่องแสดงผิวและความสูงของการเบี่ยงเบนเหล่านี้จะต้องวัดและบันทึกไว้ เป็นตัวแรกหรือรากที่สอง เป็นวิธีที่ดีที่สุดที่จะหาความหยาบของผิวดังนั้นการเบี่ยงเบนจึงมีมากเป็นพิเศษ

สำหรับการหาความเที่ยงขนาดของความเรียบของผิวด้วยเครื่องแสดงนั้น ชั้นแรกจะต้องแก้ไขขนาดความผิดพลาดโดยการตั้งกับผิวที่มีความเกี่ยวข้องชนิดละเอียดอยู่บนแท่งทดสอบที่แก้ขนาดความผิดพลาดกับมาตรฐาน (ASA)

## 2.10 คำจำกัดความของความเรียบของผิว (Surface finish definitions)

การเบี่ยงเบนของผิว (Surface Deviations) คือ การขึ้นจากผิวปกติเป็นรูปต่างๆ ของลูกคลื่น ความหยาบ คำหนี จักคลื่น และรูปด้านข้าง

ลูกคลื่น (Waviness) เกี่ยวข้องกับความไม่สม่ำเสมอของลูกคลื่นที่เบี่ยงเบนออกจากผิวเฉลี่ย ในรูปลูกคลื่น ซึ่งอาจจะเกิดจากการสั่นของเครื่องหรือชิ้นงาน โดยทั่วๆ ไปแล้วจะมีระยะขยายไปกว้าง

ความหยาบ (Roughness) มีความสัมพันธ์เฉลี่ยของระยะละเอียดที่ไม่สม่ำเสมอของลูกคลื่น และเกิดขึ้นจากเครื่องมือตัดหรือการกร่อนของเม็ดแกรนสารเชิงทรายด้วยความเร็วป้อนของเครื่อง ซึ่งไม่มีความสม่ำเสมอเหล่านี้จะแคบมากกว่าลูกคลื่น

คำหนี (Flaw) คือ ความไม่สม่ำเสมอ เช่นรอยขีด รอยแตก ลัน หรือโพรงที่ไม่เป็นไปตามแบบสม่ำเสมอในกรณีนี้จะเกิดขึ้นในลูกคลื่นและความหยาบ

จักคลื่น (Lay) คือ ทิศทางของแบบผิวที่ตกลงกันได้เกิดขึ้นจากกรรมวิธีของการใช้เครื่องทำ

รูปด้านข้าง (Profile) คือ รูปร่างที่กำหนดตลอดหน้าตัดของผิว

ไมโครนิ้ว (Micro inch) คือ หน่วยของการวัดที่ใช้วัดความเรียบของผิว

สัญลักษณ์ที่แสดงให้ทิศทางที่จักคลื่นดังนี้

|| คือสัญลักษณ์ที่ขนานกับเส้นขอบเขตของผิว

└ คือสัญลักษณ์ที่ตั้งฉากกับเส้นขอบเขตของผิว

X คือสัญลักษณ์ที่เป็นเชิงมุมทั้งสองทิศทางบนผิว

M คือหลายทิศทาง

C คือสัญลักษณ์ของวงกลมประมาณกับศูนย์กลางของผิว

R คือสัญลักษณ์ของรัศมีที่มีประมาณสัมพันธ์กับศูนย์กลางของผิว

ค่าเฉลี่ยความหยาบของผิวที่ผลิตขึ้นจากกรรมวิธีการใช้เครื่องมาตรฐาน เป็นไมโครนิ้ว และ ไมโครเมตร

	ไมโครนิ้ว	ไมโครเมตร
การกลึง	100-250	2.54-6.35
การเจาะ	100-200	2.54-5.08
การคว้านด้วยดอกคว้าน	50-150	1.27-3.81
การเจียรระโน	20-100	0.50-2.54
การขัดด้วยหินขัด(Mowing)	5-20	0.12-0.50
การขัดด้วยสารเชิงทราย(Lapping)	1-10	0.02-0.25

## 2.11 วิธีวัดความเรียบของผิวด้วยเครื่องแสดงผิว

2.11.1 เปิดสวิตช์และอุ่นเครื่อง (Warm-up) ประมาณ 3 นาที

2.11.2 ตรวจสอบแก่นขนาดความผิดพลาดของเครื่อง โดยเคลื่อนสายแหลม (Stylus) ไปตามแท่งทดสอบ 125 ไมโครนิ้ว (3.1 ไมโครเมตร) ประมาณ 1/8" ต่อวินาที (3 มม.ต่อวินาที)

2.11.3 ถ้ามีความจำเป็นให้ปรับเครื่องควบคุมการแก่นขนาดความผิดพลาดจนเข้มเช่นเดียวกับแท่งทดสอบ

2.11.4 จะต้องใช้ค่าตัดออก (Cut-off Value) 0.30 (0.8 mm.) เสมอจนกว่าถ้าผิวที่น้อยกว่า 30 ไมโครนิ้ว (1 ไมโครเมตร จะใช้ค่าตัดออก 0.010 (0.25 mm.))

หมายเหตุ เมื่อวัดผิวที่ไม่ทราบขนาดในทางปฏิบัติที่ดีควรจะต้องตั้งสวิตช์ให้ระยะสวิตช์สูงเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายกับเครื่องมือที่เริ่มทดสอบแล้วระยะสวิตช์อาจจะหมุน ไปตั้งที่ละเอียดเพื่อให้อ่านผิวเที่ยงขนาดยิ่งขึ้น

2.11.5 ทำความสะอาดผิวที่ทำกรวัดให้ทั่วถึง จะทำให้การอ่านค่ามีความเที่ยงขนาดและลดการสึกหรอของฝาปิดลายแหลม (Stylus)

2.11.6 ถ้าอยู่กับผิวละเอียดแล้วลายสัมผัส (Stylus) จะเคลื่อนที่สม่ำเสมอกับผิวงานประมาณ 0.80" ต่อวินาทีหรือ 4.800" ต่อนาที (2 mm. ต่อวินาที หรือ 120 mm. ต่อนาที)

2.11.7 บันทึกค่าที่อ่าน ไมโครนิ้วหรือ ไมโครเมตร จากมิเตอร์สเกลไว้ เครื่องมือเพิ่มเติมสำหรับการวัดความเรียบผิวมีอยู่มากซึ่งเป็นเครื่องวิเคราะห์ความเรียบผิวเมื่อนำมารวมเข้าด้วยกัน บันทึกเป็นเส้นกราฟที่ผิวไม่สม่ำเสมออยู่บนกราฟ

ถึงแม้ว่าเครื่องแสดงผิวมีวิธีใช้มากอยู่แล้วก็ตาม แต่ยังมีวิธีที่จะใช้วัดความเรียบของผิวที่อยู่ในระหว่างกรรมวิธีที่ใช้เครื่องมือที่มีความเที่ยงตรง สมเหตุสมผล

## 2.12 เครื่องทดสอบความหยาบของผิว (Surface roughness tester)

เครื่องทดสอบผิวนี้นี้จะใช้ในการวัดความหยาบของผิวในเทอมของ  $R_a$  (ใช้เลขคณิตหาตัวกลางการเบี่ยงเบน) หรือ  $R_q$  (กำหนดขึ้นจากมาตรฐานเยอรมัน) จึงอ่าน  $R_a$  และ  $R_q$  โดยตรงจากมิเตอร์ เมื่อนำเครื่องบันทึกมารวมเข้าด้วยกันแล้วจะบันทึกออกมาได้เช่นเดียวกัน

เครื่องทดสอบประกอบด้วยเครื่องสามตัว คือ เครื่องรับคลื่น เครื่องขับ และเครื่องขยายมีมิเตอร์อยู่ด้วย

เครื่องรับคลื่น อยู่สคิด (Skid) ลาก (Trace) ไปบนผิวที่ไม่สม่ำเสมอให้ลายแหลมเส้นตัดกัน (Diamond Tipped Stylus) รัศมี  $1.5 \mu\text{m}$  (0.005") มุม 60 องศาใช้แรงน้อยกว่า 1.5 gf มีระยะเคลื่อนที่ขึ้นลง

15067625 e.2

เครื่องขยายและมิเตอร์ติดอยู่ มีทั้งที่กำหนดขึ้นเป็นระบบเมตริก หรือ เมตริก/อังกฤษ ขนาด 0.3  $\mu\text{m}$  (10  $\mu\text{-inch}$  ถึง 3000  $\mu\text{-inch}$ ) เครื่องจับ 0.02  $\mu\text{m}$  ถึง 5.0  $\mu\text{m}$  (0.5  $\mu\text{-inch}$  ถึง 200  $\mu\text{-inch}$ ) ค่าตัดออก (Cut-off Value) 6 mm. (0.240") per min. ใช้ขนาด 2.5 mm. (1") ถึง 0.25 mm. (0.01") และ 2 mm. (0.808") per sec ใช้ขนาด 0.8 mm. (0.030") ถึง 0.08 mm. (0.003")

แรงขับเคลื่อนและเครื่องรับคลื่นขนาด 6 mm. (240") per sec หรือ 2 mm/sec คลื่นละเอียดมีความเร็วเที่ยงขนาดแน่นอนและไวใจได้

เครื่องนี้เป็นทรานซิสเตอร์อยู่ร่วมกับวงจรพิมพ์มีความสามารถให้จุดต่างๆ ที่เส้นผลิดออกมา สำหรับกรรมวิธีตรวจที่อยู่ระหว่างกลางของความหยาบของผิว

เครื่องบันทึกผิว เมื่อนำไปใช้ร่วมกับเครื่องทดสอบผิวแล้ว จะบันทึก  $R_a$  ออกมาสำหรับผู้ตรวจใช้สะดวกยิ่งขึ้น

เครื่องลากด้วยมือ (Hand Tracer) ใช้สำหรับวัดผิวเว้า (Concave) หรือนูน (Convex) ที่เครื่องรับคลื่น รับคลื่นมาตรฐานอยู่กับเครื่องจับไม่สามารถที่จะใช้ได้จึงใช้เครื่องชนิดนี้โดยลายแหลม (Stylus) รองรับ โดยที่สติดั้งสามจึงทำให้วัดได้สม่ำเสมอแน่นอน

ป.ร.

ก281ก

2562

e.2

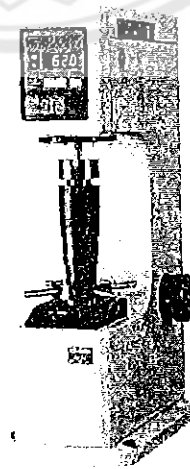
### 2.13 การทดสอบความแข็งแบบ Rockwell

การวัดความแข็งแบบรอกเวลล์ (Rockwell Hardness test) ในการปฏิบัติการทางวัสดุศาสตร์นี้ เราจะใช้การวัดความแข็งแบบ Rockwell หัวกดที่ใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ

1) Diamond Cone 120° (เพชรทรงกรวย) ใช้กับโลหะแข็ง

2) Steel Ball (เหล็กกล้าทรงกลม) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/16, 1/8, 1/4 หรือ 1/2 นิ้ว ใช้กับ

โลหะทั่วไป



รูปที่ 2.21 เครื่องทดสอบแบบ Rockwell Hardness Test

### วิธีการใช้เครื่อง ROCKWELL SCALE HARDNESS TESTER

- 1) เลือกหัวกด และ Load ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุ
- 2) วางชิ้นงานบนฐานรอง (Anvil) หมุนฐานรองขึ้นให้หัวกดสัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงาน เครื่องจะกดผิวหน้าโดยใช้ Minor Load
- 3) ใช้มือทั้งสองข้างหมุนแขน handle ตามเข็มนาฬิกาอย่างสม่ำเสมอ จนเข็มทั้ง 2 บนหน้าปัดเข้าไปอยู่ในตำแหน่ง SET แล้วหยุด หากหมุนเกินให้เปลี่ยนตำแหน่งวัด แล้วเริ่มต้นใหม่
- 4) กดแป้นสปริงให้ไฟดับ The load control จะเริ่มกดชิ้นงาน โดย Major load
- 5) เมื่อไฟติดอีกครั้ง อ่านค่าความแข็งที่ได้จากหน้าปัด
- 6) หมุนฐานรองลง วัดตำแหน่งต่อไป

### ข้อควรระวัง

- 1) ระวังอย่าให้ชิ้นงานกระแทกกับหัวกดในขณะที่นำชิ้นงานวางหรือเอาออกจากฐานรอง
- 2) ใช้ Load ให้เหมาะสมกับ Scale และประเภทของชิ้นงาน
- 3) หมุน Handle ไล่ Load อย่างสม่ำเสมอ
- 4) Set Load duration time switch ที่ Auto Unload
- 5) ชิ้นงานที่จะนำมาวัดความแข็ง ต้องผ่านการขัดผิวหน้า โยผงขัดมันอย่างน้อย 6  $\mu\text{m}$  และด้านฐานต้องเรียบเสียก่อน มิเช่นนั้นชุดเครื่องมือและหัวกดจะได้รับความเสียหายได้
- 6) จุดวัดความแข็งไม่ควรอยู่ใกล้กันมากเกินไป

## 2.14 เหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steels หรือ Plain Carbon steels) หมายถึง เหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของธาตุคาร์บอน เป็นธาตุหลักที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกล คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของเหล็ก และยังมีธาตุอื่นผสมอยู่อีก ซึ่งแบ่งเหล็กกล้าออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.14.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steels หรือ Mild Steels) บางครั้งเรียกว่า เหล็กเหนียว มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.25% นอกจากคาร์บอนแล้ว ยังมีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วย เช่น แมงกานีส ซิลิกอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน แต่มีปริมาณน้อย เนื่องจากหลงเหลือมาจากกระบวนการผลิต เหล็กประเภทนี้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรม และในชีวิตประจำวันไม่ต่ำกว่า 90% เนื่องจากสามารถนำไปขึ้นรูปได้ง่าย ทำการเชื่อมง่าย และราคาไม่แพง โดยเฉพาะเหล็กแผ่นมีการนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เช่น ตัวรถถังรถยนต์ ชิ้นส่วนยานยนต์ต่างๆ กระจังรถจักรยาน สังกะสีมุงหลังคา เครื่องใช้ในครัวเรือน และเครื่องใช้ในสำนักงาน

2.14.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steels) มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 0.2-0.5% มีความแข็งแรงและความเค้นแรงดึงมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แต่จะมีความเหนียวน้อยกว่า สามารถนำไปปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน หรือชุบแข็งได้ เหมาะกับงานทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รางรถไฟ เฟือง ก้านสูบ ท่อเหล็ก ไบควง

2.14.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steels) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 0.5-1.5% มีความแข็ง ความแข็งแรง และความเค้นแรงดึงสูง เมื่อชุบแข็งแล้วจะเหมาะสมสำหรับงานที่ทนต่อการสึกหรอ เหล็กกล้าประเภทนี้สามารถนำมาทำเป็นวัสดุคมตัด เครื่องมือ สปริงแหนบ และลูกปืน เป็นต้น

## 2.15 ธาตุที่ผสมในเหล็กกล้าคาร์บอน

2.15.1 คาร์บอน ทำให้เหล็กมีความสามารถในการชุบแข็งเพิ่มขึ้น มีค่าความแข็งและแข็งแรง

2.15.2 โครเมียม เพิ่มคุณสมบัติทางด้านความแข็ง ความแข็งแรง ความสามารถในการชุบแข็ง ด้านทานการกัดกร่อนและคงความแข็ง ณ อุณหภูมิสูง

2.15.3 นิกเกิลทำให้เหล็กมีเกรนละเอียด เพิ่มความสามารถทางด้านการรับแรงกระทำกะทันหัน (Shock Load) ความเหนียว ความสามารถในการชุบแข็ง และเพิ่มคุณสมบัติด้านการเชื่อม

2.15.4 ซิลิกอน เป็นธาตุที่สามารถลดการเกิดออกไซด์ ในน้ำเหล็กได้ดี เพิ่มความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน เพิ่มความต้านทานการเกิดสะเก็ดสนิม ที่อุณหภูมิสูง รวมทั้งคาร์บอนในเนื้อเหล็ก เกิดเป็นซิลิกอนคาร์ไบด์ ทำให้แข็งมากขึ้น แต่จะเปราะและแตกหักง่าย และถ้ามีมากเกินไปทำให้ชุบแข็งได้ไม่ดี

2.15.5 ฟอสฟอรัส ทำให้น้ำโลหะมีการไหลตัวในแบบหล่อได้ดี มีการยึดตัว หรือการขยายตัวต่ำ และการทนต่อแรงกระแทกไม่ดี

2.15.6 แมงกานีส รับแรงกระแทกได้ดี สามารถทำการชุบแข็งได้ดี ทนต่อการสึกหรอ และสามารถเพิ่มความแข็งแรง ความแข็ง แต่ความเหนียวจะลดน้อยลง

2.15.7 โมลิบดีนัม รักษาความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง ทนต่อการกัดกร่อน เพิ่มความแข็ง และมีคุณสมบัติในการตีขึ้นรูป และอัตราการขยายตัวได้ไม่ดี

2.15.8 วานาเดียม สามารถทำการชุบแข็งได้ดี เพิ่มความแข็ง ความเหนียว รักษาความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง และสามารถป้องกันการขยายตัวของออสเตนไนท์ได้ดี

2.15.9 ทังสเตน สามารถทำการชุบแข็งได้ดี เพิ่มความแข็งแรง ความแข็ง ทนต่อการกัดกร่อน รักษาความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง รักษาความคมของคมตัดได้ดี และต้านทานต่อการสึกหรอ

2.15.10 โคบอลต์ เพิ่มความแข็ง รักษาความคมของคมตัดได้ดีและต้านทานต่อการสึกหรอ

**2.16 เหล็ก AISI 4140**

**2.16.1 คุณสมบัติของเหล็ก AISI 4140**

คุณลักษณะของเหล็ก AISI 4140 เป็นเหล็กกล้าผสมที่มีถ่านคาร์บอนเป็นส่วนผสม ในช่วงปานกลางเป็นเหล็กที่นิยมใช้ทั่วไป ราคาถูก ถ้าเปรียบเทียบกับคุณสมบัติที่มีความแข็งแรง

ความแข็งแรงในช่วง 54-59 HRC ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนประกอบของเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ความสามารถในการกลึง การไสขึ้นรูปอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ ความสามารถในการตีขึ้นรูปดี มากที่อุณหภูมิประมาณ 880-1230 องศาเซลเซียส ข้อเสีย คือเมื่อทำการเชื่อมจะเกิดรอยแตกร้าว

**2.16.2 ส่วนประกอบของเหล็ก AISI 4140**

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของเหล็ก AISI 4140

ธาตุ	คาร์บอน	แมงกานีส	ฟอสฟอรัส	กำมะถัน	ซิลิกอน	โครเมียม	โมลิบดีนัม
%	0.43-3.8	0.75-1.00	0-0.035	0.04	0.30	0.8-1.1	0.15-0.25

ที่มา : ปัทมา กางตัน, รุ่งนภา ร่องจิก. การศึกษาตัวแปรของเครื่องกลึงที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน. 2550

**2.16.3 การเพิ่มความแข็งแรงของเหล็ก AISI 4140**

ควรให้เหล็กที่อุณหภูมิสูงกว่า 850 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

**2.16.3.1 Flame Hardening**

## 2.16.3.2 Induction Hardening

## 2.16.3.3 Liquid Nitriding

## 2.16.3.4 Carbon Nitriding

## 2.16.3.5 Electron Beam Hardening

2.16.3.6 การอบชุบแข็ง ซึ่งสามารถใช้ น้ำ, น้ำเกลือและน้ำมัน ในการชุบ แต่ถ้าวัสดุมีขนาดเล็กกว่า 6.5 มิลลิเมตร ควรชุบในน้ำมันเท่านั้น ถ้าชุบในน้ำเกลือหรือน้ำจะทำให้ชิ้นงานแตกร้าวได้

## 2.17 เหล็กกล้า AISI 1022

## 2.17.1 คุณสมบัติและการใช้งาน

เหล็กเหนียวใช้สำหรับโครงสร้างทั่วไป มีคุณสมบัติในการเชื่อมที่ดี สามารถเชื่อมต่อได้ง่าย เป็นโครงสร้างต่างๆ ใช้ในการก่อสร้างตึก สร้างเรือ ก่อสร้างสะพาน หรือใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์

## 2.17.2 ส่วนประกอบของเหล็ก AISI 1022

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเหล็ก AISI 1022

ธาตุ	คาร์บอน	ฟอสฟอรัส	แมงกานีส	ซัลเฟอร์	ไอโรน
%	0.18 - 0.23	0.04 max	0.7 - 1	0.05 max	Balance

ที่มา : <http://www.suppliersonline.com/propertypages/1022.asp>

## 2.18 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of experiment) คือ การทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่มีวัตถุประสงค์ที่จะเปลี่ยนแปลง (Factor) นำเข้าของกระบวนการและสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำออกซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่าผลตอบ (Sponse) ตามรูป โดยการกำหนดให้ปัจจัย  $X_1, X_2, \dots, X_p$  เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Variably) ขณะที่  $Z_1, Z_2, \dots, Z_p$  เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) และบางครั้งเรียกว่า ปัจจัยรบกวน (Noise) ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการทดลองคือ

2.18.1 การหาปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อผล Output (Y)

2.18.2 การหาวิธีการตั้งค่าปัจจัยที่ควบคุมได้ (X) ที่มีผลต่อค่า Out put (Y) เพื่อให้ Out put (Y) ได้ค่าที่ต้องการ



2.18.3 การหาวิธีการตั้งค่าปัจจัยที่ควบคุมได้ (X) ที่มีผลต่อค่า Out put (Y) เพื่อให้ Out put (Y) มีค่าน้อย

2.18.4 การหาวิธีการตั้ง (X) ที่มีผลต่อค่า Out put (Y) เพื่อให้ผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ Z มีค่าต่ำสุด

2.18.5 หลักการพื้นฐานที่นำไปสู่ความสำเร็จในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย 7 ปัจจัยดังนี้

2.18.5.1 กำหนดวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่ต้องการศึกษาก่อนที่จะออกแบบการทดลอง ทำให้ทราบว่าปัจจัยใดที่ไม่มีผลต่อสิ่งที่กำลังศึกษา ซึ่งนำไปสู่การออกแบบการทดลองที่ดี

2.18.5.2 Out put ต้องสามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ ในการออกแบบการทดลองในหลายกรณีไม่ประสบความสำเร็จเพราะเหตุว่า Out put ที่ได้นั้นไม่สามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ

2.18.5.3 จำนวนซ้ำของการทดลองมีความสำคัญที่ทำให้พบผลที่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Signal) ในขอบเขตของความแปรปรวนในกระบวนการทางธรรมชาติ (Noise) เพื่อให้ทราบตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.18.5.4 อันดับการทดลองควรทำแบบสุ่มเพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การสึกหรอของเครื่องมือ หรือการเปลี่ยนวัตถุดิบ เป็นต้น

2.18.5.5 การจัดทำเป็นบล็อกทำให้ทราบแหล่งของความแปรปรวนโดยการแบ่งอันดับการทดลองให้อยู่ในบล็อกเดียวกันที่มีความคล้ายกัน และใช้หลักการการทางพีชคณิตแยกความแตกต่างออกมาจะทำให้เพิ่มความไวต่อการออกแบบการทดลอง

2.18.5.6 ทราบผลที่เป็นคู่แฝดแฝง คู่แฝดแฝงจะแสดงให้เห็นได้เมื่อมีการเปลี่ยนสิ่งของตั้งแต่ 2 สิ่งขึ้นไปในเวลาเดียวกันและในทิศทางเดียวกัน เช่น ถ้าพยายามศึกษา 3 ปัจจัย โดยกำหนดให้มีเพียง 4 อันดับการทดลอง โดยการใช้การทดลองแบบครึ่งจำนวน (Half Fraction) และจำทำให้ผลหลักกลายเป็นคู่แฝดของ 2 ปัจจัยที่สัมพันธ์กัน นั่นคือจะทำให้เกิดความสับสนต่อปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กัน (เช่น AB) กับปัจจัยเดี่ยว (เช่น C)

2.18.5.7 ลำดับขั้นตอนของการทดลองประกอบด้วย การกรองปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเช่นออกแบบส่วนแฟกทอเรียล (Fractional Factorial) เพื่อที่จะหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากนั้นจะออกแบบการทดลองแบบเต็มจำนวน (Full Factorial) หรือพื้นผิวผลตอบ (Response Surface) หรือสร้างแบบทดลองของผลตอบและตรวจสอบซ้ำเพื่อยืนยันผล ดังนั้นถ้าเกิดการผิดพลาดของการเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมีขนาดใหญ่่มาก นั้นหมายความว่าค่าใช้จ่ายในการทดลองจะสูงขึ้น

## 2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริญญาพนธ์ฉบับนี้ นายวาทัญญู อรรถาเวช.นายสมศักดิ์ โพธิ์สุวรรณ.นางสาวสุภัค จำรัสทอง (2546) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่อบชุบที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติเชิงกลของเหล็ก AISI 4140 โดยทำการทดสอบวัสดุ และวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบชุบและอัตราการเย็นตัวของสารชุบที่มีผลต่อความแข็ง ความทนต่อแรงกระแทก ความทนต่อแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น เปรอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น รวมทั้งศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเหล็กที่ผ่านกระบวนการอบชุบ

ผลลัพธ์ของการศึกษาพบว่าความแข็งจะแปรผันตรงกับอัตราการเย็นตัว และแปรผกผันกับอุณหภูมิอบชุบ และอุณหภูมิการอบคืนไฟ ความทนต่อแรงกระแทกจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิอบชุบ อุณหภูมิการอบคืนไฟ และอัตราการเย็นตัวของสารชุบ ความทนต่อแรงดึงแปรผกผันอุณหภูมิอบชุบอุณหภูมิการอบคืนไฟและอัตราการเย็นตัวของสารชุบ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นแปรผกผันกับอุณหภูมิอบชุบ อุณหภูมิการอบคืนไฟ และอัตราการเย็นตัวของสารชุบ เปรอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นจะไม่มีผลต่อกระบวนการอบชุบแต่จะแปรผันกับอุณหภูมิการอบคืนไฟ และแปรผกผันกับอัตราการเย็นตัวของสารชุบ โครงสร้างจุลภาคจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอบชุบ อุณหภูมิการอบคืนไฟและอัตราการเย็นตัวของสารชุบ

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- 3.1.1 ทฤษฎีเครื่องจักรกล CNC
- 3.1.2 ทฤษฎีเหล็กกล้าผสม AISI 4140 และ AISI 1022
- 3.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้เครื่องวัดความเรียบผิว
- 3.1.4 ทฤษฎีการการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

#### 3.2 การเตรียมชิ้นงาน

- 3.2.1 ตรวจสอบองค์ประกอบธาตุของเหล็ก
  - AISI 4140 จำนวนชิ้นงาน 1 ชิ้น
  - AISI 1022 จำนวนชิ้นงาน 1 ชิ้น
- 3.2.2 วัดความแข็ง
  - AISI 4140 จำนวนชิ้นงาน 1 ชิ้น
  - AISI 1022 จำนวนชิ้นงาน 1 ชิ้น

#### 3.3 ตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุ

นำเหล็กที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 3.2 มาวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุที่ผสมอยู่ในเหล็ก AISI 1022 และ AISI 4140

#### 3.4 วัดค่าความแข็ง

นำเหล็กที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 3.2 มาวัดค่าความแข็งเพื่อหาความแข็งของเหล็กทั้งสองชนิด โดยใช้การทดสอบความแข็งแบบ Rockwell

#### 3.5 การออกแบบการทดลอง

โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนที่ 3.1 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงทำการออกแบบการทดลองเป็นแฟกทอเรียล 3 แฟกทอเรียล แฟกทอเรียลละ 3 ระดับ ทำซ้ำการทดลองละ 3 ครั้ง ดังนั้นจะมีการทดลองของเหล็กแต่ละชนิดจำนวน 27 การทดลอง โดยตัวแปรของเครื่องกลึงที่ได้ศึกษา คือ ความเร็วรอบและอัตราการป้อน

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวแปรและระดับของตัวแปรที่จะศึกษา

ตัวแปรในการกลึง		ระดับของตัวแปร		
		ต่ำ (-1)	ปานกลาง (0)	สูง (+1)
A	ความเร็วรอบ (rpm)	2131	2444	2758
B	อัตราป้อน (mm./rpm)	0.05	0.1	0.15

อธิบายตารางที่ 3.1 ดังนี้

ค่า Feed ได้มาจากการเปิดตารางโลหะมีค่าเท่ากับ 0.1 mm/min. ดังนั้นทำการกำหนดค่า Feed  $\pm 50\%$  ของ 0.1 mm/min.

ค่า Speed จำนวนซึ่งค่า  $v$  ได้มาจากการเปิดตารางโลหะ  $V_{\min} = 170$  m/min,  $\bar{v} = 195$  m/min และ  $V_{\max} = 220$  m/min.

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ 25.4 mm.

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

เมื่อ  $n$  คือ ความเร็วรอบ (รอบ/min)

$v$  คือ อัตราป้อน (m/min)

$D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)

### 3.6 เตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลอง

ทำการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ในข้อ 3.6 โดยใช้เหล็ก AISI 4140 จำนวนชิ้นงาน 27 ชิ้นและ AISI 1022 จำนวนชิ้นงาน 27 ชิ้น

### 3.7 การทดลอง

ทำการกลึงชิ้นงานตามแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้

### 3.8 การเก็บข้อมูลและบันทึกผลการทดลอง

กำหนดการบันทึกผลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้การบันทึกแบบข้อมูลเชิงสถิติ

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกค่าความเรียบผิว

Speed (rpm)	Feed (mm./rpm)	ค่าที่ 1	ค่าที่ 2	ค่าที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2131	0.05				
	0.1				
	0.15				
2444	0.05				
	0.1				
	0.15				
2758	0.05				
	0.1				
	0.15				

### 3.9 วิเคราะห์และสรุปผล

ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักการทางสถิติ เพื่อหาผลกระทบของวัตถุดิบโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบของวัตถุดิบและตัวแปรการกลึงที่มีผลต่อความเรียบผิวในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุ

##### 4.1.1 เหล็ก AISI 4140

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุของเหล็ก AISI 4140

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
X	0.44	<0.00	4.57	<0.001	<0.001	0.62	0.10	0.10	0.0053
Sd	1.74	12.051	0.677	21.195	8.577	0.468	1.053	1.364	1.434
	Co	Cu	Ti	V	W	Pb	Sn	Fe	
	%	%	%	%	%	%	%	%	
X	0.01	0.13	0.0011	<0.00	0.02	0.007	0.009	93.98	
Sd	2.377	1.178	3.258	4.683	4.813	3.613	2.410	0.048	

##### 4.1.2 เหล็ก AISI 1022

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุของเหล็ก AISI 1022

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
X	0.23	<0.00	4.13	<0.001	<0.001	0.07	<0.00	0.0400	0.0038
Sd	1.36	6.762	0.62	4.825	4.087	0.404	4.056	1.521	5.354
	Co	Cu	Ti	V	W	Pb	Sn	Fe	
	%	%	%	%	%	%	%	%	
X	<0.01	0.05	<0.001	<0.00	0.02	0.008	0.052	95.4	
Sd	10.824	1.027	2.698	6.316	1.587	4.737	1.218	0.025	

จากผลการวิเคราะห์ธาตุของเหล็ก จะพบว่า

เหล็ก AISI 4140 มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.44% จากตารางที่ 4.1 และเหล็ก AISI 1022 มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.23% จากตารางที่ 4.2 ซึ่งมีค่าตรงตามทฤษฎีของเหล็ก AISI 4140 และเหล็ก AISI 1022 (หน้า 28 และ 29) จากการศึกษาข้อมูลของเหล็กคาร์บอน จาก [www.gprecision.net](http://www.gprecision.net) พบว่า คาร์บอน (C) เป็นตัวสำคัญที่สุดที่จะต้องผสมอยู่ในเหล็กซึ่งมีคุณสมบัติทำให้เหล็กมีความแข็งแรง ยิ่งมีปริมาณคาร์บอนมาก จะทำให้เหล็กกล้าคาร์บอนมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของคาร์บอน ส่วนความเหนียวก็จะลดลงเมื่อมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนระหว่างเหล็ก AISI 4140 และเหล็ก AISI 1022 สามารถสรุปได้เบื้องต้นว่า เหล็ก AISI 4140 มีความแข็งแรงมากกว่าเหล็ก AISI 1022 ซึ่งสอดคล้องตามหลักทฤษฎีของเหล็กกล้าคาร์บอน

#### 4.2 ผลการทดสอบความแข็งของเหล็ก



รูปที่ 4.1 เครื่องวัดความเรียบผิวแบบ Rockwell

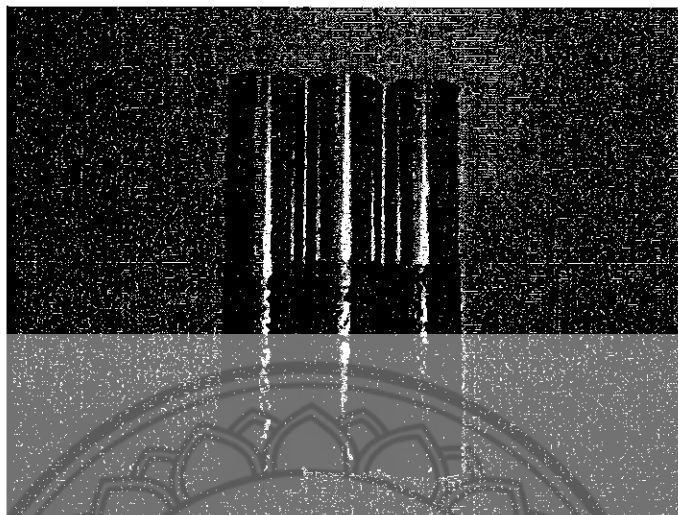
การทดสอบความแข็งของเหล็กในการทำวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธี Rockwell สเกล C เนื่องจากเหล็กที่นำมาทดสอบเป็นเหล็กกล้าผสมคาร์บอน ผลการทดสอบความแข็งของเหล็กพบว่าเหล็ก AISI 4140 มีความแข็งแรงมากกว่าเหล็ก AISI 1022 ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความแข็งของเหล็ก

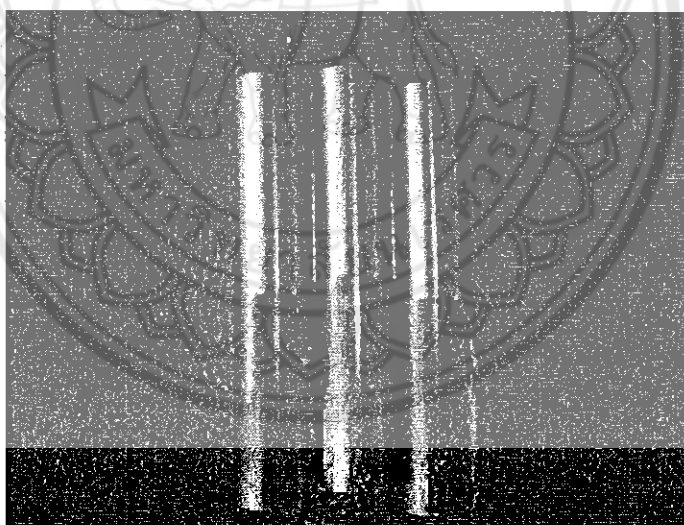
ชนิดเหล็ก	ค่าความแข็งของเหล็ก (HRC)			ค่าเฉลี่ย
	ค่าที่ 1	ค่าที่ 2	ค่าที่ 3	
AISI 4140	31	30	31	30.67
AISI 1022	22	24	25	23.67

### 4.3 ผลการทดลองวัดความเรียบผิวของเหล็ก AISI 4140 และ เหล็ก AISI 1022

#### 4.3.1 ชิ้นงานผ่านการกลึงปอก



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างชิ้นงานสำเร็จของเหล็ก AISI 4140 ขนาด 25.4 มม.



รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างชิ้นงานสำเร็จของเหล็ก AISI 1022 ขนาด 25.4 มม.



### 4.3.2 ตารางบันทึกค่าความเรียบผิว

ผลการทดลองค่าความเรียบผิวของเหล็กที่ได้จากการกลึง โดยใช้เครื่องกลึงซีเอ็นซี โดยการนำเหล็ก AISI 4140 และเหล็ก AISI 1022 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตรจำนวน 27 ชิ้น ได้ค่าความเรียบผิวตามตารางดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 4140

Speed (rpm)	Feed (mm./rpm)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )			
		ค่าที่ 1	ค่าที่ 2	ค่าที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2131	0.05	0.746	0.826	0.836	0.803
	0.1	0.901	0.94	0.961	0.934
	0.15	1.235	1.244	1.234	1.238
2444	0.05	0.663	0.681	0.616	0.653
	0.1	0.835	0.815	0.836	0.829
	0.15	1.115	1.016	1.146	1.092
2758	0.05	0.493	0.509	0.572	0.525
	0.1	0.683	0.695	0.727	0.702
	0.15	1.055	1.083	0.974	1.037

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 1022

Speed (rpm)	Feed (mm./rpm)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )			
		ค่าที่ 1	ค่าที่ 2	ค่าที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2131	0.05	1.605	1.532	1.535	1.557
	0.1	2.282	2.363	2.233	2.293
	0.15	2.478	2.484	2.675	2.546
2444	0.05	1.514	1.486	1.481	1.494
	0.1	2.135	2.135	2.131	2.134
	0.15	2.324	2.4	2.493	2.406
2758	0.05	1.422	1.452	1.423	1.432
	0.1	2.033	2.025	2.102	2.053
	0.15	2.11	2.124	2.268	2.167

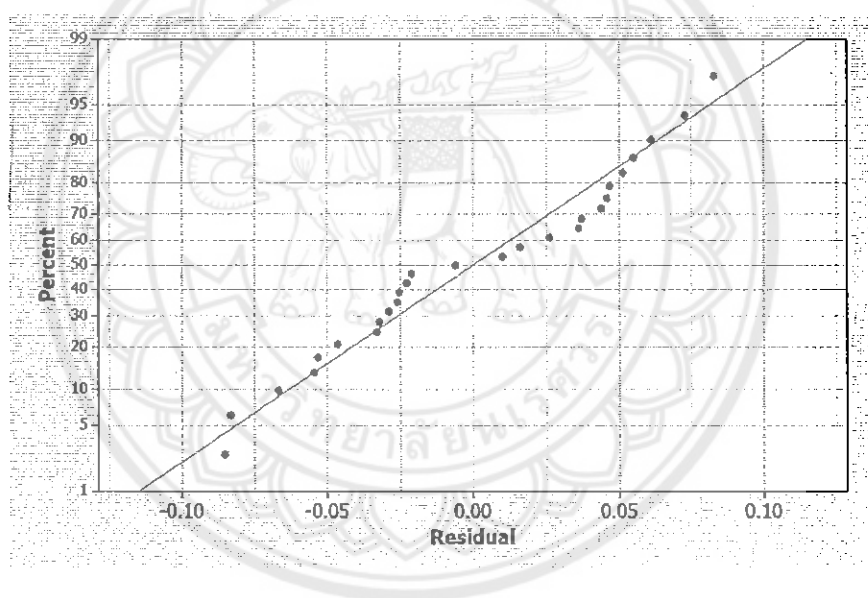
#### 4.4 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้ก็นำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งจะได้ผลดังแผนภูมิรูปภาพดังต่อไปนี้

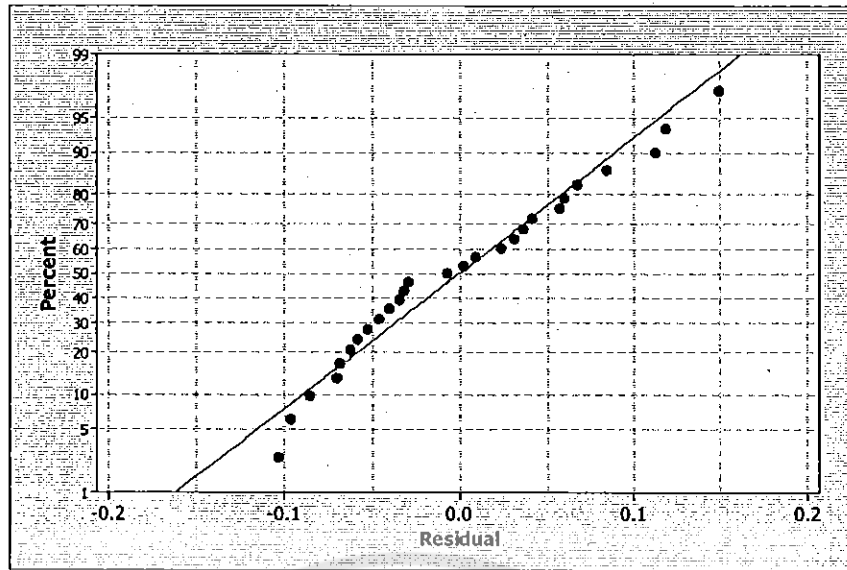
##### 4.4.1 การวิเคราะห์ผลจากกราฟของเหล็ก AISI 4140 และ AISI 1022

##### 4.4.1.1 การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ

การกระจายตัวของส่วนที่ตกค้าง จะพบว่ากราฟทั้งสองมีการกระจายอย่างอิสระ ไม่มีลักษณะเป็นลู่ออกหรือลู่ออก ซึ่ง Residuals ในแต่ละระดับของผลตอบที่กระจายนั้นมีทั้งในด้านบวกและด้านลบ และมีความสมดุลซึ่งกันและกัน จึงทำให้ประมาณค่าเฉลี่ยของ Residuals ได้ว่ามีค่าใกล้เคียงหรือเทียบเท่า 0 แสดงว่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย ที่ใช้ในการกลึงทำให้งานวิจัยนี้มีความถูกต้องเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากทั้ง 2 ปัจจัยมีผลที่เกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน (Interaction) นั่นคือ ข้อมูลหรือผลตอบที่ได้มีความเชื่อถือได้ ดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5



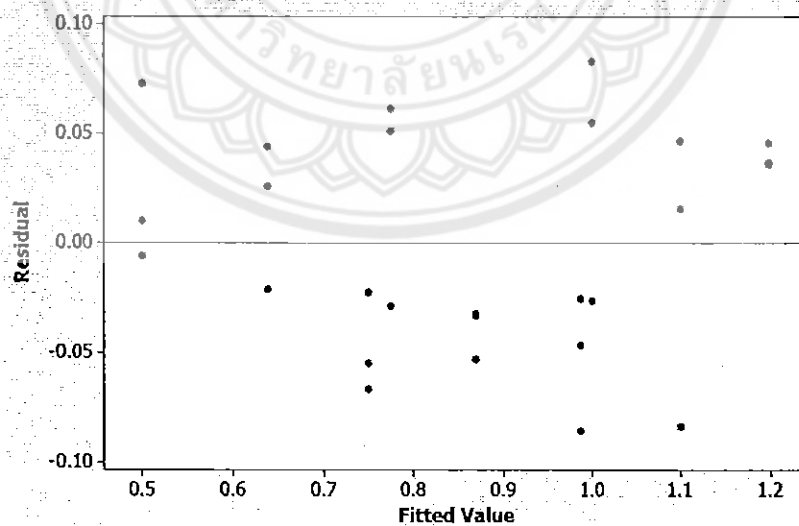
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการกระจายตัวของส่วนที่ตกค้างของเหล็ก AISI 4140



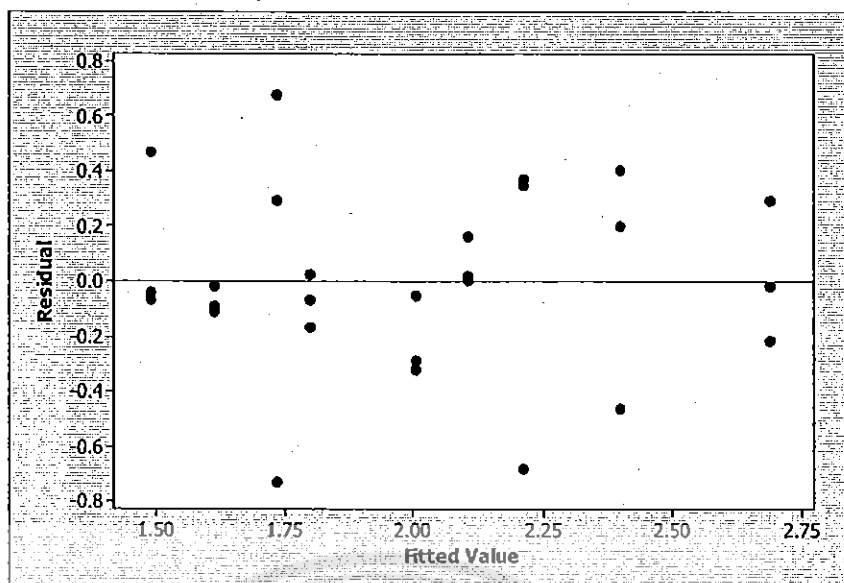
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการกระจายตัวของส่วนที่ตกค้างของเหล็ก AISI 1022

#### 4.4.1.2 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระดับปัจจัย พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ แสดงว่าข้อมูลของกราฟทั้งสองมีความเสถียรของความแปรปรวน จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



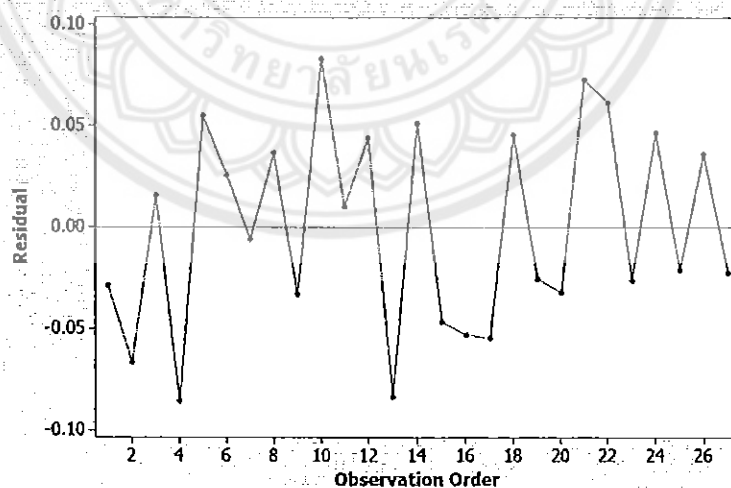
รูปที่ 4.6 แสดงค่าการกระจายตัวของข้อมูลของเหล็ก AISI 4140



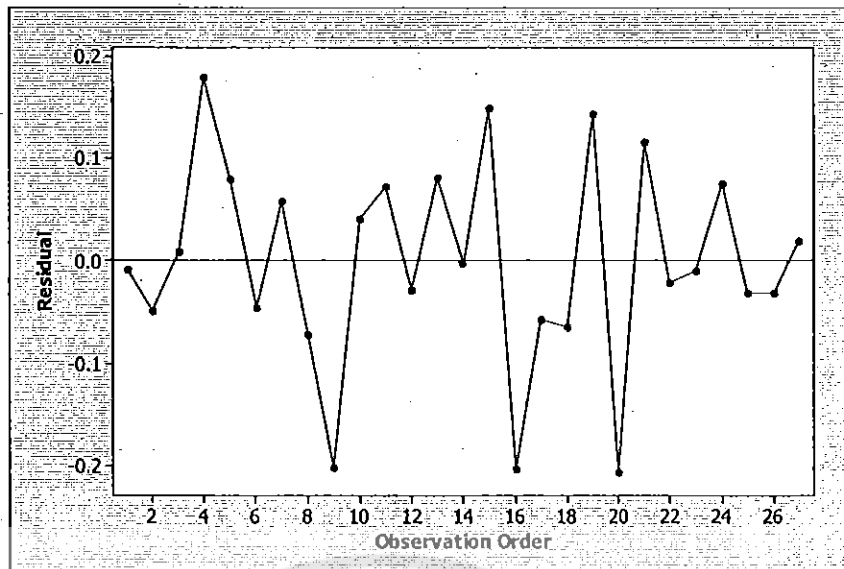
รูปที่ 4.7 แสดงค่าการกระจายตัวของข้อมูลของเหล็ก AISI 1022

#### 4.4.1.3 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

โดยใช้แผนภูมิการกระจาย เพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่ จากรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ส่วนตกค้างของผลการทดลอง มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลมีความอิสระ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความไม่เป็นอิสระของข้อมูลของ AISI 4140



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความไม่เป็นอิสระของข้อมูลของ AISI 1022

ดังนั้น จากกราฟนี้ สามารถสรุปได้ว่ากราฟข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์นั้น สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ผลถูกต้อง เชื่อถือได้

#### 4.4.1.4 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเรียบผิว

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เครื่องมือทางสถิติ วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเรียบผิว ในที่นี้ คือ ค่าความแข็งของเหล็ก ความเร็วรอบ อัตราป้อน สามารถแสดงผลได้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเรียบผิว

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	22.937(a)	17	1.349	380.518	.000
Intercept	110.891	1	110.891	31274.011	.000
Hardness	17.237	1	17.237	4861.255	.000
Speed	.534	2	.267	75.326	.000
Feed	4.338	2	2.169	611.657	.000
Hardness * Speed	.275	2	.138	62.931	.000
Hardness * Feed	.748	2	.374	105.537	.000
Speed * Feed	.019	4	.005	1.330	.278
Hardness * Speed * Feed	.060	4	.015	4.232	.007
Error	.128	36	.004		
Total	133.956	54			
Corrected Total	23.065	53			

a R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .992)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเรียบผิว ที่มีค่านัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สรุปได้ว่า

สมมติฐานคือ

1. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 1 คือ ความแข็ง

$H_0$  คือ ปัจจัยด้านความแข็งไม่มีผลต่อความเรียบผิว

$H_1$  คือ ปัจจัยด้านความแข็งมีผลต่อความเรียบผิว

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ  $H_0$

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ ความแข็งมีอิทธิพลต่อความเรียบผิว และจากค่า F พบว่า ความแข็งมีอิทธิพลต่อความเรียบผิวมากที่สุด ซึ่งทำให้ความเรียบผิวเปลี่ยนไป เมื่อความแข็งเปลี่ยนไป

2. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 คือ ความเร็ว

$H_0$  คือ ปัจจัยด้านความเร็วไม่มีผลต่อความเรียบผิว

$H_1$  คือ ปัจจัยด้านความเร็วมีผลต่อความเรียบผิว

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ  $H_0$

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ ความเร็วมีอิทธิพลต่อความเรียบผิว ซึ่งทำให้ความเรียบผิวเปลี่ยนไป เมื่อความเร็วเปลี่ยนไป

3. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 3 คือ อัตราการป้อน

$H_0$  คือ ปัจจัยด้านอัตราการป้อนไม่มีผลต่อความเรียบผิว

$H_1$  คือ ปัจจัยด้านอัตราการป้อนมีผลต่อความเรียบผิว

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ  $H_0$

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ อัตราการป้อนมีอิทธิพลต่อความเรียบผิว ซึ่งทำให้ความเรียบผิวเปลี่ยนไป เมื่ออัตราการป้อนเปลี่ยนไป

4. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 4 คือ ความแข็งและความเร็วรอบ

$H_0$  คือ ปัจจัยด้านความแข็งและความเร็วรอบไม่มีผลต่อความเรียบผิว

$H_1$  คือ ปัจจัยด้านความแข็งและความเร็วรอบมีผลต่อความเรียบผิว

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ  $H_0$

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความแข็งแรงและความเร็วรอบมีอิทธิพลต่อความเรียบผิว ซึ่งทำให้ความเรียบผิวเปลี่ยนไป เมื่อความแข็งแรงและความเร็วรอบเปลี่ยนไป

5. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 5 คือ ความแข็งแรงและอัตราการป้อน

$H_0$  คือ ปัจจัยด้านความแข็งแรงและอัตราการป้อนไม่มีผลต่อความเรียบผิว

$H_1$  คือ ปัจจัยด้านความแข็งแรงและอัตราการป้อนมีผลต่อความเรียบผิว

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ  $H_0$

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความแข็งแรงและอัตราการป้อนมีอิทธิพลต่อความเรียบผิว ซึ่งทำให้ความเรียบผิวเปลี่ยนไป เมื่อความแข็งแรงและอัตราการป้อนเปลี่ยนไป

6. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 6 คือ ความเร็วรอบและอัตราการป้อน

$H_0$  คือ ปัจจัยด้านความเร็วรอบและอัตราการป้อนไม่มีผลต่อความเรียบผิว

$H_1$  คือ ปัจจัยด้านความเร็วรอบและอัตราการป้อนมีผลต่อความเรียบผิว

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ  $H_0$

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$

เนื่องจากค่า Sig. = .278 > 0.05 จึงยอมรับ  $H_0$  นั่นคือ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเร็วรอบและอัตราการป้อนไม่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิว ซึ่งทำให้ความเรียบผิวไม่เปลี่ยน เมื่อความเร็วรอบและอัตราการป้อนเปลี่ยนไป

7. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 7 คือ ความแข็งแรง ความเร็วรอบ และอัตราการป้อน

$H_0$  คือ ปัจจัยด้านความแข็งแรง ความเร็วรอบ และอัตราการป้อนไม่มีผลต่อความเรียบผิว

$H_1$  คือ ปัจจัยด้านความแข็งแรง ความเร็วรอบ และอัตราการป้อนมีผลต่อความเรียบผิว

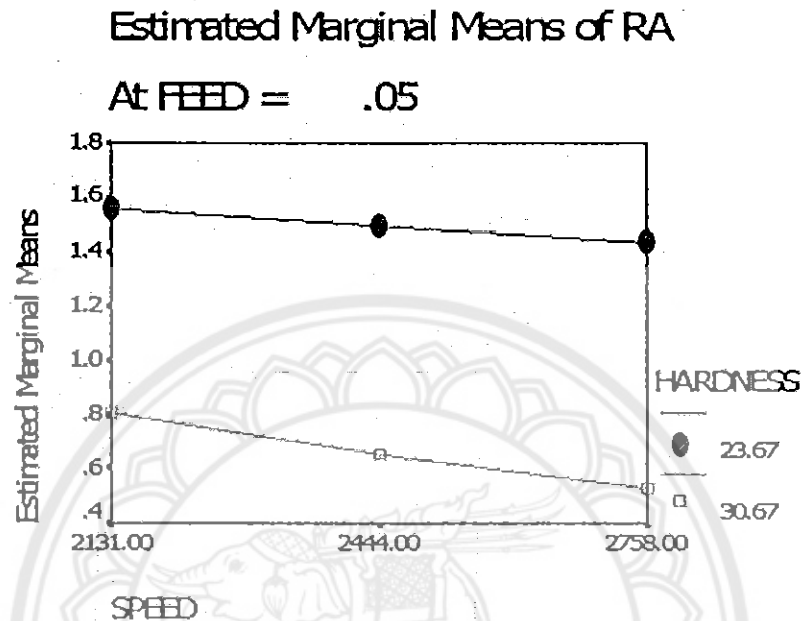
ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ  $H_0$

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$

เนื่องจากค่า Sig. = .007 < 0.05 จึงปฏิเสธ  $H_0$  นั่นคือ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความแข็งแรง ความเร็วรอบ และอัตราการป้อนมีอิทธิพลต่อความเรียบผิว ซึ่งทำให้ความเรียบผิวเปลี่ยนไป เมื่อความแข็งแรง ความเร็วรอบ และอัตราการป้อนเปลี่ยนไป

#### 4.4.1.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิว ความแข็งชิ้นงาน ความเร็วรอบ และ อัตราป้อน

##### 4.4.1.5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่อัตราป้อน 0.05 mm./rpm.

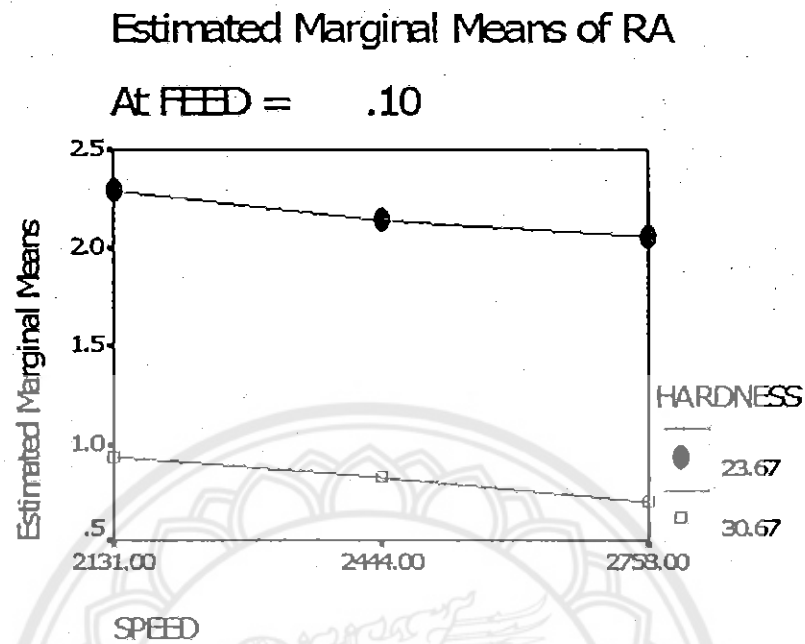


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่อัตราป้อน 0.05 mm./rpm.

จากรูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ที่อัตราป้อน 0.05 mm./rpm. จะพบว่าความแข็งที่ 23.67 HRC เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 22.73% ทำให้ค่าความเรียบผิว (Ra) มีค่าลดลง 8.03% หรือผิวมีความเรียบมากขึ้น 8.03% และความแข็งที่ 30.67 HRC เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 22.73% ทำให้ค่าความเรียบผิว (Ra) มีค่าลดลง 34.62 % หรือผิวมีความเรียบมากขึ้น 34.62 % แต่เกิดความแปรปรวนในบางจุดเนื่องจากความผิดพลาดจากปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณา



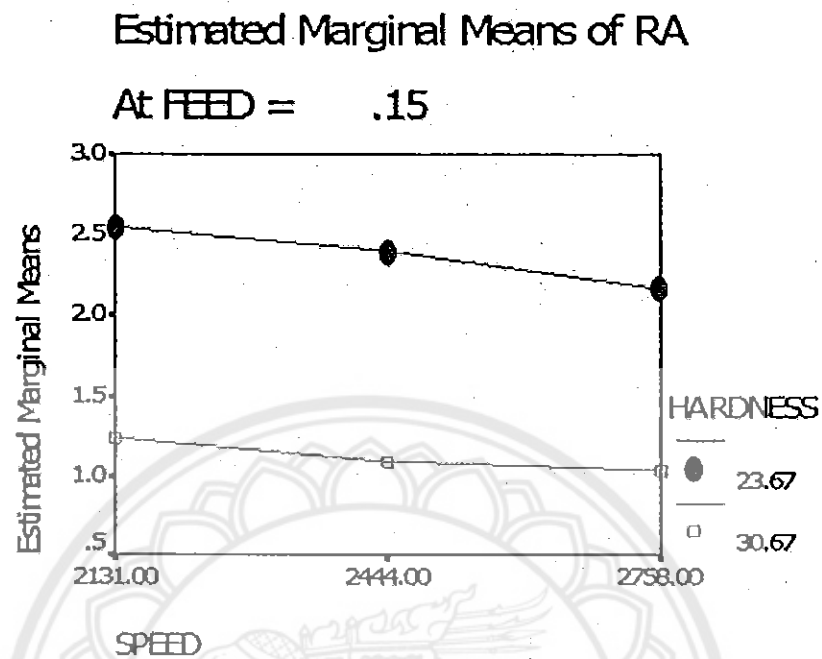
#### 4.4.1.5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่อัตราป้อน 0.10 mm./rpm.



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่อัตราป้อน 0.10 mm./rpm.

จากรูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ที่อัตราป้อน 0.10 mm./rpm. จะพบว่าความแข็งที่ 23.67 HRC เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 22.73% ทำให้ค่าความเรียบผิว (Ra) มีค่าลดลง 10.47% หรือผิวมีความเรียบมากขึ้น 10.47% และความแข็งที่ 30.67 HRC เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 22.73% ทำให้ค่าความเรียบผิว (Ra) มีค่าลดลง 24.84% หรือผิวมีความเรียบมากขึ้น 24.84% แต่เกิดความแปรปรวนในบางจุดเนื่องจากความผิดพลาดจากปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณา

#### 4.4.1.5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่อัตราป้อน 0.15 mm./rpm.



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่อัตราป้อน 0.15 mm./rpm.

จากรูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ที่อัตราป้อน 0.15 mm./rpm. จะพบว่าความแข็งที่ 23.67 HRC เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 22.73% ทำให้ค่าความเรียบผิว (Ra) มีค่าลดลง 10.47% หรือผิวมีความเรียบมากขึ้น 10.47% และความแข็งที่ 30.67 HRC เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 22.73% ทำให้ค่าความเรียบผิว (Ra) มีค่าลดลง 24.84% หรือผิวมีความเรียบมากขึ้น 24.84% แต่เกิดความแปรปรวนในบางจุดเนื่องจากความผิดพลาดจากปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณา

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการกลึงเหล็ก AISI 4140 และเหล็ก AISI 1022 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี เพื่อศึกษาผลกระทบของวัสดุคัตที่มีต่อกระบวนการผลิตในเทคโนโลยีซีเอ็นซี เบื้องต้นคาดว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวในการทดลองนี้ คือ อิทธิพลของวัสดุคัต การศึกษาพบว่า

#### 5.1 อิทธิพลของวัสดุคัตที่มีผลต่อความเรียบผิว

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 4.6) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ (รูปที่ 4.10, 4.11, 4.12) นำมาสรุปผลได้ดังนี้

##### ความแข็งของชิ้นงาน

ความแข็งมีอิทธิพลต่อความเรียบผิวมากที่สุด ซึ่งทำให้ความเรียบผิวเปลี่ยนไป เมื่อความแข็งเปลี่ยนไป

ชิ้นงานมีความแข็ง 30.67 HRC ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น 22.73% จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ลดลง 25.23% หรือมีความเรียบของผิวมากขึ้น 25.23% และถ้าชิ้นงานมีความแข็ง 23.67 HRC ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น 22.73% ก็จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ลดลง 11.13% หรือมีความเรียบของผิวมากขึ้น 11.13% เช่นกัน

ชิ้นงานมีความแข็ง 30.67 HRC อัตราป้อนลดลง 66.67% จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ลดลง 41.57% หรือมีความเรียบของผิวมากขึ้น 41.57% และถ้าชิ้นงานมีความแข็ง 23.67 HRC อัตราป้อนลดลง 66.67% ก็จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ลดลง 74.67% หรือมีความเรียบของผิวมากขึ้นเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานระหว่างชิ้นงานที่มีความแข็ง 30.67 HRC และชิ้นงานที่มีความแข็ง 23.67 HRC ที่อัตราการป้อนที่เท่ากันและความเร็วรอบที่เท่ากัน ชิ้นงานที่มีความแข็ง 30.67 HRC จะมีค่าความเรียบผิว (Ra) ที่น้อยกว่าชิ้นงานที่มีความแข็ง 23.67 HRC หรือชิ้นงานที่มีความแข็ง 30.67 HRC จะมีความเรียบของผิวที่มากกว่าชิ้นงานที่มีความแข็ง 23.67 HRC

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

- 5.2.1. การค้นหาข้อมูลหลัก AISI 1022 เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ทำได้ค่อนข้างยาก
- 5.2.2. เนื่องจากห้องสมุดในมหาวิทยาลัยนเรศวร มีเนื้อหาที่สอดคล้องกันกับงานวิจัยมีเพียงเล็กน้อย
- 5.2.3. ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้เกี่ยวกับเครื่องกลึง ซีเอ็นซีเป็นอย่างดี เพื่อให้ผลการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุดและลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้
- 5.2.4. ผู้ปฏิบัติงานต้องทำการศึกษาคำใช้โปรแกรมทางสถิติให้เข้าใจอย่างถ่องแท้
- 5.2.5. ในการทำการทดลองครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเพียง 3 ปัจจัย ซึ่งอาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความเรียบผิว



## เอกสารอ้างอิง

ปารเมศ ชูติมาศ. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปีทมา กางตัน และรุ่งนภา ร่องจิก. “การศึกษาตัวแปรของเครื่องกลึงที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน”. ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 2550.

นายทัญญู อรรถาเวช, นายสมศักดิ์ โพธิ์สุวรรณ และนางสาวสุภัค จำรัสทอง. “อิทธิพลของอุณหภูมิอบชุบที่มีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของเหล็ก AISI 4140”. ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 2546.

รศ.บรรเลง ศรีนิล และผศ.ประเสริฐ ก๊วยสมบุญ. ตารางคู่มืองานโลหะ. ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 194.

<http://www.4140steelplate.com/>, สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2552.

<http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc>, สืบค้นเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2552

[http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon\\_steels/show\\_carbon.cfm?ID=AISI\\_1022&prop=all&Page\\_Title=AISI%201022](http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/show_carbon.cfm?ID=AISI_1022&prop=all&Page_Title=AISI%201022), สืบค้นเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2552



ภาคผนวก ก ปัจจัยสำหรับการกลึงด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี

ตารางที่ ก.1 ปัจจัยสำหรับการกลึงของเหล็ก AISI 4140 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ	Speed	Feed	$R_a$
1	2131	0.05	0.746
2	2758	0.1	0.683
3	2444	0.15	1.115
4	2131	0.1	0.901
5	2758	0.15	1.055
6	2444	0.05	0.663
7	2758	0.05	0.493
8	2131	0.15	1.235
9	2444	0.1	0.835
10	2758	0.15	1.083
11	2758	0.05	0.509
12	2444	0.05	0.681
13	2444	0.15	1.016
14	2131	0.05	0.826
15	2131	0.1	0.940
16	2444	0.1	0.815
17	2758	0.1	0.695
18	2131	0.15	1.244
19	2131	0.1	0.961
20	2444	0.1	0.836
21	2758	0.05	0.572
22	2131	0.05	0.836
23	2758	0.15	0.974
24	2444	0.15	1.146

ตารางที่ ก.1 ปัจจัยสำหรับการกลึงของเหล็ก AISI 4140 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี (ต่อ)

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ	Speed	Feed	$R_a$
25	2444	0.05	0.616
26	2131	0.15	1.234
27	2758	0.1	0.727

ตารางที่ ก.2 ปัจจัยสำหรับการกลึงของเหล็ก AISI 1022 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ	Speed	Feed	$R_a$
1	2131	0.05	1.605
2	2758	0.1	2.033
3	2444	0.15	2.324
4	2131	0.1	2.282
5	2758	0.15	2.110
6	2444	0.05	1.514
7	2758	0.05	1.422
8	2131	0.15	2.478
9	2444	0.1	2.135
10	2758	0.15	2.124
11	2758	0.05	1.452
12	2444	0.05	1.386
13	2444	0.15	2.400
14	2131	0.05	1.532
15	2131	0.1	2.363
16	2444	0.1	2.135
17	2758	0.1	2.025
18	2131	0.15	2.484
19	2131	0.1	2.233
20	2444	0.1	2.131
21	2758	0.05	1.423



ตารางที่ ก.2 ปัจจัยสำหรับการกลึงของเหล็ก AISI 1022 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี (ต่อ)

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ	Speed	Feed	$R_a$
22	2131	0.05	1.535
23	2758	0.15	2.268
24	2444	0.15	2.493
25	2444	0.05	1.281
26	2131	0.15	2.675
27	2758	0.1	2.102





## ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

### General Linear Model: Ra versus speed, feed

Factor	Type	Levels	Values
speed	fixed	3	2131, 2444, 2758
feed	fixed	3	0.05, 0.10, 0.15

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
speed	2	0.25385	0.25385	0.12693	74.99	0.000
feed	2	0.99073	0.99073	0.49536	292.67	0.000
Error	22	0.03724	0.03724	0.00169		
Total	26	1.28182				

S = 0.0411408 R-Sq = 97.10% R-Sq(adj) = 96.57%

Unusual Observations for Ra

Obs	RA_1	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
13	1.01600	1.11252	0.01770	-0.09652	-2.60 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

### รูปที่ ข.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 4140

### General Linear Model: Ra versus speed, feed

Factor	Type	Levels	Values
speed	fixed	3	2131, 2444, 2758
feed	fixed	3	0.05, 0.10, 0.15

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
speed	2	0.2813	0.2813	0.1407	18.28	0.000
feed	2	4.0950	4.0950	2.0475	266.06	0.000
Error	22	0.1693	0.1693	0.0077		
Total	26	4.5456				

S = 0.0877239 R-Sq = 96.28% R-Sq(adj) = 95.60%

Unusual Observations for Ra

Obs	RA_1	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	1.00500	1.90326	0.15036	-0.89826	-2.85 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

### รูปที่ ข.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเรียบผิวของเหล็ก AISI 1022



### ภาคผนวก ค การคำนวณหาความเร็วรอบในการกลึง

ค่า Feed ได้มาจากการเปิดตาราง โลหะมีค่าเท่ากับ 0.1 mm/min. ดังนั้นทำการกำหนดค่า Feed  $\pm 50\%$  ของ 0.1 mm/min.

ค่า Speed คำนวณซึ่งค่า  $v$  ได้มาจากการเปิดตาราง โลหะ  $V_{\min} = 170$  m/min,  $\bar{v} = 195$  m/min และ  $V_{\max} = 220$  m/min.

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ 25.4 mm.

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

เมื่อ  $n$  คือ ความเร็วรอบ (รอบ/min)

$v$  คือ อัตราป้อน (m/min)

$D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)

ทำการคำนวณหาความเร็วรอบ โดยกำหนดค่า  $D = 25.4$  mm.  $V_{\min} = 170$  m/min

$$\begin{aligned} \text{แทนในสมการ } n &= \frac{V \times 1000}{D \times \pi} \\ &= \frac{170 \times 1000}{25.4 \times \pi} \\ &= 2130.54 \text{ rpm.} \\ &\approx 2131 \text{ rpm.} \end{aligned}$$

ทำการคำนวณหาความเร็วรอบ โดยกำหนดค่า  $D = 25.4$  mm.  $\bar{v} = 195$  m/min

$$\begin{aligned} \text{แทนในสมการ } n &= \frac{V \times 1000}{D \times \pi} \\ &= \frac{195 \times 1000}{25.4 \times \pi} \\ &= 2443.71 \text{ rpm.} \\ &\approx 2444 \text{ rpm.} \end{aligned}$$

ทำการคำนวณหาความเร็วรอบ โดยกำหนดค่า  $D = 25.4$  mm.  $V_{\max} = 220$  m/min

$$\begin{aligned} \text{แทนในสมการ } n &= \frac{V \times 1000}{D \times \pi} \\ &= \frac{220 \times 1000}{25.4 \times \pi} \\ &= 2758.41 \text{ rpm.} \\ &\approx 2758 \text{ rpm.} \end{aligned}$$

## ตารางเหล็กโครงสร้างทั่วไป

### ตารางที่ ค.1 ตารางเหล็กโครงสร้างทั่วไป

ความลึก อัตราป้อน ความเร็วตัด อายุมีด					
วัสดุ	โลหะแข็ง				
	ความแข็งด้านทาน แรงดึง $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	ความลึก (มม.)	อัตรา ป้อน (มม.)	ความเร็ว ตัด (ม./นาที)	อายุมีด นาที
เหล็ก โครงสร้าง ทั่วไป เหล็กชุบ แข็งได้ เหล็ก เครื่องมือ เหล็กหล่อ เหนียว	0...500	1	0,1	220...170	120
		6	0,6	110...80	
	500...700	10	1,5	80...50	60
		1	0,1	200...150	120
	6		0,6	100...70	
	700...900	10	1,5	70...50	60
		1	0,1	150...110	120
	6		0,6	80...55	
	900...1100	10	1,5	55...35	60
		1	0,1	110...75	60
			6	0,6	
			10	1,5	35...25

## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายกฤษณะ อินตะมุด  
ภูมิลำเนา 129/5 หมู่ 5 ต. เจริญราษฎร์ อ. แม่ใจ จ. พะเยา  
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนแม่ใจวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: nescafe\_39@hotmail.com



ชื่อ นายชัยวัฒน์ บุญทา  
ภูมิลำเนา 29/1 หมู่ 13 ต. ปง อ. ปง จ. พะเยา  
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนปงรัชดาภิเษก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: wat\_dragon@hotmail.com