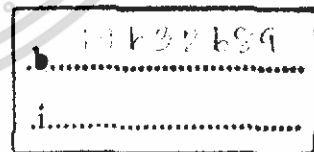


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการกลิ้งที่มีผลต่อความแข็งของผิว  
ชิ้นงานเหล็กกล้า AISI 1045

นาย ธีรัฐ โกสียานนท์  
นาย พิเชษฐ์ ปรานี  
นาย พิมล สมาน

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 62841  
วัน,เดือน,ปี..... 23 ส.ค. 2549



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY ON INFLUENCE OF TURNING PARAMETERS  
ON SURFACE HARDNESS OF AISI 1045 STEEL**



**MR. NUTTAWUT KOSIYANUN**

**MR. PICHET PANEE**

**MR. PIMOL SAMAN**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2005**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการกลึงที่มีผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน  
เหล็กกล้า AISI 1045  
A STUDY ON INFLUENCE OF TURNING PARAMETERS ON SURFACE  
HARDNESS OF AISI 1045 STEEL

นักศึกษา นายณัฐวุฒิ โกสียนนท์ รหัสประจำตัว 46015706  
นายพิเชษฐ ประสม รหัสประจำตัว 46015721  
นายพิมล สมน รหัสประจำตัว 46015722

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท



(ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการกลิ้งที่มีผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน เหล็กกล้า AISI 1045
นักศึกษา	นายณัฐวุฒิ โกสิยานันท์ นายพิเชษฐ์ ปราณี นายพิมล สมาน
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร. กรรณชัย กัลยาศิริ

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในงานกลิ้งที่มีผลกระทบต่อความแข็งชิ้นงานเหล็กกล้า AISI 1045 ซึ่งปัจจัยในงานกลิ้งที่นำมาศึกษา คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน ระยะป้อนลึก และสารหล่อเย็น โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลในการหาปัจจัยในการกลิ้งที่มีอิทธิพลต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า ความเร็วรอบ และอัตราป้อน มีผลต่อความแข็งที่ผิวชิ้นงาน โดยเมื่อเพิ่มความเร็วรอบและอัตราป้อนในการกลิ้งมากขึ้น จะส่งผลให้เกิดผิวชิ้นงานที่ผ่านการกลิ้งมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title** A Study on Influence of Turning Parameters on Surface Hardness of AISI 1045 Steel

**Student** Mr. Nuttawut Kosiyannun  
Mr. Pichet Pranee  
Mr. Pimol Saman

**Degree** Bachelor of Engineering in Industrial Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

**Academic Year** 2005

**Thesis Advisor** Asst. Prof. Dr. Kannachai Kanlayasiri

### ABSTRACT

This project studies on parameters affecting surface hardness of AISI 1045 steel machined by a turning machine. The process variables studied in this project included cutting speed, depth of cut, feed, coolant and tool wear. The experimental design strategy employed in this experiment was factorial design. Results showed that cutting speed, and feed had significant effect on the surface hardness. Hardness of the machined surface increased when cutting speed and feed were increased.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการกลิ้งที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงานเหล็กกล้า AISI 1045 ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ดีนั้น เนื่องมาจากความร่วมมือร่วมใจของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน ทางคณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณ

ผศ.ดร. กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่มีส่วนสำคัญในการให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาดัง ๆ ที่เกี่ยวกับปริญญานิพนธ์ ทั้งในด้านทฤษฎีและปฏิบัติ

รศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้คำแนะนำเรื่องของการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน

อาจารย์พลชัย โชติปรายนกุล ที่ให้คำแนะนำและจัดหาวัสดุทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ เพื่อใช้ในปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบคุณบุคคลทุกท่านที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและเอื้อเฟื้อข้อมูลที่จำเป็นต่อการศึกษาในครั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นายณัฐวุฒิ โกสิยานันท์  
นายพิเชษฐ ปรานี  
นายพิมล สมาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	1
<b>บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ทฤษฎีด้านโลหะวิทยา.....	2
2.1.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า.....	2
2.1.2 ความเค้น.....	2
2.2 ทฤษฎีด้านงานกลึง.....	3
2.2.1 ความหมายของงานกลึง.....	3
2.2.2 การคำนวณความเร็วตัด.....	3
2.2.3 การคำนวณความเร็วรอบของเพลากลึง.....	4
2.2.4 อัตราป้อนกลึง.....	4
2.2.5 ความลึกในการตัด.....	4
2.2.6 มีดกลึง.....	5
2.2.7 ทฤษฎีสารหล่อเย็น.....	6
2.3 ทฤษฎีด้านการทดสอบความแข็ง.....	6
2.3.1 การทดสอบความแข็งแบบวิธีวิกเกอร์.....	6
2.4 ทฤษฎีการสึกหรอของมีดกลึง.....	7
2.4.1 การสึกหรอของคมตัด.....	7
2.4.2 สาเหตุของการสึกหรอของมีด.....	7
2.4.3 ชนิดของการเกิดการสึกหรอบนคมตัด.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ทฤษฎีด้านสถิติ.....	12
2.5.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล.....	12
2.5.2 การเลือกขนาดของตัวอย่าง.....	13
2.5.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	14
2.5.4 หลักการวิเคราะห์การถดถอย.....	15
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน</b>	
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	16
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	16
3.2.1 เหล็กกล้าพลากรม AISI 1045.....	16
3.2.2 มีดกลึง.....	18
3.2.3 เครื่องกลึง.....	18
3.2.4 เครื่องตัด.....	19
3.2.5 เครื่องขัดผิว.....	19
3.2.6 เครื่องทดสอบความแข็ง.....	19
3.3 ทำการทดลองย่อย และเก็บผลการทดลอง.....	20
3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนการทดลอง.....	20
3.3.2 ทำการทดลอง.....	20
3.3.3 การเก็บผลการทดลอง.....	20
3.3.3.1 การเตรียมผิวชิ้นงานก่อนการทดสอบความแข็ง.....	20
3.3.3.2 การเก็บผลการทดลอง.....	21
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ.....	22
3.4.1 การเก็บรวบรวมผลการทดลองย่อย.....	22
3.4.2 สร้างกราฟแสดงค่าความแข็งที่ตำแหน่งต่างๆ บนชิ้นงาน.....	23
3.4.3 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับการสึกหรอของมีดกลึง.....	24
3.5 สรุปผลการทดลองย่อย.....	31
3.6 การออกแบบการทดลองหลัก.....	31
3.7 ทำการทดลองหลัก และเก็บผลการทดลองหลัก.....	33
3.7.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนการทดลอง.....	33
3.7.2 ทำการทดลอง.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7.3 การเก็บผลการทดลอง .....	33
3.7.3.1 การเตรียมผิวชิ้นงานก่อนการทดสอบความแข็ง.....	33
3.7.3.2 การเก็บผลการทดลอง.....	34
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน</b>	
4.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ .....	35
4.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน .....	35
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	41
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	42
หนังสืออ้างอิง .....	43
ภาคผนวก ก .....	ผก 1
ภาคผนวก ข .....	ผข 1
ภาคผนวก ค .....	ผค 1
ภาคผนวก ง .....	ผง 1
ภาคผนวก จ .....	ผจ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตารางกำหนดค่าพารามิเตอร์ .....	16
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงคุณสมบัติและส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 .....	17
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความแข็งของของเหล็กเพลากลม AISI 1045 ที่ยังไม่ผ่านการกลึงทดสอบ .....	17
ตารางที่ 3.4 ตารางค่าความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการกลึงโดยไม่ใช้น้ำหล่อเย็น .....	22
ตารางที่ 3.5 ค่าความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการกลึงโดยใช้น้ำหล่อเย็น .....	22
ตารางที่ 3.6 ตารางค่าความสึกหรอของมีดกลึง .....	23
ตารางที่ 3.7 ค่า Regression ของพารามิเตอร์สูงและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น .....	25
ตารางที่ 3.8 ค่า Regression ของพารามิเตอร์กลางและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น .....	26
ตารางที่ 3.9 ค่า Regression ของพารามิเตอร์ต่ำและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น .....	27
ตารางที่ 3.10 ค่า Regression ของพารามิเตอร์สูงและใช้น้ำหล่อเย็น .....	28
ตารางที่ 3.11 ค่า Regression ของพารามิเตอร์กลางและใช้น้ำหล่อเย็น .....	29
ตารางที่ 3.12 ค่า Regression ของพารามิเตอร์ต่ำและใช้น้ำหล่อเย็น .....	30
ตารางที่ 3.13 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองหลัก .....	31
ตารางที่ 3.14 แสดงทริทเมนต์ในการทดลอง .....	32
ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน .....	39
ตารางที่ ผก 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง .....	ผก 2
ตารางที่ ผก 2 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงานที่ระยะความลึกต่างๆ .....	ผก 4
ตารางที่ ผก 3 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ A .....	ผก 12
ตารางที่ ผก 4 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ 1 .....	ผก 12
ตารางที่ ผก 5 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ AD .....	ผก 13
ตารางที่ ผก 6 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ D .....	ผก 13
ตารางที่ ผก 7 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ AC .....	ผก 14
ตารางที่ ผก 8 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ C .....	ผก 14
ตารางที่ ผก 9 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ ACD .....	ผก 15
ตารางที่ ผก 10 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ CD .....	ผก 15
ตารางที่ ผก 11 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ AB .....	ผก 16
ตารางที่ ผก 12 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ B .....	ผก 16
ตารางที่ ผก 13 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ ABD .....	ผก 17
ตารางที่ ผก 14 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ BD .....	ผก 17
ตารางที่ ผก 15 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ ABC .....	ผก 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ผก 16 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ BC .....	ผก 18
ตารางที่ ผก 17 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ ABCD.....	ผก 19
ตารางที่ ผก 18 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ BCD.....	ผก 19
ตารางที่ ผค 1 แสดงคุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 .....	ผค 2
ตารางที่ ผค 2 จุดวิกฤติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045.....	ผค 2
ตารางที่ ผค 3 คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045.....	ผค 2
ตารางที่ ผค 4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 .....	ผค 3
ตารางที่ ผจ 1 หาค่าเฉลี่ยค่าความแข็งของพารามิเตอร์ที่ใช้น้ำหล่อเย็น .....	ผจ 2
ตารางที่ ผจ 2 หาค่าเฉลี่ย ( $\bar{\mu}$ ) กับ ค่าความแปรปรวน ( $\sigma$ ).....	ผจ 2
ตารางที่ ผจ 3 แสดงผลการหาจำนวนซ้ำที่เหมาะสมเมื่อทดสอบ โดยใช้น้ำหล่อเย็น.....	ผจ 3
ตารางที่ ผจ 4 หาค่าเฉลี่ยค่าความแข็งของพารามิเตอร์ที่ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น.....	ผจ 3
ตารางที่ ผจ 5 หาค่าเฉลี่ย ( $\bar{\mu}$ ) กับ ค่าความแปรปรวน ( $\sigma$ ).....	ผจ 3
ตารางที่ ผจ 6 แสดงผลการหาจำนวนซ้ำที่เหมาะสมเมื่อทดสอบ โดยไม่ใช้น้ำหล่อเย็น.....	ผจ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเสียดสี.....	8
รูปที่ 2.2 ลักษณะการแพร่ของอะตอม.....	8
รูปที่ 2.3 ลักษณะการ Oxidation wear.....	8
รูปที่ 2.4 ลักษณะการเฉือนที่อุณหภูมิสูง.....	9
รูปที่ 2.5 ลักษณะการพอกตัวที่คมตัด.....	9
รูปที่ 2.6 ลักษณะการสึกหรอแบบ Flank wear.....	10
รูปที่ 2.7 ลักษณะการสึกหรอแบบ Crater wear.....	10
รูปที่ 2.8 ลักษณะการสึกหรอแบบ Plastic Deformation.....	11
รูปที่ 2.9 ลักษณะการสึกหรอแบบ Notch wear.....	11
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงค่าความแข็งของเหล็กพลากลม AISI 1045.....	17
รูปที่ 3.2 พลากลม AISI 1045 ที่ใช้ในการทดลอง.....	18
รูปที่ 3.3 Insert ที่ใช้ในการทดลอง.....	18
รูปที่ 3.4 เครื่องกลึงที่ใช้ในการทดลอง.....	18
รูปที่ 3.5 เครื่องตัดที่ใช้ในการทดลอง.....	19
รูปที่ 3.6 เครื่องขัดผิวที่ใช้ในการทดลอง.....	19
รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็งที่ใช้ในการทดลอง.....	19
รูปที่ 3.8 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง.....	20
รูปที่ 3.9 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิวเรียบร้อยแล้ว.....	21
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการกัดชิ้นงานทดสอบ.....	21
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยไม่ใช้น้ำหล่อเย็น.....	23
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยใช้น้ำหล่อเย็น.....	24
รูปที่ 3.13 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์สูงและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น.....	25
รูปที่ 3.14 ทดสอบ โดยใช้พารามิเตอร์กลางและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น.....	26
รูปที่ 3.15 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์ต่ำและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น.....	27
รูปที่ 3.16 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์สูงและใช้น้ำหล่อเย็น.....	28
รูปที่ 3.17 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์กลางและใช้น้ำหล่อเย็น.....	29
รูปที่ 3.18 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์ต่ำและใช้น้ำหล่อเย็น.....	30
รูปที่ 3.19 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง.....	33
รูปที่ 3.20 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิวเรียบร้อยแล้ว.....	34
รูปที่ 3.21 แสดงลักษณะการกัดชิ้นงานทดสอบ.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1 กราฟของส่วนตกค้างกับลำดับชิ้นงานที่เก็บของมูล.....	36
รูปที่ 4.2 Normal Probability Plot.....	36
รูปที่ 4.3 กราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกต้อง.....	37
รูปที่ 4.4 กราฟ Main effects ของความเร็วตัดและค่าความแข็ง.....	40
รูปที่ 4.5 กราฟ Main effects ของอัตราป้อนและค่าความแข็ง.....	40
รูปที่ ผก 1 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ A.....	ผก 12
รูปที่ ผก 2 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ I.....	ผก 12
รูปที่ ผก 3 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ AD.....	ผก 13
รูปที่ ผก 4 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ D.....	ผก 13
รูปที่ ผก 5 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ AC.....	ผก 14
รูปที่ ผก 6 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ C.....	ผก 14
รูปที่ ผก 7 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ ACD.....	ผก 15
รูปที่ ผก 8 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ CD.....	ผก 15
รูปที่ ผก 9 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ AB.....	ผก 16
รูปที่ ผก 10 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ B.....	ผก 16
รูปที่ ผก 11 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ ABD.....	ผก 17
รูปที่ ผก 12 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ BD.....	ผก 17
รูปที่ ผก 13 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ ABC.....	ผก 18
รูปที่ ผก 14 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ BC.....	ผก 18
รูปที่ ผก 15 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ ABCD.....	ผก 19
รูปที่ ผก 16 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ BCD.....	ผก 19
รูปที่ ผข 1 แสดงตัวอย่างมูมิตลักษณะต่างๆ.....	ผข 2
รูปที่ ผข 2 แสดงตัวอย่างประสิทธิภาพมูมิตลักษณะต่างๆ.....	ผข 3
รูปที่ ผข 3 แสดงตัวอย่างประสิทธิภาพมูมิตลักษณะต่างๆ.....	ผข 4
รูปที่ ผข 4 แสดงรหัสมูมิตชนิดต่างๆ.....	ผข 5
รูปที่ ผง 1 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 1.....	ผง 2
รูปที่ ผง 2 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 2.....	ผง 2
รูปที่ ผง 3 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 3.....	ผง 2
รูปที่ ผง 4 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 4.....	ผง 3
รูปที่ ผง 5 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 5.....	ผง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ผง 6 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 6.....	ผง 3
รูปที่ ผง 7 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 7.....	ผง 4
รูปที่ ผง 8 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 8.....	ผง 4
รูปที่ ผง 9 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 9.....	ผง 4
รูปที่ ผง 10 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 10.....	ผง 5
รูปที่ ผง 11 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 11.....	ผง 5
รูปที่ ผง 12 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 12.....	ผง 5
รูปที่ ผง 13 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 13.....	ผง 6
รูปที่ ผง 14 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 14.....	ผง 6
รูปที่ ผง 15 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 15.....	ผง 6
รูปที่ ผง 16 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 16.....	ผง 7
รูปที่ ผง 17 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 17.....	ผง 7
รูปที่ ผง 18 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 18.....	ผง 7
รูปที่ ผง 1 เส้นโค้งลักษณะสมบัติของการดำเนินการ (Operating Characteristic Curve).....	ผง 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันเหล็กกล้าเป็นวัสดุที่สำคัญในทางอุตสาหกรรมซึ่งใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์และอุปกรณ์ต่างๆ ทว่ากว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเหล็กกล้าจะต้องผ่านกระบวนการขึ้นรูป และการกลึงก็เป็นกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูปเหล็กกล้าที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายและมีความสำคัญมากในงานอุตสาหกรรม การขึ้นรูปด้วยการกลึงนี้จะทำให้เกิดความเค้นและความร้อนที่ผิวของเหล็กกล้า และอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของเหล็กกล้าดังกล่าว มีผลทำให้โครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าเปลี่ยนไปซึ่งในหนังสือหรือตำราการปฏิบัติงานกลึงยังไม่ได้กล่าวถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในการกลึงต่อความแข็งของผิวชิ้นงานมากนัก

ความเค้นและความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำการกลึงอาจทำให้คุณสมบัติทางกลของชิ้นงานซึ่งเป็นเหล็กกล้าเปลี่ยนไปโดยอาจทำให้เหล็กกล้าเกิดการแตกหักก่อนเวลาอันสมควร อันเป็นผลเนื่องมาจากการขึ้นรูปหรือในทางตรงกันข้าม การขึ้นรูปด้วยการกลึงอาจทำให้ผิวของชิ้นงานมีความแข็งมากขึ้นสามารถนำความแข็งนี้มาใช้ประโยชน์ได้หรือลดขั้นตอนในการชุบแข็งผิวของชิ้นงานได้ ในโครงการนี้จะใช้เหล็กกล้า AISI 1045 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมาทำการทดลอง เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน ระยะป้อนลึก ความเร็วตัด การสึกหรอของมีดกลึง และสารหล่อเย็น กับความแข็งของผิวชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีการกลึง โดยจะทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติช่วยในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการกลึงต่างๆ เหล่านี้กับความแข็งของผิวชิ้นงาน

### 1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อน ระยะป้อนลึก ความเร็วตัด การสึกหรอของมีดกลึง และสารหล่อเย็นกับความแข็งของผิวชิ้นงานเหล็กกล้า AISI 1045 ที่ผ่านการขึ้นรูปโดยกรรมวิธีการกลึง

### 1.2 ขอบเขตของโครงการ

1. ทำการทดลองกับชิ้นงานเหล็กกล้า AISI 1045 ที่กลึงด้วยมีดกลึงทั้งสแตนคาร์ไบด์เท่านั้น
2. เก็บข้อมูลค่าความแข็งของผิวชิ้นงานที่ได้จากเงื่อนไขการกลึงที่ต่างกันด้วยวิธี Vickers Micro Hardness
3. วิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาปัจจัยในการกลึงที่ส่งผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน

### 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยในการกลึงที่ส่งผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน
2. เป็นแนวทางในการปรับปรุงการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการกลึงแก่ผู้ปฏิบัติงานกลึง
3. ทำให้มีความเข้าใจในวิชาสถิติสำหรับงานวิศวกรรมมากขึ้น
4. เป็นแนวทางเบื้องต้นให้กับผู้ที่สนใจในการศึกษาเรื่องนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีด้านโลหะวิทยา

##### 2.1.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า

ปริมาณธาตุคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้า จะมีผลต่อคุณสมบัติในด้านความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อเหล็กมีปริมาณคาร์บอนสูงไม่เกิน 2% และความแข็งแรงสูงสุดเมื่อเหล็กมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.83% แต่เหล็กมีคาร์บอนมากกว่าหรือน้อยกว่า 0.83% จะทำให้ความแข็งลดลง ส่วนคุณสมบัติ ด้านความเหนียวหรือความต้านทานแรงกระแทก เมื่อเหล็กมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นบางครั้งก็กล่าวได้ว่าเหล็กยังมีปริมาณคาร์บอนมากจะทำให้เหล็กมีความแข็งสูง แต่เปราะหักง่าย ทนแรงกระแทกต่ำ

คุณสมบัติของเหล็กกล้า ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของภาค รูปแบบโครงสร้างผลึกและการกระจายตัวของผลึกด้วย ในที่นี้จะกล่าวถึงผลของรูปแบบโครงสร้างผลึกจะเห็นได้ว่าโครงสร้างเฟอร์ไรท์ ทำให้เหล็กอ่อน มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) และเปอร์เซ็นต์การลดขนาด (%Reduction Area) ได้มาก ในเหล็กจะมีโครงสร้างเฟอร์ไรท์ได้ก็ต่อที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ โครงสร้างซีเมนไตท์ทำให้เหล็กมีความแข็งสูง แต่เปราะง่าย มักเกิดในเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนสูง โครงสร้างเพิร์ลไรท์กับซีเมนไตท์รวมกันทำให้เหล็กทนแรงดึงสูงแต่ในเหล็กที่เรานำมาใช้งานส่วนมากจะไม่พบ โครงสร้างใด เพียง โครงสร้างเดียว มักจะพบ โครงสร้างผสมกันอาจจะมีเฟอร์ไรท์มากเพิร์ลไรท์น้อย หรือ เพิร์ลไรท์มาก และซีเมนไตท์น้อย เป็นต้น ก็จะทำให้คุณสมบัติแตกต่างกัน

##### 2.1.2 ความเค้น

แรงทุกชนิดเป็นตัวการทำให้เกิดความเค้นจากและความเค้นเฉือน ขนาดของความเค้นต้องไม่สูงกว่าค่าของแรงยืดเหนียววัสดุ และความต้านทานแรงเฉือน เมื่อใดที่ความเค้นที่กระทำมากกว่าค่าต้านทานความเค้นนั้น การแตกหักจะเกิดขึ้น เช่น การนำเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งแปรรูปโดย การกลึง หรือ การไส ไม่ถูกวิธีจะทำให้เกิดความร้อนบนผิวหน้ามากผลของความร้อนช่วยคลายความเค้นจริง แต่ผิวหน้าที่ได้รับความร้อนจะเปลี่ยนโครงสร้าง เป็น มาเทนไซต์ เกิดการแตกสลายลง

โดยปกติการแตกหักมักเกิดขึ้นรวมกันทั้งการแตกเหนียวและแตกเปราะจากความเค้นแปรค่าที่หลงเหลืออยู่ใน โครงสร้าง การแปรรูปของความเค้นในขณะที่เกิดการแตกเร็ว และแม้แต่การหันเหทิศทางการเคลื่อนตัวเป็นตัวช่วยเสริมการแตกหักทั้งแตกเหนียวและแตกเปราะ

ปัญหาข้อบกพร่องอันเกิดจากวัสดุได้รับความเค้นเกินขนาด จะหาจากการพิจารณาองค์ประกอบ 2 ประการ คือ

1. ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วน
2. ความแข็งแรงที่สามารถรับความเค้นขนาดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นอาจเป็นแบบกระทำตามแนวแกนอย่างง่ายหรือเป็นความเค้นซับซ้อนกระทำในหลายทิศทางทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแรงกระทำ และรูปร่างเรขาคณิตของชิ้นส่วน ความเค้นผลลัพธ์จะต้องพิจารณารวมไปถึงความเค้นตกค้างในบริเวณต่างๆ อันเกิดจากการประกอบชิ้นส่วน การอบชุบด้วยความร้อนและความเค้นที่เกิดจากแรงภายนอกกระทำ

ความเค้นที่สำคัญที่สุดคือความเค้นจากแรงภายนอกในทิศทางตั้งฉากกับหน้าตัดของชิ้นงาน (Normal Stress) และความเค้นเฉือน (Shear Stress) ความเค้นจากแคว้งตัดออกจากกัน ส่วนความเค้นเฉือนจะก่อให้เกิดการไหลแบบพลาสติก สาเหตุของการเกิดความเค้นนี้อาจเกิดได้จาก 2 สาเหตุ จะโดยสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งก็ได้จากชิ้นงานถูกกระทำด้วยแรงทางกลซึ่งเรียกความเค้นนี้ว่า ความเค้นเนื่องจากแรงทางกล (Mechanical Stress) เช่น การขึ้นรูปหรือการกลึงแต่งด้วยเครื่องมือกลแบบหยาบๆหรือรุนแรง ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งเกิดได้จากชิ้นงานที่ถูกกระทำด้วยความร้อนซึ่งเรียกความเค้นชนิดนี้ว่า ความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress) เช่น ชิ้นงานถูกเชื่อมหรือชิ้นงานหล่อโลหะชิ้นงานเหล่านี้ถ้าไม่ทำการแก้ไข อาจเป็นสาเหตุทำชิ้นงานเสียหายภายหลัง

ยกตัวอย่างของการเกิดความเค้นตกค้างของชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วยเครื่องมือกลอย่างรุนแรงจะเกิดแรงกระทำหรือความเค้นขึ้นภายในเนื้อ โลหะ แต่จะไม่แสดงผลในขณะนั้น ซึ่งจะเห็นผลเมื่อนำชิ้นงานนั้นไปใช้งานหรือนำไปชุบแข็งเพราะขณะที่ทำการอบเหล็กให้ร้อนขึ้นในกรรมวิธีชุบแข็ง เหล็กกล้าเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นย่อมมีค่าความแข็งแรงต่ำกว่าความเค้นตกค้างในชิ้นงาน และเมื่อนั้นความเค้นตกค้างจะแสดงผลออกมาโดยยึดให้ชิ้นงานบิดงอได้ ดังนั้นจึงมีข้อสังเกตอย่างหนึ่งว่าก่อนทำการชุบแข็งจึงควรนำชิ้นงานที่กลึงหยาบไปอบลดความเค้นและนำมากลึงละเอียดให้ได้ขนาด

## 2.2 ทฤษฎีด้านงานกลึง

### 2.2.1 ความหมายของงานกลึง (Turning)

เป็นการแปรรูปชิ้นงานในลักษณะทรงกระบอก ชิ้นงานหมุนกลม เครื่องมือตัดมีคมเดียว มีทิศทางการป้อนขนานกับแกนของการหมุนและการกินลึกในทิศทางตั้งฉาก กล่าวคือ ถ้าเป็นการกลึงผิวข้างนอกเรียกว่า การกลึงนอก และ ถ้าเป็นการกลึงผิวข้างใน เรียกว่า การกลึงใน การกลึงชิ้นงานเป็นรูปทรงกระบอกยาวเรียกว่า การกลึงปอก ถ้าการกลึงหน้าตัดให้เป็นผิวเรียบเรียกว่า การกลึงปาดหน้า และเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูปเรียกว่า เครื่องกลึง (Lathe)

### 2.2.2 การคำนวณความเร็วตัด (Cutting Speed ; $V_c$ )

ความเร็วตัดเป็นความเร็วที่คมตัดมีดกลึงตัดเฉือนวัสดุได้เมื่อชิ้นงานกลึงหมุนไปครบจำนวน 1 รอบ คมตัดมีดกลึงตัดเฉือนเป็นแนวตัดยาวเท่าเส้นรอบวงของชิ้นงาน (1รอบ =  $\pi D$ ) และมีหน่วยที่ใช้เป็น เมตร / นาที (m/min) หรือ ฟุต / นาที (ft/min) การหาความเร็วตัดในงานกลึง สามารถหาได้จากตารางมาตรฐาน หรือจากการคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$V_c = (\pi D n) / 1000 \quad (\text{เมตร / นาที}) \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $V_c$  = ความเร็วตัด (เมตร / นาที)  
 $D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของงาน (มิลลิเมตร)  
 $n$  = ความเร็วรอบของเพลากลึง (รอบ / นาที)

### 2.2.3 การคำนวณความเร็วรอบของเพลากลึง (Main Spindle Speed ; n)

ความเร็วรอบของเพลากลึงคิดเป็นรอบต่อนาที และ ค่าที่เลือกใช้จะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วตัดของวัสดุงานกลึง และขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานกลึง ค่าความเร็วรอบสามารถหาได้จากสูตร ดังนี้

$$n = (V_c 1000) / (D \pi) \quad (\text{รอบ / นาที}) \quad (2.2)$$

เมื่อ  $n$  = ความเร็วรอบของเพลากลึง (รอบ / นาที)  
 $V_c$  = ความเร็วตัด (เมตร / นาที)  
 $D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของงาน (มิลลิเมตร)

### 2.2.4 อัตราป้อนกลึง (Feed ; F)

เป็นระยะทางการเคลื่อนที่ต่อนาที หรือ ต่อบรรยากาศ การเลือกใช้อัตราป้อนงานกลึงที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับวัสดุชิ้นงาน ชนิดของมีดกลึง ความโตเส้นผ่านศูนย์กลางงาน และ ความหยาบ ความละเอียดของผิวงาน อัตราป้อนกลึงคำนวณหาได้จากสูตร ดังนี้

$$F = n F_{rev} \quad (\text{มิลลิเมตร / นาที}) \quad (2.3)$$

เมื่อ  $F$  = อัตราป้อนกลึง (มิลลิเมตร / นาที)  
 $n$  = ความเร็วรอบของเพลากลึง (รอบ / นาที)  
 $F_{rev}$  = อัตราป้อนต่อบรรยากาศ (มิลลิเมตร / รอบ)

### 2.2.5 ความลึกในการตัด (Depth of Cut)

จำนวนที่เราป้อนมีดให้ลึกเข้าไปในเนื้องาน ในแต่ละเที่ยว ในการกลึงหยาบจะป้อนลึกมากกว่าการกลึงละเอียด การป้อนลึกในการตัด และอัตราป้อน จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัด เพราะมีดกลึงจะมีความสามารถในการตัดงานให้หลุดออกจากชิ้นงาน เป็นจำนวนหนึ่งนาที อาจจะเป็นลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที หรือ ลูกบาศก์นิ้วต่อนาที ตามแต่ชนิด รูปร่างและการลับมุมต่างๆ ของมีดกลึง ดังนั้นถ้าเราเพิ่มอย่างหนึ่งอย่างใดในสามอย่างนี้ เราก็จะต้องลดอย่างใดอย่างหนึ่งที่เหลือ หรือทั้งสองอย่างที่เหลือลง เพื่อให้ปริมาณการตัด โลหะในหนึ่งนาทีมีจำนวนเท่ากับที่มีดกลึงสามารถจะกลึงได้ในหนึ่งนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.6 มีดกลึง

คือเครื่องมือที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานให้เป็นรูปร่างต่างๆ ในกระบวนการกลึง มีดกลึงเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญมากที่สุด ในการปฏิบัติงานกับเครื่องกลึง เพราะมันจะเป็นตัวที่จะไปตัดเนื้อของชิ้นงานออก ชิ้นงานที่ได้จากการกลึง จะเรียบถูกต้อง ประหยัดเวลา และแรงงานเพียงใด ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของมีดกลึง ประสิทธิภาพของมีดกลึงขึ้นอยู่กับ วัสดุที่ใช้ทำมีดกลึงว่า มีความแข็ง ทนความร้อน ทนต่อการเสียดสี ไม่สึกหรอง่าย ไม่เปราะ ทนต่อแรงกระแทกกระเทือนได้ดี มีรูปร่างลักษณะที่เหมาะสมกับงานที่จะกลึง มีการลับมุมต่างๆที่เหมาะสมกับวัสดุชิ้นงานแต่ละชนิด เพื่อให้ความคมและความทนทาน อย่างเต็มที่ มีดกลึงที่ไม่เหมาะสม จะต้องเสียเวลาในการกลึงงาน งานไม่เรียบร้อย ต้องถอดมีดออกมาลับบ่อยๆ มีดนั้นจะกลึงงานไม่เข้า เกิดการเสียดสี หรือดันชิ้นงานให้โค้งเกิดการคดงอ อดหักได้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจะต้อง เลือกวัสดุที่เหมาะสมและลับให้มีรูปร่าง มีมุมต่างๆ ให้เหมาะสมกับรูปร่างของชิ้นงาน และ ชนิดของวัสดุที่จะถูกกลึงด้วย

วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting Tools Material)

วัสดุที่นำมาทำ Cutting Tools ควร ที่จะความแข็ง ความเหนียว และความต้านทานการสึกหรอที่อุณหภูมิสูง วัสดุเครื่องมือตัดต่างๆ ไปต้องมีคุณสมบัติแปรตามวัสดุที่นำมาตัด วัสดุที่นำมาใช้ทำเครื่องมือตัดแบ่งได้ดังนี้

- Tool Steel, Plain Carbon steel มีคาร์บอนอยู่ 0.90-1.30% เมื่อชุบแข็งและ Temper มีความแข็งดี ความเหนียวปานกลาง และสามารถทำให้คมตัดแหลมได้ นำมาใช้เป็น Cutting Tools ตัดโลหะ

- High Speed Steel พวกนี้เป็น High-Alloy steel มีความสามารถทนต่ออุณหภูมิขณะตัดโลหะได้ 1,100 ° F ดีกว่า Tool Steel แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ Molybdenum และ Tungsten ชนิดแรกมี Mo สูงถึง 9% นอกนั้นก็ยังมี Alloying Element Tungsten และคาร์บอน 1.30% ชนิดที่ 2 Tungsten เรียกว่า 18-4-1 Type มี W 18%, Cr 4%, V 1% นอกจากนั้น มี Mo 8% วัสดุชนิดนี้ใช้กันกว้างขวาง เช่น ทำดอกสว่าน มีดกัด และมีดกลึง เป็นต้น ใช้กับการตัดโลหะอัตราการผลิตสูง

- Cast alloy ใช้กับ Cutting tool ที่ต้องการ Hardness สูง และทนต่อการสึกหรอได้ดี ใช้ตัดเหล็กเหนียว มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ ส่วนผสม 1-3% C, 10-20%W, 20-30%Cr และใช้ Cobalt เป็นตัวยึด วัสดุนี้ใช้ความเร็วตัดสูงกว่า HSS แต่เปราะกว่า ใช้ทำ Cutting tool ประเภท Hard facing, Die, Gauge, Cutter และ Cam

- Cemented carbides วัสดุเหล่านี้ทำมาจาก Tungsten, Titanium หรือ Tantalum ใช้วิธี Powder metallurgy โดยมี Cobalt เป็นตัวยึด จะมี Carbide ของ Vanadium, Columbium, Chromium, Zirconium หรือ Molybdenum เติมลงไป ด้วย วิธีการทำโดยการนำเอาผงทั้งหมดมาอัดด้วยแรงอัด 30 ตัน / ตารางนิ้ว แล้วเผาที่อุณหภูมิ 2500-2900 °F เวลา 1 ชั่วโมง คุณสมบัติของวัสดุนี้มีความแข็ง 70 RC แต่เปราะ Toughness ไม่ดี แรงค้ำต่ำ แต่มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงดี

- Ceramics เป็นวัสดุที่ใช้  $Al_2O_3$  ทำให้เป็นผงแล้วอัดเป็นชั้นๆด้วยแรงอัด 20-28 ตัน / ตารางนิ้ว อบที่อุณหภูมิ 1800 °F มีความเร็วตัดสูงกว่า Tungsten Carbide 2-3 เท่า ไม่ต้องใช้สารหล่อเย็นก็ได้ อายุการใช้งานทนกว่า HSS และ WC ใช้ตัดโลหะที่ใช้เครื่องประเภทอัดโนมัต มีราคาแพง

- Diamond เป็นวัสดุที่แข็ง ทำมาจากเพชร แต่เป็นเพชรที่ไม่มีคุณค่าในทางการนำไปเป็นเครื่องประดับ หรือ เรียกว่า เพชรเทียม ประโยชน์ในการตัดโลหะ เช่น การคว้าน ต้องการความเที่ยงตรง ผิวเรียบ สามารถตกแต่งงานกลึงได้เร็วกว่า HSS ประโยชน์ด้านอื่น ใช้ตกแต่งผิวเจียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.7 ทฤษฎีสารหล่อเย็น

ในการกลึงชิ้นงาน จะเกิดความร้อนขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนรูปของวัสดุบนระนาบเฉือน และการเสียดสีของเศษตัดบนผิวคายเศษ และผิวหลบ นำพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในการตัดจะเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานความร้อน อุณหภูมิของการตัดจะสูงขึ้นเมื่อ ความเร็วตัดสูงขึ้น เนื้อวัสดุชิ้นงานเหนียวมากขึ้น แรงตัดเฉือนสูง ลักษณะรูปร่างและมุมต่างๆ ของมีดตัดที่ไม่เหมาะสม ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูง มีการหล่อเย็นน้อย อุณหภูมิสูงสุดจากการเสียดสีระหว่างผิวเศษตัดและผิวคายเศษของมีดตัด ยิ่งอุณหภูมิสูงมากขึ้นเท่าใดยิ่งทำให้มีดตัดมีการสึกหรอเร็วมากขึ้นเท่านั้น

หน้าที่ของน้ำยาหล่อเย็น จะช่วยนำความร้อนที่เกิดขึ้นกับมีดตัด ช่วยลดแรงเสียดทาน และลดความร้อนที่เกิดจากการเสียดสี เนื่องจากการลดแรงเสียดทานจะมีผลทำให้มุมระนาบเฉือนโตขึ้น นั่นหมายถึงการทำให้เกิดมุมระนาบเฉือนน้อยลงด้วย ช่วยลดการสึกหรอ และลดแรงตัดเฉือนของมีดตัด ช่วยพาเศษตัดออกไปจากบริเวณตัดเฉือนและเป็นการทำความสะอาดอีกด้วย

คุณสมบัติของน้ำยาหล่อเย็น สามารถระบายความร้อนได้หล่อลื่นได้ รับแรงกดโดยโมเลกุลยังประสานต่อเนื่องกันอยู่ เช่น ความหนืด ความสามารถในการชะล้าง ป้องกันการกัดกร่อนได้ การหมักสภาพการใช้งานซ้ำ ผสมน้ำได้ไม่เกิดฟอง เกาะผิวได้สม่ำเสมอ ทำความสะอาดง่าย ไม่ติดไฟง่าย ไม่มีกลิ่น ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษ

ชนิดของน้ำยาหล่อเย็น

- Soluble Oils ใช้ผสมกับน้ำ และจะอยู่ในสภาพของสารละลาย มีคุณสมบัติในการหล่อเย็นที่ดี ให้การหล่อลื่นและป้องกันการเกิดสนิม
- Cutting Oils เป็นน้ำมันตัดที่เติมสารที่มีคุณสมบัติในการตัดเฉือนเข้าไป และจะอยู่ในสภาพของสารละลาย เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการหล่อเย็น การหล่อลื่น และการสึกหรอของเครื่องมือตัด
- Chemical Cutting Oils เป็นน้ำยาหล่อเย็นที่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมี จะอยู่ในสภาพของสารละลาย เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการหล่อเย็น การหล่อลื่น การสึกหรอ และการลดแรงเสียดทาน แต่จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมี และบางชนิดมีส่วนผสมของสาร Extreme-Pressure ซึ่งจะต่อต้านการเกิดความร้อน และแรงดันสูงเนื่องจากการตัดเฉือน

## 2.3 ทฤษฎีด้านการทดสอบความแข็ง

### 2.3.1 การทดสอบความแข็งแบบวิธีวิกเกอร์ (Vickers)

เพชรรูปพีระมิดสี่เหลี่ยมใช้ทดสอบวัสดุทุกชนิดที่มีความแข็งน้อยไปหามากหรือที่มีความแข็งทุกชนิด (ยังสามารถใช้ทดสอบความแข็งชิ้นงานที่บางมากๆ ได้ เช่น ใบมีดโกน) แรงที่ใช้กดเริ่มจากสูตรที่พัฒนาโดยบริษัท Metropolitan – Vickers and Co., London.

$$\text{ค่าความแข็ง} \quad HV = 0.189 F / d^2 \quad (2.4)$$

S = พื้นที่รอยกดบนชิ้นทดสอบ ( $mm^2$ )

d = เส้นทแยงมุมของรอยกดเป็น mm =  $(d_1 + d_2) / 2$

F = แรงที่ใช้กดเป็น N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่ใช้กดนั้นขึ้นอยู่กับความแข็งแรง และความหนาของชิ้นงานที่จะทดสอบ โดย  $d \leq 0.67$  ของความหนาของชิ้นงานที่จะทดสอบ

ตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์ค่าของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

640 HV 30	ความแข็งตามวิกเกอร์ 640 ใช้แรงกด 294 N ใช้เวลาทดสอบ 10 ถึง 15 วินาที
180 HV 50/30	ความแข็งตามวิกเกอร์ 180 ใช้แรงกด 490 N ใช้เวลาทดสอบ 30 วินาที

## 2.4 ทฤษฎีการสึกหรอของมีดถึง

เครื่องมือตัดขณะที่ใช้งานจะเกิดความเค้น การเสียดสี และความร้อนสูง เป็นผลทำให้เครื่องมือตัดมีอายุการใช้งานสั้นลง ซึ่งจะปรากฏออกมาในรูปของการสึกหรอ จึงส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มีขนาดที่ผิดไปจากที่ต้องการและมีผิวหยาบอัตราการสึกหรอส่วนมากมีสาเหตุมาจาก การเลือกใช้เครื่องมือตัดที่ไม่เหมาะสมกับวัสดุงานรวมทั้งรูปร่างของวัสดุด้วย การหล่อเย็นที่ไม่ถูกชนิดหรือการหล่อเย็นไม่ตรงจุดและไม่มีการล้างน้ำหล่อเย็นที่แรงเพียงพอ ที่สำคัญคือการเลือกใช้ค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ความเร็วรอบ ความเร็วตัด และอัตราป้อนไม่ถูกต้อง

### 2.4.1 การสึกหรอของคมตัด

- การสึกหรอของคมตัดกับเวลาที่ใช้ในการตัด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือ
- ช่วงแรก เป็นการสึกหรออย่างรวดเร็วของใบมีดตัดที่มีปลายมีดที่สมบูรณ์ คือลักษณะของปลายแหลมซึ่งจะทำให้เกิดการแตกหักง่าย เรียกว่า "Initial Wear"
- ช่วงที่สอง อัตราการสึกหรอจะคงที่เมื่อเทียบกับเวลาซึ่งจะแปรผันตามเวลาเรียกว่า "Steady Wear"
- ช่วงที่สาม เป็นการสึกหรอที่รวดเร็วมากเมื่อเราใช้งานนานขึ้นเนื่องจากความร้อนและการสึกหรอมีมากขึ้นสูงสุด เรียกว่า "Rapid Wear"

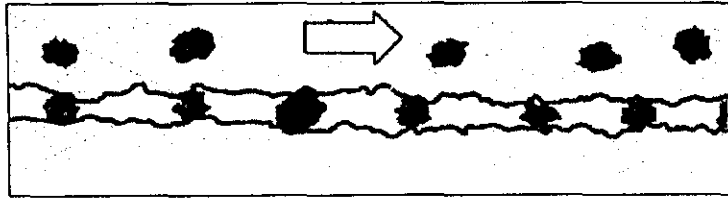
### 2.4.2 สาเหตุของการสึกหรอของมีด

บริเวณคมตัด และผิวคายเศษ โลหะเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง มีการเสียดสีอย่างรุนแรงซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการสึกหรอของเครื่องมือตัด ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

#### 2.4.2.1 การเสียดสี (Abrasion Wear)

จากอนุภาคที่มีความแข็ง เช่นทรายที่ติดมากับชิ้นงานที่ได้จากการหล่อ ชิ้นส่วนของวัสดุชิ้นงานที่เกิดการพอกตัวที่ผิวคมตัด (Build up edge) วัสดุพวกนี้จะถูกเศษวัสดุลากไปตามคมตัด หรือผิวคายเศษโลหะ ในกรณีเช่นนี้จะเห็นว่าวัสดุเครื่องมือตัดที่สามารถรักษาความแข็งไว้ที่อุณหภูมิสูงจะสามารถต้านทานการสึกหรอจากวิธีนี้เป็นอย่างดี

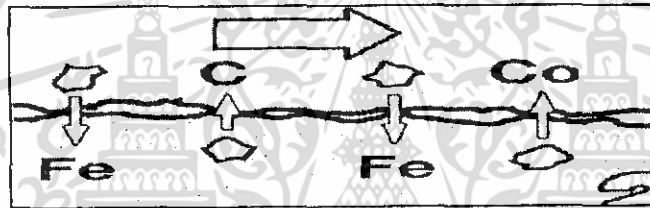
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเสียดสี

#### 2.4.2.2 การแพร่ของอะตอม (Diffusion Wear)

จากวัสดุเครื่องมือตัดเข้าสู่วัสดุชิ้นงานหรือเศษวัสดุ ในบริเวณผิวสัมผัสซึ่งมีอุณหภูมิสูง จะเกิดการแลกเปลี่ยนอะตอมข้ามผิวสัมผัสที่เรียกว่าการแพร่ ซึ่งเป็นได้ทั้งการแพร่จากวัสดุเครื่องมือตัดไปยังวัสดุชิ้นงานหรือในทางกลับกัน ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงของเครื่องมือตัดลดลง เนื่องจาก Alloy Element ลดปริมาณลง จึงทำให้เกิดการสึกหรอได้ง่าย



รูปที่ 2.2 ลักษณะการแพร่ของอะตอม

#### 2.4.2.3 Oxidation Wear

เมื่อมีการใช้สารหล่อเย็นจะเกิดการดึงน้ำมึนออกไปตามน้ำหล่อเย็น

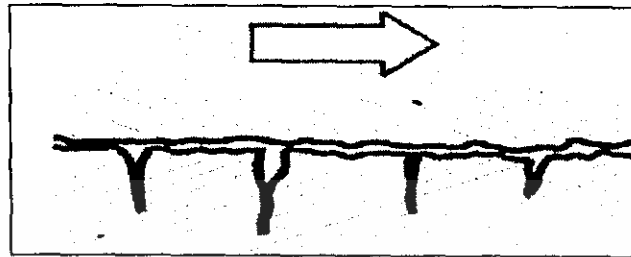


รูปที่ 2.3 ลักษณะการ Oxidation Wear

#### 2.4.2.4 การฉีกที่อุณหภูมิสูง (Fatigue Wear)

ความแข็งแรงของวัสดุจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เค้นครากลดลงจากค่าของอุณหภูมิห้องแม้ว่าเศษวัสดุจะมีความเค้นครากค่าว่ามีคตัดก็ตาม แต่มันจะเกิด Work Hardening ในขณะที่มันเคลื่อนที่ผ่านผิวคานเศษโลหะ ซึ่งเมื่อประกอบกับความเค้นฉีกที่เกิดจากความเสียดทานจึงมากพอที่จะทำให้การครากโดยการฉีกขึ้นกับผิว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

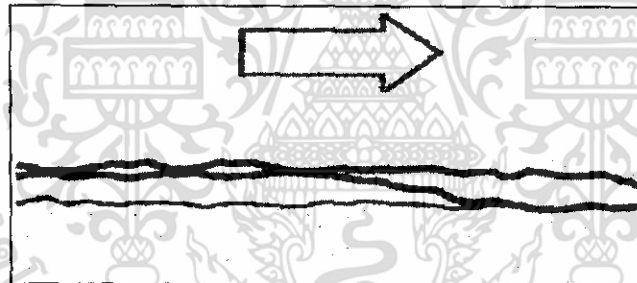
คายเศษ โลหะ ซึ่งก็จะทำให้เกิดการสึกหรอเกิดขึ้น ดังนั้นหากอุณหภูมิของการตัดเพิ่มขึ้นก็มักจะมีผลให้เกิดการสึกหรอในกรณีนี้มากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 2.4 ลักษณะการเสียนที่อุณหภูมิสูง

#### 2.4.2.5 การพอกตัวที่คมตัด (Adhesion Wear)

การที่มีเศษวัสดุมาพอกตัวที่คมตัด เป็นอีกสาเหตุที่สำคัญเนื่องจากเมื่อเศษวัสดุเหล่านี้หลุดออกมาจะมีส่วนของวัสดุเครื่องมือตัดในบริเวณผิวสัมผัสหลุดตามออกมาด้วย ซึ่งเศษวัสดุพอกตัวนี้มีความแข็งสูงจึงทำให้เกิดการสึกหรอตามข้อ 1 อีกด้วย



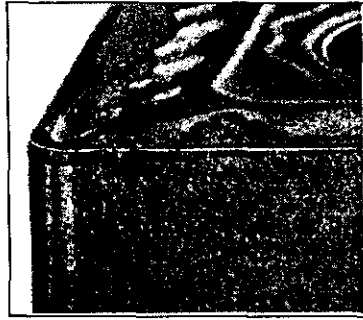
รูปที่ 2.5 ลักษณะการพอกตัวที่คมตัด

#### 2.4.3 ชนิดของการเกิดการสึกหรอบนคมตัด

##### 2.4.3.1 Flank Wear

เป็นการสึกหรอที่เกิดบนคมตัดของชิ้นงานมีผลต่อการตัดเฉือนมาก เนื่องจากถ้าการสึกหรอที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่แล้วจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากขณะทำการตัดทำให้การเฉือนเป็นไปค่อนข้างยาก โดยสาเหตุอาจเกิดจากการที่ใช้ความเร็วตัดในการตัดชิ้นงานที่สูง และความสามารถในการทนแรงเสียดสีของมีดตัดต่ำ ซึ่งสามารถทำการแก้ไขได้โดยการลดความเร็วตัด เลือกรีดของมีดตัดที่ทนต่อแรงเสียดสีได้ดี หรืออาจได้โดยการเคลือบผิวมีดตัดด้วย อลูมิเนียมออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ลักษณะการสึกหรอแบบ Flank Wear

#### 2.4.3.2 Crater Wear

เป็นการสึกหรอที่เกิดบนผิวคาชเสขโลหะตรงบริเวณด้านบนของมีดตัดมีลักษณะเป็นหลุมลึกลงไปในตัวมีดตัด มีผลให้การคาชเสขโลหะเกิดการเสียดสีมากซึ่งเป็นสาเหตุมาจากการเกิดความร้อนสูงที่บริเวณตัดชิ้นงานและอาจเกิดจากการที่ขอบของชิ้นงานมีความแข็งแรงต่ำทำให้เกิดการแตกหักของปลายคมตัด วิธีการป้องกันสามารถทำได้โดยการเลือกมีดตัดเกรดที่มีอุณหิเนียมออกไซด์เคลือบที่ผิวของคมมีดตัดและเลือกใช้ความเร็วตัดที่ต่ำเพื่อลดความร้อนที่เกิดเนื่องจากกระบวนการตัด



รูปที่ 2.7 ลักษณะการสึกหรอแบบ Crater Wear

#### 2.4.3.3 Plastic Deformation

เป็นการสึกหรอที่เกิดที่บริเวณคมตัดของชิ้นงาน โดยเกิดการเปลี่ยนรูปที่คมตัดของมีดตัดซึ่งเกิดการโค้งมนทำให้คมตัดไม่คม ซึ่งเกิดจากการที่ใช้งานที่อุณหภูมิการตัดสูงและมีแรงอัดสูงที่ปลายของคมมีดตัดสูงด้วย วิธีการป้องกันสามารถทำได้โดยการเลือกใช้มีดตัดที่มีเกรดที่ทนต่อการเกิด Plastic Deformation และเกรดที่มีความแข็งแรงสูงและอีกทางหนึ่งก็คือการลดความเร็วตัดและลดอัตราป้อน

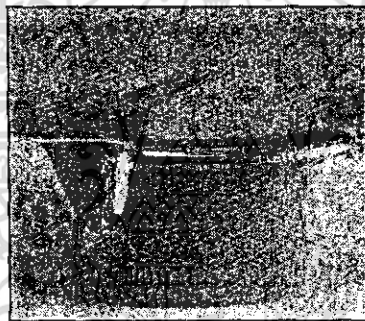
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ลักษณะการสึกหรอแบบ Plastic Deformation

#### 2.4.3.5 Notch Wear

เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นที่บริเวณปลายคมตัดจะมีผลทำให้ชิ้นงานมีขนาดโตขึ้นได้ และมีผลทำให้ผิวของชิ้นงานไม่เรียบ และยังส่งผลให้คมตัดเกิดการแตกหักได้ วิธีการป้องกันสามารถทำได้โดยการลดความเร็วตัดและเลือกเกรดของมีดตัดที่มีลูมิเนียมออกไซด์เคลือบที่ผิว เพื่อให้ผิวของมีดตัดสามารถทนการเสียดสีได้ดีขึ้น



รูปที่ 2.9 ลักษณะการสึกหรอแบบ Notch Wear

คุณสมบัติของวัสดุใบมีดในการตัดวัสดุ เครื่องมือตัดต้องมีความแข็งแรงสูงกว่าวัสดุชิ้นงาน จึงทำให้เกิดการตัดได้ แต่ความแข็งแรงเพียงอย่างเดียวยังไม่พอที่จะพิจารณาว่าวัสดุเครื่องมือตัดนั้นมีคุณสมบัติดีกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีปัจจัยอีกหลายอย่างในขบวนการตัดเช่น ความไม่สม่ำเสมอของแรงตัด ความร้อน รวมถึงราคาของวัสดุนั้นด้วย คุณสมบัติที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้นิคมของวัสดุเครื่องมือตัดมีดังนี้

1. มีความแข็งแรงสูงกว่าความแข็งของวัสดุชิ้นงาน
2. มีความแข็งแรงสูง ควรมีความต้านทานแรงดึงสูง มีความต้านทานแรงกดสูงด้วย
3. รักษาหรือคงความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง
4. ทนทานต่อการสึกหรอ
5. มีความเหนียวดี สามารถทนต่อแรงกระแทกที่อาจเกิดขึ้นได้
6. ลับคมตัดได้ง่าย
7. ไม่เปราะ หรือแตกร้าวได้ง่ายเมื่อถูกแรงกระแทก
8. ไม่ไวต่อการประลัยโดยการล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

9. ไม่วิวต่อปฏิกิริยาเคมี
10. ขึ้นรูปง่าย
11. เมื่อเปรียบเทียบกับราคากับผลงานที่ได้ควรมีราคาถูก
12. หาซื้อได้ง่าย

อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะหาวัสดุที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตามที่ได้กล่าวมาทุกประการ เช่น วัสดุที่ความแข็งแรงสูงมักจะเปราะ ไม่เหมาะในการตัดหยาบ และวัสดุที่ทนทานต่อการสึกหรอ จำเป็นที่จะต้องมีส่วนผสมของธาตุอื่นๆ (Alloy) และต้องมีการอบชุบที่ดีจึงทำให้มีราคาที่แพงขึ้น

## 2.5 ทฤษฎีด้านสถิติ

### 2.5.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองแบบ แฟคทอเรียล เป็นการศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป หมายถึงการทดลองที่พิจารณา ถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้นๆ ซึ่งการออกแบบการทดลองที่ในปริณญาณิพนธ์จะอยู่ในลักษณะของ รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ในกรณีที่มีปัจจัย A จำนวน a ระดับ ปัจจัย B จำนวน b ระดับ ปัจจัย C จำนวน c ระดับ ต่อไปเช่นนี้เรื่อยๆและทั้งหมดนี้ถูกจัดให้อยู่ในลักษณะของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลซึ่งจะมีจำนวนข้อมูลที่ได้ทั้งหมดเท่ากับ  $abc\dots n$  และจะต้องมีเรพลิเคตอย่างน้อย 2 เรพลิเคต เพื่อจะทำให้สามารถหาค่าผลรวมกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาดได้ ถ้าอันตรกิริยาที่เป็นไปได้ทั้งหมดถูกนำเข้าไปพิจารณาในแบบทดลอง

ถ้าปัจจัยทั้งหมดในการทดลองเป็นแบบคาบตัวเราสามารถที่จะคิดสูตรและทดลองสมมุติฐานที่เกี่ยวกับผลหลักได้โดยง่ายสำหรับแบบจำลองแบบผลคาบตัว ตัวทดสอบเชิงสถิติสำหรับผลหลักและอันตรกิริยาสามารถหาได้โดยสร้างค่ากำลังสองเฉลี่ยของสิ่งนั้นขึ้นแล้วหารด้วยค่ากำลังสองเฉลี่ยของความผิดพลาด การทดลองสมมุติฐานจะใช้ F-test แบบทดสอบปลายบนหนึ่งด้าน จำนวนระดับขึ้นความเสรีของสำหรับผลหลักของปัจจัยใดๆมีค่าเท่ากับระดับของปัจจัยนั้นลบด้วย 1 และจำนวนขึ้นความเสรีของอันตรกิริยามีค่าเท่ากับผลคูณของระดับขึ้นความเสรีของส่วนประกอบของอันตรกิริยานั้นๆ

ข้อดีของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1. ในกรณีที่แต่ละปัจจัยเป็นอิสระต่อกัน (ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน) ค่าของอิทธิพลเดียวจะเท่ากับค่าของอิทธิพลหลักจึงใช้เฉพาะอิทธิพลหลักในการอธิบายบทบาทของปัจจัยนั้นได้ และมีความแม่นยำเท่ากัน เสมือนผู้ทดลองใช้แต่ละปัจจัยในการทำการทดลองเท่านั้น

2. ในกรณีที่แต่ละปัจจัยมีอิทธิพลร่วมก็จะทำให้สามารถศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ไปพร้อมกันได้และรู้ถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านั้นด้วยทำให้สรุปผลได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

ข้อเสียของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1. เมื่อจำนวนของปัจจัยมากขึ้นหรือระดับของปัจจัยมากขึ้นจะทำให้การทดลองมีขนาดใหญ่ทำให้ความแปรปรวนในการทดลองมีมากขึ้น

2. การทดลองขนาดใหญ่จะแปรผลได้ยาก โดยเฉพาะเมื่อแต่ละปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 การเลือกขนาดของตัวอย่าง

ในปัญหาที่เกี่ยวกับการออกแบบทดลอง หนึ่งใน การตัดสินใจที่สำคัญก็คือ การเลือกขนาดของตัวอย่าง (Sample Size) นั่นคือ การหาจำนวนของเรปลิเคต (Replicate) ของการทดลอง โดยทั่วไปถ้าผู้ทดลองสนใจที่จะตรวจสอบผลที่มีขนาดเล็ก จำนวนของเรปลิเคตที่ใช้จะต้องมากกว่าเมื่อเขาต้องการตรวจสอบผลที่มีขนาดใหญ่ ในส่วนนี้เราจะบรรยายให้ทราบถึงวิธีการต่างๆ สำหรับใช้ในการหาขนาดของตัวอย่าง ถึงแม้ว่าเราจะมุ่งไปที่การออกแบบปัจจัยเดียว แต่ทว่าวิธีการที่จะกล่าวถึงนี้ยังสามารถนำไปใช้กับการออกแบบที่ซับซ้อนยิ่งกว่านี้ได้อีกด้วย

เส้นโค้งลักษณะสมบัติของการดำเนินการ (Operation Characteristic Curve) เป็นการพล็อตความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท 2 ของการทดสอบทางสถิติสำหรับตัวอย่างขนาดหนึ่ง กับพารามิเตอร์ที่สะท้อนให้เห็นว่าสมมติฐานหลักที่ตั้งไว้เป็นเท็จ ส่วนโค้งเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับผู้ทดลองในการเลือกจำนวนของเรปลิเคตได้ เพื่อว่าการออกแบบจะมีความไวต่อความแตกต่างของระดับที่ผลอย่างมีนัยสำคัญ

พิจารณาความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท 2 ของแบบจำลองแบบผลคงที่ สำหรับกรณีที่ใช้นาขนาดของตัวอย่างต่อหนึ่งระดับเท่ากัน นั่นคือ

$$\begin{aligned} \beta &= 1 - P \{ \text{Reject } H_0 \mid H_0 \text{ is false} \} \\ &= 1 - P \{ F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a} \mid H_0 \text{ is false} \} \end{aligned} \quad (2.5)$$

เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นในสมการที่ 2.5 เราต้องทราบถึงการแจกแจงของตัวทดสอบทางสถิติ  $F_0$  ถ้าสมมติฐานหลักเป็นเท็จ เราสามารถแสดงได้ว่า ถ้า  $H_0$  เป็นเท็จ ดังนั้น สถิติ  $F_0 = MS_{\text{Treatment}} / MS_E$  จะเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบ F ที่มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ  $a - 1$  และ  $N - a$  และมีพารามิเตอร์ของความไม่ตรงศูนย์กลาง (Non-Centrality) คือ  $\delta$  และถ้า  $\delta = 0$  แล้ว การแจกแจง  $F$  ที่ไม่ตรงศูนย์กลางจะกลายเป็นการแจกแจง  $F$  (ตรงศูนย์กลาง) ตามปกติ

เส้นโค้งลักษณะดำเนินการที่แสดงไว้ในภาคผนวกจะใช้หาค่าความน่าจะเป็นในสมการที่ 2.6 ส่วนโค้งเหล่านี้จะพล็อตระหว่างความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท 2 ( $\beta$ ) กับพารามิเตอร์  $\Phi$  โดยที่

$$\Phi^2 = b \times \frac{n \sum \tau_i^2}{a\sigma^2} \quad (2.6)$$

ปริมาณ  $\Phi^2$  จะเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ของความไม่ตรงศูนย์กลาง  $\delta$  ส่วนโค้งนี้ถูกสร้างไว้แล้วสำหรับ  $\alpha = 0.05$  และ  $\alpha = 0.01$  และช่วงหนึ่งของระดับขั้นความเสรีสำหรับทั้งตัวตั้งและตัวหาร

ในการใช้งานเส้นโค้งลักษณะดำเนินการ ผู้ทดลองจะต้องกำหนดพารามิเตอร์  $\Phi$  ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำได้ยากในทางปฏิบัติ วิธีหนึ่งที่ใช้ในการหา  $\Phi$  คือ ให้เลือกค่าจริงของค่าเฉลี่ยของระดับที่เราต้องการจะปฏิเสธสมมติฐานหลักด้วยความน่าจะเป็นที่สูง ดังนั้น ถ้า  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_a$  เป็นค่าเฉลี่ยของระดับตามที่กำหนด เราจะหา  $\tau_i$  ในสมการที่ 2.6 โดยที่  $\tau_i = \mu_i - \mu$  ซึ่ง  $\mu = (1/a) \sum \mu_i$  เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับ นอกจากนั้น เรายังต้องหาค่าปริมาณของ  $\sigma^2$  อีกด้วย ซึ่งบางครั้งค่านี้หาได้จากประสบการณ์การทดลองที่ผ่านมาหรือการประมาณอย่างมีเหตุผล แต่เมื่อไม่แน่ใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับค่าของ  $\sigma^2$  แล้ว เราควรหาขนาดของตัวอย่างที่เราสามารถใช้ได้กับช่วงที่น่าจะเป็นไปได้ของ  $\sigma^2$  เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์นี้ตามขนาดตัวอย่างที่ต้องการก่อนเลือกครั้งสุดท้าย

### 2.5.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นเป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป ซึ่งจะให้ผลดีและถูกต้องกว่าการนำค่าเฉลี่ยที่ต้องการเปรียบเทียบที่ละคู่ โดยใช้ Z-test หรือ t-test เพราะถ้าทำการเปรียบเทียบทีละคู่จะทำให้โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type 1 error,  $\alpha$ ) เพิ่มขึ้น เมื่อมีการทดสอบหลายๆครั้ง แทนที่จะทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพียงครั้งเดียว การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้สถิติ F ในการทดสอบ ซึ่งสถิติ F เป็นตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มว่าเท่ากันหรือแตกต่างกัน โดยที่หลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวนก็คือ การพิจารณาความแปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ถ้าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่าเท่ากับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ก็จะส่งผลว่าค่าเฉลี่ยแต่ละประชากรไม่แตกต่างกัน ( $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ ) แต่ถ้ามีความแตกต่างกันนั้นคือ ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มจะมีค่ามากกว่าค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มก็จะส่งผลว่าค่าเฉลี่ยของประชากรแตกต่างกัน ยิ่งค่าเฉลี่ยของแต่ละประชากรแตกต่างกันมากเท่าไรก็ยิ่งส่งผลให้ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่ามากกว่าค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มเท่านั้น หรือก็คือทำสถิติ F ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มซึ่งมีค่ามากขึ้น สถิติ F ที่หาได้จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะคำนวณได้จากค่า Mean Square ซึ่งก็คือ ค่า Sum of Square หารด้วยค่า Degree of Freedom ของตัวมันเอง โดยการคำนวณจากการใช้ค่า Mean Square ระหว่างกลุ่มหารด้วย Mean Square ภายในกลุ่ม หรือก็คือการเปรียบเทียบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มนั่นเอง นอกจากนี้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ก็คือการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) กับข้อมูลตัวแปรอิสระ ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ )

$$Y_{ij} = \mu + x_i + E_{ij} \quad (2.7)$$

โดยที่ข้อมูลของตัวแปรตามนั้นจะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ จากมาตรวัดและแบบอัตราส่วน ในขณะที่ข้อมูลจากตัวแปรอิสระจะเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยสมการทางสถิติที่แสดงถึงความสัมพันธ์ (Model) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์ถดถอย (Regression) จะคล้ายกัน แต่ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะต่างกับกับการวิเคราะห์ถดถอยตรงที่การวิเคราะห์ถดถอยตรงที่การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรอิสระ ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ )

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + E_{ij} \quad (2.8)$$

ดังนั้นการที่จะเลือกวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิเคราะห์ถดถอย หรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนก็จะขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ (X) เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพหรือข้อมูลเชิงปริมาณถ้าเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพแล้วก็มักจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.5.4 หลักการวิเคราะห์การถดถอย

หลักการวิเคราะห์การถดถอย หมายถึงกลวิธีทางสถิติหนึ่งที่ใช้วินิจฉัยและสร้างตัวแบบสำหรับความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ให้ความสนใจ โดยที่ค่าถดถอย (Regression) จุดที่ข้อมูลมีแนวโน้มจะถดถอยเข้าหา ซึ่งจะมีความหมายเป็นค่าที่ควรจะเป็นของตัวแปรตอบสนองภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

ตัวแบบโดยทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยนี้ได้มาจากการกำหนดตัวแปรอิสระจำนวน  $k$  ตัว ซึ่งจะต้องเป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ โดยจะเรียกตัวแปรนี้ว่าตัวแปรถดถอย (Regression) หรือ ตัวทำนาย (Predictor) และเมื่อทำการกำหนดค่าของตัวแปรถดถอยค่าหนึ่ง ๆ และจะทำการศึกษาถึงค่าของตัวแปรตามที่มีลักษณะของตัวแปรสุ่มและจะเรียกตัวแปรประเภทนี้ว่าตัวแปรตอบสนอง

ปกติแล้วตัวแปรตาม  $Y$  อาจเกี่ยวข้องกับตัวแปรถดถอย  $k$  ตัวซึ่งมีแบบจำลองคือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (2.9)$$

ซึ่งสมการรูปแบบนี้เรียกว่าแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่มีตัวแปรถดถอย  $K$  ตัว (Multiple Linear Regression Model with  $k$  Regression Variables) พารามิเตอร์  $\beta_j, j = 0, 1, \dots, k$  ถูกเรียกว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

การทดลองในปริญญานีพนธ์เล่มนี้แบ่งออกเป็นสองขั้นตอน คือ การทดลองย่อยและการทดลองหลัก การทำการทดลองย่อยทำเพื่อทดสอบสมมุติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมว่า Covariate ในการทดลอง ในที่นี้คือการสึกหรอของมีดกลึง มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับตัวแปรตอบสนองของการทดลอง (ความแข็งของชิ้นงาน) หรือไม่ โดยการทดลองย่อยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดค่าพารามิเตอร์สูง ชุดค่าพารามิเตอร์กลาง และชุดค่าพารามิเตอร์ต่ำ ซึ่งชุดค่าพารามิเตอร์สูงจะเป็นขอบเขตบนของการทดลอง ในขณะที่ชุดค่าพารามิเตอร์ต่ำจะเป็นขอบเขตล่างของการทดลอง ในการพิจารณาความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างการสึกหรอของมีดกลึงกับความแข็งของชิ้นงานในการทดลองแต่ละชุดนั้น ปัจจัยอื่นๆในการกลึง คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน ระยะป้อนลึก และสารหล่อเย็น จะถูกตั้งให้เป็นค่าคงที่เพื่อที่จะศึกษาเฉพาะผลของการสึกหรอของมีดกลึงเท่านั้นว่ามีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับค่าความแข็งของผิวชิ้นงานหรือไม่ การทดลองแต่ละชุดจะทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ระดับการทดลอง		
	สูง	กลาง	ต่ำ
ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	120	90	60
อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	0.061	0.051	0.044
ระยะป้อนลึก (มิลลิเมตร)	1.5	1	0.5
สารหล่อเย็น	ใช่ / ไม่ใช่	ใช่/ไม่ใช่	ใช่/ไม่ใช่

#### 3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.2.1 เหล็กกล้าเพลากลม AISI 1045

เหล็กกล้าเพลากลม AISI 1045 หรือเหล็กหัวแดง เหล็กเกรดนี้จัดเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่นิยมใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น เพลาหรือสลักเกลียว ซึ่งมีคุณสมบัติคือ ทนขึ้นรูปได้ดีและสามารถชุบแข็งได้ โดยใช้น้ำในวงการอุตสาหกรรมและหาซื้อได้ง่าย โดยเลือกใช้น้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติและส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

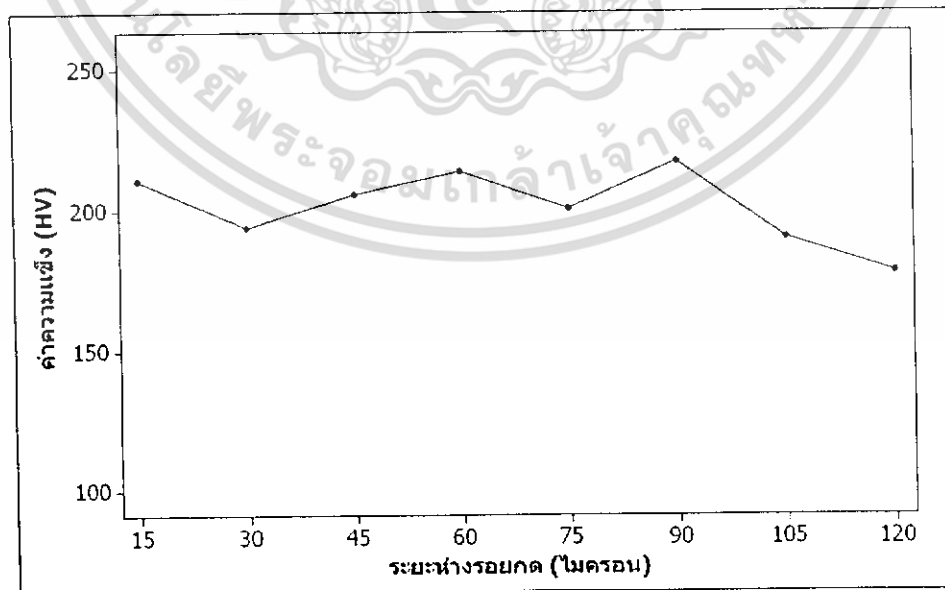
ส่วนผสมทางเคมี	C	Si	Mn	Pmax	Smax
% โดยน้ำหนัก	0.43 – 0.5	0.15 – 0.3	0.6 – 0.9	0.04	0.05
เกรดเหล็ก	DIN	JIS	SS14	ASTM	AFNOR
ที่ใกล้เคียง	1.1191	S45C	1672	A29, A510	XC42

คุณลักษณะ เหล็กเกรดนี้จัดเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางใช้เมื่อต้องการความแข็งแรงและความแข็งในสภาพหลังการรีดสูง มีความสามารถชุบแข็งได้ดีมาก ชุบแข็งโดยใช้เปลวไฟและวิธีอินดักชั่นได้ดี แต่ไม่เหมาะกับการเติมคาร์บอนหรือทำไนไตรดิ่ง ความสามารถในการเชื่อมไม่ดี การใช้งานของเหล็กกล้าชนิดนี้ ใช้สำหรับทำเฟือง เพลา สลักเกลียว และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ

ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers) ใช้แรงกดที่ 0.2 kN โดยทดสอบทั้งหมด 8 จุด แต่ละจุดห่างกันประมาณ 15  $\mu\text{m}$  โดยเริ่มกดจากที่ขอบของชิ้นงานเข้ามาจนถึงตรงกลางของชิ้นงานทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยค่าความแข็งตลอดหน้าตัดของชิ้นงานมีความแข็งค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอ ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 3.1

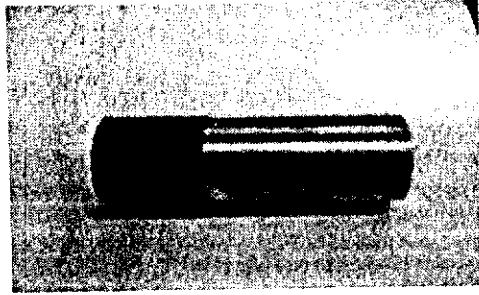
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความแข็งของเหล็กเพลากลม AISI 1045 ที่ยังไม่ผ่านการกลึงทดสอบ

ชั้นที่	พารามิเตอร์	ระยะห่างรอยกด (ไมครอน)							
		15	30	45	60	75	90	105	120
1	สูง	210.5	194.0	205.8	213.8	200.4	217.1	189.9	178.0



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงค่าความแข็งของเหล็กเพลากลม AISI 1045

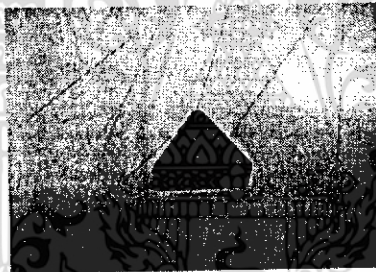
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **62841** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เหล็กเพลากลม AISI 1045 ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.2 มีดกลึง

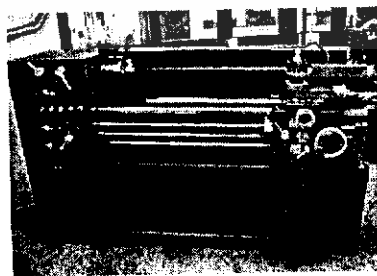
มีดกลึง (Cutting Tool) เป็นสิ่งที่สำคัญในการตัดเฉือนโลหะ มีดกลึงที่จะใช้ในการทดลองเป็นมีดกลึงชนิด Insert ซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนคมตัดได้ ซึ่งมีข้อดีคือ มีรูปแบบและรูปทรงที่แน่นอน ในการทดลองจะใช้ Insert ชนิด ทังสเตนคาร์ไบด์ เคลือบผิวด้วยไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) ยี่ห้อ SANDVIF รุ่น TNM g 333-km 3015 ซึ่งใช้อย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เพราะมีความแข็งแรงสูง จึงมีอายุการใช้งานของมีดกลึงสูงกว่ามีดกลึงชนิด High Speed Steel (HSS)



รูปที่ 3.3 Insert ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.3 เครื่องกลึง

เครื่องกลึงที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบบ Manual ยี่ห้อ LIANGDIA รุ่น LD 1540A ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถใช้อัตราป้อนแบบอัตโนมัติได้

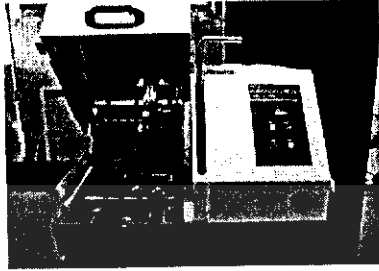


รูปที่ 3.4 เครื่องกลึงที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 เครื่องตัด

เป็นเครื่องตัด ABRASIVE CUTTER ชื่อ METKON รุ่น SERVOCUT – M250



รูปที่ 3.5 เครื่องตัดที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.5 เครื่องขัดผิว

เป็นเครื่องขัดผิว GRINDER-POLISHER ชื่อ METKON รุ่น DIGISET – 2V



รูปที่ 3.6 เครื่องขัดผิวที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.6 เครื่องทดสอบความแข็ง

ใช้การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers Hardness Test) ชื่อ MITUTOYO รุ่น HN 113



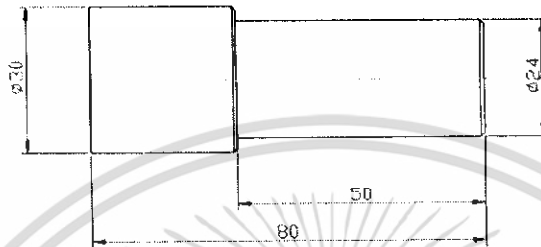
รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดลองย่อย และการเก็บผลการทดลอง

#### 3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนการทดลอง

1. ตัดเหล็กกล้าที่ได้จัดซื้อมาเป็นท่อนๆ ให้มีความยาว 80 mm จำนวน 18 ท่อน
2. กลึงปาดหน้า และกลึงปอกผิวดิบของชิ้นงานออก ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองย่อย

#### 3.3.2 ทำการทดลอง

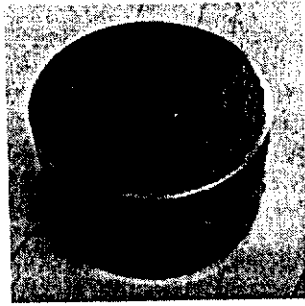
ทำการกลึงปอกชิ้นงานตามตารางการทดลองที่ออกแบบไว้ โดยทำการปรับระดับของบั้งจับให้ตรงตามตารางที่ 3.1 สำหรับการทดลองในแต่ละหน่วยการทดลอง เมื่อกลึงปอกชิ้นงานเสร็จหนึ่งครั้งก็นำมีดกลึงไปถ่างรูปการสึกหรอของมีดกลึง แล้วจึงจะทำการทดลองต่อไป และทำไปจนครบทั้ง 18 ชิ้น แล้วนำไปแช่น้ำมันกันสนิมไว้

#### 3.3.3 การเก็บผลการทดลอง

##### 3.3.3.1 การเตรียมผิวชิ้นงานก่อนการทดสอบความแข็ง

1. ตัดชิ้นงานที่ผ่านการกลึงยาว 15 mm โดยใช้เครื่องตัด ABRASIVE CUTTER ยี่ห้อ METKON รุ่น SERVOCUT – M250 โดยเปิดน้ำหล่อเย็นตลอดเวลา
2. ขัดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบให้เรียบด้วยกระดาษทราย และปรับระนาบผิวขัดให้ได้ระดับ เรียกว่า การขัดหยาบเพื่อปรับระนาบและการขัดผิวให้เรียบ เรียกว่า การขัดละเอียด โดยเริ่มจากการขัดที่กระดาษทรายเบอร์ 320,400,600,800 และ 1000 ตามลำดับ การขัดด้วยกระดาษทรายไม่ควรขัดข้ามเกินสองเบอร์ การขัดด้วยกระดาษทรายควรใช้แรงกดให้พอเหมาะ ไม่ควรกดมากเกินไปจะทำให้เกิดรอยขีดลึกเกินไป ในการขัดจะใช้วิธีขัดเปียก โดยใช้น้ำไหลผ่านกระดาษทรายตลอดเวลา เพราะน้ำจะช่วยพัดเอาเศษผงขัดออกจากผิวหน้าและช่วยหล่อลื่นไม่ให้ชิ้นงานทดสอบร้อน เมื่อเปลี่ยนกระดาษทรายแต่ละเบอร์ทิศทางการขัดต้องทำมุมกับรอยขัดของกระดาษทรายเบอร์เก่า 45° - 90° ทุกครั้ง
3. ขัดผิวชิ้นงานโดยใช้ผงขัดอลูมิเนียมออกไซด์ หรือ อลูมินา ( $Al_2O_3$ ) โดยใช้ผงขัดขนาด 0.3  $\mu m$  แล้วตามด้วยขนาด 0.1  $\mu m$  ชิ้นงานที่ผ่านการขัดมันเสร็จแล้วต้องล้างผิวขัดด้วยน้ำสะอาด และ แอลกอฮอล์ แล้วนำไปแห้งด้วยเครื่องเป่าลม

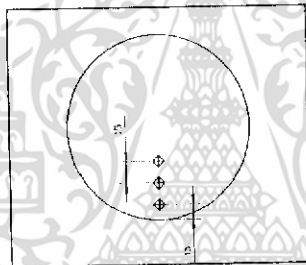
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิวเรียบร้อยแล้ว

### 3.3.3.2 การเก็บผลการทดลอง

นำชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการกลึงไป ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers) ใช้แรงกดที่ 0.2 kN โดยทดสอบทั้งหมด 8 จุด แต่ละจุดห่างกันประมาณ 15  $\mu\text{m}$  โดยเริ่มกดจากที่ขอบของชิ้นงานเข้ามาจนถึงตรงกลางของชิ้นงานทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการกดชิ้นงานทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

#### 3.4.1 การเก็บรวบรวมผลการทดลองย่อย

ตารางที่ 3.4 ค่าความแข็งแรงชิ้นงาน (HV) ที่ผ่านการกลึงโดยไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

ชั้นที่	พารามิเตอร์	ระยะห่างรอยกด (ไมครอน)							
		15	30	45	60	75	90	105	120
1	ต่ำ	249.5	201.5	199.1	174.9	172.5	169.9	176.3	165.2
2	กลาง	220.8	206.6	209.2	103.1	196.3	176.6	172.2	168.6
3	สูง	278.5	232.1	231.0	223.6	194.2	190.7	185.1	182.5
4	กลาง	231.9	202.1	205.0	187.3	179.1	152.2	140.6	122.7
5	ต่ำ	233.4	195.5	190.0	187.5	178.2	161.5	170.9	165.9
6	กลาง	247.4	208.1	179.3	146.5	145.2	155.1	157.1	130.2
7	สูง	230.1	226.2	194.7	190.9	179.6	163.6	180.9	177.5
8	ต่ำ	264.9	202.9	192.4	183.7	183.1	168.9	159.1	156.0
9	สูง	225.1	206.5	200.8	195.8	166.4	173.0	152.6	168.2

ตารางที่ 3.5 ค่าความแข็งแรงชิ้นงาน (HV) ที่ผ่านการกลึงโดยใช้น้ำหล่อเย็น

ชั้นที่	พารามิเตอร์	ระยะห่างรอยกด (ไมครอน)							
		15	30	45	60	75	90	105	120
1	สูง	257.5	201.1	181.1	183.3	178.7	166.5	160.9	169.5
2	กลาง	232.6	212.4	179.8	170.3	160.6	164.2	161.2	158.9
3	สูง	284.6	263.6	247.6	202.4	184.2	156.2	144.4	142.1
4	ต่ำ	328.0	240.5	204.4	189.6	188.9	189.6	186.1	184.7
5	ต่ำ	220.9	214.0	214.7	183.7	185.9	161.7	164.3	163.9
6	กลาง	270.3	235.0	233.7	207.4	167.4	159.1	126.0	124.2
7	กลาง	246.5	212.1	187.2	175.1	162.0	155.8	158.7	150.5
8	สูง	238.5	202.3	191.8	185.2	171.0	179.8	175.5	171.3
9	ต่ำ	254.7	204.4	182.4	187.6	175.5	164.2	167.0	160.0

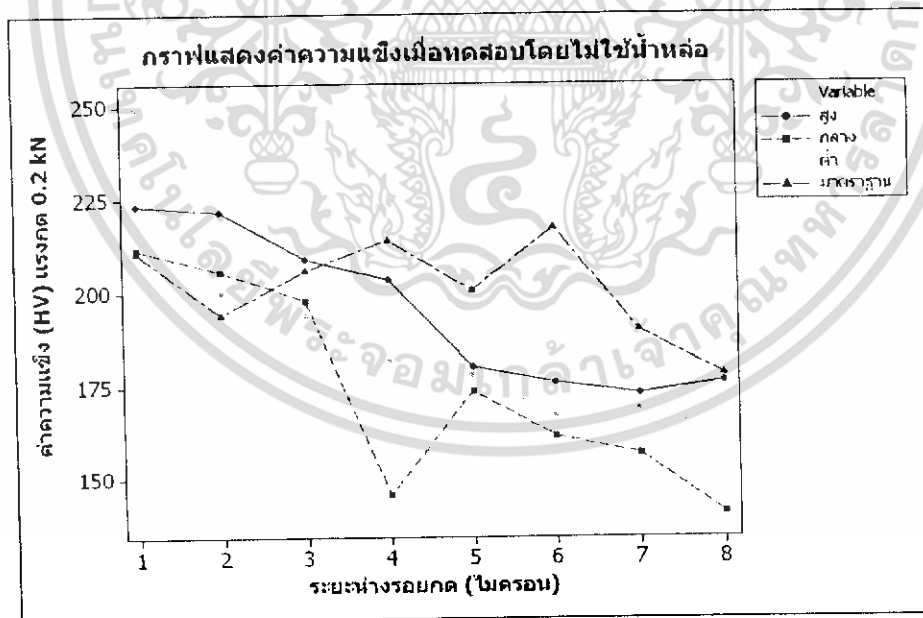
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ค่าความสึกหรอของมีดกลึง

ชั้นที่	พารามิเตอร์	ค่าความสึกหรอ(ไมครอน) โดยไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	ชั้นที่	พารามิเตอร์	ค่าความสึกหรอ (ไมครอน) โดยใช้น้ำหล่อเย็น
1	ต่ำ	107.84	1	สูง	98.04
2	กลาง	107.84	2	กลาง	98.04
3	สูง	117.65	3	สูง	98.04
4	กลาง	117.65	4	ต่ำ	98.04
5	ต่ำ	127.83	5	ต่ำ	117.65
6	กลาง	137.25	6	กลาง	117.65
7	สูง	147.06	7	กลาง	127.45
8	ต่ำ	147.06	8	สูง	127.45
9	สูง	147.06	9	ต่ำ	137.25

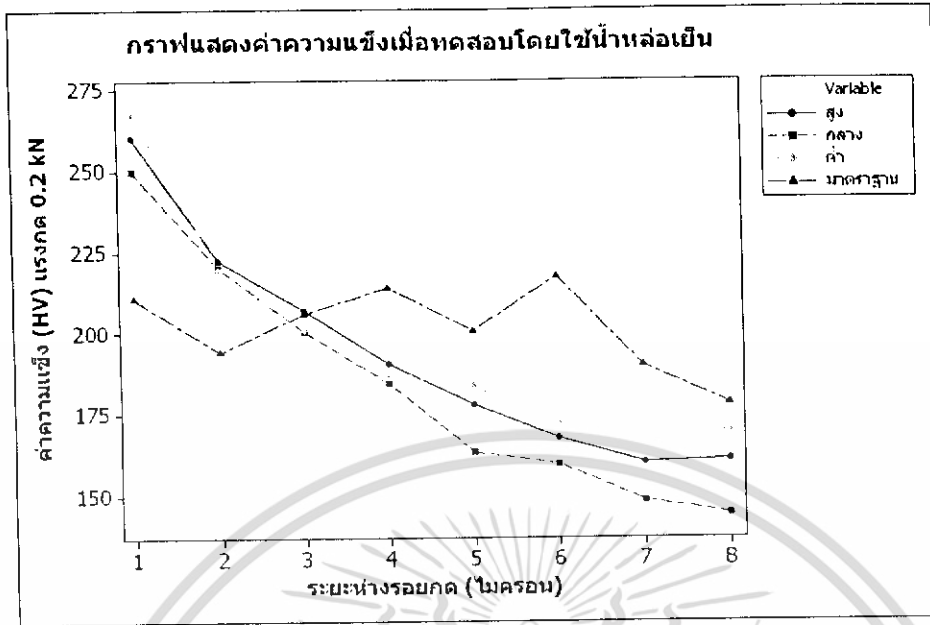
### 3.4.2 สร้างกราฟแสดงค่าความแข็งที่ตำแหน่งต่างๆ บนชิ้นงาน

กราฟแสดงค่าความแข็งที่ตำแหน่งต่างๆ บนชิ้นงานสร้างโดยใช้ระยะห่างระหว่างรอยกดเป็นแกน X และค่าความแข็งเป็นแกน Y เพื่อแสดงค่าความแข็งของชั้นทดสอบตามแนวรัศมีของหน้าตัดชิ้นงาน



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



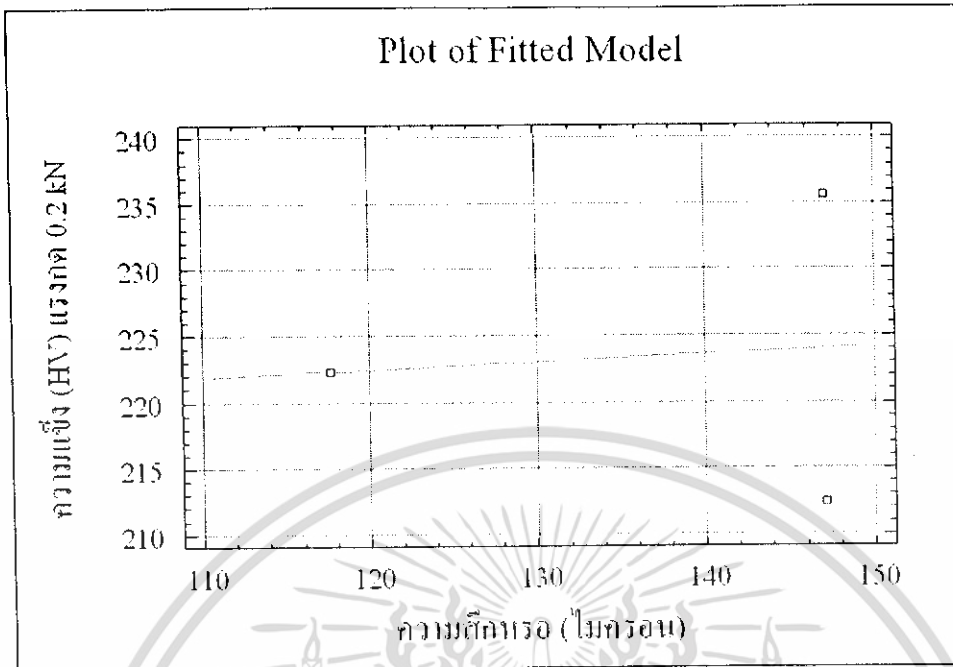
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยใช้น้ำหล่อเย็น

จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งของชิ้นงานจะมีความแข็งที่บริเวณผิวเพิ่มมากขึ้น และค่าความแข็งบริเวณที่ลึกจากขอบชิ้นงานลงไปจะมีค่าลดลง

### 3.4.3 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับการสึกหรอของมีดกลึง

สร้างโดยใช้ค่าความสึกหรอเป็นแกน X และค่าความแข็งที่ผิวของชิ้นงาน โดยใช้ค่าที่ตำแหน่งที่ 1 เป็นแกน Y แล้วทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความแข็งที่ผิวของชิ้นงานกับการสึกหรอของมีดกลึงด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



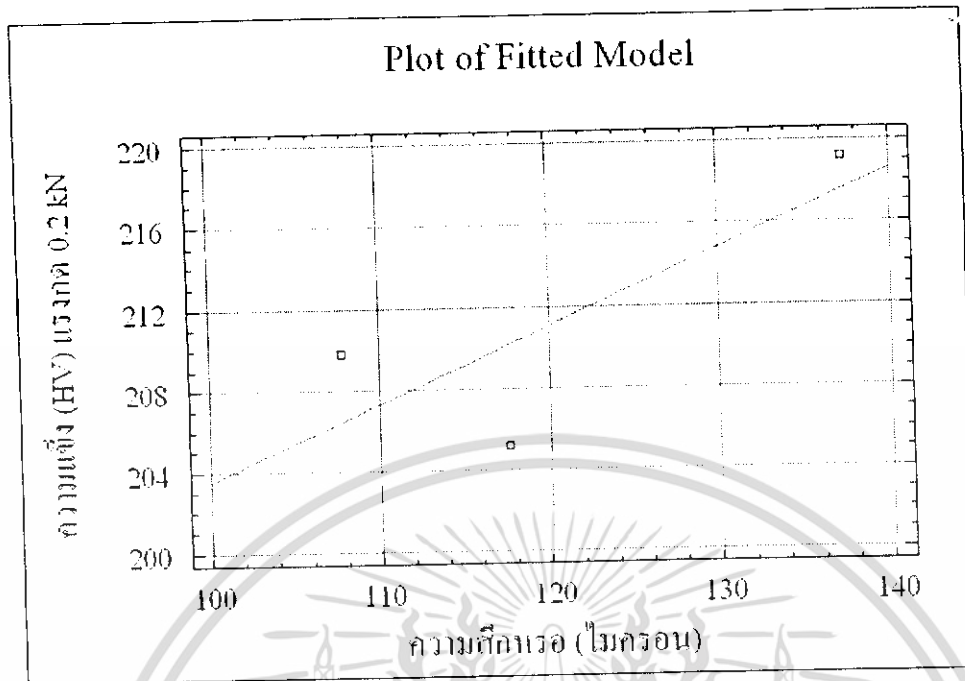
รูปที่ 3.13 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์สูงและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

ตารางที่ 3.7 ค่า Regression ของพารามิเตอร์สูงและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

Regression Analysis – Linear Model : $Y = a + b \cdot X$				
Dependent Variable : Hardness				
Independent Variable : Wear				
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	215.500	94.239	2.286	0.262
Slope	0.058	0.683	0.085	0.946

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	1.927	1	1.927	0.010	0.946
Residual	269.120	1	269.120		
Total (Corr.)	271.047	2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



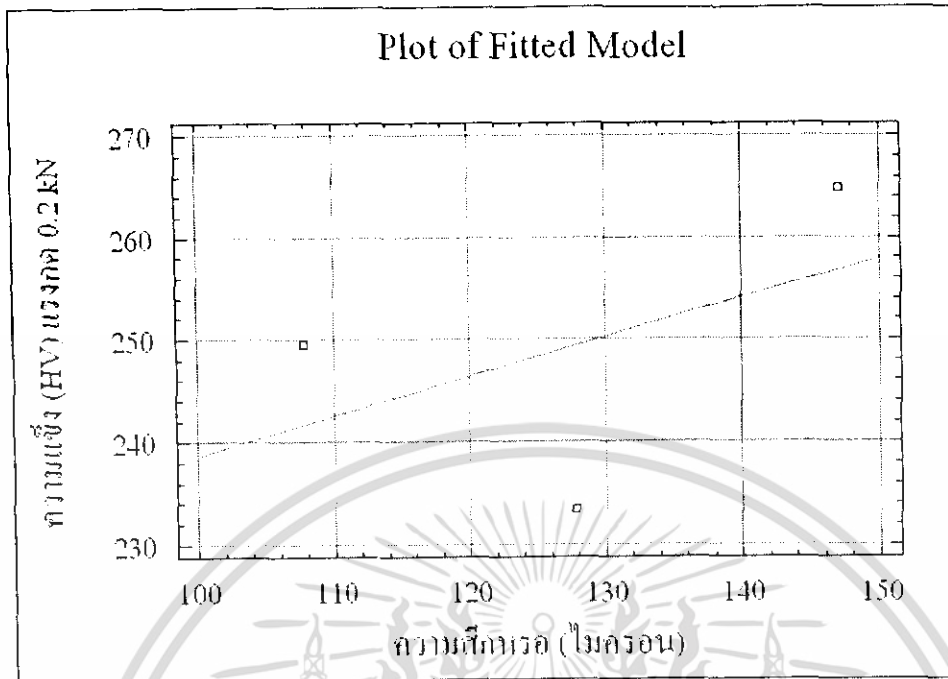
รูปที่ 3.14 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์กลางและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

ตารางที่ 3.8 ค่า Regression ของพารามิเตอร์กลางและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

Regression Analysis - Linear Model : $Y = a + b \cdot X$				
Dependent Variable : Hardness				
Independent Variable : Wear				
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	165.943	35.581	4.664	0.135
Slope	0.376	0.293	1.284	0.421

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	63.394	1	63.394	1.640	0.421
Residual	38.446	1	38.446		
Total (Corr.)	101.840	2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



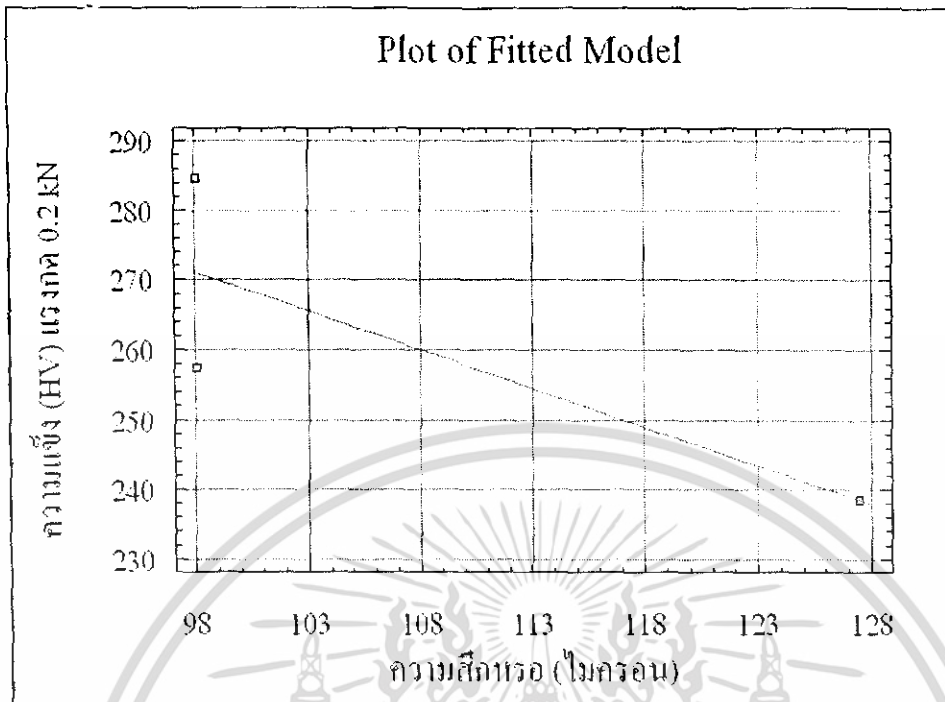
รูปที่ 3.15 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์ต่ำและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

ตารางที่ 3.9 ค่า Regression ของพารามิเตอร์ต่ำและไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

Regression Analysis – Linear Model : $Y = a + b \cdot X$				
Dependent Variable : Hardness				
Independent Variable : Wear				
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	200.165	90.654	2.208	0.271
Slope	0.385	0.705	0.546	0.682

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	113.920	1	113.920	0.300	0.682
Residual	382.287	1	382.287		
Total (Corr.)	496.207	2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



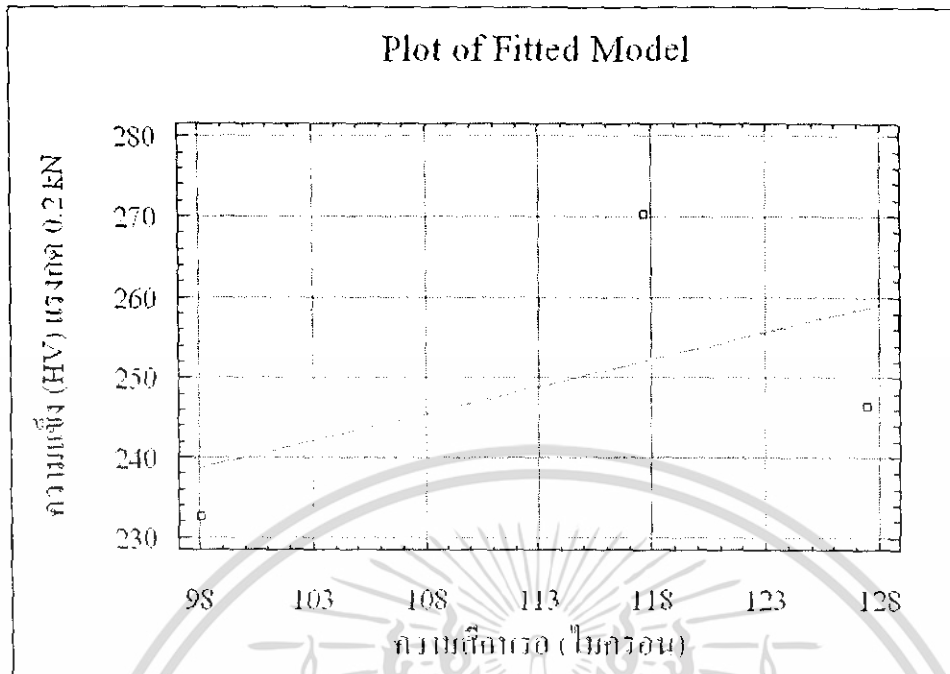
รูปที่ 3.16 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์สูงและใช้น้ำหล่อเย็น

ตารางที่ 3.10 ค่า Regression ของพารามิเตอร์สูงและใช้น้ำหล่อเย็น

Regression Analysis – Linear Model : $Y = a + b \cdot X$				
Dependent Variable : Hardness				
Independent Variable : Wear				
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	379.550	86.762	4.375	0.143
Slope	-1.107	0.798	-1.387	0.398

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	706.335	1	113.920	1.920	0.398
Residual	367.205	1	382.287		
Total (Corr.)	1073.540	2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



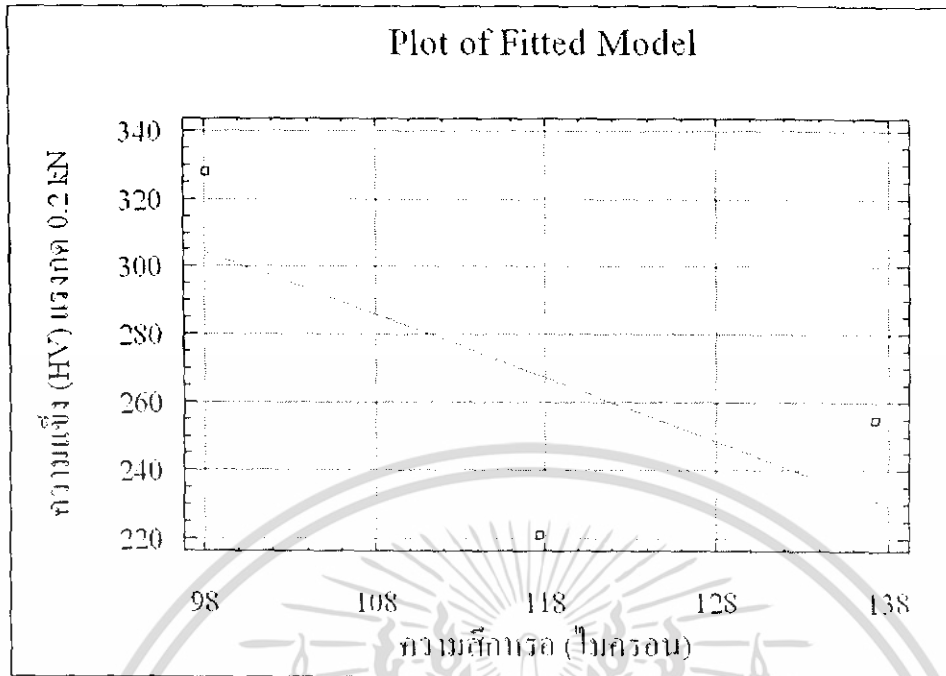
รูปที่ 3.17 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์กลางและใช้น้ำหล่อเย็น

ตารางที่ 3.11 ค่า Regression ของพารามิเตอร์กลางและใช้น้ำหล่อเย็น

Regression Analysis – Linear Model : $Y = a + b \cdot X$				
Dependent Variable : Hardness				
Independent Variable : Wear				
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	172.050	123.821	1.389	0.397
Slope	0.679	1.076	0.631	0.641

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	207.260	1	207.260	0.400	0.641
Residual	519.720	1	519.720		
Total (Corr.)	726.980	2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 ทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์ค่าและใช้น้ำหล่อเย็น

ตารางที่ 3.12 ค่า Regression ของพารามิเตอร์ค่าและใช้น้ำหล่อเย็น

Regression Analysis - Linear Model : $Y = a + b \cdot X$				
Dependent Variable : Hardness				
Independent Variable : Wear				
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	487.767	246.295	1.980	0.298
Slope	-1.869	2.074	-0.901	0.533

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	2686.450	1	2686.450	0.810	0.533
Residual	3308.790	1	3308.790		
Total (Corr.)	5995.250	2			

จากรูปที่ 3.13 – 3.18 และตารางที่ 3.6 – 3.11 สรุปได้ว่าไม่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างค่าความแข็งของชิ้นงานกับการสึกกร่อนของมิดสำหรับทุกชุดพารามิเตอร์ เนื่องจากค่า P-Value ของทุก Model นั้นมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 สรุปผลการทดลองย่อย

จากการทดลองย่อยพบว่าการสึกหรอของมีดกลึงไม่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการกลึง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องนำการสึกหรอของมีดกลึงมาร่วมพิจารณาในการวิเคราะห์ผลของปัจจัยในการกลึงที่มีต่อความแข็งของชิ้นงาน สำหรับผลของปัจจัยในการกลึงที่มีต่อความแข็งของชิ้นงานจะทำการศึกษาต่อไปในการทดลองหลัก

### 3.6 การออกแบบการทดลองหลัก

จากการทดลองย่อยพบว่าการสึกหรอของมีดกลึงนั้น ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งที่เปลี่ยนไปของผิวชิ้นงาน จึงตัดปัจจัยการสึกหรอของมีดกลึงออกจากการทดลองหลักได้ ดังนั้นในการทดลองหลักจะมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน ระยะป้อนลึก และน้ำหล่อเย็น โดยมีการเปลี่ยนแปลงแต่ละปัจจัยๆ ละ 2 ระดับ ในการทดลองหลักนี้ ได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล  $2^4$  ในการออกแบบการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.12 ในการทดลองนี้มี 4 ปัจจัยๆ ละ 2 ระดับ ดังนั้น ในการทดลองนี้จะมีทั้งหมด  $2^4 = 16$  ทริทเมนต์

ตารางที่ 3.13 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองหลัก

พารามิเตอร์	ระดับของปัจจัย	
	ต่ำ	สูง
ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	60	120
อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	0.044	0.061
ระยะป้อนลึก (มิลลิเมตร)	0.5	1.5
น้ำหล่อเย็น	ใช่/ไม่ใช่	ใช่/ไม่ใช่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 แสดงทริทเมนต์ในการทดลอง

หมายเลข	สัญลักษณ์	ความเร็วตัด	อัตราไอน	ความลึก	น้ำหล่อเย็น
1	a	+1	-1	-1	-1
2	b	-1	+1	-1	-1
3	c	-1	-1	+1	-1
4	d	-1	-1	-1	+1
5	ab	+1	+1	-1	-1
6	ac	+1	-1	+1	-1
7	ad	+1	-1	-1	+1
8	bc	-1	+1	+1	-1
9	bd	-1	+1	-1	+1
10	cd	-1	-1	+1	+1
11	abc	+1	+1	+1	-1
12	abd	+1	+1	-1	+1
13	acd	+1	-1	+1	+1
14	bcd	-1	+1	+1	+1
15	abcd	+1	+1	+1	+1
16	1	-1	-1	-1	-1

การคำนวณหาจำนวนซ้ำสำหรับแต่ละทริทเมนต์ที่ใช้ในการทดลองหลัก สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\Phi^2 = b \times \frac{n \sum \tau_i^2}{a\sigma^2} \quad (3.1)$$

- เมื่อ
- $\Phi^2$  = พารามิเตอร์ของความไม่ตรงศูนย์กลาง  $\delta$
  - $n$  = จำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลอง
  - $\tau_i^2$  = เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับ
  - $\sigma^2$  = ค่าความแปรปรวน
  - $a, b$  = ระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

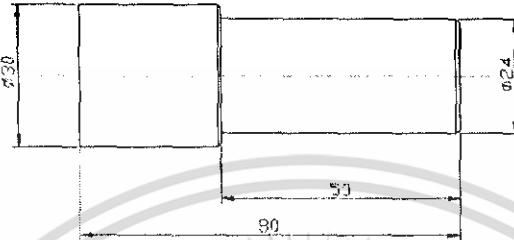
จากการคำนวณได้จำนวนซ้ำสำหรับแต่ละทริทเมนต์ในการทดลองนี้ คือ 4 ครั้ง (ดูรายละเอียดในการคำนวณในภาคผนวก จ.) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  และมีจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ  $16 \times 4 = 64$  ทริทเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 ทำการทดลองหลัก และเก็บผลการทดลองหลัก

#### 3.7.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนการทดลอง

1. ตัดเหล็กกล้าที่ได้จัดซื้อมาเป็นท่อนๆ ให้มีความยาว 80 mm จำนวน 64 ท่อน
2. กลึงปาดหน้า และกลึงปอกผิวดิบของชิ้นงานออก ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองหลัก

#### 3.7.2 ทำการทดลอง

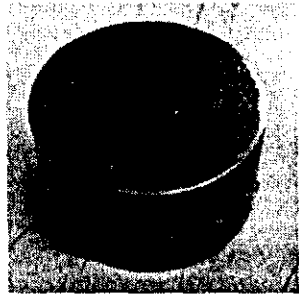
ทำการกลึงปอกชิ้นงานตามตารางการทดลองที่ออกแบบไว้ โดยทำการปรับระดับของปิ้งจี้ให้ตรงตามตารางที่ 3.12 สำหรับการทดลองในแต่ละหน่วยการทดลอง เมื่อกลึงปอกชิ้นงานเสร็จหนึ่งครั้งก็นำมีดกลึงไปถ่ายรูปการสึกหรอของมีดกลึง แล้วจึงจะทำการทดลองต่อไป และทำไปจนครบทั้ง 64 ชิ้น แล้วนำไปแช่น้ำมันกันสนิมไว้

#### 3.7.3 การเก็บผลการทดลอง

##### 3.7.3.1 การเตรียมผิวชิ้นงานก่อนการทดสอบความแข็ง

1. ตัดชิ้นงานที่ผ่านการกลึงยาว 15 mm โดยใช้เครื่องตัด ABRASIVE CUTTER ยี่ห้อ METKON รุ่น SERVOCUT - M250 โดยเปิดน้ำหล่อเย็นตลอดเวลา
2. ขัดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบให้เรียบด้วยกระดาษทราย และปรับระนาบผิวขัดให้ได้ระดับ เรียกว่า การขัดหยาบเพื่อปรับระนาบและการขัดผิวให้เรียบ เรียกว่า การขัดละเอียด โดยเริ่มจากการขัดที่กระดาษทรายเบอร์ 320,400,600,800 และ 1000 ตามลำดับ การขัดด้วยกระดาษทรายไม่ควรขัดข้ามเกินสองเบอร์ การขัดด้วยกระดาษทรายควรใช้แรงกดให้พอเหมาะ ไม่ควรกดมากเกินไปจะทำให้เกิดรอยขีดลึกเกินไป ในการขัดจะใช้วิธีขัดเปียก โดยใช้น้ำไหลผ่านกระดาษทรายตลอดเวลา เพราะน้ำจะช่วยพัดเอาเศษผงขัดออกจากผิวหน้าและช่วยหล่อลื่นไม่ให้ชิ้นงานทดสอบร้อน เมื่อเปลี่ยนกระดาษทรายแต่ละเบอร์ทิศทางการขัดต้องทำมุมกับรอยขัดของกระดาษทรายเบอร์เก่า 45° - 90° ทุกครั้ง
3. ขัดผิวชิ้นงานโดยใช้ผงขัดอลูมิเนียมออกไซด์ หรือ อลูมิน่า ( $Al_2O_3$ ) โดยใช้ผงขัดขนาด 0.3  $\mu m$  แล้วตามด้วยขนาด 0.1  $\mu m$  ชิ้นงานที่ผ่านการขัดมันเสร็จแล้วต้องล้างผิวขัดด้วยน้ำสะอาด และ แอลกอฮอล์ แล้วเป่าให้แห้งด้วยเครื่องเป่าลม

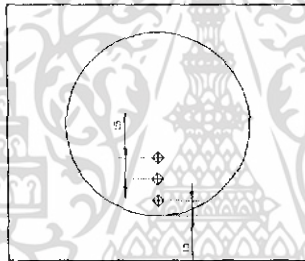
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิวเรียบร้อยแล้ว

### 3.7.3.2 การเก็บผลการทดลอง

นำชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการกลึงไป ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers) ใช้แรงกดที่ 0.2 kN โดยทดสอบจนกว่าค่าความแข็งที่ได้มีค่าคงที่ ซึ่งแต่ละจุดที่กดห่างกันประมาณ 15  $\mu\text{m}$  โดยเริ่มกดจากที่ขอบของชิ้นงานเข้ามาจนถึงตรงกลางของชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงลักษณะการกดชิ้นงานทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการกลั่นชิ้นงานทดสอบและเก็บค่าความแข็งตามที่ได้ ออกแบบการทดลองไว้ เพื่อหาปัจจัยในการกลั่นที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของผิวชิ้นงานทดสอบ ซึ่งจะใช้วิธีการวิเคราะห์ ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ในการวิเคราะห์หาปัจจัยเหล่านั้น

#### 4.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

จากผลการทดลอง การวิเคราะห์หาปัจจัยในการกลั่นที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของผิวชิ้นงานทำโดยใช้โปรแกรม Statgraphics Plus 3.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับช่วยคำนวณทางสถิติวิเคราะห์ผลการทดลอง

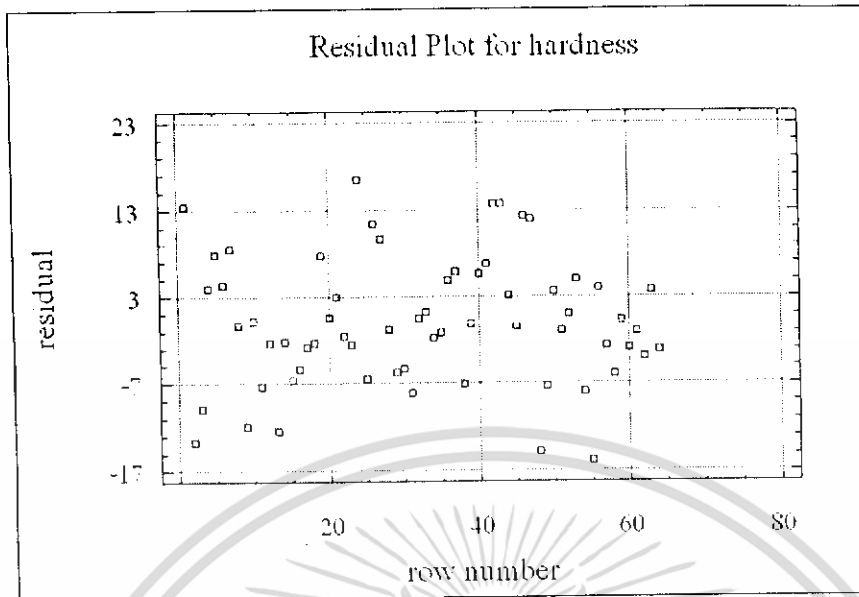
##### 4.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากผลการทดลองที่ได้ ก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนจะต้องพิจารณาถึงควมมีคุณภาพของ ข้อมูลที่เก็บมา โดยพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล การกระจายแบบปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของ ข้อมูล เพื่อความถูกต้องของการวิเคราะห์จึงได้ทำการตรวจสอบควมมีคุณภาพของข้อมูลด้วยการทดสอบดังต่อไปนี้

1. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล โดยนำส่วนตกค้าง (Residuals) มาพล็อตตามลำดับเวลาที่เก็บ ข้อมูล
2. การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล โดยการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง
3. การตรวจสอบควมมีเสถียรภาพของข้อมูล โดยพล็อตส่วนตกค้างกับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted Values)

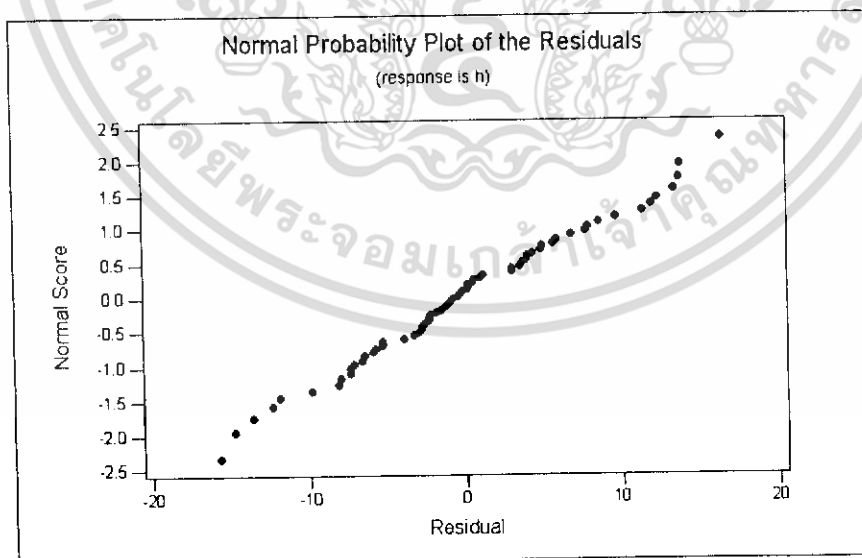
จากรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงค่าส่วนตกค้างเมื่อพล็อตตามลำดับเวลาที่เก็บข้อมูลซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการหา ความถี่ระหว่างส่วนตกค้าง ถ้าแบบจำลองถูกต้องส่วนตกค้างจะต้องไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆ เมื่อพิจารณา จากรูปที่ 4.1 พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้เป็นอิสระต่อกันและกระจายตัวเป็นแบบสุ่ม ไม่แสดงแนวโน้มหรือ รูปแบบแต่ประการใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟของส่วนตกค้างกับลำดับชิ้นงานที่เก็บของมูล

จากนั้นทำการตรวจสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลเพื่อทดสอบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งสามารถทำได้โดยการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง ซึ่งหากสมมติฐานถูกต้องแล้วกราฟที่ได้ออกมาควรมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาจาก Normal Probability Plot ที่ได้จากการทดลองนี้พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลที่เก็บจากการทดลองมีการกระจายตัวแบบปกติ หรือจะมีการกระจายตัวอย่างสมมาตรรอบค่าหนึ่ง

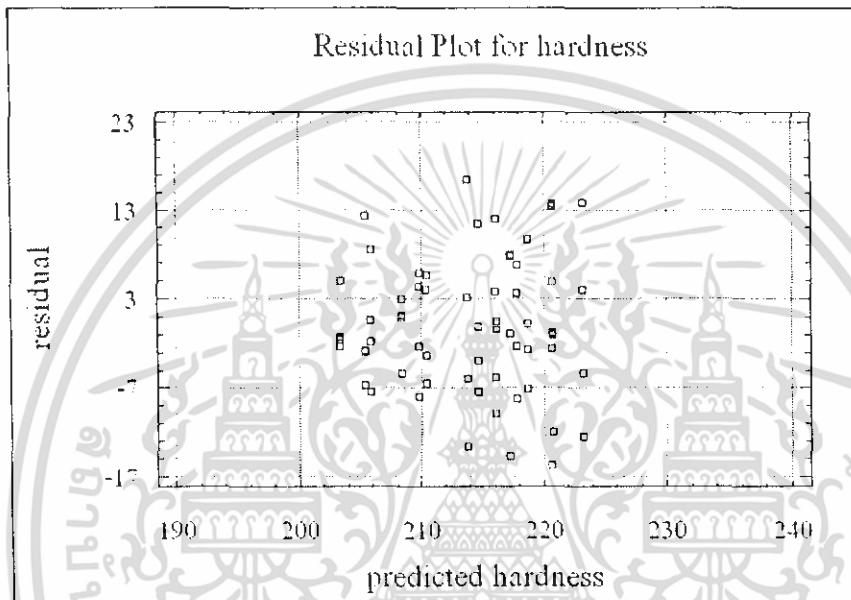


รูปที่ 4.2 Normal Probability Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการตรวจสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล หากแบบจำลองถูกต้องแล้วจากกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ได้จากการทำนายไม่ควรแสดงรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่มีความสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ หรือข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้มีเสถียรภาพ

จากการทดสอบทั้งสามประการ สรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการกลึงและความแข็งของผิวชิ้นงานมีคุณภาพพอที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไปได้



รูปที่ 4.3 กราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกพิต

หลังจากพิจารณาถึงคุณภาพของข้อมูลว่ามีความถูกต้องแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

$H_0$  : อิทธิพลร่วมของ Speed\*Depth of Cut\*Feed\*Coolant = 0

$H_A$  : อิทธิพลร่วมของ Speed\*Depth of Cut\*Feed\*Coolant  $\neq$  0

$H_0$  : อิทธิพลร่วมของ Depth of Cut\*Feed\*Coolant = 0

$H_A$  : อิทธิพลร่วมของ Depth of Cut\*Feed\*Coolant  $\neq$  0

$H_0$  : อิทธิพลร่วมของ Speed\* Feed\*Coolant = 0

$H_A$  : อิทธิพลร่วมของ Speed\* Feed\*Coolant  $\neq$  0

$H_0$  : อิทธิพลร่วมของ Speed\*Depth of Cut\*Coolant = 0

$H_A$  : อิทธิพลร่วมของ Speed\*Depth of Cut\*Coolant  $\neq$  0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H_0$ : อธิธิพลร่วมของ	$Feed*Coolant = 0$
$H_A$ : อธิธิพลร่วมของ	$Feed*Coolant \neq 0$
$H_0$ : อธิธิพลร่วมของ	$Depth\ of\ Cut*Coolant = 0$
$H_A$ : อธิธิพลร่วมของ	$Depth\ of\ Cut*Coolant \neq 0$
$H_0$ : อธิธิพลร่วมของ	$Speed*Coolant = 0$
$H_A$ : อธิธิพลร่วมของ	$Speed*Coolant \neq 0$
$H_0$ : อธิธิพลร่วมของ	$Speed*Feed = 0$
$H_A$ : อธิธิพลร่วมของ	$Speed*Feed \neq 0$
$H_0$ : อธิธิพลร่วมของ	$Speed*Depth\ of\ Cut = 0$
$H_A$ : อธิธิพลร่วมของ	$Speed*Depth\ of\ Cut \neq 0$
$H_0$ : อธิธิพลร่วมของ	$Coolant = 0$
$H_A$ : อธิธิพลร่วมของ	$Coolant \neq 0$
$H_0$ : อธิธิพลร่วมของ	$Feed = 0$
$H_A$ : อธิธิพลร่วมของ	$Feed \neq 0$
$H_0$ : อธิธิพลร่วมของ	$Depth\ of\ Cut = 0$
$H_A$ : อธิธิพลร่วมของ	$Depth\ of\ Cut \neq 0$
$H_0$ : อธิธิพลร่วมของ	$Speed = 0$
$H_A$ : อธิธิพลร่วมของ	$Speed \neq 0$

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ออกจากการทดลองมาทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Statgraphics Plus 3.0 ได้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 4.1

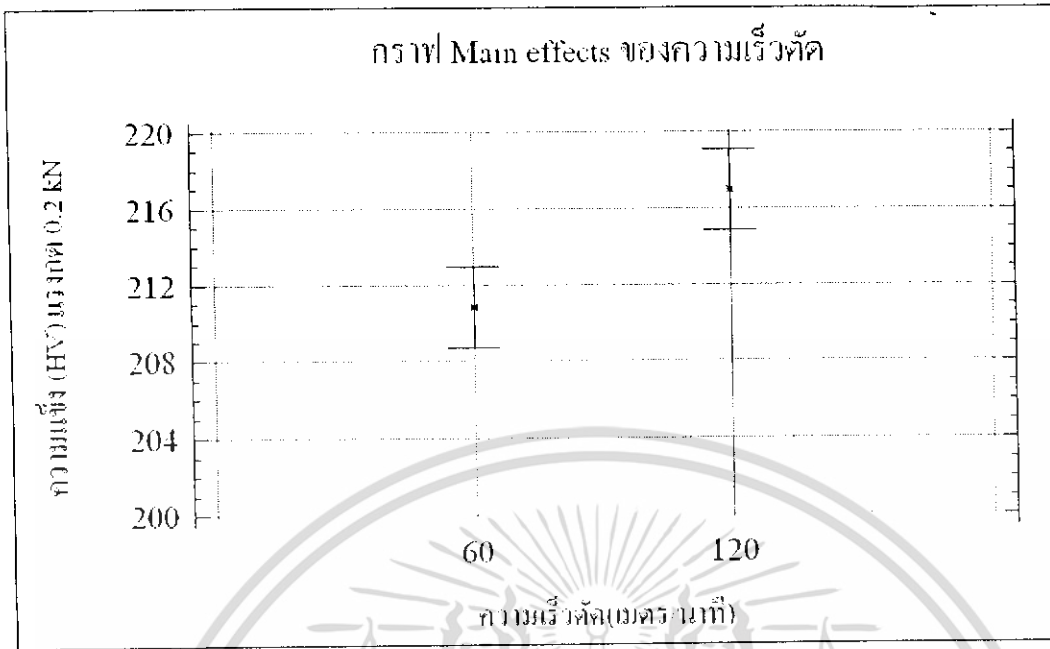
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

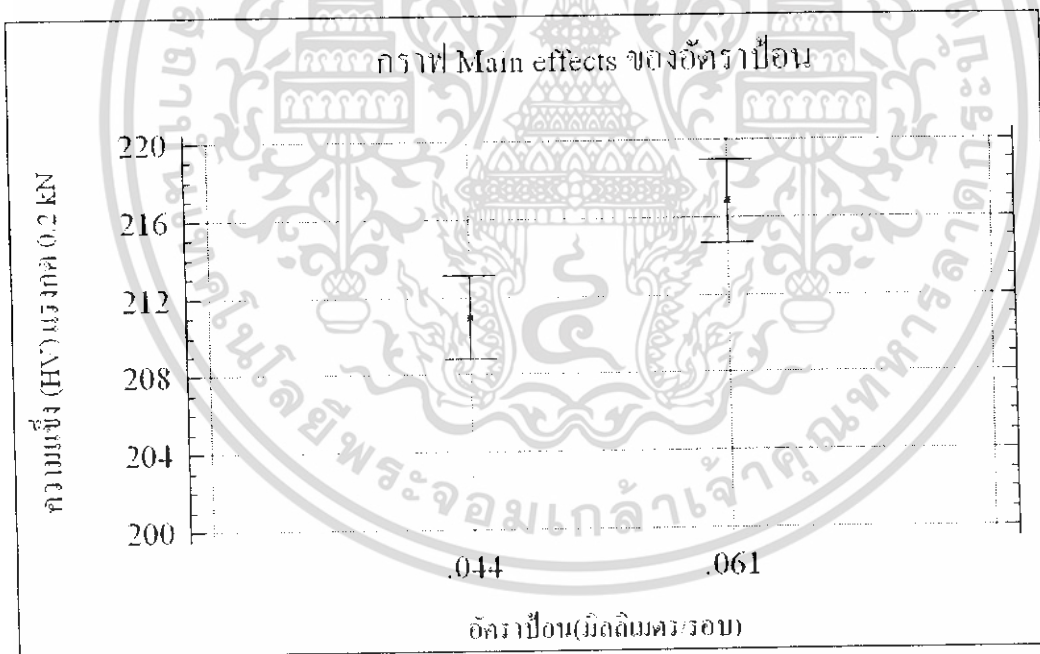
Analysis of Variance for Hardness – Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A : speed	607.6220	1	607.6220	8.4800	0.0054
B : feed	548.7310	1	548.7310	7.6600	0.0080
C : depth of cut	92.1600	1	92.1600	1.2900	0.2624
D : coolant	16.6056	1	16.6056	0.2300	0.6324
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	175.5630	1	175.5630	2.4500	0.1241
AC	109.7260	1	109.7260	1.5300	0.2220
AD	15.2100	1	15.2100	0.2100	0.6471
BC	16.8100	1	16.8100	0.2300	0.6304
BD	205.2060	1	205.2060	2.8600	0.0971
CD	103.0230	1	103.0230	1.4400	0.2364
ABC	4.1006	1	4.1006	0.0600	0.8120
ABD	0.4225	1	0.4225	0.0100	0.9391
ACD	0.1406	1	0.1406	0.0000	0.9649
BCD	228.0100	1	228.0100	3.1800	0.0808
ABCD	77.0006	1	77.0006	1.0700	0.3051
Residual	3439.8300	48	71.6631		
Total (Corrected)	5640.1600	63			
All F-Ratios are based on the residual mean square error.					

จากค่า P-value ในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงาน กลึงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ความเร็วตัด (Speed) และอัตราป้อน (Feed) เนื่องจาก P-value ของทั้งสองปัจจัยนี้มีค่าน้อยกว่า 0.05 เมื่อทราบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งของชิ้นงานกลึงคือ ความเร็วตัดและอัตราป้อน จากนั้นจึงทำการพล็อตกราฟ Main Effects เพื่ออธิบายผลของปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟ Main Effects ของความเร็วตัดและค่าความแข็ง



รูปที่ 4.5 กราฟ Main Effects ของอัตราป้อนและค่าความแข็ง

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าถ้าความเร็วตัดค่าความแข็งของผิวชิ้นงานก็จะต่ำไปด้วย และถ้าหากเพิ่ม ความเร็วตัดให้สูงขึ้นค่าความแข็งของผิวชิ้นงานก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย

จากรูปที่ 4.5 ถ้าอัตราป้อนค่าความแข็งก็จะต่ำและถ้าหากเพิ่มอัตราป้อนให้สูงขึ้นค่าความแข็งก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าความเร็วตัดและอัตราป้อนนั้น มีผลกับความแข็งที่เพิ่มขึ้นที่ผิวของชิ้นงาน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากขณะที่ขึ้นรูปชิ้นงานได้มีการตัดเฉือนโลหะโดยใช้เครื่องมือตัดซึ่งจะทำให้เกิดการเสียดสีอย่างถาวร (Plastic Deformation) เนื่องจากแรงอัดจากมีดกลึง ซึ่งการอัดตัวอย่างถาวร (Plastic Strain) ของเนื้อวัสดุทำให้ความแข็งของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การเสียดสีของเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงานทำให้เกิดความร้อนขึ้นในบริเวณที่มีการตัดเฉือน จากงานวิจัยที่ผ่านมา Kalpakjian (1995) พบว่า อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในขณะตัดเฉือนชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับความเร็วตัด และอัตราป้อน ดังสมการ (4.1)

$$\text{Mean Temperature} \propto V^a f^b \quad (4.1)$$

โดย Mean Temperature คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในขณะตัดเฉือนชิ้นงาน ตัวแปร a และ b เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำมีดกลึง V คือ ความเร็วตัด และ f คือ อัตราป้อน ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะตัดเฉือนชิ้นงานอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับจุลภาคส่งผลให้ผิวของชิ้นงานนั้นมีความแข็งเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาและทำการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยในงานกลึงที่มีผลต่อความแข็งของผิวเหล็กกล้า AISI 1045 ในปริณญาณิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาเพื่อเป็นการทดสอบสมมติฐานว่าปัจจัยในงานกลึง คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน ระยะป้อนลึก และสารหล่อเย็น มีผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงานหรือไม่ สำหรับการศึกษาในปริณญาณิพนธ์นี้ได้เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานกลึงพบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดกระบวนการกลึงขึ้นนั้น ได้แก่ อัตราป้อน (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ระยะป้อนลึก (Depth of Cut) มีดกลึง (Cutting Tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work Piece) ซึ่งขณะที่ทำการกลึงงานจะมีความเค้น ความเครียด และความร้อน เกิดขึ้นกับชิ้นงานตลอดเวลา ซึ่งจากการค้นคว้าข้อมูลทางด้านโลหะวิทยาพบว่ามิตฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2 ทฤษฎี คือความเค้นและความร้อนที่เกิดจากการกลึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน และอีกทฤษฎีหนึ่ง คือ ความร้อนและความเค้นจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของชิ้นงาน โครงงานนี้จึงทำการทดลองเพื่อทดสอบทฤษฎีดังกล่าว โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงสถิติมาใช้เพื่อวิเคราะห์ผล จากการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการนำชิ้นงานมาผ่านกรรมวิธีการขึ้นรูปโดยการกลึงนั้น ปัจจัยในการกลึงส่งผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน AISI 1045 ซึ่งปัจจัยที่มีผลอย่างเห็นได้ชัดคือ ความเร็วตัดและอัตราป้อน โดยอาจมีสาเหตุมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นระหว่างการกลึงทำให้เกิด Plastic strain ขึ้นบนชิ้นงานหรือความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสีระหว่างมีดกลึงกับชิ้นงานขณะที่ทำการกลึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างในระดับจุลภาคของชิ้นงานในลักษณะที่ทำให้ชิ้นงานแข็งขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาปัจจัยในการกลึงที่มีผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน AISI 1045 พบว่าในการศึกษานี้ยังมีจุดบกพร่องหรือข้อเสนอนแนะในการทำงานดังต่อไปนี้

1. ควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างในระดับจุลภาคเพื่อจะได้ทราบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของชิ้นงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกลึง
2. ในการขัดผิวชิ้นงานทดสอบต้องขัดผิวชิ้นงานด้วยมือ ทำให้ผิวหน้าของชิ้นงานทดสอบไม่ได้ฉ่ำก และไม่เรียบเท่าที่ควร อาจทำให้ค่าความแข็งที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อน
3. ในการวัดการสึกหรอของมีดกลึงทำได้ยากเนื่องจากการสึกหรอที่เกิดขึ้นยังเกิดขึ้นในปริมาณน้อย
4. ในการศึกษาครั้งนี้ทำการทดลองกับเหล็กกล้าเพียงชนิดเดียว คือ AISI 1045 ดังนั้น เพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการกลึงมีผลกระทบต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน จึงควรทำการศึกษาและทดลองเพิ่มเติมกับโลหะชนิดอื่นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- นริศ ศรีเมฆ และคณะ. 2450. โลหะวิทยา พิมพ์ครั้งที่ 1  
ไพโรจน์ สุขสุวรรณ. 2527. เอกสารประกอบการสอนปฏิบัติงานกลึง  
พรศักดิ์ อรรถวานิช. 2536. วัสดุศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 1  
ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม พิมพ์ครั้งที่ 1  
สายชล สันสมบูรณ์ทอง. 2545. สถิติเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 3  
สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์. 2542 การวางแผนการทดลอง  
Douglas C. Montgomery. 5<sup>th</sup> Edition Design and Analysis of Experiments  
Douglas C. Montgomery, George C. Runger. 3<sup>rd</sup> Edition Applied Statistics and Probability for Engineers  
George E Dieter. 1988 Mechanical Metallurgy  
Mikell P. Groover. 1996. Fundamentals of Modern Manufacturing  
Serope Kalpakjian. 1995. Manufacturing Engineering and Technology Third Edition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ชั้นที่	ทริทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
1	BCD	60	0.061	1.5	1
2	BD	60	0.061	0.5	1
3	A	120	0.044	0.5	0
4	C	60	0.044	1.5	0
5	AB	120	0.061	0.5	0
6	AD	120	0.044	0.5	1
7	I	60	0.044	0.5	0
8	ACD	120	0.044	1.5	1
9	AC	120	0.044	1.5	0
10	B	60	0.061	0.5	0
11	ABD	120	0.061	0.5	1
12	ABC	120	0.061	1.5	0
13	ABCD	120	0.061	1.5	1
14	CD	60	0.044	1.5	1
15	D	60	0.044	0.5	1
16	BC	60	0.061	1.5	0
17	D	60	0.044	0.5	1
18	AD	120	0.044	0.5	1
19	AB	120	0.061	0.5	0
20	I	60	0.044	0.5	0
21	BC	60	0.061	1.5	0
22	CD	60	0.044	1.5	1
23	BCD	60	0.061	1.5	1
24	BD	60	0.061	0.5	1
25	C	60	0.044	1.5	0
26	ABD	120	0.061	0.5	1
27	B	60	0.061	0.5	0
28	AC	120	0.044	1.5	0
29	A	120	0.044	0.5	0
30	ABCD	120	0.061	1.5	1
31	ABC	120	0.061	1.5	0
32	ACD	120	0.044	1.5	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าการนี้แต่เพียงผู้เดียว อีกทั้งยังมีให้คัดลอกเนื้อหา และต้องยังสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

ชั้นที่	ทริทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
33	BC	60	0.061	1.5	0
34	I	60	0.044	0.5	0
35	CD	60	0.044	1.5	1
36	BCD	60	0.061	1.5	1
37	AD	120	0.044	0.5	1
38	B	60	0.061	0.5	0
39	ABD	120	0.061	0.5	1
40	C	60	0.044	1.5	0
41	ABC	120	0.061	1.5	0
42	ABCD	120	0.061	1.5	1
43	AC	120	0.044	1.5	0
44	BD	60	0.061	0.5	1
45	ACD	120	0.044	1.5	1
46	D	60	0.044	0.5	1
47	A	120	0.044	0.5	0
48	AB	120	0.061	0.5	0
49	I	60	0.044	0.5	0
50	ABC	120	0.061	1.5	0
51	AB	120	0.061	0.5	0
52	BC	60	0.061	1.5	0
53	CD	60	0.044	1.5	1
54	AD	120	0.044	0.5	1
55	BCD	60	0.061	1.5	1
56	ABCD	120	0.061	1.5	1
57	B	60	0.061	0.5	0
58	BD	60	0.061	0.5	1
59	ACD	120	0.044	1.5	1
60	D	60	0.044	0.5	1
61	AC	120	0.044	1.5	0
62	ABD	120	0.061	0.5	1
63	A	120	0.044	0.5	0
64	เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต	60	0.044	1.5	0

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 2 แสดงค่าความแข็ง (HV) แรงกด 0.2 kN ของชิ้นงานที่ระยะความลึกต่างๆ

		ชิ้นงานที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ระยะห่างรอยกด (ไมครอน)	15	234.1	200.2	206.2	214.5	225.2	214.2	214.4	215.9
	30	204.9	183.3	192.7	201.6	186.3	205.0	201.4	199.8
	45	193.2	187.8	176.5	188.3	176.5	195.0	191.4	185.2
	60	178.3	198.8	189.9	179.9	196.1	185.5	182.5	197.7
	75	187.2	181.8	184.0	174.9	199.4	188.9	184.0	180.8
	90	187.2	187.5	198.1	166.5	184.9	185.0	171.3	185.1
	105	181.4	185.5	187.9	177.5	196.7	183.4	179.9	190.7
	120	181.2	183.0	182.5	184.5	195.6	179.9	188.3	187.7
	135	182.7	183.1	188.1	184.1	177.4	171.4	185.6	184.5
	150	179.1	184.7	186.3	171.5	187.0	174.0	186.7	186.7
	165	181.3	185.0	184.9	173.0	182.9	186.4	185.1	187.5
	180	182.7	183.2	185.7	185.4	176.0	187.2	179.5	186.2
	195	180.1	184.2	186.3	184.7	185.1	176.6	183.3	186.0
	210	182.4	184.4	186.9	185.2	188.9	181.5	186.2	186.0
	225	182.4	184.4	186.9	187.9	185.9	180.4	183.2	186.0
	240	182.4	184.4	186.9	187.9	185.3	180.5	179.9	186.0
	255	182.4	184.4	186.9	187.9	186.4	184.9	182.9	186.0
	270	182.4	184.4	186.9	187.9	186.4	184.7	181.1	186.0
	285	182.4	184.4	186.9	187.9	186.4	188.7	183.8	186.0
	300	182.4	184.4	186.9	187.9	186.4	184.3	183.8	186.0
315	182.4	184.4	186.9	187.9	186.4	188	183.8	186.0	
330	182.4	184.4	186.9	187.9	186.4	184.4	183.8	186.0	
345	182.4	184.4	186.9	187.9	186.4	185.9	183.8	186.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 2 แสดงค่าความแข็ง (HV) แรงกด 0.2 kN ของชิ้นงานที่ระยะความลึกต่างๆ (ต่อ)

		ชิ้นงานที่							
		9	10	11	12	13	14	15	16
ระยะห่างยอด (ไมครอน)	15	208.8	218.9	207.3	215.5	210.8	201.1	198.7	203.1
	30	207.3	204.5	199.6	205.8	209.1	192.7	190.9	201.0
	45	189.1	186.6	195.7	188.5	184.1	188.0	178.0	198.5
	60	197.7	190.0	194.1	195.2	182.7	183.2	183.6	189.9
	75	181.5	188.7	185.7	188.2	187.3	176.6	180.6	190.5
	90	182.0	194.4	197.6	191.3	191.1	184.1	185.0	195.5
	105	184.6	184.0	196.0	189.8	189.9	179.6	184.2	192.7
	120	180.7	192.2	190.6	187.9	185.9	173.5	171.5	186.9
	135	179.6	182.3	184.3	185.8	182.9	173.0	184.1	185.6
	150	180.6	186.2	188.2	183.5	179.9	175.1	183.2	186.7
	165	175.1	188.3	196.4	185.1	185.8	174.1	173.7	185.3
	180	177.8	185.7	186.9	187.3	185.7	173.0	175.8	187.7
	195	176.5	186.7	179.3	186.5	185.5	175.8	177.1	185.2
	210	177.8	185.8	185.6	184.1	187.5	174.0	184.5	186.9
	225	175.5	186.7	187.2	185.8	187.5	174.0	189.4	186.9
	240	175.5	185.0	190.5	183.3	187.5	174.0	180.5	186.9
	255	175.5	185.0	184.1	184.6	187.5	174.0	187.3	186.9
	270	175.5	185.0	174.5	184.6	187.5	174.0	187.0	186.9
	285	175.5	185.0	180.9	184.6	187.5	174.0	182.6	186.9
	300	175.5	185.0	178.2	184.6	187.5	174.0	182.6	186.9
315	175.5	185.0	182.2	184.6	187.5	174.0	182.6	186.9	
330	175.5	185.0	174.8	184.6	187.5	174.0	182.6	186.9	
345	175.5	185.0	184.6	184.6	187.5	174.0	182.6	186.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 2 แสดงค่าความแข็ง (HV) แรงกด 0.2 kN ของชิ้นงานที่ระยะความลึกต่างๆ (ต่อ)

		ชิ้นงานที่							
		17	18	19	20	21	22	23	24
ระยะห่างยอด (ไมครอน)	15	202.6	207.5	225.1	206.4	211.4	201.8	218.1	230.3
	30	185.9	202.7	193.3	195.0	208.1	182.5	205.3	206.4
	45	182.0	193.1	190.7	186.7	203.5	188.3	191.2	198.8
	60	180.5	200.6	188.1	187.7	185.9	184.7	189.8	215.5
	75	190.4	190.7	188.2	188.5	185.2	175.7	183.5	195.6
	90	180.9	186.8	181.8	187.0	185.2	179.7	179.0	180.5
	105	188.6	188.8	181.1	191.1	182.7	182.5	182.5	187.9
	120	188.5	180.8	190.4	187.9	180.3	172.8	184.5	186.6
	135	184.1	178.0	188.1	182.0	178.7	175.3	184.9	188.1
	150	182.7	186.7	192.9	182.6	186.9	176.1	183.4	179.4
	165	181.5	186.0	198.5	184.5	187.8	174.9	185.1	175.0
	180	181.3	190.1	185.4	182.3	183.9	175.1	186.7	190.2
	195	177.3	186.4	183.9	186.0	178.8	176.3	181.9	199.9
	210	180.9	188.8	186.2	182.6	182.1	176.3	183.2	188.9
	225	181.5	190.4	185.1	182.6	184.2	176.3	182.6	185.7
	240	185.8	192.4	187.4	182.6	185.9	176.3	193.2	187.0
	255	178.5	190.4	185.8	182.6	186.3	176.3	186.9	186.5
	270	177.0	186.6	186.3	182.6	191.0	176.3	187.2	174.3
	285	175.0	187.4	186.3	182.6	186.4	176.3	185.8	182.6
	300	176.1	187.7	186.3	182.6	186.5	176.3	184.1	187.3
315	175.3	187.7	186.3	182.6	185.2	176.3	185.0	187.3	
330	175.3	187.7	186.3	182.6	185.0	176.3	185.0	187.3	
345	175.3	187.7	186.3	182.6	185.0	176.3	185.0	187.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 2 แสดงค่าความแข็ง (HV) แรงกด 0.2 kN ของชิ้นงานที่ระยะความลึกต่างๆ (ต่อ)

		ชิ้นงานที่							
		25	26	27	28	29	30	31	32
ระยะห่างรอยกด (ไมครอน)	15	204.0	226.1	228.4	220.0	210.3	217.9	209.6	216.7
	30	189.2	201.6	215.1	207.7	206.6	205.6	205.9	209.2
	45	189.9	203.2	205.0	207.0	199.6	194.8	185.3	209.5
	60	190.3	188.6	195.8	184.9	192.8	185.5	185.0	200.0
	75	179.3	183.5	194.1	180.6	180.0	192.2	183.4	199.1
	90	184.3	182.4	196.4	176.9	178.2	180.3	188.4	203.6
	105	183.2	179.4	195.0	177.4	178.0	182.8	181.2	201.6
	120	177.7	188.2	190.4	183.7	177.2	185.3	182.1	201.7
	135	183.2	187.4	183.6	176.9	176.7	186.1	184.5	190.7
	150	180.1	185.7	187.2	179.9	175.8	187.0	183.3	201.3
	165	178.1	186.7	190.1	1181.1	176.0	187.8	186.2	199.1
	180	175.0	186.9	187.9	178.8	176.3	184.2	183.1	189.3
	195	175.1	178.2	188.1	174.3	177.3	191.8	183.1	196.3
	210	177.1	188.1	186.5	176.5	176.1	187.0	183.1	189.7
	225	177.1	184.6	185.3	175.1	176.1	189.6	183.1	183.5
	240	176.3	187.1	187.2	176.3	176.1	185.1	183.1	188.6
	255	176.3	188.1	186.0	176.3	176.1	186.7	183.1	184.9
	270	176.3	188.9	186.7	176.3	176.1	186.7	183.1	185.1
	285	176.3	188.9	186.7	176.3	176.1	185.2	183.1	186.3
	300	176.3	188.9	186.7	176.3	176.1	185.7	183.1	185.0
315	176.3	188.9	186.7	176.3	176.1	185.7	183.1	185.0	
330	176.3	188.9	186.7	176.3	176.1	185.7	183.1	185.0	
345	176.3	188.9	186.7	176.3	176.1	185.7	183.1	185.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 2 แสดงค่าความแข็ง (HV) แรงกด 0.2 kN ของชิ้นงานที่ระยะความลึกต่างๆ (ต่อ)

		ชิ้นงานที่							
		33	34	35	36	37	38	39	40
ระยะห่างรอยกด (ไมครอน)	15	209.6	204	202.1	225.6	215.7	211.6	214.6	216.1
	30	188.4	198.1	199.0	220.0	203.0	192.6	216.4	198.8
	45	190.1	191.8	202.4	210.2	210.8	193.9	215.3	206.5
	60	181.7	181.3	206.6	197.8	212.7	192.7	209.6	203.9
	75	182.5	182.7	205.6	215.7	201.6	192.7	209.6	194.0
	90	187.2	179.6	202.5	220.0	189.8	190.5	203.3	200.4
	105	183.9	184.2	202.3	211.0	183.1	199.7	202.18	204.1
	120	180.8	192.3	197.9	208.2	182.5	195.9	191.6	211.7
	135	179.0	186.2	200.8	210.1	183.0	194.7	189.7	210.9
	150	177.8	183.8	200.1	195.5	178.3	187.8	187.9	211.8
	165	180.2	177.2	191.0	199.0	185.2	185.5	190.0	206.4
	180	175.2	185.7	183.7	205.3	186.3	187.1	189.3	207.2
	195	173.0	182.9	180.9	199.6	184.5	187.4	188.4	206.5
	210	177.7	189.5	187.1	193.4	184.7	185.7	189.6	196.5
	225	176.2	181.2	183.6	189.9	185.2	185.5	185.9	207.3
	240	174.8	175.3	182.8	186.6	185.2	186.2	186.1	195.3
	255	174.2	182.3	184.5	190.0	185.2	186.2	185.6	196.5
	270	175.4	182.9	184.1	187.9	185.2	186.2	186.7	196.7
	285	175.1	180.2	184.1	189.5	185.2	186.2	186.7	194.7
	300	175.1	180.2	184.1	190.4	185.2	186.2	186.7	197.4
315	175.1	180.2	184.1	188.6	185.2	186.2	186.7	196.2	
330	175.1	180.2	184.1	187.9	185.2	186.2	186.7	196.2	
345	175.1	180.2	184.1	189.1	185.2	186.2	186.7	196.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 2 แสดงค่าความแข็ง (HV) แรงกด 0.2 kN ของชิ้นงานที่ระยะความลึกต่างๆ (ต่อ)

		ชิ้นงานที่							
		41	42	43	44	45	46	47	48
ระยะห่างยอด (ไมครอน)	15	224.6	237.0	234.5	216.9	215.8	217.7	228.0	202.5
	30	223.8	228.9	209.0	204.0	212.9	215.7	221.7	201.0
	45	214.8	230.6	213.6	181.9	211.0	210.8	217.6	204.0
	60	214.2	228.5	207.1	182.9	210.8	205.7	207.3	200.8
	75	210.6	210.4	207.9	182.1	206.8	210.9	199.8	200.1
	90	199.3	213.4	192.5	182.0	205.1	190.3	204.3	202.3
	105	209.1	214.0	191.5	182.3	202.8	209.7	205.8	204.4
	120	204.6	217.0	187.8	184.5	205.5	203.3	198.7	194.9
	135	199.0	214.4	196.4	185.6	198.3	180.7	186.9	199.1
	150	200.3	200.4	190.0	191.0	194.9	205.9	189.7	196.8
	165	194.3	205.4	202.3	175.7	189.3	210.1	191.2	196.2
	180	199.0	205.3	194.3	181.7	184.4	206.3	188.3	196.4
	195	198.7	198.5	199.5	183.1	182.4	197.7	187.9	197.8
	210	197.3	196.5	187.6	184.7	179.3	189.7	188.5	196.8
	225	196.2	198.0	186.9	182.0	177.2	193.1	191.1	196.8
	240	196.9	197.2	188.1	183.5	176.2	187.5	189.1	196.8
	255	197.3	198.7	185.4	183.5	178.9	190.4	189.6	196.8
	270	197.3	198.7	186.3	183.5	176.1	186.3	187.7	196.8
	285	197.3	198.7	187.2	183.5	176.1	187.6	186.5	196.8
	300	197.3	198.7	187.2	183.5	176.1	185.4	186.5	196.8
315	197.3	198.7	187.2	183.5	176.1	187.6	186.5	196.8	
330	197.3	198.7	187.2	183.5	176.1	187.6	186.5	196.8	
345	197.3	198.7	187.2	183.5	176.1	187.6	186.5	196.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 2 แสดงค่าความแข็ง (HV) แรงกด 0.2 kN ของชิ้นงานที่ระยะความลึกต่างๆ (ต่อ)

		ชิ้นงานที่							
		49	50	51	52	53	54	55	56
ระยะห่างรอยกด (ไมครอน)	15	198.4	221.4	216.4	209.4	208.3	201.8	204.9	227.2
	30	187.2	210.3	200.5	199.3	203.0	196.7	188.9	217.6
	45	183.9	198.3	202.3	178.2	202.7	195.4	181.1	206.8
	60	189.0	203.0	188.6	172.1	189.2	197.1	179.9	213.8
	75	185.7	199.8	187.6	178.4	189.0	200.5	184.0	202.9
	90	182.3	194.4	185.1	190.5	188.1	196.7	181.9	204.0
	105	181.9	196.8	203.9	178.8	183.9	196.7	178.3	204.9
	120	182.4	192.5	199.6	180.2	181.3	202.9	178.0	203.2
	135	184.9	192.6	187.1	176.2	178.6	183.5	177.9	201.7
	150	182.3	194.1	185.5	183.5	178.3	186.0	185.5	199.6
	165	183.4	197.8	189.7	180.5	180.8	185.6	180.6	196.9
	180	182.2	198.9	186.9	180.6	183.4	191.0	186.1	198.3
	195	183.5	186.3	184.3	194.8	178.5	196.0	181.1	194.9
	210	183.4	188.5	182.9	191.1	178.8	190.0	179.1	193.0
	225	183.4	189.4	181.0	172.9	177.8	189.2	176.5	193.0
	240	183.4	187.9	193.6	179.7	179.5	184.7	182.7	195.4
	255	183.4	187.7	184.7	185.1	178.0	183.3	183.4	194.4
	270	183.4	192.4	178.4	178	178.0	180	183.7	194.4
	285	183.4	178.1	186.2	181.4	178.0	189.6	184.8	194.4
	300	183.4	205.7	187.9	174.3	178.0	183.1	185.2	194.4
315	183.4	182.7	185.8	174.0	178.0	185.4	183.7	194.4	
330	183.4	186.7	187.4	175.5	178.0	185.4	183.7	194.4	
345	183.4	186.5	185.3	174.9	178.0	185.4	183.7	194.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

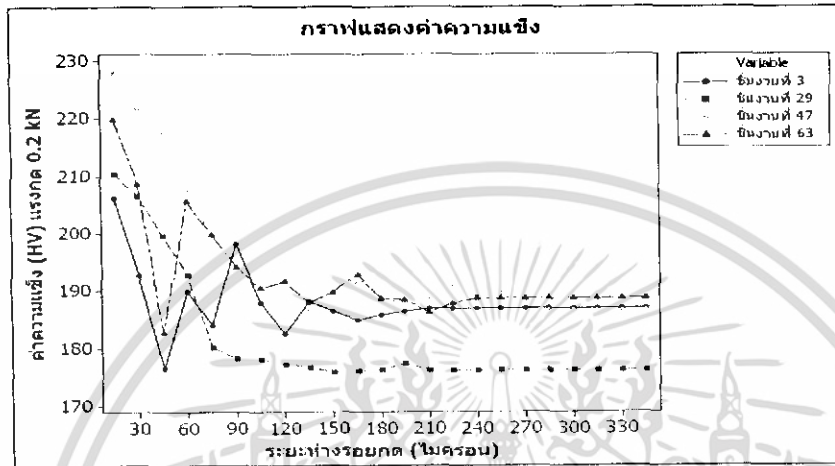
ตารางที่ตารางที่ ผก 2 แสดงค่าความแข็ง (HV) แรงกด 0.2 kN ของชิ้นงานที่ระยะความลึกต่างๆ (ต่อ)

		ชิ้นงานที่							
		57	58	59	60	61	62	63	64
ระยะห่างรอยกด (ไมครอน)	15	216.0	207.9	216.4	202.4	219.7	210.8	219.8	207.2
	30	215.9	192.9	211.4	200.9	197.1	208.8	208.5	202.4
	45	210.2	193.0	229.2	199.9	184.2	201.9	182.7	200.3
	60	207.6	195.9	206.3	203.6	180.3	199.9	205.6	203.9
	75	205.0	190.7	202.7	194.7	186.7	191.9	199.7	200.6
	90	206.7	190.7	193.4	208.7	183.1	200.9	194.1	198.2
	105	194.9	203.5	199.8	188.2	186.7	190.6	190.4	189.1
	120	205.7	188.4	202.0	189.9	180.5	193.9	191.6	197.0
	135	209.4	188.3	197.1	183.2	183.7	184.4	187.9	188.3
	150	204.1	191.6	194.0	182.9	181.3	191.5	189.7	189.9
	165	201.7	186.3	193.9	186.4	182.3	194.7	192.8	188.4
	180	205.1	186.8	184.5	190.6	181.0	197.2	188.6	185.9
	195	195.0	187.1	200.2	189.9	180.7	183.1	188.4	180.9
	210	197.9	185.7	199.3	187.4	180.6	185.8	186.1	180.4
	225	192.4	186.7	195.8	188.1	179	200.3	187.8	179.8
	240	188.6	186.7	191.0	186.7	178.6	196.2	188.6	182.6
	255	198.8	186.7	201.9	188.8	178.6	189.1	188.6	181.2
	270	196.4	186.7	190.7	187.7	178.6	186.8	188.6	180.9
	285	198.9	186.7	191.9	187.7	178.6	190.1	188.6	180.9
	300	198.8	186.7	192.1	187.7	178.6	190	188.6	180.9
315	199.0	186.7	195.5	187.7	178.6	191.3	188.6	180.9	
330	198.9	186.7	185.0	187.7	178.6	192.0	188.6	180.9	
345	199.4	186.7	184.9	187.7	178.6	191.1	188.6	180.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 3 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ A

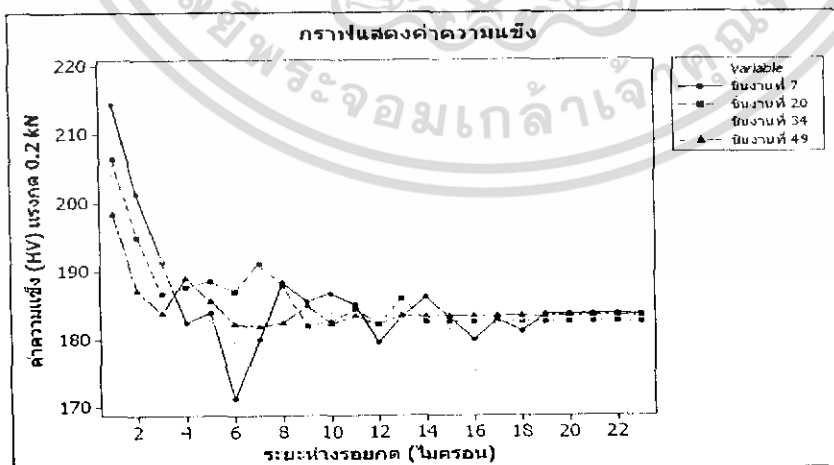
พรีทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
A	120	0.044	0.5	ไม่ใช่



รูปที่ ผก 1 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทเมนต์ A

ตารางที่ ผก 4 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ 1

พรีทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
1	60	0.044	0.5	ไม่ใช่

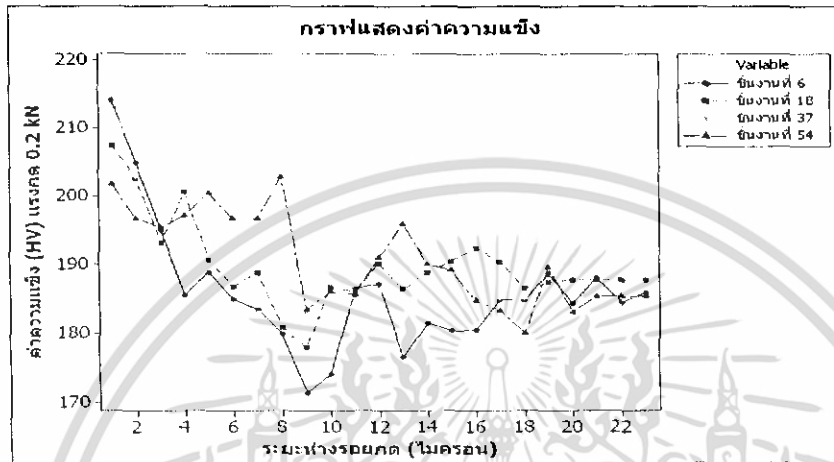


รูปที่ ผก 2 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทเมนต์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 5 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ AD

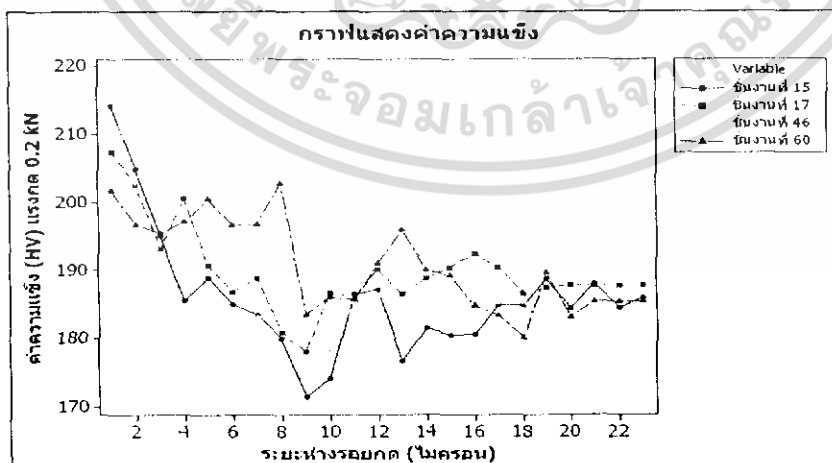
ทริทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
AD	120	0.044	0.5	ใช่



รูปที่ ผก 3 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ AD

ตารางที่ ผก 6 ตารางแสดงค่าทริทเมนต์ D

ทริทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
D	60	0.044	0.5	ใช่

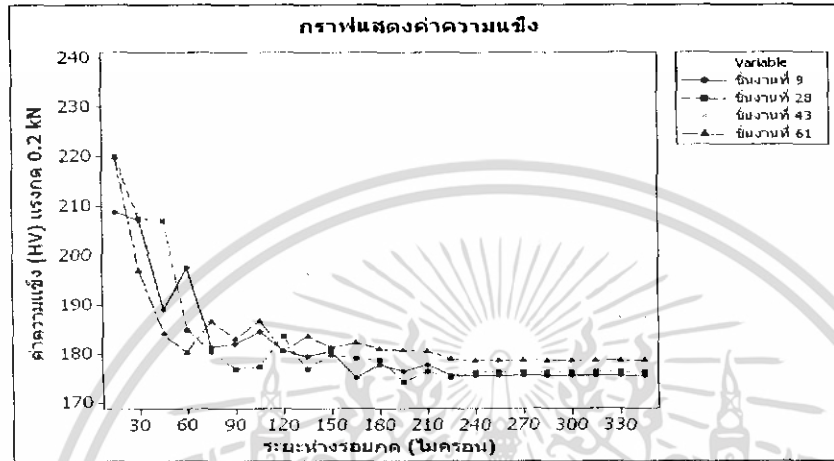


รูปที่ ผก 4 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยทริทเมนต์ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 7 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ AC

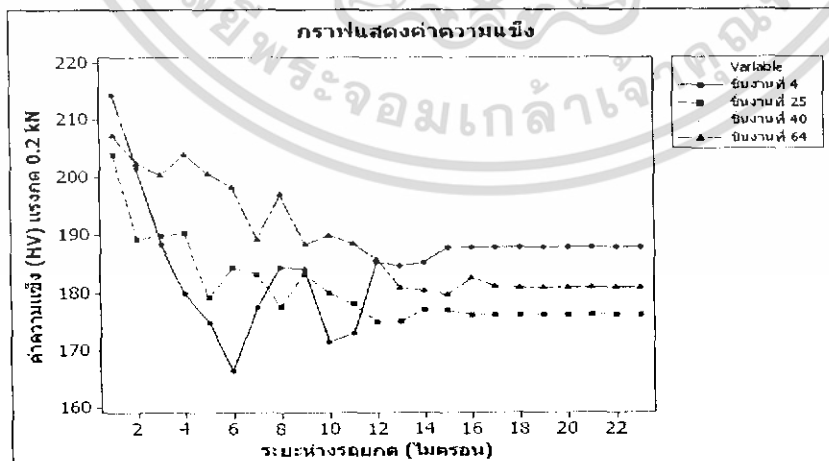
พรีทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
AC	120	0.044	1.5	ไม่ใช่



รูปที่ ผก 5 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทเมนต์ AC

ตารางที่ ผก 8 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ C

พรีทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
C	60	0.044	1.5	ไม่ใช่

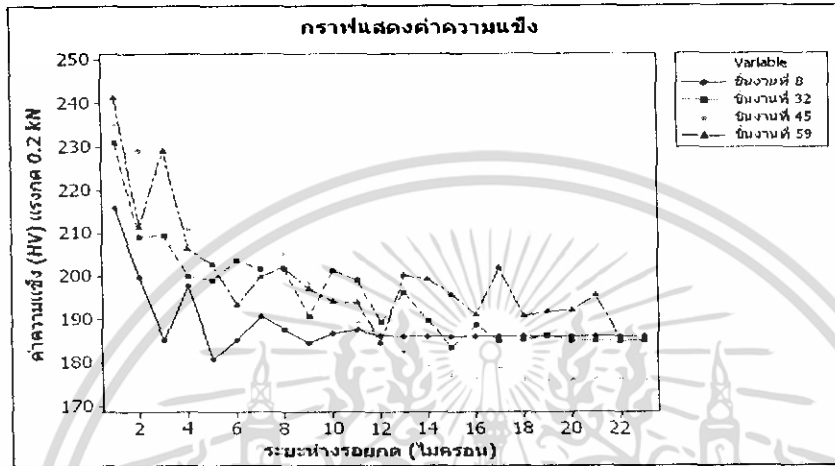


รูปที่ ผก 6 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทเมนต์ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 9 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ ACD

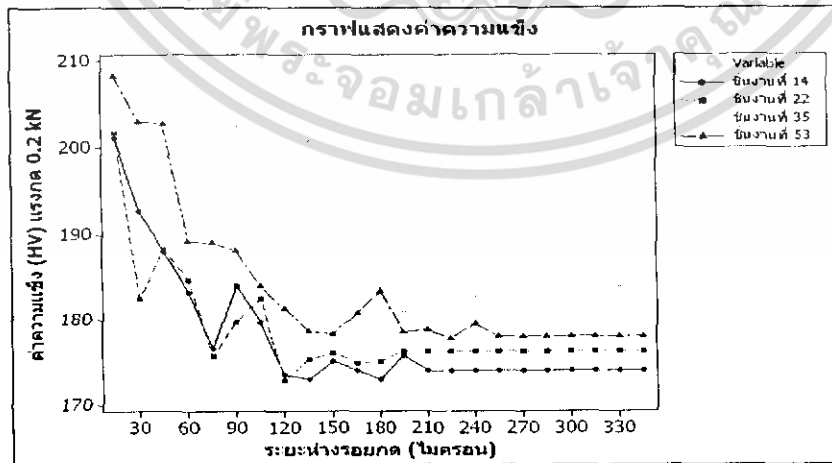
พรีทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
ACD	120	0.044	1.5	ใช่



รูปที่ ผก 7 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทเมนต์ ACD

ตารางที่ ผก 10 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ CD

พรีทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
CD	60	0.044	1.5	ใช่

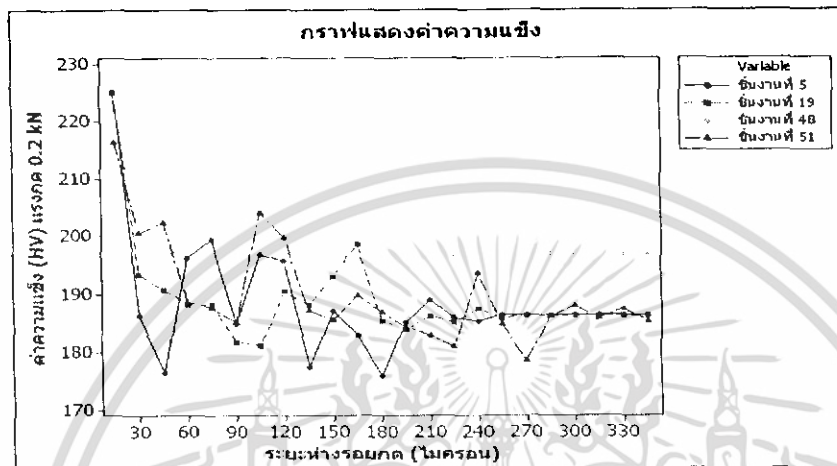


รูปที่ ผก 8 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทเมนต์ CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 11 ตารางแสดงค่าพริทเมนต์ AB

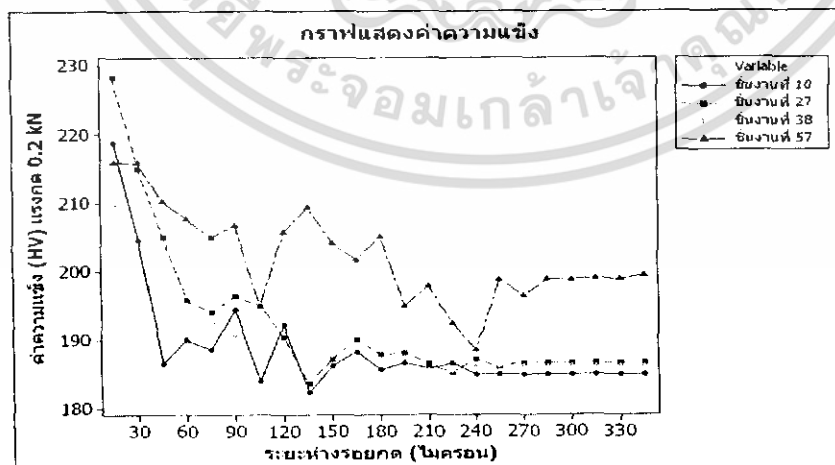
พริทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
AB	120	0.061	0.5	ไม่ใช่



รูปที่ ผก 9 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพริทเมนต์ AB

ตารางที่ ผก 12 ตารางแสดงค่าพริทเมนต์ B

พริทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
B	60	0.061	0.5	ไม่ใช่

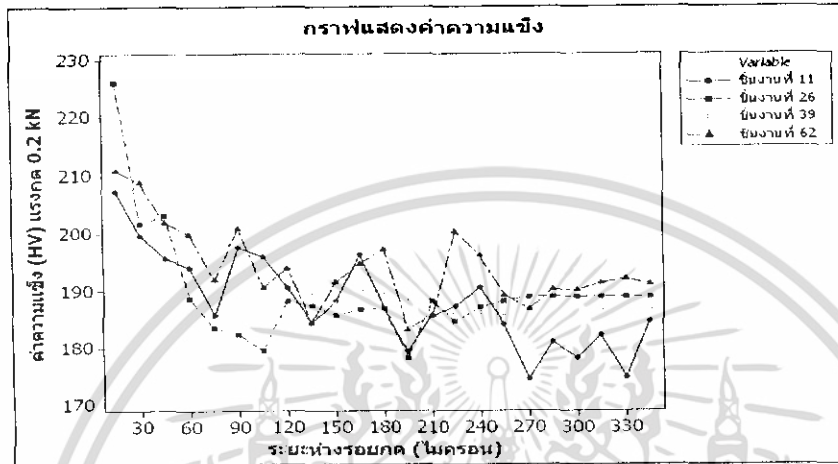


รูปที่ ผก 10 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพริทเมนต์ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 13 ตารางแสดงค่าพรีทริเมนต์ ABD

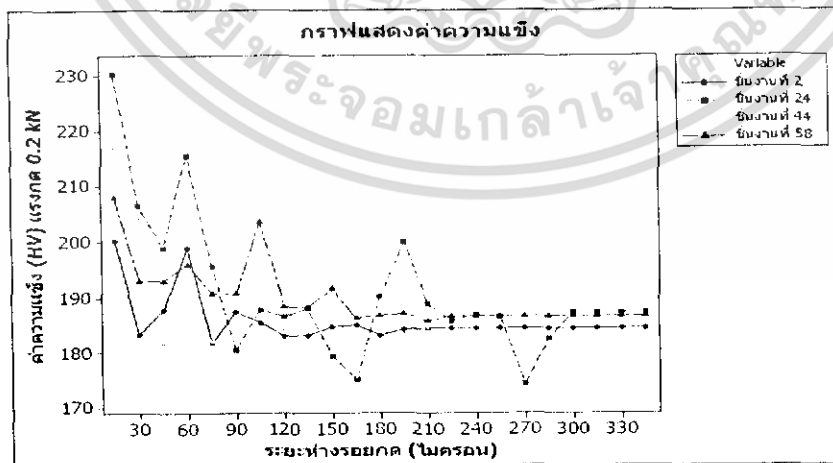
พรีทริเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
ABD	120	0.061	0.5	ใช่



รูปที่ ผก 11 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทริเมนต์ ABD

ตารางที่ ผก 14 ตารางแสดงค่าพรีทริเมนต์ BD

พรีทริเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
BD	60	0.061	0.5	ใช่

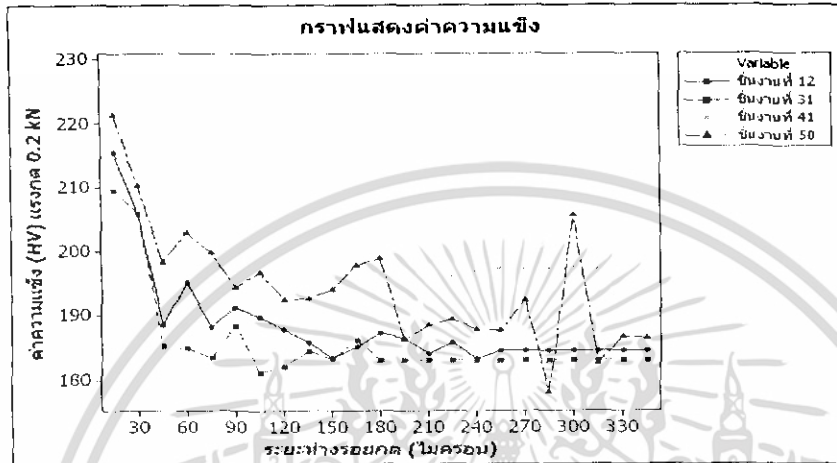


รูปที่ ผก 12 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทริเมนต์ BD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 15 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ ABC

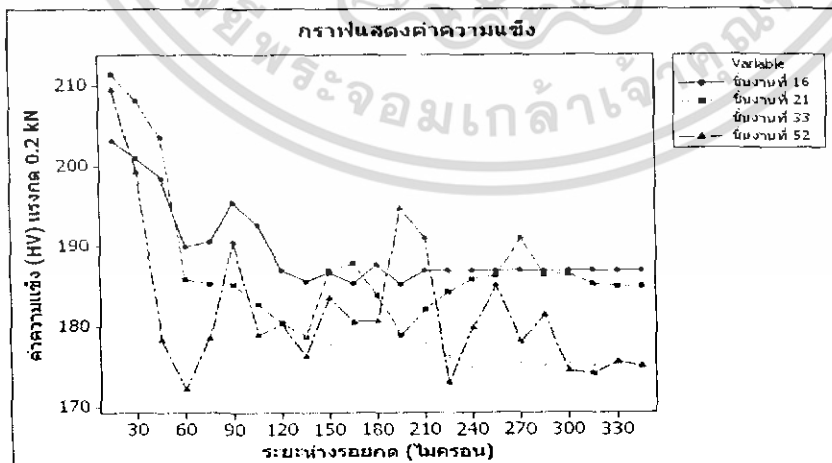
พรีทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
ABC	120	0.061	1.5	ไม่ใช่



รูปที่ ผก 13 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทเมนต์ ABC

ตารางที่ ผก 16 ตารางแสดงค่าพรีทเมนต์ BC

พรีทเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
BC	60	0.061	1.5	ไม่ใช่

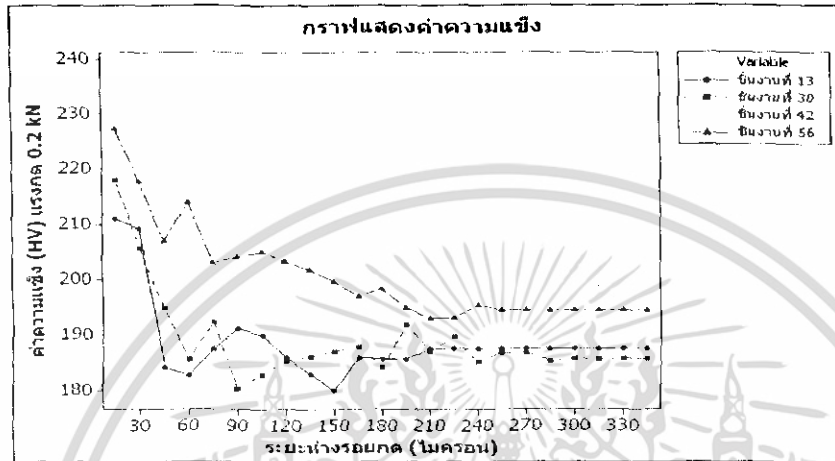


รูปที่ ผก 14 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทเมนต์ BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 17 ตารางแสดงค่าพรีทรีเมนต์ ABCD

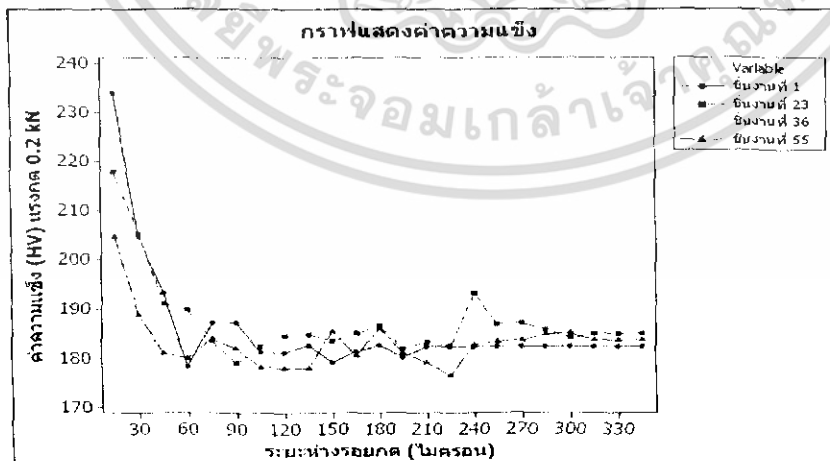
พรีทรีเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
ABCD	120	0.061	1.5	ใช่



รูปที่ ผก 15 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทรีเมนต์ ABCD

ตารางที่ ผก 18 ตารางแสดงค่าพรีทรีเมนต์ BCD

พรีทรีเมนต์	ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึก (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อเย็น
BCD	60	0.061	1.5	ใช่



รูปที่ ผก 16 กราฟแสดงค่าความแข็งเมื่อทดสอบโดยพรีทรีเมนต์ BCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

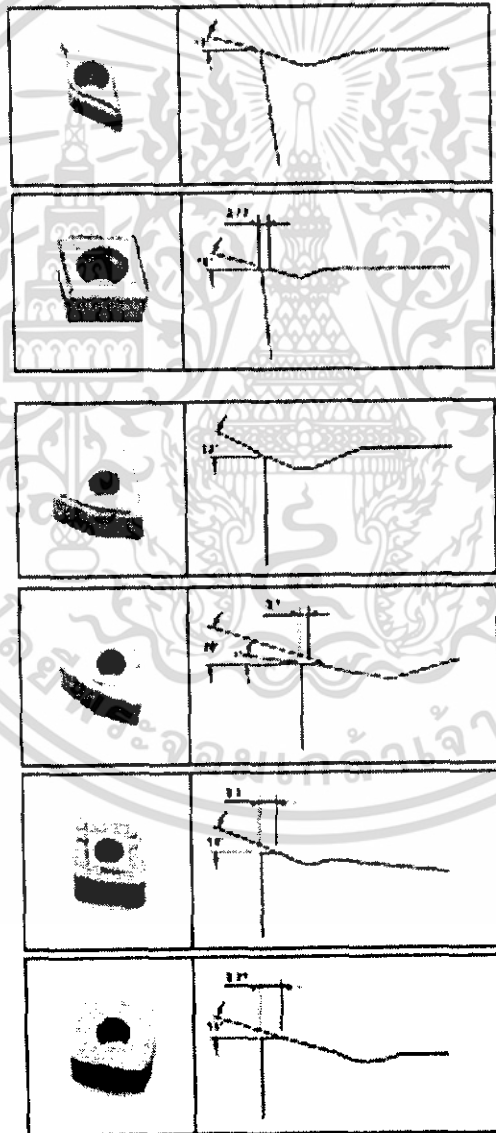


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

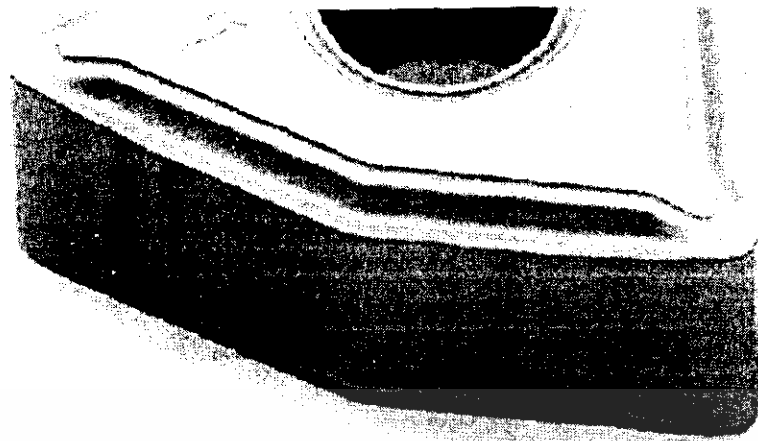
# MEETING YOUR EXPECTATIONS

The Seco programme of inserts for high feed turning cover chipbreakers for small positive inserts used for small part production to large negative inserts with geometries intended for heavy roughing.

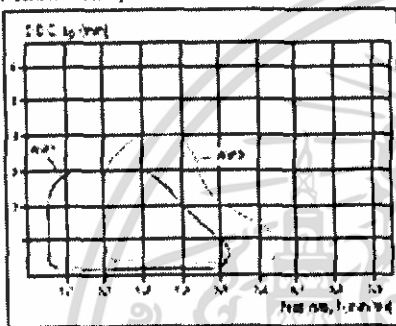
In addition a wide range of PCBN inserts bring you the possibility to high feed turn in hard materials.



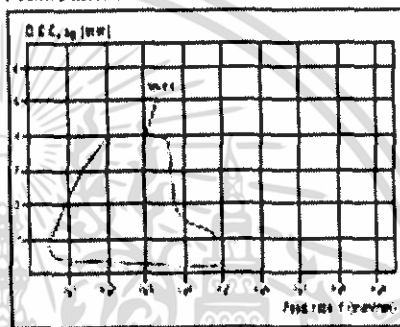
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท เซคโอ จำกัด เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



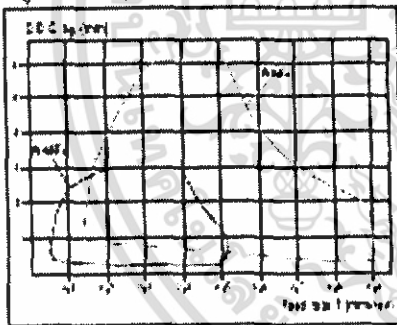
Chipbreaking range  
Positive Inserts, C and W



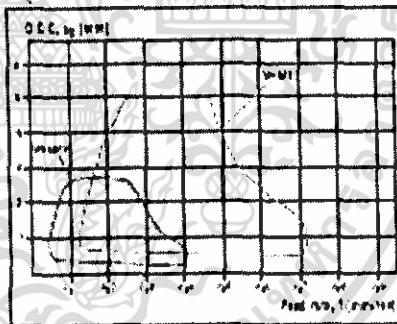
Positive Inserts D and T



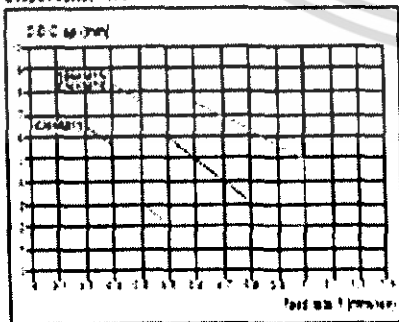
Negative Inserts, C and W



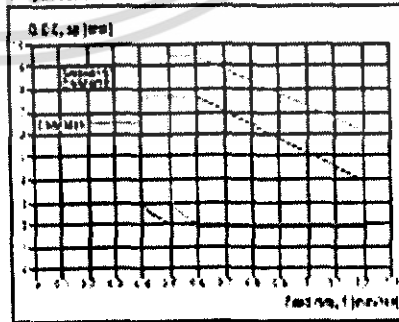
Negative Inserts D and T



Negative Inserts, C and S  
Chipbreaker - R4



Negative Inserts C and S  
Chipbreaker - R7



รูปที่ ผช 2 แสดงตัวอย่างประสิทธิภาพมีดกลึงลักษณะต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สําหรับการเชิงงานเพื่อการศึกษาศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CUTTING DATA

Cutting speed/Feed rate Chipbreaker F1, F2, MF2 and M3

Seco material group No.	TP1M3			TP2M3			TP3M3		
	Feed (mm/min)			Feed (mm/min)			Feed (mm/min)		
	F1	F2	MF2	F1	F2	MF2	F1	F2	MF2
1	120	200	150	200	300	250	200	300	250
2	110	180	130	180	250	200	180	250	200
3	100	160	120	160	220	180	160	220	180
4	90	140	110	140	200	160	140	200	160
5	80	120	100	120	180	140	120	180	140
6	70	100	90	100	160	120	100	160	120
7	60	80	80	80	140	100	80	140	100
8	-	-	-	-	-	-	100	150	120
9	-	-	-	-	-	-	120	170	140
10	-	-	-	-	-	-	150	200	170
11	-	-	-	-	-	-	180	250	200
12	-	-	-	-	-	-	200	280	220
13	-	-	-	-	-	-	220	300	240
14	-	-	-	-	-	-	250	350	280
15	-	-	-	-	-	-	280	400	320
16	-	-	-	-	-	-	300	450	350
17	-	-	-	-	-	-	350	500	400
18	-	-	-	-	-	-	400	550	450
19	-	-	-	-	-	-	450	600	500
20	-	-	-	-	-	-	500	650	550
21	-	-	-	-	-	-	550	700	600
22	-	-	-	-	-	-	600	750	650

The tables below show cutting speed recommendations when machining different materials with different feed rates. Use the Machining Navigator to classify your material into a Seco material group.

Cutting speed/Feed rate Chipbreaker R3 and R7

Seco material group No.	TP1M3			TP1M3			TP3M3		
	Feed (mm/min)			Feed (mm/min)			Feed (mm/min)		
	R3	R3	R7	R3	R3	R7	R3	R3	R7
1	120	120	150	200	200	250	200	200	250
2	110	110	130	180	180	220	180	180	220
3	100	100	120	160	160	200	160	160	200
4	90	90	110	140	140	180	140	140	180
5	80	80	100	120	120	160	120	120	160
6	70	70	90	100	100	140	100	100	140
7	60	60	80	80	80	120	80	80	120
8	-	-	-	100	100	140	120	120	160
9	-	-	-	120	120	160	140	140	180
10	-	-	-	140	140	180	160	160	200
11	-	-	-	160	160	200	180	180	220
12	-	-	-	180	180	220	200	200	240
13	-	-	-	200	200	240	220	220	260
14	-	-	-	220	220	260	240	240	280
15	-	-	-	240	240	280	260	260	300
16	-	-	-	260	260	300	280	280	320
17	-	-	-	280	280	320	300	300	340
18	-	-	-	300	300	340	320	320	360
19	-	-	-	320	320	360	340	340	380
20	-	-	-	340	340	380	360	360	400
21	-	-	-	360	360	400	380	380	420
22	-	-	-	380	380	420	400	400	440

The recommended cutting speed,  $v_c$  (m/min) in the tables are adjusted for 15 mil/min (0.4 mm/min) Seco material groups 1-7, 10-17, 20-22 and 18 mil/min (0.5 mm/min) for Seco material groups 8-11. If the depth of cut is between 1.0 mm and 0.5 mm increase  $v_c$  by 10% if the depth of cut is below 0.5 mm increase  $v_c$  by 20%.

Cutting data for CBN300

Material	Cutting speed (m/min)	Feed (mm/min)	D.O.C. (mm)
Free-cutting steel	120-150	0.2-0.3	0.2-0.4

Cutting data for CBN10100

Material	Cutting speed (m/min)	Feed (mm/min)	D.O.C. (mm)
Free-cutting steel	120-150	0.2-0.3	0.2-0.4

รูปที่ ผข 3 แสดงตัวอย่างประสิทธิภาพมีดกลึงลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผค 1 แสดงคุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

ส่วนผสมทางเคมี	C	Si	Mn	Pmax	Smax
% โดยน้ำหนัก	0.43 – 0.50	0.15 – 0.30	0.6 – 0.9	0.04	0.05
เกรดเหล็ก	DIN	JIS	SS14	ASTM	AFNOR
ที่ใกล้เคียง	1.1191	S45C	1672	A29, A510	XC42

ตารางที่ ผค 2 จุดวิกฤติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

จุดวิกฤติ	Ac1	Ac3	Ar3	Ar1
	725 (1340)	780 (1435)	750 (1385)	680 (1260)

ตารางที่ ผค 3 คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว				อุณหภูมิอบชุบและทุบขึ้นรูป		
อุณหภูมิ		ค่าสัมประสิทธิ์		กรรมวิธี	กรรมวิธี	
°C	°F	µm/m.k	µin/in. °F		8 C	8 F
0 – 100	32 – 212	11.5	6.4	ทุบขึ้นรูป	1245	2275
0 – 500	32 – 930	14.0	7.8	อบอ่อน	790 – 870	1450-1600
25 – 100	75 – 212	11.2	6.2	อบคืนตัว	830 – 915	1525-1675
25 – 500	75 – 930	14.0	7.8	อบออสเทนไนท์	800 – 845	1475-1550
25 – 600	75 – 1110	14.4	8.0			
25 – 700	75 - 1290	14.6	8.2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผค 4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

สภาพงาน	ขนาดงานกลม		ความต้านแรงดึง		จุดจำนน		ความยืด	ความ
	mm	in	MPa	ksi	MPa	ksi	ตัว	แข็ง
รีดร้อน	19 – 32	0.75 – 1.25	565	82	310	45	16	163
รีดเย็น	19 – 32	0.75 – 1.25	625	91	530	77	12	179
รีดเย็น,อบอ่อน	19 – 32	0.75 – 1.25	585	85	505	73	12	170
กลึง,เจียร,ขัดผิว	19 – 32	0.75 – 1.25	675	98	405	59	24	212
ดึงเย็น	16 – 32	0.63 – 0.88	655	95	585	85	12	187
	22 – 32	0.88 – 1.25	620	90	550	80	11	179
	32 – 50	1.25 – 2.00	585	85	515	75	10	170
	50 – 75	2 ถึง 3	515	75	485	70	10	163
ดึงเย็น อบอุณหภูมิต่ำ	16 – 22	0.63 – 0.88	690	100	620	90	12	197
	22 – 32	0.88 – 1.25	655	95	585	85	11	187
	32 – 50	1.25 – 2.00	620	90	550	80	10	179
ดึงเย็น อบอุณหภูมิสูง	16 – 22	0.63 – 0.88	655	95	515	75	15	187
	22 – 32	0.88 – 1.25	620	90	515	75	15	179
	32 – 50	1.25 – 2.00	585	85	485	70	15	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SHIJIAZHUANG IRON AND STEEL HOLDINGS LTD.

COMMODITY: HOT ROLLED STEEL ROUND BAR

No. 189321

STEELGRADE: SC45

SURFACE QUALITY: QUALIFIED

SIZE: Ø30 mm

DELIVERY CONDITION: HOT ROLLED

WEIGHT: 54.553 MT

STANDARD: JIS G4051

NO.OF BUNDLE: 20

HEAT	CHEMICAL COMPOSITION (%)										
	MECHANICS				HARDNESS				MACROSTRUCTURE		
5204169	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu			
	0.46	0.24	0.71	0.009	0.010	0.10	0.010	0.01			
	$\sigma_s$ MPa	$\sigma_b$ MPa	$\delta_5$ %	X %	HARDNESS			G.P.	C.P.	I.P.	
	≥355	≥600	≥16.0	≥40.0	≤0			(0.0/0.0)	(1.5/1.0)	(0.0/0.0)	

NOTE:  $\sigma_b$  = TENSILE STRENGTH,  $\sigma_s$  = YIELD STRENGTH

G.P. = GENERAL POROSITY, C.P. = CENTRAL POROSITY, I.P. = INGOT PATTERN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

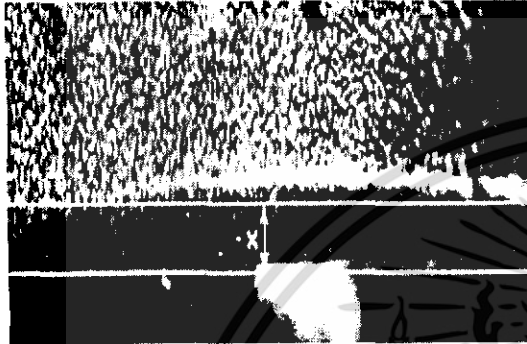


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความลึกหรือของมิดกลิ้ง

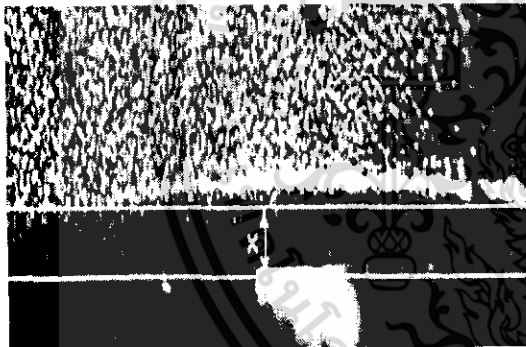
การวัดความลึกหรือของมิดกลิ้งชนิด Insert ยี่ห้อ SANDVIF รุ่น TNM g 333-km 3015 ซึ่งมีหน่วยที่ใช้วัดเป็นไมโครเมตร

รูปการสึกหรอของมิดกลิ้งที่ผ่านกระบวนการกลิ้งโดยไม่ใช้น้ำหล่อเย็น



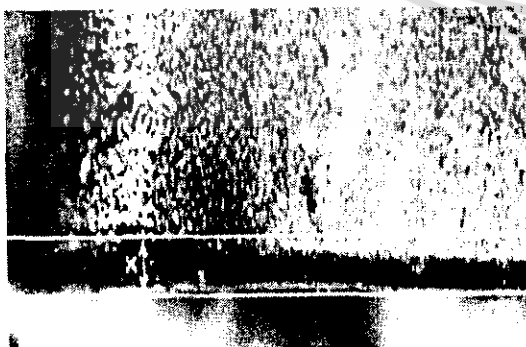
การสึกหรอมิด ที่ผ่านการกลิ้งโดยค่าพารามิเตอร์ต่ำ  
\* หมายถึง ระยะ X = 100 ไมโครเมตร

รูปที่ ผง 1 วัดการสึกหรอมิด ครั้งที่ 1



การสึกหรอมิด ที่ผ่านการกลิ้งโดยค่าพารามิเตอร์กลาง  
\* หมายถึง ระยะ X = 100 ไมโครเมตร

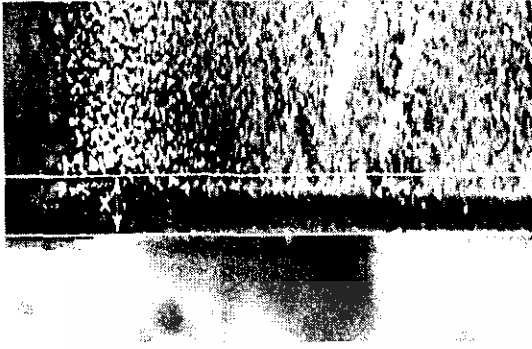
รูปที่ ผง 2 วัดการสึกหรอมิด ครั้งที่ 2



การสึกหรอมิด ที่ผ่านการกลิ้งโดยค่าพารามิเตอร์สูง  
\* หมายถึง ระยะ X = 100 ไมโครเมตร

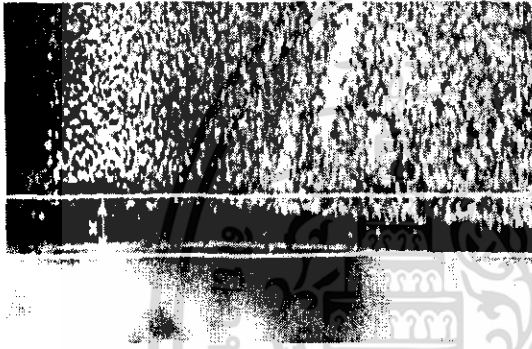
รูปที่ ผง 3 วัดการสึกหรอมิด ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



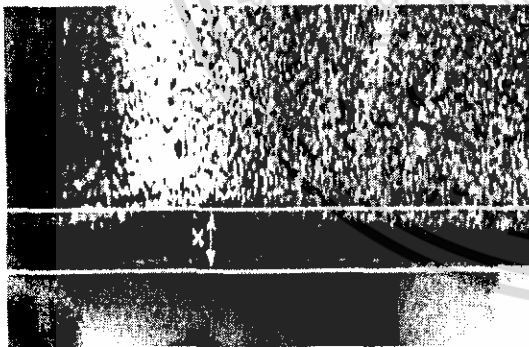
การสีกหรมัด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์กลาง  
\* หมายเหตุ ระยะ  $X = 100$  ไมโครเมตร

รูปที่ ผง 4 วัดการสีกหรมัด ครั้งที่ 4



การสีกหรมัด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์ต่ำ  
\* หมายเหตุ ระยะ  $X = 100$  ไมโครเมตร

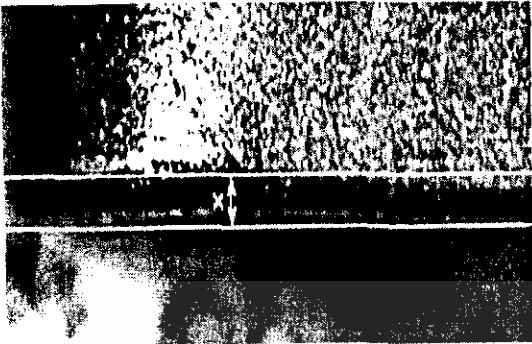
รูปที่ ผง 5 วัดการสีกหรมัด ครั้งที่ 5



การสีกหรมัด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์กลาง  
\* หมายเหตุ ระยะ  $X = 100$  ไมโครเมตร

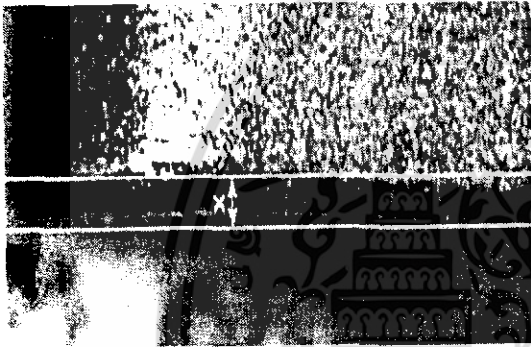
รูปที่ ผง 6 วัดการสีกหรมัด ครั้งที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



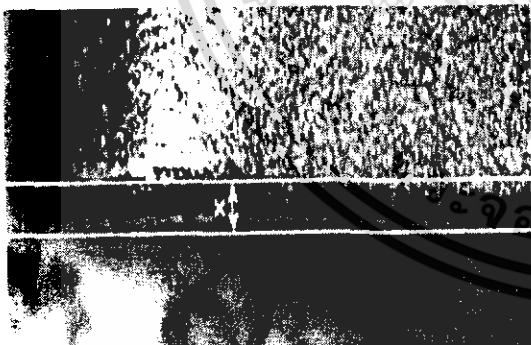
การสึกหรอมัด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์สูง  
\* หมายเหตุ ระยะ X = 100 ไมโครเมตร

รูปที่ ผง 7 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 7



การสึกหรอมัด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์ต่ำ  
\* หมายเหตุ ระยะ X = 100 ไมโครเมตร

รูปที่ ผง 8 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 8

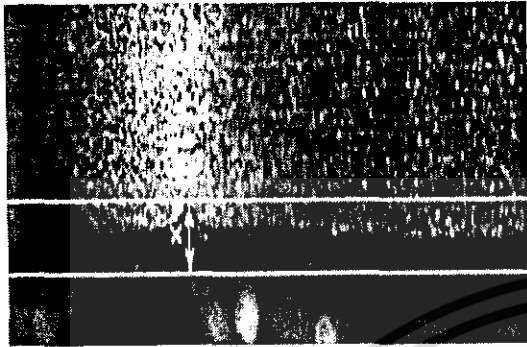


การสึกหรอมัด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์สูง  
\* หมายเหตุ ระยะ X = 100 ไมโครเมตร

รูปที่ ผง 9 วัดการสึกหรอมัด ครั้งที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

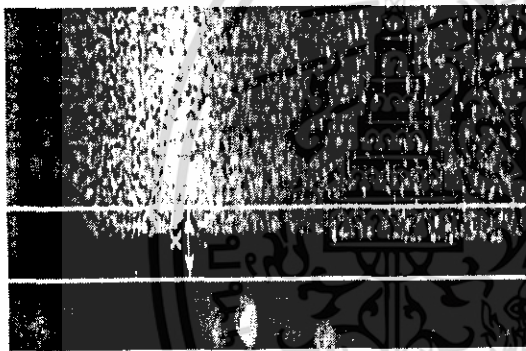
รูปการสีกหรือของมิดกลิ้งที่ผ่านกระบวนการกลิ้งโดยใช้น้ำหล่อเย็น



การสีกหรือมิด ที่ผ่านการกลิ้ง โดยค่าพารามิเตอร์สูง

\* หมายถึง ระยะ  $X = 100$  ไมโครเมตร

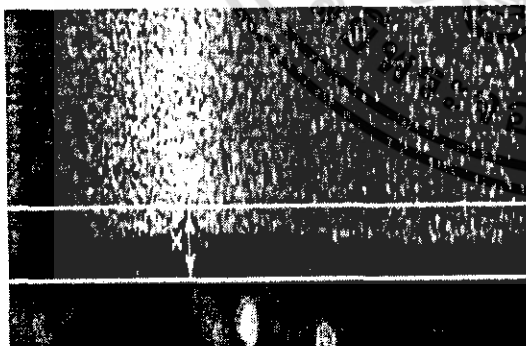
รูปที่ ผง 10 วัดการสีกหรือมิด ครั้งที่ 1



การสีกหรือมิด ที่ผ่านการกลิ้ง โดยค่าพารามิเตอร์กลาง

\* หมายถึง ระยะ  $X = 100$  ไมโครเมตร

รูปที่ ผง 11 วัดการสีกหรือมิด ครั้งที่ 2

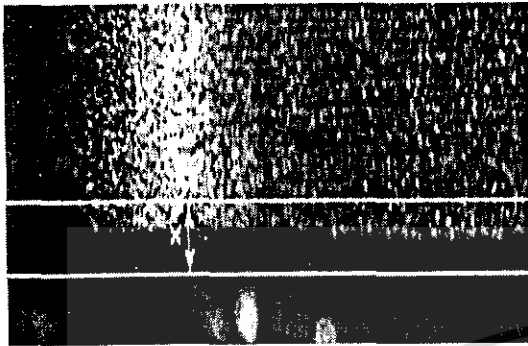


การสีกหรือมิด ที่ผ่านการกลิ้ง โดยค่าพารามิเตอร์สูง

\* หมายถึง ระยะ  $X = 100$  ไมโครเมตร

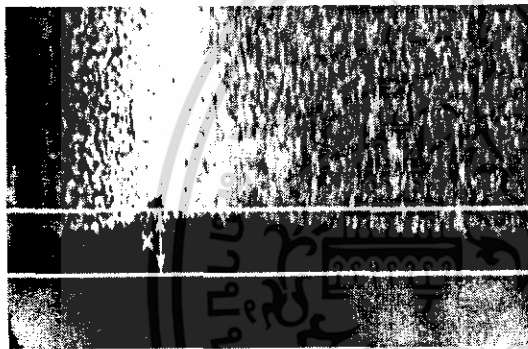
รูปที่ ผง 12 วัดการสีกหรือมิด ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



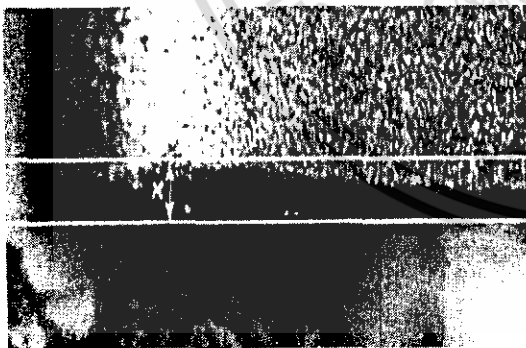
การสีกหรมืด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์ต่ำ  
\* หมายเหตุ ระยะ X = 100 ไมโครเมตร

รูปที่ ผง 13 วัดการสีกหรมืด ครั้งที่ 4



การสีกหรมืด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์ต่ำ  
\* หมายเหตุ ระยะ X = 100 ไมโครเมตร

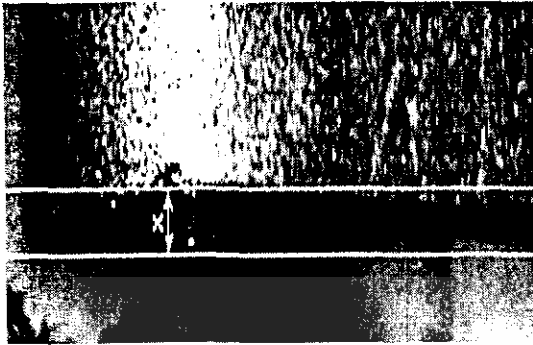
รูปที่ ผง 14 วัดการสีกหรมืด ครั้งที่ 5



การสีกหรมืด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์กลาง  
\* หมายเหตุ ระยะ X = 100 ไมโครเมตร

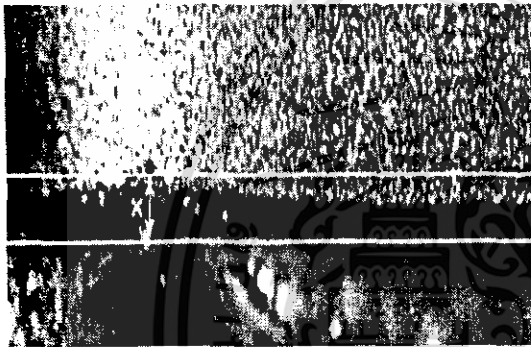
รูปที่ ผง 15 วัดการสีกหรมืด ครั้งที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



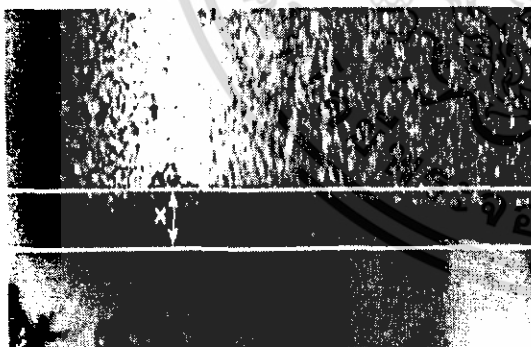
การสึกหรอมืด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์กลาง  
\* หมายถึง ระยะ  $X = 100$  ไมโครเมตร

รูปที่ ผง 16 วัดการสึกหรอมืด ครั้งที่ 7



การสึกหรอมืด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์สูง  
\* หมายถึง ระยะ  $X = 100$  ไมโครเมตร

รูปที่ ผง 17 วัดการสึกหรอมืด ครั้งที่ 8



การสึกหรอมืด ที่ผ่านการกลึงโดยค่าพารามิเตอร์ต่ำ  
\* หมายถึง ระยะ  $X = 100$  ไมโครเมตร

รูปที่ ผง 18 วัดการสึกหรอมืด ครั้งที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ.  
การคำนวณจำนวนซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณหาจำนวนซ้ำที่เหมาะสมในการทดลอง

ตารางที่ ผจ 1 หาค่าเฉลี่ยค่าความแข็งของพารามิเตอร์ที่ใช้น้ำหล่อเย็น

พารามิเตอร์			ค่าความแข็งที่ผิวชิ้นงาน หน่วย HV แรงกด 0.2 kN			
A	B	C	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
+1	+1	+1	257.50	284.60	238.50	260.20
0	0	0	232.6	270.3	246.50	249.80
-1	-1	-1	328.00	220.90	254.70	267.90

ตารางที่ ผจ 2 หาค่าเฉลี่ย ( $\bar{\mu}$ ) กับ ค่าความแปรปรวน ( $\sigma$ )

พารามิเตอร์			ค่าความแข็งที่ผิวชิ้นงาน หน่วย HV แรงกด 0.2 kN
A	B	C	
+1	+1	+1	257.50
+1	+1	+1	284.60
+1	+1	+1	238.50
0	0	0	232.6
0	0	0	270.30
0	0	0	246.50
-1	-1	-1	328.00
-1	-1	-1	220.90
-1	-1	-1	254.70
ค่าเฉลี่ย ( $\bar{\mu}$ )			259.29
ค่าความแปรปรวน ( $\sigma$ )			32.19

$$\mu_1 = 260.20 \text{ HV แรงกด 0.2 kN}$$

$$\mu_2 = 249.80 \text{ HV แรงกด 0.2 kN}$$

$$\mu_3 = 267.90 \text{ HV แรงกด 0.2 kN}$$

$$\bar{\mu} = 259.29 \text{ HV แรงกด 0.2 kN}$$

$$\tau_1 = \mu_1 - \bar{\mu} = 260.20 - 259.29 = 0.91$$

$$\tau_2 = \mu_2 - \bar{\mu} = 249.80 - 259.29 = -9.49$$

$$\tau_3 = \mu_3 - \bar{\mu} = 267.90 - 259.29 = 8.61$$

$$n \sum \tau_i^2$$

จากสูตร

$$\varphi^2 = b \times \frac{i-1}{a\sigma^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{i=1}^3 t_i^2 = 165.02 ; \sigma = 32.19 ; a=3 ; b=3 ; P > 0.90$$

ตารางที่ ผจ 3 แสดงผลการหาจำนวนซ้ำที่เหมาะสมเมื่อทดสอบโดยใช้น้ำหนักอ่อน

n	$\phi^2$	$\phi$	a(n-1)	$\beta$	Power(1- $\beta$ )
ที่ $\alpha=0.05$					
3	0.48	0.69	6	-	-
4	0.64	0.80	9	-	-
5	0.8	0.89	12	-	-

ตารางที่ ผจ 4 หาค่าเฉลี่ยค่าความแข็งของพารามิเตอร์ที่ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

พารามิเตอร์			ค่าความแข็งที่ผิวชิ้นงาน หน่วย HV แรงกด 0.2 kN			
A	B	C	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
+1	+1	+1	222.30	235.60	212.40	223.43
0	0	0	209.80	205.20	219.20	211.40
-1	-1	-1	249.50	233.40	264.90	249.27

ตารางที่ ผจ 5 หาค่าเฉลี่ย ( $\bar{\mu}$ ) กับ ค่าความแปรปรวน ( $\sigma$ )

พารามิเตอร์			ค่าความแข็งที่ผิวชิ้นงาน
A	B	C	หน่วย HV แรงกด 0.2 kN
+1	+1	+1	222.30
+1	+1	+1	235.60
+1	+1	+1	212.40
0	0	0	209.80
0	0	0	205.20
0	0	0	219.20
-1	-1	-1	249.50
-1	-1	-1	233.40
-1	-1	-1	264.90
ค่าเฉลี่ย ( $\bar{\mu}$ )			228.03
ค่าความแปรปรวน ( $\sigma$ )			19.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_1 = 223.43 \text{ HV แรงกด } 0.2 \text{ kN}$$

$$\mu_2 = 211.40 \text{ HV แรงกด } 0.2 \text{ kN}$$

$$\mu_3 = 249.27 \text{ HV แรงกด } 0.2 \text{ kN}$$

$$\bar{\mu} = 228.03 \text{ HV แรงกด } 0.2 \text{ kN}$$

$$\tau_1 = \mu_1 - \bar{\mu} = 223.43 - 228.03 = -4.6$$

$$\tau_2 = \mu_2 - \bar{\mu} = 211.40 - 228.03 = -16.63$$

$$\tau_3 = \mu_3 - \bar{\mu} = 249.27 - 228.03 = 21.24$$

จากสูตร

$$\varphi^2 = b \times \frac{n \sum \tau_i^2}{a\sigma^2}$$

$$\sum_{i=1}^3 \tau_i^2 = 748.85 ; \sigma = 19.73 ; a=3 ; b=3 ; P > 0.90$$

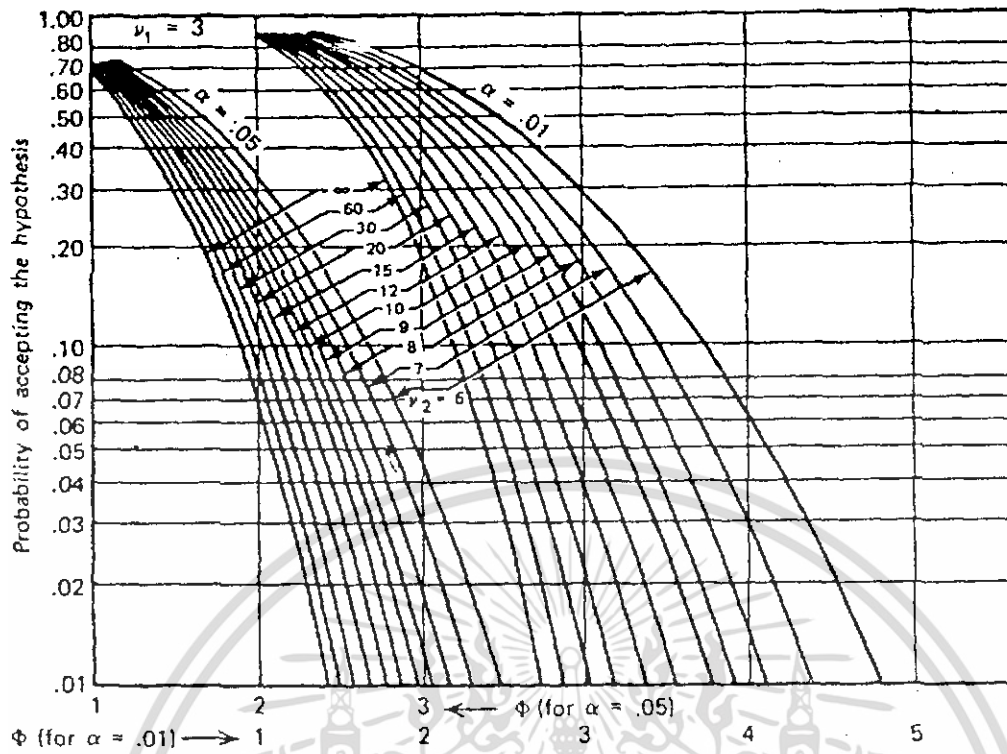
ตารางที่ ผจ 6 แสดงผลการหาจำนวนซ้ำที่เหมาะสมเมื่อทดสอบ โดยไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

n	$\varphi^2$	$\varphi$	a(n-1)	$\beta$	Power(1- $\beta$ )
ที่ $\alpha=0.05$					
3	5.76	2.4	6	0.15	0.85
4	7.86	2.77	9	0.04	0.96

$\therefore$  ที่ความน่าจะเป็นต้องมากกว่า 0.90 เราจะได้จำนวนซ้ำที่เลือกใช้ คือ n=4 ที่  $\alpha=0.05$

จากการคำนวณจำนวนซ้ำ พบว่าจำนวนซ้ำที่เหมาะสมในการทดลองนี้ = 4 ครั้ง ซึ่งเลือกจากการทดลองที่ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผจ 1 เส้นโค้งลักษณะสมบัติของการดำเนินการ (Operation Characteristic Curve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้