สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาปัจจัยในการกลึงที่มีผลต่อความแข็ง ของผิวชิ้นงาน AISI 1045

T061832

นายต่อศักดิ์ เสมอเหมือน
นายทนง นีพลกรัง
นายสุทธิชัย คุโนภาศ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61832
วัน,เดือน,ปี 21 ก.ค. 2549

b 11603256
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON PARAMETERS AFFECTING SURFACE HARDNESS OF AISI 1045 STEEL MACHINED BY TURNING MACHINE

MR. TORSAK SAMERMURN

MR. TANONG NEEPONKANG

MR. SUTTICHAI KUNOPAS

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาปัจจัยในการกลึงที่มีผลกระทบต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน AISI 1045

A STUDY ON PARAMETERS AFFECTING SURFACE HARDNESS OF AISI 1045 STEEL MACHINED BY TURNING MACHINE

นักศึกษา

นายต่อศักดิ์ เสมอเหมือน	รหัสประจำตัว	45015893
นายทนง นีพลกรัง	รหัสประจำตัว	45015894
นายสุทธิชัย คุโนภาศ	รหัสประจำตัว	45015916

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยในการกลึงที่มีผลกระทบต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน AISI 1045
นักศึกษา	นายต่อศักดิ์ เสมอเหมือน
	นายทนง นีพลกรัง
	นายสุทธิชัย คุโนภาศ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในงานกลึงที่มีผลกระทบต่อความแข็งที่ผิวชิ้นงาน โดยมีสมมติฐานว่า ขณะที่ทำการกลึง มี แรง ความเค้น และ ความเครียด กระทำกับชิ้นงานตลอดเวลา ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน โดยการค้นคว้าข้อมูลด้านโลหะวิทยา และด้านการปฏิบัติงานกลึง พบว่ามีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน อยู่ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกกล่าวว่าความร้อนและความเค้นที่เกิดในงานกลึงไม่มีผลกระทบต่อชิ้นงาน กับอีกหนึ่งทฤษฎีคือ ความร้อนและความเค้นจะส่งผลต่อคุณสมบัติของชิ้นงาน จากความขัดแย้งของทฤษฎีดังกล่าวจึงได้ตั้งสมมติฐานในการทดลอง และออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ซึ่งปัจจัยในงานกลึงที่นำมาศึกษา คือ ความเร็วตัด อัตราการป้อน ระยะป้อนลึก และสารหล่อเย็น โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลในการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า ความเร็วรอบ ระยะป้อนลึก และน้ำหล่อเย็น มีผลต่อ ความแข็งที่ผิวชิ้นงาน โดยเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ และระยะป้อนลึกในการกลึงมากขึ้น จะส่งผลให้เกิดผิวชิ้นงานที่ผ่านการกลึงมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันถ้าใช้สารหล่อเย็นช่วยในการกลึงจะทำให้ความแข็งผิวของชิ้นงานที่ผ่านการกลึงมีค่าลดลง เมื่อทราบปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งผิวชิ้นงานแล้ว จึงทำการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย เพื่อใช้ทำนายค่าความแข็งผิวชิ้นงานในระดับของปัจจัยที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study on Parameters Affecting Surface Hardness of AISI 1045 Steel Machined by Turning Machine
Student	Mr. Torsak Samermurn
	Mr. Tanong Neeponkang
	Mr. Suttichai Kunopas
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2004
Thesis Advisor	Dr. Kannachai kanlayasiri

ABTRACT

This thesis deals with a study on parameters affecting hardness of AISI 1045 steel machined by a turning machine. The hypothesis is that during machining force, stress and strain always act on the workpiece.From the literature in matallurgy and machining theory, are two groups of finding relating to machinical properties of the workpiece during machining. The first one states that the heat and stress generated during machining do not affect the workpiece but the second proposes the opposite result. Since these two groups of finding are different, this thesis is performed to study this ambiguity. The main factors studied in this thesis are cutting speed, depth of cut, feed and coolant. The experimental design strategy is factorial design. The finding is that the cutting speed, depth of cut and coolant have significant effect on surface hardness as the cutting speed and depth of cut increase. However if the coolant is used, the surface hardness is decreased. Finally an empirical model is developed by statistical regression technique to predict the surface hardness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาปัจจัยในการกลึงที่มีผลกระทบต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน AISI 1045 ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีนั้น เนื่องมาจากความร่วมมือร่วมใจของสมาชิก ภายในกลุ่มทุกท่าน ทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบคุณ ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ที่มีส่วนสำคัญในการให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวกับปริญญานิพนธ์ ทั้งในด้านทฤษฎีและปฏิบัติ

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ รศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้คำแนะนำเรื่องการทดสอบความแข็งของชิ้นงาน ขอขอบคุณอาจารย์พลชัย โชติปรายนกุล ที่ให้คำแนะนำและจัดหามีดกลึงทังสเตนคาร์ไบด์ เพื่อใช้ในปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ และที่ขาดเสียมิได้ ขอขอบคุณ คุณ สมศักดิ์ นาคอุดม ผู้จัดการโรงงาน บริษัท ยันม่า เอสพี จำกัด ที่ให้คณะผู้จัดทำได้เดินทางไปใช้เครื่องทดสอบความแข็งที่บริษัท และสุดท้ายต้องขอคุณบุคคลทุกท่านที่มิได้กล่าวถึงในที่นี้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและเอื้อเฟื้อข้อมูลที่จำเป็นต่อการศึกษาในครั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นาย ต่อศักดิ์ เสมอเหมือน
นาย ทนง นีพลกรัง
นาย สุทธิชัย คุโนภาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข

กิตติกรรมประกาศ..... ค

สารบัญ..... ง

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญรูป..... ซ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน..... 1

1.2 สมมติฐานของโครงงาน..... 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน..... 1

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ..... 2

บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ทฤษฎีด้านโลหะวิทยา..... 3

2.1.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า..... 3

2.1.2 ความเค้น..... 3

2.1.3 ผลของความเค้นตกค้าง..... 6

2.1.4 การเสียรูปเชิงกล..... 7

2.1.5 พลังงานที่ใช้มีการทำให้เสียรูปทางกล..... 8

2.1.6 การเสียรูปแบบคงรูปของโลหะหลายผลึก..... 9

2.1.7 ความแข็ง..... 9

2.1.8 ความสมบูรณ์ของผิวหน้า..... 11

2.1.9 การศึกษาโครงสร้างของโลหะ..... 12

2.2 ทฤษฎีด้านปฏิบัติงานกลึง..... 14

2.2.1 เครื่องกลึง..... 14

2.2.2 ความลึกในการตัด และอัตราป้อน..... 14

2.2.3 ความเร็วตัด..... 14

2.2.4 มีดกลึง..... 16

2.2.5 การหล่อเย็น..... 17

2.3 ทฤษฎีทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล..... 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล 17
2.3.2 แหล่งข้อมูล 18
2.3.3 ประชากร 18
2.3.4 สิ่งตัวอย่าง 18
2.3.5 มาตราวัดของข้อมูล 18
2.3.6 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ 19
2.3.7 การแจกแจงแบบ F 20
2.3.8 หลักการวิเคราะห์การถดถอย 20
2.3.9 หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน 20
2.3.10 การวางแผนการทดลอง 21
2.3.11 ความหมายของคำต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 22
2.3.12 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 24
2.3.13 ขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง 25

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน 26
3.1 การออกแบบการทดลอง 26
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 27
3.1.2 การเลือก ระดับของปัจจัย 29
3.2 ทำการทดลอง และเก็บผล 30
3.2.1 เตรียมชิ้นงาน 30
3.2.2 ทำการทดลอง 31
3.2.3 การเก็บผลการทดลอง 32

บทที่4 ผลการดำเนินงาน 34
4.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ 34
4.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 34
4.1.2 การวิเคราะห์การถดถอย 39
4.2 การศึกษาโครงสร้างของชิ้นงาน 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 44

5.1 สรุปผล 44

5.2 ข้อเสนอแนะ 45

หนังสืออ้างอิง 46

ภาคผนวก ก ..... ผก 1

ภาคผนวก ข ..... ผข 1

ภาคผนวก ค ..... ผค 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความเร็วตัดโดยใช้มีดกลึงทังสเตนคาร์ไบด์..... 15
ตารางที่ 2.2 การทดสอบความแม่นยำของของ สมการการถดถอย..... 40
ตารางที่ ผก 1 คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง: AISI 1045..... ผก 2
ตารางที่ ผก 2 จุดวิกฤติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง: AISI 1045..... ผก 2
ตารางที่ ผก 3 คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง: AISI 1045..... ผก 2
คารางที่ ผก 4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045..... ..... ผก 3
ตารางที่ ผก 5 ใบรับประกันคุณภาพของเหล็กกล้าที่ใช้ทำการทดลอง.....ผก 4
ตารางที่ ผข 1 ตารางการเก็บผลการทดลอง..... ผข 2
ตารางที่ ผข 2 ตารางเวลางานรวมของคมตัด..... ผข 8
ตารางที่ ผข 3 ตารางการเก็บผลเพื่อทดสอบความแม่นยำของสมการ..... ผข 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 มุมการตัดเฉือนโลหะ 4
รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายของขี้ผึ้งที่ถูกตัดเฉือน 5
รูปที่ 2.3 การกระจายความร้อนขณะกลึงงาน 5
รูปที่ 2.4 ภาพแสดงรอยแยกชี่เฟืองรอบๆ รอยแตกร้าวจากการล้าตัวของเพลา 7
รูปที่ 2.5 ลักษณะการเสียรูปของโลหะ 7
รูปที่ 2.6 การอัดตัวของเกรน 9
รูปที่ 3.1 มีดกลึงที่ใช้ในการทดลอง 27
รูปที่ 3.2 Insert ที่ใช้ในการทดลอง 28
รูปที่ 3.3 เครื่องกลึงที่ใช้ในการทดลอง 28
รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบความแข็งที่ใช้ในการทดลอง 29
รูปที่ 3.5 ชิ้นงานทดลอง 30
รูปที่ 3.6 ลักษณะการทำงาน 31
รูปที่ 3.7 ลักษณะการทำงาน 31
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานที่ผ่านการกลึง 32
รูปที่ 3.9 การเก็บค่าความแข็ง 32
รูปที่ 3.10 การ Calibrate หัวกด 33
รูปที่ 4.1 กราฟส่วนตกค้างกับลำดับชิ้นงานที่เก็บข้อมูล 34
รูปที่ 4.2 Normal Probability Plot 35
รูปที่ 4.3 การพล็อตส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต 35
รูปที่ 4.4 อิทธิพลหลักของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อค่าความแข็ง 38
รูปที่ 4.5 อันตรกิริยาของปัจจัยต่างๆ 39
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณจากสมการ 41
รูปที่ 4.7 ลักษณะการเตรียมชิ้นงานเพื่อศึกษาโครงสร้างของโลหะ 42
รูปที่ 4.10 โครงสร้างของชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการกลึงขึ้นรูป 43
รูปที่ 4.11 โครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการกลึงขึ้นรูป 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เครื่องกลึงเป็นเครื่องจักรกลที่ใช้กันแพร่หลาย และมีความสำคัญในงานอุตสาหกรรม ซึ่งในหนังสือหรือตำราการปฏิบัติงานกลึง ยังมิได้มีการกล่าวถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆต่อความแข็งผิวของชิ้นงานมากนัก โดยในโครงงานนี้จะเป็นการทดสอบสมมติฐานระหว่าง 2 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีแรกกล่าวว่าความร้อนและความเค้นที่เกิดในงานกลึงไม่มีผลกระทบต่อชิ้นงาน โดยที่ความร้อนที่เกิดขึ้นได้ออกไปกับเศษโลหะประมาณ 60% และเกิดกับเครื่องมือตัดประมาณ 30%และเกิดที่ผิวระนาบเฉือนประมาณ 10% ซึ่งทำให้ชิ้นงานเกิดการขยายตัวในแนวตั้งฉาก และอีกทฤษฎี คือ ความร้อนและความเค้นจะส่งผลต่อคุณสมบัติของชิ้นงาน โดยการที่นำชิ้นงานที่ผ่านการอบชุบแปรรูปโดยกรรมวิธีการกลึงที่ผิดวิธีจะทำให้โครงสร้างของผิวหน้าชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ และเกิดการแตกเกิดขึ้นบนชิ้นงาน โดยในการศึกษานี้จะเป็นการใช้ความรู้ด้านสถิติวิศวกรรมและด้านโลหะวิทยาเข้าดำเนินการ

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ ระหว่าง อัตราป้อน , ระป้อนลึก, ความเร็วตัด และสารหล่อเย็นที่มีผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปโดยกรรมวิธีการกลึง
2. เพื่อเรียนรู้การประยุกต์ใช้วิชาสถิติมาแก้ปัญหาทางวิศวกรรม

1.2 สมมติฐานของโครงงาน

ขณะทำการกลึงย่อมมีความเค้นและความร้อนกระทำที่ผิวชิ้นงาน ซึ่งความเค้นและและความร้อนนี้อาจทำให้คุณสมบัติทางกลของชิ้นงานซึ่งเป็นโลหะเปลี่ยนไป ซึ่งในโครงงานจะใช้เหล็กเหล็กกล้า AISI 1045 ซึ่งมีความสามารถในการชุบแข็งได้ดีมาทำการทดลอง เพื่อทดสอบสมมติฐานดังกล่าวเป็นทดสอบสมมุติฐานว่าปัจจัยในงานกลึง คือ ความเร็วตัด อัตราการป้อน ระยะป้อนลึก และสารหล่อเย็น มีผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงานหรือไม่

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. กลึงชิ้นงานด้วย มีดกลึงทังสเตนคาร์ไบด์ กับเหล็กกล้า AISI 1045
2. เก็บข้อมูลค่าความแข็งของผิวชิ้นงานที่ได้จากเงื่อนไขการกลึงที่ต่างกัน
3. วิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาปัจจัยในการกลึงที่ส่งผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน
4. สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยในงานกลึงที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของชิ้นงาน
2. เป็นแนวทางในการศึกษาแก่ผู้ที่สนใจศึกษาในหัวข้อที่ใกล้เคียง
3. เป็นเอกสารอ้างอิงแก่ผู้ปฏิบัติงานกลึง
4. มีความเข้าใจในวิชาสถิติสำหรับงานวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวความคิดแนวและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์ โดยจะแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ โลหะวิทยา ทฤษฎีงานกลึง และทฤษฎีส่วนที่เกี่ยวข้องกับสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

2.1 ทฤษฎีด้านโลหะวิทยา

2.1.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า

ปริมาณธาตุคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้า จะมีผลต่อคุณสมบัติในด้านความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อเหล็กมีปริมาณคาร์บอนสูงไม่เกิน 2 % และความแข็งแรงสูงสุดเมื่อเหล็กมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.83% แต่เหล็กมีคาร์บอนมากกว่าหรือน้อยกว่า 0.83% จะทำให้ค่าความแข็งลดลง ส่วนคุณสมบัติ ด้านความเหนียวหรือความด้านทานแรงกระแทกเมื่อเหล็กมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นบางครั้งก็กล่าวได้ว่าเหล็กยิ่งมีปริมาณคาร์บอนมากจะทำให้เหล็กมีความแข็งสูง แต่เปราะหักง่าย ทนแรงกระแทกต่ำ

คุณสมบัติของเหล็กกล้าไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของภาค รูปแบบโครงสร้างผลึกและการกระจายตัวของผลึกด้วย ในที่นี้จะกล่าวถึงผลของรูปแบบโครงสร้างผลึกจะเห็นได้ว่าโครงสร้างเฟอร์ไรท์ ทำให้เหล็กอ่อน มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation) และ เปอร์เซ็นการลดขนาด (%Reduction Area) ได้มาก ในเหล็กจะมีโครงสร้างเฟอร์ไรท์ได้ก็ต้องมีปริมาณคาร์บอนต่ำโครงสร้างซีเมนไตท์ทำให้เหล็กมีความแข็งสูง แต่เปราะแข็งง่าย มักเกิดในเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนสูง โครงสร้างเพิร์ลไรท์กับซีเมนไตท์รวมกันทำให้เหล็กทนแรงดึงสูง แต่ในเหล็กที่เรานำมาใช้งานส่วนมากจะไม่พบโครงสร้างใด เพียงโครงสร้างเดียว มักจะพบโครงสร้างผสมกันอาจจะมีเฟอร์ไรท์มากเพิร์ลไรท์น้อย หรือ เพิร์ลไรท์มาก และซีเมนไตท์น้อย เป็นต้น ก็จะทำให้เหล็กมีคุณสมบัติแตกต่างกัน

2.1.2 ความเค้น

ทฤษฎีความเค้นที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ทฤษฎีดังนี้

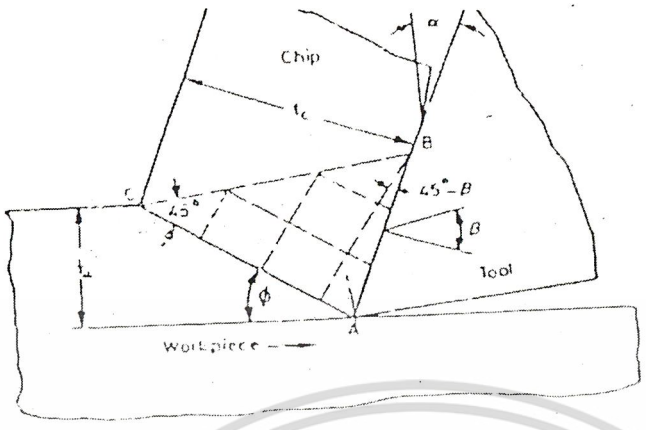
2.1.2.1 <u>ทฤษฎีที่ 1 ความเค้นและความร้อนที่เกิดจากการกลึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานกล่าวได้ดังนี้</u>

<u>ทฤษฎีของ Lee และ Shaffer</u> (George E Dieter, 1988)

ทฤษฎีของ Lee และ Shaffer เป็นผลมาจากความพยายามที่ใช้ทฤษฎี Plasticity กับการตัดฉาก ซึ่งสมมติฐานที่จำเป็นคือ

1. วัสดุชิ้นงานเข้าสู่การแปรรูปถาวร (Plastic Deformation) โดยไม่ผ่านช่วง Elastic และการแปรรูปเกิดขึ้นโดยมีความเค้นคงที่หรืออาจกล่าวได้ว่าเนื้อชิ้นงานไม่เกิด Work Hardening
2. คุณสมบัติของวัสดุไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการแปรรูป
3. ไม่คำนึงถึงผลจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการ
4. ไม่คำนึงถึงผลจากความเฉื่อยจากความเร่งของวัสดุขณะเกิดการแปรรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 มุมการตัดเฉือนโลหะ

จากสมมติฐานนี้ เนื้อวัสดุเกิดการแปรรูปถาวรทันทีเมื่อเคลื่อนที่ถึงระนาบเฉือนจากการที่แรงในการตัดส่งผ่านจากเครื่องมือมายังระนาบเฉือน จึงทำให้เกิดการแปรรูปถาวร คือ ในเขตจำกัดขอบเขตหนึ่ง ในเขตการแปรรูปนี้ระนาบที่เกิดความเค้นเฉือนสูงสุดจะทำมุมกัน 90 องศา เรียกว่า Slip Line เมื่อให้จุด B เป็นตำแหน่งสุดท้ายที่เศษโลหะสัมผัสกับผิวคายเศษโลหะ ดังนั้นเมื่อเศษโลหะเคลื่อนที่ผ่านระนาบ CB แล้วจะเกิดการแปรรูปเพิ่มขึ้นอีก

เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของความเสียดทานในการตัดโลหะ Zorev ได้สร้างแบบจำลองของการตัดฉากขึ้นโดยเศษโลหะเป็นไปแบบต่อเนื่องและไม่เกิดการเยิ้มติดคมมีด ในการตัดโลหะความเค้นจาก (Normal Stress) ที่กระทำบริเวณคมตัดมากพอที่จะทำให้พื้นที่สัมผัสจริง (Real Contact Area) เท่ากับพื้นที่สัมผัสปรากฏ (Apparent Contact Area) ในบริเวณใกล้กับคมตัดในบริเวณนี้เรียกว่า Sticking Region หลังจากช่วง Sticking Region ไปจนถึงตำแหน่งที่เศษโลหะผละออกจากผิวคายเศษโลหะรับความเค้นฉากน้อยลง เนื้อของมันจึงเคลื่อนที่ไปบนผิวคายเศษโลหะได้ช่วงนี้เรียกว่า Sliding Region

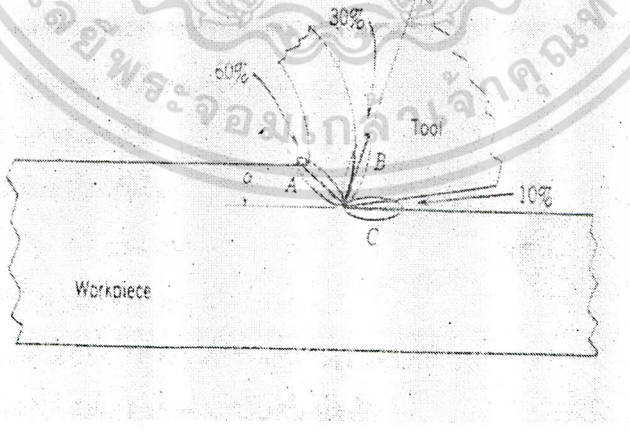
จากผลการศึกษาโดยการใช้ Quick Stopping Device พบว่าในช่วง Sticking Region ผิวด้านล่างของเศษโลหะที่สัมผัสกับผิวคายเศษโลหะ จะมีรอยที่เกิดจากการลับคมของเครื่องมือปรากฏว่า ซึ่งเป็นข้อพิสูจน์ว่าเนื้อส่วนที่ไม่เกิดการเคลื่อนที่เมื่อเป็นเช่นนี้การกระจายตัวของความเค้นเฉือนในช่วง Sticking Region จึงคงที่และเมื่อพ้นช่วงนี้ออกไปจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนเป็นศูนย์

จากรูปที่ 2.2 เป็นการเปรียบเทียบรูปแบบของความเค้นที่เกิดในการตัดโลหะวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นภาพถ่ายของขี้ผึ้งที่ถูกตัดด้วยอัตราเร็ว 0.25 เมตรต่อวินาที โดยถ่ายที่อัตราการถ่ายภาพ 7200 ภาพต่อวินาทีที่ความห่างของเส้นในภาพ 1.27 ม.ม. ซึ่งเมื่อการตัดเกิดขึ้น จะเกิดการอัดตัวของเส้นในแนวดิ่งที่ยังความขนานไว้ ลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่ากริยาของการตัดทำให้เกิดการขยายตัวของขี้ผึ้งไปในทิศทางตั้งฉากกับแนวการตัดซึ่งมุมเฉือนอาจใช้ที่ขนาด 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายของขี้ผึ้งที่ถูกตัดเฉือน

จากการวิจัยทำให้ทราบว่า 97% ของงานที่ใส่เข้าไปในการตัดจะถูกแปรไปให้เป็นความร้อนซึ่งการกระจายความร้อน แสดงได้รูปที่ 2.3 โดยขณะที่มุมเฉือนเพิ่มขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นบนระนาบเฉือน A จะลดลงเนื่องจากการไหลแบบพลาสติกจะเกิดความเค้นในระยะทางสั้นกว่าการเพิ่มมุมเฉือนนี้ทำได้โดยการใช้สารหล่อเย็นและการลดแรงเสียดทานระหว่างเศษและเครื่องมือตัด รวมทั้งการใช้เครื่องมือที่ได้รับการเจียรนัยอย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามอัตราเร็วตัดจะมีผลกระทบต่ออุณหภูมิมากที่สุด



รูปที่ 2.3 การกระจายความร้อนขณะกลึงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 <u>ทฤษฎีที่ 2 ความเค้นและความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการกลึงมีผลต่อคุณสมบัติชิ้นงาน</u> (วีระพันธ์ สิทธิพงศ์, 2533)

สาเหตุของการเกิดความเค้นนี้อาจเกิดได้ 2 สาเหตุจะโดยสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งก็ได้ อาจเกิดได้จากชิ้นงานถูกกระทำด้วยแรงกล เช่น การขึ้นรูปหรือการกลึงแต่งด้วยเครื่องมือกลแบบหยาบหรือรุนแรง ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งเกิดได้จากชิ้นงานถูกกระทำด้วยความร้อนซึ่งเรียกความเค้นชนิดนี้ว่า ความเค้นเนื่องจากความร้อน เช่น ชิ้นงานถูกเชื่อมหรืองานหล่อโลหะ ความเค้นเหล่านี้ถ้าไม่ทำการแก้ไข อาจจะเป็นสาเหตุทำให้ชิ้นงานเสียหายภายหลัง เช่น

-ทำให้ชิ้นงานบิดงอในขณะการชุบแข็งหรือเมื่อนำไปใช้งาน

-ทำให้ชิ้นงานแตกหักในระหว่างการชุบแข็งหรือเมื่อนำไปใช้งาน

-ชิ้นงานเกิดการแตกหักทั้งๆที่นำมาใช้งานที่มีค่าความเค้นต่ำกว่าที่ได้ออกแบบไว้ (มีความแข็งแรงต่ำกว่าปกติที่ได้กำหนดไว้ในตารางทดสอบคุณสมบัติทางกลของโลหะนั้น)

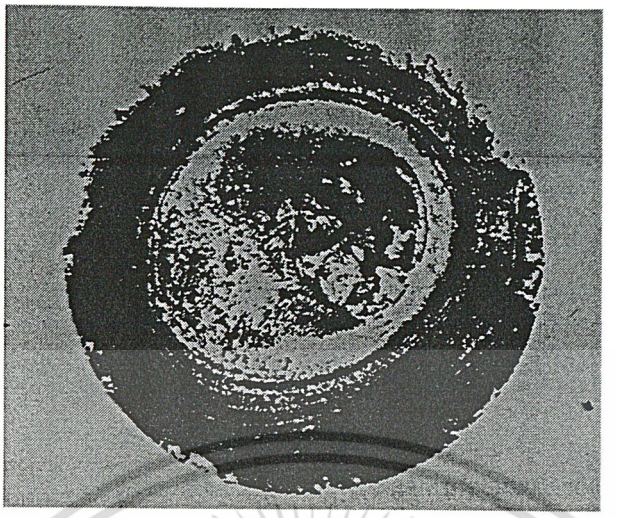
ตัวอย่างการเกิดความเค้นตกค้างของชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วยเครื่องมือกลอย่างรุนแรงจะเกิดแรงกระทำหรือความเค้นขึ้นภายในเนื้อโลหะแต่จะไม่แสดงผลในขณะนั้น ซึ่งจะเห็นผลเมื่อนำชิ้นงานนั้นไปใช้งานหรือเมื่อนำไปชุบแข็งเพราะขณะที่ทำการอบเหล็กให้ร้อนขึ้นในกรรมวิธีชุบแข็ง เหล็กกล้าเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นย่อมมีค่าความแข็งแรงต่ำลง ต่ำลงกว่าความเค้นตกค้างในชิ้นงาน และเมื่อนั้นความเค้นตกค้างก็จะแสดงผลออกมาโดยการดึงให้ชิ้นงานนั้นบิดงอได้ ดังนั้นจึงมีข้อสังเกตอย่างหนึ่งว่าก่อนทำการชุบแข็งจึงควรนำชิ้นงานที่กลึงหยาบไปอบลดความเค้นแล้วนำมากลึงละเอียดให้ได้ขนาด จากนั้นจึงนำไปชุบแข็งแล้วทำการตกแต่งครั้งสุดท้ายด้วยการเจียระไนอีกครั้งหนึ่ง

ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าแรงทุกชนิดทำให้เกิดความเค้น โดยที่ความเค้นที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆได้แก่ ความเค้นฉากและความเค้นเฉือน ขนาดของความเค้นต้องไม่สูงกว่าค่าความแข็งของวัสดุ และความต้านทานแรงเฉือน เมื่อใดที่ความเค้นที่กระทำมากกว่าค่าต้านทานความเค้นนั้น การแตกหักจะเกิดขึ้น ในการตรวจซ่อมเครื่องแอร์ พบว่าแบริ่งตัวสำคัญของแอร์คอมเพรสเซอร์มีร่องรอยของความเสียหาย ปรากฏตามร่องด้านใน

2.1.3 ผลของความเค้นตกค้าง

ความเค้นตกค้าง คือ ความเค้นที่ปรากฏอยู่ที่จุดต่างๆ ของชิ้นส่วนแม้จะไม่มีแรงภายนอกมากระทำซึ่งอาจติดมาตั้งแต่กรรมวิธีการผลิต หรือการปฏิบัติทางกลรูปแบบต่างๆดังตารางได้แสดงให้เห็นลักษณะของความเค้นตกค้างบนผิวหน้าโลหะที่ผ่านการปฏิบัติทางกลรูปแบบต่างๆโดยทั่วไปการมีความเค้นตกค้างจะให้ผลดีเมื่อความเค้นเหล่านี้มีทิศทางตรงข้ามกับแรงภายนอกที่มากระทำ ด้วยเหตุที่การแตกปริจะเกิดจากความเค้นดึงเท่านั้น ความเค้นอัดตกค้างจึงเป็นสิ่งที่พึงปรารถนาให้มีบนผิวโลหะได้ เช่น การชุบผิวแข็งแบบเติมไนโตรเจน การพ่นด้วยเปลวไฟ การใช้กระแสเหนี่ยวนำ และการเติมคาร์บอน ผลของการเชื่อมทำให้เกิดความเค้นดึงตกค้างจากการหดตัวของชิ้นส่วนที่เชื่อมจากระดับอุณหภูมิเชื่อมสู่อุณหภูมิห้องผลของความเค้นตกค้างจะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับ ความแข็งของวัสดุ และบริเวณบนชิ้นโลหะที่ความเค้นเหล่านั้นจะตกค้างอยู่โดยทั่วไปวัสดุอ่อนและไม่มีบริเวณยกค่าความเค้น ความเค้นตกค้างจะจางหายไปเมื่อได้รับแรงในทิศตรงกันข้าม แต่ชิ้นส่วนมีปมและแข็ง จะยังคงมีความเค้นตกค้างอยู่บริบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



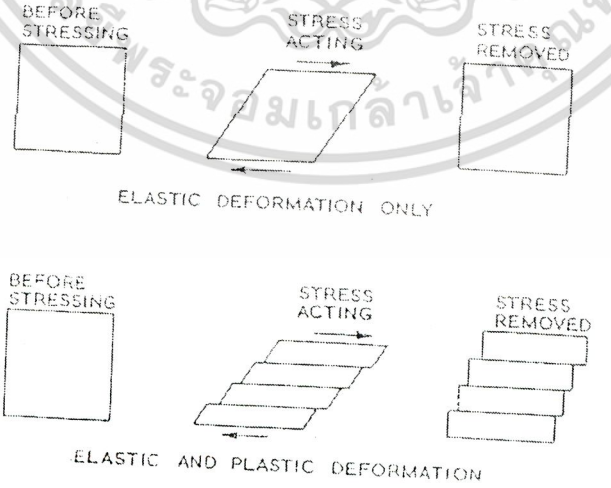
รูปที่ 2.4 ภาพแสดงรอยแยกชี่เฟืองรอบๆ รอยแตกร้าวจากการล้าตัวของเพลา

2.1.4 การเสียรูปเชิงกล

การเสียรูปของโลหะสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท

1. การเสียรูปแบบยืดหยุ่น
2. การเสียรูปแบบพลาสติก

การเสียรูปแบบพลาสติกส่วนใหญ่เกิดจากการเลื่อน (Slip) การเลื่อนเกิดจากความเค้นเฉือนที่มีขนาดสูงถึงขนาดวิกฤต โครงสร้างผลึกแบบ FCC เกิดการเสียรูปโดยการเลื่อนได้ง่ายกว่า BCC และ HCP ถ้าประยุกต์ความเค้นแบบโลหะผลึกเดี่ยว เปรียบเทียบคล้ายกับกองเหรียญบาท เมื่อต้องการทำให้เหรียญบาทเลื่อนแยกจากกันต้องใส่ความเค้นที่มีขนาดมากกว่าความเสียดทาน



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเสียรูปของโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโลหะผลึกเดี่ยวแรงที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดการเลื่อนจะต้องมากกว่าความต้านทานของพันธะโลหะ ความเค้นเฉือนแตกแนวที่เกิดจากแรงกระทำบนโลหะผลึกเดี่ยว การเสียรูปแบบพลาสติกในวัสดุที่ สมบูรณ์จะสามารถเสียรูปได้โดยไม่จำกัดที่ความเค้นคราก (Yield Stress) คงที่ ส่วนในความเป็นจริงเมื่อโลหะเสียรูปจะเกิด Work Hardening ขึ้น การเลื่อนเกิดได้ง่ายเนื่องจากผลของ ดิสโลเกชัน ที่มีอยู่ในผลึก ดิสโลเกชัน คือ ความไม่สมบูรณ์หรือส่วนที่เกิดการบิดตัว การเคลื่อนย้ายที่ของดิสโลเกชันจะเป็น Step by Step แรงที่ใช้ทำให้เกิดการเลื่อนน้อยกว่าในทางทฤษฎีเป็นพันเท่า การเลื่อนเป็นผลจาก Edge Dislocation

การเลื่อนสามารถเกิดได้จากการเคลื่อนตัวของ Screw Dislocation คือ ทิศทางการเคลื่อนตัวของดิสโลเกชันจะตั้งฉากกับการเกิดขั้นเลื่อน (Slip Step) หรือทิศทางการเลื่อนอาจเกิดจากผลของดิสโลเกชันทั้งสองแบบ ดังรูปที่ 2.5 ความเค้นที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดดิสโลเกชันมีค่าสูงมากปรกติจะไม่เกิดจากการประยุกต์ความเค้นส่วนใหญ่จะเกิดจากกระบวนการแข็งตัวและต่อมาเกิดในกระบวนการขึ้นรูปเย็น ดิสโลเกชันมีการเกิดขึ้นเองตามลักษณะที่เรียกว่า Frank - Read Source ดังนั้นในโลหะที่ผ่านการทำ cold - Worked จำนวนดิสโลเกชันจะเพิ่มขึ้นมากมาย

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่จำเป็นในการทำให้เริ่มเกิดดิสโลเกชันและแรงที่ใช้ในการทำให้เกิดดิสโลเกชันเคลื่อนที่ สามารถอธิบายโดยการทดสอบแรงดึงกับ Whisker ของโลหะ Whisker เป็นส่วนที่มีลักษณะคล้ายเส้นขนเป็นผลึกเดี่ยวซึ่งทำให้เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการควบคุม ปกติจะมีดิสโลเกชันเดี่ยวอยู่ในแนวแกนกลางตามความยาว ถ้าประยุกต์ความเค้นดึงตามแนวแกนดิสโลเกชันไม่สามารถเลื่อนได้และในขณะที่ไม่มีดิสโลเกชันอื่นผลึกของโลหะนี้ยังไม่สามารถเกิดการคราก (Yield) ความเค้นจะลดลงมีค่าเพียงจำเป็นในการทำให้ดิสโลเกชันเคลื่อนที่ (y) และดิสโลเกชันจะเกิดขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วจึงเกิดการไหลแบบพลาสติกขึ้น

ผลึกหนึ่งๆ ใน Polycrystalline Metals เสียรูปโดยกลไกแบบเดียวกับโลหะผลึกเดี่ยวแต่เนื่องจากแต่ละผลึกมีการหักเหที่แตกต่างกันแบบไม่ตายตัวความเค้นเอนบนระนาบเลื่อนจะมีค่าวิกฤตในแต่ละผลึกที่ต่างกัน และการประยุกต์ต่างกันดังนั้นการเสียรูปของโลหะผลึกเดี่ยวกับแบบที่มีผลึกจำนวนมากจึงต่างกันดิสโลเกชันไม่สามารถเคลื่อนตัวออกจากผลึกนั้นๆ ได้และจะขัดขวางกันและกัน (Jam) ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว Strain Hardening จึงเกิดขึ้นเร็วมากในโลหะหลายผลึกเมื่อเทียบกับผลึกเดี่ยว เมื่อผลึกมีขนาดเล็กกว่า Strain Hardening ก็ยิ่งเกิดเร็วขึ้นเป็นผลให้โลหะแข็งแรงมากขึ้นแต่ความเหนียวลดลง

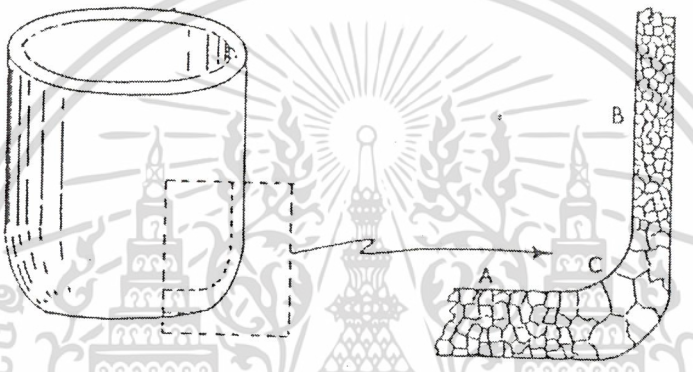
นอกจากการเสียรูปแบบการเลื่อนเกิดขึ้นในโลหะยังมีการเสียรูปแบบ Twinning เกิดขึ้นในโลหะที่มีระบบการเลื่อนจำกัด เช่น โลหะที่มีโครงสร้างผลึกแบบ HCP Twinning เกิดจากการกระจัดอะตอมในระยะที่ไม่เท่ากัน

2.1.5 พลังงานที่ใช้มีการทำให้เสียรูปทางกล

การเสียรูปที่เกิดขึ้นในโลหะเป็นผลให้มีความแข็ง และ ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นการเสียรูปแบบการเลื่อนหรือ Twinning เมื่อการเสียรูปมาถึงจุดหนึ่งและยังคงเพิ่มแรงโลหะจะเกิดการแตกเมื่อความแข็งและความแข็งแรงถึงขีดสูงสุดความเหนียวจะมีค่าสูงสุดเรียกว่าโลหะเกิด Work-Hardened เมื่อเกิดการเสียรูปขึ้นความสามารถที่จะเสียรูปต่อไปจะลดลงส่วนแรงที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดการเสียรูปจะเพิ่มขึ้นดิสโลเกชันที่มีอยู่ทั้งหมดในขณะที่เริ่มประยุกต์ความเค้นจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ตำแหน่ง "Jammed" ในขณะที่ดิสโลเกชันใหม่เกิดขึ้นจากการเพิ่มความเค้นจนกระทั่งการเลื่อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของตัวดิสโลเกชันไม่เกิดต่อไป ที่จุดนี้เป็นจุดความต้านทานการเลื่อนสูงสุด (ความแข็งแรงและความแข็งสูงสุด) เมื่อเพิ่มความเค้นอีกจะเกิดการแตกหัก ซึ่งต้องนำไปทำการอบอ่อนแล้วจึงทำ Cold-Work อีกต่อไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการ Cold–Working ประมาณ 90% ของพลังงานเชิงกลจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในรูปของแรงภายในกระทำภายในผลึกอีก 10% ของพลังงานกลจะถูกเก็บไว้ในโลหะในรูปของพลังงานศักย์ และ 9% ของพลังงานศักย์ที่ใช้เกี่ยวข้องกับจำนวนดิสโลเกชันที่เกิดขึ้นพลังงานที่มีอยู่นี้เป็นผลจากการบิดตัวของ Lattice พลังงานศักย์อีก 1% จะอยู่ในส่วนความเค้นที่เหลืออยู่ การเพิ่มพลังงานในการแปรรูปเย็นจะเกิดกริยาทางเคมีมากขึ้น ความต้านทานการกัดกร่อนจะลดลง ในส่วนบริเวณขอบเกรนจะมีพลังงานศักย์เพิ่มขึ้นเนื่องจากมี Extra micro – Stresses เกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้บริเวณขอบเกรนจึงสามารถถูกกัดกร่อนได้เร็วกว่าส่วนอื่นมีผลทำให้เกิดการเร่งตัวของความเสียหายในระหว่างเม็ดผลึก พลังงานศักย์นี้เป็นส่วนที่ผลักดันให้เกิดการคืนตัว การเกิดผลึกใหม่และการเจริญเติบโตของเกรน



รูปที่ 2.6 การอัดตัวของเกรน

2.1.6 การเสียรูปแบบคงรูปของโลหะหลายผลึก

2.1.6.1 ผลของขอบเกรนต่อความแข็งของโลหะ

ขอบเกรนทำให้โลหะและโลหะผสมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยทำหน้าที่เป็นตัวกันดิสโลเคชัน ยกเว้นที่อุณหภูมิการประยุกต์ใช้งานเมื่อคำนึงถึงความแข็งเป็นสำคัญโลหะที่มีขนาดเกรนละเอียดกว่าจะมีความแข็งมากกว่า ในระหว่างการเสียรูปแบบคงรูปของโลหะดิสโลเคชันจะเคลื่อนที่ไปตามระนาบเลื่อนเฉพาะไม่สามารถเคลื่อนตรงจากเกรนหนึ่งไปยังอีกเกรนหนึ่งเป็นเส้นตรง

2.1.6.2 ผลของการเสียรูปในขณะเย็นต่อการเพิ่มความแข็งแรงของโลหะ

ความหนาแน่นของดิสโลเกชันเพิ่มขึ้นเมื่อการเสียรูปเพิ่มขึ้น ดิสโลเกชันจะเกิดขึ้นใหม่เนื่องจากการเสียรูปเย็นและจะมีอันตรกริยากับดิสโลเกชันที่มีอยู่แล้ว ในขณะที่ความหนาแน่นของดิสโลเกชันเพิ่มขึ้นตามการเสียรูป ดิสโลเกชันจะเคลื่อนที่ผ่านดิสโลเกชันที่มีอยู่หนาแน่นแล้วได้ยากมากยิ่งขึ้น ดังนั้น จากการเพิ่ม การเสียรูป ทำให้โลหะมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกว่า Metal Work หรือ Strain Harden

2.1.7 ความแข็ง

ความแข็งคือ ความต้านทานของโลหะหรือวัสดุอื่นต่อการเจาะหรือการแทงของวัสดุอื่นที่แข็งกว่าโดยไม่เกิด Permanent Set ซึ่งเป็นลักษณะหนึ่งของความต้านทานการเปลี่ยนรูปของโลหะ โดยเราสามารถวัดค่าความแข็งได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแข็ง โดยในการทดสอบความแข็งจะใช้หัวกดชนิดพิเศษเมื่อกดลงไปครั้งแรกนั้นหัวกดจะสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปชั่วคราวและเปลี่ยนรูปถาวรได้เล็กน้อยเมื่อกดให้ลึกลงไปอีกก็จะยิ่งเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรมากขึ้น

2.1.7.1 <u>การทดสอบความแข็งแบบรอคเวล</u>

การทดสอบความแข็งแบบรอคเวลเป็นที่นิยมมากในอุตสาหกรรม เพราะทดสอบง่าย รวดเร็วและสามารถทราบค่าความแข็งได้โดยตรงจากเครื่อง โดยการอ่านค่าที่หน้าปัทม์ที่ติดมากับเครื่องการทดสอบแบบรอคเวลในปัจจุบันมี 2 วิธีคือ

1. แบบธรรมดา แบ่งออกเป็นสเกล เอ ถึง วี เป็นเครื่องทดสอบความแข็งของโลหะทั่วไป

2. แบบพิเศษ แบ่งเป็น 2 สเกลคือ สเกลเอ็นกับสเกลทีเป็นเครื่องที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบความแข็งของชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและบางๆ ที่ไม่สามารถทดสอบได้ด้วยแบบธรรมดา

หัวกด (Indenter) ที่ใช้กับรอคเวลมี 2 แบบคือ

1. หัวกดลูกบอลเหล็กกล้า (Steel Ball) ใช้กับแบบธรรมดามีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/16นิ้ว, 1/18นิ้ว, 1/4นิ้ว และ 1/2นิ้ว ถ้าใช้กับแบบพิเศษมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/16นิ้วขนาดเดียว

2. หัวกดรูปกรวย (Cone) บางทีเรียกว่าเบรล (Brale) ที่ปลายทำด้วย เพชรหรือวัสดุอื่นที่มีความแข็งเท่าเพชรมุมรวมที่ปลายหัวกด 120 องศา หัวกดแบบนี้ใช้ได้ทั้งแบบธรรมดาและแบบพิเศษ

น้ำหนัก (Load) ที่ใช้กดหัวกดมี 2 ชนิดคือ

1. น้ำหนักส่วนน้อยหรือแรงกดนำ (Minor Load) เป็นน้ำหนักที่ใช้เพื่อให้หัวกดสัมผัสกับหน้าชิ้นงานทดสอบ ถ้าเป็นการทดสอบแบบรอคเวลแบบธรรมดาใช้ 10 ก.ก. ส่วนการทดสอบรอคเวลแบบพิเศษใช้ 3 ก.ก.

2. น้ำหนักส่วนใหญ่ (Major Load) เป็นน้ำหนักที่ใช้เพื่อให้หัวกดกดลงไปในเนื้อโลหะที่ทำการทดสอบ ถ้าเป็นการทดสอบแบบธรรมดาใช้ 50, 90, 140 ก.ก. น้ำหนักรวม (Total Load) เท่ากับ 60, 100 และ 150 ก.ก. ส่วนการทดสอบแบบพิเศษใช้ 12, 27 และ 42 ก.ก. น้ำหนักรวมเท่ากับ 15, 30 และ 45 ก.ก.

การทดสอบความแข็งแบบรอคเวล กระทำเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นแรก ใช้แรงกดนำ (Minor Load) คือ 10 กิโลกรัมสำหรับการทดสอบแบบธรรมดาและ 3 กิโลกรัมสำหรับการทดสอบแบบพิเศษ โดยการหมุนให้แท่นว่างชิ้นงาน เลื่อนขึ้นจนกระทั่งเข็มที่หน้าปัดเครื่องตรงกับเลข 0 เพื่อให้หัวกดสัมผัสกับผิวชิ้นงานทดสอบ

ขั้นที่สองเพิ่มแรกกดส่วนใหญ่ (Major Load) คือ 60, 100 หรือ 150 กิโลกรัม สำหรับการทดสอบแบบธรรมดาและ 15, 30 หรือ 45 กิโลกรัม สำหรับการทดสอบแบบพิเศษเพื่อให้น้ำหนักกดหัวกดลงไปในเนื้อโลหะเป็นเวลา 10 - 30 วินาที จากนั้นก็ปลดน้ำหนักส่วนใหญ่ออก สังเกตดูเข็มยาวที่หน้าปัดเครื่องหยุดตรงตัวเลขใดหรือขีดใด ก็อ่านค่าความแข็งได้จากเข็มยาวที่ตัวเลขและสเกลของการทดสอบบนหน้าปัดเครื่อง

2.1.7.2 <u>การเขียนค่าความแข็งแบบรอคเวล</u>

1. แบบธรรมดา.

60HRC หรือ 60Rc

60 คือ ค่าความแข็ง

HR คือ วิธีการทดสอบแบบรอคเวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C คือ สเกลซี (Scale C)

85HRB หรือ 85 Rb

85 คือ ค่าความแข็ง

HR คือ วิธีการทดสอบความแข็งแบบรอคเวล

B คือ สเกลบี (Scale B)

2. แบบพิเศษ

75HR 30 N

75 คือ ค่าความแข็ง

HR คือ วิธีการทดสอบแบบรอคเวล

30 คือ น้ำหนักกดมาตรฐาน เท่ากับ 30 กิโลกรัม

N คือ สเกล เอ็น (Scale N)

62HR45T

62 คือ ค่าความแข็ง

HR คือ วิธีการทดสอบแบบรอคเวล

45 คือ น้ำหนักกดมาตราฐาน เท่ากับ 45 กิโลกรัม

T คือ สเกล ที (Scale T)

การทดสอบความแข็งแบบรอคเวลมีข้อจำกัดดังนี้

1. ก่อนทำการทดสอบความแข็งของชิ้นงานทดสอบ จะต้องตรวจสอบความเที่ยงตรงเครื่องทดสอบหรือเทียบค่ามาตรฐานจากแผ่นค่าความแข็งมาตรฐาน (Test Block) ทุกครั้ง

2. ผิวชิ้นงานที่นำมาทำการทดสอบจะต้องเรียบสะอาดและขนานกัน

3. การทดสอบความแข็งแบบธรรมดา ระยะห่างจากรอยกดและระยะห่างจากขอบชิ้นงานควรมีระยะห่างอย่างน้อย 3 มิลลิเมตร

4.ชิ้นงานที่ทำการทดสอบควรมีความหนาอย่างน้อย 10 เท่าของรอยกด

5. ควรทำการทดสอบความแข็งชิ้นงานอย่างน้อย 3 ครั้งต่อ 1 ชิ้น แล้วหาค่าความแข็ง

2.1.8 ความสมบูรณ์ของผิวหน้า

ขอบนอกสุดของวัตถุใดๆ ที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมจะเรียกว่าผิวหน้าและเมื่อทำการเปลี่ยนรูปผิวหน้าโดยใช้คมตัดที่มีประสิทธิภาพผิวหน้าที่เกิดขึ้นใหม่คือผิวสำเร็จ ผิวหน้านี้ถ้าทำการขยายขึ้นแล้วตรวจดูจะพบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับภูเขาที่ขรุขระมากมายในสภาพเช่นเดียวกับที่พบในองค์ประกอบขนาดของรอยต่างๆที่เกิดจากการกลึงของเครื่องมือตัด

ความสำคัญของผิวสำเร็จในเทคโนโลยีของปัจจุบันมีอิทธิพลต่อผู้บริโภคและวิศวกร โดยในกระบวนการผลิตใดๆ ถ้าผลิตภัณฑ์ที่นำออกสู่ตลาดมีผิวสำเร็จที่ดีราคาของผลิตภัณฑ์ย่อมสูงขึ้นตามสภาพของผิวสำเร็จส่วนทางด้านวิศวกรรมนั้นพบว่าความล้า ความแข็ง ความแม่นยำของขนาดมิติและการถ่ายเทความร้อนนั้นจะตกอยู่ใต้อิทธิพลของผิวสำเร็จทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหยาบของผิวสำเร็จอาจวัดได้โดยเครื่องมือทางอีเล็กทรอนิกส์ และการมองเห็น โดยนอกจากวิธีการทั้งสองนี้แล้วอุปกรณ์การวัดความหยาบยังสามารถทำได้ด้วยหลักการทางแสง ซึ่งใช้แสงตัดวิ่งเข้าหาผิวหน้าโดยปราศจากการสัมผัสหรือขุดขีดที่ต้องเกิดขึ้น

2.1.9 การศึกษาโครงสร้างของโลหะ

การศึกษาโครงสร้างของโลหะ (Metallography) เป็นวิชาที่ว่าด้วยการศึกษาโครงสร้างของโลหะโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) เพื่อตรวจสอบชนิดของภาค (Phase) การกระจายตัวของภาค ตลอดจนลักษณะและขนาดของโครงสร้างผลึกนอกจากนี้ยังสามารถทราบถึงสภาวะของโลหะ การศึกษาโครงสร้างโลหะสามารถแยกออกได้ 2 ลักษณะ คือ โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) และโครงสร้างมหาภาค (Marcrostructure) การศึกษาโครงสร้างของโลหะจะมีประสิทธิภาพและคุณภาพขึ้นอยู่กับขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ (Specimen) เป็นสำคัญ กล่าวคือ ชิ้นงานทดสอบจะต้องผ่านการปรับระดับผิวหน้าและขัดให้เรียบไม่มีรอยขีดข่วน มีลักษณะเป็นมัน ถ้าขั้นตอนการเตรียมไม่ดีก็ไม่สามารถวิเคราะห์หรือมองเห็นภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้ชัดเจนและถูกต้อง ดังนั้นการเตรียมชิ้นงานจึงต้องอาศัยประสบการณ์เทคนิคประกอบและปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือการเตรียมการอย่างเป็นขั้นตอนรวมถึงสภาพการทำงานที่สะอาดระหว่างขั้นตอนการเตรียมการทั้งหมด

2.1.9.1 <u>การเตรียมชิ้นงานทดสอบ</u>

การเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อการศึกษาโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1. การสุ่มตัวอย่างและการตัดชิ้นงานตัวอย่าง (Sample and Cut-off)
2. การขัดด้วยกระดาษทราย (Grinding)
3. การขัดมัน (Polishing)
4. การกัดด้วยสารละลายกรด (Etching)

1. การสุ่มตัวอย่างและการตัดชิ้นงานตัวอย่าง (Sample and Cut-off)

ชิ้นงานทดสอบที่จะนำมาตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ต้องคัดเลือกและสุ่มตัวอย่างให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการจะตรวจสอบ เช่น ต้องการตรวจสอบหาสาเหตุของการแตกหัก การตรวจสอบการกระจายตัวของภาค หาขนาดโครงสร้างผลึกฯลฯ ของโลหะที่ผ่านกระบวนการผลิตแตกต่างกันจะมีลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลแตกต่างกันด้วย

2. การขัดด้วยกระดาษทราย (Grinding)

ขั้นตอนการขัดผิวด้วยกระดาษทรายเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ เนื่องจากการขัดกระดาษทรายเป็นการปรับระนาบผิวขัดให้ได้ระดับเรียกว่าเป็นการขัดหยาบเพื่อปรับระนาบและการขัดผิวให้เรียบเรียกว่าการขัดละเอียด

การขัดเริ่มต้นด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบก่อน คือกระดาษทรายเบอร์ 80-150 ในกรณีที่ชิ้นงานทดสอบผ่านการตัดด้วยเลื่อยมือหรือเครื่องเลื่อย การขัดด้วยกระดาษทรายมักขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ต่างๆจากหยาบไปจนกระทั่งละเอียดที่สุดคือเบอร์ 80, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับการขัดด้วยกระดาษทรายไม่ควรขัดข้ามเกินสองเบอร์ การขัดด้วยกระดาษทรายใช้แรงกดให้พอเหมาะ ไม่ควรใช้กดมากเกินไปจะทำให้เกิดรอยขัดลึกเกินไป

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการขัดจะใช้วิธีขัดเปียกโดยให้น้ำไหลผ่านกระดาษทรายตลอดเวลา เพราะน้ำจะช่วยพัดพาเอาเศษผงขัดออกจากผิวหน้าและช่วยหล่อลื่นไม่ให้ชิ้นงานทดสอบร้อน เมื่อเปลี่ยนกระดาษทรายแต่ละเบอร์ทิศทางการขัดต้องทำมุมกับรอยขัดของกระดาษทรายเบอร์เก่า 45° - 90° ทุกครั้ง

3. การขัดมัน (Polishing)

เป็นขั้นตอนการขัดผิวชิ้นงานทดสอบขั้นสุดท้ายเพื่อขจัดรอยขีดข่วนที่เกิดจากขั้นตอนการขัดผิวด้วยกระดาษทรายให้หมดไปและให้ผิวชิ้นงานเรียบเป็นมันเงา

การขัดมันกระทำโดยใช้ผ้าขัด (Polishing) กับผงขัดหรือสารขัด (Polishing Abrasive)

ผ้าขัดที่ดีควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. สามารถรับรองผงขัดหรือสารขัดได้ดี
2. สามารถใช้ได้นาน ไม่เกิดการเสียหายได้ง่าย
3. สะอาดปราศจากสารมลทินอื่นๆที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อผิวชิ้นงาน
4. ไม่มีสารเคมีตกค้างอยู่ซึ่งอาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับชิ้นงานทดสอบ

ผงขัดชนิดอลูมิเนียมออกไซด์ หรือมักเรียกว่า อลูมิน่า มีสูตรทางเคมี Al_2O_3 เป็นวัสดุที่มีความแข็งประมาณ 9 โมล์สเกล (Mohs scale 9) ใช้สำหรับขัดโลหะแข็งแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ชนิดอัลฟ่าอลูมิน่า (Alpha Alumina) มีขนาด 0.3 μm - 0.5 μm มีความแข็งสูง ใช้สำหรับขัดมันหยาบหรือขัดมันก่อน กับชนิดแกมอลูมิน่า (Gamma Alumina) มีขนาด 0.1 μm - 0.5 μm มีความแข็งปานกลางและต่ำกว่าชนิดอัลฟ่า ใช้สำหรับขัดละเอียดหรือขัดมันขั้นสุดท้าย ชิ้นงานที่ผ่านการขัดมันเสร็จแล้วต้องล้างผิวขัดด้วยน้ำสะอาด และ แอลกอฮอล์แล้วเป่าให้แห้งด้วยเครื่องเป่าลม โดยเป่าด้วยลมร้อนก่อนเป่าด้วยลมเย็น

4. การกัดสารละลาย (Etching)

เพื่อให้ผิวชิ้นงานทดสอบเกิดลักษณะที่แตกต่างกัน เนื่องจากชิ้นงานประกอบด้วยภาคหลายภาคและหลายชนิด ภาคไดมีความต้านทานสูงกรดสามารถกัดได้น้อยและภาคไดมีความด้านทานต่ำกรดสามารถกัดได้ลึกกว่า ทำให้ผิวชิ้นงานเปลี่ยนเป็นขรุขระ เมื่อนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ แสงที่ส่องลงไปผิวที่ขรุขระสะท้อนแสงกลับมาคนละทาง เพราะผิวที่ถูกกัดกร่อนได้น้อยแสงสะท้อนกลับได้มาก การกัดกรดที่ได้ทำการทดลองคือการกัดกรดแบบขาว – ดำ เป็นการทำให้ผิวชิ้นงานขรุขระด้วยน้ำยาเคมีเพื่อต้องการให้ชิ้นงานเกิดการสะท้อนแสงได้แตกต่างกัน สารที่ใช้ในการทดลองคือ กรดไนตริก ปริมาณ 5% ผสมกับน้ำปริมาณ 95% หลังจากการกัดกรดเรียบร้อยแล้วนำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าและล้างด้วยแอลกอฮอล์แล้วเป่าด้วยลมร้อนและลมเย็นให้แห้ง

2.1.9.2 <u>การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์</u>

เป็นการใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจดูโครงสร้างภายในเนื้อโลหะเพื่อศึกษาโครงสร้างของโลหะนั้นๆโดยใช้กำลังขยายตั้งแต่ 20-500 เท่าขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีด้านปฏิบัติงานกลึง

2.2.1 เครื่องกลึง

เครื่องกลึงเป็นเครื่องกลที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีความสำคัญมากในงานอุตสาหกรรม เครื่องกลึงเป็นเครื่องมือกลที่ใช้กลึงงานรูปทรงกระบอก โดยการจับและหมุนงานด้วยหัวจับที่ติดอยู่กับแท่นหัวเครื่อง จากนั้นการป้อนเครื่องมือตัดที่ติดอยู่กับแท่นจับเครื่องมือตัดเลื่อนเข้ามาหาชิ้นงานตามแนวรัศมี จนได้ความลึกที่เหมาะสมแล้วจึงเลื่อนเครื่องมือตัดไปตามยาวของชิ้นงาน ชิ้นงานส่วนที่ไม่ต้องการจะถูกตัดออกในรูปของเศษโลหะ เหลือเฉพาะส่วนที่ต้องการไว้ตามแบบรูปร่าง และขนาดที่ต้องการ

งานกลึง คือ การตัดโลหะโดยให้ชิ้นงาน (Work Piece) หมุนรอบตัวเอง โดยมีดกลึงเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน การกลึงมีสองลักษณะใหญ่คือ

- การกลึงปาดหน้า คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดชิ้นงานไปตามแนวขวาง (Across the Work)
- การกลึงปอก คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานไปตามแนวขนานกับแนวแกนของชิ้นงาน

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการของการกลึงปอกคือ

1. อัตราป้อน (Feed Rate)
2. ความเร็วตัด (Cutting Speed)
3. ระยะป้อนลึก (Depth of Cut)
4. มีดกลึง (Cutting Tool)
5. ชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Workpiece)

2.2.2 ความลึกในการตัด และอัตราป้อน

ความลึกในการตัด (Depth of Cut) หมายถึง จำนวนที่เราป้อนมีดให้ลึกเข้าไปในเนื้องาน ในแต่ละเที่ยว ในการกลึงหยาบก็จะทำการป้อนลึกมากกว่าการกลึงละเอียด

อัตราการป้อน (Feed) หมายถึงระยะทางที่มีดกลึงเคลื่อนที่ไปตามความยาวของชิ้นงานเมื่องานหมุนไปหนึ่งรอบ

การป้อนลึกในการตัด และอัตราการป้อน จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัด เพราะมีดกลึงจะมีความสามารถในการตัดงานให้หลุดออกจากชิ้นงาน เป็นจำนวนหนึ่งนาที อาจจะเป็นลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที หรือ ลูกบาศก์นิ้วต่อนาที ตามแต่ชนิด รูปร่างและการลับมุมต่างๆ ของมีดกลึง ดังนั้นถ้าเราเพิ่มอย่างหนึ่งอย่างใดในสามอย่างนี้ เราก็จะต้องลดอย่างใดอย่างหนึ่งที่เหลือ หรือทั้งสองอย่างที่เหลือลง เพื่อให้ปริมาณการตัดโลหะในหนึ่งนาที มีจำนวนเท่ากับ ที่มีดกลึงสามารถจะกลึงได้ในหนึ่งนาที

2.2.3 ความเร็วตัด

ในขณะที่กำลังกลึงงาน ความเร็วที่เกิดจากผิวงานหมุนผ่านคมมีดนั้น เราเรียกว่า ความเร็วตัดซึ่งจะมีหน่วยเป็นฟุตต่อนาที ในระบบอังกฤษ หรืออเมริกัน หรือเป็น เมตรต่อนาทีในระบบเมตริก การใช้ความเร็วตัดต่ำๆ อาจทำให้เกิดความร้อนน้อย มีดกลึงจะทนทานดี แต่เสียเวลามาก และผิวงานไม่เรียบเท่าที่ควร เนื่องจาก ผิวงานที่ถูกตัดออกมีเวลาที่จะดึงผิวงานที่เหลืออยู่ให้ยืดออก เกิดเป็นขุยขึ้น การใช้ความเร็วตัดที่สูงเกินไป จะเกิดความร้อนมาก มีดอาจจะเสียเร็วกว่าที่ควรจะเป็น ผิวงานก็จะไม่เรียบ และเสียเวลาแก้ไขอีกด้วย ความเร็วตัดที่เหมาะสมนั้น จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญ 2 อย่างคือ ชนิดของวัสดุที่เป็นชิ้นงาน และชนิดของวัสดุที่เป็นมีดกลึง ว่าจะมีความแข็งแรงทนทานมากน้อยเพียงใด ได้มีผู้ทำการทดลอง ใช้มีดกลึงแต่ละชนิด ทำการกลึงวัสดุแต่ละอย่าง ด้วนความเร็วที่ต่างกัน เพื่อหาความเร็วตัดที่เหมาะสม คือความเร็วที่เร็วที่สุด และได้ผลงานที่ดีที่สุด แล้วบันทึกไว้เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้นำไปใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติ แต่ยังจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นๆ อีกบ้าง เช่น สภาพของเครื่องกลึง การหล่อเย็น ความมั่นคงในการจับชิ้นงาน ความเร็วตัดที่เหมาะสมดังกล่าว จะหาได้จากหนังสือตำราช่างกลโรงงานทุกเล่มแต่ละเล่มอาจจะแตกต่างกันไปบ้าง เพราะคุณสมบัติของมีดกลึงไม่เท่ากัน สภาพเครื่องไม่เหมือนกันทีเดียว และการตัดสินว่าความเร็วขนาดใดเหมาะสม อาจจะไม่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตาม ความเร็วตัดของแต่ละเล่ม จะไปทำนองเดียวกัน และใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2.1 ความเร็วตัดโดยใช้มีดกลึงทังสเตนคาร์ไบด์

วัสดุ	กลึงหยาบ		กลึงละเอียด	
	ฟุตต่อนาที	เมตรต่อนาที	ฟุตต่อนาที	เมตรต่อนาที
เหล็กหล่อสีเทา	120-200	36-60	350-400	105-120
เหล็กกล้าผสม	140-160	42-48	250-300	75-90
เหล็กหล่ออบ	250-300	75-90	30-400	90-120
เหล็กกล้าหล่อ	150-180	45-54	200-250	60-75
ทองเหลือง	600-1000	180-300	600-1000	180-300
บรอนซ์	600	180	1000	300
อลูมินั่ม	800	240	1000	300
เหล็กกล้าเหนียว	300-400	90-120	300-400	90-120

ที่มา : ไพโรจน์ สุยสุวรรณ (2527)

การคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องกลึง

ความเร็วตัดที่ได้จากตาราง มีหน่วยเป็นระยะทางใน 1 นาที คือ เป็นฟุตต่อนาที หรือ เมตรต่อนาที ผู้ปฏิบัติงานจะต้องนำค่าความเร็วตัด มาคำนวณรวมกับความโตของงานที่จะกลึง เพื่อหาความเร็วรอบของเครื่องกลึง ให้ได้ความเร็วตามตาราง

ในขณะที่มีดกลึงกำลังตัดงาน ความเร็วตัดที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ เส้นรอบวงของชิ้นงาน คูณด้วยความเร็วรอบของชิ้นงาน หรือความเร็วรอบของเครื่องกลึง เช่น เส้นรอบวงของงานยาว 1 ฟุต งานจะหมุนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ความเร็วตัดที่เกิดขึ้นจึงเท่ากับ 100 ฟุตต่อนาที จากความจริงนี้ สามารถนำมาทำเป็นสูตรสำเร็จ เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องกลึง

ในระบบอังกฤษ อเมริกัน

$$\text{ความเร็วตัด (C.S.)} = \text{เส้นรอบวง}(\pi D) \times \text{จำนวนรอบต่อนาที (rpm.)}$$

$$\text{C.S.} = \pi D \times \text{rpm.} \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{rpm.} = \frac{C.S.}{\pi D} \qquad (2.2)$$

แต่เนื่องจากในระบบอังกฤษ อเมริกัน ความเร็วตัดมีหน่วยเป็น ฟุตต่อนาที ความโตของงานวัดเป็น นิ้ว ดังนั้น

$$\text{rpm.} = \frac{12 \times C.S.}{\pi D} \qquad (2.3)$$

rpm. = ความเร็วรอบของเครื่องกลึง

C.S. = ความเร็วตัดที่มีหน่วยเป็น ฟุต ต่อ นาที

D = ความโตของชิ้นงานที่จะกลึง วัดเป็นนิ้ว

ระบบเมตริก

ในการคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องกลึงในระบบเมตริกนั้น มีหลักการเช่นเดียวกันกับในระบบอังกฤษ อเมริกัน ต่างกันเพียงหน่วยเท่านั้น

ความเร็วตัด (C.S.) = เส้นรอบวง (πD) × จำนวนรอบต่อนาที (rpm.)

$$\text{C.S.} = \pi D \times \text{rpm.} \qquad (2.4)$$

$$\text{rpm.} = \frac{C.S.}{\pi D} \qquad (2.5)$$

แต่เนื่องจากในระบบเมตริก ความเร็วตัดมีหน่วยเป็น เมตรต่อนาที ส่วนความโตของงานวัดเป็น มิลลิเมตร จึงต้องทำให้เป็นหน่วย มิลลิเมตรต่อนาที

$$\text{rpm.} = \frac{1000 \times C.S.}{\pi D} \qquad (2.6)$$

rpm. = ความเร็วรอบของเครื่องกลึง

C.S. = ความเร็วตัดที่มีหน่วยเป็น เมตร ต่อ นาที

D = ความโตของชิ้นงานที่จะกลึง มิลลิเมตร ต่อ นาที

2.2.4 มีดกลึง

คือเครื่องมือที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานให้เป็นรูปร่างต่างๆ ในกระบวนการกลึง มีดกลึงเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญมากสุด ในการปฏิบัติงานกับเครื่องกลึง เพราะมันจะเป็นตัวที่จะไปตัดเนื้อของชิ้นงานออก ชิ้นงานที่ได้จากการกลึง จะเรียบถูกต้อง ประหยัดเวลา และแรงงานเพียงใด ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของมีดกลึง ประสิทธิภาพของมีดกลึงขึ้นอยู่กับ วัสดุที่ใช้ทำมีดกลึงว่า มีความแข็ง ทนความร้อน ทนต่อการเสียดสี ไม่สึกหรอง่าย ไม่เปราะ ทนต่อแรงกระแทกกระเทือนได้ดี มีรูปร่างลักษณะที่เหมาะสมกับงานที่จะกลึง มีการลับมุมต่างๆ ที่เหมาะสมกับวัสดุชิ้นงานแต่ละชนิด เพื่อให้ความคม และความทนทาน อย่างเต็มที่ มีดกลึงที่ไม่เหมาะสม จะต้องเสียเวลาในการกลึงงาน งานไม่เรียบต้องถอดออกมาลับบ่อยๆ มิฉะนั้นจะกลึงงานไม่เข้า เกิดการเสียดสี หรือดันชิ้นงานให้โก่งเกิดการคดงอ งัดหักได้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจะต้อง เลือกวัสดุที่เหมาะสม และลับให้มีรูปร่าง มีมุมต่างๆ ให้เหมาะสมกับร่างของชิ้นงาน และชนิดของวัสดุที่จะถูกกลึงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.5 การหล่อเย็น

การหล่อเย็น มีความจำเป็นเมื่อ จะต้องกลึงงานเป็นเวลานานๆ เพื่อให้สามารถใช้ความเร็วตัดได้สูง ให้ผิวที่เรียบขึ้น ทำให้มีดกลึงทนทานขึ้น หลักสำคัญของการหล่อเย็นก็คือ ลดความร้อนที่ชิ้นงานและมีดกลึง การหล่อเย็นยังทำให้การผลิตงานเป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว อันเกิดจากการหล่อลื่นมีดกลึง ล้างเศษโลหะ และกันสนิม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการหล่อเย็น มีถังน้ำเครื่องสูบน้ำท่อและก๊อกสำหรับเปิดน้ำไปที่งานและมีดกลึง รางน้ำที่ใช้แล้ว ท่อน้ำกลับถัง ที่กรองเศษโลหะ ถ้าไม่มีอุปกรณ์ดังกล่าวก็ใช้แปรง หรือขวดหยอดก็ได้

ถ้ามีอุปกรณ์ที่ใช้หล่อเย็น ควรเปิดน้ำให้ราดลงบนงานกับมีด โดยใช้น้ำจำนวนมากที่ไหลช้าๆ จะดีกว่าเปิดน้ำแต่ไหลแรง และเปิดน้ำให้ตรงตำแหน่ง ที่เกิดการตัด อย่าให้น้ำไปราดที่มีดกลึง หรืองานแต่เพียงอย่างเดียว

2.2.5.1 <u>ชนิดของของเหลวที่ใช้หล่อเย็น</u>

1. น้ำมันหมู (Lard Oil) เป็นสิ่งที่ใช้ในการหล่อเย็นที่เก่าแก่ และดีที่สุด มีราคาแพง เหมาะเป็นพิเศษสำหรับที่ใช้ในการตัดเกลียว เจาะรูลึกๆ คว้านรูด้วยดอกคว้าน ให้การหล่อลื่นที่ดี ยืดอายุการใช้งานของมีดกลึง ทำให้ผิวงานเรียบและไม่เป็นสนิม

2. น้ำมันแร่ผสมกับน้ำมันหมู เป็นน้ำมันผสมระหว่าง น้ำมันหมูและน้ำมันปิโตรเลี่ยม เหตุที่ใช้น้ำมันแร่มาผสมก็เพราะน้ำมันไม่แพง และมีคุณภาพดีเช่นเดียวกัน

3. น้ำมันแร่ เป็นน้ำมันปิโตรเลี่ยม ที่ผสมสารเคมี ทำให้มีคุณภาพในการหล่อลื่นดีขึ้น มีคุณสมบัติต่อต้านการเชื่อมติดของเศษโลหะ ไม่แพงเท่าน้ำมันหมู หรือน้ำมันผสม

4. น้ำมันชนิดผสมน้ำ เป็นน้ำมันแร่ที่นำมาปรับปรุงให้สามารถผสมเข้ากับน้ำได้ ราคาถูกมาก ลดความร้อนได้ดีกว่าน้ำมันหมู หรือน้ำมันแร่ผสมน้ำมันหมู แต่คุณสมบัติในการหล่อลื่นไม่ดี ใช้เฉพาะการกลึงหยาบๆ เมื่อหล่อเย็นแล้ว จะทิ้งคราบน้ำมันบางๆ บนผิวงาน ช่วยป้องกันสนิมได้บ้าง

5. น้ำโซดาผสม ราคาถูกที่สุด ในการหล่อเย็นดี แต่ไม่หล่อลื่น และเป็นสาเหตุให้เหล็กกล้า และเหล็กหล่อเป็นสนิม ที่ใช้กันทั่วไปใช้โซดาคาร์บอเนต 0.5 กิโลกรัม น้ำมันหมู 1 ควอร์ต สบู่อ่อน 1 ควอร์ต น้ำ 50 ลิตร ต้มให้เข้ากันประมาณครึ่งชั่วโมง

6. น้ำมันก๊าด (Kerosene) ใช้หล่อลื่นในการตัดอลูมินั่ม ป้องกันไม่ให้เศษอลูมินั่ม ละลายติดคมตัด

2.3 ทฤษฎีทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษาที่อาศัยสถิติ ข้อมูล เป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากที่สุด เพราะจะเป็นตัวแทนในสิ่งเราต้องการศึกษา ซึ่งข้อมูลอาจได้มาจากประชากรหรือสิ่งตัวอย่างก็ได้ ซึ่งความหมายของข้อมูลคือ รายละเอียดหรือข้อเท็จจริงที่รวบรวมได้จากสิ่งที่เราสนใจ ซึ่งข้อมูลที่ได้ก็จะแตกต่างกันไปตามเรื่องที่ศึกษา ดังนั้นอาจจำแนกข้อมูลออกเป็นลักษณะใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 <u>ข้อมูลเชิงคุณภาพ</u>

ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) เป็นข้อมูลที่บอกถึงคุณภาพหรือลักษณะของสิ่งที่สนใจ ซึ่งลักษณะเฉพาะของกลุ่ม เช่น ข้อมูลเพศ สี อาชีพ เป็นต้นข้อมูลนี้สามารถแทนด้วยเลขจำนวนเต็มแต่ตัวเลขไม่ได้มีค่าที่แท้จริงตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61832

ตัวเลขนั้น ดังนั้นข้อมูลนี้เมื่อแทนด้วยจุดทศนิยมจึงไม่สามารถสื่อความหมายให้เข้าใจได้มีไว้เพียงเพื่อแสดงถึงการแบ่งกลุ่มเท่านั้น ข้อมูลเชิงคุณภาพนี้มักจะมีมาตราวัดเป็นแบบแบ่งกลุ่ม (Nominal Scale) หรือแบบจัดอันดับ (Order Scale)

2.3.1.2 ข้อมูลเชิงปริมาณ

เป็นข้อมูลที่บอกให้ทราบถึงปริมาณของสิ่งที่เราสนใจ ข้อมูลนี้ให้ค่าที่แท้จริงของตัวเลขจำนวนจริงซึ่งข้อมูลนี้เมื่อมีค่าเป็นตัวเลขทศนิยมก็ยังสามารถสื่อความหมายให้เข้าใจได้ เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง อุณหภูมิ เป็นต้น ข้อมูลเชิงปริมาณนี้มักจะมีมาตราวัดเป็นแบบช่วง (Interval Scale)

2.3.2 แหล่งข้อมูล

คือที่มาของข้อมูลที่สนใจซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) คือข้อมูลที่ได้จากแหล่งต้นกำเนิดเลย เช่น ข้อมูลที่ได้จากการทำการทดลอง การสัมภาษณ์ เป็นต้น

2.ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) คือ ข้อมูลที่ได้จากแหล่งที่มีการรวบรวมไว้แล้วและเมื่อทำการวิจัยสนใจก็ไปรวบรวมข้อมูลมา

2.3.3 ประชากร

ประชากร (Population) หมายถึง หน่วยทุกๆหน่วยในเรื่องที่เราสนใจศึกษา หน่วยต่างๆ ในประชากรอาจหมายถึง บุคคล องค์กรต่างๆ สิ่งของ ฯลฯ และเรียกคุณสมบัติเชิงตัวเลขของประชากรว่า พารามิเตอร์ (Parameter) เช่น ค่าเฉลี่ยของประชากร (μ) ความแปรปรวนของประชากร (σ^2) ในการนิยามประชากรต้องสังเกตจาก สถานที่จริง และสิ่งของที่เป็นจริง

2.3.4 สิ่งตัวอย่าง

สิ่งตัวอย่าง (Sample) หมายถึง เซทย่อยของประชากร หรืออาจหมายถึงส่วนหนึ่งของประชากร โดยหากเราไม่สามารถรวบรวมสมาชิกทั้งหมดของประชากรได้ จึงจำเป็นต้องรวบรวมจากสิ่งตัวอย่างโดยสามารถดำเนินการได้ 2 วิธีการหลักๆ

1. การชักสิ่งตัวอย่างโดยอาศัยความน่าจะเป็น
2. การชักสิ่งตัวอย่างโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น

และจะเรียกคุณสมบัติเชิงตัวเลขของ สิ่งตัวอย่างว่า ค่าสถิติ (Statistics) เช่นค่าเฉลี่ยของสิ่งตัวอย่าง ($\overline{X}$) ค่าความแปรปรวนของสิ่งตัวอย่าง (S^2)

2.3.5 มาตราวัดของข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิตินั้น การที่จะเลือกวิธีการวิเคราะห์ให้ถูกต้องนั้นจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงมาตราวัดของค่าสังเกตเสียก่อนจึงจะสามารถเลือกวิธีการได้เหมาะสมและถูกต้องซึ่งมาตราวัดของข้อมูลแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.1 มาตราวัดแบบแบ่งกลุ่ม

คือ มาตราวัดที่แสดงถึงการแบ่งเป็นกลุ่มๆของข้อมูลเท่านั้นไม่ได้ต้องการแสดงถึงปริมาณที่แตกต่างกันอย่างไร เช่น ข้อมูลที่แสดงถึง เพศ สัญชาติ และ อาชีพ เป็นต้น มาตราวัดนี้เป็นมาตราวัดที่ใช้วัดสำหรับข้อมูลที่มีการจำแนกประเภทเท่านั้น ไม่ได้บอกถึงความแตกต่างระหว่างกลุ่มว่ากลุ่มไหนหรือกลุ่มไหนน้อยกว่าแต่อย่างไร เพียงเพื่อต้องการแบ่งกลุ่มเท่านั้น ข้อมูลมาตราวัดแบบแบ่งกลุ่มนี้การสรุปผลจากข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติที่นิยมใช้คือ การหาค่าฐานนิยม (Mode) หรือแสดงอยู่ในรูปของสัดส่วนหรือร้อยละ และวิธีที่ไม่ใช้พารามิเตอร์

2.3.5.2 มาตราวัดแบบจัดอันดับ

คือ มาตราวัดที่แสดงถึงการแบ่งกลุ่ม ๆ ของข้อมูลโดยมุ่งเน้นที่จะชี้ถึงความแตกต่างของอันดับ (Order) แต่บอกไม่ได้ถึงสัดส่วนของระยะห่าง (Distance) และจุดเริ่มต้น (Origin) นั่นคือ บอกไม่ได้ว่ากลุ่มที่ 1 ห่างจากกลุ่ม 2 เท่ากับ กลุ่มที่ 2 ห่างจากกลุ่มที่ 3 เท่ากันหรือต่างกันหรือไม่ การสรุปผลจากข้อมูลที่นิยมใช้กันก็คือ การหาค่ามัธยฐาน (Median) หรือแสดงอยู่ในรูปของสัดส่วนหรือร้อยละ และวิเคราะห์ทางสถิติที่ไม่ใช้พารามิเตอร์แต่ในการวิจัยทางด้านสังคมจะอนุโลมให้หาค่าเฉลี่ย และในบางครั้งยังสามารถนำเอาวิธีการทางสถิติที่ใช้พารามิเตอร์ มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลอีกด้วยแต่จะมีความน่าเชื่อถือได้ค่อนข้างต่ำนั่นเอง

2.3.5.3 มาตราวัดแบบเป็นช่วง

คือ มาตราวัดที่สูงกว่ามาตราวัดแบบแบ่งกลุ่มและมาตราวัดแบบจัดอันดับนั้นคือได้นำเอาส่วนของระยะห่าง (Distance) มาพิจารณาด้วย แต่ยังคงไม่มีจุดเริ่มต้น (Origin) ที่แน่นอนหรือก็คือยังไม่มีศูนย์ที่แท้จริงนั่นเอง ข้อมูลที่เป็นมาตราวัดแบบนี้สามารถหาค่าเฉลี่ยและแปรความหมายได้การสรุปผลจากข้อมูลก็นิยมใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้พารามิเตอร์

2.3.5.4 มาตราวัดแบบกำหนดค่าอัตราส่วน

คือ มาตราวัดที่สูงที่สุดเป็นมาตราวัดที่คล้ายกับมาตราวัดแบบช่วงนั่นคือ ได้นำเอาส่วนของระยะห่างมาพิจารณาด้วย แต่มาตราวัดนี้จะต่างจากมาตราวัดแบบช่วงตรงที่มาตราวัดแบบนี้จะมีจุดเริ่มต้นที่แน่นอน หรือก็คือมีศูนย์ที่แท้นั่นเอง คือถ้าค่าที่วัดได้เป็นศูนย์ก็หมายความว่าไม่มีค่าอะไรเลย

2.3.6 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ

การแจกแจงแบบปกติมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการแจกแจงแบบเก๊าส์เซียน (Gaussian Distribution) เป็นการแจกแจงที่มีความสำคัญมากและและนิยมใช้กันมากที่สุดสำหรับตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องเนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่มีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียง

ถ้าให้ x เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายตัวเป็นเส้นโค้งปกติแล้วจะเรียก x ว่าเป็นตัวแปรสุ่มปกติแบบปกติ ที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และความแปรปรวน คือ σ^2

คุณสมบัติของการแจกแจงแบบปกติ

1. กราฟมีจุดยอดเพียงจุดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โค้งปกติจะมีลักษณะสมมาตร โดยมีค่าเฉลี่ยเป็นจุดกึ่งกลาง ซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็นสองส่วน โดยที่ครึ่งหนึ่งจะอยู่ทางซ้ายของจุดกึ่งกลางและอีกครึ่งหนึ่งของพื้นที่ใต้โค้งปกติจะอยู่ทางขวาของจุดกึ่งกลาง
3. ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และฐานนิยมจะเท่ากันและอยู่ที่จุดกึ่งกลาง
4. พื้นที่ใต้โค้งปกติจะมีค่าเท่ากับ 1

2.3.7. การแจกแจงแบบ F

การแจกแจงแบบ F เป็นการแจกแจงของตัวแปรเชิงสุ่มที่สร้างจากการแจกแจงแบบไคสแควร์ ดังนิยามต่อไปนี้คือ

ให้ U และ V เป็นตัวแปรเชิงสุ่มที่มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ พร้อมด้วยองศาความเป็นอิสระ เท่ากับ ν_1 และ ν_2 ตามลำดับถ้า UและVเป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระต่อกันแล้วตัวแปรเชิงสุ่ม $F = \frac{U/\nu_1}{V/\nu_2}$ จะมีการแจกแจงแบบ F พร้อมด้วยองศาความเป็นอิสระเท่ากับ ν_1 และ ν_2 ตามลำดับ

คุณสมบัติของการแจกแจงแบบ F

1.ตัวแปร F มีค่าตั้งแต่ 0 - ∞

2.โค้งการแจกแจงมีลักษณะเบ้ขวาโดยขึ้นอยู่กับองศาความเป็นอิสระ ν_1 และ ν_2

2.3.8 หลักการวิเคราะห์การถดถอย

หลักการวิเคราะห์การถดถอย หมายถึงกลวิธีทางสถิติหนึ่งที่ใช้วินิจฉัยและสร้างตัวแบบสำหรับความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ให้ความสนใจ โดยที่ค่าถดถอย (Regression) จุดที่ข้อมูลมีแนวโน้มจะถดถอยเข้าหา ซึ่งจะมีความหมายเป็นค่าที่ควรจะเป็นของตัวแปรตอบสนองภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

ตัวแบบโดยทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยนี้ได้มาจากการกำหนดตัวแปรอิสระจำนวน k ตัว ซึ่งจะต้องเป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ โดยจะเรียกตัวแปรนี้ว่าตัวแปรถดถอย (Regressor) หรือ ตัวทำนาย (predictor) และเมื่อทำการกำหนดค่าของตัวแปรถดถอยค่าหนึ่งๆ แล้วจะทำการศึกษาถึงค่าของตัวแปรตามที่มีลักษณะของตัวแปรสุ่มและจะเรียกตัวแปรประเภทนี้ว่าตัวแปรตอบสนอง

ปกติแล้วตัวแปรตาม Y อาจเกี่ยวข้องกับตัวแปรถดถอย k ตัวซึ่งมีแบบจำลองคือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots\ldots B_k x_k$$

ซึ่งสมการรูปแบบนี้เรียกว่าแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่มีตัวแปรถดถอย K ตัว (Multiple Linear Regression model with k Regressor Variables) พารามิเตอร์ β_j j = 0 , 1 …k ถูกเรียกว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

2.3.9 หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นเป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป ซึ่งจะให้ผลดีและถูกต้องกว่าการนำค่าเฉลี่ยที่ต้องการเปรียบเทียบทีละคู่ โดยใช้ Z – test หรือ t – test เพราะถ้าทำการเปรียบเทียบที่ละคู่จะทำให้โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type 1 error, α) เพิ่มขึ้นเมื่อมีการทดสอบหลายๆครั้งแทนที่จะทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพียงครั้งเดียว การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้สถิติ F ในการทดสอบ ซึ่งสถิติ F เป็นตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มว่าเท่ากันหรือแตกต่างกันโดยที่หลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวนก็คือ การพิจารณาความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ถ้าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่าเท่ากับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ก็จะส่งผลว่าค่าเฉลี่ยแต่ละประชากรไม่แตกต่างกัน ($\mu = \mu_2 = \ldots\ldots = \mu_1$) แต่ถ้ามีความแตกต่างกันนั้นคือค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มจะมีค่ามากกว่าค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มก็จะส่งผลว่าค่าเฉลี่ยของประชากรแตกต่างกัน ยิ่งค่าเฉลี่ยของแต่ละประชากรแตกต่างกันมากเท่าไรก็ยิ่งส่งผลให้ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่ามากกว่าค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มเท่านั้น หรือก็คือทำให้สถิติ F ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มยิ่งมีค่ามากขึ้น สถิต 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 ($X_1, X_2, \ldots\ldots, X_n$)

$$Y_{ij} = \mu + x_i + \varepsilon_{ij}$$

โดยที่ข้อมูลของตัวแปรตามนั้นจะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ข้อจากมาตรวัดและแบบอัตราส่วนในขณะที่ข้อมูลจากตัวแปรอิสระจะเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยสมการทางสถิติที่แสดงถึงความสัมพันธ์ (Model) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์ถดถอย (Regression) จะคล้ายกัน แต่ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะต่างกับการวิเคราะห์ถดถอยตรงที่การวิเคราะห์ถดถอยจะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรอิสระ ($X_1, X_2, \ldots, X_n$)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon_{ij}$$

ดังนั้นการที่จะเลือกวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิเคราะห์ถดถอย หรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนก็จะขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ (X) เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพหรือข้อมูลเชิงปริมาณถ้าเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพแล้วก็มักจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน

2.3.9.1 <u>ลักษณะของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน</u>

1. ข้อมูลจากการสำรวจ (Observation Data)

ข้อมูลประเภทนี้อาจเป็นข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) หรือข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ก็ได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลทางด้านสังคมศาสตร์ ข้อมูลประนี้ผู้เก็บรวบรวมจะกำหนดหรือควบคุมตัวแปรอิสระให้เป็นไปตามความต้องการได้ยาก ดังนั้นผลสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากข้อมูลประเภทนี้จึงควรระมัดระวังให้ดี เพราะอาจได้ผลสรุปที่มีความน่าเชื่อถือได้น้อยก็ได้

2. ข้อมูลจากการทดลอง

ข้อมูลประเภทนี้เก็บรวบรวมได้จากการทำการทดลอง ซึ่งผู้ทดลองสามารถกำหนดตัวแปรอิสระและควบคุมการทดลองได้เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ดังนั้นผลสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากข้อมูลประเภทนี้ จึงมีความน่าเชื่อถือได้มากกว่าผลสรุปจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

2.3.10 การวางแผนการทดลอง

การทดลอง (Experiment) หมายถึง กระบวนการที่ใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ในการค้นคว้าหาคำตอบโดยมีการวางแผนไว้ล่วงหน้า ซึ่งการทดลองแยกได้เป็น 3 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทดลองพื้นฐาน (Preliminary Experiment) คือการทดลองขั้นพื้นฐานที่ทำขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลขั้นต้นมาและจะใช้ผลหรือข้อมูลเบื้องต้นที่ได้มาทำการศึกษาครั้งต่อไปเพื่อให้เกิดความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2. การทดลองวิกฤต (Critical Experiment) เป็นการทดลองอย่างจริงจัง โดยการทดลองที่ว่านี้จะมีการวางแผนไว้ล่วงหน้าเพื่อพยายามที่จะศึกษาถึงอิทธิพลของสิ่งที่เราสนใจว่ามีผลต่อข้อมูลที่พิจารณาหรือไม่อย่างไร

3. การทดลองเฉพาะจุด (Demonstrational Experiment) เป็นการทดลองที่ต้องการจะแสดงให้เห็นถึงรูปแบบเพื่อที่จะแสดงจุดสำคัญบางอย่าง

ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ประเภทนี้ การทดลองที่ 2 จะมีความสำคัญที่สุดในการศึกษา แต่ในบางครั้งก่อนที่ทำการทดลองประเภทที่ 2 ก็จะต้องทำการทดลองประเภทที่ 1 นำรองมาก่อนเพื่อนำผลที่ได้มาปรับปรุงหรือจัดรูปแบบที่เหมาะสมต่อการทดลองประเภทที่ 2 ต่อไป และการทดลองที่ดีนั้นควรจะมีการกำหนดขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง เพื่อหลีกเหลี่ยงความยุ่งยากที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อทำการทดลองแล้ว

2.3.11 ความหมายของคำต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

1. สิ่งทดลอง (Treatment) หมายถึง วิธีการหรือกระบวนการที่กระทำกับหน่วยทดลอง (Experimental Unit) หรือจะเป็นอิทธิพลสิ่งที่เราสนใจจะศึกษาก็ได้

2. หน่วยทดลอง (Experimental Unit) หมายถึง หน่วยของวัสดุ หรือวัสดุทดลองที่ได้สิ่งทดลองเดียวกันและพร้อมกัน

3. ปัจจัย (Factor หรือ Class of Treatment) เป็นตัวแปรอิสระที่สนใจศึกษาว่ามีความสัมพันธ์หรือมีผลกระทบต่อตัวแปรหรือไม่อย่างไร ซึ่ง Factor หนึ่งจะประกอบด้วย Treatment หลาย Treatment

4. ระดับปัจจัย (Factor Level หรือ Treatment Within) เป็นประเภทต่างๆของปัจจัยที่กำลังศึกษาอยู่ ซึ่งก็คือแต่ละ Treatment ภายใน Factor

5. ปัจจัยคงที่และปัจจัยสุ่ม (Fixed Factor and Random Factor) ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจะต้องทำความเข้าใจว่าปัจจัยที่กำลังศึกษานั้นเป็นปัจจัยคงที่หรือปัจจัยสุ่ม ซึ่งปัจจัยสุ่มหมายถึง ปัจจัยที่ระดับของปัจจัย (Level) ที่นำมาศึกษาจัดเป็นบางส่วนของระดับที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัจจัยนั้น ส่วนปัจจัยคงที่หรือปัจจัยกำหนดก็จะตรงกันข้ามกับปัจจัยสุ่มคือ ปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่นำมาศึกษาจัดเป็นจำนวนระดับที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัจจัยนั้น

6. หน่วยย่อยหรือหน่วยตัวอย่าง (Samping Unit) เป็นหน่วยย่อยในหน่วยทดลอง (Experimental Unit)

7. ผลตอบสนอง (Yield หรือ Response) คือสิ่งที่วัดได้จากหน่วยทดลอง หรือ ก็คือผลจากสิ่งทดลอง (Treatment) ที่กระทำต่อหน่วยทดลองนั้นๆ

8. การจัดกลุ่ม (Block) เป็นการจัดกลุ่มของหน่วยทดลองที่มีความผันแปรในหน่วยทดลองเองก่อนที่จะมีการกำหนดสิ่งทดลองให้ ซึ่งสาเหตุของความผันแปรจะต้องมีเพียงสาเหตุเดียว ดังนั้นการจัดกลุ่มจึงกระทำไปในทิศทางเดียวโดยหลักในการจัดกลุ่มก็คือหน่วยทดลองที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะจัดให้มีความสม่ำเสมอกันหรือเหมือนกันมากที่สุด และหน่วยทดลองที่อยู่ต่างกันจะจัดให้มีความแตกต่างกันมากที่สุด ในกรณีที่ขนาดของบล็อก (k) เท่ากับจำนวน Treatment (t) นั้นเราเรียกว่าบล็อกสมบูรณ์ ซึ่งในแต่ละบล็อกจะมีจำนวนสิ่งทดลองครบทุกสิ่งทดลอง

9. ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (Experimental Error) เป็นผลต่างของผลตอบสนอง (Response) ของหน่วยทดลองที่ได้รับสิ่งทดลองเดียวกัน ภายใต้สถานการณ์ของการทดลองเดียวกัน ผลน่าจะออกมาเหมือนกันแต่กลับได้ผลที่ไม่เหมือนกัน นั้นคือ มีความแปรปรวนเกิดขึ้นซึ่งเราเรียกผลต่างนี้ว่า ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง โดยความผันแปรที่ว่านี้เกิดจากสาเหตุใหญ่ๆ 2 สาเหตุคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.1 ความผันแปรที่มีอยู่ในตัวหน่วยทดลองเอง (ความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม : Random Error)

9.2 ความผันแปรที่เกิดขึ้นในขณะทดลอง (ความคลาดเคลื่อนที่ไม่เชิงสุ่ม : Non-random Error) เกิดจากความแตกต่างของความไม่คงที่ของการทดลอง การขาดความสม่ำเสมอในวิธีปฏิบัติ

ความคลาดเคลื่อนในการทดลองต้องควบคุมให้อยู่ในระดับต่ำเพื่อจะให้ได้ผลการทดลองที่มีความเที่ยงตรงสูง (Accuracy) ซึ่งความผันแปรประเภทแรกสามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการพยายามเลือกให้หน่วยทดลองที่สม่ำเสมอกัน หรือเลือกแผนทดลองที่เหมาะสม ส่วนความผันแปรประเภทหลังสามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการเพิ่มความระมัดระวังในการทดลองให้มากขึ้นและพยายามควบคุมปัจจัยภายนอกที่อาจมีผลกระทบต่อการทดลองให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

10. การสุ่ม (Randomization) คือวิธีการที่จะกำหนดสิ่งทดลองให้แก่หน่วยทดลองโดยที่ทุกหน่วยของการทดลองจะมีโอกาสได้รับสิ่งทดลองแต่ละสิ่งทดลองเท่าๆกัน หรือเพื่อที่จะลดความเอนเอียง (Bias) อันเกิดจากตัวผู้ทดลองเอง

11. การทำซ้ำ (Replication) คือการที่สิ่งทดลองหนึ่งๆจะปรากฏในการทดลองเดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้ง หรือก็คือการจัดสิ่งทดลองหนึ่ง ๆ ลงในหน่วยทดลองมากกว่าหนึ่งหน่วยโดยที่จำนวนครั้งที่สิ่งทดลองนั้นๆ ปรากฏในการทดลองจะเรียกว่า จำนวนซ้ำ

12. รูปแบบทางสถิติ (Statistical Model) คือสมาการที่ใช้อธิบายว่ามีปัจจัย (Factor) ใดบ้าง (ตัวแปรอิสระ) ที่มีผลกระทบต่อลักษณะที่ใช้ศึกษา (ตัวแปรตาม Y) การมีรูปแบบทางสถิติจะช่วยให้สามารถกำหนดวิธีวิเคราะห์ข้อมูลได้ กล่าวคือให้ทราบว่า ความแปรปรวนทั้งหมดในข้อมูลจะถูกแยก (Partition) เป็นส่วนต่างอย่างไรบ้างเช่น

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

จากโมเดลแสดงว่ามี 1 ปัจจัยที่กำลังศึกษา (τ) ความผันแปรก็แยกออกมา 1 ส่วน

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \rho_j + \varepsilon_{ij}$$

จากโมเดลแสดงว่ามี 2 ปัจจัยที่กำลังศึกษา (τ และ ρ) ความผันแปรก็แยกออกมา 2 ส่วน

13.ข้อกำหนดของการวิเคราะห์ (Assumption) เป็นข้อกำหนดหรือเงื่อนไขในการใช้เทคนิคทางสถิติแต่ละวิธีโดยทั่วไปจะสร้างขึ้นโดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ และลักษณะการแจกแจง ผลสรุปของการวิเคราะห์จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อข้อมูลมีลักษณะตามเงื่อนไขที่กำหนด การวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่มีลักษณะตามเงื่อนไขที่กำหนดจะมีผลกระทบต่อระดับนัยสำคัญ (Level of Significance) และอำนาจของการทดสอบ (Power of Test) โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ได้จากการใช้แผนทดลองแบบต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้คือ

13.1 ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง จะต้องเป็นตัวแปรสุ่ม ที่มีการแจกแจงแบบปกติอิสระจากกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่าศูนย์และความแปรปรวนเท่ากัน

13.2 อิทธิพลของสิ่งทดลอง และอิทธิพลอื่นๆ จะต้องเกิดในรูปของผลบวก (Additive Effect) ในการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

ฉะนั้นก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลควรจะได้รับการตรวจสอบก่อนว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ในกรณีที่ข้อมูลเป็นไปตามข้อกำหนด ก็อาจแก้ไขได้ตามวิธีต่อไปนี้

13.2.1 ทำการแปลงข้อมูล (Transformation of Data) ในการแปลงข้อมูลคือการนำเอาข้อมูลเดิม (เลขจำนวนจริง) ที่มีอยู่มาเปลี่ยนแปลงให้เป็นข้อมูลทางคณิตศาสตร์รูปแบบอื่นๆ

13.2.2 การใช้การวิเคราะห์แบบไม่ใช้พาราเมตริก (Nonparametric Methods) วิธีการวิเคราะห์แบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีข้อกำหนดเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์และลักษณะการแจกแจงของประชากรเหมือนกับวิธีการวิเคราะห์แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาราเมตริก แต่การวิเคราะห์ไม่ใช้พาราเมตริกนี้ โดยทั่วไปแล้วจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า และมีข้อกำหนดในการใช้ ดังนั้น เราจึงเลือกใช้ก็ต่อเมื่อพบว่าข้อมูลฝ่าฝืนข้อกำหนดของการวิเคราะห์อย่างรุนแรงและการแปลงข้อมูลใช้ไม่ได้ผล

2.3.12 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

การทดลองแบบ แฟคทอเรียล เป็นการศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป หมายถึงการทดลองที่พิจารณา ถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้นๆ ซึ่งการออกแบบการทดลองที่ใช้ในปริญญานิพนธ์จะอยู่ในลักษณะของ รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ในกรณีที่มีปัจจัย A จำนวน a ระดับ ปัจจัย B จำนวน b ระดับ ปัจจัย C จำนวน c ระดับ ต่อไปเช่นนี้เรื่อยๆ และทั้งหมดนี้ถูกจัดให้อยู่ในลักษณะของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลซึ่งจะมีจำนวนข้อมูลที่ได้ทั้งหมดเท่ากับ abc…n และจะต้องมีเรพลิเคต อย่างน้อย 2 เรพลิเคต เพื่อจะทำให้สามารถหาค่าผลรวมกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาดได้ถ้าอันตรกิริยาที่เป็นไปได้ทั้งหมดถูกนำเข้าไปพิจารณาในแบบทดลอง

ถ้าปัจจัยทั้งในการทดลองเป็นแบบตายตัวเราสามารถที่จะคิดสูตรและทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับผลหลักได้โดยง่ายสำหรับแบบจำลองแบบผลตายตัว ตัวทดสอบเชิงสถิติสำหรับผลหลักและอันตรกิริยาสามารถหาได้โดยสร้างค่ากำลังสองเฉลี่ยของสิ่งนั้นขึ้นแล้วหารด้วยค่ากำลังเฉลี่ยของความผิดพลาด การทดสองสมมุติฐานจะใช้ F–test แบบทดสอบปลายบนหนึ่งด้าน จำนวนระดับขั้นความเสรีของสำหรับผลหลักของปัจจัยใดๆมีค่าเท่ากับระดับของปัจจัยนั้นลบด้วย 1 และจำนวนขั้นความเสรีของอันตรกิริยามีค่าเท่ากับผลคูณของระดับขั้นความเสรีของส่วนประกอบของอันตรกิริยานั้นๆ

ข้อดีของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1. ในกรณีที่แต่ละปัจจัยเป็นอิสระต่อกัน (ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน) ค่าของอิทธิพลเดี่ยวจะเท่ากับค่าของอิทธพลหลักจึงใช้เฉพาะอิทธิพลหลักในการอธิบายบทบาทของปัจจัยนั้นได้ และมีความแม่นยำเท่ากัน เสมือนผู้ทดลองใช้แต่ละปัจจัยในการทำการทดลองเท่านั้น

2.ในกรณีที่แต่ละปัจจัยมีอิทธิพลร่วมก็จะทำให้สามารถศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆไปพร้อมกันได้และรู้ถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านั้นด้วยทำให้สรุปผลได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

ข้อเสียของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1. เมื่อจำนวนของปัจจัยมากขึ้นหรือระดับของปัจจัยมากขึ้นจะทำให้การทดลองมีขนาดใหญ่ทำให้ความแปรปรวนในการทดลองมีมากขึ้น

2. การทดลองขนาดใหญ่จะแปรผลได้ยากโดยเฉพาะเมื่อแต่ละปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน

2.3.13 ขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง

การทดลองที่ดีควรมีการวางแผนไว้ล่วงหน้าเพื่อช่วยทำให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพสามารถตอบวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้ครบถ้วน ให้ได้ผลสรุปที่เที่ยงตรงและประหยัดค่าใช้จ่ายตลอดจนสามารถลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ซึ่งขั้นตอนในการวางแผนทดลองแยกได้ดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลอง
2. ทำการเลือกสิ่งทดลองที่จะใช้ในการทดลอง
3. ทำการเลือกหน่วยทดลองและกำหนดขนาดของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการเลือกแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพ

5. ดำเนินการทดลอง

6. ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในขั้นตอนการดำเนินงานนี้จะแบ่งออกเป็น ส่วนสำคัญหลักๆ ประกอบไปด้วย ส่วนของ การออกแบบการทดลอง และการทดลองกลึงและเก็บผล ซึ่งแต่ละส่วนจะกล่าวในหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานนี้ ในขั้นต้นทำการพิจารณาจากความเชื่อว่าปัจจัยในงานกลึง คือ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน ระยะป้อนลึก และสารหล่อเย็น มีผลต่อค่าความแข็งผิวของชิ้นงานกลึง โดยใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบสุ่มสมบูรณ์เนื่องจากหน่วยทดลองมีความสม่ำเสมอกัน

กำหนด ให้การทดลองมี 4ปัจจัย ดังนี้

1. ความเร็วตัด มี 3 ระดับ
2. อัตราการป้อน มี 3 ระดับ
3. ความลึกในการตัด มี 3 ระดับ
4. น้ำหล่อเย็น มี 2 ระดับ

โดยชิ้นงานที่ถูกทำการตัดเฉือน และมีคกลึงไม่ถือเป็นปัจจัยในการศึกษาในครั้งนี้

การทดลองจะใช้จำนวนซ้ำ (r) เท่ากันทุกทรีทเมนต์ คำนวณได้จาก สูตร

$$df\ error = t(r-1) \qquad (3.1)$$

t = จำนวนทรีทเมนต์

r = จำนวนซ้ำ

df error = องศาอิสระของความคลาดเคลื่อน

การหาจำนวนซ้ำที่เหมาะสมอย่างน้อยที่สุด ค่าของ df error ไม่ควรต่ำกว่า 12 ทั้งนี้เพราะ ถ้าค่า df error มีค่าต่ำ ประสิทธิภาพในการตรวจสอบหาความแตกต่างระหว่าง สิ่งทดลองจะต่ำไปด้วย (สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์. 2542)

จำนวนทรีทเมนต์ $= 3 \times 3 \times 3 \times 2 = 54$ ทรีทเมนต์

ดังนั้น
$$12 = 54(r-1) \qquad (3.2)$$
$$r = 1.22$$
$$r \geq 2$$

จำนวน ซ้ำที่เหมาะสมสำหรับการทดลองคืออย่างน้อย 2 ซ้ำ ซึ่งในการทดลองจะใช้จำนวนซ้ำ 3 ซ้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทดลอง ดังนั้นจึงใช้ชิ้นงานทดสอบทั้งสิ้นจำนวน 54 x 3 = 162 ชิ้น

ซึ่งการออกแบบตารางการเก็บผลการทดลองจะใช้โปรแกรม Minitab Release 13 เพื่อสร้างตารางการเก็บผล ซึ่งโปรแกรมจะทำการเลือกระดับของปัจจัยต่าง ในแต่ละหน่วยทดลองเป็นแบบสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 เหล็กกล้าเพลากลม AISI 1045

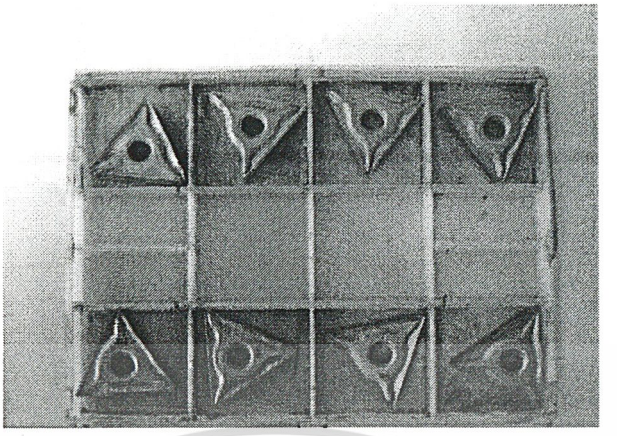
เหล็กกล้าเพลากลม AISI 1045 หรือ เหล็กหัวแดง เหล็กเกรดนี้จัดเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่นิยมใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆเช่น เพลาหรือสลักเกลียว ซึ่งมีคุณสมบัติคือ ทุบขึ้นรูปได้ดี และสามารถชุบได้แข็ง โดยใช้มากในวงการอุตสาหกรรม และหาซื้อได้ง่าย โดยเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแข็งของชิ้นงานเท่ากับ 207 HB

3.1.1.2 มีดกลึง

มีดกลึง (Cutting Tool) เป็นสิ่งที่สำคัญในการตัดเฉือนโลหะ มีดกลึงที่จะใช้ในการทดลองจะต้อง มีผลกระทบในการทดลองให้น้อยที่สุด เนื่องจากในการทดลองมิได้พิจารณามีดกลึงเป็นปัจจัยในการทดลอง จึงเลือกใช้มีดกลึงชนิด Insert ซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนคมตัดได้ ซึ่งมีข้อดีคือคือ มีรูปแบบ รูปทรงที่แน่นอนจึงไม่ต้องทำการลับความคมของมีดกลึง ในการทดลองจะใช้ Insert ชนิดทังสเตนคาร์ไบด์ เคลือบผิวด้วยไทนาเนี่ยมไนไตรด์ (Tin) ซึ่งใช้อย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เพราะมีความแข็ง มีอายุของมีดกลึงสูงกว่ามีดกลึง High Speed Steel : HSS โดยจะใช้ยี่ห้อ WIDIA รุ่น TNMG 160404-26

รูปที่ 3.1 มีดกลึงที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

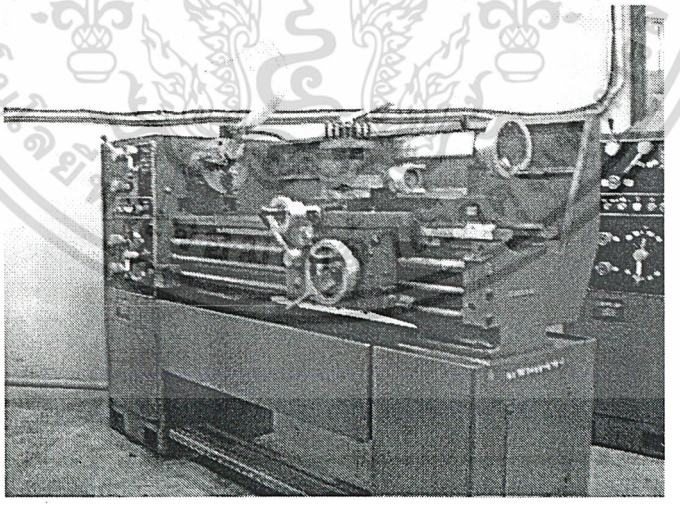


รูปที่ 3.2 Insert ที่ใช้ในการทดลอง

เพื่อให้มีดกลึงมีผลกระทบในการทดลองน้อยที่สุดใช้ Insert จำนวน 8 เม็ด ซึ่งมีคมตัดทั้งหมด 48 คมตัดแล้วทำการสุ่มเลือกใช้คมตัด กับแต่ละหน่วยทดลองเพื่อลดความผันแปรในเรื่องการสึกหรอของมีด โดยจะมีการบันทึกเวลาในการทำงานของแต่ละคมตัดซึ่งถูกสุ่มขึ้นมาใช้งาน

3.1.1.3 เครื่องกลึง

เครื่องกลึงที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบบ Manual ยี่ห้อ LIANG DIA รุ่น LD 1540A ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถใช้อัตราป้อนแบบ อัตโนมัติได้



รูปที่ 3.3 เครื่องกลึงที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.4 เครื่องทดสอบความแข็ง

ใช้การทดสอบความแข็งแบบรอคเวล (Rockwell Hardness Test) เพราะทดสอบง่าย รวดเร็วและสามารถทราบค่าความแข็งได้โดยตรงจากเครื่อง โดยเลือกใช้ใน สเกล B เพื่อให้เหมาะสมกับความแข็งของชิ้นงานทดสอบคือ เหล็กกล้า AISI 1045 โดยเครื่องที่ใช้เป็นยี่ห้อ AKASHI รุ่น ARK- B

รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบความแข็งที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2 การเลือก ระดับของปัจจัย

ในการเลือกระดับของปัจจัยนั้น พิจารณาจากวัสดุที่ใช้ทดสอบ และมีดกลึงที่ใช้ โดยเลือกค่าของแต่ละปัจจัยจากคู่มือของมีดกลึงและตำราทฤษฎีปฏิบัติงานกลึง ซึ่งจะต้องสามารถปฏิบัติงานได้จริงเนื่องจากข้อจำกัดที่เครื่องกลึงที่ใช้เป็นแบบ Manual

3.1.2.1.ความเร็วตัด

หาได้จากตารางความเร็วตัดจากหนังสือปฏิบัติงานกลึงทั่วไป ค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมระหว่างมีดกลึงทังสเตนคาร์ไบต์กับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง อยู่ในช่วง 60-120 เมตร/นาที (ไพโรจน์ สุยสุวรรณ, 2527) ซึ่งเครื่องกลึงที่ใช้ทำการทดลองไม่สามารถปรับความเร็วตัดได้โดยตรง จึงต้องทำการแปลงความเร็วตัดเป็นความเร็วรอบ โดยเลือกความเร็วตัดมา 3 ระดับ คือ 60, 90 และ 120 เมตร/นาที

$$\text{จาก} \quad v = \frac{\pi d n}{1000} \qquad (3.3)$$

โดยที่ v = ความเร็วตัด (เมตร/นาที)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

n = ความเร็วรอบของหัวจับ (รอบ/นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลองมี เส้นผ่านศูนย์กลางเท่าดันทุกชิ้นคือ 30 มิลลิเมตร จึง ทำการคำนวณความเร็วรอบได้ดังนี้

60 เมตร/นาทีเท่ากับ 636.62 รอบ/นาที

90 เมตร/นาทีเท่ากับ 954.93 รอบ/นาที

120 เมตร/นาทีเท่ากับ 1273.24 รอบ/นาที

เลือกใช้ความเร็วรอบที่เครื่องกลึง 3ระดับคือ 680 รอบ/นาที 935รอบ/นาที และ 1300 รอบ/นาที

3.1.2.2 อัตราการป้อน เลือกจากตารางของบริษัทผู้จำหน่ายมีดกลึงคือ 0.044, 0.051, 0.061 มิลลิเมตร/รอบ

3.1.2.3 ระยะป้อนลึก เลือกจากตารางของบริษัทผู้จำหน่ายมีดกลึงคือ 0.5, 1.25 , 2 มิลลิเมตร

3.1.2.4 สารหล่อเย็น ใช้ 2 ระดับตายตัวคือ ใช้และไม่ใช้สารหล่อเย็น ซึ่งสารหล่อเย็นที่ใช้คือน้ำมันหล่อเย็น ยี่ห้อ TRANE รุ่น T909 โดยผสมกับน้ำที่อัตราส่วน 1: 20

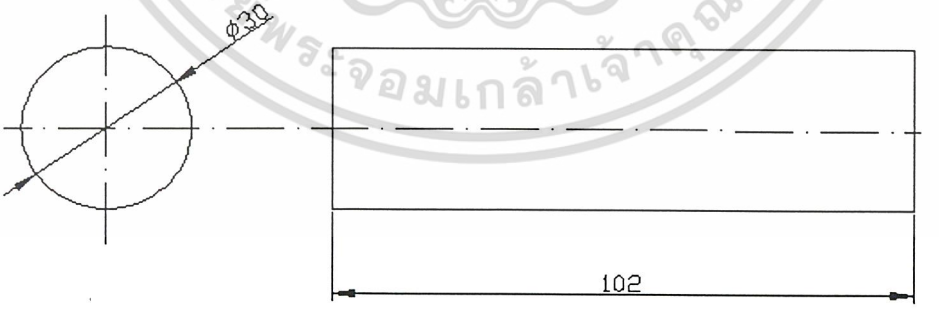
หลังจากได้ข้อมูลในการทดลองแล้วจึงทำการออกแบบตารางการทดลองขึ้นเพื่อใช้เก็บผลการทดลองซึ่งจะใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางสถิติสร้างขึ้นเพื่อให้การทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ อีกทั้งยังใช้ในการสุ่มคมคัดเพื่อใช้กลึงในแต่ละหน่วยทดลองด้วย ดังแสดงในตาราง ที่แสดงในส่วนผลการทดลอง

3.2 ทำการทดลอง และเก็บผล

เมื่อได้วัสดุ และอุปกรณ์ที่จะมาทำการทดสอบแล้ว จึงมีวิธีในการปฏิบัติงานดังนี้โดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ ดังนี้คือ ขั้นตอนการเตรียมงาน ขั้นตอนการปฏิบัติงาน และขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง

3.2.1 เตรียมชิ้นงาน

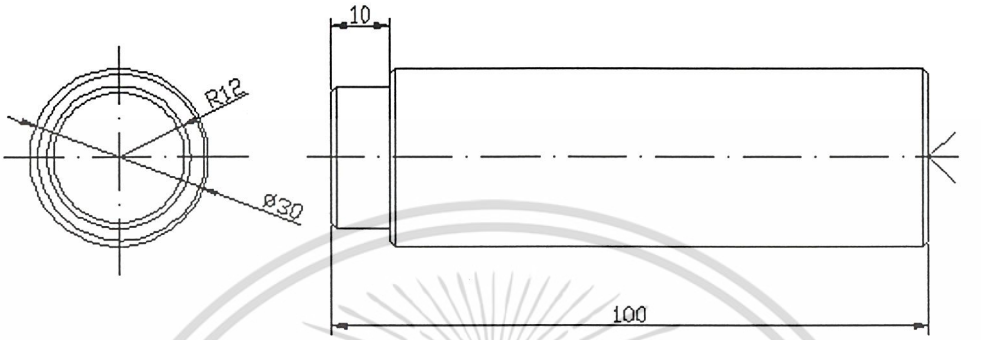
1. ตัดเหล็กเพลาที่ได้ จัดซื้อมาตัดเป็นท่อนๆ ให้มีขนาด 30 x 102 mm. จำนวน 162 ท่อน



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

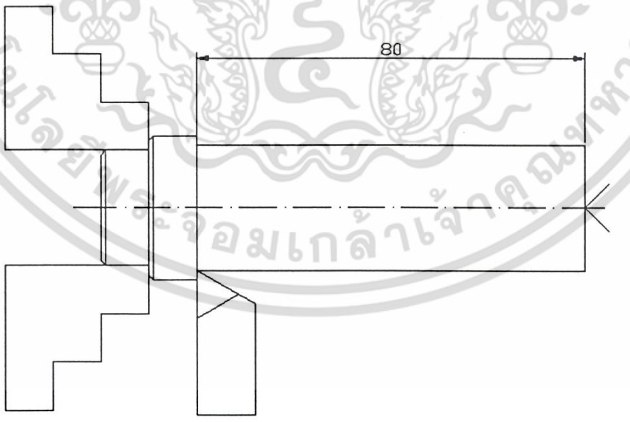
2. กลึงปาดหน้า ให้ได้ขนาด 30 x 100 mm. และเจาะรูยันศูนย์ จากนั้นกลึงตกบ่าด้านหนึ่งให้มีขนาดความลึก 10 x 24 mm. เพื่อเอาไว้จับงานเพื่อป้องกันการลื่นไถลขณะกลึงงาน



รูปที่ 3.6 ลักษณะการทำงาน

3.2.2 ทำการทดลอง

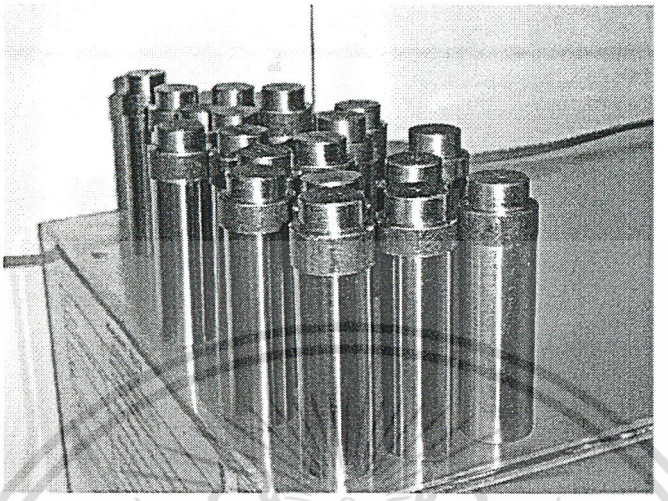
ทำการกลึงปอกชิ้นงานตามตารางการทดลองที่ออกแบบไว้ ดังตาราง ผก 1 โดยทำการปรับระดับของปัจจัยให้ตรงตามตารางการทดลองในแต่ละหน่วยทดลอง รวมถึงการใช้มีดกลึงให้ตรงตามที่ทำการสุ่มคมตัดไว้ล่วงหน้าก่อนการทดลอง



รูปที่ 3.7 ลักษณะการทำงาน

ในการกลึงชิ้นงานทดสอบทุกชิ้นจะต้องทำการจับเวลางานในการกลึงชิ้นงานทดลอง โดยจับเวลาตั้งแต่มีดกลึงเข้าแตะชิ้นงานทดสอบ จนถึงมีดกลึงออกจากการตัดเฉือนชิ้นงาน เพื่อบันทึกเวลา การทำงานของมีดกลึงแต่ละคมตัด เพื่อให้ทราบถึงเวลาที่ใช้ในการทำงานรวมของแต่ละคมตัด ซึ่งอายุการใช้งานและการสึกหรอของมีดกลึงอาจส่งผลกระทบต่อผิวของชิ้นงานจึงต้องบันทึกผลไว้เพื่อสรุปผลการทดลอง ดังตาราง ผข 2 ในการทดลองนั้นจะทำการกลึงจนครบ 162 ชิ้น แล้วทำการแช่น้ำมันเพื่อกันสนิม ก่อนที่จะนำไปทดสอบความแข็งต่อไป

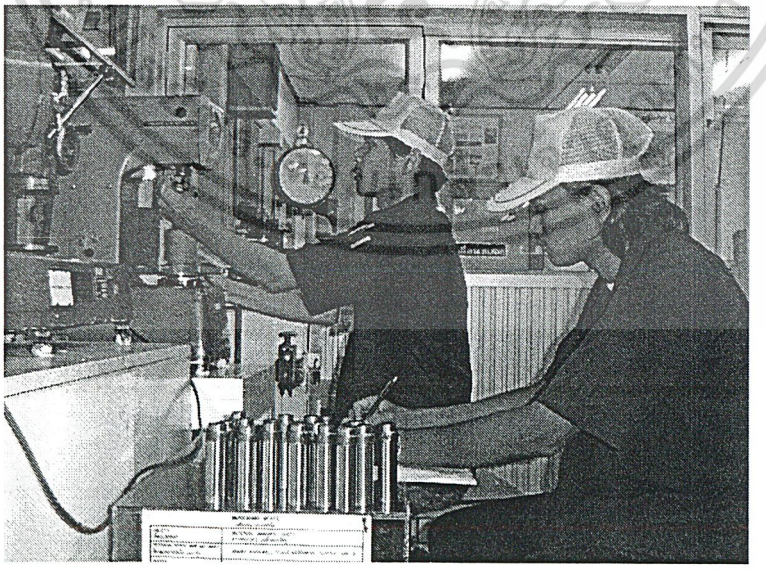
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ชิ้นงานที่ผ่านการกลึง

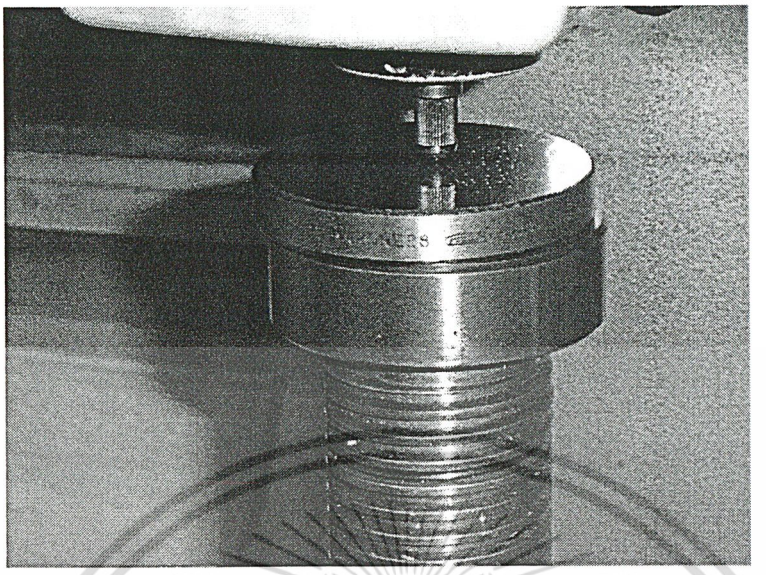
3.2.3 การเก็บผลการทดลอง

นำชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการกลึงไป ทดสอบความแข็ง 3 จุด ในการทดสอบความแข็ง 3 จุดนี้จะทำการการสุ่มโดยประมาณคือ ส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้ายของชิ้นงาน แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย 1 ค่าเป็นตัวแทนของแต่ละหน่วยทดลอง โดยในการเก็บค่าความแข็งนั้นต้องมีการ Calibrate หัวกดทุกครั้งเมื่อทดสอบชิ้นงานครบ 20 ชิ้น เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนอันเกิดมาจากความล้าของเครื่องทดสอบ



รูปที่ 3.9 การเก็บค่าความแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การ Calibrate หัวกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการดำเนินงาน

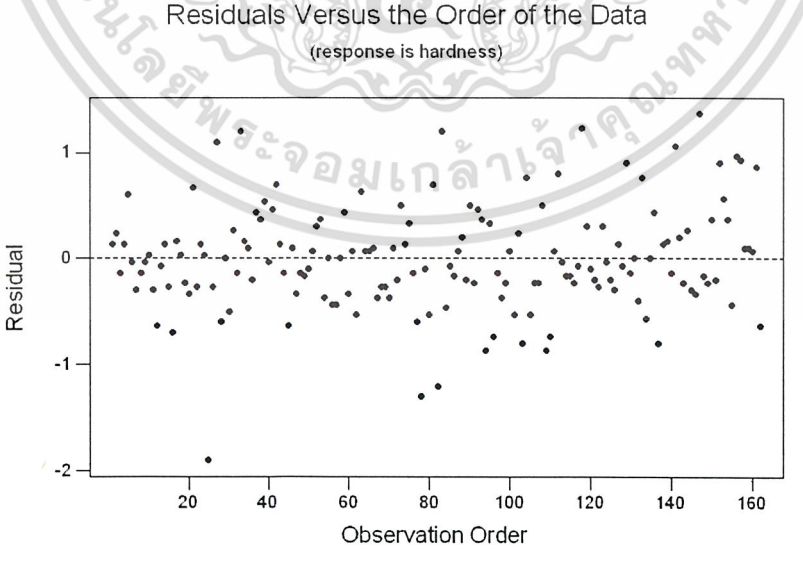
ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการกลึงชิ้นงานทดสอบและเก็บค่าความแข็งตามตารางการทดลองที่ออกแบบไว้แล้วเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในงานกลึงที่ส่งผลต่อค่าความแข็งผิวของชิ้นงานทดสอบ

4.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

จากตารางผลการทดลองการเก็บค่าความแข็ง ใช้โปรแกรม Minitab Release 13 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับช่วยคำนวณทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน

4.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

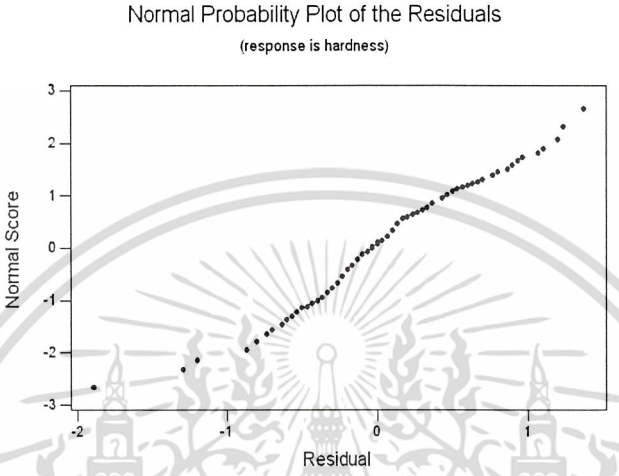
จากผลการทดลองที่ได้ ก่อนที่จะนำข้อมูลไป วิเคราะห์ความแปรปรวน จะต้องพิจารณาถึงความมีคุณภาพของข้อมูลที่เก็บมา โดยพิจารณาความเป็นอิสระของข้อมูล ความเป็นปกติ และความมีเสถียรภาพ เพื่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ ซึ่งทำได้โดยการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residuals) โดยอาศัยกราฟ ดังนี้



รูปที่ 4.1 กราฟส่วนตกค้างกับลำดับชิ้นงานที่เก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

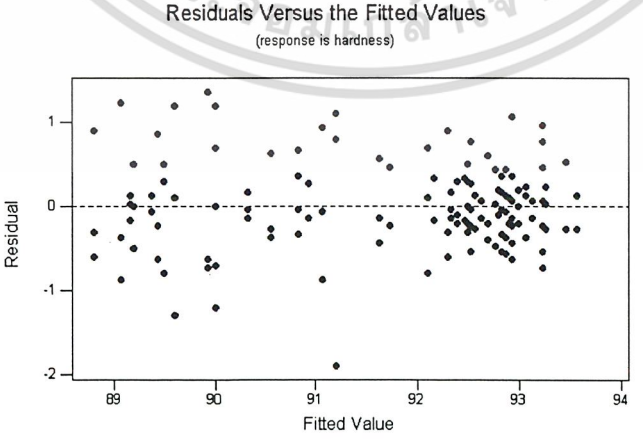
จากกราฟ ส่วนตกค้างกับลำดับชิ้นงานที่เก็บข้อมูล แสดงค่าส่วนตกค้างเมื่อพล็อตตามลำดับเวลาที่เก็บข้อมูล ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการหาความเกี่ยวพันระหว่างส่วนตกค้างถ้าแบบจำลองถูกต้องส่วนตกค้างจะต้องไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆ เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.1 พบว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกันและกระจายตัวอย่างสุ่ม ไม่แสดงแนวโน้มหรือรูปแบบแต่ประการใด



รูปที่ 4.2 Normal Probability Plot

จากนั้นทำการตรวจสอบสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูลเพื่อทดสอบดูว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ซึ่งสามารถทำได้โดยการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง ซึ่งหากสมมุติฐานถูกต้องแล้วกราฟที่พล็อตออกมาควรมีลักษณะคล้ายกับตัวอย่างที่ได้จากการแจกแจงแบบปกติ โดยจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง

พิจารณา จาก Normal Probability Plot ที่พล็อตได้จากการทดลองนี้พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลที่เก็บจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ หรือจะมีการกระจายตัวอย่างสมมาตรรอบค่าค่าหนึ่ง



รูปที่ 4.3 การพล็อตส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล หากแบบจำลองถูกต้องแล้วจากกราฟ ส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต ไม่ควรแสดงรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ จากรูป 4.3 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่มีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บผลเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในงานกลึงและความแข็งที่ผิวของชิ้นงานมีคุณภาพพอที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ เนื่องจากข้อมูลแต่ละตัวได้มาอย่างสุ่มและมีการกระจายตัวอย่างปกติและมีเสถียรภาพของความผันแปร

หลังจากพิจารณาถึงคุณภาพของข้อมูลว่ามีความต้องแล้วจึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีสมมุติฐานดังนี้

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

H_1 : อิทธิพลร่วมของ Speed *Depth of Cut * Feed *Coolant $\neq$ 0

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

H_1 : อิทธิพลร่วมของ Depth of Cut*Feed*Coolant $\neq$ 0

H_0 : อิทธิพลร่วมของ Speed*Feed*Coolant = 0

H_1 : อิทธิพลร่วมของ Speed*Feed*Coolant $\neq$ 0

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

H_1 : อิทธิพลร่วมของ Speed*Depth of Cut*Coolant $\neq$ 0

H_0 : อิทธิพลร่วมของ Feed*Coolant = 0

H_1 : อิทธิพลร่วมของ Feed*Coolant $\neq$ 0

H_0 : อิทธิพลร่วมของ Depth of Cut *Coolant = 0

H_1 : อิทธิพลร่วมของ Depth of Cut *Coolant $\neq$ 0

H_0 : อิทธิพลร่วมของ Speed*Coolant = 0

H_1 : อิทธิพลร่วมของ Speed*Coolant $\neq$ 0

H_0 : อิทธิพลร่วมของ Speed*Feed = 0

H_1 : อิทธิพลร่วมของ Speed*Feed $\neq$ 0

H_0 : อิทธิพลร่วมของ Speed*Depth of Cut = 0

H_1 : อิทธิพลร่วมของ Speed*Depth of Cut $\neq$ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_0 : อิทธิพลของ Coolant $= 0$

H_1 : อิทธิพลของ Coolant $\neq 0$

H_0 : อิทธิพลของ Feed $= 0$

H_1 : อิทธิพลของ Feed $\neq 0$

H_0 : อิทธิพลของ Depth of Cut $= 0$

H_1 : อิทธิพลของ Depth of Cut $\neq 0$

H_0 : อิทธิพลของ Speed $= 0$

H_1 : อิทธิพลของ Speed $\neq 0$

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการคำนวณโดยโปรแกรม สามารถสร้างตาราง ANOVA ได้ดังนี้

ANOVA: Hardness Versus Speed, Depth of Cut, Feed, Coolant

Factor	Type	Levels	Values
speed	fixed	3	680 935 1300
depth of	fixed	3	0.50 1.25 2.00
feed	fixed	3	0.044 0.051 0.061
coolant	fixed	2	1 2

Analysis of Variance for hardness

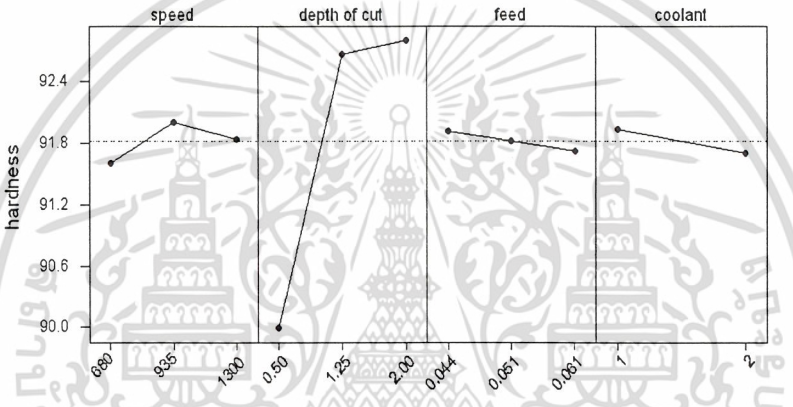
Source	DF	SS	MS	F	P
speed	2	4.4449	2.2225	6.09	0.003
depth of cut	2	271.8009	135.9004	372.27	0.000
feed	2	1.1001	0.5501	1.51	0.226
coolant	1	2.3232	2.3232	6.36	0.013
speed*depth of cut	4	5.6328	1.4082	3.86	0.006
speed*feed	4	1.6836	0.4209	1.15	0.336
speed*coolant	2	0.5664	0.2832	0.78	0.463
depth of cut*feed	4	14.8854	3.7214	10.19	0.000
depth of cut *coolant	2	0.7498	0.3749	1.03	0.362
feed*coolant	2	0.5298	0.2649	0.73	0.486
speed*depth of cut*feed	8	8.3209	1.0401	2.85	0.007
speed*depth of cut*coolant	4	1.3795	0.3449	0.94	0.441
speed*feed*coolant	4	3.1984	0.7996	2.19	0.075
depth of cut*feed*coolant	4	1.9528	0.4882	1.34	0.261
speed*depth of cut*feed*coolant	8	2.5535	0.3192	0.87	0.541
Error	108	39.4267	0.3651		
Total	161	360.5486			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่า P-value ในตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเห็นได้ว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความแข็งผิวของชิ้นงานกลึง ที่ระดับ 95% ความเชื่อมั่นคือ

- ความเร็วรอบ (Speed)
- ระยะป้อนลึก (depth of cut)
- น้ำหล่อเย็น (coolant)

นอกจากนี้ อันตรกิริยาระหว่าง Speed*Depth of Cut, Depth of Cut*Feed, และ Speed*Depth of Cut*Feed ก็ส่งผลต่อค่าความแข็งผิวของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ซึ่งสามารถ พล็อต กราฟ อิทธิพลหลัก และ อันตรกิริยาได้ดังนี้

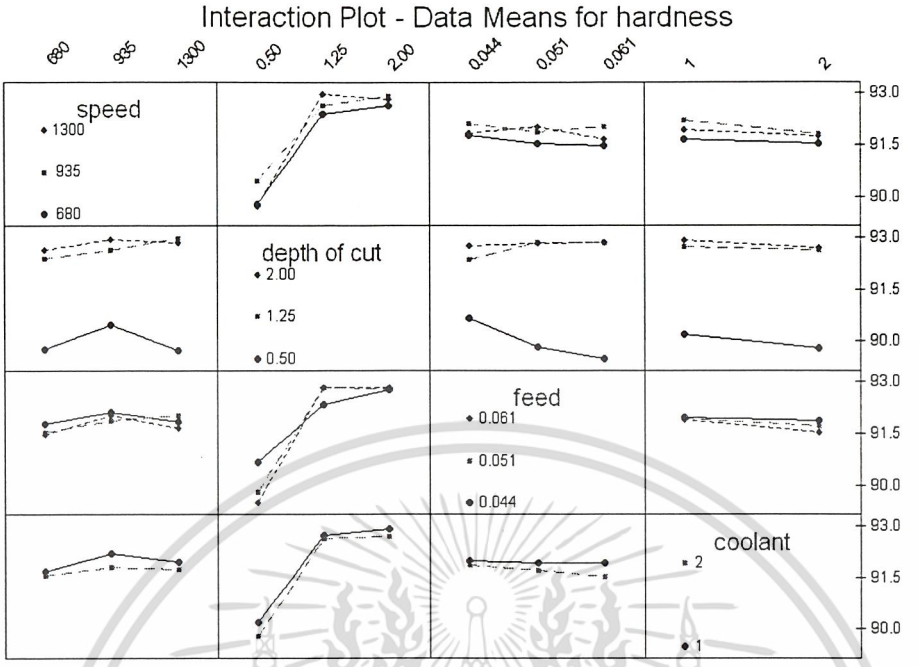


รูปที่ 4.4 อิทธิพลหลักของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อค่าความแข็ง

จากกราฟ อิทธิพลหลัก แสดงให้เห็นถึง Speed และ Depth of Cut ที่มีผลต่อค่าความแข็งผิวชิ้นงานในลักษณะเพิ่มขึ้น คือเมื่อค่าความเร็วรอบและระยะป้อนลึกเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งสองปัจจัยก็เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญในตาราง ANOVA ด้วย

ส่วนอีกสองปัจจัยคือ กราฟ อิทธิพลหลัก ของ Feed และ Coolant ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ความแข็งผิวลดลง คือเมื่ออัตราป้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งลดลง และถ้าเปิดน้ำหล่อเย็นจะทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งผิวลดลง แต่ถ้าพิจารณาผลต่างระหว่างค่าความแข็งที่ลดลงแล้ว พบว่าน้อยมากซึ่งเกินกว่าความละเอียดของ เครื่องวัดความแข็งที่จะแยกแยะความแตกต่างได้ กรณีที่ Coolant มีนัยสำคัญนั้นอาจมาจากการเก็บข้อมูลของแต่ละหน่วยทดลอง ซึ่งเก็บ 3 ค่าแล้วใช้ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นจุดทศนิยม ที่ละเอียดกว่าเครื่องวัดความแข็งที่ใช้เก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 อันตรกิริยาของปัจจัยต่างๆ

4.1.2 การวิเคราะห์การถดถอย

หลังจากทราบปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งผิวของชิ้นงานแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อสร้าง สมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับพยากรณ์ค่าความแข็งโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 13 ได้ผลดังนี้

Regression Analysis: Hardness versus Speed, Depth of Cut, Feed, Coolant

```
The regression equation is
hardness = 90.1 +0.000325 speed + 1.87 depth of cut - 11.7 feed - 0.240 coolant

Predictor         Coef      SE Coef         T         P
Constant       90.1331       0.6877    131.06     0.000
speed        0.0003245   0.0002944      1.10     0.272
depth of        1.8741       0.1223     15.32     0.000
feed           -11.75        10.74     -1.09     0.276
coolant        -0.2395       0.1498     -1.60     0.112

S = 0.9533      R-Sq = 60.4%     R-Sq(adj) = 59.4%

Analysis of Variance

Source            DF          SS          MS          F         P
Regression         4     217.879      54.470      59.94     0.000
Residual Error   157     142.670       0.909
Total            161     360.549
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม พิจารณาเฉพาะ ปัจจัยหลัก ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R- Squared) = 60.4% ซึ่งได้สมการการถดถอยดังนี้

Hardness = 90.1 +0.000325 Speed + 1.87 Depth of Cut - 11.7 Feed - 0.240 Coolant

โดยกำหนดให้เมื่อไม่ใช้ สารหล่อเย็น Coolant มีค่าเท่ากับ 1 และเมื่อใช้สารหล่อเย็น Coolant มีค่าเท่ากับ 2 ซึ่งจากสมการแสดงให้เห็นว่า เมื่อ ความเร็วรอบและ ระยะป้อนลึกมีค่ามากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นโดยถ้าให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 1 รอบ / นาที จะทำให้ความแข็งที่ผิวชิ้นงานเพิ่มขึ้น 0.000325 HRB ถ้าค่าระยะป้อนลึกเพิ่มขึ้น 1 มิลลิเมตรจะทำให้ความแข็งที่ผิวชิ้นงานเพิ่มขึ้น1.87HRB ถ้าค่าอัตราการป้อนเพิ่มขึ้น 1 มิลลิเมตร / รอบ จะทำให้ความแข็งที่ผิวชิ้นงานลดลง 11.7 HRB และถ้าเปิดสารหล่อเย็นจะทำให้ความแข็งลดลง 0.240 HRB

เมื่อได้ สมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับพยากรณ์ค่าความแข็งแล้ว จึงทำการทดลองเพื่อทดสอบความแม่นยำของ สมการ ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย โดยทำการทดลองเพิ่ม 18 ชิ้น ในระดับของปัจจัยที่อยู่ในช่วงของการทดลอง ข้างต้น แล้วเก็บค่าความแข็งผิวชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกการคำนวณโดยสมการ ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 การทดสอบความแม่นยำของของ สมการการถดถอย

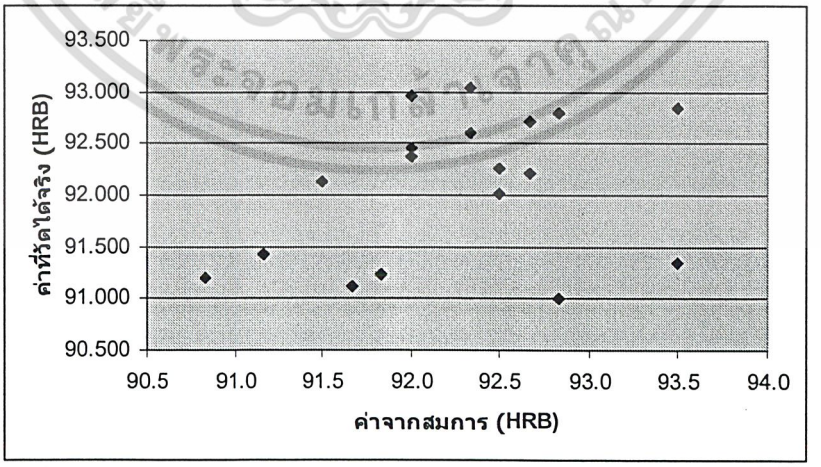
NO.	speed (rpm)	depth of cut(mm)	feed(mm)	coolant	Response (HRB)			$\overline{X}$ (HRB)	ค่าจากสมการ (HRB)
1	680	1	0.044	1	91	91.5	91	91.2	91.436
2	935	1.5	0.044	1	91.5	92.5	92	92.0	92.454
3	1300	1.75	0.044	1	92.5	92	92.5	92.3	93.040
4	680	1	0.051	1	93	94	93.5	93.5	91.354
5	935	1.5	0.051	1	92	92	92	92.0	92.372
6	1300	1.75	0.051	1	92	92	92	92.0	92.958
7	680	1	0.061	1	91	92.5	92	91.8	91.237
8	935	1.5	0.061	1	92	92.5	93	92.5	92.255
9	1300	1.75	0.061	1	93	93.5	94	93.5	92.841

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การทดสอบความแม่นยำของของ สมการการถดถอย (ต่อ)

NO.	speed (rpm)	depth of cut(mm)	feed(mm)	coolant	response(HRB)			$\overline{X}$ (HRB)	ค่าจากสมการ(HRB)
10	680	1	0.044	2	90	91	91.5	90.8	91.196
11	935	1.5	0.044	2	92.5	93	92.5	92.7	92.214
12	1300	1.75	0.044	2	92	92.5	94	92.8	92.800
13	680	1	0.051	2	91	92.5	91.5	91.7	91.114
14	935	1.5	0.051	2	91.5	90.5	92.5	91.5	92.132
15	1300	1.75	0.051	2	92.5	93	92.5	92.7	92.718
16	680	1	0.061	2	92.5	93	93	92.8	90.997
17	935	1.5	0.061	2	92	92.5	93	92.5	92.015
18	1300	1.75	0.061	2	92	92.5	92.5	92.3	92.601

จากตารางพบว่าค่าที่วัดได้จริงแตกต่างจากการคำนวณค่อนข้างมากอันเป็นผลมา จากค่า สัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R- Squared) = 60.4% ซึ่งสามารถพล็อตกราฟความสัมพันธ์ของค่าความแข็งที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณจากสมการ ดังนี้

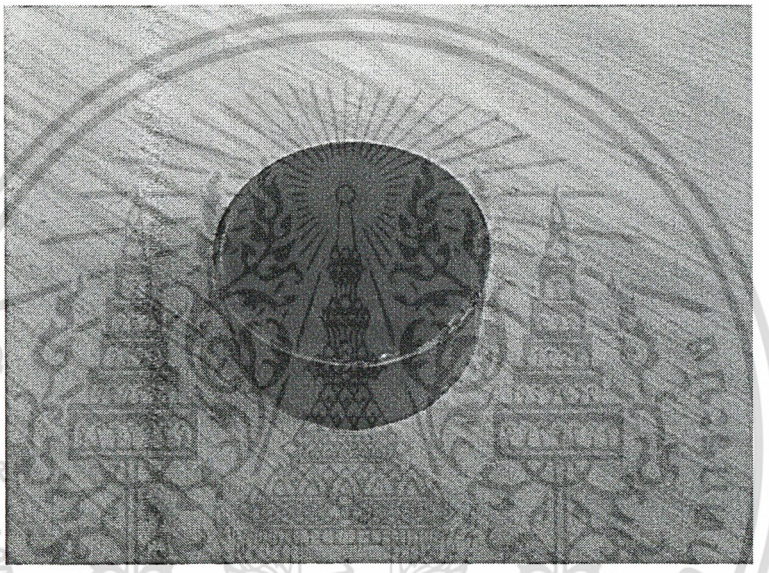


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาโครงสร้างชิ้นงาน

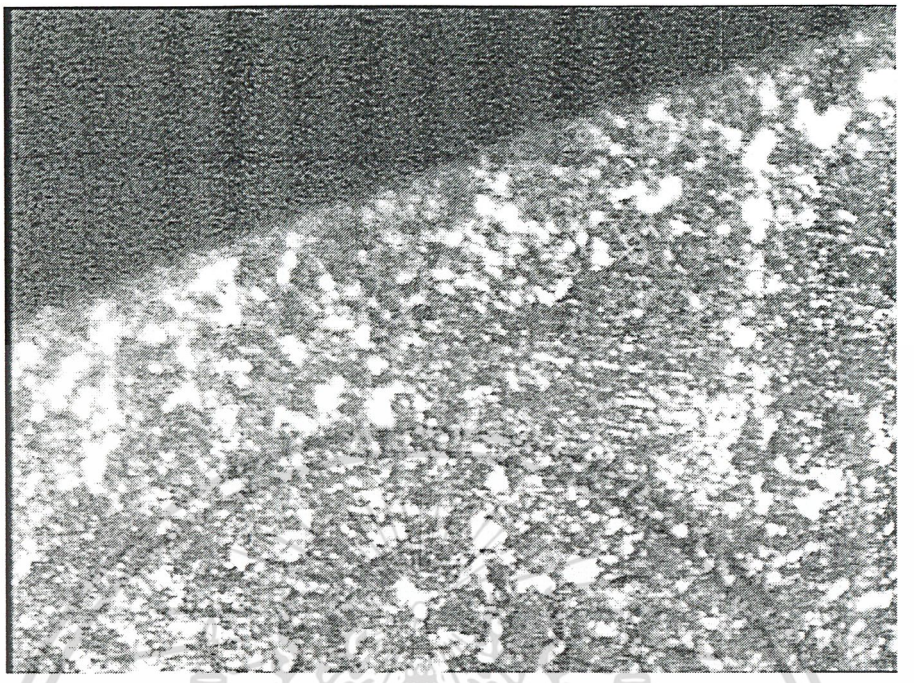
หลังจากทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงานกลึงแล้วเพื่อ ให้ผลของการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปผลได้และมีประโยชน์ต่องานอุตสาหกรรมมากที่สุดจึงได้นำชิ้นงานที่ผ่านการกลึงและทดสอบความแข็งแล้วมาทำการส่องดูโครงสร้างของเหล็กเปรียบเทียบกับเหล็กที่ไม่ได้ผ่านการกลึง โดยเลือกชิ้นงานที่ผ่านการกลึงจากการทดลองข้างต้นที่มีความแข็งที่ 94 HRB มาทำการตัดในลักษณะขวางดังรูป 4.9 จากนั้นนำไปขัดและกัดด้วยกรดเพื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์



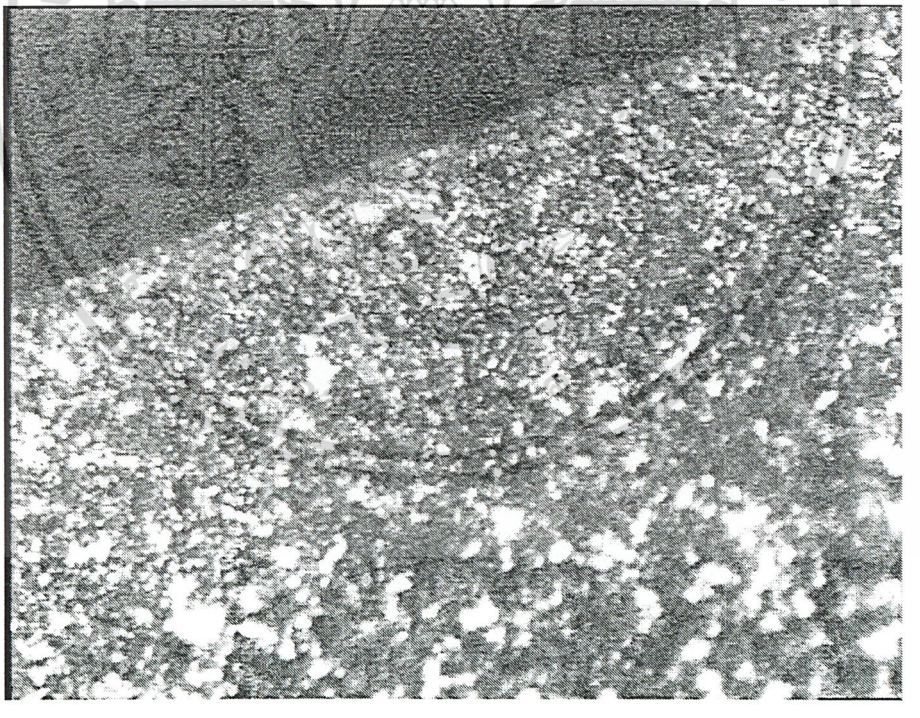
รูป 4.7 ลักษณะการเตรียมชิ้นงานเพื่อศึกษาโครงสร้างของโลหะ

ซึ่งจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า จะเห็นได้ว่าบริเวณขอบของชิ้นงานของชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการกลึงจะมีความหยาบของเกรนสม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการกลึงแล้วบริเวณขอบของชิ้นงานจะสังเกตได้ว่าเกรนมีลักษณะที่ละเอียดกว่า ซึ่งสรุปได้ว่าเมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานกลึงนั้นแรงที่มีดกลึงกระทำต่อผิวชิ้นงานจะส่งผลให้เม็ดเกรนของชิ้นงานเกิดการบีบอัดตัวทำให้ส่วนผิวของชิ้นงานมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งความแข็งที่แตกต่างกันออกไปของชิ้นงานทดสอบนั้นเกิดจากการปรับระดับของปัจจัยในการกลึงชิ้นงานทดสอบที่แตกต่างกันซึ่งแต่ละระดับของปัจจัยนั้นจะส่งผลให้มีแรงและความเค้นที่กระทำต่อชิ้นงานที่ต่างกันออกไป ในกรณีของสารหล่อเย็นที่มีผลทำให้ความแข็งลดลงนั้นเนื่องมาจากการหล่อเย็นช่วยให้การในตัดเฉือนและหล่อลื่นมีดกลึงอีกทั้งยังช่วยล้างเศษโลหะในขณะทำการกลึงซึ่งทำให้ความเค้นที่มีดกลึงกระทำต่อชิ้นงานลดลงนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 โครงสร้างของชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการกลึงขึ้นรูป



รูปที่ 4.9 โครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการกลึงขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปของการดำเนินงานของโครงการในครั้งนี้ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่จะนำหัวข้อนี้ไปศึกษาต่อในอนาคตหรือนำข้อมูลไปใช้อ้างอิงต่อไป

5.1 สรุปผล

การศึกษาและทำการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยในงานกลึงที่มีผลต่อความแข็งผิวเหล็กกล้า AISI 1045 ครั้งนี้ เป็นการศึกษาเพื่อเป็นการทดสอบสมมุติฐานว่าปัจจัยในงานกลึง คือ ความเร็วตัด อัตราการป้อน ระยะป้อนลึก และสารหล่อเย็น มีผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงานหรือไม่

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานกลึงพบว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการกลึงขึ้นได้นั้นได้แก่ อัตราป้อน (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ระยะป้อนลึก (Depth of Cut) มีดกลึง (Cutting Tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work Piece) ซึ่งขณะที่ทำการกลึงงานจะมี แรง ความเค้น ความเครียด และความร้อน กระทำกับชิ้นงานตลอดเวลาซึ่งจากการค้นคว้าข้อมูลทางด้านโลหะวิทยาพบว่ามีทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2 ทฤษฎี คือ ความเค้นและความร้อนที่เกิดจากการกลึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน และอีกทฤษฎีหนึ่ง คือ ความร้อนและความเค้นจะส่งผลต่อคุณสมบัติของชิ้นงาน จากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานดังกล่าวโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงสถิติมาใช้เพื่อวิเคราะห์ผล จากการทดลอง สามารถสรุปผลได้ว่าในการนำชิ้นงานมาผ่านกรรมวิธี การขึ้นรูปโดยการกลึงปอกนั้นส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน AISI 1045 คือ ความเค้นและความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการกลึงมีผลต่อค่าความแข็งผิวของชิ้นงาน ซึ่งปัจจัยที่มีผลอย่างเห็นได้ชัดคือ ความเร็วรอบ (Speed) ระยะป้อนลึก (Depth of Cut) และน้ำหล่อเย็น (Coolant) โดยนำมาสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ความสัมพันธ์ดังนี้ คือ เมื่อเพิ่มความเร็วรอบ และระยะป้อนลึกในการกลึงมากขึ้น จะส่งผลให้เกิดค่าความเค้น และความร้อนเพิ่มขึ้นที่ผิวของชิ้นงาน และจากการทดลองจะทำให้ผิวชิ้นงานที่ผ่านการกลึงมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันถ้าใช้สารหล่อเย็นช่วยในการกลึงจะช่วยลดความร้อนในการตัดเฉือนขณะกลึงชิ้นงาน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสารหล่อเย็นจะช่วยทำให้ความแข็งผิวของชิ้นงานที่ผ่านผ่านการกลึงมีค่าลดลง หลังจากได้ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความแข็งผิวของชิ้นงานแล้ว จึงได้ทำการเก็บผลชิ้นงานเพิ่มเติม เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของ สมการทางคณิตศาสตร์พบว่า ค่าจากสมการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง มีความแม่นยำพอสมควร

เพื่อให้ผลของการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปผลได้และมีประโยชน์ต่องานอุตสาหกรรมมากที่สุดจึงได้นำชิ้นงานที่ผ่านการกลึงและทดสอบความแข็งแล้วมาทำการส่องดูโครงสร้างของเหล็กเปรียบเทียบกับเหล็กที่มิได้ผ่านการกลึงกับพบว่าบริเวณขอบของชิ้นงานของชิ้นงานที่มิได้ผ่านการกลึงจะมีความหยาบของเกรนสม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้นงาน ในขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการกลึงแล้วบริเวณขอบของชิ้นงานจะสังเกตได้ว่าเกรนมีลักษณะที่ละเอียดกว่า ซึ่งสรุปได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานกลึงนั้นแรงที่มีดกลึงกระทำต่อผิวชิ้นงานจะส่งผลให้เม็ดเกรนของชิ้นงานเกิดการบีบอัดตัวทำให้ส่วนผิวของชิ้นงานมีความแข็งเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาปัจจัยในการกลึงที่มีผลต่อความแข็งของผิวชิ้นงาน AISI 1045 พบว่าการทำงานเป็นไปตามขั้นตอนและตรงตามสมมติฐานตามที่ได้ตั้งเป้าไว้ แต่ในการศึกษานี้ยังมีจุดบกพร่องในการทำงานอีกบางประการดังนี้

1. มีดกลึงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีจำนวนจำกัด โดยมีการใช้มีดกลึงซ้ำมากว่า 3 ครั้งต่อ 1คมตัด ซึ่งการสึกหรอของมีดกลึงเป็นส่วนสำคัญที่ ทำให้การตัดเฉือนชิ้นงานไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจทำให้ความเค้นและความร้อนที่กระทำต่อชิ้นงานเพิ่มขึ้น

2. เครื่องทดสอบความแข็งที่ใช้คือเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Rock well สเกล B มีความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างได้น้อย อีกทั้งยังเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้การอ่านค่าแบบหน้าปัดเข็ม ซึ่งยากในการอ่านค่าความแข็ง

3. ในการศึกษาครั้งนี้ทำการทดลองกับเหล็กเพียงชนิดเดียวคือ AISI 1045 ดังนั้นเพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการกลึงมีผลกระทบต่อความแข็งผิวของชิ้นงานจึงควรทำการศึกษาและทดลองเพิ่มเติมกับ เหล็กกล้าและโลหะชนิดอื่นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิงเอกสารอ้าง

นริศ ศรีเมฆ และ คณะ . 2450 โลหะวิทยา พิมพ์ครั้งที่ 1

ไพโรจน์ สุยสุวรรณ . 2527 เอกสารประกอบการสอนปฏิบัติงานกลึง

พรศักดิ์ อรรถวานิช . 2536 วัสดุศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 1

บริษัท แฟ็คทอรี่แม็กซ์ จำกัด . General Catalogue

ปารเมศ ชุติมา .2545 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม พิมพ์ครั้งที่ 1

วีระพันธ์ สิทธิพงศ์ . โลหะวิทยากายภาพสำหรับวิศวกร

สายชล สินสมบูรณ์ทอง .2545 สถิติเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 3

สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์. 2542 การวางแผนการทดลอง

Douglas C. Montgomery . 5th Edition Design and Analysis of Experiments

Douglas C. Montgomery , George C. Runger . 3rd Edition Applied Statistics and Probability for Engineers

George E Dieter.1988 Mechanical Matallurgy

Minitab User's guide 2: Data analysis and Quality tools

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เหล็กกล้า AISI 1045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 1 คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนปลานกลาง AISI 1045

	C	Si	Mn	Pmax	Smax
ส่วนผสมทางเคมี	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 มีความสามารถทุบขึ้นรูป ได้ดีมาก ชุบแข็งโดยใช้เปลวไฟและวิธีอินดักชั่นได้ดี แต่ไม่เหมาะกับการเติมคาร์บอนหรือทำไนตรายดิ้ง ความสามารถใน การเชื่อมไม่ดี

การใช้งาน ใช้ทำเฟือง เพลา สลักเกลียว และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ

ตารางที่ ผก 2 จุดวิกฤติของเหล็กกล้าคาร์บอนปลานกลาง AISI 1045

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

ตารางที่ ผก 3 คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าคาร์บอนปลานกลาง AISI 1045

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว				อุณหภูมิอบชุบและทุบขึ้นรูป		
อุณหภูมิ		ค่าสัมประสิทธิ์			กรรมวิธี	
°C	°F	μm/m.k	μin/in.°F	กรรมวิธี	8C	8F
0-100	32-212	11.5	6.4	ทุบขึ้นรูป	1245	2275
0-500	32-930	14	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	7.8	อบออสเทนไนท์	800-845	1475-1550
25-600	75-1110	14.4	8			
25-700	75-1290	1406	8.2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนปลานกลาง AISI 1045

สภาพงาน	ขนาดงานกลม		ความต้านแรงดึง		จุดจำนน		ความยืดตัว	ความแข็ง
	mm	in	Mpa	Ksi	Mpa	ksi	%	HB
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	16-22	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	585	85	515	75	10	170
	50-75	2ถึง3	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	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	585	85	485	70	15	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSPECTION CERTIFICATE

KIA STEEL
1-6, SORYONG-DONG, KUNSAN,
CHEONBUK, KOREA (573-711)

TEL: (063) 460-8606, 8571 (Q.C.)
460-8114 (Repres.)
FAX: (063) 460-8123 (Q.C.)

Legends of Delivery Condition:
1. As Rolled 2. As Forged 3. As Peeled
4. As Drawn 5. Q/T 6. Norm.
7. FA 8. LA 9. SA
10. SRA 11. N/T 12. As Casted

te : 2004-01-31
rt. No. : 200401 - 005612
stomer : K.S.S

Steel Grade : S45C
Shape of Product : ROUND BAR
Delivery Condition : No 1

Chemical Composition (wt. %)

Inspection Items		O	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
Spec.	min.	.42	.15	.60						
	max.	.48	.35	.90	.030	.035	.30	.20	.20	
Heat No.	241748	.45	.23	.71	.010	.014	.21	.06	.10	.0225

Dimensions( ) Size	Length	Weight (kg)	Qty. (pcs)
30.00	6000		

Mechanical Properties

Inspection Items		YP(kgf/mm²) .20	TS (kgf/mm²)	EL (%)	ROA (%)	IV( )	HB H/2	BENDING	ACS	UT	MACRO	DC	REDUCTION RATIO	MSF
Spec.	min.													
	max.													
Heat No.	241748	42.1	71.1	24.10	42.50		207.0							

Internal Soundness

Non-Met. Incl( )			

Hardness, HRC (Distance from Surface.

Inspection Items																													
Spec.	min.																												
	max.																												
Heat No.																													

GAS (ppm)

O	H	N

REMARK: ABOVE MECHANICAL PROPERTIES ARE ONLY FOR YOUR REFERENCE.

Certified by:

Manager of Quality Control Dept.

ตารางที่ ผก 5 ใบรับประกันคุณภาพของเหล็กกล้าที่ใช้ทำการทดลอง

ผก 4

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ที่ ผข 1 ตารางการเก็บผลการทดลอง

NO.	speed (rpm)	depth of cut(mm)	feed(mm)	coolant	tools no.	hardness (HRB)			$\overline{X}$ (HRB)	เวลางาน(นาที)
1	935	1.25	0.061	off	5	94	94	93	93.7	0:41
2	935	2	0.044	off	5	93.5	93.5	93	93.3	0:57
3	935	1.25	0.051	on	19	92.5	92.5	92.5	92.5	0:49
4	1300	1.25	0.061	on	22	94	92	92	92.7	0:28
5	935	2	0.051	on	4	93	93.5	93.5	93.3	0:49
6	680	0.5	0.044	off	13	90.5	91	91	90.8	1:18
7	680	2	0.044	on	6	91.5	92	92.5	92.0	1:20
8	1300	1.25	0.051	on	20	92.5	93	93.5	93.0	0:35
9	680	1.25	0.061	on	26	92	92.5	93	92.5	0:56
10	680	1.25	0.061	off	10	93	93	92.5	92.8	0:55
11	935	1.25	0.051	off	9	92	92	92.5	92.2	0:49
12	680	0.5	0.051	off	32	88	89	89.5	88.8	1:05
13	935	0.5	0.044	off	40	92	90.5	90.5	91.0	0:56
14	935	0.5	0.061	on	31	89.5	89	89.5	89.3	0:40
15	935	1.25	0.061	off	11	93.5	93	93.5	93.3	0:39
16	1300	0.5	0.044	on	35	89	89.5	89.5	89.3	0:39
17	1300	0.5	0.051	off	42	90	91	90.5	90.5	0:34
18	935	0.5	0.061	on	37	89	89	89.5	89.2	0:39
19	935	1.25	0.044	off	13	92	92.5	92.5	92.3	0:57
20	935	0.5	0.061	off	16	90.5	90.5	90.5	90.5	0:40
21	935	0.5	0.061	off	18	91	92	91.5	91.5	0:45
22	1300	1.25	0.051	off	8	93	93.5	93	93.2	0:35
23	1300	0.5	0.061	on	3	89	89.5	90	89.5	0:29
24	1300	2	0.051	off	23	93	93.5	93.5	93.3	0:35
25	935	0.5	0.044	on	39	89	89	90	89.3	0:54
26	1300	2	0.051	off	11	93	93	93	93.0	0:35
27	935	0.5	0.044	on	47	92.5	92	92.5	92.3	1:02
28	680	2	0.044	on	3	91.5	91.5	92	91.7	1:21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ที่ ผข 1 ตารางการเก็บผลการทดลอง (ต่อ)

NO.	speed (rpm)	depth of cut(mm)	feed(mm)	coolant	tools no.	hardness (HRB)			$\overline{X}$ (HRB)	เวลางาน(นาที)
29	1300	0.5	0.044	on	15	91.5	89.5	89	90.0	0:43
30	1300	0.5	0.061	off	4	88	89	89	88.7	0:29
31	680	1.25	0.061	on	22	92.5	93.5	92.5	92.8	0:56
32	680	0.5	0.044	on	43	90	91.5	91	90.8	1:17
33	935	0.5	0.051	on	43	91	91	91.5	91.2	0:49
34	680	2	0.061	on	41	92	92.5	93	92.5	0:58
35	1300	2	0.061	off	12	93	93	93	93.0	0:29
36	680	2	0.061	off	14	92.5	92.5	93	92.7	0:57
37	680	1.25	0.061	off	12	93	93.5	93	93.2	0:57
38	935	2	0.051	off	32	93.5	93.5	93	93.3	0:50
39	1300	1.25	0.051	off	24	94	94	94	94.0	0:35
40	1300	0.5	0.051	off	33	90.5	90.5	90	90.3	0:34
41	935	2	0.044	on	36	93.5	93.5	94	93.7	1:01
42	1300	0.5	0.044	on	29	91.5	91.5	89	90.7	0:41
43	935	1.25	0.061	off	6	94	94	93	93.7	0:41
44	935	1.25	0.044	on	28	91.5	91.5	91.5	91.5	0:58
45	1300	0.5	0.044	off	27	89	89.5	89.5	89.3	0:40
46	680	1.25	0.044	on	45	92	92.5	92	92.2	1:19
47	935	0.5	0.061	off	17	89.5	90.5	91.5	90.5	0:40
48	1300	0.5	0.051	off	4	90	90	90.5	90.2	0:34
49	680	2	0.051	off	14	92	92.5	92.5	92.3	1:08
50	935	2	0.061	on	38	92.5	92.5	93	92.7	0:42
51	1300	1.25	0.051	on	21	93	93	93.5	93.2	0:35
52	1300	0.5	0.051	on	25	89	90	90.5	89.8	0:34
53	935	2	0.061	off	7	93	93.5	93	93.2	0:42
54	935	0.5	0.051	off	45	89.5	90	91	90.2	0:49
55	1300	0.5	0.061	off	44	89	89	89.5	89.2	0:28
56	935	1.25	0.061	on	2	92.5	92.5	92.5	92.5	0:41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ที่ ผข 1 ตารางการเก็บผลการทดลอง (ต่อ)

NO.	speed (rpm)	depth of cut(mm)	feed(mm)	coolant	tools no.	hardness (HRB)			$\overline{X}$ (HRB)	เวลางาน(นาที)
57	935	1.25	0.044	on	42	91	91.5	91	91.2	0:57
58	935	0.5	0.051	on	15	90.5	90.5	89	90.0	0:51
59	680	2	0.044	off	2	93	93.5	93.5	93.3	1:20
60	680	0.5	0.044	off	8	90.5	90.5	90.5	90.5	1:15
61	1300	1.25	0.061	off	15	93	92.5	92.5	92.7	0:29
62	1300	1.25	0.044	off	24	92	92	93	92.3	0:41
63	935	0.5	0.051	off	3	91	91	91.5	91.2	0:48
64	935	1.25	0.051	on	2	93	93	92	92.7	0:49
65	1300	1.25	0.051	on	29	93	93.5	93	93.2	0:35
66	680	0.5	0.061	off	37	89	91	89	89.7	0:56
67	935	2	0.044	off	33	92.5	93	92.5	92.7	0:58
68	935	0.5	0.051	off	41	89.5	90.5	91	90.3	0:48
69	1300	1.25	0.051	off	35	93	93	93.5	93.2	0:35
70	680	0.5	0.051	on	34	88	88.5	89.5	88.7	1:07
71	680	2	0.061	off	25	93	93	93	93.0	0:58
72	680	2	0.051	on	44	92.5	92.5	93.5	92.8	1:07
73	1300	0.5	0.061	off	34	91	89	89	89.7	0:28
74	680	1.25	0.051	on	32	92.5	93	93.5	93.0	1:07
75	680	2	0.051	off	30	93	93	92.5	92.8	1:09
76	1300	1.25	0.061	off	7	92.5	92.5	92.5	92.5	0:29
77	680	0.5	0.061	on	27	88	88	88.5	88.2	0:55
78	680	0.5	0.061	off	46	88.5	88	88.5	88.3	0:55
79	935	2	0.061	on	47	92	92.5	93.5	92.7	0:41
80	935	1.25	0.044	off	25	92	92	92	92.0	0:57
81	680	1.25	0.044	on	7	92.5	93	93	92.8	1:20
82	935	0.5	0.051	on	5	89	89	88.5	88.8	0:50
83	680	0.5	0.061	off	5	89.5	91.5	91.5	90.8	0:56
84	680	1.25	0.061	off	27	92	92.5	92.5	92.3	0:56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ที่ ผข 1 ตารางการเก็บผลการทดลอง (ต่อ)

NO.	speed (rpm)	depth of cut(mm)	feed(mm)	coolant	tools no.	hardness (HRB)			$\overline{X}$ (HRB)	เวลางาน(นาที)
85	1300	0.5	0.061	on	8	89	89	90	89.3	0:28
86	680	2	0.051	off	36	92.5	92.5	92	92.3	1:09
87	935	2	0.044	on	12	93.5	93.5	93	93.3	0:58
88	935	2	0.061	on	18	92.5	93	93.5	93.0	0:41
89	1300	2	0.051	on	43	92.5	92.5	92	92.3	0:35
90	1300	2	0.051	on	20	92.5	93.5	93	93.0	0:36
91	935	2	0.051	off	45	92	92.5	93.5	92.7	0:50
92	680	1.25	0.044	off	37	91.5	92.5	92.5	92.2	1:19
93	935	1.25	0.061	on	39	93	93.5	93.5	93.3	0:41
94	935	0.5	0.044	off	19	90	90	90.5	90.2	0:56
95	1300	2	0.044	on	17	92.5	92	93	92.5	0:41
96	1300	0.5	0.044	off	30	89	89.5	89	89.2	0:40
97	935	2	0.051	off	38	92.5	93	93	92.8	0:50
98	680	2	0.044	off	26	92	93	92.5	92.5	1:20
99	680	0.5	0.051	off	21	89	89	89.5	89.2	1:07
100	935	1.25	0.061	on	24	93.5	92.5	93	93.0	0:40
101	935	2	0.044	on	41	92.5	93	92.5	92.7	0:59
102	1300	2	0.051	off	43	93	94	93.5	93.5	0:35
103	680	1.25	0.044	on	44	91	91.5	91.5	91.3	1:18
104	935	1.25	0.044	off	21	92.5	93.5	94	93.3	0:58
105	1300	2	0.061	on	27	92.5	93	92.5	92.7	0:29
106	680	1.25	0.044	off	23	91	91.5	92	91.5	1:20
107	1300	2	0.061	on	46	92.5	93.5	93	93.0	0:29
108	1300	0.5	0.051	on	15	90.5	90.5	89	90.0	0:34
109	680	0.5	0.051	on	45	89.5	88.5	86.5	88.2	1:08
110	1300	1.25	0.044	on	13	92	92.5	93	92.5	0:41
111	935	1.25	0.051	on	17	92.5	93	92.5	92.7	0:49
112	935	0.5	0.044	on	40	92	92.5	91.5	92.0	0:57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ที่ ผข 1 ตารางการเก็บผลการทดลอง (ต่อ)

NO.	speed (rpm)	depth of cut(mm)	feed(mm)	coolant	tools no.	hardness (HRB)			$\overline{X}$ (HRB)	เวลางาน(นาที)
113	680	2	0.061	on	31	92.5	92	92.5	92.3	0:57
114	1300	2	0.044	on	29	92	91.5	92.5	92.0	0:44
115	935	0.5	0.061	on	48	89	89	89	89.0	0:40
116	680	1.25	0.061	on	18	92.5	92.5	92	92.3	0:57
117	680	2	0.044	off	6	93.5	92.5	92.5	92.8	1:21
118	680	0.5	0.051	on	33	90	90.5	90.5	90.3	1:08
119	680	1.25	0.051	off	37	92	93	93	92.7	1:08
120	680	1.25	0.051	off	1	92	93	92	92.3	1:08
121	935	2	0.051	on	38	92	92.5	93	92.5	0:49
122	1300	1.25	0.061	on	12	92.5	92	92.5	92.3	0:29
123	935	1.25	0.051	off	48	92.5	93	93	92.8	0:49
124	935	2	0.061	off	19	92.5	93	93	92.8	0:41
125	1300	2	0.061	off	30	93	92	93	92.7	0:29
126	680	0.5	0.061	on	48	88.5	88.5	88.5	88.5	0:55
127	935	2	0.044	off	10	93	93.5	93	93.2	0:57
128	1300	0.5	0.061	on	40	89	89.5	89.5	89.3	0:29
129	680	2	0.044	on	18	93.5	93	93	93.2	1:19
130	680	2	0.061	on	34	92	92	92.5	92.2	0:57
131	935	1.25	0.051	off	19	92.5	92.5	92.5	92.5	0:49
132	935	2	0.051	on	31	92	92	93	92.3	0:52
133	1300	2	0.061	on	10	93.5	94.5	94	94.0	0:29
134	680	1.25	0.051	on	1	92	92.5	92.5	92.3	1:08
135	680	2	0.051	on	35	92.5	93	93.5	93.0	1:10
136	680	1.25	0.051	on	39	93	93.5	93.5	93.3	1:08
137	1300	0.5	0.051	on	1	88.5	88	89.5	88.7	0:35
138	1300	1.25	0.061	on	46	92	93	93	92.7	0:29
139	1300	1.25	0.044	off	32	92	94	93.1	93.0	0:41
140	680	0.5	0.044	on	14	91	90	91.5	90.8	1:18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ที่ ผข 1 ตารางการเก็บผลการทดลอง (ต่อ)

NO.	speed (rpm)	depth of cut(mm)	feed(mm)	coolant	tools no.	hardness (HRB)			$\overline{X}$ (HRB)	เวลางาน(นาที)
141	1300	2	0.044	off	28	94	94	94	94.0	0:42
142	680	2	0.051	on	16	93	93.5	93	93.2	1:09
143	1300	1.25	0.044	on	36	92.5	93	93.5	93.0	0:41
144	680	0.5	0.044	on	30	91	91	91.5	91.2	1:19
145	1300	2	0.051	on	17	92	92	92.5	92.2	0:35
146	935	2	0.061	off	20	92.5	92.5	92.5	92.5	0:42
147	1300	0.5	0.044	off	47	91.5	92	90.5	91.3	0:40
148	1300	2	0.044	on	9	90.5	92.5	93	92.0	0:43
149	680	1.25	0.044	off	28	90.5	91	93	91.5	1:19
150	1300	1.25	0.044	off	7	93	93.5	93	93.2	0:41
151	680	1.25	0.051	off	11	92	92	92.5	92.2	1:09
152	680	0.5	0.061	on	16	89.5	89.5	90	89.7	0:58
153	935	1.25	0.044	on	26	91.5	92.5	92.5	92.2	0:59
154	680	0.5	0.044	off	22	90.5	91	92	91.2	1:20
155	1300	2	0.044	off	13	92.5	93	92	92.5	0:41
156	1300	1.25	0.044	on	6	94	94	94.5	94.2	0:41
157	935	0.5	0.044	off	46	92	92	92	92.0	0:57
158	1300	2	0.061	off	42	93	93.5	92.5	93.0	0:30
159	680	2	0.061	off	23	92.5	93	93.5	93.0	0:58
160	1300	1.25	0.061	off	38	92.5	92.5	93	92.7	0:29
161	680	0.5	0.051	off	9	90	91	90	90.3	1:08
162	1300	2	0.044	off	39	92.5	92.5	92	92.3	0:43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 2 เวลางานรวมของคมตัด

หมายเลขคมตัด	หมายเลขชิ้นงาน	เวลางาน(นาที)
1	120	1:08
1	134	1:08
1	137	0:35
	total	**2:51**
2	56	0:41
2	59	1:20
2	64	0:49
	total	**2:50**
3	23	0:29
3	28	1:21
3	63	0:48
	total	**2:38**
4	5	0:49
4	30	0:29
4	48	0:34
	total	**1:52**
5	1	0:41
5	2	0:57
5	82	0:50
5	83	0:56
	total	**3:24**
6	7	1:20
6	43	0:41
6	117	1:21
6	156	0:41
	total	**4:03**
7	53	0:42
7	76	0:29
7	81	1:20
7	150	0:41
	total	**3:12**
8	22	0:35
8	60	1:15
8	85	0:28
	total	**2:18**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 2 เวลางานรวมของคมตัด (ต่อ)

หมายเลขคมตัด	หมายเลขชิ้นงาน	เวลางาน(นาที)
9	11	0:49
9	148	0:43
9	161	1:08
	total	**2:40**
10	10	0:55
10	127	0:57
10	133	0:29
	total	**2:21**
11	15	0:39
11	26	0:35
11	151	1:09
	total	**2:23**
12	35	0:29
12	37	0:57
12	87	0:58
12	122	0:29
	total	**2:53**
13	6	1:18
13	19	0:57
13	110	0:41
13	155	0:41
	total	**3:37**
14	36	0:57
14	49	1:08
14	140	1:18
	total	**3:23**
15	29	0:43
15	58	0:51
15	61	0:29
15	108	0:34
	total	**2:37**
16	20	0:40
16	142	1:09
16	152	0:58
	total	**2:47**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 2 เวลางานรวมของคมตัด (ต่อ)

หมายเลขคมตัด	หมายเลขชิ้นงาน	เวลางาน(นาที)
17	47	0:40
17	95	0:41
17	111	0:49
17	145	0:35
	total	**2:45**
18	21	0:45
18	88	0:41
18	116	0:57
18	129	1:19
	total	**3:42**
19	3	0:49
19	94	0:56
19	124	0:41
19	131	0:49
	total	**3:15**
20	8	0:35
20	90	0:36
20	146	0:42
	total	**1:53**
21	51	0:35
21	99	1:07
21	104	0:58
	total	**2:40**
22	4	0:28
22	31	0:56
22	154	1:20
	total	**2:44**
23	24	0:35
23	106	1:20
23	159	0:58
	total	**2:53**
24	39	0:35
24	62	0:41
24	100	0:40
	total	**1:56**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 2 เวลางานรวมของคมตัด (ต่อ)

หมายเลขคมตัด	หมายเลขชิ้นงาน	เวลางาน(นาที)
25	52	0:34
25	71	0:58
25	80	0:57
	total	**2:29**
26	9	0:56
26	98	1:20
26	153	0:59
	total	**3:15**
27	45	0:40
27	77	0:55
27	84	0:56
27	105	0:29
	total	**3:00**
28	44	0:58
28	141	0:42
28	149	1:19
	total	**2:59**
29	42	0:41
29	65	0:35
29	114	0:44
	total	**2:00**
30	75	1:09
30	96	0:40
30	125	0:29
30	144	1:19
	total	**3:37**
31	14	0:40
31	113	0:57
31	132	0:52
	total	**2:29**
32	12	1:05
32	38	0:50
32	74	1:07
32	139	0:41
	total	**3:43**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 2 เวลางานรวมของคมตัด (ต่อ)

หมายเลขคมตัด	หมายเลขชิ้นงาน	เวลางาน(นาที)
33	40	0:34
33	67	0:58
33	118	1:08
	total	**2:40**
34	70	1:07
34	73	0:28
34	130	0:57
	total	**2:32**
35	16	0:39
35	69	0:35
35	135	1:10
	total	**2:24**
36	41	1:01
36	86	1:09
36	143	0:41
	total	**2:51**
37	18	0:39
37	66	0:56
37	92	1:19
37	119	1:08
	total	**4:02**
38	50	0:42
38	97	0:50
38	121	0:49
38	160	0:29
	total	**2:50**
39	25	0:54
39	93	0:41
39	136	1:08
39	162	0:43
	total	**3:26**
40	13	0:56
40	112	0:57
40	128	0:29
	total	**2:22**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 2 เวลางานรวมของคมตัด (ต่อ)

หมายเลขคมตัด	หมายเลขชิ้นงาน	เวลางาน(นาที)
41	34	0:58
41	68	0:48
41	101	0:59
	total	**2:45**
42	17	0:34
42	57	0:57
42	158	0:30
	total	**2:01**
43	32	1:17
43	33	0:49
43	89	0:35
43	102	0:35
	total	**3:16**
44	55	0:28
44	72	1:07
44	103	1:18
	total	**2:53**
45	46	1:19
45	54	0:49
45	91	0:50
45	109	1:08
	total	**4:06**
46	78	0:55
46	107	0:29
46	138	0:29
46	157	0:57
	total	**2:50**
47	27	1:02
47	79	0:41
47	147	0:40
	total	**2:23**
48	115	0:40
48	123	0:49
48	126	0:55
	total	**2:24**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข 3 ตารางการเก็บผลเพื่อทดสอบความแม่นยำของสมการ

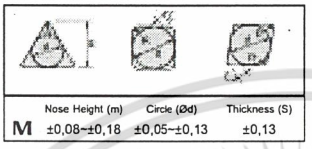
NO.	speed(rpm)	depth of cut(mm)	feed(mm)	coolant	Tools NO.	hardness (HRB)			$\overline{X}$ (HRB)	ค่าจากสมการ(HRB)
1	680	1	0.044	off	1	91	91.5	91	91.2	91.44
2	935	1.5	0.044	off	1	91.5	92.5	92	92.0	92.45
3	1300	1.75	0.044	off	1	92.5	92	91	91.8	93.04
4	680	1	0.051	off	1	93	94	93.5	93.5	91.35
5	935	1.5	0.051	off	1	92	92	92	92.0	92.37
6	1300	1.75	0.051	off	1	92	92	92	92.0	92.96
7	680	1	0.061	off	2	92	92.5	92	92.2	91.24
8	935	1.5	0.061	off	2	93.5	92.5	93	93.0	92.26
9	1300	1.75	0.061	off	2	93.5	93.5	94	93.7	92.84
10	680	1	0.044	on	2	91.5	91	91.5	91.3	91.20
11	935	1.5	0.044	on	2	92.5	93	92.5	92.7	92.21
12	1300	1.75	0.044	on	2	92.5	92.5	92	92.3	92.80
13	680	1	0.051	on	3	91	92.5	91.5	91.7	91.11
14	935	1.5	0.051	on	3	91.5	90.5	92.5	91.5	92.13
15	1300	1.75	0.051	on	3	92.5	93	92.5	92.7	92.72
16	680	1	0.061	on	3	93.5	93	93	93.2	91.00
17	935	1.5	0.061	on	3	92	92.5	94	92.8	92.02
18	1300	1.75	0.061	on	3	92	92.5	92.5	92.3	92.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
มีดกลึงทังสเตนคาร์ไบด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HITACHI TOOL



	Nose Height (m)	Circle (Ød)	Thickness (S)
M	±0,08–±0,18	±0,05–±0,13	±0,13

	Insertsize	Nose Height (m)	Circle (Ød)
S	6,350	±0,08	±0,05
T	9,525	±0,08	±0,05
C	12,700	±0,13	±0,08
W	15,875	±0,15	±0,10
D	19,050	±0,15	±0,10
V	25,400	±0,18	±0,13
	6,350	±0,11	±0,05
	9,525	±0,11	±0,05
	12,700	±0,15	±0,08
	15,875	±0,18	±0,18
	19,050	±0,18	±0,18

TOLERANCE

		INCH
03	03	
04	04	
05	05	
06	06	
07	08	
09	09	
12	12	
15	15	
19	19	
22	22	
25	25	
31	32	

							INCH
03	03		06	04		3,970	
04	04		08	05		4,760	
						5,000	
05	05	03	09	06		5,560	
						6,000	
06	06	04	11	07		6,350	2
07	08	05	13	09		7,940	
						8,000	
09	09	06	16	11	16	9,525	3
						10,000	
						12,000	
12	12	08	22	15	22	12,700	4
15	15	10	27	19		15,875	5
						16,000	
19	19	13	33	23		19,050	6
						20,000	
22	22		38	27		22,225	7
						25,000	
25	25		44	31		25,400	8
31	32		55	38		31,750	0
						32,000	

INSERTSIZES

S		90°
T		60°
C		80°
D		55°
V		35°
W		80°

FORM

CHIPBREAKER

ISO	C	N	M	G	12	04	08	AE
INCH	C	N	M	G	4	3	2	AE

ANGLE

C	7°	
N	0°	
P	11°	

FIXING

ISO	Insert Type	INCH
N		N
R		R
F		F
A		A
M		M
G		G
W		A
T		M

THICKNESS

ISO	mm	INCH
01	1,59	-
02	2,38	-
T2	2,78	-
03	3,18	2
T3	3,97	-
04	4,76	3
06	6,35	4
07	7,94	5
09	9,52	6

RADIUS

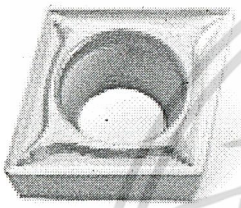
ISO	mm	INCH
00	-	V
02	0,2	0
04	0,4	1
08	0,8	2
12	1,2	3
16	1,6	4
20	2,0	5
24	2,4	6
28	2,8	7
32	3,2	8

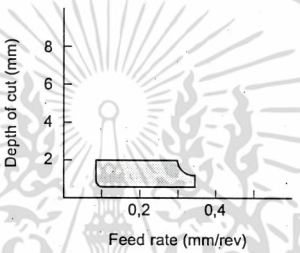
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HITACHI TOOL

Selection 1. F

RECOMMENDED BREAKER **JE Type** FINISHING ON STEEL





RECOMMENDED GRADE **GM25**

CONTINUOUS GENERAL INTERRUPTED

RECOMMENDED CUTTING CONDITIONS

DEPTH OF CUT (MM)	FEED RATE (MM/REV)	CUTTING SPEED (M/MIN)	
		CZ25	GM25
0,5~2,0	0,1~0,3	100~200	150~200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้