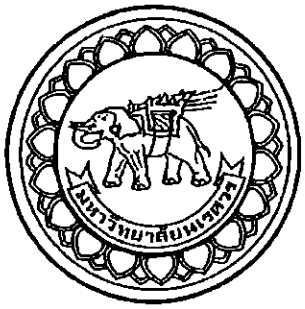


อิทธิพลของการกลึงที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

EFFECTS OF TURNING PARAMETERS ON TOOL LIFE

นางสาววริตา หนูนันท์ รหัส 49361607

นางสาวศิริภรณ์ ณ นคร รหัส 49362024

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 13 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน 15059720
เลขเรียกหนังสือ ...
มหาวิทยาลัยนเรศวร 5478
2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	อิทธิพลของการกลึงที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวริตา หนูนันท์	รหัส 49361607
	นางสาวศิริภรณ์ ณ นคร	รหัส 49362024
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ศรีสัจจา บุญฤทธิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2552	

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์**ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง**ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ศรีสัจจา บุญฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น)

.....กรรมการ
(อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**อิทธิพลของการกลึงที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง**	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาววิตา หนูนันท์	รหัส 49361607
	นางสาวศิริภรณ์ ณ นคร	รหัส 49362024
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ศรีสัจจา บุญฤทธิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2552	

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการกลึงที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง โดยใช้โปรแกรมสถิติช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ซึ่งในการทดลองใช้เหล็กเพลาแดง AISI 1045 เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 12 นิ้ว จำนวน 54 แท่ง มาผ่านการกลึงปอก ด้วยเครื่องกลึงยี่ห้อ MASHSTROY TROYAN รุ่น C11MT ซึ่งตัวแปรในการทดลองประกอบไปด้วย ความเร็วรอบที่ 355 และ 500 รอบ/นาที ความลึกในการป้อนมีดกลึง 1 , 2 และ 3 มิลลิเมตร และอัตราการป้อน 0.004 , 0.006 และ 0.008 มิลลิเมตร/รอบ จากนั้นทำการทดลองเพื่อศึกษาเวลาในการสึกหรอของมีดกลึง

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึงมากที่สุดคือ ความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราการป้อนตามลำดับ และเมื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ โดยสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ของการกลึงชิ้นงานได้ด้วยสมการนี้คือ Scale = 9.621 – 0. 012SPEED RATE - 0.078 DEPTH OF CUT - 68.487FEED RATE – 0.001SPEED*DEPTH – 0.002SPEED*FEED RATE - 4.109DEPTH OF CUT*FEED RATE – 0.020SPEED*DEPTH OF CUT*FEED RATE ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอย มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05

Project title	Effects of Turning Parameters on Tool Life		
Name	Miss Rita	Nunan	ID. 49361607
	Miss Siriporn	Na Nakorn	ID. 49362024
Project advisor	Mrs.Srisatja	Boonrit	
Major	Industrial Engineering		
Department	Industrial Engineering		
Academic year	2009		

.....

Abstract

The aim of this project is to study the Effects of Turning Parameters on Tool Life by program for analysis of variance and multiple regression analysis. In the experiment to uses red axle iron AISI 1045 diameters 1 inch long 12 inches. Operation by turning machine MASHSTROY TROYAN (C11MT). The factors studied were speed with 355 and 500 revolution per minute., depth of cut with 1 , 2 and 3 millimeters., and feed with 0.004 , 0.006 and 0.008 millimeter per revolution. Than experiment for studies time of tool life.

After the experiment and analysis of variance, it was found that the most effect factors are speed , depth of cut and feed respectively. And than multiple regression analysis, it was possible determine a turning process condition by means of the equation Scale = 9.621 – 0. 012SPEED RATE - 0.078 DEPTH OF CUT - 68.487FEED RATE – 0.001SPEED*DEPTH – 0.002SPEED*FEED RATE - 4.109DEPTH OF CUT*FEED RATE – 0.020SPEED*DEPTH OF CUT*FEED RATE. The level of confidence 95% and based test the result error of 0.05.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ศรีสัจจา บุญฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำโครงงาน และขอขอบพระคุณที่ช่วยให้แนวทางในการทำการทดลองที่ถูกต้อง

นอกจากนี้แล้วยังมีนายประเทือง โมรารายและนายธวัชชัย ชุลบุตร ครูช่างในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำการทดลอง รวมไปถึงครูช่างในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับทำการทดลอง และ ผศ.ดร. เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี อาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่สละเวลาสอนโปรแกรมสถิติ และช่วยแนะแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนในด้านการเงินและเป็นผู้ที่ให้กำลังใจแก่ผู้ทำการวิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาววริตา หนูนันท์
นางสาวศิริภรณ์ ณ นคร
กุมภาพันธ์ 2553

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....ญ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 หลักการและเหตุผล.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน.....2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ.....2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย.....2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....4
2.1 ตัวแปรเครื่องกลึงที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง.....4
2.2 อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด.....17
2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิศวกรรม.....27

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....33
3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล.....33
3.2 สิ่งที่ใช้ในการดำเนินงาน.....33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ดำเนินการทดลอง....34
3.4 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ....36
3.5 สรุปผลการทดลอง....36

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์....37
4.1 ดำเนินการทดลอง....37
4.2 ผลการทดลอง....39
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน....40
4.4 การวิเคราะห์การถดถอย....43
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราการป้อน....45

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ....47
5.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง....47
5.2 ข้อเสนอแนะ....47

เอกสารอ้างอิง....48

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน....3

2.1 ขนาดมุมต่างๆของมีดกลึง....13

2.2 ตาราง Two-way ANOVA....30

3.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง....35

4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง....39

4.2 ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาการใช้งานของมีดกลึง....40

4.3 ตาราง Model Summary....43

4.4 ตาราง ANOVA....43

4.5 ตาราง Coefficients....43

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงความเร็วตัดสำหรับงานกลึง....5

2.2 แผนภาพความเร็วตัด....7

2.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ....8

2.4 กลึงปอกหยาบ....10

2.5 กลึงปอกละเอียด....10

2.6 มุมต่างๆของมีดกลึง....13

2.7 ตำแหน่งของคมมีดกลึงเทียบกับปลายยันศูนย์ท้าย....14

2.8 การจับและลับมีดด้านหน้า....15

2.9 การจับและลับด้านข้าง....15

2.10 การจับและการลับมุมหลบข้าง....16

2.11 ระยะของแท่นรองลับกับล้อหินเจียระไน....16

2.12 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวหลบ....17

2.13 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย....18

2.14 ลักษณะของการสึกหรอที่ปลายมีด....19

2.15 ใบวัดมีด....20

2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ กับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด....21

2.17 การพัฒนาของการสึกหรอ....22

2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการอายุการใช้งานของใบมีดกับความเร็วตัดที่เปลี่ยนไป....23

2.19 อายุคมมีดและความเร็วตัด , วัสดุเกรด SAE 3140 , อัตราป้อน 0.0128 ipr , ระยะตัดลึก 0.50 เส้นกราฟที่ (1) carbon tool steel (2) high speed steel (3) cemented carbide....24

2.20 เส้นตรงแสดงอายุการใช้งานของมีดกลึง....26

2.21 การจัดแบ่ง Regression Analysis ตามชนิดของข้อมูลที่ต้องการจะวิเคราะห์....31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.22 แสดงลำดับการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Regression Analysis....32

3.1 ลักษณะชิ้นงานที่ทำการทดลอง....34

4.1 เตรียมชิ้นงานโดยใช้เครื่องเลื่อยไฟฟ้า....37

4.2 ชิ้นงานที่ตัดเรียบร้อย....37

4.3 ใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) วัดความเร็วรอบ....38

4.4 ทำการกลึงเพื่อหาเวลาการสึกหรอของมีดกลึง....38

4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของของความเร็วรอบที่ 355 รอบ/นาที ความลึกในการป้อน มีดกลึงและอัตราการป้อน....45

4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของของความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที ความลึกในการป้อน มีดกลึงและอัตราการป้อน....46

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

AISI 1045	=	เหล็กเพลาแดง
V	=	ความเร็วตัด (Cutting speed)
n	=	ความเร็วรอบของชิ้นงาน (รอบ/นาที)
f	=	อัตราการป้อน (Feed rate)
d	=	ความลึกในการป้อนมีดกลึง (Depth of cut)
HSS	=	เหล็กกล้าความเร็วสูง
W	=	ทังสเตน (Tungsten)
Cr	=	โครเมียม (Chromium)
V	=	วาเนเดียม (Vanadium)
Mo	=	โมลิบดีนัม (Molybdenum)
Co	=	โคบอลต์ (Cobalt)
T-series	=	เหล็กกล้าความเร็วสูงชนิดทังสเตน
M-series	=	เหล็กกล้าความเร็วสูงชนิดโมลิบดีนัม
HRc	=	การทดสอบเหล็กกล้าด้วยตารางทดสอบแบบ C
α	=	มุมหลบหลักของมีดกลึง
β	=	มุมลิ่มของมีดกลึง
γ	=	มุมคายของมีดกลึง
VB	=	การสึกหรอบนผิวหลบ (Flank ware)
T	=	อายุมีดตัด (นาที)
n	=	ค่าขึ้นอยู่กับเครื่องมือและชิ้นงาน
C	=	ค่าคงที่ กำหนดจากวัสดุของชิ้นงานหรือมีดตัด
H_o	=	ค่ากลางของประชาชน (กระบวนการ) ไม่แตกต่างกัน
H_a	=	อย่างน้อย 2 ประชากร (กระบวนการ) มีความแตกต่างกัน
SS	=	Sum square
T	=	Total
A	=	Factor A
B	=	Factor B
AB	=	Interaction of Factor A and B

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

E	=	Error
a	=	Number of levels of factor A
b	=	Number of levels of factor B
n	=	Number of replication per cell

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการ และเหตุผล

เครื่องจักรกลเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท การสร้างเครื่องจักรสำหรับอุตสาหกรรมในปัจจุบัน จำเป็นต้องใช้เครื่องมือสำคัญในการสร้างคือ "เครื่องมือกล (Machine Tools)" เครื่องมือกลมีการพัฒนาไปพร้อมกับความก้าวหน้าของการออกแบบและเทคโนโลยีของเครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรม เครื่องมือกลที่ประเทศไทยสั่งซื้อเข้ามาใช้ โดยส่วนมากจะนำมาใช้ในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมการผลิต เช่น เครื่องกลึง เครื่องเจาะ เครื่องไส เครื่องกัด เครื่องเจียระไน ฯลฯ

งานเครื่องมือกลอย่างการกลึงจะทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ได้ผิวงานเรียบ เป็นมันสวยงาม ชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์นั้นจะออกมามีคุณภาพของงานดี นอกจากจะใช้เครื่องกลึงที่ทันสมัยแล้ว จะต้องใช้มีดกลึงที่มีคมตัดที่ถูกต้อง เพื่อกลึงชิ้นงานให้ถูกต้องตามขนาดที่กำหนด และยังจะทำให้ราคาสินค้าสูงตามไปด้วย การที่จะทำการกลึงชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพที่ดี มีดกลึงจะต้องลับได้ถูกต้องของมุมมีดนั้นๆ ซึ่งจะกำหนดเป็นมุมองศา ซึ่งเมื่อนำมีดกลึงที่มีมุมที่ถูกต้องมาใช้งาน ก็จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ ผิวงานมีความเรียบเป็นเงาสวยงาม และสามารถแข่งขันกับผู้ประกอบการอื่น ๆ ได้

อย่างไรก็ตามการสึกหรอของมีดตัดยังเป็นปัญหาหลักในกระบวนการกลึงขึ้นรูปชิ้นงาน เนื่องจากการสึกหรอของมีดตัดส่งผลกระทบต่อขนาดและรูปร่างของชิ้นงานไม่ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งทำให้เกิดอัตราการผลิตต่ำเนื่องจากการหยุดเครื่องเพื่อเปลี่ยนมีดตัดใหม่

จากปัญหาด้านต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น เป็นแรงจูงใจให้คณะผู้จัดทำโครงงานได้ออกแบบการทดลองเพื่อประยุกต์ตัวแปรต่างๆ ของเครื่องกลึงที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง ให้มีดกลึงใช้งานได้นานขึ้นและลดจำนวนครั้งในการลับมีดกลึง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ศึกษาตัวแปรการกลึงที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ทราบถึงตัวแปรการกลึงที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับอายุการใช้งานของมีดกลึง

1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 เครื่องกลึงที่ใช้เลขที่ 18 ยี่ห้อ MASHSTROY TROYAN รุ่น C11MT

1.5.2 ใบมีดที่ใช้คือ เหล็กกล้าความเร็วสูง (High Speed Steel : HSS)

1.5.3 ชิ้นงานคือ เหล็กเพลาแดง (AISI 1045) เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 12 นิ้ว

1.5.4 ตัวแปรของเครื่องกลึง

1.5.4.1 ความเร็วรอบของชิ้นงาน (Speed) คือ 355 และ 500 รอบ/นาที

1.5.4.2 ระยะลึกของรอยตัด (Depth of cut) คือ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร

1.5.4.3 อัตราการป้อน (Feed rate) คือ 0.004, 0.006 และ 0.008 นิ้ว/รอบ

1.5.4.4 ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น

1.5.5 ลักษณะการกลึงที่ศึกษาคือ กลึงปอกผิว

1.6 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

1.6.1 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.3 หอสมุดมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.4 เครือข่ายอินเตอร์เน็ต

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

เดือนกรกฎาคม 2552 ถึงเดือนมกราคม 2553

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค.		ส.ค.		ก.ย.		ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.		ม.ค.	
1.	ศึกษาและรวบรวมข้อมูล														
2.	ออกแบบการทดลอง														
3.	ดำเนินการทดลอง														
4.	วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ														
5.	สรุปผล														

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

เครื่องกลึงนับว่าเป็นบิดาของบรรดาเครื่องจักรกลทั้งหลาย เพราะทำงานได้แทบทุกชนิด เช่น กลึงชิ้นส่วนของเรือกลไฟ รถไฟ รถยนต์ เครื่องบิน มอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องจักรกลต่างๆ เครื่องกลึงมีใช้มาหลายศตวรรษแล้ว และพยายามแก้ไขดัดแปลงให้ดีอยู่เสมอ เครื่องกลึงนับว่าเป็นเครื่องจักรที่สำคัญมากในโรงงานช่างกล เพราะไม่มีเครื่องจักรใดทำงานได้เทียบเท่ากับเครื่องกลึง

ประวัติเครื่องกลึง

พ.ศ. 2283 ช่างและวิศวกรรมของฝรั่งเศสสร้างเครื่องกลึงขนาดเล็กซึ่งทำด้วยโลหะได้เป็นครั้งแรก จึงเป็นเครื่องกลึงที่ทันสมัยที่สุดในยุคนั้น เพราะไม่ต้องยืนกลึงอยู่ใต้ต้นไม้ และมีชิ้นส่วนต่างๆ ที่ให้ความสะดวกมาก

พ.ศ. 2340 Mr. Henry Maudslay ชาวอังกฤษ ได้คิดสร้างเครื่องกลึงขนาดเล็กแบบ Engine Lathe ซึ่งเป็นเครื่องกลึงที่ใช้เฟืองต่อเชื่อมระหว่างเพลากับลีดสกูรได้สำเร็จ เพราะมีเฟืองหลายขนาดใช้ถอดเปลี่ยนได้ตามต้องการ

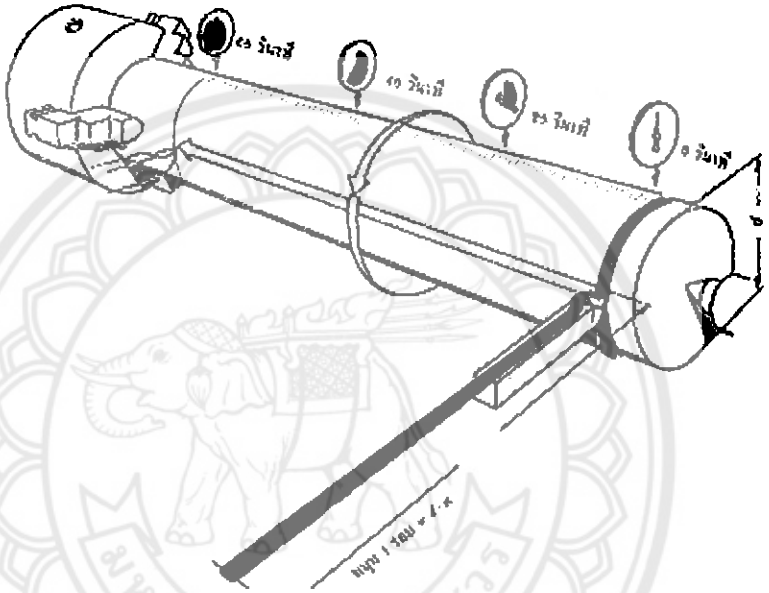
พ.ศ. 2343 ถึง พ.ศ. 2373 ประเทศสหรัฐอเมริกาสร้างเครื่องกลึงได้สำเร็จ แต่แท่นเครื่องกลึงทำด้วยไม้ ต่อมาได้พยายามพัฒนาการจนทำด้วยเหล็กสำเร็จ และอีก 6 ปีต่อมา คือปีพ.ศ. 2379 Mr. Putnam แห่งเมือง Fitchburg รัฐแมสซาชูเซตต์ (Massachusetts) สามารถสร้างเครื่องกลึงขนาดเล็กที่มีลีดสกูร และอีก 14 ปีต่อมา คือปีพ.ศ. 2393 ที่เมือง New Haven รัฐคอนเนกติกัต (Connecticut) มีผู้สามารถสร้างเครื่องกลึงที่แท่นเครื่องทำด้วยเหล็กได้อีก จนกระทั่งปีพ.ศ. 2396 Mr. Freeland แห่งนครนิวยอร์ก สามารถสร้างเครื่องกลึงที่มีหน้าจานขนาดประมาณ 20 นิ้ว แท่นเครื่องทำด้วยเหล็กยาว 12 ฟุต หรือ 3.66 เมตร และมีฝาปิดแบ็คเกียร์ การใช้แบ็คเกียร์จะทดรอบได้ประมาณ 6 : 1 ทำให้มีกำลังดีขึ้น

เครื่องกลึงใช้กลึงชิ้นงานได้หลายอย่าง เช่น กลึงปอก กลึงปาดหน้า กลึงเกลียว กลึงเป็นรูปเรียว ตลอดจนการเจาะ คว้าน และการพิมพ์ลาย ส่วนลักษณะพิเศษใช้ทำงานอย่างอื่นได้คล้ายกับเครื่องกัด เครื่องไส และเครื่องเจียระไน เป็นต้น

2.1 ตัวแปรเครื่องกลึงที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

2.1.1 ความเร็วตัด (Cutting speed : V)

ความเร็วตัด (Cutting Speed) หมายถึง ความเร็วที่คมมีดตัด ตัดหรือปาดผิวโลหะออก เมื่อชิ้นงานหมุนไปครบ 1 รอบ ซึ่งมีดตัดต้องปาดผิวโลหะออกเป็นเส้นยาว เท่ากับเส้นรอบวงของชิ้นงานพอดี หน่วยวัดความเร็วตัดคิดเป็นเมตรต่อนาที



รูปที่ 2.1 แสดงความเร็วตัดสำหรับงานกลึง

ที่มา : www.krudaeng.wikispaces.com/file/view/งานกลึง+1.doc

2.1.1.1 การคำนวณความเร็วตัด

ถ้ากำหนดให้

d = เส้นผ่าศูนย์กลางชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

n = ความเร็วรอบของชิ้นงาน (รอบ/นาที)

v = ความเร็วตัด (เมตร/นาที)

จะได้สูตร

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad \text{(เมตร/นาที)} \qquad (2.1)$$

2.1.1.2 การกำหนดความเร็วตัดที่เหมาะสม

ความเร็วตัดที่ต่ำมากทำให้เสียเวลาในการกลึง ความเร็วตัดสูงไปทำให้คมมีดเสียดสีกับผิวงาน เร็วมากทำให้มีดกลึงทื่อเร็ว ความเร็วตัดที่เหมาะสมได้จากการพิจารณาปัจจัยต่อไปนี้

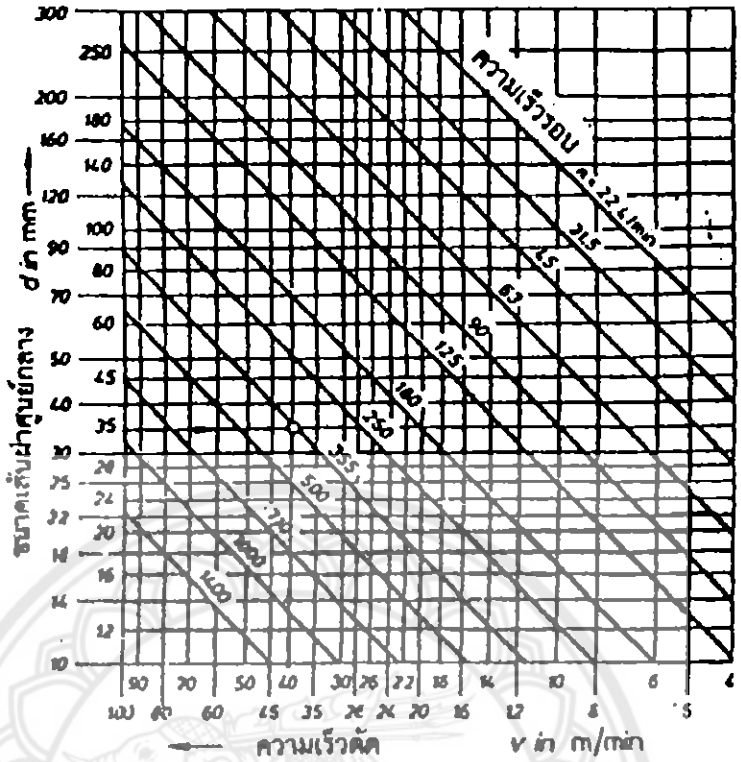
(1) วัสดุชิ้นงาน การกลึงปาดผิววัสดุแข็งจะเกิดความร้อนสูงกว่าปาดผิววัสดุอ่อน วัสดุแข็งจึงควรใช้ความเร็วตัดต่ำ

(2) วัสดุมีดกลึง มีดกลึงที่มีความแข็งกว่า และสามารถคงความแข็งได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าย่อมใช้ความเร็วตัดที่สูงกว่าในการปาดผิวชิ้นงาน เช่น มีดโลหะแข็งที่ใช้กลึงงานด้วยความเร็วตัดสูงกว่ามีดกลึงเหล็กรอบสูง

(3) ขนาดหน้าตัดเศษกลึง งานกลึงหยาบใช้ความเร็วตัดต่ำกว่างานกลึงละเอียดเพราะงานกลึงหยาบต้องปาดผิวโลหะออกครั้งละมาก ๆ ซึ่งจะเกิดความร้อนมากกว่า

(4) การหล่อเย็น งานกลึงที่มีการหล่อเย็นที่เหมาะสมจะช่วยระบายความร้อนที่คมมีดลดความฝืด ซึ่งเกิดจากการเสียดสีของคมมีดกลึงกับผิวชิ้นงาน ทำให้สามารถใช้ความเร็วตัดสูงขึ้นได้

(5) ลักษณะของชิ้นงาน ชิ้นงานที่มีหน้าตัดเป็นเหลี่ยม, มีร่องหรือรูในตำแหน่งที่จะกลึงขณะทำการกลึงการปาดผิวจะไม่ต่อเนื่อง คมมีดกลึงจะถูกกระแทกเนื่องจากสะดุดร่องหรือเหลี่ยมอยู่ตลอดเวลา จึงควรลดความเร็วตัดให้ต่ำกว่าปกติ



รูปที่ 2.2 แผนภาพความเร็วตัด

ที่มา: www.engineer.glorym.com/document/engineer.doc

ตัวอย่างการหาค่าความเร็วรอบจากกราฟ กำหนดให้ d = 35 มิลลิเมตร และ v = 40 เมตร/นาที จากกราฟจะได้ n = 355 รอบ/นาที

2.1.2 ความเร็วรอบของชิ้นงาน (Speed : n)

ความเร็วรอบของชิ้นงาน (speed) หมายถึง ความเร็วรอบของชิ้นงานหรือความเร็วรอบของเครื่องมือตัดที่หมุนได้ในเวลา 1 นาที เป็นหน่วยวัดที่เป็นรอบต่อนาที (Revolution Per Minute : RPM)

ถ้ากำหนดให้

d = เส้นผ่าศูนย์กลางชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

n = ความเร็วรอบของชิ้นงาน (รอบ/นาที)

v = ความเร็วตัด (เมตร/นาที)

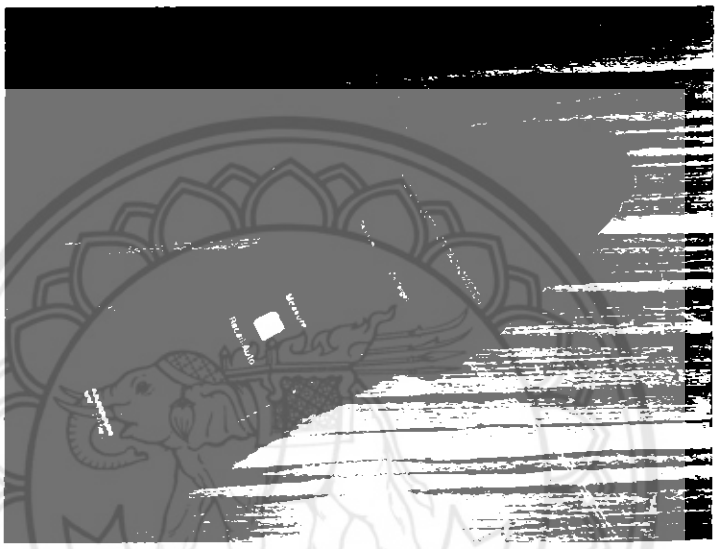
จะได้สูตร

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} \quad \text{(รอบ/นาที)} \qquad \textbf{(2.2)}$$

2.1.2.1 วิธีหาความเร็วรอบด้วยกราฟ

การคำนวณความเร็วรอบดังกล่าวมาแล้วข้างต้นเสียเวลามาก วิธีปฏิบัติจริงในโรงงาน เรานิยมหาความเร็วรอบ โดยอ่านจากกราฟมากกว่า (ดูรูปที่ 2.2) จะอ่านได้ง่ายกว่า

2.1.2.2 วิธีหาความเร็วรอบด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)



รูปที่ 2.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดเฉือนชิ้นงานกับความเร็วรอบ คือเมื่อความเร็วในการตัดเฉือนชิ้นงานเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบจะเพิ่มตามไปด้วย

2.1.3 อัตราการป้อน (Feed rate : f)

อัตราการป้อน หมายถึง ระยะทางการเดินป้อนมีดไปตามความยาวของชิ้นงาน ในแต่ละรอบของอัตราการป้อน อาจพิจารณาความหนาของเศษตัดในอัตราการป้อน 0.2 มิลลิเมตร มีดกลึงจะเคลื่อนที่ป้อนตัดงานเป็นระยะทาง 0.2 มิลลิเมตร ตามความยาวของงานหมุนไป 1 รอบ ถ้าชิ้นงานหมุน 10 รอบ ระยะทางของมีดจะเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่ากับ $10 \times 0.2 = 2$ มิลลิเมตร

ในกรณีที่ทำการตัดเฉือนผิวงานออกเพียง 2 ครั้ง ให้ได้ผิวงานสำเร็จขั้นสุดท้าย ควรตัดเฉือนผิวงานออก 1 ครั้ง แล้วตัดเฉือนผิวงานขั้นสุดท้าย

เศษกลึงขณะที่ทำการกลึงไหลออกมาเร็วมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ผิวงานออกมาไม่เรียบ การกลึงลักษณะนี้เรียกว่าการกลึงหยาบ (Roughing cut)

เศษกลึงขณะทำงานไหลออกมาน้อย ผิวงานเรียบเรียกกรรมวิธีการกลึงลักษณะนี้ว่า การกลึงละเอียด (Finishing Cut) ส่วนมากจะใช้กลึงขั้นสุดท้าย จะได้ผิวเรียบและขนาดถูกต้อง

ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ความเร็วตัดกับอัตราป้อน

1. ถ้าอัตราการป้อนมาก ความเร็วรอบในการกลึงจะต้องลดลงเมื่อการป้อนมีดมีความลึกของการตัดคงที่

2. ถ้าความเร็วรอบในการกลึงมากอัตราป้อนต้องลดลงเมื่อการป้อนมีด มีความลึกของการตัดคงที่

3. ถ้าความลึกของมีดป้อนกลึงมากขึ้น ความเร็วรอบต้องลดลงเมื่ออัตราป้อนคงที่

2.1.4 ความลึกในการป้อนมีดกลึง (Depth of cut : d)

ความลึกในการป้อนมีดกลึงที่เกิดขึ้นจากการป้อนตัดมีดลึกเข้าไปในงานทำให้เศษโลหะไหลออกมา เช่นชิ้นงานเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ถ้ากลึงงานเพื่อลดขนาดออก 4 มิลลิเมตร เส้นผ่าน-ศูนย์กลางงานจะเหลือ 16 มิลลิเมตรความลึกในการป้อนมีดกลึงขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุเป็นสำคัญ การใช้อัตราป้อน สามารถเลือกให้สูงได้ถ้ากำลังของเครื่องดีพอ ความแข็งของวัสดุงานน้อย สามารถป้อนได้มาก ถ้าหากป้อนชิ้นงานให้ลึกแล้วต้องลดอัตราป้อนกินให้น้อยลง สิ่งที่สำคัญซึ่งต้องพิจารณาความเร็วตัดที่ใช้ให้ถูกต้องที่สุด ความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราป้อนเหมาะสมที่สุดเพื่อประหยัดเวลาการทำงาน

2.1.4.1 หลักเกณฑ์การพิจารณาเลือกใช้ความลึกในการป้อนมีดกลึง สำหรับงานปกติทั่วไป ควรพิจารณาดังนี้

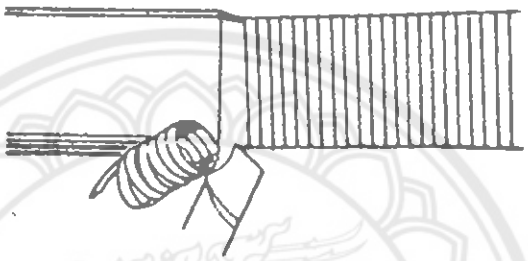
(1) ขนาดความโตของชิ้นงานก่อนทำการตัดเฉือน (โตกว่าขนาดงานสำเร็จ) ควรจะโตกว่าประมาณ 3.18 มิลลิเมตร เช่น ขนาดงานจริงเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตรขนาดวัสดุก่อนทำการตัดเฉือนควรโต 50 + 3.18 = 53.18 มิลลิเมตร เพื่อให้แน่ใจว่าระยะลึกในการกลึงปอกหยาบออกพอสำหรับกลึงละเอียด (ผิวสำเร็จ) โดยที่ไม่ทำให้ขนาดใช้งานเสีย (ขนาดตามแบบงาน)

(2) ถ้าคำนวณความเร็วรอบอยู่ในช่วงกลางของค่าสองค่า ให้เลือกใช้ความเร็วรอบในขั้นต่ำ ถ้าหากสภาพของเครื่องมีดกลึงและชิ้นงานเหมาะสม อาจจะเลือกความเร็วรอบในขั้นสูงได้ แต่ถ้าความเร็วรอบที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าในช่วงสูงให้เลือกความเร็วในช่วงสูงใช้งานได้

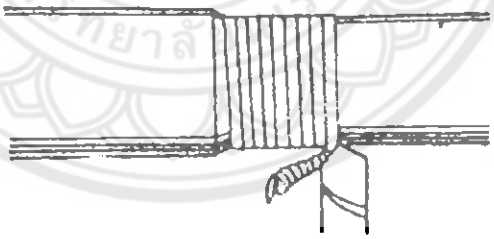
(3) ความลึกในการป้อนมีดกลึงในการกลึงหยาบควรป้อนลึกและหยาบมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เหลือไว้ประมาณ 0.76 มิลลิเมตรสำหรับขนาดความโตของชิ้นงานก่อนที่จะกลึงผิวขั้นสุดท้าย

(3) ความลึกในการป้อนมีดกลึงในการกลึงหยาบควรป้อนลึกและหยาบมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เหลือไว้ประมาณ 0.76 มิลลิเมตรสำหรับขนาดความโตของชิ้นงานก่อนที่จะกลึงผิวขั้นสุดท้าย

(4) ในการกลึงเหล็กหล่อหรือโลหะอื่นๆ ซึ่งผิวรอบๆ ชิ้นงานเป็นสะเก็ด ความลึกในการกลึงครั้งแรก การป้อนมีดกินลึกจะต้องให้คมตัดของมีดกลึงตัดให้ลึกพอที่จะทำให้ส่วนผิวเปลือกแข็งหลุดออกไปให้หมด เพราะผิวเปลือกแข็งๆนี้จะทำให้มีดสึกหรอเร็ว



รูปที่ 2.4 กลึงปอกหยาบ
ที่มา : ศุภชัย (2527)



รูปที่ 2.5 กลึงปอกละเอียด
ที่มา : ศุภชัย (2527)

2.1.5 มีดกลึง

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้เครื่องมือตัดในการตัดแปรรูปชิ้นส่วนโลหะมี 2 ประการ คือเครื่องมือตัดจะต้องมีความแข็งกว่าวัสดุที่จะทำการตัด และเครื่องมือตัดที่ใช้จะต้องมีรูปทรงทางเรขาคณิต (มุมของคมตัด) ที่แน่นอนและไม่เปลี่ยนรูปทรงง่าย เครื่องมือตัดที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติที่สามารถทนต่อสภาวะในการตัด เช่น การทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างทำการตัดเฉือน และจะต้องมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า

วัสดุที่จะใช้ทำ เครื่องมือตัดควรมีคุณสมบัติดังนี้

- มีความแข็งสูง (High hardness)
- ทนทานต่อการสึกหรอ (Wear Resistance)
- มีความเหนียวสูง (High toughness)
- สามารถคงความแข็ง ณ ที่อุณหภูมิสูง (High hot hardness)
- ทนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปทรง (Deformation resistance)
- มีเสถียรภาพเชิงเคมีที่ดี (Good chemical Stability)
- มีความเฉื่อยในเชิงเคมี (Chemical inertness)
- มีความแข็งตึง (Stiffness)
- สามารถขึ้นรูปได้ง่าย (Easy fabricability)
- สามารถหามาใช้ได้ง่าย (Easy availability)
- ราคาถูก (Low cost)

วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัดในครั้งแรก คือ เหล็กที่ใช้ทำเครื่องมือผสมสารคาร์บอน (Carbon tool steel) หรือเหล็กคาร์บอนสูง (High carbon steel) เนื่องจากมีความแข็งสูง ต่อมาในปี ค.ศ.1900 จึงเริ่มมีการใช้เหล็กคาร์บอนสูง

2.1.5.1 High-Speed steel (HSS)

เป็นเหล็กคาร์บอนผสมทังสเตน (Tungsten : W), โครเมียม(Chromium : Cr), วาเนเดียม (Vanadium : V), โมลิบดีนัม (Molybdenum : Mo) และโคบอลต์ (Cobalt : Co)

เป็นเหล็กที่สามารถชุบแข็งได้และมีความเหนียวที่สามารถรักษามุมตัดของเครื่องมือตัดได้จนถึงอุณหภูมิประมาณ 1200 องศาฟาเรนไฮน์ (650 องศาเซลเซียส)สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

(1) เหล็ก HSS ชนิด 18-4-1 (ทังสเตน 18 เปอร์เซ็นต์ (12-18 เปอร์เซ็นต์), โครเมียม 4 เปอร์เซ็นต์, วาเนเดียม 1 เปอร์เซ็นต์) เรียกว่าเหล็ก HSS ชนิดทังสเตน จะมีคุณสมบัติที่ทนต่อการสึกหรอและทนต่อความร้อนได้ดี (T-series)

(2) เหล็ก HSS ชนิด 6-4-4-2 (ทังสเตน 6 เปอร์เซ็นต์, โมลิบดีนัม 6 เปอร์เซ็นต์ (จนถึง 10 เปอร์เซ็นต์), โครเมียม 4 เปอร์เซ็นต์, วาเนเดียม 2 เปอร์เซ็นต์) เรียกว่าเหล็ก HSS ชนิดโมลิบดีนัม จะมีคุณสมบัติที่ทนต่อการสึกหรอและทนต่อแรงกระแทก (M-series)

(3) เหล็ก HSS ชนิด Super HSS เป็นเหล็ก HSS ที่มีส่วนผสมของโคบอลต์ (อยู่ระหว่าง 2-15เปอร์เซ็นต์ (ทังสเตน 20 เปอร์เซ็นต์, โครเมียม 4 เปอร์เซ็นต์, วาเนเดียม 2 เปอร์เซ็นต์, โคบอลต์ 12 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดเฉือนให้ดีขึ้น มักใช้ในงานตัดใหญ่ๆ เพราะทนต่ออุณหภูมิได้สูง

95% ของ HSS มักจะเป็นแบบ M-series

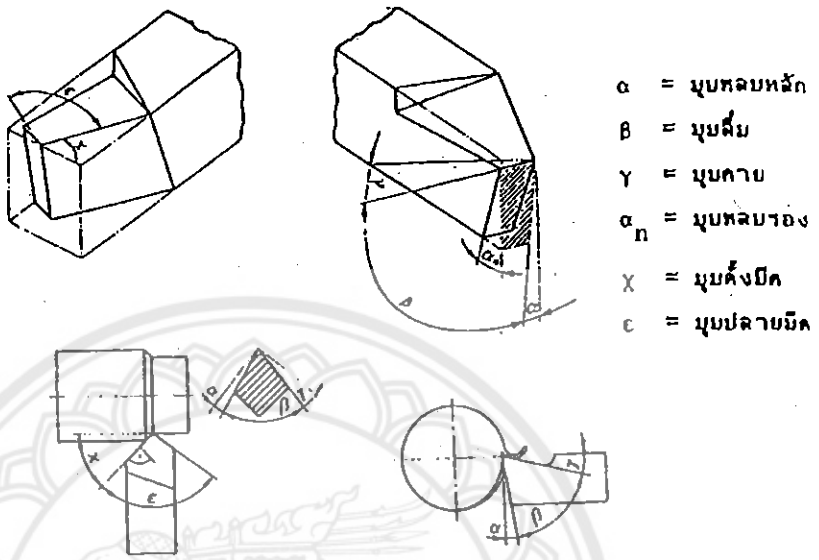
คุณสมบัติของเหล็ก HSS

- มีราคาถูกกว่าเหล็ก Carbide Tools
- การลับคมมีดสามารถทำได้ง่ายกว่า
- ความแข็ง 65 – 67 HRc
- ความเร็วตัด 50 – 100 ฟุตต่อนาที

ประโยชน์ มีความแข็งเหนียวและทนต่อการขัดสีได้ดี เวลากลึงใช้ความเร็วรอบสูงกว่ามีดกลึงที่ทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนมาก เพราะทนอุณหภูมิได้ถึง 1100 – 1200 องศาฟาเรนไฮน์ หรือ 593 – 649 องศาเซลเซียส นิยมใช้กันมากสำหรับกลึงชิ้นงานทั่วๆ ไปเพราะมีความแข็งเหนียว ทนต่อการขัดสีได้ดี และราคาพอสมควร

2.1.5.2 รูปทรงเรขาคณิตของใบมีดกลึง

การที่จะปาดผิวชิ้นงานออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่คมมีดไม่ทื่อเร็ว นอกจากความแข็งของคมมีดแล้ว ยังต้องคำนึงถึง มุมลิ่ม มุมคาย มุมหลบ มุมปลายมีดของมีดกลึงด้วย



รูปที่ 2.6 มุมต่างๆ ของมีดกลึง

ที่มา : www.engineer.glorym.com/document/engineer.doc

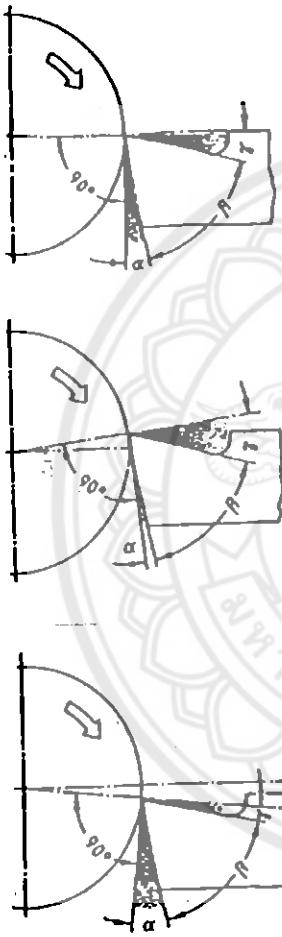
ขนาดมุมต่างๆ ของมีดกลึง แปรเปลี่ยนไปตามประเภทของวัสดุมีดและวัสดุชิ้นงาน ดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดมุมต่างๆของมีดกลึง

โลหะแข็ง Hard Metal			วัสดุชิ้นงาน	เหล็กรอบสูง HSS		
α	β	γ		α	β	γ
5	75	10	เหล็กกล้า St.60 หรือน้อยกว่า	8	68	14
5	77	8	เหล็กกล้า St.70 หรือมากกว่า	8	72	10
5	85	0	เหล็กหล่อ	8	82	0
5	79	6	ทองเหลือง บรอนซ์	6	82	2
10	60	20	อะลูมิเนียม	10	50	30
12	66	12	พลาสติก	12	66	12

ที่มา : www.engineer.glorym.com/document/engineer.doc

ในการกลึงปอกผิว ความสูง-ต่ำของคมมีดเมื่อเปรียบกับศูนย์กลางการหมุนของชิ้นงาน มีผล ให้มุมคายและมุมหลบของมีดกลึงเปลี่ยนไป ดังนั้นการยึดมีดกลึงกับป้อมมีด จึงต้องปรับคมมีดให้ได้ความสูงเท่ากับศูนย์กลางการหมุนของชิ้นงาน โดยอาจเทียบคมมีดกับปลายยันศูนย์ท้าย



เมื่อคมมีดกลึงอยู่สูงเท่ากับศูนย์กลางการหมุนของชิ้นงาน มุมคายและมุมหลบจะมีขนาดเท่าเดิมปกติ

เมื่อคมมีดกลึงอยู่สูงกว่าศูนย์กลางการหมุนของชิ้นงาน มุมคายจะโตขึ้นและมุมหลบจะมีขนาดเล็กลง

เมื่อคมมีดกลึงอยู่ต่ำกว่าศูนย์กลางการหมุนของชิ้นงาน มุมคายจะเล็กลงและมุมหลบจะมีขนาดโตขึ้น ทำให้เศษกลึงไหลออกง่ายขึ้น

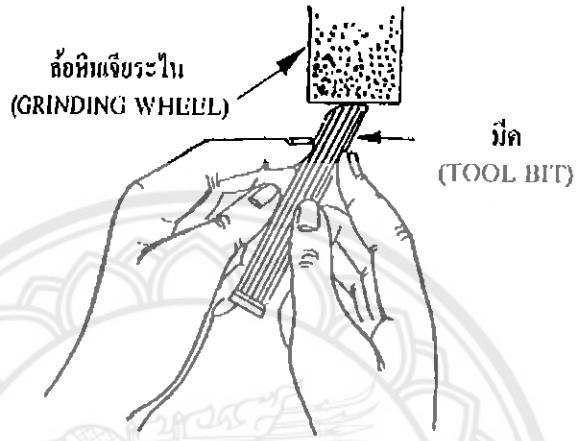
รูปที่ 2.7 ตำแหน่งของคมมีดกลึงเทียบกับปลายยันศูนย์ท้าย

ที่มา : www.engineer.glorym.com/document/engineer.doc

ในทางปฏิบัติ นิยมตั้งคมมีดกลึงให้สูงกว่าศูนย์กลางการหมุนของชิ้นงาน ประมาณ 2% ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางการกลึง

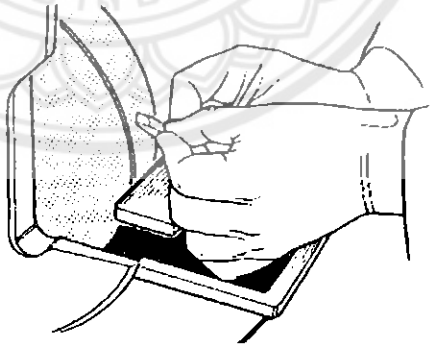
2.1.5.3 การลับมีดกลึง

การจับมีดกลึงลับจะต้องจับให้กระชับมือ และถนัดจับให้แน่น ป้องกันการหลุดกระเด็น หมั่นนำมีดกลึงจุ่มน้ำมันหล่อเย็นบ่อย ๆ



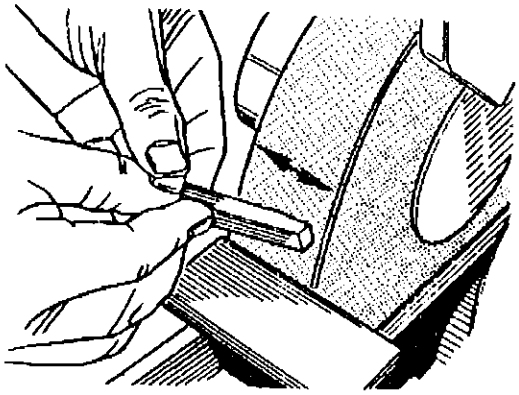
รูปที่ 2.8 การจับและลับมีดด้านหน้า (Front Angle)

ที่มา : ศุภชัย (2527)



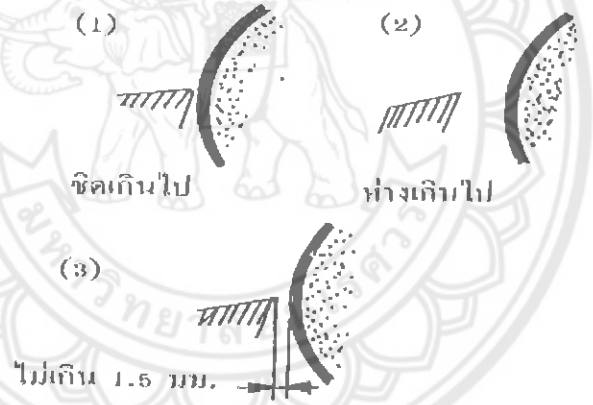
รูปที่ 2.9 การจับและลับด้านข้าง (Side Angle)

ที่มา : ศุภชัย (2527)



รูปที่ 2.10 การจับและการลับมุมหลบข้าง (Side Ranke Angle)

ที่มา : ศุภชัย (2527)



รูปที่ 2.11 ระยะของแท่นรองลับกับล้อหินเจียระไน

ที่มา : ศุภชัย (2527)

(1) แท่นรองลับชิดเกินไป จะทำให้ประกายและเศษลูกไฟระบายลงด้านล่างไม่ได้ กระเด็นถูกมือเจ็บ

(2) แท่นรองลับห่างเกินไป จะทำให้เกิดการงัดได้ง่ายขณะทำการลับ

(3) แท่นรองลับ จะต้องห่างจากหน้าหินเจียระไนไม่เกิน 1.5 มม. จึงจะทำให้การลับนั้นปลอดภัย และทำงานไม่ดี

หมายเหตุ อย่าจับมีดกดเฉพาะที่จะต้องเคลื่อนไป-มา ตลอดหน้าหินเจียระไน และออกแรงกดมีดอย่าใส่แรงมาก-น้อยเกินไป การลับนี้จะต้องอาศัยประสบการณ์

2.2 อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด (Tool life)

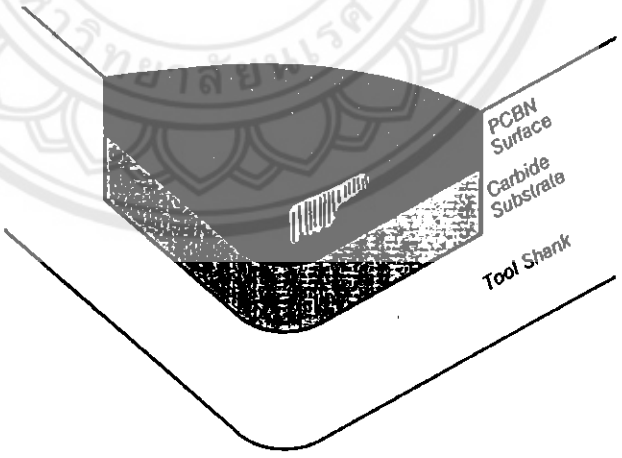
อายุมีด คือ เมื่อมีดตัดเสื่อมสภาพ มีการเปลี่ยนมีดนำมีดใหม่มาทดแทนและลับมีดที่เสียหรือเครื่องมือเดิม อายุบอกเป็นเวลาที่สามารถใช้งานได้

2.2.1 ชนิดการสึกหรอบนคมตัดของมีดกลึง

โดยทั่วไปแล้วการสึกหรอบนคมตัดของมีดกลึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดตามลักษณะของตำแหน่งที่เกิดการสึกหรอ คือ การสึกหรอบนผิวหลบ (Flank wear) การสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear) และการสึกหรอที่ปลายมีด (Nose wear)

2.2.1.1 การสึกหรอบนผิวหลบ

การสึกหรอบนผิวหลบ จะเกิดขึ้นเป็นแนวยาวด้านข้างของคมตัดดังในรูปที่ 2.12 การสึกหรอชนิดนี้เกิดจากการขัดสีกันระหว่างด้านข้างของมีดกลึงกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือน เมื่อการสึกหรอบนผิวหลบ เกิดขึ้นมากก็จะมีการขัดสีเพิ่มขึ้นทำให้ต้องการกำลังสำหรับการตัดเฉือนมากขึ้นตามไปด้วย

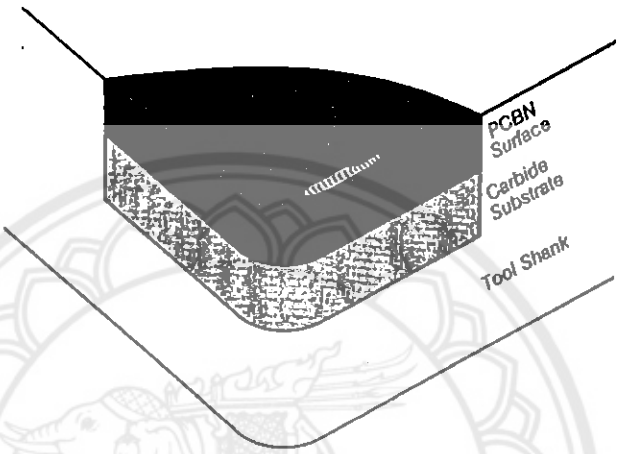


รูปที่ 2.12 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวหลบ

ที่มา : Steve F.Krar (2004)

2.2.1.2 การสึกหรอบนผิวคาย

การสึกหรอบนผิวคาย จะมีลักษณะเป็นหลุมหรือเป็นร่องลึก เกิดใกล้ๆ กับคมตัด แสดงในรูปที่ 2.13 การสึกหรอบนผิวคายเกิดจากการไถลของเศษกลึงไปบนผิวคายของมีดกลึง เมื่อการสึกหรอบนผิวคายเกิดขึ้นมากในที่สุดก็จะทำให้คมตัดเกิดการแตกหักได้

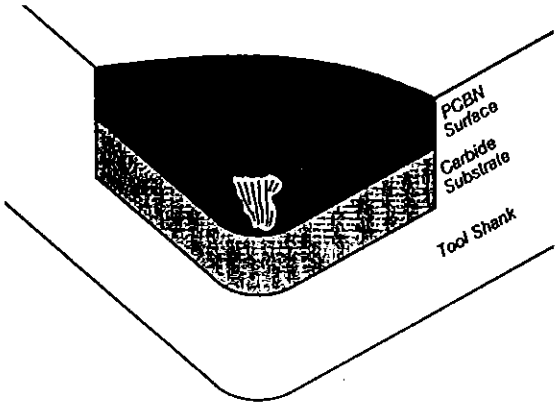


รูปที่ 2.13 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย

ที่มา : Steve F.Krar (2004)

2.2.1.3 การสึกหรอที่ปลายมีด

การสึกหรอที่ปลายมีด เป็นการสึกหรอที่ปลายมีดกลึงหรือจุดที่เกิดการเสียดสีระหว่างปลายมีดกลึงกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือนแสดงในรูปที่ 2.14 การสึกหรอที่ปลายมีด บนคมตัดจะส่งผลกับคุณภาพของผิวชิ้นงาน



รูปที่ 2.14 ลักษณะของการสึกหรอที่ปลายมีด

ที่มา : Steve F.Krar (2004)

2.2.2 เกณฑ์การหมดอายุของใบมีดกลึง (Tool life criterion)

สภาพการหมดอายุของใบมีดกลึง สามารถพิจารณาได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

2.2.2.1 เกณฑ์การหมดอายุการใช้งานของใบมีดโดยยึดถือตัวใบมีดเป็นหลัก (Tool Life Criteria base on tool) ซึ่งก็ได้แก่การพิจารณาสภาพของใบมีดโดยอาจถือว่าใบมีดสิ้นสภาพเมื่อ

- คมมีด (Cutting edge) กระเทาะหรือร้าว
- ขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบใหญ่เกินไป ตาม ISO ถ้า VBmax> 0.6 มิลลิเมตร หรือ VB average > 0.3 มิลลิเมตร
- ขนาดของการสึกหรอบนผิวคายลึกเกินไปหรือใหญ่เกินไป หรือกว้างเกินไป
- พิจารณาดูทั้งการสึกหรอบนผิวหลบและการสึกหรอบนผิวคายประกอบเข้าด้วยกัน
- ใบมีดแตกหักลงจริงๆ

2.2.2.2 เกณฑ์การหมดอายุการใช้งานของใบมีดโดยยึดถือเอาชิ้นงานเป็นหลัก (Tool Life Criteria base on workpiece)

- ขนาดของชิ้นส่วนที่ผลิตออกมามีขนาดไม่ถูกต้องตามที่กำหนด เช่น เกิดการสึกหรอที่ปลายมีด มีดก็จะทู่ มีขนาดสั้นลง ทำให้ชิ้นงานโตขึ้น หรือโตไม่สม่ำเสมอ

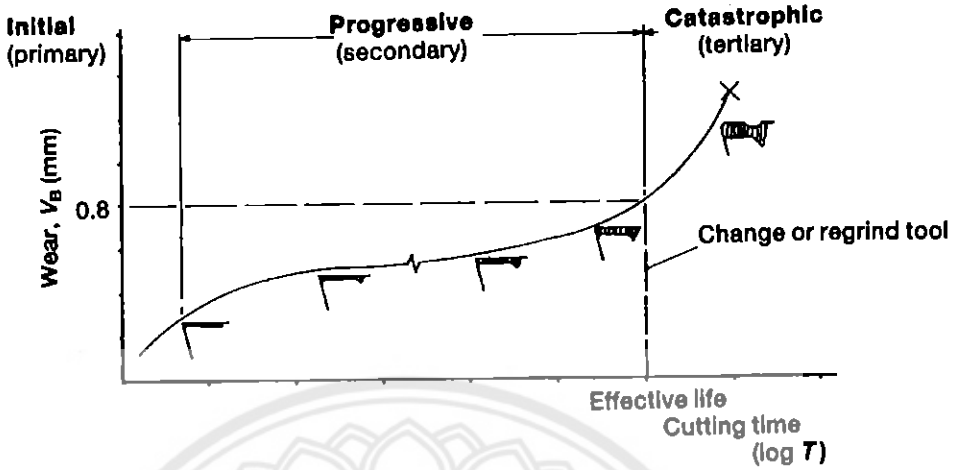
การพิจารณาขนาดของการสึกหรอบนมุมต่างๆ จำเป็นจะต้องมีเครื่องมืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่สำคัญเพิ่มเติม เช่น ใบวัดมุม (Angle Protractor) เป็นเครื่องมือวัดมุมสำหรับวัดมุมของเครื่องมือตัด เช่นมีดกลึง มีดไส ใบวัดมุมสามารถวัดมุมได้ตั้งแต่ 0-180 องศา

รูปที่ 2.15 ใบวัดมุม

ที่มา : www.store.flexbar.com/merchant2/merchant.mvc?Screen=PROD_MT&Store_Code=FLX&Product_Code=16336&Category_Code=MT-Angle-Gage

2.2.3 การสึกหรอของมีดกับอายุการใช้งาน

การสึกหรอของคมตัดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า มีดมีการหมดสภาพมีขนาดเกินที่กำหนดไว้ ซึ่งขนาดของการสึกหรอของคมตัดที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัดนั้น อาจจะประมาณจากขนาดของการสึกหรอแบบหลุมบนผิว หรือขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบก็ได้ ขนาดของการสึกหรอที่ใช้ในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด จะเป็นขนาดของการสึกหรอที่ถึงจุดที่การสึกหรอเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลให้ใบมีดหมดสภาพที่จะใช้งานต่อไป ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดวิกฤติ (Critical point) เช่น ถ้าพิจารณาพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ ในระหว่างอายุของใบมีดจะพบว่ามี 3 ขั้น คือ การสึกหรอขั้นแรก (Primary wear or Initial wear) การสึกหรอขั้นที่สอง (Secondary wear or Progressive wear) และขั้นสุดท้ายเป็นการสึกหรอขั้นที่สาม (tertiary wear or Catastrophic wear) ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ กับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด

ที่มา : GRAHAM T. SMITH (2004)

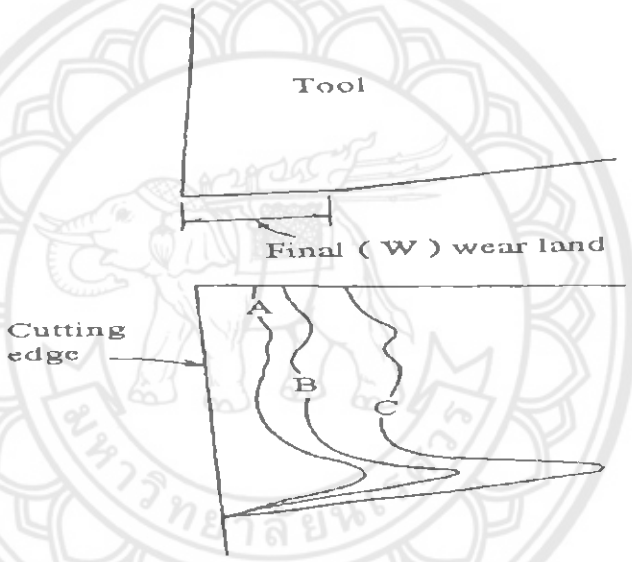
การสึกหรอขั้นแรก เมื่อนำมีดกลึงที่เพิ่งลับใหม่ หรือใบมีดใหม่มาใช้ทำการตัดเฉือนชิ้นงาน คมตัดก็จะเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็ว จากรูปที่ 2.16 กราฟแสดงขนาดของการสึกหรอเทียบกับเวลา แสดงให้เห็นว่าอัตราการสึกหรอในขั้นแรกจะสูงมาก ซึ่งอัตราการสึกหรอนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ในการตัดเฉือน และวัสดุของชิ้นงานที่ทำการตัดเฉือน

การสึกหรอขั้นที่สอง การสึกหรอในขั้นนี้เป็นการสึกหรอที่ดำเนินต่อเนื่องมาจากการสึกหรอในขั้นแรก แต่การสึกหรอเพิ่มขึ้นในลักษณะคงที่ คืออัตราการสึกหรอน้อยกว่าช่วงแรก จุดสิ้นสุดของการสึกหรอในช่วงนี้จะเรียกว่าจุดวิกฤติของการสึกหรอบนผิวหลบ (Critical Point of Flank Wear) หรือเรียกง่ายๆว่า Critical Flank ซึ่งจุดนี้มักใช้เป็นจุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานของใบมีด ในกรณีนี้จะสิ้นสุดเมื่อการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear , VB) มีขนาดมากกว่า 0.8 มิลลิเมตร (รูปที่ 2.16)

การสึกหรอขั้นที่สาม การสึกหรอในขั้นนี้เป็นการสึกหรอขั้นสุดท้าย การสึกหรอจะเกิดขึ้นมากและรวดเร็วซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียสภาพการใช้งาน (Failure) ของใบมีดหรืออินเสิร์ท การสูญเสียสภาพการใช้งานนี้เกิดจากการประกอบกันของการสึกหรอบนผิวหลบที่มีค่าสูง (High Flank Wear) กับการการสึกหรอบนผิวคายที่มีขนาดใหญ่ (Large Crater Wear)

2.2.4 การวัดอายุของมีด (Measuring Tool Life)

การศึกษาถึงการวัดอายุของมีดทำให้เราสามารถทราบถึงการแตกหักที่เกิดจากชิ้นงานการสึกหรอมากเกินไปทำให้เกิดการแตกหักของปลายมีดคมตัด หรืออาจเกิดการสึกหรอใช้งานไม่ได้ และทำให้ข้อแตกต่างของการออกแบบ และการเลือกเครื่องมือไม่เหมาะสม ปกติอายุคมมีดของมีดจะเกิดประโยชน์หรือประสิทธิภาพสูงสุดในขบวนการผลิตและจะทำให้เกิดการสึกหรอที่มีลักษณะค่อยๆ เกิดที่ด้านข้างของมีดตัด (มีดตัดทำงานติดต่อกัน) ส่วนการสึกหรอด้านหน้านั้นเกิดจากเศษโลหะที่ไหลออกจากมีดตัดหรือในพื้นที่ที่เท่าๆกัน การสึกหรอที่เกิดจากเศษโลหะไหลผ่านมีดตัดจะทำให้เกิดการสึกหรอลักษณะเป็นแอ่งลึกบน Rank face ถ้าอธิบายในรูปที่ 2.17

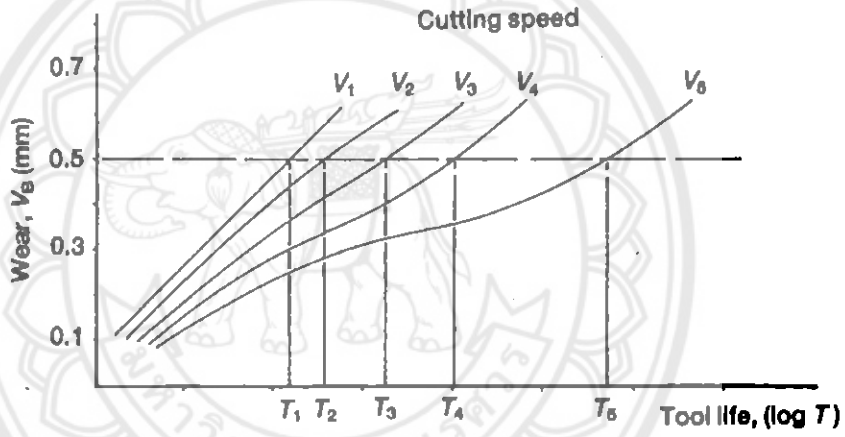


รูปที่ 2.17 การพัฒนาของการสึกหรอ, ช่วง A เป็นจุดเริ่มต้นและช่วงจุดสุดท้ายของการสึกหรอ

ที่มา : W.W. GILBERT (2004)

ถึงอย่างไรการสึกหรอด้านหน้าที่เกิดจากการตัด จะทำให้การตรวจสอบความแข็งและปกติการสึกหรอด้านข้างจะมีอิทธิพลมากที่สุดที่ทำให้มีดตัดเกิดความเสียหาย และจะเป็นการวัดอายุมีดตัดที่เหมาะสมในการสึกหรอส่วนนี้ ปัญหาที่เกี่ยวกับการสึกหรอด้านข้างของมีดตัดลักษณะค่อยๆ เกิดและจะทำให้ทราบถึงอายุของมีดตัด

Frederick W. Taylor ได้ทดลองปฏิบัติงานและได้แสดงการเปรียบเทียบลำดับของเครื่องมือตัดและเสนอแนวคิดว่าช่วงเวลา 20 นาทีแรกของการตัด มีดจะมีอายุมากสุดหลังจากเพิ่มความเร็วในการตัดเฉือนชิ้นงาน และจะทำให้มีดตัดเกิดการอ่อนตัวลงภายหลังจาก 20 นาที ของการปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของการสึกหรอที่เร็วที่สุด และถูกต้องจะสัมพันธ์กับการทำงานของเครื่องจักรชิ้นส่วน ฯลฯ



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอายุการใช้งานของใบมีดกับความเร็วตัดที่เปลี่ยนไป เมื่อกำหนดจุดวิกฤติของการสึกหรอบนผิวหลบ = 0.5 มิลลิเมตร

ที่มา : www.pteonline.org/img-lib/staff/file/komson_000213.doc

ต่อมาในปีค.ศ. 1907 Taylor ได้แสดงเอกสารความสัมพันธ์ระหว่างอายุมีดตัดและความเร็วในการตัดได้ใกล้เคียงมากที่สุด และได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

$$VT^n = C \qquad (2.3)$$

V = ความเร็วตัด

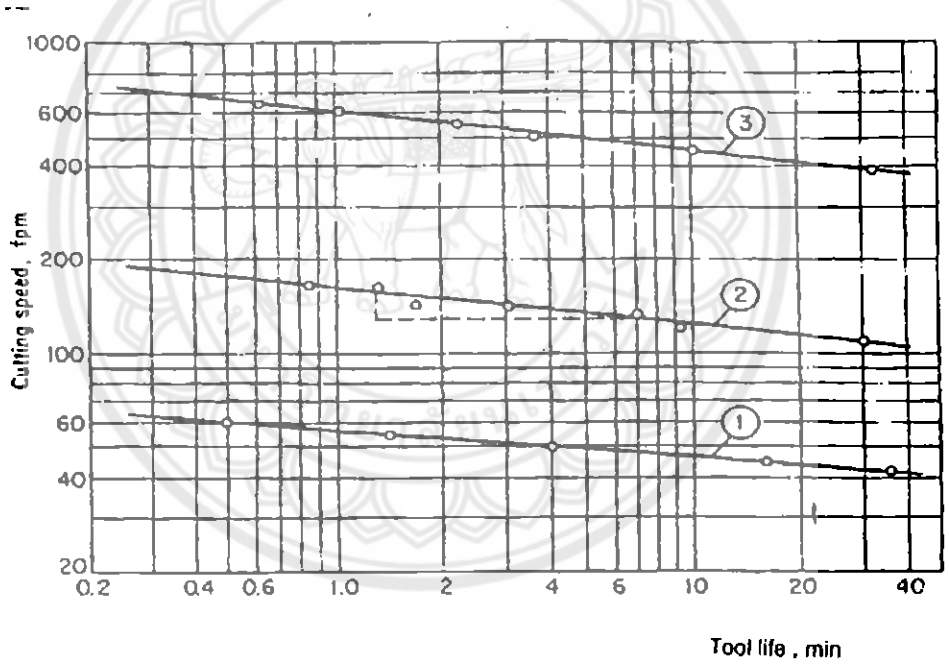
T = อายุมีดตัด , (นาที)

n = ค่าขึ้นอยู่กับเครื่องมือและชิ้นงาน

C = ค่าคงที่ กำหนดจากวัสดุของชิ้นงานหรือมีดตัดในเวลา 1 นาที

สมการนี้มีชื่อเรียกว่า สมการของเทย์เลอร์ Taylor's Equation หรือ สมการอายุใช้งานของมีด Tool Life Equation

อายุคมมีดตัดนี้มีการสึกหรอที่รวดเร็วมาก และต้องกำหนดเวลาในพื้นที่ที่สึกหรอที่เริ่มต้นจากศูนย์ (Share tool) และค่าที่ส่วนของมีดตัดจะต้องสัมพันธ์กับการสึกหรอ สิ่งที่เหลืออยู่เป็นผลโดยตรงที่ทำให้เกิดการสะสมความร้อนมากขึ้นจากการเสียดสีของพื้นที่สึกหรอได้อธิบายในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 อายุคมมีดและความเร็วตัด , วัสดุเกรด SAE 3140, อัตราป้อน 0.0128 ipr, ระยะตัดลึก 0.50 เส้นกราฟที่ (1) carbon tool steel (2) high speed steel (3) cemented carbide

ที่มา : STEVA F.KRAR (2004)

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

และการสึกหรออย่างรวดเร็วของมีดตัดที่เกิดค่าของความกว้างของพื้นที่การสึกหรอคือ W ในภาพที่ 2.19 ปกติค่าที่ใช้อยู่ของเครื่องมือตัด high speed tool 0.060 นิ้ว และมีดตัดคาร์-ไบด์ (Carbide tools) 0.030 นิ้ว เป็นการเลือกพื้นที่การสึกหรอขนาดเล็กๆ แต่ว่าข้อจำกัดในระหว่างขอบเขตของเวลาที่ต้องการทดสอบที่ได้มาจากการทดลองค้นคว้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งความจริงของมีดตัดคาร์ไบด์และมีดตัดเซรามิก (Ceramic tools) อายุการใช้งานของมีดทั้ง 2 ค่อนข้างยาว ค่าของมีดตัดคาร์ไบด์และมีดตัดเซรามิกมีค่าเท่ากับประมาณ 0.010 นิ้ว การวัดค่าต่างๆผู้สร้างเครื่องมือจะวัดด้วยกล้องไมโครสโคป โดยใช้ Schmidt, Ham, Phillips และ Wilson ซึ่งพวกเขาเหล่านั้นมีผลงานและการทดลองของมีดตัดคาร์ไบด์ และมีดตัดเซรามิก

มีดตัดคาร์ไบด์มีค่าประมาณ 0.125 - 0.25 ในความจริงค่าที่ถูกต้องของ n ในมีดตัดคาร์ไบด์ประมาณ 0.20 - 0.25 และมีดตัดเซรามิกที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเป็น 0.40 - 0.55 อายุมีดมีสัดส่วนกับความเร็วตัดที่แสดงในรูปที่ 2.19 เป็นการแสดงมีดตัด 3 ชนิด ที่ตัดวัสดุเดียวกันหมด ดังนั้นจึงทำให้เกิดสมการ (1) $VT^n = C$ ในภาพเป็นการแสดงเส้นตรงผ่านจุดทดสอบบนกราฟ log - log Diagram ค่าของ C และ สามารถคำนวณหาค่าการสึกหรออย่างฉับพลันได้จากเส้นโค้งจากตัวอย่างของมีดตัด hi speed tool เส้นที่ 2 และอายุคมมีดในเวลา 1 นาทีจะได้ความเร็วตัด 160 เมตร/นาที เส้นตรงที่เฉียงลงมา n จะเป็นสัดส่วนกับเส้นแนวตั้งและเส้นแนวนอนที่ถูกแบ่งเป็นชุดๆ (มีระยะห่าง) 0.107 ให้ตรวจสอบในสูตรที่ 1 และให้ลองดูตามตัวอย่างถ้าให้ T = 5 นาที ค่าที่ได้จาก V จะตรงกับเส้นที่ 2

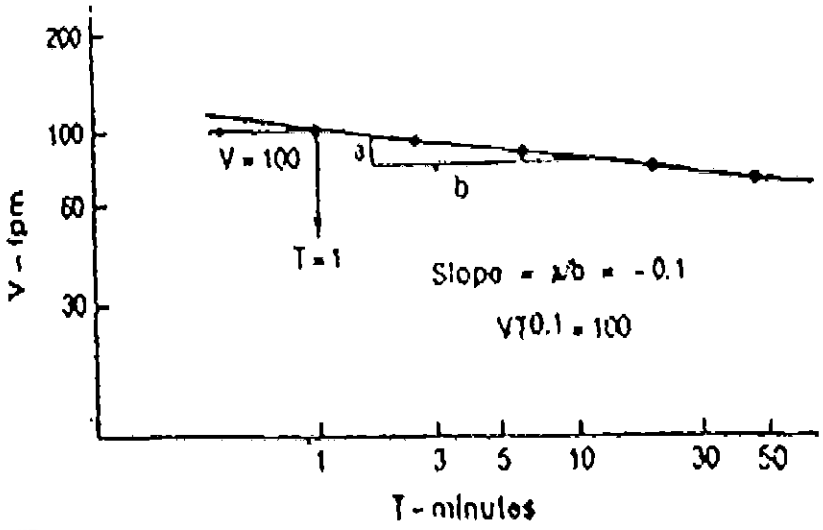
ค่าที่ได้จากค่า V จะเป็นค่าประมาณจากเส้นโค้งจากรูปที่ 2.19 เป็นการแสดงอายุของมีดอย่างกว้างๆ ที่ได้จากการทดสอบอย่างเป็นลำดับ และทำการเปรียบเทียบผลการทดลองของมีดคาร์ไบด์และมีดเซรามิกผลที่ได้จากการทดลองนั้นเด่นชัดว่าส่วนโค้งของมีดเซรามิกจะมีอายุมากกว่า (35 นาที ที่ 500 รอบ/นาที) มีดคาร์ไบด์ (2 - 9 นาทีที่ 500 รอบ/นาที) ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบ

ค่าของ C ของมีดเซรามิกที่คำนวณได้จากกราฟในรูปที่ 2.20 เส้นตรงของมีดตัดเซรามิกที่แสดงในกราฟและมีจุดที่อยู่ตามเส้น ดังนั้น ค่า C = 2000 มิลลิเมตร การสับเปลี่ยนตำแหน่งของ Scale

จากสมการที่ (2.3) : Take log.

1505720
NS
S 478 ว
2552

$$\text{Log } V = \log C - n \log T \qquad (2.4)$$



รูปที่ 2.20 เส้นตรงแสดงอายุการใช้งานของมีดกลึง

ที่มา : ธนา (2551)

จากรูปที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ V ถ้าให้ a/b = 0.1, C = 100 ดังนั้น สมการอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด คือ $VT^{0.1} = 100$

การตัดเฉือนโลหะที่เศษโลหะมีความหนามากขึ้น (thicker chip) แต่ยังคงใช้ความเร็วตัดคงเดิม จะส่งผลให้ต้องใช้พลังงานในการตัดมากขึ้น และย่อมมีผลทำให้อุณหภูมิในการตัดสูงขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดสั้นลง

ถ้าเพิ่มอัตราการป้อนมีด ก็จะมีผลทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดสั้นลงเช่นเดียวกัน

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติวิศวกรรม

2.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการพิสูจน์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (Mean) โดยใช้ค่า ความแปรปรวน (Variance) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากรโดยการวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance)

ข้อเด่นของ ANOVA

1. สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรได้พร้อมกันมากกว่า 2 ประชากร ซึ่งถ้าเราใช้ T-Test จะทำได้มากที่สุดแค่ 2 ประชากรเท่านั้น
2. สามารถวิเคราะห์ได้มากกว่า 1 ปัจจัย (Factor) ซึ่ง T-Test จะทำได้เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น เช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความเร็ว (Speed) ความกด (Pressure)
3. สามารถใช้วิเคราะห์เพื่อให้เห็นผลกระทบซึ่งกันและกันของปัจจัยต่างๆ (Interaction) ได้ด้วย

ข้อกำหนดของ ANOVA

1. ข้อมูลของทุกๆ ประชากร จะต้องมีการกระจายของข้อมูลแบบปกติ (Normal distribution) เท่านั้น
2. ค่าความผันแปร (Variation) ของข้อมูล แต่ละประชากรจะต้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เท่านั้น

ดังนั้น ก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA จำเป็นต้องทำการทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติของข้อมูล (Normality test) ว่าข้อมูลทุกประชากรมีการกระจายแบบปกติ และ ทดสอบความความแตกต่างของค่าความผันแปร (Homogeneities of Variance Test) เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีความแตกต่างกันทุกประชากร

Factor หมายถึง ตัวแปรที่เราต้องการทราบว่ามีผลกระทบต่อสิ่งที่เราสนใจหรือไม่ ซึ่งบางครั้งก็ใช้คำว่า Treatment ซึ่งหมายถึงลักษณะการควบคุมตัวแปรในการทดลอง แทนคำว่า Factor และบางครั้งก็ใช้คำว่า Way แทนด้วยเหมือนกัน

Response คือ ตัวชี้วัด ผลการทดลอง โดยส่วนมากเราจะใช้เพียง 1 Response

Level หมายถึง ประชากรแต่ละประชากรที่เรากำลังทำการศึกษาผลกระทบของปัจจัย ซึ่งบางครั้งก็ใช้คำว่า Treatment level แทน

การตั้งสมมติฐาน

การตั้งสมมติฐานของกำหนดของ ANOVA เป็นดังนี้

H_0 : ค่ากลางของประชากร (กระบวนการ) ไม่แตกต่างกัน

H_a : อย่างน้อย 2 ประชากร (กระบวนการ) มีความแตกต่างกัน

หรือสามารถเขียนสมมติฐานได้ดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = ... = \mu_k$

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq ... \neq \mu_i$

หลักการของ ANOVA คือเปรียบเทียบ Variation ที่เกิดจากการเอาค่ากลางทุกประชากร มาเป็นกลุ่มเดียวกัน (Between samples variation) กับ Variation ที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง (Within samples variation) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Test statistic} = \frac{\text{Between samples variation}}{\text{Within samples variation}} \quad \textbf{(2.5)}$$

Two-Factors ANOVA (Two-way ANOVA)

Two-way ANOVA คือ การวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อการทดลองนั้นมีปัจจัย 2 ปัจจัย (Factor)

ใน ANOVA นั้นเราจะกล่าวถึง ค่า Sum sqaure (SS) หรือ Variation นั่นเอง ถ้ามี 2 Factor ลักษณะการอธิบาย Variation คือ

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad \textbf{(2.6)}$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^{a}\frac{y_{i..}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad \textbf{(2.7)}$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^{b}\frac{y_{.j.}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad \textbf{(2.8)}$$

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\frac{y_{ij.}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abn} - SS_A - SS_B \quad \textbf{(2.9)}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \quad \textbf{(2.10)}$$

หาค่า Mean of square ได้จาก

$$MS_A = \frac{SS_A}{a-1} \quad \textbf{(2.11)}$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{b-1} \quad \textbf{(2.12)}$$

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)} \quad \textbf{(2.13)}$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)} \quad \textbf{(2.14)}$$

เมื่อ T : Total

A : Factor A

B : Factor B

AB : Interaction of Factor A and B

E : Error

a : Number of levels of factor A

b : Number of levels of factor B

n : Number of replication per cell (หมายความว่า **การเก็บข้อมูลมีการทำซ้ำ** หรือ Repeat กี่ครั้ง)

ทั้งนี้ Two-Factors ANOVA สามารถเขียนสรุปในรูปตาราง ANOVA ได้ดังนี้

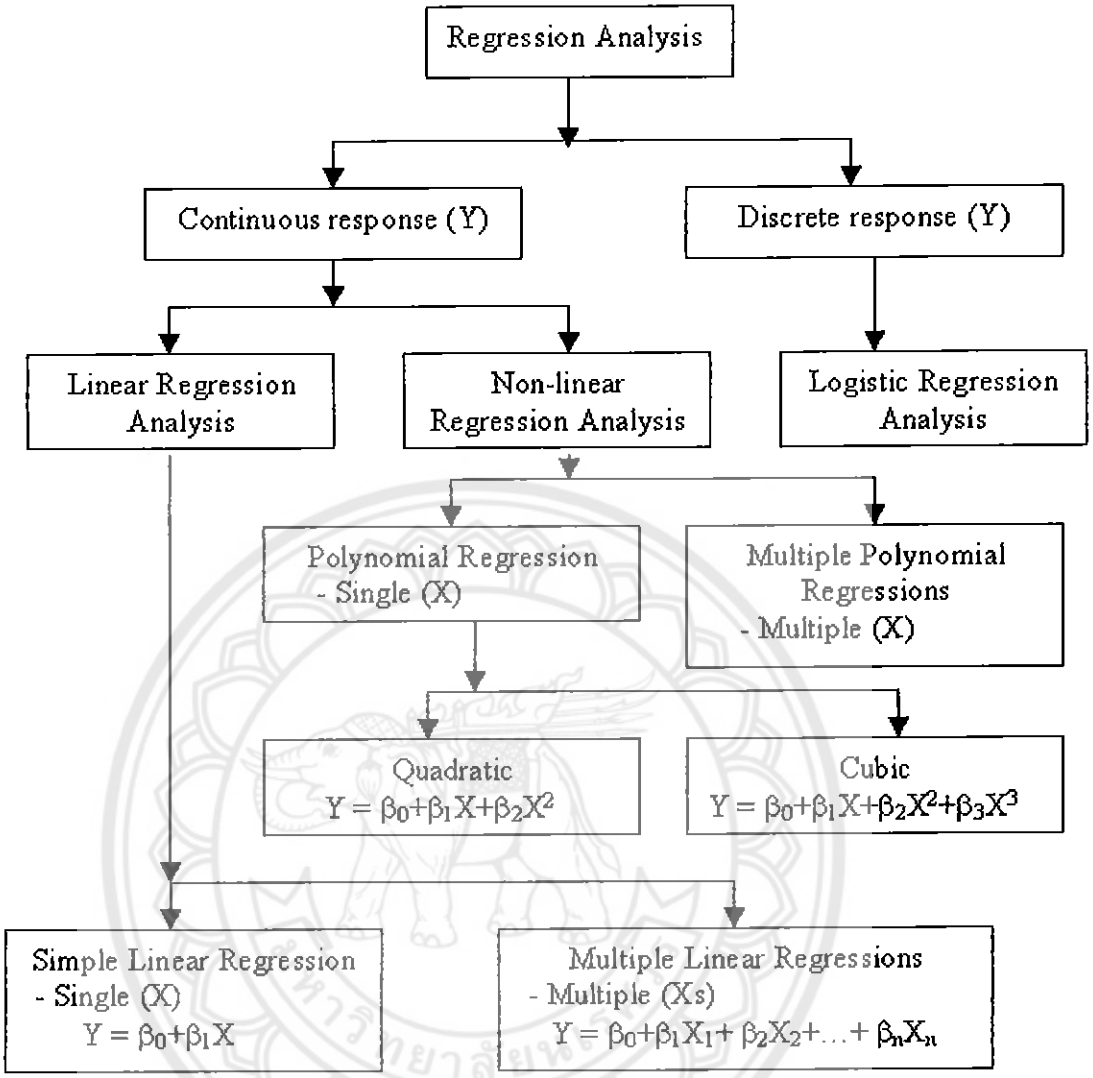
ตารางที่ 2.2 ตาราง Two-way ANOVA

Source of Variation	Degree of freedom	Sum of square	Mean square	F-Statistic
Factor A	a-1	SS_A	MS_A	$F_A = MS_A/MS_E$
Factor B	b-1	SS_B	MS_B	$F_B = MS_B/MS_E$
Interaction	(a-1)(b-1)	SS_{AB}	MS_{AB}	$F_{AB} = MS_{AB}/MS_E$
Error	ab(n-1)	SS_E	MS_E	.
Total	abn-1	SS_T	.	.

ที่มา : กานต์ (2550)

2.3.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

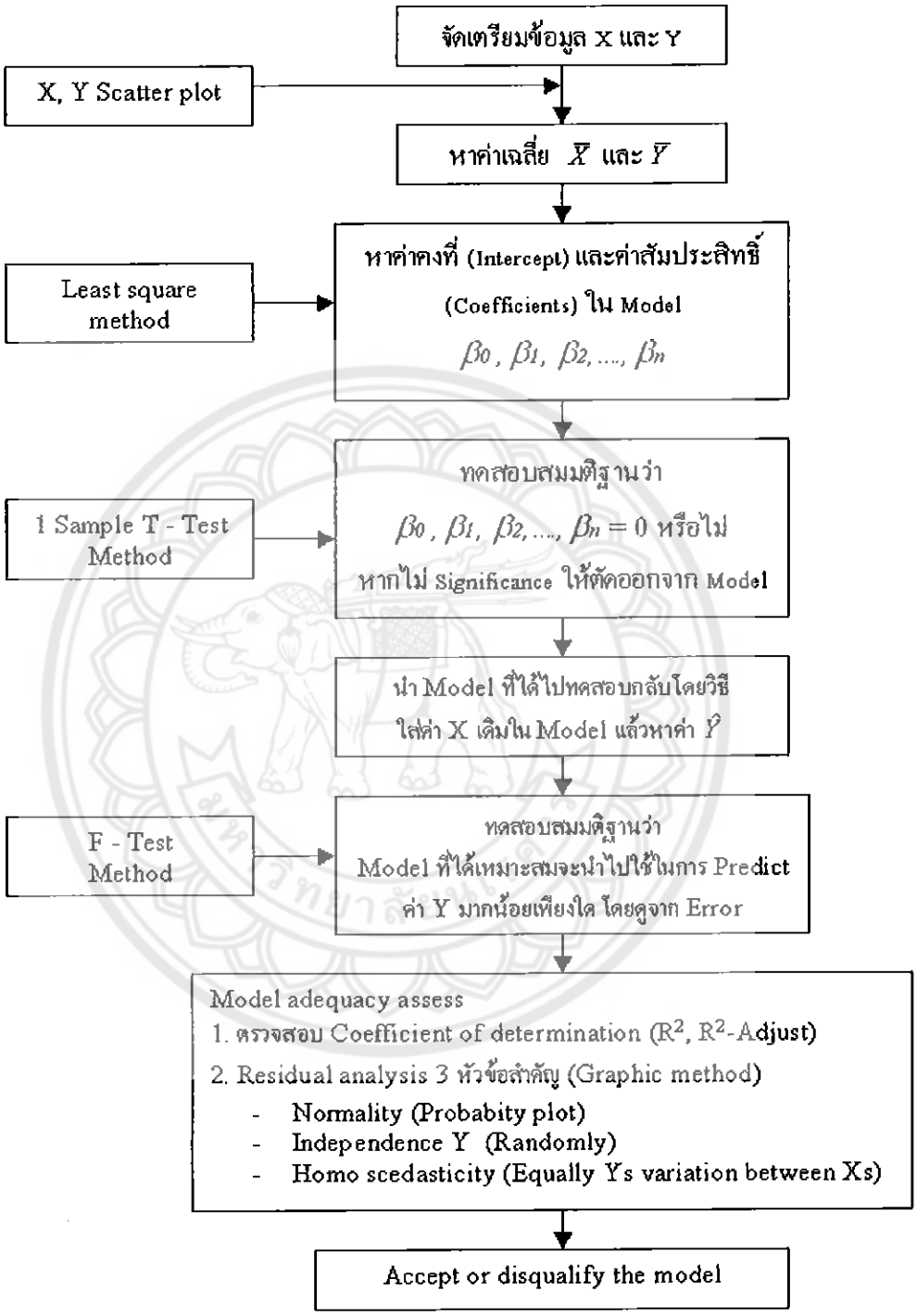
การวิเคราะห์การถดถอย เป็นเครื่องมือทางสถิติที่มีการประยุกต์ใช้ในการประมวลผลข้อมูลในงานวิจัยค่อนข้างมาก นักสถิติยุคก่อนได้คิดค้นทฤษฎีเกี่ยวกับ Regression เอาไว้มากมาย ดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 2.21 การจัดแบ่ง Regression Analysis ตามชนิดของข้อมูลที่ต้องการจะวิเคราะห์

ที่มา : http://www.geocities.com/chalong_sri/reg1.htm

ขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลโดย Regression Analysis



รูปที่ 2.22 แสดงลำดับการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Regression Analysis

ที่มา : http://www.geocities.com/chalong_sri/reg1.htm

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

3.1.1 ตัวแปรเครื่องกลึงที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

3.1.1.1 ความเร็วในการตัดเฉือนชิ้นงาน (Cutting speed)

3.1.1.2 ความเร็วรอบของชิ้นงาน (Speed)

3.1.1.3 อัตราการป้อนมีดกลึง (Feed rate)

3.1.1.4 ความลึกในการป้อนมีดกลึง (Depth of cut)

3.1.1.5 มีดกลึง

3.1.1.6 วัสดุของชิ้นงานคือ เหล็กเพลาแดง (AISI 1045) มี คาร์บอน 0.45เปอร์เซ็นต์, ซิลิกอน 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ แมงกานีส 0.75 เปอร์เซ็นต์

3.1.1.7 ลักษณะการกลึงที่ศึกษาคือ การกลึงปอกผิว

3.1.2 อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด

3.1.2.1 เกณฑ์การหมดอายุของใบมีดกลึง (Tool life criterion)

3.1.2.2 การสึกหรอของมีดกับการอายุการใช้งาน

3.1.2.3 การวัดอายุของมีด (Measuring tool life)

3.1.3 การศึกษาข้อมูลทางด้านสถิติวิศวกรรม

3.1.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

3.1.3.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

3.2 สิ่งที่ใช้ในการดำเนินงาน

3.2.1 เครื่องกลึงเลขที่ 18 ยี่ห้อ MASHSTROY TROYAN รุ่น C11MT ณ อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.2.2 ใบมีดกลึง คือ เหล็กกล้าความเร็วสูง (High Speed Steel : HSS)

3.2.3 ชิ้นงานคือ เหล็ก AISI 1045 เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 12 นิ้ว

3.2.4 น้ำหล่อเย็น

3.2.5 เกจวัดมุมมีด

3.2.6 นาฬิกาจับเวลา

3.2.7 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

3.3 ดำเนินการทดลอง

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

นำชิ้นงานเหล็กเพลาแดง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 6 เมตร มาตัดด้วยเลื่อยไฟฟ้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 12 นิ้ว จำนวน 54 แท่ง เพื่อทดลองหาอายุการใช้งานของมีดกลึง

3.3.2 ขั้นตอนการทำการทดลอง

นำเหล็กเพลาแดง (AISI 1045) มาทำการทดลองหาอายุการใช้งานของมีดกลึงตามตัวแปรของเครื่องกลึงที่กำหนดไว้ แล้วนำค่าผลการทดลองที่ได้มาใส่ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความลึกในการป้อนมีดกลึง (มิลลิเมตร)	อัตราการป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	เวลาที่ได้ (วินาที)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
355	1	0.004			
		0.006			
		0.008			
	2	0.004			
		0.006			
		0.008			
	3	0.004			
		0.006			
		0.008			
500	1	0.004			
		0.006			
		0.008			
	2	0.004			
		0.006			
		0.008			
	3	0.004			
		0.006			
		0.008			

3.4 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

3.4.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน

3.4.2 วิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

3.5 สรุปผลการทดลอง

นำผลที่ได้จากตารางที่ 3.1 และข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณทางสถิติมาทำการสรุปผลเปรียบเทียบกับทฤษฎีในบทที่ 2

บทที่ 4

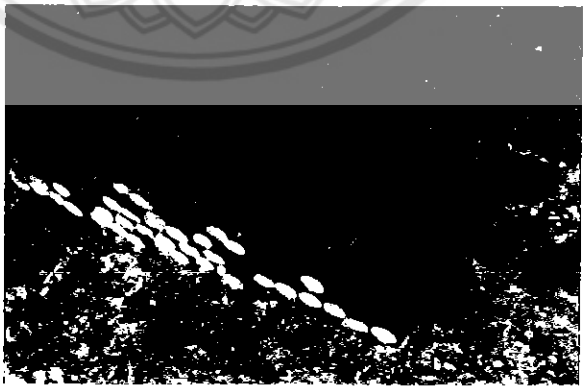
ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ดำเนินการทดลอง

4.1.1 เตรียมชิ้นงาน

เตรียมเหล็กเพลาแดง AISI 1045 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 12 นิ้ว โดยใช้เครื่องเลื่อยไฟฟ้า

รูปที่ 4.1 เตรียมชิ้นงานโดยใช้เครื่องเลื่อยไฟฟ้า

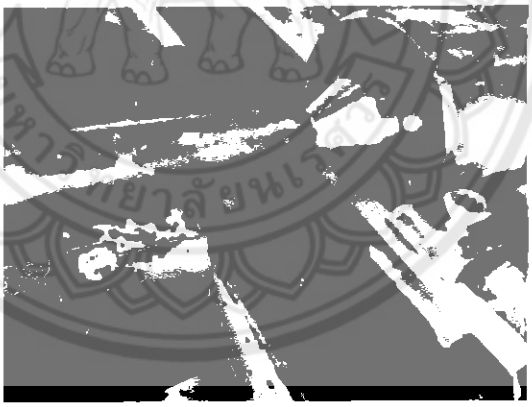


รูปที่ 4.2 ชิ้นงานที่ตัดเรียบร้อย

4.1.2 ทำการทดลอง

นำเหล็กที่ตัดเรียบร้อยแล้วมาทำการกลึงเพื่อหาเวลาในการสึกหรอของมีดกลึง ก่อนทำการกลึงนั้นจะมีการวัดความเร็วรอบทุกครั้ง

รูปที่ 4.3 ใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) วัดความเร็วรอบ



รูปที่ 4.4 ทำการกลึงเพื่อหาเวลาการสึกหรอของมีดกลึง

4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองอายุการใช้งานของมีดกลึงจำนวนทั้งหมด 54 แท่ง ที่ผ่านความเร็วรอบ 355 และ 500 รอบต่อนาที ความลึกในการป้อนมีดกลึง 1 , 2 และ 3 มิลลิเมตร และอัตราการป้อน 0.004 , 0.006 และ 0.008 มิลลิเมตรต่อรอบ แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเวลาที่ได้คือ จับเวลาตั้งแต่มีดกลึงถูกชิ้นงานจนกระทั่งมีดกลึงเกิดการสึกหรอ

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความลึกในการป้อนมีดกลึง (มิลลิเมตร)	อัตราการป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	เวลาที่ได้ (วินาที)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
355	1	0.004	4.72	4.63	4.74
		0.006	4.38	4.42	4.29
		0.008	4.38	4.30	4.42
	2	0.004	4.30	4.25	4.22
		0.006	4.08	4.11	4.15
		0.008	3.91	3.87	3.94
	3	0.004	3.77	3.68	3.63
		0.006	3.54	3.49	3.52
		0.008	3.31	3.28	3.23
500	1	0.004	2.81	2.73	2.78
		0.006	2.59	2.62	2.67
		0.008	2.52	2.49	2.56
	2	0.004	2.32	2.28	2.23
		0.006	1.97	1.87	1.92
		0.008	1.75	1.71	1.69
	3	0.004	1.52	1.56	1.49
		0.006	1.31	1.38	1.35
		0.008	1.18	1.21	1.09

4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบหลายทางหรือมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาการใช้งานของมีดกลึง ในที่นี้คือ ความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราการป้อน

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาการใช้งานของมีดกลึง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	69.367(a)	17	4.080	1867.303	.000
Intercept	486.960	1	486.960	222846.319	.000
SPEED	55.937	1	55.937	25598.319	.000
DEPTH OF CUT	11.707	2	5.854	2678.777	.000
FEED RATE	1.305	2	.652	298.580	.000
SPEED * DEPTH OF CUT	.275	2	.138	62.931	.000
SPEED * FEED RATE	.001	2	.001	.315	.732
DEPTH OF CUT* FEED RATE	.068	4	.017	7.811	.000
SPEED * DEPTH OF CUT* FEED RATE	.073	4	.018	8.347	.000
Error	.079	36	.002		
Total	556.406	54			
Corrected Total	69.446	53			

a R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาการใช้งานของมีดกลึง ที่มีค่านัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สรุปได้ว่า

สมมติฐานคือ

1. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 1 คือ ความเร็วรอบ

H_0 คือ ปัจจัยด้านความเร็วรอบไม่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

H_1 คือ ปัจจัยด้านความเร็วรอบมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ H_0

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ความเร็วรอบมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงเปลี่ยนไป เมื่อความเร็วรอบเปลี่ยนไป

2. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 คือ ความลึกในการป้อนมีดกลึง

H_0 คือ ปัจจัยด้านความลึกในการป้อนมีดกลึงไม่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

H_1 คือ ปัจจัยด้านความลึกในการป้อนมีดกลึงมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ H_0

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ความลึกในการป้อนมีดกลึงมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงเปลี่ยนไป เมื่อความลึกในการป้อนมีดกลึงเปลี่ยนไป

3. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 3 คือ อัตราการป้อน

H_0 คือ ปัจจัยด้านอัตราการป้อนไม่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

H_1 คือ ปัจจัยด้านอัตราการป้อนมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ H_0

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ อัตราการป้อนมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงเปลี่ยนไป เมื่ออัตราการป้อนเปลี่ยนไป

4. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 4 คือ ความเร็วรอบและความลึกในการป้อนมีดกลึง

H_0 คือ ปัจจัยด้านความเร็วรอบและความลึกในการป้อนมีดกลึงไม่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

H_1 คือ ปัจจัยด้านความเร็วรอบและความลึกในการป้อนมีดกลึงมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ H_0

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเร็วรอบและความลึกในการป้อนมีดกลึงมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงเปลี่ยนไป เมื่อความเร็วรอบและความลึกในการป้อนมีดกลึงเปลี่ยนไป

5. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 5 คือ ความเร็วรอบและอัตราการป้อน

H_0 คือ ปัจจัยด้านความเร็วรอบและอัตราการป้อนไม่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

H_1 คือ ปัจจัยด้านความเร็วรอบและอัตราการป้อนมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ H_0

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เนื่องจากค่า Sig. = .732 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเร็วรอบและอัตราการป้อนไม่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงไม่เปลี่ยน เมื่อความเร็วรอบและอัตราการป้อนเปลี่ยนไป

6. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 6 คือ ความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราการป้อน

H_0 คือ ปัจจัยด้านความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราการป้อนไม่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

H_1 คือ ปัจจัยด้านความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราการป้อนมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ H_0

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราการป้อนมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงเปลี่ยนไป เมื่อความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราการป้อนเปลี่ยนไป

7. ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 7 คือ ความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราการป้อน

H_0 คือ ปัจจัยด้านความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราการป้อนไม่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

H_1 คือ ปัจจัยด้านความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราการป้อนมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

ค่า Sig. > 0.05 จะยอมรับ H_0

ค่า Sig. < 0.05 จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เนื่องจากค่า Sig. = .000 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราการป้อนมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงเปลี่ยนไป เมื่อความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึงและอัตราการป้อนเปลี่ยนไป

4.4 การวิเคราะห์การถดถอย

ตารางที่ 4.3 ตาราง Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.996(a)	.992	.992	.10310

a Predictors: (Constant), FEED, DEPTH, SPEED
b Dependent Variable: TIME

ตารางที่ 4.4 ตาราง ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	68.914	3	22.971	2161.216	.000(a)
	Residual	.531	50	.011		
	Total	69.446	53			

a Predictors: (Constant), FEED, DEPTH OF CUT, SPEED
b Dependent Variable: TIME

ตารางที่ 4.5 ตาราง Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	9.621	.650		14.809	.000
	SPEED	-.012	.001	-.757	-7.904	.000
	DEPTH OF CUT	-.078	.301	-.056	-.260	.796
	FEED	-68.487	104.476	-.099	-.656	.515
	SD	-.001	.001	-.328	-1.400	.168
	SF	-.002	.241	-.001	-.008	.994
	DF	-4.109	48.363	-.022	-.085	.933
	SDF	-.020	.112	-.049	-.180	.858

a Dependent Variable: TIME

จากการคำนวณค่าการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุคูณของตัวแปร ความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราการป้อน ที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์เป็นสมการถดถอยเชิงพหุคูณที่ระดับนัยสำคัญที่ 95% ดังสมการต่อไปนี้

Scale = 9.621 – 0. 012SPEED RATE - 0.078 DEPTH OF CUT - 68.487FEED RATE– 0.001SPEED*DEPTH – 0.002SPEED*FEED RATE - 4.109DEPTH OF CUT*FEED RATE – 0.020SPEED*DEPTH OF CUT*FEED RATE

โดยที่ Scale = อายุการใช้งานของมีดกลึง (วินาที)

SPEED = ความเร็วรอบที่ 355 และ 500 (รอบ/นาที)

DEPTH OF CUT = ความลึกในการป้อนมีดกลึงที่ 1 , 2 และ 3(มิลลิเมตร)

FEED RATE = อัตราการป้อน 0.004 , 0.006 และ 0.008 (มิลลิเมตร/รอบ)

สมการนี้เฉพาะชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 12 นิ้วเท่านั้น

จากตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงความแปรปรวน เพื่อพิจารณาว่า มีตัวแปรเหตุอย่างน้อย 1 ตัว มีความสัมพันธ์กับตัวแปรผลหรือไม่ ซึ่งค่า Sig. ที่ได้เท่ากับ 0.000 < 0.05 นั่นคือ มีตัวแปรเหตุอย่างน้อย 1 ตัว มีความสัมพันธ์กับตัวแปรผล แสดงว่าสมการนั้นใช้ได้

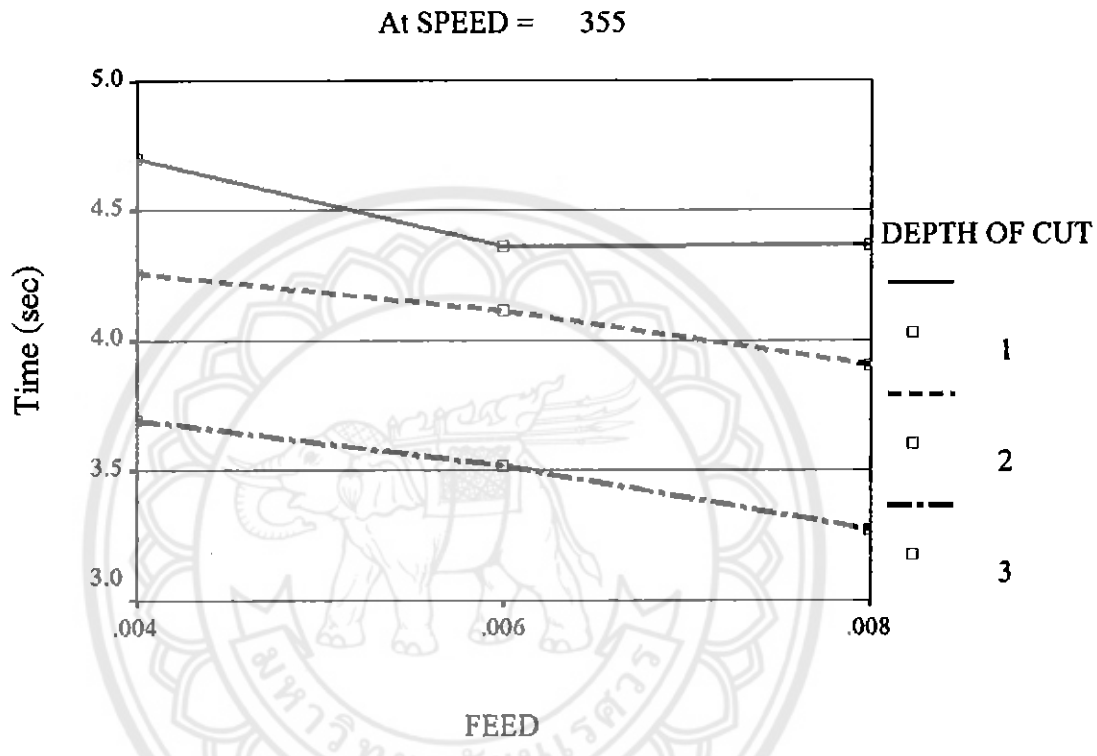
ค่า R จากตารางที่ 4.3 คือค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหตุทั้งหมดและตัวแปรผล ตัวแปรเหตุทั้งหมดมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงกับอายุการใช้งานของมีดกลึง (ค่า R = 0.996)

ค่า R Square จากตารางที่ 4.3 คือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 99.2% นั่นคือ ตัวแปรความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราการป้อนอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอายุการใช้งานของมีดกลึงได้ 99.2% ส่วนอีก 0.8% เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณา

ค่า Std. Error of the Estimate จากตารางที่ 4.3 คือค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ตัวแปรผลด้วยตัวแปรเหตุ ค่าของความแข็งด้วยตัวแปรอิสระทั้งหมดจะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.10310 HRB (Error of the Estimate = 0.10310)

4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราการป้อน

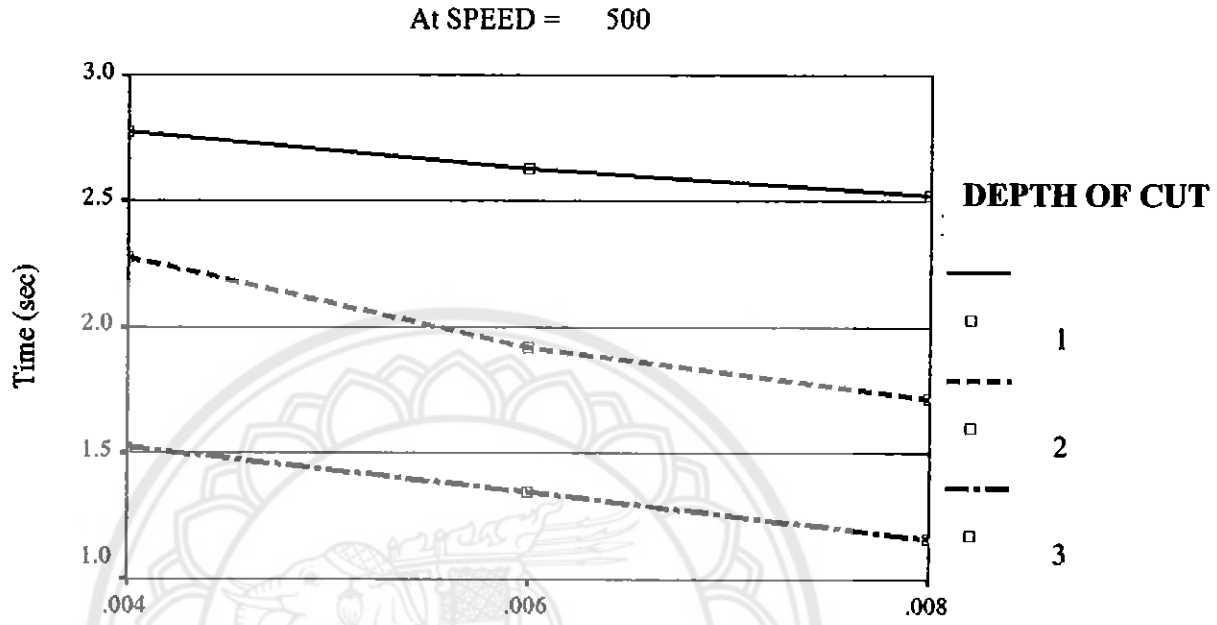
4.4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบที่ 355 รอบ/นาที ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราป้อน



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของของความเร็วรอบที่ 355 รอบ/นาที ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราการป้อน

จากรูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราป้อนมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง ซึ่งทำให้มีดกลึงมีอายุการใช้งานสั้นลง เมื่อความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราป้อนเพิ่มขึ้น แต่เกิดความแปรปรวนในบางจุดเนื่องจากความผิดพลาดจากปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณา

4.4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราป้อน



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราการป้อน

จากรูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราป้อนมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง ซึ่งทำให้มีดกลึงมีอายุการใช้งานสั้นลง เมื่อความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราป้อนเพิ่มขึ้น แต่เกิดความแปรปรวนในบางจุดเนื่องจากความผิดพลาดจากปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณา

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลองการกลึงเหล็กเพลงแดงด้วยเครื่องกลึง เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง โดยในเบื้องต้นคาดว่าตัวแปรที่มีผลต่อการทดลองคือ ความเร็วรอบ ความลึกในการป้อนมีดกลึง และอัตราการป้อน การศึกษาพบว่า

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

จากตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 นำมาสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ความเร็วรอบ

ถ้ากำหนดให้เครื่องกลึงมีความเร็วรอบในการกลึงสูง ส่งผลให้มีอายุการใช้งานของมีดกลึงสั้นลง ซึ่งความเร็วรอบเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสึกหรอของมีดกลึงมากที่สุด

5.1.2 ความลึกในการป้อนมีดกลึง

ถ้าตั้งป้อมมีดกลึงให้กินชิ้นงานมาก ทำให้ใบมีดกับชิ้นงานเกิดการเสียดสีกัน ส่งผลให้มีอายุการใช้งานของมีดกลึงสั้นลง อย่างไรก็ตาม ความลึกในการป้อนมีดกลึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลรองลงมาจากความเร็วรอบ

5.1.3 อัตราการป้อน

อัตราการป้อนในการทำการทดลองส่งผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึงเพียงเล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การค้นหาข้อมูลเหล็กเพลาแดง AISI 1045 เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ทำได้ค่อนข้างยาก

2. เนื่องจากห้องสมุดในมหาวิทยาลัยนเรศวร มีเนื้อหาที่สอดคล้องกันกับงานวิจัยมีเพียงเล็กน้อย

3. ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้เกี่ยวกับเครื่องกลึงเป็นอย่างดี เพื่อให้ผลการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุดและลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้

4. ผู้ปฏิบัติงานต้องทำการศึกษาการใช้โปรแกรมทางสถิติให้เข้าใจอย่างถ่องแท้

5. ในการทำการทดลองครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเพียง 3 ตัวแปร ซึ่งอาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง

เอกสารอ้างอิง

นายกล้าหาญ วรพุทธพรและคณะ. (2528). **เทคนิคช่างกลเล่ม1เครื่องมือกล**. กรุงเทพ: บริษัทเอเซียเพรส.

ศุภชัย รมยานนท์และฉวีวรรณ รมยานนท์. (2527). **งานกลึง**. กรุงเทพ: บริษัทสำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด

วีระ รัตนไชย. (2527). **ทฤษฎีเครื่องมือกล**. กรุงเทพ:บริษัทสำนักงานไทยวัฒนาพานิช จำกัด.

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). **เทคนิคช่างกลเล่ม 1 เครื่องกลึง**. กรุงเทพ:บริษัทเอเซียเพรส.

กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง. (2550). **Engineering Statistics**. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก

ธนา บุญฤทธิ์. **อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด(Tool life)**. 301212 Manufacturing Processes II. สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2552, จาก http://www.ie.nu.ac.th/student/seach

ไชยรัช เมฆแก้ว. **งานกลึงโลหะ**. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2552, จากhttp://www.engineer..glorym.com/Document/engineer.doc

กัมปนาท แสงสุวรรณ. **งานกลึง**. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2552, จาก http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/งานกลึง+1.doc

นายฉลอง สีแก้วสิ่ว. **สถิติ**. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2552, จาก http://www.geocities.com/chalong_sri/reg1.htm

อายุการใช้งานของมีดตัด (Tool life). สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2552, จาก http://pteonline.org/imb-lib/staff/file/komson_000213.doc

Steve, F.Krar and Mario Rapisarda. (1998). **Machine Tool and Manufacturing Technology**.England:Delmar Publishers.

อัจฉริยา ปราบอริพ่าย. (2540). **เทคนิคการวิเคราะห์สถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS ทฤษฎีและภาคปฏิบัติ**. กรุงเทพ: สัมนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี. **การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS**. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก

พรศิลป์ อุบาลี. **การหาอายุการใช้งานของเม็ดมีดกลึงทังสเตนคาร์ไบด์ต่อการตัดเฉือนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ S20C**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ: สืบค้นเมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม 2552, จาก http://pharm.kku.ac.th/thaiv/research/xml/data/bib4830x.xml