

ผลกระทบของสภาวะการตัดเดือนที่มีผลต่อความเรียบของผิวงานกลึงอลูมิเนียม เกรด 6063

ชูกิต งามวงศ์

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2557

THE EFFECT OF CUTTING CONDITIONS ON THE SURFACE ROUGHNESS IN TURNING
PROCESS AT AL 6063

Chookid Ngamwong

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Engineering Technology Program in Engineering
Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology
Academic Year 2014

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลกระทบของสภาวะการตัดเฉือนที่มีผลต่อ

ความเรียบของผิวงานกลึงอลูมิเนียม เกรด 6063

โดย

ชุตติ งามวงศ์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วัน.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตพล หุยนันท)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนินน้อย)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์)

ชुकิด งามวงศ์ : ผลกระทบของสภาวะการตัดเฉือนที่มีผลต่อความเรียบของผิวงานกลึง
อลูมิเนียม เกรด 6063. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์,
93 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการตัดเฉือนที่เหมาะสมในการกลึงปอกอลูมิเนียม
ที่ได้ค่าความเรียบของผิว (R_a) ด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ สำหรับนำไปใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ใน
อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์และเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องโดย ปัจจัยที่
ทำการศึกษา คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน ความลึกในการตัด ที่ให้ค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน (R_a)
การทดลองนี้ใช้ความเร็วตัด ที่ 60 - 120 เมตรต่อนาที อัตราป้อน ที่ 0.1 - 0.4 มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกในการ ที่ 0.5- 1.5 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน เพื่อนำไป
วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขที่ต้องการ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าในการการกลึงปอกอลูมิเนียม อัตราป้อนมีผลต่อ
ค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมโดยใช้เงื่อนไขของการกลึงที่
ละเอียดขึ้น คือ ใช้อัตราป้อนมีด และความเร็วตัด มาวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งกำหนดอัตราป้อนมีดที่
0.1 - 0.4 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วตัดที่ 60 - 120 เมตรต่อนาที และกำหนดความลึกในการตัดที่
0.5 มิลลิเมตร เพื่อกำหนดจากผลการวิเคราะห์สภาวะการตัดเฉือน

CHOOKID NGAMWONG : THE EFFECT OF CUTTING CONDITIONS ON THE
SURFACE ROUGHNESS IN TURNING PROCESS AT Al 6063. ADVISOR : ASST.
PROF. DR. JINTAWAT CHAICHANAWONG, 93 PP.

This research aims to study of the optimum cutting conditions for machining aluminum strip to the surface smoothness (Ra) with automatic lathes for the components used in industrial, automotive parts and industrial machinery. The studied factors are cutting rates, feeding rate and the depth of cut which cause the surface smoothness (Ra). For the trial consumption of the project are cutting rate at 60 - 120 meters per minute, feeding rate of 0.1 - 0.4 mm and the depth of cut 0.5 mm which the terms come from analysis of the turning process condition.

The analysis of the turning strip-shaped aluminum's result shows that only feed rates affect the surface smoothness. After the result, I've designed the experiment using more delicate conditions of the machining feed rates and cutting speed to analyze the process's regression. The feed rates are set at 0.1 - 0.4 mm per minute, cutting speed from 60 - 120 meters per minute and the depth of cut 0.5 mm for the analysis of machining conditions.

Graduate School
Field of Engineering Technology
Academic Year 2014

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงตามกำหนดเวลาได้เนื่องจากความช่วยเหลือของหลาย ๆ ท่าน อันดับแรกขอขอบคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ ที่ได้เสียสละเวลา เพื่อช่วยเหลือให้คำปรึกษาต่าง ๆ อีกทั้ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราคม เนินน้อย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิตะพล หุยนันท์ รวมทั้ง เพื่อน ๆ ที่ร่วมทำวิจัยที่คอยช่วยเหลือ แนะนำ ทั้งในเรื่องวิธีการทำงานวิจัย และเรื่องงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่ได้ให้โอกาสได้มาศึกษาทั้งในห้องเรียน และยังสามารถทำงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้นมาได้

ขอขอบคุณ บุคคลที่คอยช่วยเหลือทั้งในเรื่องการให้ยืมอุปกรณ์เครื่องจักรและเครื่องมือวัด ช่วยเหลือเรื่องสถานที่ในการทดสอบงานวิจัย และเวลาในการช่วยเหลืออื่น ๆ ที่ได้เสียสละมาให้อย่างเต็มที่

งานวิจัยเล่มนี้ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ถ้าไม่มี พ่อ แม่ และครอบครัว ที่เป็นแรงผลักดัน ให้ได้ทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่ได้ช่วยเหลือทั้งทางตรงและทางอ้อม ที่ไม่สามารถกล่าวได้ทั้งหมด ณ ที่นี้ ด้วย ขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านเป็นอย่างสูงครับ

ชูคิด งามวงศ์

TNI

TAI - NICHII INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	3
1.5 นิยามคำศัพท์เฉพาะ.....	4
1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	5
2 หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 อลูมิเนียมและโลหะผสมของอลูมิเนียม.....	6
2.2 กระบวนการตัดเฉือนโลหะ.....	12
2.3 คุณสมบัติของเม็ดมีดกลึง.....	17
2.4 ประเภทของการตัดจำแนกตามความเรียบของพื้นผิวสำเร็จ.....	20
2.5 การสึกหรอของตัด.....	21
2.6 ทฤษฎีและรูปแบบของความเรียบผิว.....	23
2.7 ความขรุขระของพื้นผิว.....	25
2.8 ทฤษฎีและรูปแบบของความเรียบผิวที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	30
2.9 ทฤษฎีทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	33
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	40
3.2 การออกแบบการทดลองครั้งที่ 1.....	45
3.3 การวางแผนการตัดเฉือนชิ้นงาน.....	46
3.4 การควบคุมตัวแปรการทดลอง.....	47
3.5 ผลการทดลอง.....	48
3.6 การออกแบบการทดลองครั้งที่ 2.....	49
3.7 การควบคุมอุณหภูมิ.....	52
4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล.....	52
4.1 การวัดความเรียบของผิวชิ้นงาน.....	52
4.2 ความสัมพันธ์ของสภาวะการตัดเฉือนของความเรียบของผิวชิ้นงาน.....	53
4.3 การวิเคราะห์การทดลองครั้งที่ 2 ปรับตัวแปรและควบคุมอุณหภูมิ.....	58
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุงงานวิจัย.....	70
บรรณานุกรม.....	72
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก ตารางผลวัดค่าความหยาบผิวและสภาพเม็ดมีดคาร์ไบด์.....	75
ภาคผนวก ข ข้อมูลของเม็ดมีดกลึงและด้ามมีดกลึง.....	88
ภาคผนวก ค ข้อมูลของเครื่องกลึง CNC	91
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	93

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนการและระยะเวลาการดำเนินงาน.....	5
2.1 ส่วนผสมทางเคมีสมบัติทางกลโลหะผสมอลูมิเนียม.....	7
2.2 สัญลักษณ์อลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม.....	9
2.3 ส่วนผสมทางเคมีอลูมิเนียมเกรด 6063.....	11
2.4 คุณสมบัติทางอุณหภูมิอลูมิเนียมเกรด 6063.....	12
2.5 คุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมเกรด 6063.....	12
2.6 ความขรุขระของพื้นผิวในกระบวนการผลิต.....	29
2.7 การวิเคราะห์ด้วย ANOVA.....	36
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 1.....	45
3.2 การวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน.....	45
3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่ 2.....	49
3.4 การวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน.....	50
4.1 ผลการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน.....	53
4.2 ตัวแปรสำหรับการทดลองครั้งที่ 2.....	60
4.3 ผลการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน.....	61
4.4 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ANOVA ของค่าพารามิเตอร์การทดลอง.....	66
ก.1 ตารางบันทึกผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลอง 1.....	78
ก.2 ตารางบันทึกผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลอง 2.....	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 กรอบแนวความคิดงานวิจัย.....	2
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
2.1 กระบวนการตัดเนื้อโลหะ.....	13
2.2 เม็ดมีดคาร์ไบด์ไม่เคลือบผิว.....	19
2.3 เม็ดมีดาร์ไบด์เคลือบผิว.....	20
2.4 การสึกหรอด้านข้าง.....	22
2.5 การสึกหรอบนผิวคายเศษโลหะ.....	22
2.6 การสึกหรอบริเวณคมตัด.....	23
2.7 การสึกหรอการแตกหักของคมตัด.....	23
2.8 ความสัมพันธ์ของรัศมีปลายมีดกับความเรียบผิวและอัตราป้อน.....	24
2.9 ลักษณะเส้นขอบของพื้นผิว.....	25
2.10 ตัวอย่างการแบ่งเส้นขอบของผิวเป็นส่วนย่อยๆ.....	26
2.11 ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับกันต่ำสุด (Rt).....	28
2.12 ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับกันต่ำสุด 5 แรก (Rz).....	28
2.13 ความสัมพันธ์ของรัศมีปลายมีดกับความเรียบผิวและอัตราป้อน.....	30
2.14 ความสัมพันธ์ของรัศมีปลายมีดกับความเรียบผิวและอัตราป้อน.....	31
2.15 ความสัมพันธ์ของรัศมีปลายมีดกับความเรียบผิวและอัตราป้อน.....	32
2.16 การทดลองปัจจัยของการออกแบบ 3^2	34
2.17 การทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบ 3^2 ในลักษณะ 3 มิติ.....	34
3.1 วัสดุอลูมิเนียมเกรด 6063.....	40
3.2 เม็ดมีดคาร์ไบด์.....	41
3.3 เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC).....	42
3.4 ด้ามจับเม็ดมีดคาร์ไบด์.....	42
3.5 กล้องจุลทรรศน์.....	43
3.6 เครื่องวัดความเรียบผิว.....	43
3.7 เทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด.....	44
3.8 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบดิจิตอล.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9	การกำหนดจุดที่ต้องการวัด..... 47
3.10	การกลึงชิ้นงานการทดลอง..... 48
3.11	ค่าการวัดชิ้นงานการทดลอง..... 48
3.12	การวัดอุณหภูมิเม็ดมิตคาร์ไบด์..... 52
3.13	การเปลี่ยนอุณหภูมิเงื่อนไข 1-45..... 52
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Depth of cut เมื่อ Feed rate = 0.1 mm/rev..... 55
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Depth of cut เมื่อ Feed rate = 0.25 mm/rev..... 55
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Depth of cut เมื่อ Feed rate = 0.40 mm/rev..... 56
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Feed rate เมื่อ Depth of cut = 0.5 mm..... 56
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Feed rate เมื่อ Depth of cut = 1.0 mm..... 57
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Feed rate เมื่อ Depth of cut = 1.5 mm..... 57
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ cutting speed เมื่อ Depth of cut = 0.5 mm..... 58
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ cutting speed เมื่อ Depth of cut = 1.0 mm..... 58
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ cutting speed เมื่อ Depth of cut = 1.5 mm..... 59
4.10	ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน..... 63
4.11	ข้อมูลการแจกแจงแบบปกติ..... 64
4.12	ข้อมูลแบบการกระจายเส้นกึ่งกลางศูนย์..... 64
4.13	ข้อมูล Residual Versus Cutting Speed ของ Ra..... 65
4.14	ข้อมูล Residual Versus Feed rate ของ Ra..... 65
4.15	ข้อมูล Interaction Effects Plot for Ra..... 67
4.16	ข้อมูล Main Effects Plot for Ra..... 67
4.17	ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความเรียบผิวและอัตราป้อน..... 68
5.1	ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความเรียบผิวกับความเร็วในการตัด..... 70
5.2	ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความเรียบผิวและอัตราป้อน..... 70
ก.1	สภาพเม็ดมิตคาร์ไบด์ก่อนใช้งาน Condition 1-9..... 85
ก.2	สภาพเม็ดมิตคาร์ไบด์ก่อนใช้งาน Condition 10-18..... 85
ก.3	สภาพเม็ดมิตคาร์ไบด์ก่อนใช้งาน Condition 19-27..... 86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.4	สภาพเม็ดมีดคาร์ไบด์ก่อนใช้งาน Condition 28-36.....	86
ก.5	สภาพเม็ดมีดคาร์ไบด์ก่อนใช้งาน Condition 37-45.....	87



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

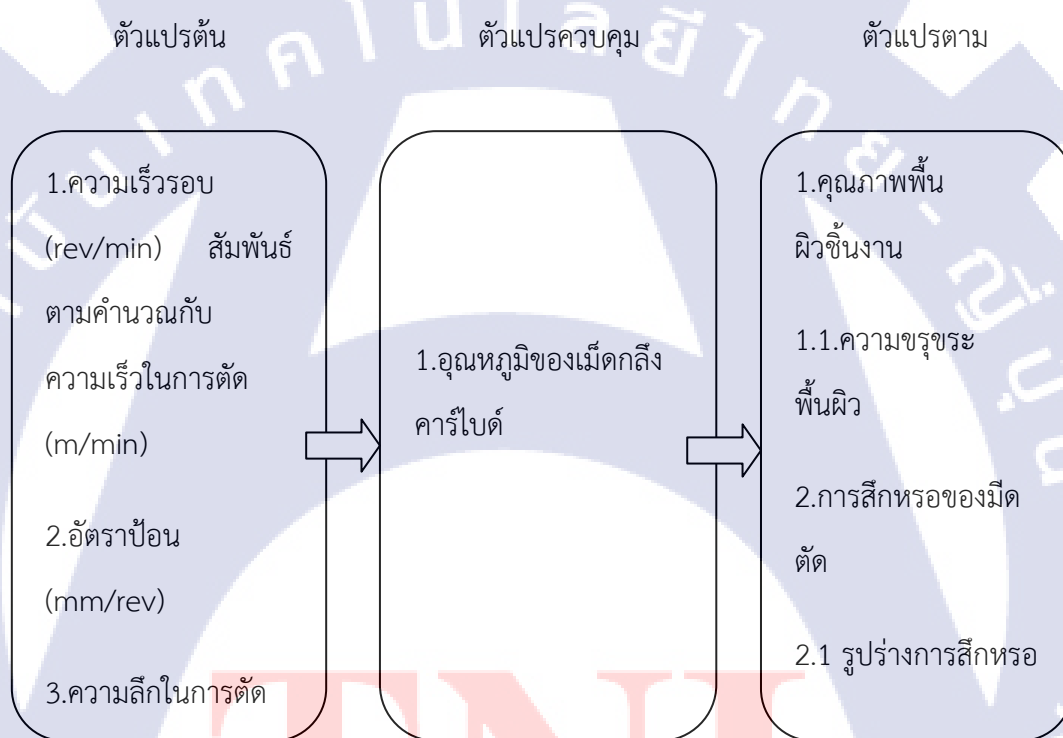
ปัจจุบันอุตสาหกรรมในประเทศไทย มีการพัฒนาทางด้านระบบการผลิตและมุ่งพัฒนาผลิตภัณฑ์สูงมากขึ้น เพื่อให้สินค้ามีคุณภาพ ต้นทุนการผลิตต่ำ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมทางด้านการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ใช้วัสดุอลูมิเนียม เกรด 6063 ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นอย่างเช่น ขึ้นรูปได้ง่าย เชื่อมง่าย แปรรูปง่าย ด้านทานการกัดกร่อนได้ดี เป็นต้น ซึ่งการนำไปใช้งานไม่ว่าจะเป็น อุตสาหกรรมยานยนต์ สามารถทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และทนต่อการกัดกร่อนได้ดี มีความแข็งแรง สามารถตกแต่งด้วยเครื่องจักร และมีความคุณสมบัติทางกลที่ดี เป็นต้น โดยต้องผ่านกระบวนการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่และมีความเที่ยงตรงสูง เช่นเทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ (Computer Numerical Control: CNC) เพื่อสร้างมาตรฐานคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ในระดับสูง และข้อได้เปรียบของการนำเครื่องจักรกลอัตโนมัติซีเอ็นซี มาใช้ในอุตสาหกรรม การผลิตชิ้นส่วนต่างๆ จากวัสดุอลูมิเนียม คือ ประการแรกสามารถเขียนโปรแกรมให้เครื่องจักรผลิตสินค้าได้หลายรูปแบบภายในระยะเวลาอันสั้น ประการที่สองเครื่องจักรกลอัตโนมัติซีเอ็นซีสามารถผลิตงานที่ซ้ำได้ตลอดโดยมีคุณภาพและมาตรฐาน [1]

เครื่องจักรกลอัตโนมัติซีเอ็นซี มีบทบาทมากสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันซึ่งเป็นกระบวนการแปรรูปชิ้นงานโดยการตัดเฉือน ศาสตร์แขนงหนึ่งที่ต้องมีการวิจัย คิดค้นและศึกษาสภาวะการตัดต่างๆ เช่น ความเร็วในการตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) ความลึกในการตัด (Depth of Cut) และชนิดของมีดตัดให้มีความเหมาะสมกับวัสดุแต่ละประเภท เพื่อเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิต ยืดอายุการใช้งานมีดตัด ลดต้นทุนในการผลิต และเพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น เป็นต้น และจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลการตัดเฉือนวัสดุในประเทศไทยปรากฏว่ายังไม่มีงานวิจัยและการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกลึงอลูมิเนียม ด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ (Al_2O_3) หรือจากการศึกษาข้อมูลต่างประเทศพบว่ามีการศึกษาและการวิจัยค่อนข้างน้อยมากเช่นเดียวกัน

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา ค้นคว้าและทดลองเพื่อพัฒนาการตัดเฉือนวัสดุ โดยการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีผลต่อคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน และการสึกหรอของเม็ดมีดกลึง กับผลการทดลอง ซึ่งการกำหนดสภาวะการตัดเฉือนประกอบ ด้วยความเร็วตัด อัตราป้อนและความลึกในการตัด การทดลองจะใช้เครื่องกลึงซีเอ็นซีเป็นเครื่องจักรทดลอง วัสดุเป็นอลูมิเนียม เกรด 6063 และ

มีดตัดที่ใช้เป็นเม็ดมีดคาร์ไบด์ บันทึกผลการทดลอง และนำไปวัดค่าคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน และวิเคราะห์การสึกหรอที่เกิดขึ้นกับเม็ดมีดกลึงโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ Olympus Microscopes รุ่น GX41 ซึ่งเป็นการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงด้านข้างคมตัด (Flank Wear) และหลังจากการศึกษาข้อมูลส่วนต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อสรุปผล และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบสภาวะการตัดเฉือนวัสดุเป็นอลูมิเนียม ด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ที่เหมาะสมต่อไป โดยกรอบแนวความคิดของงานวิจัยสรุปดังรูปที่ 1.1

กรอบแนวความคิด



รูปที่ 1.1 กรอบแนวความคิดงานวิจัย

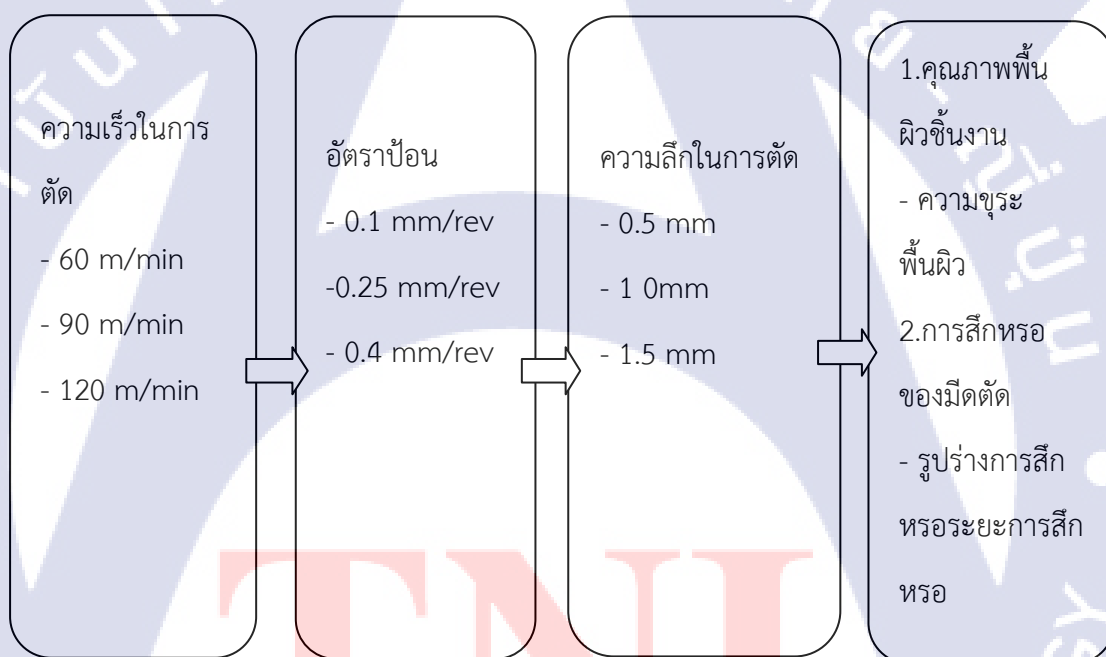
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสมในการกลึงบอกลูมิเนียมด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เพื่อให้ได้กราฟความเรียบของผิวชิ้นงาน (R_a)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาอิทธิพลของสภาวะการกลึงด้วยเครื่อง CNC โดยศึกษาวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6063 ใช้เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ (Al_2O_3)

ตัวแปรต้น ได้แก่ ความเร็วตัดคงที่ที่กำหนดไว้ 3 ค่าดังนี้ 60 m/min 90 m/min และ 120 m/min ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของเพลลาที่มีขนาดลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองให้แต่ละสภาวะการตัดมี 3 ระดับ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าต่ำ ค่ากลาง ค่าสูง เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ระดับ และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ความเร็วตัด (m/min) การทดลองที่ (60 m/min) (90 m/min) และ (120 m/min) ความลึกในการตัด 0.5 1 1.5 mm.และอัตราป้อน 0.1 0.25 0.4 mm/rev รวมการทดลองได้ 999 ตัวอย่างและทำเพิ่มอีก 45 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบปัจจัยความเร็วในการตัด อัตราป้อน ความลึกในการตัด ที่มีผลต่อคุณภาพของผิวงานในการกลึงงานอลูมิเนียมด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

ความเร็วในการตัด (Cutting Speed) หมายถึง ความเร็วในการตัดเฉือนเนื้องานมีค่าเป็นเมตรต่อนาที โดยการทดลองวิจัยกำหนด 60 m/min 90 m/min และ 120 m/min

อัตราป้อน (Feed Rate) หมายถึง ระยะทางเดินตัดเนื้องานหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อรอบของเพลางาน โดยกำหนดค่า 0.1 mm/rev 0.25 mm/rev และ 0.4 mm/rev

ความลึกในการตัด (Depth of Cut) หมายถึง ระยะความลึกในระนาบแกน X ในการป้อนมิติเพื่อตัดเฉือนเนื้องาน โดยกำหนดค่า 0.5 mm 1 mm และ 1.5 mm

ขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness) หมายถึง พื้นผิวของงานที่เกิดร่องตัดเฉือนมีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm) ที่ได้จากการรวมวิธีการตัดเฉือนจำแนกตามความประเภทการตัดพื้นผิวแบ่งเป็น 4 ประเภท

การตัดหยาบจะมีค่าความขรุขระมาก	(∇)
การตัดปานกลางจะมีค่าความขรุขระปานกลาง	($\nabla\nabla$)
การตัดละเอียดจะมีค่าความขรุขระน้อย	($\nabla\nabla\nabla$)
การตัดละเอียดยิ่งจะมีค่าความขรุขระจะน้อยมากเป็นพิเศษ	($\nabla\nabla\nabla\nabla$)

การสึกหรอของมีดตัด (Inserts Wear) หมายถึง การสึกหรอที่งานวิจัยสนใจศึกษาเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์การสึกหรอด้านข้างคมตัด (Flank Wear) ของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ (Al_2O_3) เป็นการสึกหรอที่มีผลต่อการตัดเฉือนมากที่ขยายใหญ่ขึ้นไปถึงขอบคมตัดจะทำให้การตัดเฉือนเป็นไปได้ยาก ต้องใช้แรงตัดและกำลังเพื่อใช้ในการตัดมากขึ้น และความเค้นเกิดกับมีดตัดสูงขึ้น

โลหะอลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloy) หมายถึง อลูมิเนียมเพลางานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.4 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นงานทดลองในการวิจัย เป็นมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (Al) เป็นเกรด 6063 ประกอบไปด้วยซิลิคอนและแมกนีเซียมคุณสมบัติสามารถทำการขึ้นรูปได้ดี เชื่อมง่าย แปรรูปง่าย และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี2557					
		เม.ย.	พ.ค	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1	ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง						
2	ศึกษาการออกแบบการทดลอง DOE						
3	ทำการทดลองกลึงปอกชิ้นงาน						
4	ตรวจสอบอุณหภูมิก่อนและหลังโดยใช้เทอร์มิสเตอร์แบบอินฟราเรด (SHINKO IRT-500-TE) ย่านการวัด - 40 + 300 °C ความละเอียด ± 2 °C						
5	ตรวจสอบการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ด้วยเครื่อง Olympus Microscopes รุ่น GX41						
6	ตรวจสอบความขรุขระของผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง Surface Roughness Mitutoyo Surf test SV-3100						
7	นำข้อมูลข้อ 2 3 4 มาเปรียบเทียบแล้วทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16						
8	สรุปผลการทดลอง						

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการแปรรูปโลหะด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือนโดยใช้เม็ดมีดกลึง (Inserts) จะประกอบไปด้วยสภาวะการตัดเฉือน (Cutting Condition) คือความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกในการตัด (Depth of Cut) ซึ่งการเลือกสภาวะการตัดเฉือนต่างๆที่ไม่เหมาะสมในการใช้งานจะส่งผลทางลบกับเม็ดมีดกลึง คือจะทำให้มีดเกิดการสึกหรอ (Tool Wear) และเสื่อมสภาพ (Tool Failure) และผลที่เกิดขึ้นคือทำให้ชิ้นงานมีค่าความขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness) เพิ่มมากขึ้น การศึกษาสภาวะการตัดเฉือนที่มีผลกระทบต่อความขรุขระของพื้นผิว (R_a) และการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงแบบ Flank Wear (VB_f) จะดำเนินการจากทฤษฎีดังต่อไปนี้

2.1 อลูมิเนียมและโลหะผสมของอลูมิเนียม

อลูมิเนียมและโลหะผสมของอลูมิเนียมมีความหนาแน่นต่ำ (2.7 g/cm^3) นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี ทนการกัดกร่อนดีในสภาวะแวดล้อมบางสภาวะรวมทั้งในบรรยากาศ โลหะอลูมิเนียมง่ายต่อการขึ้นรูปเนื่องจากมีความเหนียวสูง เช่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ได้จากการรีดอลูมิเนียมบริสุทธิ์ เนื่องจากอลูมิเนียมมีโครงสร้างผลึกแบบ FCC จึงมีคุณสมบัติเหนียวแม้ที่อุณหภูมิต่ำ อลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวต่ำ (600°C 1220°F) ทำให้ไม่สามารใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ได้

สมบัติทางกลของอลูมิเนียมอาจเพิ่มขึ้นได้โดยการขึ้นรูปเย็นและการเติมธาตุผสม แต่วิธีดังกล่าวทำให้ สมบัติด้านทานการกัดกร่อนลดลง ธาตุที่นิยมใช้ผสมเป็นหลัก คือ ทองแดง แมกนีเซียม ซิลิกอน แมงกานีส และสังกะสี โลหะผสมที่ไม่สามารถอบชุบได้จะประกอบด้วยเฟสเดียวทำให้การเพิ่มความแข็งแรงได้โดยการทำให้เป็นสารละลายของแข็งเท่านั้น สำหรับอลูมิเนียมผสมอื่นๆ สามารถชุบได้ (ชุบแข็งแบบตกตะกอน) เพราะธาตุผสมที่เติมลงไปทำให้เกิดการตกตะกอนของเฟสที่สอง ซึ่งอาจไม่ใช่สารประกอบอลูมิเนียมก็ได้ เช่น MgZn_2

โดยทั่วไปโลหะผสมของอลูมิเนียมจัดเป็นโลหะหล่อและโลหะผสมขึ้นรูปทางกลส่วนผสมทางเคมีทั้ง 2 กลุ่มบอกด้วยตัวเลข 4 หลัก ซึ่งหมายถึงปริมาณสารเจือปน และบางกรณีบ่งชี้ความบริสุทธิ์ สำหรับโลหะหล่อจุดเทคนิคจะอยู่ระหว่างสองหลักสุดท้าย หลังจากเลขสองหลักนี้จะเป็นเครื่องหมายขีดกลางและข้อกำหนดกรรมวิธีทางความร้อน (Temper Designation) ซึ่งเป็นตัวอักษรหรือเลข 1-3 หลักจะบ่งบอกสมบัติทางกลและกรรมวิธีทางความร้อนต่อ (Asfabricated) H หมายถึงสภาพเพิ่มความแข็งแรงจากความเครียด (Strain Hardened) และ O หมายถึงสภาพที่ผ่านการอบอ่อน

และ T3 หมายถึง โลหะผสมถูกอบละลายเป็นเนื้อเดียว ผ่านการรีดเย็นแล้วการบ่มธรรมชาติ แต่ถ้าโลหะผสมผ่านการอบละลายเป็นเนื้อเดียวกันและตามด้วยบ่มแรงจะใช้สัญลักษณ์ T6 ส่วนผสมทางเคมี คุณสมบัติ และการใช้โลหะผสมของอะลูมิเนียมบางชนิดทั้งกลุ่มโลหะหล่อและโลหะขึ้นรูปทางกล โลหะผสมของอะลูมิเนียมใช้ทำตัวเครื่องบิน อากาศยาน กระจ่างเบียร์ ตัวรถโดยสาร ขึ้นส่วนรถยนต์ เช่น เครื่องยนต์ ลูกสูบ และส่วนนำเชื้อเพลิงหรือท่อก๊าซไอเสียตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล และ การใช้สำหรับโลหะผสมของอะลูมิเนียมหลายชนิด [2]

Aluminium Association Number	UNS uNumber	Composition (%wt)	Condition (Temper Designation)	Mechanical Properties			Typical Application/ Characteristics
				Tensile Strength [MPa (psi)]	Yield Strength [MPa (psi)]	Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]	
1100	A91100	0.12Cu	Wrought, Nonheat-Treatable Alloys Annealed	90 (13)	35 (5)	35-45	Food/chemical Handling and storage equipment, heat Exchangers, light reflectors
3003	A93003	0.12Cu, 1.2Mn, 0.1Zn	Annealed (o)	110 (16)	40 (6)	30-40	Cooking utensils, pressure vessels, piping
5052	A95052	2.5Mg, 0.25Cr	Strain Hardened (H32)	230 (33)	195 (28)	12-18	Aircraft fuel and oil lines, fuel tanks, appliances, rivets and wire
2024	A92024	4.4Cu, 1.5Mg, 0.6Mn	Wrought, Heat-Treatable Alloys Heat treated (T4)	470 (68)	325 (47)	20	Aircraft structures, rivets, Truck wheels, screw machine products
6061	A96061	1.0Mg, 0.6Si, 0.3 Cu, 0.2 Cr	Heat Treated (T4)	240 (35)	145 (21)	22-25	Trucks, canoes, Rail-roadcars, furniture, pipeline
7075	A97075	5.6Zn, 2.5 Mg 1.6 Cu, 0.23Cr	Heat Treated (T6)	570 (83)	505 (73)	11	Aircraft structural parts and other highly stressed applications

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล และ การใช้สำหรับโลหะผสมของอลูมิเนียมหลายชนิด
(ต่อ) [2]

Aluminium Association Number	UNS Number	Composition (%wt)	Condition (Temper Designation)	Mechanical Properties			Typical Application/ Characteristics
				Tensile Strength [MPa (psi)]	Yield Strength [MPa (psi)]	Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]	
295.0	A02950	4.5Cu, 1.1Si	Cast, Heat-Treatable Alloys Heat treated (T4)	221 (32)	110 (16)	8.5	Flywheel and rear-axle housing, bus and aircraft wheels, crankcases
356.0	A0356.0	7.0Si, 0.3 Mg	Heat Treated (T6)	228 (33)	164 (24)	3.5	Aircraft pump parts, automotive transmission cases, watercooled cylinder blocks
2090	-	2.7Cu, 0.25Mg, 2.25Li, 0.12Zr	Aluminium-Lithium Alloys Heat treated, Cold worked (T83)	465 (66)	455 (66)	5	Aircraft structures and cryogenic tankage structures
8090	-	1.3Cu, 0.9Mg, 2.0Li, 0.1Zr	Heat treated, Cold worked (T4)	465 (67)	360 (52)	-	Aircraft structures that must be highly damage tolerant

ปัจจุบันได้มีการสนใจนำอลูมิเนียมและโลหะอื่นที่มีความหนาแน่นต่ำ อาทิเช่น แมกนีเซียม และ ไททาเนียม มาประยุกต์ใช้ในการขนส่งเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิง เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีสมบัติที่สำคัญ เช่น ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific Strength) หมายถึงอัตราส่วนความแข็งแรงหรือกำลังวัสดุต่อความถ่วงจำเพาะ แม้ว่าโลหะผสมของอะลูมิเนียมอาจมีค่าความแข็งแรงต่ำเมื่อเทียบกับโลหะอื่นที่มีความหนาแน่นสูงกว่า เช่น เหล็ก แต่เมื่อเทียบภาระที่รับได้ต่อหน่วยน้ำหนักแล้วอาจสูงกว่า เพราะมีค่าความแข็งแรงจำเพาะสูง

นอกจากนั้นยังได้พัฒนาโลหะผสมอลูมิเนียม-ลิเทียม ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องบิน ยานอวกาศ เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ (2.5 และ 2.6 g/cm^3) มีค่ามอดูลัสจำเพาะสูง ทนทานความล้าได้ดีมาก และมีค่าความแข็งแรงสูงแม้จะใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ วัสดุบางชนิดยังสามารถชุบแข็งแบบตกตะกอนได้ อย่างไรก็ตามการผลิตโลหะผสมนี้มีราคาแพงกว่าการผลิตโลหะผสมของอลูมิเนียมทั่วไปเพราะว่าต้องใช้กระบวนการเทคนิคพิเศษเนื่องจากลิเทียมอาจเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

2.1.1 อลูมิเนียมขึ้นรูปเย็น และ อลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม (Wrought Aluminium and Wrought Aluminium Alloys)

อลูมิเนียมขึ้นรูปเย็น และ อลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม (Wrought Aluminium and Wrought Aluminium Alloys) สามารถจำแนกออกโดยใช้ตัวเลข 4 หลัก โดยตัวเลขหลักที่หนึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มของอะลูมิเนียมซึ่งสามารถแบ่งได้ 9 กลุ่มตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอลูมิเนียมขึ้นรูปเย็น และ อลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม [3]

สัญลักษณ์	ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักในอะลูมิเนียม
1XXX	อะลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99 เปอร์เซ็นต์
2XXX	ทองแดง (Copper, Cu)
3XXX	แมงกานีส (Manganese, Mn)
4XXX	ซิลิกอน (Silicon, Si)
5XXX	แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)
6XXX	แมกนีเซียมกับซิลิกอน (Magnesium, Mg and Silicon, Si)
7XXX	สังกะสี (Zinc, Zn)
8XXX	ธาตุอื่นๆ (Other Element)
9XXX	ยังไม่มีใช้ (Unused Series)

อลูมิเนียมบริสุทธิ์ (อนุกรม 1XXX) ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมจะมีความบริสุทธิ์ของอลูมิเนียมที่ 99.0 % ถึง 99.9 % อลูมิเนียมในกลุ่มนี้มีความต้านทาน การกัดกร่อนได้ดี สามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี และยังสามารถสะท้อนแสงได้ดีจึงนิยมใช้ในการผลิตแผงสะท้อนแสงในไฟหน้ารถยนต์ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปขึ้นรูปได้ง่ายทั้งการตัด เชื้อน และขึ้นรูปเย็นด้วย

กระบวนการต่างๆ ความสามารถในการเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แต่อลูมิเนียมบริสุทธิ์จะมีข้อเสียคือในด้านของความแข็งแรง และคุณสมบัติทางกลที่ต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่น แต่ก็สามารถปรับปรุงได้โดยการเติมธาตุเจืออื่นเพื่อให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป หรือการขึ้นรูปเย็นคือการทำให้แข็งได้ด้วยความเค้น (Strain Hardening)

อลูมิเนียมเจือทองแดง (อนุกรม 2XXX) เป็นอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูง คุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยสามารถทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลให้ดีขึ้นได้ด้วยการกรรมวิธีทางความร้อนได้โดยทำการอบละลาย (Solution Treatment) และ ชุบ (Quenching) จากนั้นปล่อยให้ตกตะกอน (Precipitation) ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการอบบ่ม (Ageing Hardening) ซึ่งภายหลังการอบบ่มความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนจะลดลง และความสามารถในการเชื่อมของอลูมิเนียมชนิดนี้จะต่ำกว่าชนิดอื่นๆ คือจะเชื่อมได้ยากโดยจะเกิดการอ่อนตัวที่แนวเชื่อม ดังนั้นจึงมักทำการเชื่อมด้วยวิธีทางกลคือการย้ำหุ้ม

อลูมิเนียมเจือแมงกานีส (อนุกรม 3XXX) เป็นอลูมิเนียมที่มีคุณสมบัติ เหมือนกับอลูมิเนียมบริสุทธิ์แต่มีความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลที่ต่ำกว่า จัดว่าเป็นกลุ่มที่ไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการกรรมวิธีทางความร้อนได้

อลูมิเนียมเจือซิลิกอน (อนุกรม 4XXX) อลูมิเนียมชนิดนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่ไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการกรรมวิธีทางความร้อนได้ แต่เมื่ออยู่ในสภาพของเหลวจะไหลตัวได้ดีและขณะแข็งตัวจะไม่เกิดการแตกร้าวทั้งในสภาพร้อนและเย็น ดังนั้นอลูมิเนียมจึงนิยมใช้ในการเป็นลวดเติมสำหรับเชื่อมอลูมิเนียมเจือและอลูมิเนียมหล่อ

อลูมิเนียมเจือแมกนีเซียม (อนุกรม 5XXX) บางครั้งมีการเติมแมงกานีสลงไปด้วยอลูมิเนียมเจือชนิดนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่ไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการกรรมวิธีทางความร้อนได้นิยมนำไปทำลวดเติมสำหรับเชื่อมเหมือนกับอนุกรม 4XXX นอกจากนั้นยังนิยมนำไปทำเป็นถังหรือขวดบรรจุแก๊ส (Storage Vessels)

อลูมิเนียมเจือแมกนีเซียม - ซิลิกอน (อนุกรม 6XXX) อลูมิเนียมชนิดนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลด้วยการกรรมวิธีทางความร้อนได้ มีความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลที่ดีพอสมควร ความต้านทานการกัดกร่อนและความสามารถในการแปรรูปและความสามารถในการเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่พอใช้ แต่มีข้อเสียคือเมื่อนำอลูมิเนียมเจือชนิดนี้ไปทำการเชื่อมด้วยการกรรมวิธีให้ความร้อนแบบต่างๆ จะทำให้บริเวณแนวเชื่อมอ่อน

อลูมิเนียมเจือสังกะสี - แมกนีเซียม (อนุกรม 7XXX) อลูมิเนียมชนิดนี้มีการเจือธาตุสังกะสีเป็นธาตุหลักและแมงกานีสเป็นธาตุรองนอกจากนั้นยังมีทองแดงและโครเมียมอีกเล็กน้อย อลูมิเนียมเจือกลุ่มนี้มีความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลที่ดีมากและมีน้ำหนักเบา ความต้านทานการกัด

กร่อนและความสามารถในการเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำเพราะจะเกิดการอ่อนตัวบริเวณแนวเชื่อม อลูมิเนียมชนิดนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ แต่ในปัจจุบันได้มีการผลิตและพัฒนาอลูมิเนียมชนิดนี้โดยการผสมแมกนีเซียมลงไปและกำจัดทองแดงออกไปทำให้ความสามารถในการเชื่อมของอลูมิเนียมชนิดสูงขึ้น โดยจะไม่เกิดการอ่อนตัวบริเวณแนวเชื่อมเพราะบริเวณดังกล่าวได้เกิดการแข็งตัวจากตกตะกอนตามธรรมชาติ

2.1.2 อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมซิลิกอน หมายเลข 6063

ตามมาตรฐานจากสมาคมอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมซิลิกอนหมายเลข 6063 มีส่วนผสมทางเคมีตามตารางที่ 2.3 นอกจากนี้ อลูมิเนียมหมายเลขนี้ยังมีสมบัติทางอุณหภูมิ และ สมบัติเชิงกลที่สำคัญตามตารางที่ 2.4-2.5

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมผสมซิลิกอนหมายเลข 6063 [3]

ธาตุที่ผสม	ปริมาณธาตุที่ผสม(%)	
	6063 Registered by USA	6063 A Registered by UK
ซิลิกอน(Si)	0.20-0.60	0.30-0.60
เหล็ก(Fe)	0.35	0.15-0.35
ไททาเนียม(Ti)	0.10	0.10
ทองแดง(Cu)	0.10	0.10
แมกนีเซียม(Mg)	0.45-0.90	0.60-0.90
สังกะสี(Zn)	0.10	0.15
แมงกานีส(Mn)	0.10	0.15
โครเมียม(Cr)	0.10	0.05
อื่นๆ	0.05	0.05

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางอุณหภูมิของอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและ ซิลิกอนหมายเลข 6063 [3]

คุณสมบัติทางอุณหภูมิ (Thermal Properties)	
อุณหภูมิหลอมเหลว	655 °C
อุณหภูมิแข็งตัว	615 °C
สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 20°C	23.4 um/m.K
ความร้อนจำเพาะ	900 J/Kg.K
ความหนาแน่น	2.96 g/cm ³

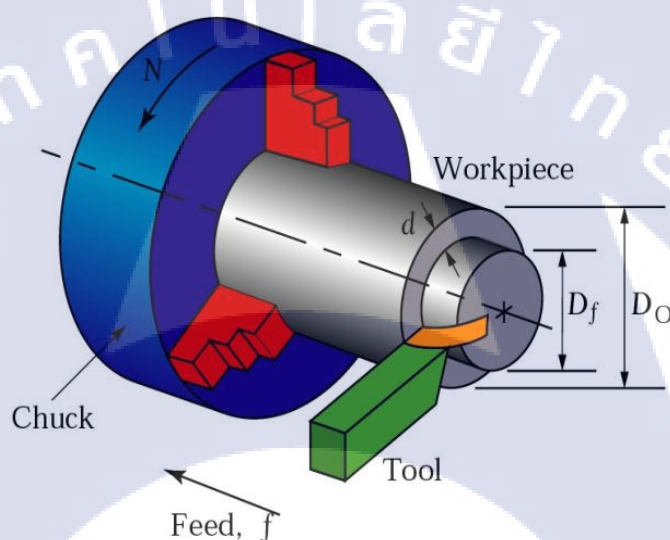
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม และ ซิลิกอนหมายเลข 6063 [3]

Temper	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HB)	Shear Strength (MPa)
0	90	48	---	25	69
T1	152	90	20	42	97
T4	172	90	22	---	---
T5	186	145	12	60	117
T8	241	214	12	73	152
T83	255	241	9	82	152
T831	207	186	10	70	124
T832	290	269	12	95	186

2.2 กระบวนการตัดเฉือนโลหะ

กระบวนการตัดเฉือนโลหะโดยทั่วไปแล้วจะมีมุมคมตัด (Cutting Angle: β) ของเครื่องมือตัดอยู่ระหว่าง 55-90 องศา ขึ้นอยู่กับการตัดเฉือนวัสดุแต่ละชนิด เศษที่ได้จากการตัดเฉือนจะไหลผ่านไปตามทิศทางการมุมคายเศษ (Rake Angle: α) และจำเป็นต้องมีมุมหลบหน้ามีด (Clearance Angle: γ) เพื่อลดแรงเสียดทานที่จะเกิดขึ้นระหว่างวัสดุเครื่องมือตัดกับชิ้นงาน และเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเกิดรอยหลังจากที่คมมีดตัดเฉือนชิ้นงานผ่านไปแล้ว การที่จะทำให้เครื่องมือตัด (Cutting Tool) ทำการตัดเฉือนวัสดุจนเกิดเศษตัดได้นั้น จำเป็นต้องใช้พลังงานในการตัดเฉือนมากพอ และเศษที่ได้จากการตัดเฉือนจะไปทำให้ผิวคายเศษของเครื่องมือตัดเกิดพลังงานความร้อนขึ้น โดยการเสียดสี

ระหว่างชิ้นงานกับมีดตัดจะส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งในการกลึงส่วนใหญ่จะเกิดความร้อนสูงเกิน $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ และสูงถึงประมาณ $1,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยจะส่งผลในทางลบกับมีดกลึง คือทำให้ปลายมีดเกิด การสึกหรอ (Tool Wear) และเสื่อมสภาพ (Tool Failure) การใช้งานในที่สุด และจะส่งผลถึง คุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน ดังนั้นการกำหนดสภาวะการตัดเฉือน (Cutting Condition) คือความเร็ว ตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกในการตัด (Depth of Cut) ที่เหมาะสม จะทำให้ค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน (Surface Roughness) และการสึกหรอของมีดมีดตัด (Tool Wear) แตกต่างกัน ซึ่งกระบวนการตัดเฉือนโลหะดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการการตัดเฉือนโลหะ [4]

2.2.1 กระบวนการเกิดเศษตัด

การเกิดเศษตัดจะเกิดจากการใช้แรงเฉือนระหว่างชิ้นงานกับมีดมีดกลึงตัดผ่านปลายคมตัด ด้วยความลึกในการตัดชิ้นงาน (Depth of Cut) และเคลื่อนที่ตัดเฉือนอย่างต่อเนื่องเป็นระยะป้อน (Feed) ซึ่งจะทำให้เกิดเศษในลักษณะต่างๆโดยเศษตัดจะถูกบังคับทิศทางการไหลด้วยผิวคายเศษ จึงทำให้โลหะเคลื่อนอย่างอิสระ ซึ่งความกว้างสูงสุดของเศษตัดที่ได้จะมีค่าเท่ากับระยะป้อนลึกการ ควบคุมการเกิดเศษสามารถเลือกใช้ค่าความลึกในการตัด และอัตราป้อนที่อยู่ในช่วงของการควบคุม การเกิดเศษที่เหมาะสม อันเป็นผลให้ลดปัญหาในทางลบที่เกิดขึ้นในการตัดเฉือน เช่น อุณหภูมิ แรง ตัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกค่าสภาวะการตัดเฉือน (Cutting Conditon) ให้อยู่ในช่วงการควบคุม

การเกิดเศษที่เหมาะสม และเศษตัดที่ไหลอย่างต่อเนื่อง (Continuous Chip) ซึ่งเศษตัดจะไม่เกิดการหักของเศษในแนวระนาบเฉือน จึงทำให้เกิดการไหลตัวอย่างต่อเนื่องผ่านผิวคายเศษของเครื่องมือตัด ม้วนตัวเป็นลักษณะเหมือนเกลียวที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆ ในการตัดเฉือน เพราะฉะนั้นในการออกแบบเครื่องมือตัด จึงจำเป็นต้องนำคุณลักษณะของเศษตัดที่ได้มาพิจารณาด้วย เช่นการตัดเฉือนที่เกิดเศษตัดในลักษณะของเศษที่ไหลต่อเนื่องจะทำให้เกิดการม้วนของเศษพันชิ้นงานในขณะที่ทำการตัดเฉือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานเครื่องมือตัดกับเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ซีเอ็นซี (CNC) การออกแบบเครื่องมือตัดควรให้สามารถหักเศษได้ หลังจากที่เศษตัดไหลผ่านผิวคายเศษ

2.2.2 แรงเสียดทานบนเศษตัดที่กระทำบนผิวเม็ดมีดกลึง

รูปแบบของเศษที่กระทำบนผิวของเม็ดตัดจะเป็นการเคลื่อนที่ไหลผ่านของเศษตัดที่เคลื่อนที่ผ่านผิวคายเศษ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเสียดทาน (Friction Force) ขึ้นระหว่างเศษตัดและผิวคายเศษของเม็ดตัดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่ได้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของเศษตัดด้วย แรงเสียดทานจะทำให้เกิดความต้านทานกับผิวของชิ้นงานที่ได้จากการเคลื่อนที่ของตัวเศษตัด ความเสียดทานจากการเคลื่อนตัวที่แสดงให้เห็นว่ามีความเกี่ยวข้องกับแรงกระทำที่คมเม็ดตัด และแรงเสียดทานในทางวิศวกรรมเรียกความสัมพันธ์นี้ว่าสัมประสิทธิ์ของการเสียดทาน ดังสมการที่ (2.1)

$$\mu_k = \frac{F}{N} \quad (2.1)$$

เมื่อ

μ = สัมประสิทธิ์ของการเสียดทาน

F = แรงเสียดทาน

N = แรงกระทำที่มีดในทิศทางตั้งฉากกับแรงเสียดทาน

จากสมการสัมประสิทธิ์เสียดทานถูกกำหนดที่ผิวหน้าในการตัดเฉือนโลหะซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผิวสัมผัสของคมเม็ดตัด ดังเป็นผลมาจากปฏิกิริยาต่อกันระหว่างเศษตัดกับคมเม็ดตัด อัตราความเร็วเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เศษออกมามากเกินไป ซึ่งจะมีผลกระทบต่อขนาดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและอุณหภูมิของเศษตัด

2.2.3 แนวทางปฏิบัติสำหรับงานกลึง

1) ตัวแปรสำหรับการเลือกเม็ดมีด (Insert)

ประเภทของงานกลึง เช่น กลึงหยาบ หรือกลึงละเอียด ขอบเขตและขีดจำกัดของชิ้นงาน เช่น รูปร่างของชิ้นงาน ลักษณะของงานกลึง เช่น กลึงปอก หรือกลึงคว้าน กำลัง และสมรรถนะของเครื่องกลึง วัสดุชิ้นงาน เช่น ความเหนียว ความแข็ง

2) แนวทางปฏิบัติสำหรับงานกลึงหยาบ (Rough Cutting)

การกลึงหยาบเป็นกระบวนการเตรียมขนาดของชิ้นงานให้ได้ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการ ก่อนการป้อนกินชิ้นงานครั้งสุดท้ายให้ได้ตามขนาดกำหนด และผิวชิ้นงานตามต้องการ ข้อคำนึงในการปฏิบัติสำหรับงานกลึงหยาบ การเลือกมีดตัดที่มีมุมตัดสูงที่สุด ผลจากการเลือกมุมตัดสูงที่สุดจะทำให้เกิดเศษยาวการกระจายความร้อนดี และลดความเสี่ยงจากปลายคมตัดกะเทาะ การเลือกด้ามมีดโตที่สุดจะช่วยให้การจับยึดได้มั่นคง ลดปัญหาจากการโก่งตัวของด้ามมีดลดการแตกของปลายมีดที่เกิดจากการจัดระหว่างปลายมีดตัด และชิ้นงานที่ต่ำกว่าศูนย์กลาง การเลือกรูปร่างเม็ดมีดที่มีความแข็งแรงที่สุด ช่วยให้ปริมาณตัดเฉือนได้สูง และลดต้นทุนของคมมีด การเลือกจมูก (Insert Nose Radius) ที่โตที่สุดทำให้สามารถเพิ่มอัตราป้อนได้มาก และปลายมุมตัดความแข็งแรง การระบายความร้อนได้ดี ถ้าจมูกโตเกินไปจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขณะทำการตัดเฉือน เลือกความลึกป้อนสูงสุดเท่าที่กำลังการตัดและปลายมุมตัดรับได้

3) แนวทางปฏิบัติสำหรับงานกลึงละเอียด (Fine Cutting)

ความเรียบผิวชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับสภาวะการตัดเฉือนคือประกอบไปด้วยความเร็วในการตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กัน การตัดที่ต้องการความเรียบสูง เน้นความแม่นยำหรือความละเอียดของพื้นผิวเป็นงานในขั้นตอนต่อเนื่องจากการตัดหยาบ

2.2.4 อิทธิพลของสภาวะการตัดเฉือนต่อการปฏิบัติการกลึง

ผลที่เกิดจากสภาวะการตัดเฉือนของเม็ดมีดกลึงซึ่งประกอบด้วยความเร็วในการตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกในการตัด (Depth of Cut) จะมีผลต่อสภาวะการปฏิบัติงานดังนี้

1) ค่าความเร็วตัด (Cutting Speed) โดยความเร็วตัดนี้อยู่ในรูปของความเร็วรอบของเครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC) ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานตามสมการที่ (2.2)

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

เมื่อ

 V = ความเร็วในการตัด (m/min) d = เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน (mm) n = ความเร็วรอบของหัวจับงาน (rev/min)

2) เวลาในการกลึง (Machine Time: t) การคำนวณเวลาในกลึงมีองค์ประกอบ การพิจารณาหลายประการ อัตราการป้อน (Feed Rate) จะมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ประสิทธิภาพของเครื่องกลึง ความเร็วรอบของเครื่อง (Spindle Speed) ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ซึ่งจะมีผลกับเวลาการกลึงซึ่งหาได้ดังสมการที่ (2.3)

$$t = \frac{l}{f \times N} \quad (2.3)$$

เมื่อ

 t = เวลาในการกลึง(min) l = ระยะทางเดินของมีด (mm) f = อัตราป้อน (mm/rev) N = จำนวนความเร็วรอบการหมุน (rev/min)

3) อัตราการกำจัดเนื้อโลหะ (Metal Removal Rate: MRR) ปริมาณของเศษกลึงที่ถูกกำจัดออกต่อนาทีซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญคือ ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ความเร็วในการตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) ดังสมการที่ (2.4)

$$Q = ap \times vc \times f \quad (2.4)$$

เมื่อ

 Q = อัตราการกำจัดเนื้อโลหะ (cm^3/min) ap = ความลึกในการตัด (mm) vc = ความเร็วในการตัด (m/min) f = อัตราป้อน (mm/rev)

2.3 คุณสมบัติของเม็ดมีดกลึง [5]

คุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับวัสดุเครื่องมือกล ได้แก่ ความสามารถในการต้านทานการอ่อนตัว ที่อุณหภูมิสูง มีสมบัติแข็งแรงเสียดทานต่ำ ความต้านทานต่อการขัดสีและความเหนียวแน่นซึ่งเพียงพอที่จะต้านทานต่อการแตกร้าวได้ ชุดเครื่องมือตัดของเม็ดมีดกลึงทำมาจากวัสดุมากกว่าหนึ่งชนิด สำหรับวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น ในการกลึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ขนาด จำต้องใช้ อัตราการตัดของเครื่องมือแตกต่างกันไปตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการ ซึ่งไม่จำเป็นที่เครื่องมือจะต้องทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน อันอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อชิ้นงานและตัวเครื่องมือตัด คุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับเม็ดมีดกลึง แบ่งได้ดังนี้

1) มีความแข็งสูง (High Hardness) คือในอุณหภูมิปกติของห้องความแข็งของสารใบมีดตัด ต้องสูงกว่าความแข็งของสารชิ้นงานมาก จึงจะสามารถผ่าเนื้อชิ้นงานออกเป็นสองส่วนได้ โดยทั่วไป การวัดค่าของความแข็งของใบมีดและชิ้นงานในการตัดโลหะนิยมระบุเป็นค่าความแข็งในระบบร็อคเวลล์ (Rockwell) สเกล C (HRC) วัดความแข็งที่อุณหภูมิห้อง

2) คงความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง (Hot Hardness) กล่าวคือขณะที่ใบมีดกำลังทำหน้าที่ตัด วัสดุชิ้นงานอยู่นั้น ทั้งชิ้นงานและใบมีดจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปสารทุกชนิดจะอ่อนตัวลง คือ ค่าความแข็งลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าค่าความแข็งของสารใบมีดลดลงจนสูงกว่าค่าความแข็งของชิ้นงานเพียงเล็กน้อย ใบมีดจะสึกหรออย่างรวดเร็ว หรือไม่ก็แตกหักลงไป ไม่สามารถตัดชิ้นงานได้ สารใบมีดที่คงความแข็งได้ดี คือมีค่าความแข็งลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเดิมมาก

3) ต้านทานการสึกหรอได้ดี (High Wear Resistance) ที่ผิวหน้ามีดจะมีการเสียดสีระหว่างมีดกับเนื้อผอม และที่ผิวหลังมีดไถลกับบริเวณคมมีดจะมีการเสียดสีระหว่างมีดกับเนื้อชิ้นงานที่เพิ่งถูกตัด การเสียดสีที่อุณหภูมิสูงทำให้ใบมีดสึกหรอ การแพร่กระจายของอะตอมสารชิ้นงานเข้าสู่เนื้อสารใบมีด จะทำให้สารใบมีดสึกหรอเร็วขึ้นการแพร่กระจายของอะตอมสารใบมีดเข้าสู่เนื้อสารชิ้นงานก็จะทำให้สารใบมีดสึกหรอเร็วขึ้นเช่นกัน สารใบมีดที่ดีควรสึกหรอช้า และส่วนมากสารที่มีความแข็งสูงมากจะต้านทานการสึกหรอได้ดี

4) มีความแข็งแรงสูง (High Strength) คือควรจะมี ความต้านทานต่อการดึง (Tensile Strength) สูง และมีความต้านทานต่อการกด (Compressive Strength) สูงด้วย เพื่อให้ทนทานไม่แตกหักง่าย

5) ไม่เปราะ กะเทาะ หรือร้าวง่าย เมื่อถูกกระแทกกระทึก (Shock Resistance) ทั้งนี้ เพราะสารที่มีความแข็งสูงมักจะเปราะ

6) ไม่ไวต่อการประลัยโดยล้า (Fatigue Resistance) คือการแตกหรือประลัยโดยล้าได้ยาก

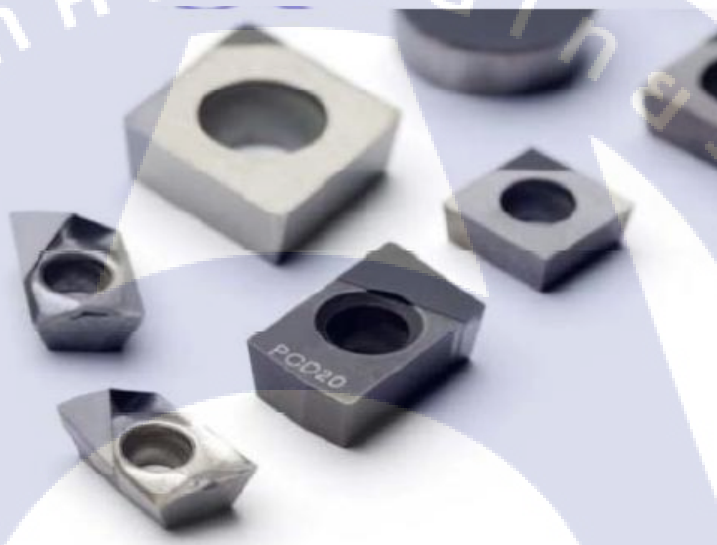
7) ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารชิ้นงานซึ่งจะทำให้สึกหรออย่างรวดเร็ว ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับอากาศจนเป็นสนิมได้ง่าย ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำยาหล่อเย็นจนอาจจะทำให้เกิดการสึกกร่อน (Corrosion) อย่างรวดเร็ว

2.3.1 เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ (Carbide Insert)

มีดกลึงคาร์ไบด์ (Carbide Cutting Tool) ทำขึ้นได้โดยการทำโลหะผงของทั้งสแตนคาร์ไบด์และโคบอลต์จะถูกอัดให้มีรูปร่างตามต้องการแล้วนำเข้าสู่กระบวนการกึ่งยัดเหนียวในเตาซึ่งมีบรรยากาศของไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 1550 C° จากนั้นจึงทำผิวสำเร็จโดยการเจียรนัย เครื่องมือคาร์ไบด์นี้มีส่วนผสมของทั้งสแตนคาร์ไบด์ประมาณ 94 % และโคบอลต์ 6 % เหมาะสมกับการตัดปาดเหล็กหล่อและวัสดุอื่น ๆ จำนวนมากยกเว้นเหล็กกล้า เนื่องจากเศษตัดจะยึดติดหรือเชื่อมตัวเข้ากับผิวหน้าคาร์ไบด์และฝังตัวลงในเครื่องมือตัดอย่างรวดเร็วอย่างไรก็ตามข้อบกพร่องนี้อาจจะแก้ไขได้โดยการเติมไททาเนียมและแทนทาลัมคาร์ไบด์ เข้าผสมพร้อมกันกับเพิ่มปริมาณของโคบอลต์ ซึ่งในเครื่องมือของคาร์ไบด์ที่เหมาะสมแก่การปฏิบัติ สำหรับเหล็กกล้าจะประกอบไปด้วย สแตนคาร์ไบด์ 82 % ไททาเนียมคาร์ไบด์ 10 % และโคบอลต์ 8 % ส่วนผสมนี้จะมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเป็นผลให้มีแนวโน้มการสึกหรอที่ด้านบนหรือความเป็นแอ่งลดน้อยลง เนื่องจากการแปรเปลี่ยนส่วนประกอบจะทำให้คาร์ไบด์มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไป โดยคาร์ไบด์ระดับคุณภาพต่างๆสามารถหาซื้อให้เหมาะสมกับการปฏิบัติการทั่วไปคาร์ไบด์จะสามารถคงตัวไว้ได้อุณหภูมิสูงกว่า 1200 C° ดังนั้นความแข็งแรงร้อนแดงของวัสดุนี้จึงมีเหนือกว่าวัสดุโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุจากการสังเคราะห์ที่แข็งที่สุดเท่าที่ผลิตขึ้นได้และยังมีความแข็งแรงทางด้านแรงอัดสูงเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามมันมีข้อเสียในด้านที่มีความเปราะสูง มีความต้านทานต่อการกระทบกระแทกต่ำและต้องการฐานรองรับอย่างมั่นคงแข็งแรงเพื่อป้องกันการแตกร้าว ทั้งยังทำการเจียรนัยได้อย่างลำบากเฉพาะกับล้อขัดชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์หรือเพชรเท่านั้นโดนจะต้องรักษามุมห่าง (Clearance Angle) ไว้ให้ต่ำที่สุด เครื่องมือตัดคาร์ไบด์จะสามารถทำการตัดด้วยอัตราเร็ว 2-3 เท่าของเครื่องมือตัดจากโลหะผสมหล่อแต่ในอัตราการป้อนที่น้อยกว่ามาก ในแง่เศรษฐกิจแล้ว จึงควรนำเครื่องมือคาร์ไบด์มาใช้ให้มากที่สุด โดยเครื่องจักรสำหรับเครื่องมือคาร์ไบด์จะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง มีกำลังเพียงพอและมีช่วงของการป้อนและอัตราเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับวัสดุต่างๆทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่มีความละเอียดของเกรนสูง (Micrograin Carbide) จะมีความแข็งและความแข็งแรงสูงเป็นอย่างยิ่ง ใช้งานในที่ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือตัดคาร์ไบด์ปกติเนื่องจากอันตรายเร็วตัดที่ใช้มีค่าต่ำจนเกินไปและในกรณีซึ่งเครื่องมือตัดโดยทั่วไปไม่สามารถต้านทานต่อการสึกหรอได้ รวมทั้งปฏิบัติการขึ้นรูปหรือการตัดขาดเครื่องคาร์ไบด์

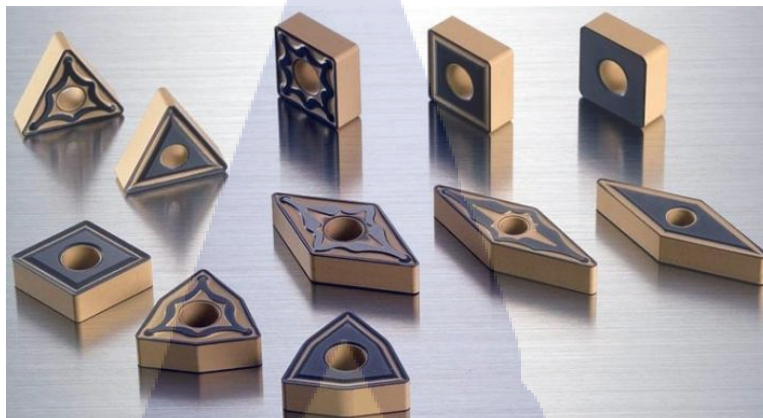
อาจเคลือบด้วยชั้นตัวประสาน (Bonded Layer) ที่ขนาดความหนา 0.05-0.08 มม. ของไททาเนียมคาร์ไบด์ อลูมินัมออกไซด์ (Aluminum Oxide) หรือไททาเนียมไนไตรด์ (Titanium Nitride) เพื่อลดความร้อนจากการวิ่งผ่านของเศษตัดบนเครื่องมือและการแพร่ซึมหรือการยึดติดของเศษตัด รวมทั้งป้องกันการเกิดแอ่งจากการสึกหรอโดยเครื่องมือที่เคลือบด้วยอลูมินัมออกไซด์จะสามารถทำการตัดด้วยอัตราเร็วใกล้เคียงกัน 2 เท่าของอัตราเร็วที่ได้จากการเคลือบด้วยสารอื่น อย่างไรก็ตามเครื่องมือตัดที่มีการเคลือบนี้ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีสะเก็ดมากหรือมีทรายเจือปนอยู่ใบมีดที่ผ่านการเคลือบผิวแบ่งใบมีดคาร์ไบด์เป็นประเภท ตามลักษณะของพื้นผิวเป็น 2 ชนิด

1) ใบมีดคาร์ไบด์ไม่เคลือบผิว (Non Coated Carbide Tool) เป็นใบมีดคาร์ไบด์ที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบผิว มีราคาถูกกว่าใบมีดชนิดเคลือบผิว ใช้ในงานทั่วไปดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เม็ดมีดคาร์ไบด์ไม่เคลือบผิว [6]

2) ใบมีดคาร์ไบด์เคลือบผิว (Coated Carbide Tool) เป็นใบมีดที่ผ่านการเคลือบผิวมีราคาแพงกว่าใบมีดชนิดไม่ได้เคลือบผิว ใช้ในงานที่ต้องการใบมีดที่ทนทานกว่าปกติ วัสดุเคลือบที่ใช้งานทั่วไป ได้แก่ Titanium Carbide (TiC), Titanium Nitride (TiN), Titanium Carbonitride (TiCN), และ Aluminum Oxide (Al_2O_3) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เม็ดมีดคาร์ไบด์เคลือบผิว [6]

วัสดุเคลือบแต่ละชนิดมีหน้าที่ต่างกัน ดังอย่างเช่น TiC และ Al_2O_3 เป็นวัสดุเคลือบที่แข็งแรงมาก ทำหน้าที่ต้านทานการสึกหรอ และเป็นวัสดุทำหน้าที่คล้ายแผ่นฉนวนลดการถ่ายเทความร้อน และลดการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างฝอยของชิ้นงานกับเนื้อในของใบมีด TiN เป็นวัสดุเคลือบที่ไม่แข็งเท่า TiC และ Al_2O_3 แต่ TiN เป็นสารที่ทำให้สัมประสิทธิ์ของการเสียดทานระหว่างผิวของใบมีดกับผิวของฝอยชิ้นงานลดลง และช่วยต้านทานการสึกเป็นหลุมบนผิวหน้ามีด นอกจากนี้ TiN ยังมีสีเหลืองอร่ามคล้ายทองคำทำให้ดูสวยงาม TiCN เป็นวัสดุเคลือบที่ช่วยเพิ่มการยึดตัวของวัสดุต่างๆ ได้ดีเยี่ยม ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอที่ผิวหลังมีดได้ดี และช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักจากการกระแทกได้ดี

2.4 ประเภทของการตัดจำแนกตามความราบเรียบของพื้นผิวสำเร็จ

การตัดวัสดุเมื่อมองในแง่ของความประณีต ความละเอียดแม่นยำหรือความราบเรียบของพื้นผิวสำเร็จ (Surface Finish) นั่นคือผิวที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตจำแนกความราบเรียบของพื้นผิวสำเร็จจากการตัด แบ่งเป็น 4 ประเภท

1) การตัดหยาบ (Rough Cutting) หมายถึงการตัดที่ต้องการให้งานเสร็จอย่างรวดเร็ว แต่ไม่เน้นเรื่องการทำให้อัตราความขรุขระต่ำ ไม่เน้นความแม่นยำหรือความละเอียดของพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงาน งานส่วนมากในการตัดโดยใช้ใบมีดตัดมักจะเป็นการตัดหยาบ ใช้ความเร็วในการตัดค่อนข้างสูง อัตราป้อนสูง และความลึกในการตัดสูง เป็นผลให้ใช้แรงตัดสูง และอาจจะต้องฉีดน้ำยาหล่อเย็นที่มีคุณสมบัติการหล่อลื่นหรือการลดแรงตัดได้ดี ทั้งนี้เพราะต้องการให้งานเสร็จเร็วหลังจากงานตัดหยาบแล้วอาจจะต้องมีการตัดละเอียด หรือการเจียรในอีกครั้งหนึ่ง

2) การตัดปานกลาง (Medium Cutting) หรือการตัดทั่วไป เป็นการตัดที่ประนีประนอมระหว่างการตัดหยาบและตัดละเอียด คือต้องการให้งานเสร็จเร็ว โดยที่ต้องการให้พื้นที่ขรุขระน้อยด้วย ซึ่งอาจทำได้ในบางกรณี โดยการเลือกค่าความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัดที่เหมาะสม

3) การตัดละเอียด (Fine Cutting) หมายถึงการตัดที่ต้องการให้ค่าความขรุขระต่ำ เน้นความแม่นยำหรือความละเอียดของพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงาน ไม่เน้นให้งานเสร็จอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าเสร็จรวดเร็วก็จะเป็นการดี งานในลักษณะนี้เกิดขึ้นเป็นงานในขั้นตอนต่อเนื่องจากการตัดหยาบหรือเป็นการตัดครั้งสุดท้าย ใช้ความเร็วในการตัดสูงหรือต่ำก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม อัตราป้อนต่ำ และความลึกในการตัดต่ำหรือปานกลาง แรงและกำลัง ที่ใช้มักจะมีค่าน้อยจนไม่ก่อให้เกิดปัญหา มักจะต้องฉีดยาหล่อเย็นเพื่อจัดฟอยออกจากบริเวณของการตัดอย่างรวดเร็ว เพื่อลดความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จ

4) การตัดละเอียดยิ่ง (Ultra-Fine Machining) ในการตัดชิ้นงานบางอย่าง เช่นการกลึงเลนส์ การกลึงออลูมิเนียมให้พื้นผิวสำเร็จเป็นมันวาวคล้ายกระจก ค่าความขรุขระจะน้อยมากเป็นพิเศษ

2.5 การสึกหรอของคมตัด

การสึกหรอของคมตัดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า มีดมีการหมดสภาพมีขนาดเกินที่กำหนดไว้ ซึ่งขนาดของการสึกหรอของคมตัดที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด (Tool life) นั้น อาจจะประมาณจากขนาดของการสึกหรอแบบหลุมบนผิว (Crater Wear) หรือขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear) ก็ได้ ขนาดของการสึกหรอที่ใช้ในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด จะเป็นขนาดของการสึกหรอที่ถึงจุดที่การสึกหรอเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลให้ใบมีดหมดสภาพที่จะใช้งานต่อไป ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดวิกฤติ (Critical Point) เช่นถ้าพิจารณาพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank Wear) ในระหว่างอายุของใบมีดจะพบว่ามี 3 ชั้น คือ การสึกหรอขั้นแรก (Primary Wear or Initial Wear) การสึกหรอขั้นที่สอง (Secondary Wear or Progressive Wear) และขั้นสุดท้ายเป็นการสึกหรอขั้นที่สาม (Tertiary Wear or Catastrophic Wear)

1) การสึกหรอด้านข้างคมตัด (Flank Wear) เป็นการสึกหรอที่มีผลต่อการตัดเฉือนมาก เพราะว่า Flank wear ที่ขยายใหญ่ขึ้นไปถึงขอบคมตัดจะทำให้การตัดเฉือนเป็นไปได้ยาก ต้องใช้แรงตัดและกำลังเพื่อใช้ในการตัดมากขึ้น และความเค้นเกิดกับมีดตัดสูงขึ้น มักจะเกิดบริเวณ Cutting Edge หรือคมตัดของมีดตัดโดยสาเหตุอาจจะเกิดมาจากใช้ความเร็วตัดสูง และความสามารถในการทนแรงเสียดสีของมีดตัดต่ำดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การสึกหรอด้านข้างคม [6]

2) การสึกหรอบนผิวคายเศษโลหะ (Crater Wear) เป็นการสึกหรอบนผิวด้านบนของมีดตัด มีลักษณะเป็นหลุม (Crater) ลึกลงไปในตัวมีดมีผลมาจากการเสียดทานระหว่างเศษโลหะกับมีดตัด สาเหตุเกิดมาจากการที่เศษโลหะหลอมเย็นติดที่ปลายมีดตัดเนื่องจากอุณหภูมิที่บริเวณตัดเฉือนสูงขึ้น ถ้าการสึกหรอในปริมาณสูงจะสูญเสียขอบตัดที่ดีและกีดขวางการไหลของเศษตัดดังรูปที่ 2.5



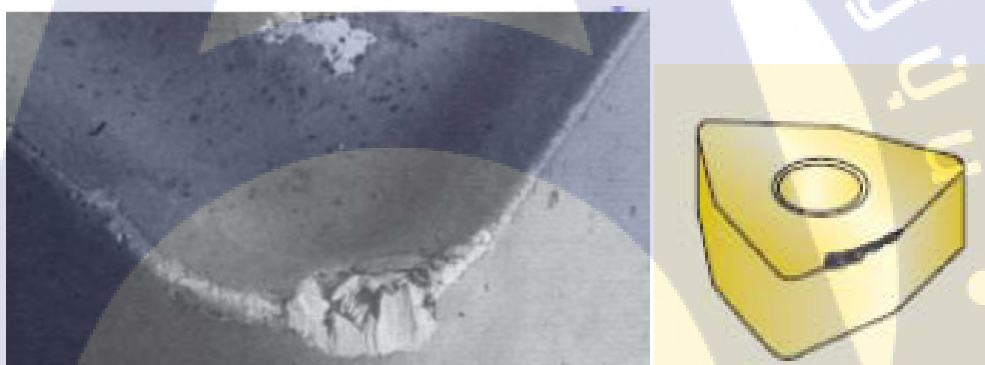
รูปที่ 2.5 การสึกหรอบนผิวคายเศษโลหะ [6]

การสึกหรอบริเวณคมตัด (Nose Wear) เป็นการสึกหรอบริเวณปลายคมตัด โดยอาจเกิดจากการเสียดสี การขัดถู และการเสียรูปของปลายมีดตัด จะมีผลต่อความเที่ยงตรงของชิ้นงาน และยังมีผลต่อผิวสำเร็จของชิ้นงานอีกด้วย เพราะเมื่อเกิด Nose Wear มากๆ ผิวชิ้นงานจะขรุขระไม่เรียบดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การสึกหรอบริเวณคมตัด [6]

การแตกหักของคมตัด (Chipping) เกิดจากแรงตัดที่ใช้ไม่คงที่ การตัดที่ต้องหยุดบ่อยๆ หรือเกิดในกรณีของอุบัติเหตุ เช่น เกิดการกระแทกหรืออาจจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ทำให้เครื่องมือตัดขยายตัวหรือหดตัวไม่ทันดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การสึกหรอการแตกหักของคมตัด [6]

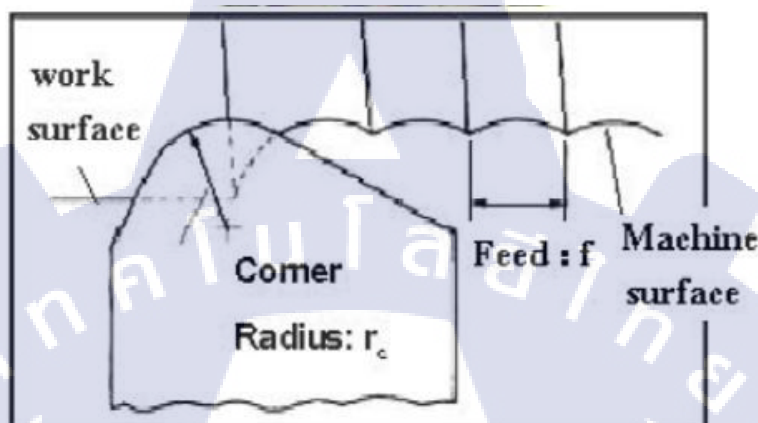
2.6 ทฤษฎีและรูปแบบของความเรียบผิว

จากงานวิจัยของ Drawson และคณะ เมื่อปี ค.ศ. 2001 เรื่อง “Tool life, Wear Rates, and Surface Quality in Hard Turning.” ได้สรุปเป็นสมการของความเรียบผิวดังนี้ดังรูปที่ 2.8

$$R_a = \frac{f^2}{32r_c} \quad (2.5)$$

เมื่อ

R_a = ความเรียบผิว	μm
f = อัตราป้อน	mm / rev
r_c = รัศมีมีด	mm



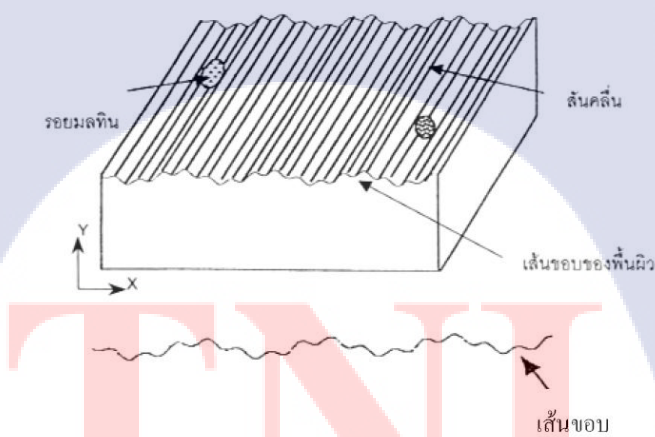
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของรัศมีปลายมีดกับความเรียบผิวและอัตราป้อน [7]

จากรูปที่ 2.8 ต้องลดอัตราป้อนหรือเพิ่มรัศมีของปลายเครื่องมือเพื่อทำให้ความเรียบผิวดีขึ้น มีปัญหาหลายอย่างเกี่ยวกับรูปแบบนี้คือ สิ่งแรกได้มีการพิจารณาถึงข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต เช่น เครื่องมือสั่น เศษพอกติด สิ่งต่อมาคือข้อจำกัดเกี่ยวกับรูปแบบนี้ เช่น เครื่องมือที่แน่นอน (เช่น CBN) ที่ต้องการรูปแบบพิเศษเพื่อช่วยในเรื่องอายุการใช้งานของเครื่องมือ

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าความเรียบผิวที่ถูกต้องในการทดลองด้วยอัตราป้อนที่ต่ำไม่สอดคล้องกับความเรียบผิว มีผลกระทบหลัก 2 อย่าง ที่เป็นแนวทางทำให้ความเรียบผิวเสียหาย ได้แก่ การพอกและการขูดความเสียหายสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือและชิ้นงานมีผลกระทบต่อคุณภาพผิวงาน ที่ความผิดพลาดแรงเสียดทานมาก ขึ้นอยู่กับการพอกและการเฉือนที่สัมผัสกับผิว ในกรณีของการกลึง แรงเสียดทานน้อยที่มีดและเศษที่สัมผัสกัน เช่น ที่ความเร็วต่ำ เศษเสียดสีกับมีดที่ผิวคมตัดที่ 2 ทำให้การพอกเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลระหว่างมีดกับชิ้นงานโดนเปลี่ยนจากการตัดเป็นการขูด ความแตกต่างจากทฤษฎีความเรียบผิวที่อัตราป้อนต่ำเป็นเหตุให้เกิดการพอกและขูด Grzesik กล่าวว่าทำให้ผลกระทบนี้น้อยลงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดเศษที่ไม่เป็นแบบมาตรฐานยาวเกินไป ควรให้เท่ากับความลึกวิกฤตของคมตัด

2.7 ความขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness)

รูปแบบโดยทั่วไปของพื้นผิวมีคำศัพท์ทางเทคนิคหลายคำเกี่ยวกับพื้นผิวที่ควรรู้จัก เช่น พื้นผิว (Surface) หมายถึงส่วนนอกสุดของเทห์วัตถุ (Body) ที่จะสัมผัสกับอวกาศ (Space) หรือสัมผัสกับเกี่ยวข้องกับเทห์วัตถุอื่น พื้นผิวของวัตถุส่วนมากจะมีลักษณะเป็นเหมือนเกลียวคลื่น (Wave Length) ยาวผสมกับระลอกคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้น ความเป็นคลื่น (Waviness) หมายถึง เกลียวคลื่นที่มีช่วงคลื่นยาว ความเป็นคลื่นส่วนมากจะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine Wave) จึงอาจจะแสดงได้โดยขนาด (Amplitude) ของคลื่น และโดยค่าความยาวคลื่นความขรุขระ (Roughness) หมายถึง ระลอกคลื่นที่มีช่วงคลื่นสั้น ความขรุขระอาจจะแสดงได้โดยขนาด (Amplitude) ของคลื่น และโดยค่าความยาวคลื่นเส้นขอบ (Profile) เป็นเส้นแสดงพื้นที่ผิวเมื่อถูกตัดตามแนวขวางรอยมลทิน (Flaw) หมายถึง ริ้วรอยที่เกิดขึ้นอย่างไม่มีทิศทางแน่นอน มีจำนวนน้อย และจะไม่พิจารณาในการคำนวณ หรือในการวัดค่าความขรุขระการวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว โดยปกติแล้วจะใช้เครื่องมือที่มีปลายลักษณะคล้ายเข็มลากอย่างช้าๆ ผ่านไปบนแกนนอน (แกน X) ของพื้นผิวที่จะวัดค่าความขรุขระการเคลื่อนที่ของปลายเข็มในแนวตั้ง (Ya) จะเป็นไปตามลักษณะเส้นขอบของพื้นผิว (Surface Profile) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะเส้นขอบของพื้นผิว (Surface Profile) [8]

จากนั้นจะมีระบบบันทึกค่า X และ Ya ไว้ในหน่วยความจำ และระบบคำนวณค่าอิทธิพลของความเป็นคลื่น (Waviness) ที่มีขนาด Yw ในแนวตั้ง จากนั้นวงจรคำนวณจะลบค่าอิทธิพลของความเป็นคลื่นออก จะเหลือเฉพาะค่าในแกนตั้งอันเนื่องมาจากความขรุขระ (Y) ซึ่งจะนำไป

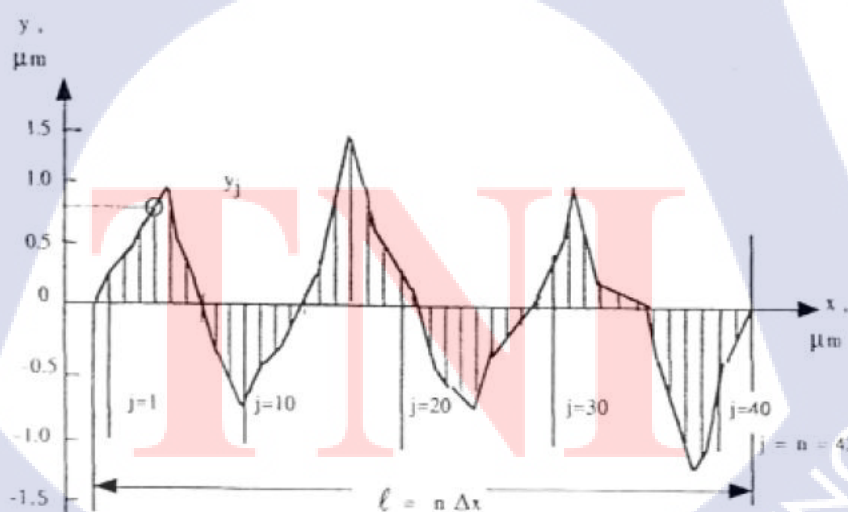
คำนวณหาค่าความขรุขระต่อไป นั่นคือ $Y = Y_a - Y_w$ การคำนวณหาค่า Y จะทำอัตโนมัติ ค่า X และ Y ที่บันทึกไว้ในขั้นนี้ เป็นเพียงแค่ค่าของพื้นผิวจำลองที่เป็นผลมาจากความขรุขระ ยังไม่ใช่ค่าความขรุขระจะต้องนำไปคำนวณต่อไปอีกเพื่อหาความขรุขระค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต (Arithmetic Average, R_a) ถ้าลากเส้นในแนวนอนผ่านกึ่งกลางของเส้นขอบรูปที่ตัดค่าความเป็นคลื่นออก จนเหลือแต่ความขรุขระดังสมการที่ (2.5)

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \quad (2.6)$$

หรือ ถ้าแบ่งระยะทาง l ออกเป็น n ส่วน โดยที่ n มีค่าสูงพอ จะพบดังสมการที่ (2.6)

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y| \quad (2.7)$$

ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต R_a เป็นค่าที่นิยมใช้ระบุความขรุขระของพื้นผิวมาตั้งแต่เดิมก่อนค่าอื่นๆ และเป็นที่ยอมรับกันดี และใช้กันมากจนกระทั่งปัจจุบัน แต่ต่อมามีการนำเอาตัวแปรอื่นๆมาใช้ระบุค่าความขรุขระเพิ่มเติมอีก เพื่อให้การพิจารณาค่าความขรุขระมีหลายมุมมองยิ่งขึ้นดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการแบ่งเส้นขอบของผิวเป็นส่วนย่อยๆ [8]

1) ค่าเฉลี่ยรูทมีนสแควร์ (Root Mean Square Average, R_q หรือ R_{rms})

การคำนวณหาค่าความขรุขระตามวิธีรูทมีนสแควร์ เป็นความพยายามที่จะนำเอาหลักการทางสถิติมาใช้ในการวัดค่าความขรุขระ โดยใช้สูตรการคำนวณ อาศัยหลักการยกกำลังสองของ Y เพื่อหาค่า Y ที่มีค่าลบ กลายเป็นค่าบวกของ Y จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของ Y แล้วจึงถอดรูท (Root) ฐานสอง เพื่อให้หน่วยของการวัดเป็นหน่วยยกกำลังหนึ่ง ซึ่งเป็นหน่วยตามปกติที่คุ้นเคยกันค่าความขรุขระตามวิธีรูทมีนสแควร์ R_q หรือ R_{rms} หาได้ดังสมการที่ (2.8)

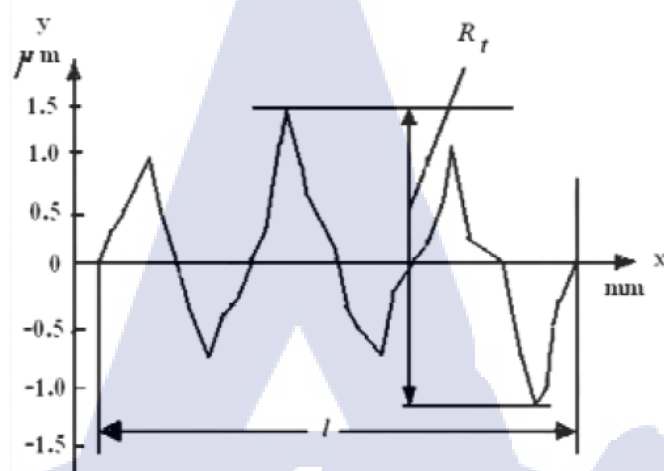
$$R_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y^2} \quad (2.8)$$

2) ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด (Maximum Distance Between Peak to Valley, R_t)

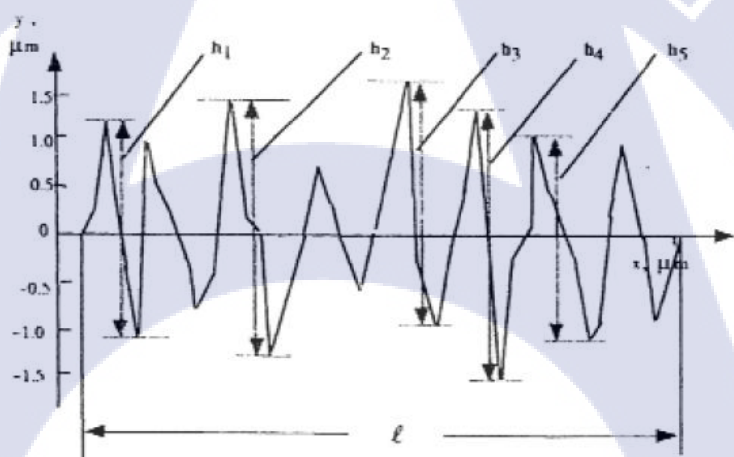
ค่า R_t เท่าที่วัดได้จากความยาว 1 ที่วัดจากพื้นผิว ดังรูปที่ 2.11 ค่า R_t หาได้ดังนี้ $R_t = 1.5 + 1.2 = 2.7 \mu\text{m}$ ค่า R_t มีความหมายในการปฏิบัติงาน คือ เป็นค่าที่จะบอกได้ว่า ในการจะขจัดเนื้อผิวตัวอย่างนี้ จะต้องขจัดเนื้อผิวออกเป็นความลึกไม่น้อยกว่าค่า R_t จึงจะทำลายผิวเดิมได้หมด แต่เนื่องจากค่า R_t วัดได้ไม่แน่นอนเพราะเป็นค่าสูงสุดค่าเดียวซึ่งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพื้นผิวที่วัด จึงนิยมวัดค่าเฉลี่ย R_z แทนค่า R_t โดยให้ R_z เป็นค่าเฉลี่ยของค่าความสูงระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด จากค่าสูงสุดที่วัดได้ 5 ค่าแรกถ้าค่า h_1, h_2, h_3, h_4 และ h_5 เป็นค่าความสูงระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุดโดยเป็นค่าสูงสุด 5 ค่าแรกเท่าที่วัดได้จากความยาว 1 ที่วัดได้จากพื้นผิว ดังรูปที่ 2.12 ดังนั้น ค่า R_z คำนวณได้ดังสมการที่ (2.9)

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{j=5}^5 h_j = \frac{1}{5} [h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5] \quad (2.9)$$

ยังมีวิธีวัดค่าความขรุขระวิธีอื่นอีกหลายวิธี แต่ไม่สู้จะเป็นที่นิยมมากนักจึงจะไม่นำมาพิจารณา



รูปที่ 2.11 ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด (R_t) [8]

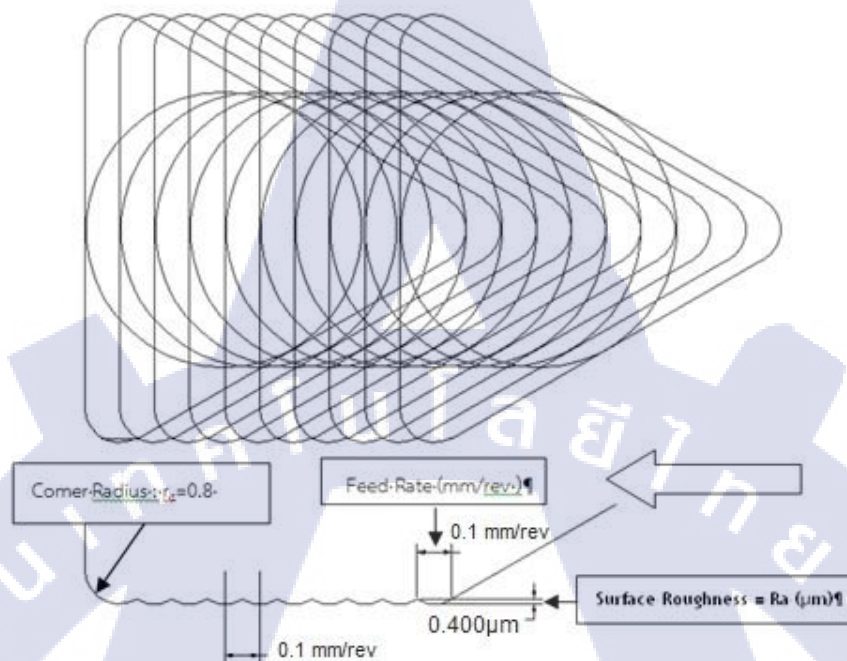


รูปที่ 2.12 ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด 5 ค่าแรก (R_z) [8]

ตารางที่ 2.6 ความขรุขระของพื้นผิวในกระบวนการผลิต [9]

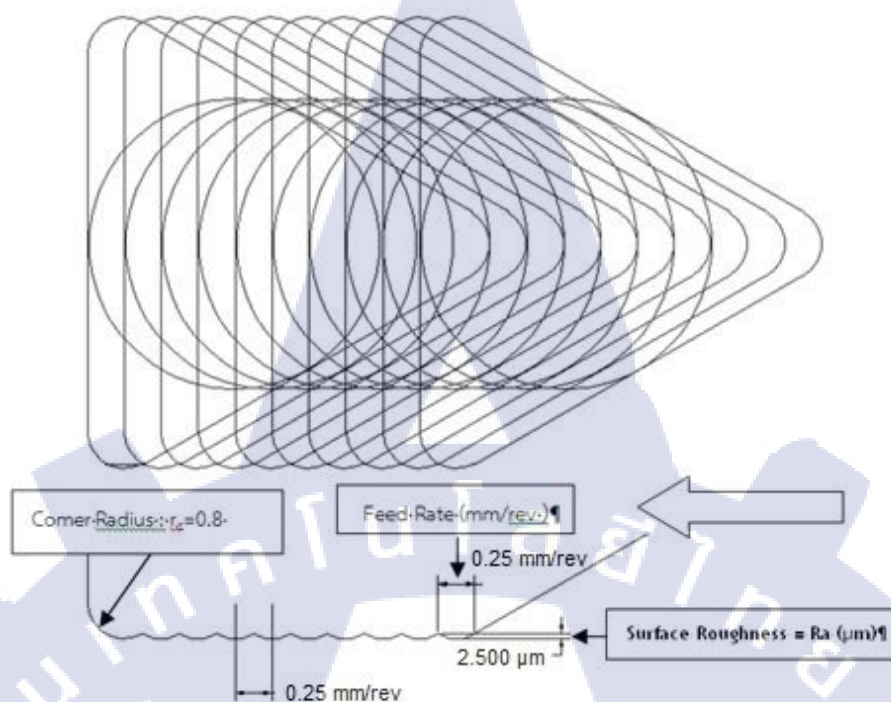
ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย Ra		0.02 5	0.0 5	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5 5	25	50	100	
การแสดงค่าความหยาบผิวแบบดั้งเดิม	ความลึกสูงสุดของร่องความหยาบ Rmax	0.1- 5	0.2- 5	0.4-5	0.8- 5	1.6- 5	3.2- 5	6.3- 5	12.5- 5	25- 5	50- 5	100- 5	200- 5	400- 5	
	ค่ามาตรฐานของความยาวมาตรฐาน (mm)	0.25				0.8			2.5		8		25		
	เครื่องหมายความหยาบผิว	▽▽▽▽				▽▽▽			▽▽		▽▽		-		
วิธีการแปรรูป	งานตีขึ้นรูป								ความละเอียด		v				
	งานหล่อ								ความละเอียด						
	งาน Die casting														
	งานรีดร้อน														
	งานรีดเย็น														
	งานดึงขึ้นรูปโลหะ (Drawing)														
	งานอัดขึ้นรูป (Extrusion)														
	งานตีาปเกลียว														
	งานพันทราย														
	งานรีด (ลูกรีด)														
	งานมิลลิ่ง							ความละเอียด							
	งานไส														
	งานเจาะร่อง (รวมการเจาะช่อง Slotting)														
	งานมิลลิ่ง							ความละเอียด							
	งานคว้านละเอียด														
	งานตะไบ							ความละเอียด							
	งานกลึง			ความละเอียด				สูง	ปานกลาง		หยาบ				
	งานคว้าน							ความละเอียด							
	งานเจาะด้วยสว่าน														
	งานคว้านขยายรู							ความละเอียด							
	งานเจาะด้วย Broach							ความละเอียด							
	งานชุบ														
	งานขัด			ความละเอียด		สูง		ปานกลาง		หยาบ					
	honing			ความละเอียด											
	stone lapping	ความละเอียด													
	buffing		ความละเอียด												
	ขัดกระดาษทราย			ความละเอียด											
	lapping	ความละเอียด													
liquid honing			ความละเอียด												
brunishing															
roller-burnishing															
EDM															
wire cut,EDM															
งานขัดเงาด้วยสารเคมี						ความละเอียด									
งานขัดมันเชิงไฟฟ้า	ความละเอียด														

2.8 ทฤษฎีและรูปแบบของความเรียบผิวที่ใช้ในการวิเคราะห์



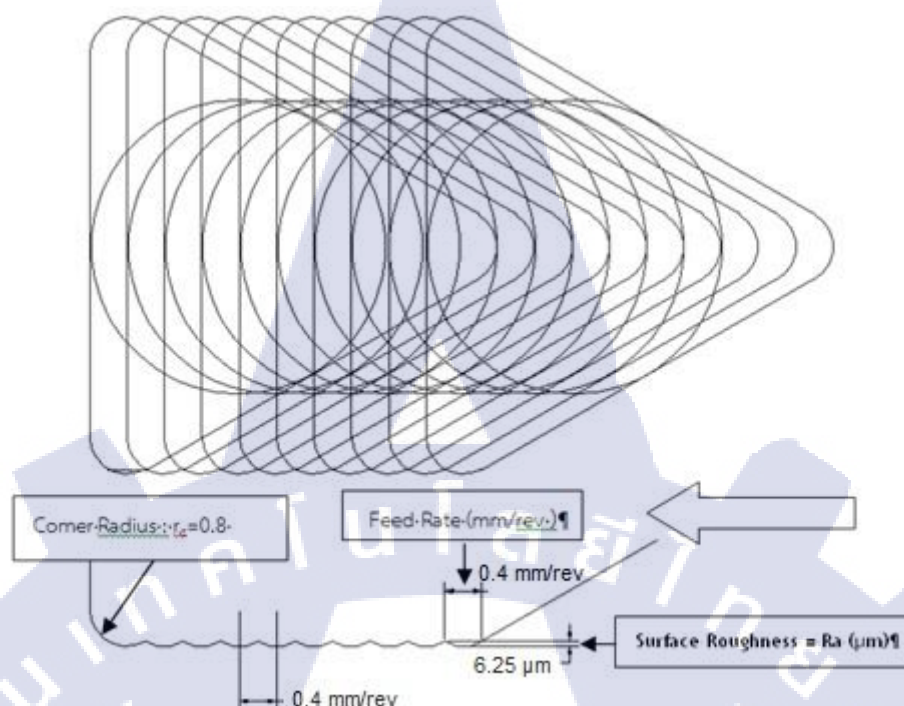
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ของรัศมีปลายมีดกับความเรียบผิวและอัตราการป้อน

จากการวิเคราะห์ค่าความเรียบของผิวชิ้นงานจากการใช้โปรแกรม Auto CAD 2014 ในการกำหนดรัศมีปลายมีดคงที่ 0.8 mm โดยที่อัตราการป้อน 0.1 mm/rev พบว่าได้ค่า $Ra=0.400 \mu m$ ที่ใช้ในการกลึงปอกวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6063 ด้วยเม็ดมีดคาร์ไบด์ ยี่ห้อ KORLOY ด้วยมุมรัศมีของมีดคงที่ 0.8 mm ความเร็วตัด 60 90 120 m/min อัตราการป้อน 0.1 0.25 0.4 mm/rev ความลึกในการตัดคงที่ 0.5 mm พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงประมาณ 2.25 % ซึ่งค่าของผลการทดลองจริงของค่าเฉลี่ยที่ได้อยู่ที่ $Ra=0.409 \mu m$



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของรัศมีปลายมีดกับความเรียบผิวและอัตราการป้อน

จากการวิเคราะห์ค่าความเรียบของผิวชิ้นงานจากการใช้โปรแกรม Auto CAD 2014 ในการกำหนดรัศมีปลายมีดคงที่ 0.8 mm โดยที่อัตราการป้อน 0.25 mm/rev พบว่าค่า Ra=2.500 μm ที่ใช้ในการกลึงปกกั้วสตุลุมิเนียม เกรด 6063 ด้วยเม็ดมีดคาร์ไบด์ ยี่ห้อ KORLOY ด้วยมุมรัศมีของมีดคงที่ 0.8 mm ความเร็วตัด 60 90 120 m/min อัตราการป้อน 0.1 0.25 0.4 mm/rev ความลึกในการตัดคงที่ 0.5 mm พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงประมาณ 45.72 % ซึ่งค่าของผลการทดลองจริงของค่าเฉลี่ยที่ได้อยู่ที่ Ra=1.357 μm



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ของรัศมีปลายมีดกับความเรียบผิวและอัตราการป้อน

จากการวิเคราะห์ค่าความเรียบของผิวชิ้นงานจากการใช้โปรแกรม Auto CAD 2014 ในการกำหนดรัศมีปลายมีดคงที่ 0.8 mm โดยที่อัตราการป้อน 0.4 mm/rev พบว่าค่า $Ra=6.250 \mu m$ ที่ใช้ในการกลึงปอกวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6063 ด้วยเม็ดมีดคาร์ไบด์ ยี่ห้อ KORLOY ด้วยมุมรัศมีของมีดคงที่ 0.8 mm ความเร็วตัด 60 90 120 m/min อัตราการป้อน 0.1 0.25 0.4 mm/rev ความลึกในการตัดคงที่ 0.5 mm พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงประมาณ 70.30 % ซึ่งค่าของผลการทดลองจริงของค่าเฉลี่ยที่ได้อยู่ที่ $Ra=1.856 \mu m$

2.9 ทฤษฎีทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ [10]

การหาค่าเฉลี่ยของความถี่และค่าความหายาก สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{N} \quad (2.10)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \text{ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด} \\ \sum_{i=1}^n X &= \text{ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด} \\ N &= \text{จำนวนของข้อมูล} \end{aligned}$$

2.9.1 การวัดการกระจายของข้อมูล (Measure of Variability)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) สัญลักษณ์ S คือการกระจายของข้อมูลชุดนั้น สูตรคำนวณจากกลุ่มตัวอย่างที่ไม่แจกแจงความถี่

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2.11)$$

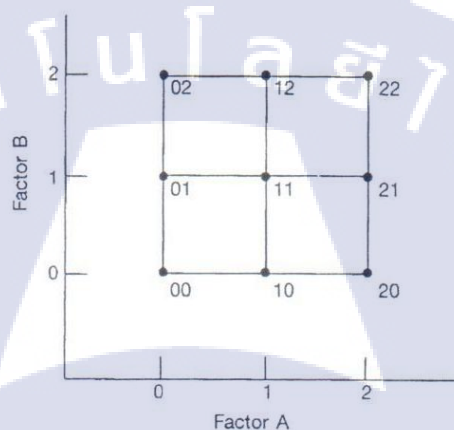
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x^2 - (\sum x)^2}{n(n - 1)}} \quad (2.12)$$

สูตรคำนวณจากประชากร

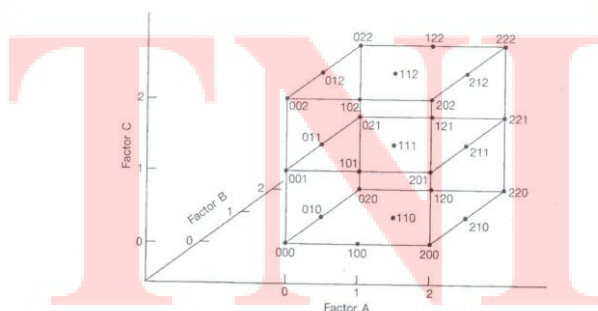
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \mu)^2}{N}} \quad (2.13)$$

2.9.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3²

การออกแบบที่ง่ายที่สุดในระบบ 3^k คือการออกแบบแบบ 3^2 ซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัย (A และ B) แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับคือ ต่ำ ปานกลาง สูง และสัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้ง 3 อาจใช้เป็นตัวเลข 0 (ต่ำ) 1 (ปานกลาง) 2 (สูง) ดังนั้นการทดลองนี้มีการทดลองร่วมปัจจัย $3^2=9$ การทดลองระดับขั้นความถี่ของการทดลองร่วมปัจจัยจะมีค่าเท่ากับ 8 ผลหลัก A และ B จะมีระดับขั้นความถี่เท่ากับ 2 และอันตรกิริยา AB จะมีระดับขั้นความถี่เท่ากับ 4 ถ้าจำนวนของการเรพลีเคตเท่ากับ n ค่าของระดับขั้นความถี่ทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ $n3^2-1$ และค่าความผิดพลาดของระดับขั้นความถี่เท่ากับ $3^2(n-1)$ ดังรูปที่ 2.16-2.17



รูปที่ 2.16 การทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบ 3^2 [11]



รูปที่ 2.17 การทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบ 3^2 ในลักษณะ 3 มิติ [11]

ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับ A,B และ AB สามารถหาได้จากวิธีปกติพิจารณาผลรวมของกำลังสองของ A,B และ AB กำหนดให้ว่าคอนทราสต์ที่จะใช้ในการประมาณผลของ A คือ

$$Contrast_A = ab + a - b - (1) \quad (2.14)$$

เรียกคอนทราสต์นี้ว่า ผลทั้งหมด (Total Effect) ของ A พบว่าคอนทราสต์นี้ยังสามารถใช้ในการประมาณผลของ B และ AB ได้อีกด้วย ยิ่งกว่านั้นคอนทราสต์เหล่านี้ยังมีรูปแบบในเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) และผลรวมของกำลังสองของคอนทราสต์ใดๆจะหาได้จากคอนทราสต์ยกกำลังสองหารด้วยผลคูณของจำนวนของข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในคอนทราสต์นั้น กับผลรวมกำลังสองของสัมประสิทธิ์ของคอนทราสต์ ดังนั้น ผลรวมของกำลังสอง A,B และ AB สามารถเขียนได้ดังนี้

$$SS_A = \frac{[ab + a - b - (1)]^2}{4n} \quad (2.15)$$

$$SS_B = \frac{[ab + b - a - (1)]^2}{4n} \quad (2.16)$$

$$SS_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{4n} \quad (2.17)$$

และผลรวมทั้งหมดของกำลังสองสามารถหาได้จาก

$$SS_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{4n} \quad (2.18)$$

ปกติแล้ว SS_T จะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $4n-1$ และค่าผิดพลาดของผลรวมของกำลังสองซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $4(n-1)$ สามารถคำนวณได้จาก

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (2.19)$$

โดยการใช้ SS_A , SS_B และ SS_{AB} ผลสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนปรากฏดังตาราง ผลหลักทั้งคู่มิพลงอย่างมีนัยสำคัญและอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A และ B มีผลหรือไม่ ซึ่งตาราง ANOVA นี้ช่วยยืนยันการตีความหมายของข้อมูลจากขนาดของผลของปัจจัยดังได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว

ตารางที่ 2.7 การวิเคราะห์ด้วย ANOVA

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0	P-Value
A	SS_A	a-1	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$	
B	SS_B	b-1	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$	
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$	
Error	SS_E	ab(n-1)	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$		
Total	SS_T	abn-1			

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

TY G. Dawson and Thomas R.Kurfess [12] ได้ศึกษาการใช้งาน อัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัดและคุณภาพผิวงานในการกลึงงานแข็ง ชิ้นงานเป็นเหล็กเพลลา 52100 ความแข็ง 58-62 HRC ใช้รูปแบบในการทดลอง 13 แบบซึ่งมีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน เครื่องมือที่ใช้เป็น CBN ต่างชนิด ผลจากการศึกษาพบว่าที่อัตราป้อนต่ำกว่า 0.05 mm/rev จะมีความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวมาก แต่หากเพิ่มอัตราป้อนจะทำให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวเข้าใกล้ค่าความขรุขระของพื้นผิวทางทฤษฎีมีชนิด Low CBN content มีสมรรถนะในการตัดเฉือนวัสดุดีกว่าการเพิ่มความเร็วตัดทำให้อายุการใช้งานของมีดลดลงมากกว่าการเพิ่มอัตราป้อนหรือความลึกในการป้อนควรเพิ่มความลึกหรืออัตราป้อนเพื่อให้เกิดเศษมากกว่าการเพิ่มความเร็วดัด

X.L.Liu and D.H Wen [13] ได้ศึกษาการขึ้นรูปชิ้นงานโดยความสมรรถภาพของอุปกรณ์เครื่องมือ PCBN ในกระบวนการ Finish Turning ของเหล็กกล้าป็น GCr15 ซึ่งมีความแข็งแตกต่างกันระหว่าง HRC30 ถึง 64 โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลในการวัดอุณหภูมิในการตัด หลังจากนั้นได้ศึกษาและเปรียบเทียบอายุของเครื่องและอุณหภูมิในการตัดเป้าหมายของการศึกษาผลของความแข็งของชิ้นงานต่ออุณหภูมิในการตัดและการสึกหรอของเครื่องมือพบว่าความแข็งวิกฤต (Crisis Hardness) ของการการกลึงเหล็กกล้าป็น GCr15 ด้วยเครื่องมือ PCBN ผลที่ได้ คือ ที่ HRC50 ทำให้มีดเสียหาย

สถาพร จันทวี [14] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าของความขรุขระในการกลึงละเอียด อลูมิเนียมและทองเหลืองด้วยใบมีดเพชร โดยใช้วัสดุชิ้นงานใบมีดเครื่องจักรรวมทั้งเทคโนโลยีในระดับที่นำมาใช้ได้โรงงานขนาดเล็กและขนาดย่อมในท้องถิ่นเลือกศึกษาเฉพาะปัจจัยหลักที่สามารถ

ควบคุมได้เพื่อสามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงเพื่อให้ได้ค่าความขรุขระของผิวน้อยที่สุด การทดลองปฏิบัติการออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกเป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาอิทธิพลของ ปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อค่าความขรุขระ 3 ปัจจัยด้วยกันคือ ความเร็วในการตัด (Cutting Speed) อัตราป้อนการป้อน (Feed Rate) และความลึกในการตัด (Depth of Cut) ช่วงที่ 2 เป็นการทดลอง โดยเปลี่ยนตัวแปรทีละตัวเพื่อศึกษาอย่างละเอียดได้พบว่าความเร็วในการตัดอัตราป้อนมีผลต่อค่า ความขรุขระของพื้นผิวส่วนความลึกในการตัดไม่มีผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวนอกจากนี้พบว่า ปัจจัยอย่างอื่นนอกเหนือจากปัจจัยเบื้องต้นอาจมีผลต่อค่าความขรุขระของผิวสำเร็จ เช่นการ สั่นสะเทือนมีผลให้เพิ่มค่าความขรุขระ และการปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานด้วยการอบอ่อนก็ทำให้ ค่าความขรุขระในการกลึงชิ้นงานอลูมิเนียมลดลง ส่วนชิ้นงานทองเหลืองไม่มีการเปลี่ยนแปลง การศึกษาแรงในการกลึงละเอียดชิ้นงานอลูมิเนียมและทองเหลืองด้วยใบมีดเพชรพบว่าแรงตัดมีค่า น้อยมาก

ชาญ ราชวงศ์ [15] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานในการกลึงงานแข็ง (Hard Turning) โดยเทียบกับคุณภาพผิวของงานเจียรนัยเป็นเกณฑ์ วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็ก SCM 4 ชุบแข็งซึ่งมีความแข็งระหว่าง 54 ± 2 HRC และใช้มีดกลึงชนิด CBN (Cubic Boron Nitride) ปัจจัย ที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย อัตราการป้อน (Feed Rate) และความลึกในการตัด (Depth of Cut) ผล การทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผล คือ อัตราการป้อนซึ่งมีผลต่อคุณภาพผิวงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยที่อัตราป้อนต่ำจะให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวน้อย แต่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนให้สูงขึ้นทำให้ ค่าความขรุขระของพื้นผิวเพิ่มมากขึ้นด้วยส่วนความลึกในการตัดไม่ส่งผลต่อคุณภาพผิวงานและ ระหว่างอัตราป้อนกับความเร็วในการตัดและความลึกในการตัดไม่เกิดอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อคุณภาพ ผิวงาน สมการถดถอยเป็นตัวระบุถึงอิทธิพลของอัตราการป้อนที่มีผลต่อค่าความเรียบผิวงานกลึง

พงษ์พันธ์ ราชภักดี และคณะ [16] ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการกลึงเหล็กกล้า สแตน เลสเกรด AISI 316 ที่มีผลต่อการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงและความขรุขระพื้นผิว โดยใช้เม็ดมีดกลึง ซีเมนต์คาร์ไบด์เคลือบด้วยไทเทเนียมไนไตรด์ภายใต้ค่าความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด ที่แตกต่างกัน มีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ และศึกษาอิทธิพลของอัตราการ กำจัดเนื้อโลหะในการวัดการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงและการวัดค่าความขรุขระพื้นผิว ได้ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกว้าง (SEM) และเครื่องวัดความเรียบผิว (Profilometer) ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าความเร็วตัดและความลึกในการตัดให้ค่าการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงแบบ Flank Wear (VB) ใกล้เคียงกัน ในขณะที่การเพิ่มอัตราป้อนและอัตราการกำจัดเนื้อโลหะส่งผลให้ค่าความ ขรุขระพื้นผิวเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งโดยสรุป สภาวะการตัดเฉือนที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัดมีค่า 160 m/min 0.08 mm/rev และ 0.2 mm

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะ [17] ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดในการกลึงไม้ตาลโดนดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ โดยใช้ไม้มัดคาร์ไบด์และกำหนดปัจจัยในการทดลองในลักษณะเดียวกันพบว่าการกำหนดความเร็วตัดในช่วง 170 – 392 m/min อัตราป้อน 3.0 – 9.0 mm/rev และยังพบอีกว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิว คืออัตราป้อนและความเร็วตัด โดยพบว่าค่าความขรุขระผิวจะลดลงเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำลงและใช้ความเร็วตัดเพิ่มขึ้น

Muthukrishnan et al. [18] ทำการศึกษาความขรุขระผิวของอลูมิเนียมซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมที่ได้จากกระบวนการกลึงโดยใช้วัสดุคมตัดคือ PCD และกำหนดสภาวะในการทดลองคือความเร็วตัด 3 ระดับ ได้แก่ 6.19 5.31 และ 3.52 m/min ความลึก 3 ระดับคือ 3.02 2.63 และ 1.54 mm. และอัตราการป้อน 3 ระดับเช่นกันคือ 5.09 3.77 และ 2.81 mm/rev โดยกำหนดความเชื่อมั่นในการออกแบบการทดลองที่ 95% ผลการวิจัยพบว่าที่อัตราป้อน 2.81 mm/rev ความเร็วตัดที่ 3.52 m/min จะให้ค่าความขรุขระผิวน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอายุการใช้งาน อัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัดและคุณภาพผิวงานในการกลึงวัสดุแข็ง

วิมล บุญรอด และธนศ รัตนวิไล [19] ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็งเกรด 7075 โดยใช้เครื่องกลึงควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และใช้มีดกลึงคาร์ไบด์เครื่องหมายการค้า Plansee Tizit ชนิด DCGT 070204FN-27 เกรด H10T โดยมีส่วนผสมของ Co 6.0% เป็นวัสดุคมตัด มีปัจจัยที่ใช้ศึกษา ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด โดยกำหนดความเร็วตัดอยู่ในช่วง 130–220 m/min อัตราป้อน 0.02–0.1 mm/rev และความลึกในการตัด 0.45-0.85 mm. การทดลองพบว่าอัตราป้อนมีผลต่อความขรุขระผิวสูงที่สุด โดยค่าขรุขระผิวมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำลง การทดลองเพื่อยืนยันผลพบว่า ค่าความขรุขระผิวที่คำนวณได้จากสมการมีค่าความแตกต่างจากค่าที่วัดได้จริง 4.22% ซึ่งถือเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

D.Philip selvarij et al.[20] ในการศึกษานี้ ตัวแปรของกลึงแบบแห้งของ Nitrogen Alloyed Duplex Stainless Steel 2 เกรดที่แตกต่างกัน ถูกศึกษาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีของ Tuguchi การกลึงทำโดยใช้มีดคาร์ไบด์เคลือบ TiC และ TiCN ทำการทดลองที่ความเร็วในการตัด (Cutting Speed) 3 ค่า คือ (80 100 and 20 m/min)และอัตราการป้อน 3 ค่า คือ (0.04, 0.08 and 0.12 mm/rev) โดยมีความลึกของการตัดคงที่ คือ 0.5 mm หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการตัดโดยใช้อัตราส่วน Signal to Noise และวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของความเร็วในการตัดและอัตราการป้อน ต่อความขรุขระของผิว แรงตัดและการสึกหรอของอุปกรณ์ถูกวิเคราะห์ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าอัตราการป้อนมีผลต่อความขรุขระของผิวและแรงตัด และความเร็วในการตัดเป็นตัวแปรที่มีผล

มากกว่าต่อการสึกหรอของอุปกรณ์ การสึกหรอของอุปกรณ์ถูกตรวจสอบโดยใช้ Scanning Electron Microscope จากนั้นจึงได้ทดลองในเงื่อนไขที่ได้จากค่าที่เหมาะสมที่สุดและคาดการณ์ผลด้วยสมการ อัตราส่วน Signal to Noise ผลการคาดการณ์ใกล้เคียงกับผลจากการทดลองคือมีการเบี่ยงเบน 8%

สมเสียง และศิริชัย ปั่นสมสกุล [21] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบของผิวของอลูมิเนียม เกรด 6061-T6 และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่กัดปาดหน้าด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบแนวตั้ง โดยนำหลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^3 แบบเพิ่มจุดกึ่งกลางเป็นแบบการทดลอง โดยมีปัจจัยศึกษาคือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก จากการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความหยาบผิวคือ อัตราป้อน และ ปัจจัยร่วมคือ ระยะป้อนลึกมีปฏิริยาสัมพันธ์กับอัตราป้อนโดยมีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ผลที่ได้จากการทดลองสามารถกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุด คือ ความเร็วรอบ 1,250 rev/min อัตราป้อน 150 mm/min และ ระยะป้อนลึก 1.25 mm และเมื่อทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันสมการ กับค่าที่ได้ จากการแทนค่าสมการถดถอยที่สร้างขึ้น พบว่าค่าทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าสมการถดถอยที่ได้จากผลการทดลองสามารถนำมาใช้ในการทำนายค่าความหยาบผิวของชิ้นงานอะลูมิเนียม เกรด 6061-T6 ได้

จากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังมีอีกมากที่ต้องการศึกษาสภาวะการตัดเฉือนในงานอุตสาหกรรม เช่น การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องจักรกลและอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องการลดต้นทุนและเวลาในการผลิตชิ้นส่วนนิยมใช้เครื่องกลึงอัตโนมัติเข้ามาควบคุมเพื่อให้ได้มาตรฐานเดียวกันในการผลิตดังนั้นงานวิจัยจึงได้ทำการศึกษาสภาวะการตัดเฉือนวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6063 เพราะมีคุณสมบัติในการขึ้นรูปได้ง่ายในการทำชิ้นส่วนโดยเลือกใช้เม็ดมีดคาร์ไบด์ KORLOY เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมในการผลิตชิ้นอลูมิเนียม

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experiments Research) เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีผลของตัวแปรหลักที่มีผลต่อค่าความเรียบของผิวชิ้นงานกลึง ซึ่งเป็นการกลึงชิ้นงานวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6063 ด้วยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ ในการทดลองได้ใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

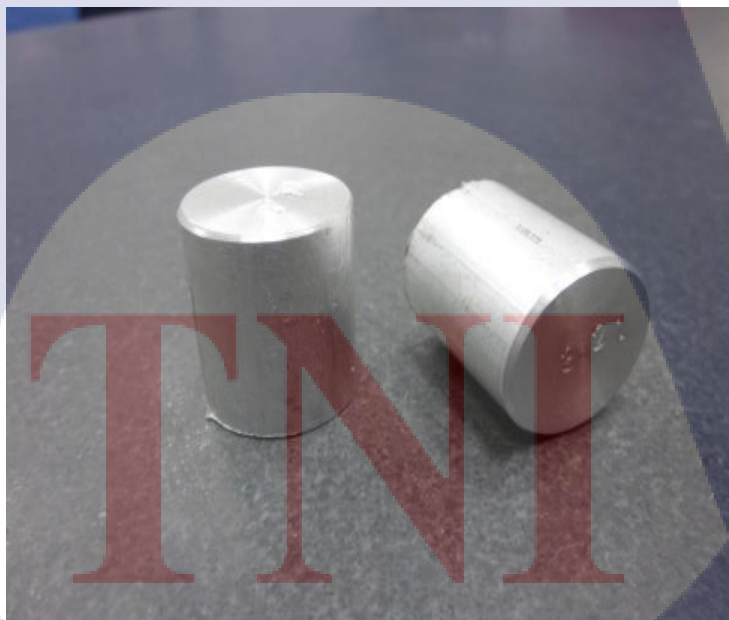
3.1 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองงานวิจัยนี้ได้กำหนดวัสดุอลูมิเนียม เกรด 6063 ซึ่งมีส่วนผสมทางประกอบด้วย

- คาร์บอน (Carbon: C) 0.3%
- ฟอสฟอรัส (Phosphours) 0.05%

แรงดึงสูงสุด 400 N/mm^2 ความแข็งแรง 116 – 152 HB ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วัสดุอลูมิเนียม เกรด 6063

3.1.2 วัสดุเม็ดมีดกลึง (Carbide Insert)

รหัสเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ ยี่ห้อ KORLOY ชนิด TNMG160408-HA เป็นเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ มีมุม 60 องศาความเร็วตัด (Cutting Speed) อยู่ในช่วง 100-200 m/min อัตราป้อน (Feed Rate) อยู่ในช่วง 0.05-0.4 mm/rev ความลึกในการตัด (Depth of Cut) อยู่ในช่วง 0.1-4 mm ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชนิดของเม็ดมีดที่ใช้ในการทดลอง

3.1.3 เครื่องจักรและอุปกรณ์การทดลอง

เป็นเครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Lathe) ยี่ห้อ OKUMA รุ่น LSC-15 ซึ่งจะทำงานโดยใช้ระบบควบคุมของเครื่องโดยป้อนคำสั่ง G-code และ M-code เพื่อกลึงงานตามแบบงานที่ต้องการของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น คณะวิศวกรรมศาสตร์ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Lathe) ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.4 ด้ามจับเม็ดมีดกลึง (Tool Holder)

ด้ามจับเม็ดมีดกลึง WTJNR2525-M16 ซึ่งใช้ในการทดลองก็จะใช้ด้ามมีดตัวนี้จับยึดเม็ดมีดตั้ง

รูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ด้ามจับเม็ดมีดกลึงที่ใช้จับเม็ดมีด

3.1.5 กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ยี่ห้อ Olympus รุ่น GX41

สามารถขยายได้ตั้งแต่ 5X – 100X เท่า เชื่อมต่อกับเครื่อง Computer ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์

3.1.6 เครื่องวัดความเรียบผิว (Surface Roughness Test)

เครื่อง Profilo Meter ยี่ห้อ Mitutoyo Surf test SV – 3100 WB6163-460-0001/1

เครื่อง Computer ที่เชื่อมต่อกับเครื่อง Profilo Meter เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความเรียบผิวดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความเรียบผิว

3.1.7 เทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด (SHINKO IRT-500-TE)

ย่านวัด -40 ถึง +300 °C ความเที่ยงตรงของการวัด $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ความละเอียด 0.05 mm
ระยะวัด 500 mm ขนาดวัตถุ $\varnothing 45\text{ mm}$ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด

3.1.8 เวอร์เนียคาร์ลิเปอร์แบบดิจิตอล (Digimatic Caliper)

เป็นเวอร์เนียที่อ่านค่าวัดโดยตัวเลขดิจิตอล ผลิตโดยบริษัทมิตูดะโย (Mitutoyo) ใช้วัดขนาดของชิ้นงานทดลองเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการกลึง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เวอร์เนียคาร์ลิเปอร์แบบดิจิตอล

3.2 การออกแบบการทดลองครั้งที่ 1

การทดลองช่วงแรกไม่ได้มีการควบคุมอุณหภูมิแต่ละเงื่อนไขเป็นเพียงการเรียงข้อมูลตามเงื่อนไขตามปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ความเร็วตัด อัตราป้อน ความลึกในการตัด ที่ให้ค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน (Ra) ตามการทดลองนี้ใช้ความเร็วตัด ที่ 60 - 120 m/min อัตราป้อน ที่ 0.1 - 0.4 mm/rev ความลึกในการ ที่ 0.5- 1.5 mm จากนั้นทำการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแต่ละเงื่อนไขที่ต้องการเพื่อกำหนดจากผลการวิเคราะห์สภาวะการตัดเฉือนและเก็บข้อมูลการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงานตามตารางที่ 3.1 - 3.2

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 1

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ทำการทดลอง
ความเร็วตัด (m/min)	60 90 120 m/min
อัตราป้อนมีด (mm/rev)	0.1 0.25 0.4 mm/rev
ความลึกในการตัด (mm)	0.5 1.0 1.5 mm

ตารางที่ 3.2 การวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน

เงื่อนไข	ความเร็วตัด (m/min)	อัตราป้อนมีด (mm/rev)	ความลึกในการตัด (mm)	ความเรียบของชิ้นงาน (μm)			
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	60	0.10	0.5				
2	60	0.10	1.0				
3	60	0.10	1.5				
4	60	0.25	0.5				
5	60	0.25	1.0				
6	60	0.25	1.5				
7	60	0.40	0.5				
8	60	0.40	1.0				
9	60	0.40	1.5				
10	90	0.10	0.5				
11	90	0.10	1.0				
12	90	0.10	1.5				
13	90	0.25	0.5				

ตารางที่ 3.2 การวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน (ต่อ)

เงื่อนไข	ความเร็วตัด (m/min)	อัตราป้อนมีด (mm/rev)	ความลึกในการตัด (mm)	ความเรียบของชิ้นงาน (μm)			
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
14	90	0.25	1.0				
15	90	0.25	1.5				
16	90	0.40	0.5				
17	90	0.40	1.0				
18	90	0.40	1.5				
19	120	0.10	0.5				
20	120	0.10	1.0				
21	120	0.10	1.5				
22	120	0.25	0.5				
23	120	0.25	1.0				
24	120	0.25	1.5				
25	120	0.40	0.5				
26	120	0.40	1.0				
27	120	0.40	1.5				

3.3.การวางแผนการตัดเฉือนชิ้นงาน

การทำการทดลองจะต้องทดลองจากค่าสภาวะการตัดเฉือนที่ได้ออกแบบการทดลองไว้และกำหนดค่าต่างๆ ที่มีผลจากการทดลอง ให้ค่าการทดลองและตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมจะใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริงในการทำงานอลูมิเนียม เกรด 6063 การวางแผนการทดลอง โดยสร้างโปรแกรมอัตโนมัติโดยกำหนดให้เครื่องกลึงปรับความเร็วรอบของเครื่องให้สัมพันธ์กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานตามสมการที่ (2.2)

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

เมื่อ

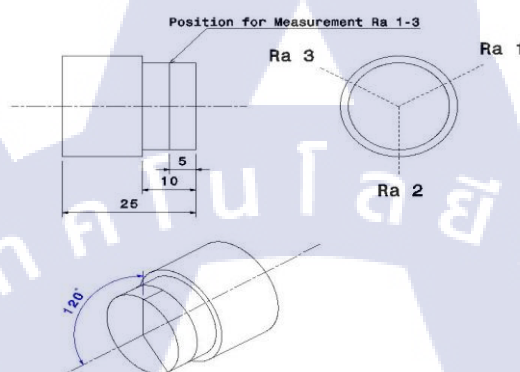
V = ความเร็วในการตัด (m/min)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน (mm)

n = ความเร็วรอบของหัวจับงาน (rev/min)

3.3.1 การวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน

การทดลองจะทำการวัดผิวชิ้นงาน 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยโดยค่าความเรียบผิวชิ้นงานที่ทำการศึกษาเนื่องจากเป็นค่าที่ใช้กันกว้างขวางในงานอุตสาหกรรม การวัดเพื่อเก็บข้อมูลจะทำการวัดโดยกำหนดจุดที่ทำการวัดจะวัด 3 จุด และแบ่งพื้นที่การวัดเท่ากันดังรูปที่ 3.9

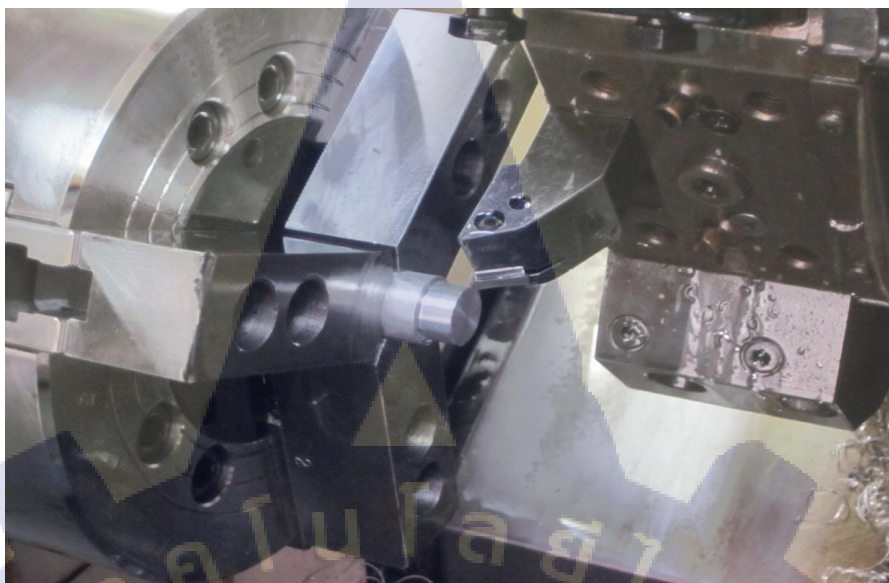


รูปที่ 3.9 การกำหนดจุดที่ต้องการวัด

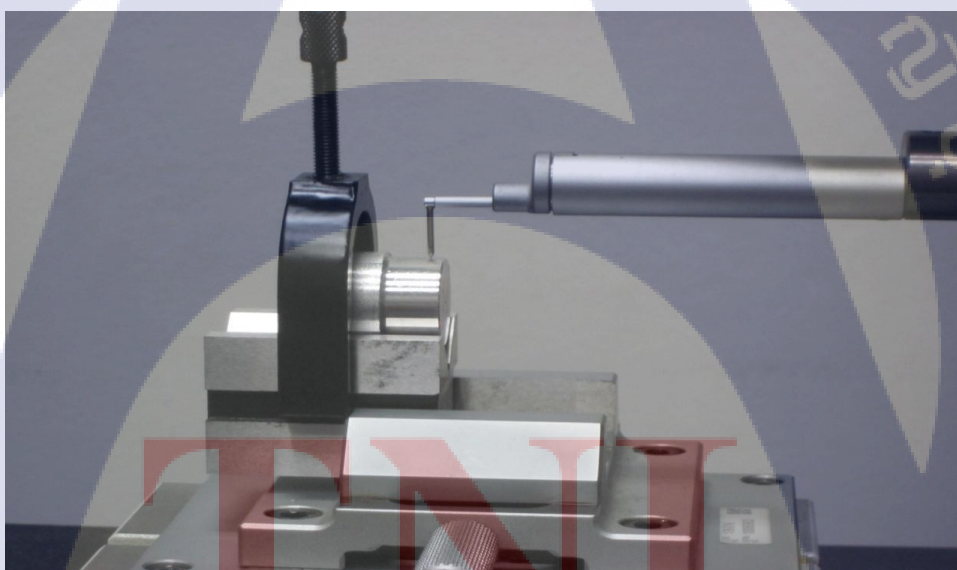
3.4 การควบคุมตัวแปรในขั้นตอนการทดลอง

การทดลองจะทำการกลึงปอกชิ้นงานที่ศึกษาเป็นชิ้นงานอลูมิเนียม เกรด 6063 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 mm ความยาว 25 mm ดังรูปที่ 3.1 ใช้มีดมีดคาร์ไบด์ ชนิด TNMG160408-HA ยี่ห้อ KORLOY ดังรูปที่ 3.2 โดยใช้เครื่องกลึงอัตโนมัติ ยี่ห้อ OKUMA รุ่น LSC – 15 คุณสมบัติทางเทคนิคเบื้องต้นของเครื่องประกอบด้วยความเร็วรอบสูงสุด 3,000 rev/min อัตราป้อนสูงสุด 1,200 mm/min ดังรูปที่ 3.3

โดยนำชิ้นงานมาจับที่หัวเครื่องกลึงอัตโนมัติและตรวจสอบชิ้นงานทุกครั้งในการทำงานให้ตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้แล้วนำชิ้นงานไปทำการวัดค่าความเรียบผิวชิ้นงานจนครบทุกเงื่อนไขทั้งหมด 999 ตัวอย่างดังรูปที่ 3.10 - 3.11



รูปที่ 3.10 การกลึงชิ้นงานการทดลอง



รูปที่ 3.11 ค่าการวัดชิ้นงานการทดลอง

3.5 ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าในการกลึงปกอลูมิเนียม เกรด 6063 ช่วงแรกในการหาค่าความเรียบของผิว (R_a) การทดลองนี้ใช้ความเร็วตัด ที่ 60-120 mm/min อัตราป้อน ที่ 0.1-0.4 mm/rev ความลึกในการตัด ที่ 0.5-1.5 mm จากนั้นทำการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์

หาความสัมพันธ์ของแต่ละเงื่อนไขความเปลี่ยนแปลงไปได้ชัดเจนขึ้นดังรูปที่ 4.7-4.9 พบว่าความลึกในการตัดไม่มีผลต่อค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน

3.6 การออกแบบการทดลองครั้งที่ 2

จากนั้นทำการออกแบบการทดลองโดยใช้เงื่อนไขของการกลึงที่ละเอียด คือ ใช้อัตราป้อนมีด และความเร็วตัด มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 2 ได้กำหนดความลึกในการตัดคงที่คือ 0.5 mm เนื่องจากความลึกในการตัดไม่ส่งผลต่อการทดลอง โดยในการทดลองนี้ใช้หลักการการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MINITAB Release 16 ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติและทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^2 ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง จำนวนการทดลอง 45 ตัวอย่าง เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งกำหนดอัตราป้อนมีดที่ 0.1 - 0.4 mm/min ความเร็วตัดที่ 60 - 120 m/min และกำหนดความลึกในการตัดที่ 0.5 mm เพื่อกำหนดจากผลการวิเคราะห์สภาวะการตัดเฉือนและควบคุมอุณหภูมิของเม็ดมีดคาร์ไบด์ทุกเงื่อนไขการทดลองแล้วเก็บข้อมูลการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงานตามตารางที่ 3.3-3.4

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ทำการทดลอง
ความเร็วตัด(m/min)	60 90 120 m/min
อัตราป้อนมีด(mm/rev)	0.1 0.25 0.4 mm/rev
ความลึกในการตัด(mm)	0.5 mm

ตารางที่ 3.4 การวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน

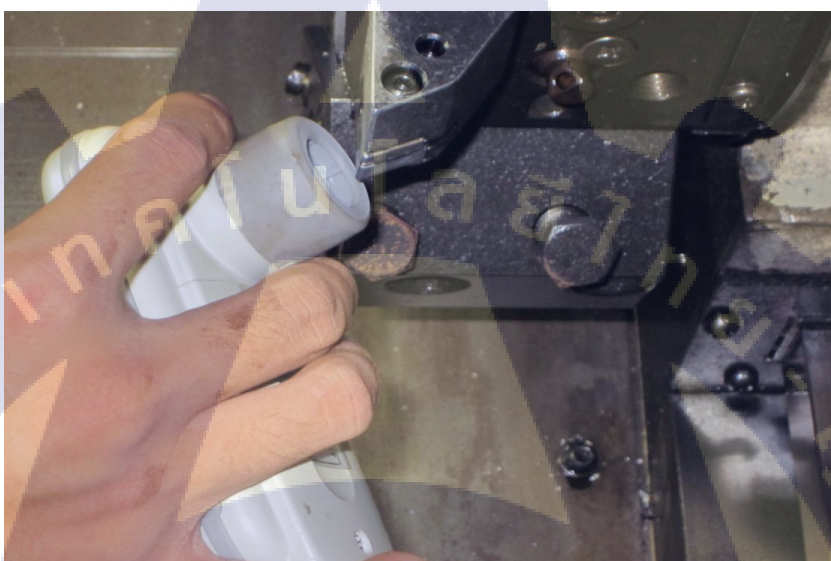
เงื่อนไข	ความเร็ว ตัด (m/min)	อัตราป้อน มีด (mm/rev)	ความลึกใน การตัด (mm)	ความเรียบของชิ้นงาน (μm)			
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	60	0.25	0.5				
2	90	0.4	0.5				
3	90	0.1	0.5				
4	120	0.25	0.5				
5	120	0.1	0.5				
6	120	0.4	0.5				
7	60	0.4	0.5				
8	90	0.25	0.5				
9	60	0.1	0.5				
10	60	0.4	0.5				
11	90	0.1	0.5				
12	120	0.25	0.5				
13	120	0.4	0.5				
14	60	0.1	0.5				
15	60	0.25	0.5				
16	90	0.25	0.5				
17	90	0.4	0.5				
18	120	0.1	0.5				
19	60	0.1	0.5				
20	90	0.1	0.5				
21	90	0.4	0.5				
22	120	0.1	0.5				
23	60	0.25	0.5				
24	120	0.4	0.5				

ตารางที่ 3.4 การวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน (ต่อ)

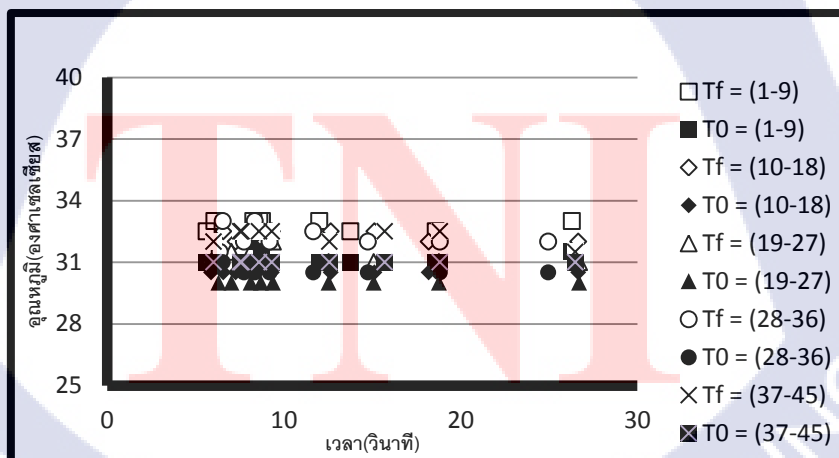
เงื่อนไข	ความเร็ว ตัด (m/min)	อัตราป้อน มีด (mm/rev)	ความลึกใน การตัด (mm)	ความเรียบของชิ้นงาน (μm)			
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
25	60	0.4	0.5				
26	90	0.25	0.5				
27	120	0.25	0.5				
28	120	0.1	0.5				
29	90	0.4	0.5				
30	120	0.4	0.5				
31	120	0.25	0.5				
32	60	0.1	0.5				
33	60	0.4	0.5				
34	90	0.1	0.5				
35	90	0.25	0.5				
36	60	0.25	0.5				
37	60	0.4	0.5				
38	120	0.4	0.5				
39	90	0.4	0.5				
40	90	0.1	0.5				
41	120	0.25	0.5				
42	60	0.1	0.5				
43	90	0.25	0.5				
44	120	0.1	0.5				
45	60	0.25	0.5				

3.7 การควบคุมอุณหภูมิ

ย่านวัด -40 ถึง $+300$ °C ความเที่ยงตรงของการวัด ± 2 °C ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตรระยะวัด 500 mm ขนาดวัตถุ $\varnothing 45$ mm โดยมีการตรวจสอบการวัดทุกๆเงื่อนไขในการวัดก่อนการกลึงปอกชิ้นงานและหลังการกลึงปอกชิ้นงานโดยที่ได้ควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 2 °C ดังรูปที่ 3.12 – 3.13



รูปที่ 3.12 การวัดอุณหภูมิเมตมีดคาร์ไบด์



รูปที่ 3.13 การเปลี่ยนอุณหภูมิเงื่อนไข 1-45

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงปอกอลูมิเนียม เกรด 6063 ซึ่งใช้ความเร็วตัดที่ 60-120 เมตรต่อนาที อัตราป้อนมีดที่ 0.1-0.4 mm/rev และกำหนดความลึกในการตัดที่ 0.5-1.5 mm ซึ่งทำการทดลองโดยใช้วิธีการทางสถิติสำหรับการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MATLAB R2010a แล้วทำการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน (Ra) ของอลูมิเนียม เกรด 6063

4.1 ผลการวัดความเรียบของผิวชิ้นงาน

ในการวัดความเรียบของชิ้นงานนั้น จะทำการวัดชิ้นงานทั้งหมด 999 ชิ้น และแบ่งเป็นเงื่อนไขในการทดลองกลึงปอกเป็น 27 เงื่อนไข เงื่อนไขละ 37 ชิ้น แล้วทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง รวมทั้งหมด 999 ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลองซึ่งในช่วงแรกการทดลองไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิมีแต่เพียงเรียงข้อมูลไปตามเงื่อนไขตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน

เงื่อนไข	ความเร็วตัด (m/min)	อัตราป้อนมีด (mm/rev)	ความลึกในการตัด (mm)	ความเรียบของชิ้นงาน (μm)			
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	60	0.10	0.5	0.069	0.072	0.075	0.072
2	60	0.10	1.0	0.116	0.118	0.113	0.116
3	60	0.10	1.5	0.156	0.161	0.157	0.158
4	60	0.25	0.5	2.292	2.285	2.281	2.286
5	60	0.25	1.0	1.718	1.725	1.712	1.718
6	60	0.25	1.5	1.390	1.397	1.384	1.390
7	60	0.40	0.5	5.567	5.543	5.579	5.563
8	60	0.40	1.0	4.108	4.115	4.101	4.108
9	60	0.40	1.5	2.230	2.222	2.235	2.229
10	90	0.10	0.5	0.086	0.079	0.084	0.083
11	90	0.10	1.0	0.093	0.088	0.097	0.093

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน (ต่อ)

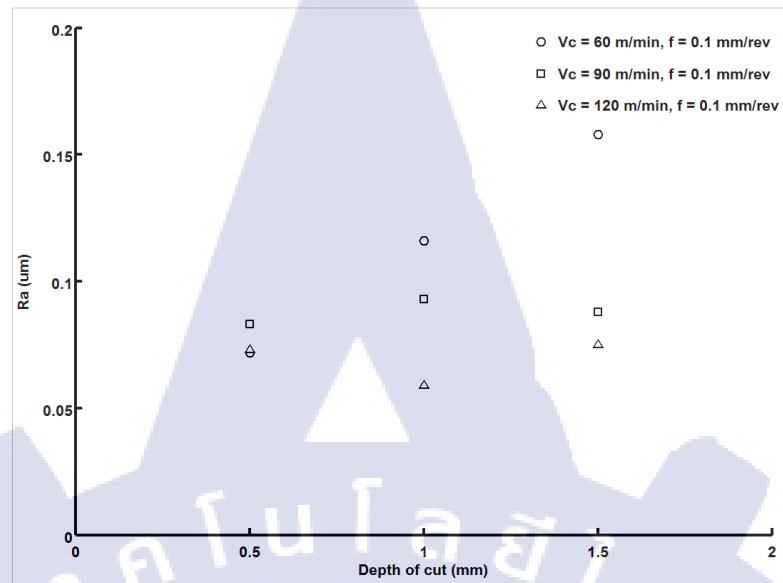
เงื่อนไข	ความเร็วตัด (m/min)	อัตราป้อนมีด (mm/rev)	ความลึกในการตัด (mm)	ความเรียบของชิ้นงาน (μm)			
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
12	90	0.10	1.5	0.087	0.090	0.088	0.088
13	90	0.25	0.5	2.292	2.284	2.290	2.289
14	90	0.25	1.0	2.257	2.249	2.250	2.252
15	90	0.25	1.5	1.428	1.432	1.427	1.429
16	90	0.40	0.5	4.933	4.927	4.935	4.932
17	90	0.40	1.0	3.364	3.361	3.367	3.364
18	90	0.40	1.5	2.984	2.989	2.977	2.983
19	120	0.10	0.5	0.075	0.072	0.071	0.073
20	120	0.10	1.0	0.060	0.055	0.061	0.059
21	120	0.10	1.5	0.075	0.071	0.079	0.075
22	120	0.25	0.5	2.292	2.291	2.298	2.294
23	120	0.25	1.0	2.225	2.220	2.228	2.224
24	120	0.25	1.5	1.806	1.801	1.803	1.803
25	120	0.40	0.5	5.253	5.259	5.255	5.256
26	120	0.40	1.0	4.291	4.299	4.295	4.295
27	120	0.40	1.5	2.800	2.822	2.810	2.811

4.2 ความสัมพันธ์ของสภาวะการตัดเฉือนและความเรียบของผิวชิ้นงาน

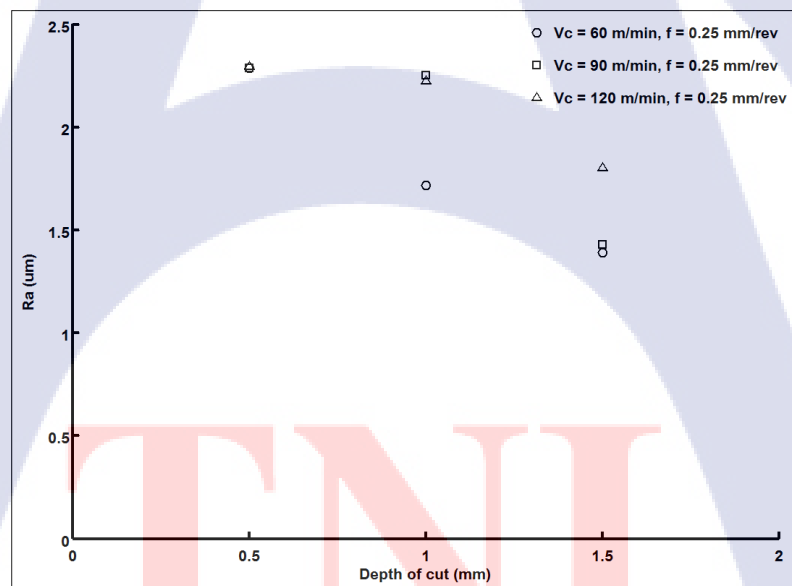
จากตารางที่ 4.1 สามารถแสดงความสัมพันธ์ด้วยกราฟ โดยแบ่งตามสภาวะการตัด สามารถแสดงความสัมพันธ์ด้วยกราฟ

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบของผิวชิ้นงานและความลึกในการตัดดังรูปที่ 4.1 -

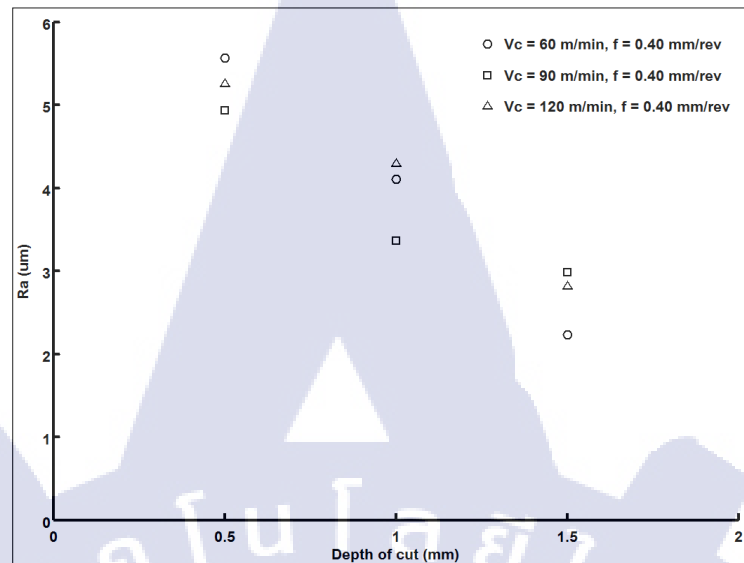
4.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความเรียบของผิวชิ้นงานและความลึกในการตัดโดยเมื่อ ความเร็วในการตัดอยู่ระหว่าง 60-120 m/min อัตราการป้อนมีดอยู่ระหว่าง 0.10-0.40 mm/rev



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Depth of Cut เมื่อ Feed Rate = 0.1 mm/rev



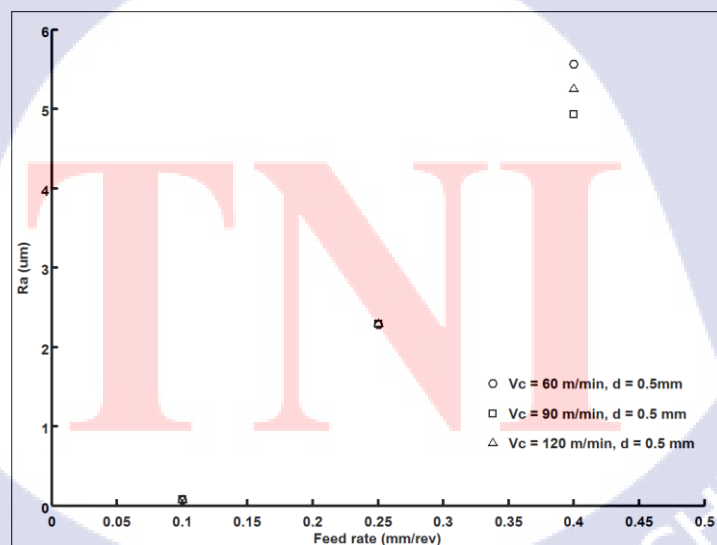
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Depth of Cut เมื่อ Feed Rate = 0.25 mm/rev



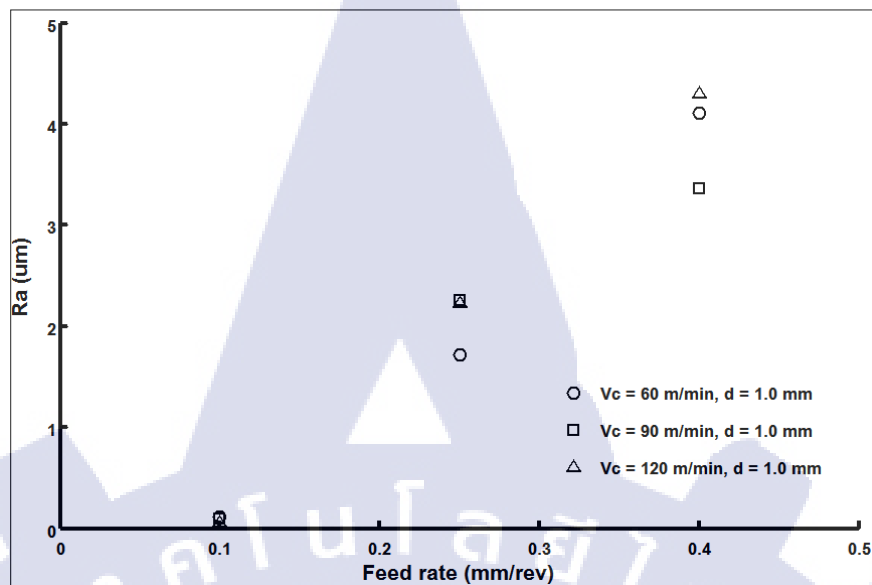
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Depth of Cut เมื่อ Feed Rate = 0.40 mm/rev

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบของผิวชิ้นงานและอัตราการป้อนมีดตั้ง

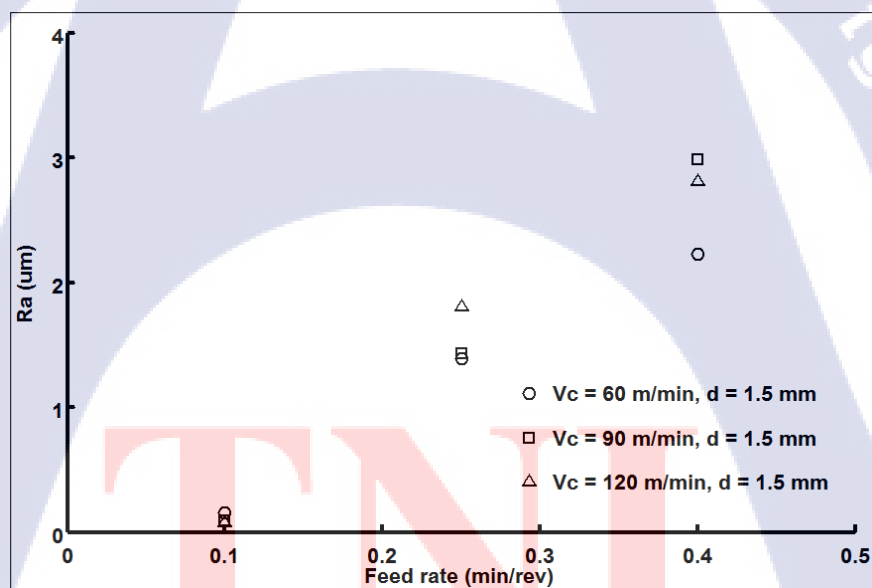
รูปที่ 4.4 - 4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความเรียบของผิวชิ้นงานและอัตราการป้อนมีดของผิวชิ้นงาน โดยเมื่อความเร็วในการตัดอยู่ระหว่าง 60-120 m/min ความลึกในการตัดอยู่ระหว่าง 0.5-1.5 mm



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Feed Rate เมื่อ Depth of Cut = 0.5 mm

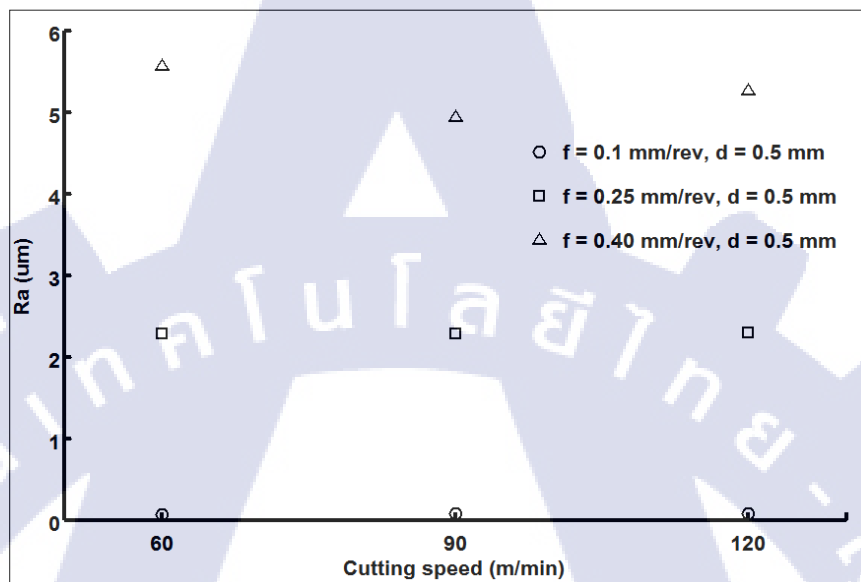


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Feed Rate เมื่อ Depth of Cut = 1.0 mm

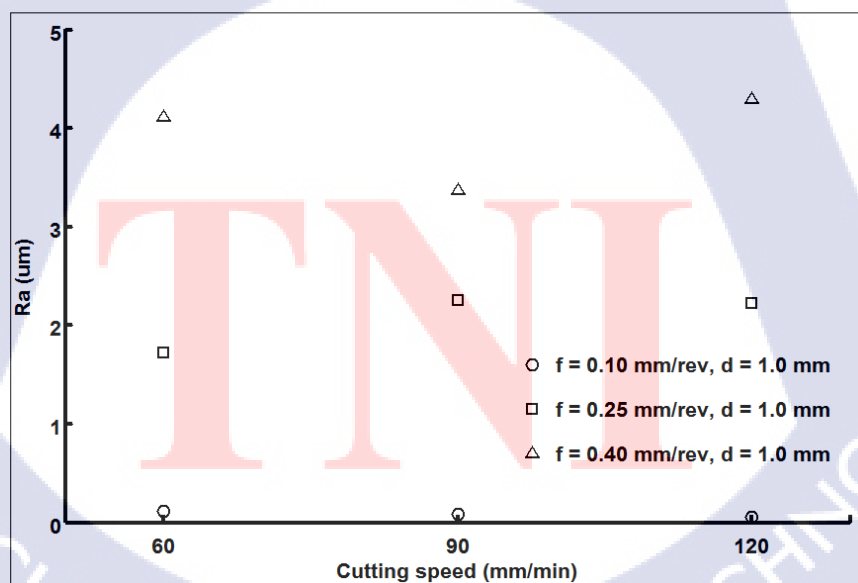


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Feed Rate เมื่อ Depth of Cut = 1.5 mm

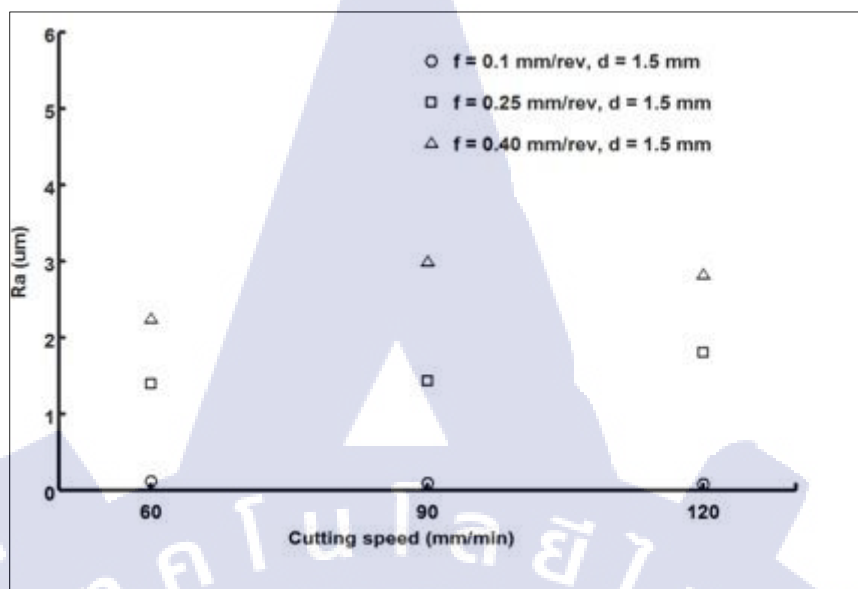
4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบของผิวชิ้นงานและความเร็วในการตัดดัง รูปที่ 4.7 -
 4.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความเรียบของผิวชิ้นงานและความเร็วในการตัดผิวชิ้นงาน โดยเมื่อ
 อัตราการป้อนมีอยู่ระหว่าง 0.1-0.4 mm/rev ความลึกในการตัดอยู่ระหว่าง 0.5-1.5 mm



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Cutting Speed เมื่อ Depth of Cut = 0.5 mm



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Cutting Speed เมื่อ Depth of Cut = 1.0 mm



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ra และ Cutting Speed เมื่อ Depth of Cut = 1.5 mm

จากการทดลองพบว่าในการกลึงปอกอลูมิเนียม เกรด 6063 ช่วงแรกในการหาค่าความเรียบของผิว (R_a) การทดลองนี้ใช้ความเร็วตัด ที่ 60 - 120 m/min อัตราป้อน ที่ 0.1 - 0.4 mm/rev ความลึกในการตัด ที่ 0.5 - 1.5 mm จากนั้นทำการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขที่ต้องการเห็นความเปลี่ยนแปลงไปได้ชัดเจนขึ้นดังรูปที่ 4.7 - 4.9 จะเห็นได้ว่าความลึกในการตัดไม่มีผลต่อค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองครั้งที่ 2 (ปรับตัวแปรและควบคุมอุณหภูมิ)

จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน คือ อัตราการป้อนและความเร็วในการตัด ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 2 ได้กำหนดความลึกในการตัดคงที่คือ 0.5 mm เนื่องจากความลึกในการตัดไม่ส่งผลต่อการทดลอง โดยในการทดลองนี้ใช้หลักการการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MINITAB Release 16 ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติและทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^2 ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยค่าสถิติที่ใช้ในการผลการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ค่า p-value และค่าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ อัตราการป้อน 3 ระดับ ความเร็วในการตัด 3 ระดับ และความลึกในการตัด

คงที่ ผลตอบสนองเป็นค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน โดยจะหาค่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัว ค่าอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างสองตัวแปรตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตัวแปรสำหรับการทดลองครั้งที่ 2

Factor	Level 1	Level 2	Level 3
ความเร็วตัด(m/min)	60	90	120
อัตราป้อนมีด(mm/rev)	0.1	0.25	0.4
ความลึกในการตัด(mm)	0.5	0.5	0.5

4.3.1 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

1.สมมติฐานที่ 1 ปัจจัยที่เกิดจากความเร็วในการตัด

$$H_0 : \tau_i = 0 \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \quad \text{At least one } \tau_i \neq 0$$

2.สมมติฐานที่ 2 ปัจจัยที่เกิดจากอัตราการป้อน

$$H_0 : \beta_j = 0 \quad j = 1, 2, \dots, b$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0 \quad \text{At least one } \beta_j \neq 0$$

3.สมมติฐานที่ 3 ปัจจัยที่เกิดจากความเร็วในการตัดและอัตราการป้อน

$$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$$

$$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0 \quad \text{At least one } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

เมื่อ τ คือ ปัจจัยที่เกิดจากความเร็วในการตัด

β คือ ปัจจัยที่เกิดจากอัตราการป้อน

4.3.2 ผลการวัดความเรียบของผิวชิ้นงาน

ในการวัดความเรียบของชิ้นงานนั้น จะทำการวัดชิ้นงานทั้งหมด 45 ชิ้น และแบ่งเป็นเงื่อนไขในการทดลองกลึงปอกเป็น 9 เงื่อนไข ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง แล้วทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วทำทั้งหมด 45 ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลองและมีการควบคุมอุณหภูมิและมีการสุ่มข้อมูลไปตามเงื่อนไขตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน

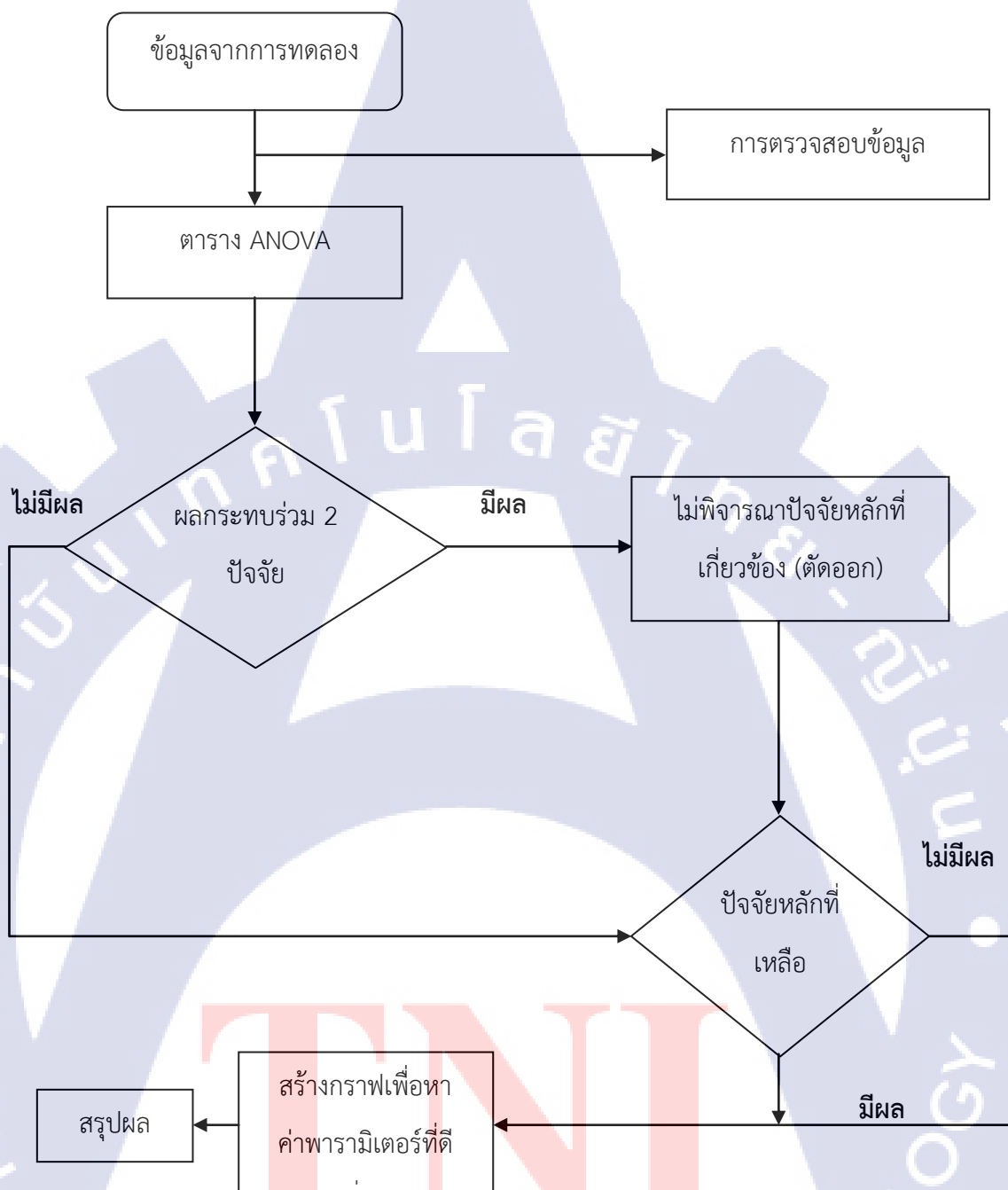
เงื่อนไข	ความเร็ว ตัด (m/min)	อัตราป้อนมีด (mm/rev)	ความลึกใน การตัด (mm)	ความเรียบของชิ้นงาน (μm)			
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	60	0.25	0.5	1.329	1.331	1.335	1.332
2	90	0.4	0.5	1.893	1.882	1.890	1.888
3	90	0.1	0.5	0.400	0.390	0.537	0.442
4	120	0.25	0.5	1.339	1.332	1.299	1.323
5	120	0.1	0.5	0.369	0.368	0.428	0.388
6	120	0.4	0.5	1.894	1.887	1.866	1.882
7	60	0.4	0.5	1.882	1.900	1.889	1.890
8	90	0.25	0.5	1.299	1.290	1.308	1.299
9	60	0.1	0.5	0.356	0.374	0.395	0.375
10	60	0.4	0.5	1.776	1.803	1.777	1.785
11	90	0.1	0.5	0.405	0.398	0.401	0.401
12	120	0.25	0.5	1.04	1.266	1.267	1.191
13	120	0.4	0.5	1.3	1.804	1.77	1.625
14	60	0.1	0.5	0.39	0.402	0.386	0.393
15	60	0.25	0.5	1.264	1.256	1.269	1.263
16	90	0.25	0.5	1.273	1.264	1.269	1.269
17	90	0.4	0.5	1.784	1.793	1.796	1.791
18	120	0.1	0.5	0.403	0.395	0.384	0.394
19	60	0.1	0.5	0.486	0.478	0.467	0.477
20	90	0.1	0.5	0.454	0.513	0.463	0.477
21	90	0.4	0.5	1.876	1.886	1.909	1.890
22	120	0.1	0.5	0.47	0.487	0.531	0.496
23	60	0.25	0.5	1.39	1.39	1.421	1.400
24	120	0.4	0.5	1.885	1.899	1.877	1.887
25	60	0.4	0.5	1.896	1.896	1.868	1.887
26	90	0.25	0.5	1.416	1.391	1.398	1.402

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน (ต่อ)

เงื่อนไข	ความเร็ว ตัด (m/min)	อัตราป้อนมีด (mm/rev)	ความลึกใน การตัด (mm)	ความเรียบของชิ้นงาน (μm)			
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
27	120	0.25	0.5	1.392	1.392	1.411	1.398
28	120	0.1	0.5	0.398	0.41	0.397	0.402
29	90	0.4	0.5	1.856	1.841	1.832	1.843
30	120	0.4	0.5	1.852	1.849	1.837	1.846
31	120	0.25	0.5	1.321	1.322	1.346	1.330
32	60	0.1	0.5	0.406	0.4	0.403	0.403
33	60	0.4	0.5	1.825	1.839	1.884	1.849
34	90	0.1	0.5	0.39	0.381	0.387	0.386
35	90	0.25	0.5	1.36	1.347	1.333	1.347
36	60	0.25	0.5	1.321	1.334	1.328	1.328
37	60	0.4	0.5	1.933	1.913	1.914	1.920
38	120	0.4	0.5	1.95	1.922	1.932	1.935
39	90	0.4	0.5	1.912	1.934	1.936	1.927
40	90	0.1	0.5	1.941	1.923	1.92	1.928
41	120	0.25	0.5	1.491	1.491	1.476	1.486
42	60	0.1	0.5	0.325	0.296	0.304	0.308
43	90	0.25	0.5	1.514	1.483	1.474	1.490
44	120	0.1	0.5	0.316	0.48	0.313	0.370
45	60	0.25	0.5	1.478	1.491	1.504	1.491

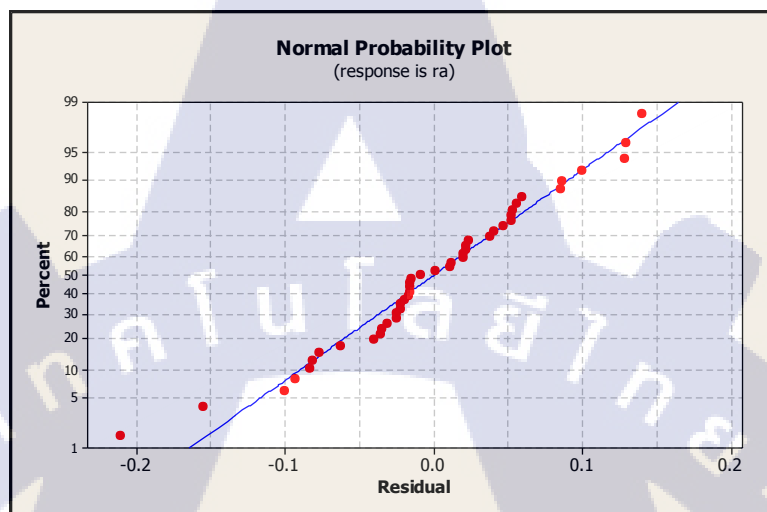
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนถูกต้องของแบบจำลอง โดยต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลดังรูปที่ 4.10



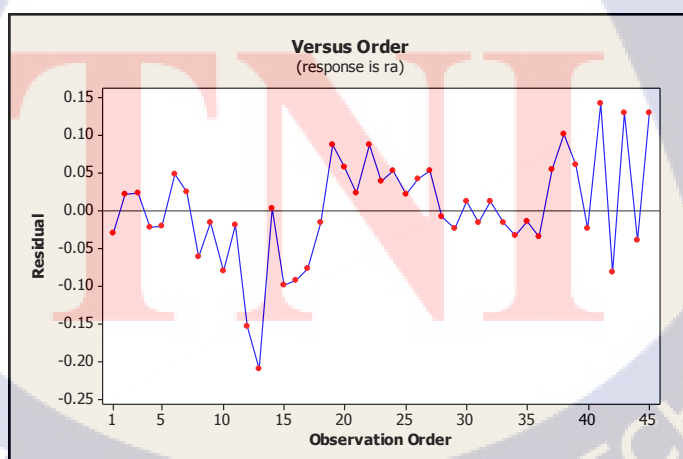
รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน [22]

1.Normal Probability Plot เพื่อตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบปกติหรือไม่ โดยการสังเกตจุดที่มีอยู่ ซึ่งหากว่ามีจุดอยู่ใกล้กับเส้น หรือ จุดเกาะกลุ่มอยู่ติดกับเส้น แสดงว่า Y หรือข้อมูล มีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบปกติดังรูปที่ 4.11



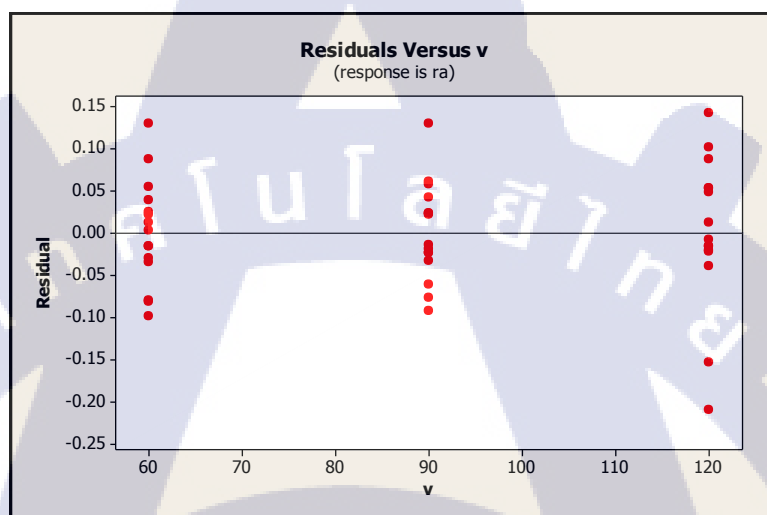
รูปที่ 4.11 ตรวจสอบการกระจายของข้อมูลเป็นแบบ Normal ของค่า Ra

2.Versus Order เป็นรูปที่ใช้ในการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุด ที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่ามีรูปแบบเป็นอิสระหรือไม่ หากข้อมูลมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระดังรูปที่ 4.12

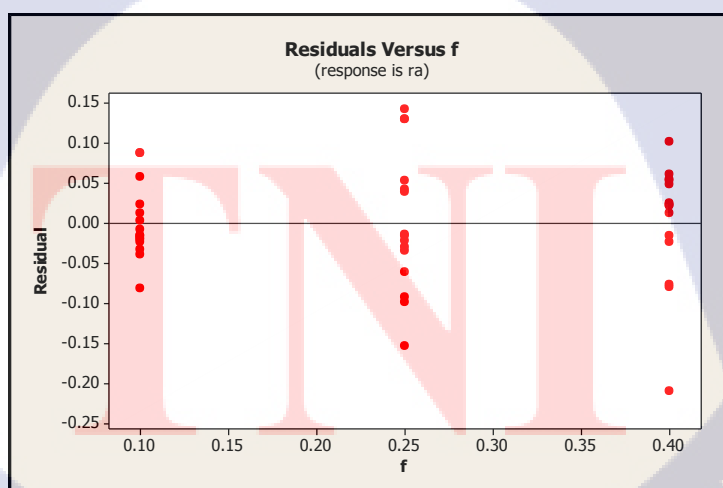


รูปที่ 4.12 ตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า Ra

3. Residual Versus Cutting Speed และ Residual Versus Feed Rate เป็นรูปที่ใช้ตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิกระจายความคลาดเคลื่อน (Residual) พบว่าของการทดลองมีการกระจายตัวสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน หรือ ความแปรปรวนของผลการทดลองมีค่าคงที่ดังรูปที่ 4.13-รูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ตรวจสอบความคงที่ของค่าความแปรปรวนความเร็วในการตัดของค่า Ra



รูปที่ 4.14 ตรวจสอบความคงที่ของค่าความแปรปรวนอัตราป้อนของค่า Ra

จากการประเมินคุณสมบัติทั้ง 3 ประการของข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีคุณสมบัติทั้ง 3 ประการ นั่นก็คือ มีความเป็นปกติของข้อมูล มีความเป็นอิสระของข้อมูล และความแปรปรวนคงที่

4.3.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ตาราง ANOVA เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัย ว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่มีผลผลความเรียบของผิวชิ้นงาน โดยพิจารณาการอ่านค่า P - Value ของแต่ละปัจจัยเป็นหลักพบว่าปัจจัยใดที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปัจจัยนั้นมีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน หรือ ปัจจัยใดที่มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่า ปัจจัยนั้นไม่มีอิทธิพลต่อค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน จึงตัดค่าออกไป โดยเก็บไว้เฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงานตาม

ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ANOVA ของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

Analysis of Variance for Ra using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
V	2	0.0025	0.0025	0.0013	0.21	0.813
f	2	16.2889	16.2889	8.1445	1329.17	0.000
V*f	4	0.0035	0.0035	0.0009	0.14	0.964
Error	36	0.2206	0.2206	0.0061		
Total	44	16.5156				

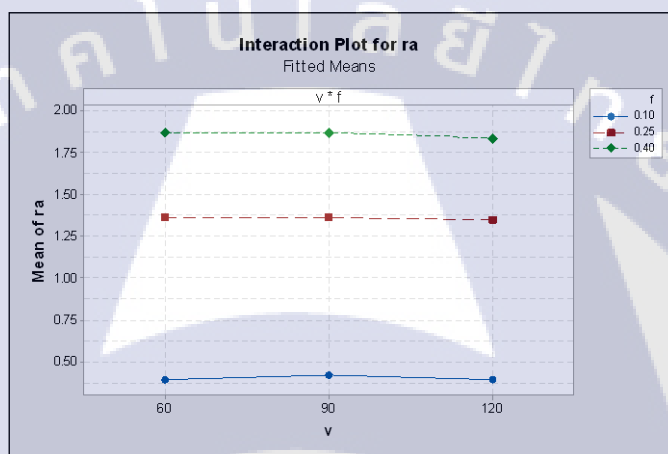
S=0.0782783

R-sq=98.66%

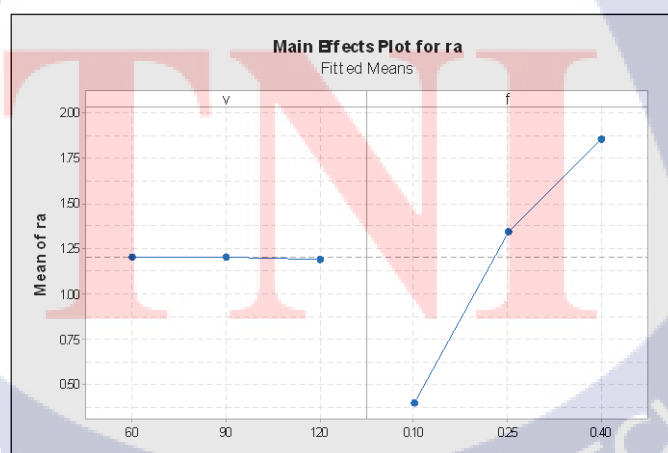
R-sq (adj)=98.37%

จากตารางที่ 4.4 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANONA) ภายใต้ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ค่า P - value ของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรความเร็วตัดและอัตราการป้อน มีค่า P - value มากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรความเร็วตัดและอัตราการป้อน ไม่ส่งผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน เมื่อพิจารณาว่าปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ไม่ส่งผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน ดังนั้น ต้องพิจารณาปัจจัยหลัก (Main Effect) พบว่า ค่า P - value ของปัจจัยหลัก (Main Effect)

คือ อัตราการป้อน มีค่า P - value น้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ตัวแปรของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่ส่งผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน คือ อัตราการป้อน เมื่อพิจารณาความน่าเชื่อถือของการทดสอบจากตารางที่ 4.4 ของความสัมพันธ์ของปัจจัย พบว่ามีค่า $R-Sq$ (Adj) มีค่าเท่ากับ 98.37 % จึงสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ทั้ง 2 ปัจจัยส่งผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน 98.37 % ส่วนที่เหลืออีก 1.63 % เป็นปัจจัยได้อื่น ๆ ที่ไม่ได้อยู่ในขอบเขตการควบคุมการทดลอง หลังจากใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MINITAB Release 16 ในการช่วยแปลผลแล้วพบว่าปัจจัยร่วม (Interaction Effect) คือ ความเร็วตัดและอัตราการป้อน ไม่ส่งผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน ต่อปัจจัยหลัก (Main Effect) จึงต้องนำมาพิจารณาดังรูปที่ 4.15 - 4.16



รูปที่ 4.15 Interaction Effects Plot for R_a



รูปที่ 4.16 Main Effects Plot for R_a

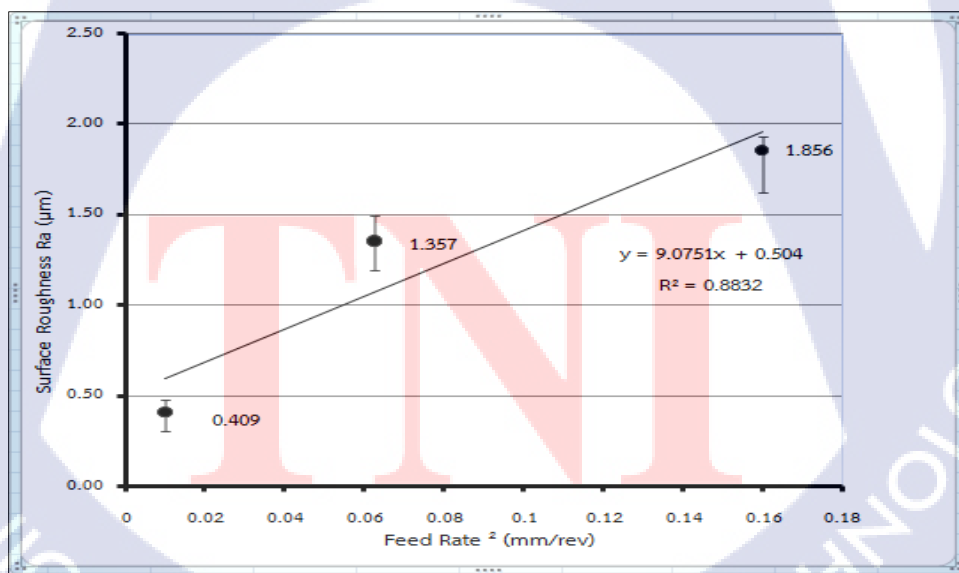
เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก (Main Effect) พบว่า อัตราป้อนและความเร็วในการตัดลดลง จะทำให้ค่าความเรียบของผิวชิ้นงานหยาบลดลง ดังนั้น เงื่อนไขที่ให้ความเรียบของผิวชิ้นงานหยาบน้อยที่สุด คือ เงื่อนไขที่อัตราการป้อน 0.10 mm/rev

4.3.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเรียบผิวชิ้นงานกลึง

การวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าในการกลึงปอกอลูมิเนียม เกรด 6063 ด้วยเมตดคาร์ไบด์ ยี่ห้อ KORLOY ด้วยมุมรัศมีของมีดคงที่ 0.8 mm ความเร็วตัด 60 90 120 m/min อัตราป้อน 0.1 0.25 0.4 mm/rev ความลึกในการตัดคงที่ 0.5 mm ได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.17 จากผลการวิเคราะห์พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราป้อนและความเรียบผิวสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (4.1)

$$Ra = 9.0751 f^2 + 0.504 \quad (4.1)$$

โดยสามารถใช้ได้ในช่วงความเร็วตัด 60 90 120 m/min อัตราป้อน 0.1 0.25 0.4 mm/rev ความลึกในการตัดคงที่ 0.5 mm ได้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานอลูมิเนียม เกรด 6063 เมื่อเกิดกระบวนการกลึงปอก ด้วยเมตดคาร์ไบด์ ยี่ห้อ KORLOY ด้วยมุมรัศมีของมีดคงที่ 0.8 mm



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความเรียบผิวและอัตราป้อน

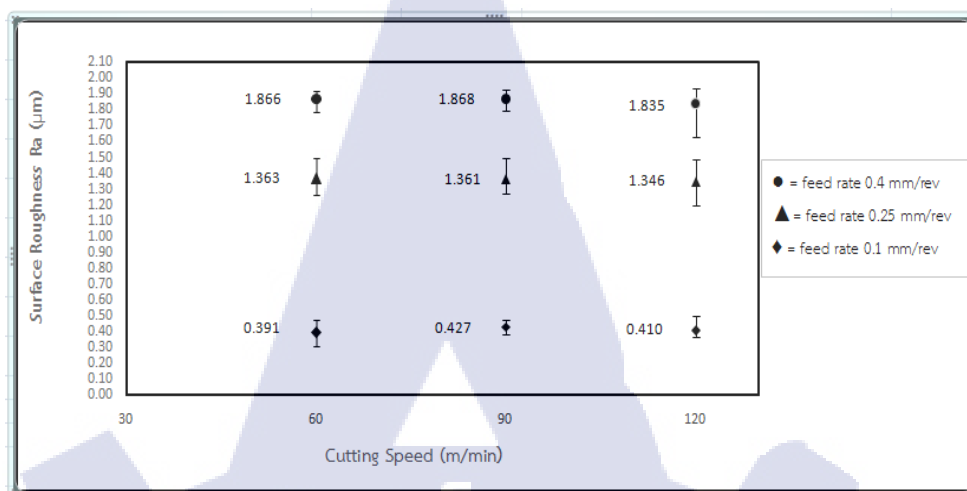
บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน คือ อัตราการป้อนและความเร็วตัด ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 2 ได้กำหนดความลึกในการตัดคงที่คือ 0.5 mm เนื่องจากความลึกในการตัดไม่ส่งผลต่อผลการทดลอง โดยในการสรุปผลการทดลองครั้งที่ 2 นี้ใช้หลักการการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab Release 16 ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติและทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^2 ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ค่า P-Value หรือที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ อัตราการป้อน 3 ระดับซึ่งกำหนดอัตราป้อนมีดที่ 0.1 - 0.4 mm/min ความเร็วตัดที่ 60 - 120 m/min และกำหนดความลึกในการตัดที่ 0.5 mm เพื่อกำหนดจากผลการวิเคราะห์สถานะการตัดเฉือน ผลตอบสนองเป็นค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน โดยจะหาค่าอิทธิพลหลัก (Main effect) ของตัวแปรแต่ละตัว ค่าอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างสองตัวแปร

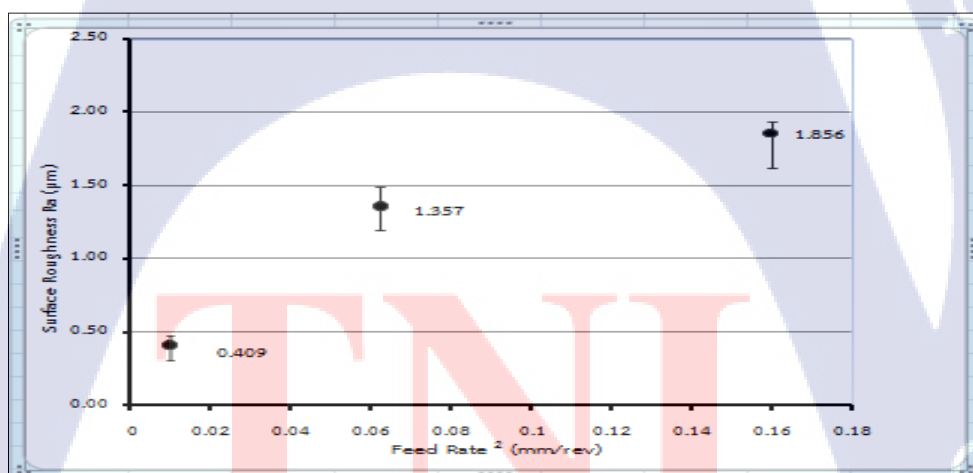
จากการทำนายเปรียบเทียบสมการ $R_a = \frac{f^2}{32r_c}$ พบว่าค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน

อลูมิเนียมเกรด 6063 ค่า $R_a=0.400 \mu\text{m}$ อยู่ในช่วงอัตราป้อน (Feed Rate 0.1 mm/rev) ค่า $R_a=2.500 \mu\text{m}$ อยู่ในช่วงอัตราป้อน (Feed Rate 0.25 mm/rev) และค่า $R_a=6.250 \mu\text{m}$ อยู่ในช่วงอัตราป้อน (Feed Rate 0.4 mm/rev) ที่ความเร็วตัด (Cutting Speed) อยู่ในช่วง 60 90 120 m/min อัตราป้อน (Feed Rate 0.1 0.25 0.4 mm/rev ความลึกในการตัด (Depth of Cut) อยู่ในช่วง 0.5 mm คงที่ พบว่าจากผลการทดลองค่าเฉลี่ยของความเรียบของผิวชิ้นงานอลูมิเนียม เกรด 6063 ที่อัตราป้อน (Feed Rate 0.1 mm/rev) ได้ค่า ค่า $R_a=0.409 \mu\text{m}$ ที่อัตราป้อน (Feed Rate 0.25 mm/rev) ได้ค่า ค่า $R_a=1.357 \mu\text{m}$ ที่อัตราป้อน (Feed Rate 0.4 mm/rev) ได้ค่า ค่า $R_a=1.856 \mu\text{m}$ จากการศึกษาปัจจัยในการกลึงปอกต่อค่าความเรียบของผิวชิ้นงานอลูมิเนียมเกรด 6063 โดยใช้เครื่องกลึงควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และใช้เม็ดมีดคาร์ไบด์ยี่ห้อ KORLOY ชนิด TNMG160408-HA มีมุม 60 องศา ความเร็วตัด (Cutting Speed) อยู่ในช่วง 100-200 m/min อัตราป้อน (Feed Rate) อยู่ในช่วง 0.05-0.4 mm/rev ความลึกในการตัด (Depth of Cut) อยู่ในช่วง 0.1-4 mm จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเรียบของผิวชิ้นงานมากที่สุด คือ อัตราป้อน โดยที่ อัตราป้อนที่ 0.1 mm/min ให้ค่าที่ดีที่สุดดังรูปที่ 5.1 – 5.2



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความเรียบผิวกับความเร็วในการตัด

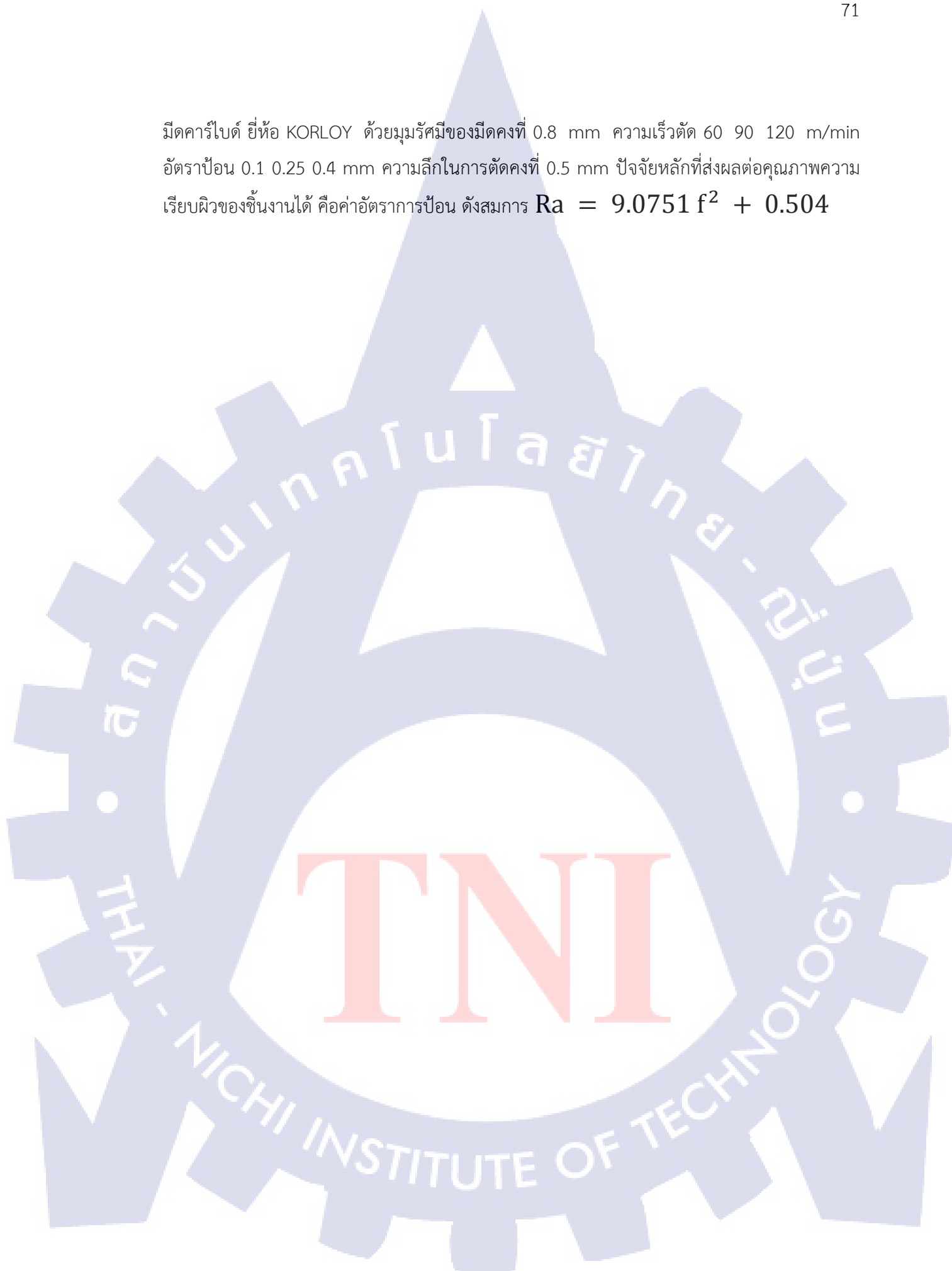
จากรูปที่ 5.1 พบว่าเมื่อทำการทดลองโดยกำหนดให้ค่าอัตราการป้อนคงที่ จะเห็นว่าค่าความเรียบผิว (Ra) จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อค่าความเร็วตัดเปลี่ยนไปที่ค่าอัตราการป้อนหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าความเร็วตัดไม่ใช่ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงความเรียบผิว



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความเรียบผิวและอัตราป้อน

รูปที่ 5.2 พบว่าเมื่อทำการทดลองโดยกำหนดให้ค่าความเร็วตัดคงที่ จะเห็นว่าค่าความเรียบผิว (Ra) จะเกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ค่าความเรียบผิวจะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าอัตราการป้อนเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราการป้อน คือปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญ รูปที่ 5.1-5.2 สามารถสรุปได้ว่าการกลึงปอกวัสดุอะลูมิเนียมเกรด 6063 ด้วยเม็ด

มีดคาร์ไบด์ ยี่ห้อ KORLOY ด้วยมุมรัศมีของมีดคงที่ 0.8 mm ความเร็วตัด 60 90 120 m/min อัตราป้อน 0.1 0.25 0.4 mm ความลึกในการตัดคงที่ 0.5 mm ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพความเรียบผิวของชิ้นงานได้ คือค่าอัตราการป้อน ดังสมการ $Ra = 9.0751 f^2 + 0.504$



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] M. Edward and K. Paul, *Metal Cutting*. Boston: Butterworth-Heinemann, 2000.
- [2] D. William and G. David, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. Wiley: Integrated Approach, 2001. [Accessed: Nov. 13, 2014].
- [3] สุวรรณ สุนทรรัตน์. (2543). *อลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม*, [Online] Available: <http://www.aluminiumlarning.com/html>. [Accessed: Nov. 13, 2014].
- [4] K. Serope and R. Steven, *Manufacturing Processes for Engineering Material*. Illinois : Addison Wesley Illinois, 2007
- [5] ศุภโชค วิริยโกศล, *การตัดวัสดุ*. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2543
- [6] Sandvik. (2008). Application Guide Stainless Steel Turning, [Online] Available: <http://www.coromant.sandvik.com/catalog.pdf>. [Accessed: Nov. 13, 2014].
- [7] J. Kopac and M. Bahor, “Interaction of the Work Piece Material’s Technological Past and Machining Parameters on the Desired Quality of the Product Surface Roughness.” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 109, no. 1-2, pp. 105-111, February 2001.
- [8] G. Dawson and R. Thomas, “Tool Life Wear Rates and Surface Quality in Hard Turning” *Transactions North American Manufacturing Research Institution of SME*, vol. 29, no.1, pp. 175 – 182, February 2001.
- [9] Misumi. (2013). *Technical Knowledge Surface Roughness*, [Online] Available: http://www.misumi-ec.com/suface_roughness.html. [Accessed: Nov. 13, 2014].
- [11] ปารเมศ ชูติมา, *การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- [10] กิตติศักดิ์ พลอยเจริญพานิช, *สถิติสำหรับงานวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551
- [12] G. Dawson and R. Thomas, “Tool life Wear Rates and Surface Quality in Hard Turning” *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 44, no.1, pp. 42-49, January 2001.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [13] X.L.Liu and D.H Wen, “Experimental Study on Hard Turning Hardened GCr15 Steel with PCBN Tool” *Journal of Materials Processing Technology*, vol.129, no. 1-3, pp. 217-221, October 2002.
- [14] สถาพร จันทวี, การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าของความขรุขระในการกลึงละเอียดอลูมิเนียมและทองเหลืองด้วยใบมีดเพชร. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545
- [15] ชาญ ราชวงศ์, การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผิวงานในการกลึงงานแข็ง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548
- [16] พงษ์พันธ์ ราชภักดี และ เฉลิมพล คล้ายนิล, “อิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสเตนเลส AISI316 ด้วยใบมีดคาร์ไบด์ที่มีผลต่อการสึกหรอใบมีดตัดและความขรุขระของพื้นผิว” *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, กรุงเทพฯ, 24-26 ตุลาคม 2550, หน้า 527-532.
- [17] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะ, “การศึกษาสภาวะการ ตัดที่เหมาะสมในการกลึงปาดหน้าพลาสติกไนลอนหล่อด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ,” *การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ*, กรุงเทพฯ, 24-25 กรกฎาคม 2551, หน้า 49-54.
- [18] N. Muthukrishnan and J.Paulo, “Optimization of Maching Parameters of AlSiC-MMC with ANOVA and ANN Analysis” *Journal of Materials processing Technology*, vol. 209, no.1, pp. 225-232, January 2008.
- [19] วิมล บุญรอด และ ธเนศ รัตนวิไล, “ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็งเกรด 7075” *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 4, หน้า 71-77, พฤศจิกายน 2555.
- [20] D. P. Selvaraj et al. “Optimization of Surface Roughness, Cutting Force and Tool Wear of Nitrogen Alloyed Duplex Stainless Steel in a Dry Turning Process using Taguchi Method” *Measurement*, vol. 49, no.1, pp. 205-215, December 2013.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] สมเสียง จันทาสี และ ศิริชัย ปั่นสมสกุล, “การทำนายความหยาบผิวในงานกัดของอลูมิเนียม เกรด 6061-T6 โดยใช้ตัวแบบการถดถอย” *วารสารวิจัย มข.*, ปีที่ 19, ฉบับที่ 2, หน้า 293-304, มีนาคม 2556.
- [22] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, *การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2551

ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.

ตารางผลวัดค่าความหยาบผิวและสภาพเม็ดมีดคาร์ไบด์

TNI

ตาราง ก.1 บันทึกผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลอง 1

condition	cutting Speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Ra (μm)				Ra (μm)
				Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average	
1	60	0.10	0.5	0.075	0.072	0.075	0.074	0.074
2	60	0.10	1.0	0.113	0.118	0.113	0.115	0.115
3	60	0.10	1.5	0.161	0.161	0.157	0.160	0.160
4	60	0.25	0.5	2.285	2.285	2.281	2.284	2.284
5	60	0.25	1.0	1.718	1.712	1.712	1.714	1.714
6	60	0.25	1.5	1.390	1.384	1.384	1.386	1.386
7	60	0.40	0.5	5.567	5.567	5.579	5.571	5.571
8	60	0.40	1.0	4.108	4.108	4.101	4.106	4.106
9	60	0.40	1.5	2.230	2.222	2.222	2.225	2.225
10	90	0.10	0.5	0.086	0.079	0.079	0.081	0.081
11	90	0.10	1.0	0.093	0.097	0.097	0.096	0.096
12	90	0.10	1.5	0.088	0.090	0.088	0.089	0.089
13	90	0.25	0.5	2.292	2.284	2.284	2.287	2.287
14	90	0.25	1.0	2.249	2.249	2.250	2.249	2.249
15	90	0.25	1.5	1.427	1.427	1.427	1.427	1.427
16	90	0.40	0.5	4.927	4.927	4.927	4.927	4.927
17	90	0.40	1.0	3.361	3.361	3.361	3.361	3.361
18	90	0.40	1.5	2.984	2.989	2.977	2.983	2.983
19	120	0.10	0.5	0.071	0.072	0.071	0.071	0.071
20	120	0.10	1.0	0.055	0.055	0.061	0.057	0.057
21	120	0.10	1.5	0.075	0.071	0.071	0.072	0.072
22	120	0.25	0.5	2.292	2.291	2.291	2.291	2.291
23	120	0.25	1.0	2.225	2.220	2.220	2.222	2.222
24	120	0.25	1.5	1.801	1.801	1.803	1.802	1.802
25	120	0.40	0.5	5.259	5.259	5.255	5.258	5.258
26	120	0.40	1.0	4.291	4.299	4.291	4.294	4.294
27	120	0.40	1.5	2.800	2.810	2.810	2.807	2.807

ตาราง ก.1 บันทึกผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลอง 1 (ต่อ)

condition	cutting Speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Ra (μm)				Ra (μm)
				Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average	
28	60	0.10	0.5	0.050	0.059	0.051	0.053	0.053
29	60	0.10	1.0	0.096	0.093	0.097	0.095	0.095
30	60	0.10	1.5	0.182	0.186	0.180	0.183	0.183
31	60	0.25	0.5	0.097	0.090	0.093	0.093	0.093
32	60	0.25	1.0	2.274	2.268	2.283	2.275	2.275
33	60	0.25	1.5	1.498	1.502	1.487	1.496	1.496
34	60	0.40	0.5	5.274	5.263	5.279	5.272	5.272
35	60	0.40	1.0	3.537	3.544	3.539	3.540	3.540
36	60	0.40	1.5	2.477	2.465	2.484	2.475	2.475
37	90	0.10	0.5	0.082	0.078	0.079	0.080	0.080
38	90	0.10	1.0	0.097	0.085	0.093	0.092	0.092
39	90	0.10	1.5	0.084	0.093	0.087	0.088	0.088
40	90	0.25	0.5	2.294	2.286	2.288	2.289	2.289
41	90	0.25	1.0	2.255	2.247	2.257	2.253	2.253
42	90	0.25	1.5	1.432	1.437	1.437	1.435	1.435
43	90	0.40	0.5	4.936	4.926	4.922	4.928	4.928
44	90	0.40	1.0	3.352	3.365	3.367	3.361	3.361
45	90	0.40	1.5	2.983	2.985	2.963	2.977	2.977
46	120	0.10	0.5	0.077	0.074	0.077	0.076	0.076
47	120	0.10	1.0	0.065	0.058	0.065	0.063	0.063
48	120	0.10	1.5	0.072	0.076	0.072	0.073	0.073
49	120	0.25	0.5	2.248	2.295	2.289	2.277	2.277
50	120	0.25	1.0	2.255	2.229	2.235	2.240	2.240
51	120	0.25	1.5	1.824	1.832	1.815	1.824	1.824
52	120	0.40	0.5	5.259	5.250	5.242	5.250	5.250
53	120	0.40	1.0	4.286	4.305	4.267	4.286	4.286
54	120	0.40	1.5	2.815	2.820	2.845	2.827	2.827

ตาราง ก.1 บันทึกผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลอง 1 (ต่อ)

condition	cutting Speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Ra (μm)				Ra (μm)
				Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average	
55	60	0.10	0.5	0.059	0.075	0.069	0.068	0.068
56	60	0.10	1.0	0.093	0.113	0.116	0.107	0.107
57	60	0.10	1.5	0.186	0.157	0.156	0.166	0.166
58	60	0.25	0.5	0.090	2.281	2.292	1.554	1.554
59	60	0.25	1.0	2.268	1.712	1.718	1.899	1.899
60	60	0.25	1.5	1.502	1.384	1.390	1.425	1.425
61	60	0.40	0.5	5.263	5.579	5.567	5.470	5.470
62	60	0.40	1.0	3.544	4.101	4.108	3.918	3.918
63	60	0.40	1.5	2.465	2.235	2.230	2.310	2.310
64	90	0.10	0.5	0.086	0.079	0.079	0.081	0.081
65	90	0.10	1.0	0.093	0.088	0.093	0.091	0.091
66	90	0.10	1.5	0.087	0.090	0.087	0.088	0.088
67	90	0.25	0.5	2.292	2.284	2.288	2.288	2.288
68	90	0.25	1.0	2.257	2.249	2.257	2.254	2.254
69	90	0.25	1.5	1.428	1.432	1.437	1.432	1.432
70	90	0.40	0.5	4.933	4.927	4.922	4.927	4.927
71	90	0.40	1.0	3.364	3.361	3.367	3.364	3.364
72	90	0.40	1.5	2.984	2.989	2.963	2.979	2.979
73	120	0.10	0.5	0.077	0.074	0.075	0.075	0.075
74	120	0.10	1.0	0.065	0.058	0.060	0.061	0.061
75	120	0.10	1.5	0.072	0.076	0.075	0.074	0.074
76	120	0.25	0.5	2.289	2.295	2.292	2.292	2.292
77	120	0.25	1.0	2.235	2.229	2.225	2.230	2.230
78	120	0.25	1.5	1.815	1.832	1.806	1.818	1.818
79	120	0.40	0.5	5.242	5.250	5.253	5.248	5.248
80	120	0.40	1.0	4.267	4.305	4.291	4.288	4.288
81	120	0.40	1.5	2.845	2.820	2.800	2.822	2.822

ตาราง ก.1 บันทึกผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลอง 1 (ต่อ)

condition	cutting Speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Ra (μm)				Ra (μm)
				Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average	
82	60	0.10	0.5	0.086	0.072	0.075	0.078	0.078
83	60	0.10	1.0	0.116	0.118	0.116	0.117	0.117
84	60	0.10	1.5	0.156	0.161	0.161	0.159	0.159
85	60	0.25	0.5	2.292	2.292	2.281	2.288	2.288
86	60	0.25	1.0	1.725	1.725	1.712	1.721	1.721
87	60	0.25	1.5	1.390	1.384	1.384	1.386	1.386
88	60	0.40	0.5	5.567	5.543	5.253	5.454	5.454
89	60	0.40	1.0	4.108	4.115	4.115	4.113	4.113
90	60	0.40	1.5	2.230	2.222	2.222	2.225	2.225
91	90	0.10	0.5	0.084	0.079	0.084	0.082	0.082
92	90	0.10	1.0	0.093	0.093	0.097	0.094	0.094
93	90	0.10	1.5	0.090	0.090	0.088	0.089	0.089
94	90	0.25	0.5	2.292	2.284	2.284	2.287	2.287
95	90	0.25	1.0	2.249	2.249	2.228	2.242	2.242
96	90	0.25	1.5	1.428	1.432	1.403	1.421	1.421
97	90	0.40	0.5	4.933	4.299	4.935	4.722	4.722
98	90	0.40	1.0	3.364	3.361	3.361	3.362	3.362
99	90	0.40	1.5	2.984	2.810	2.810	2.868	2.868
100	120	0.10	0.5	0.086	0.086	0.071	0.081	0.081
101	120	0.10	1.0	0.055	0.061	0.061	0.059	0.059
102	120	0.10	1.5	0.079	0.071	0.079	0.076	0.076
103	120	0.25	0.5	2.292	2.292	2.291	2.292	2.292
104	120	0.25	1.0	2.225	2.284	2.284	2.264	2.264
105	120	0.25	1.5	1.806	1.806	1.803	1.805	1.805
106	120	0.40	0.5	5.567	5.259	5.259	5.362	5.362
107	120	0.40	1.0	4.291	4.935	4.935	4.720	4.720
108	120	0.40	1.5	2.822	2.822	2.810	2.818	2.818

ตาราง ก.1 บันทึกผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลอง 1 (ต่อ)

condition	cutting Speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Ra (μm)				Ra (μm)
				Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average	
109	60	0.10	0.5	0.075	0.069	0.086	0.077	0.077
110	60	0.10	1.0	0.113	0.116	0.116	0.115	0.115
111	60	0.10	1.5	0.157	0.156	0.156	0.156	0.156
112	60	0.25	0.5	2.281	2.292	2.292	2.288	2.288
113	60	0.25	1.0	1.712	1.718	1.725	1.718	1.718
114	60	0.25	1.5	1.384	1.390	1.390	1.388	1.388
115	60	0.40	0.5	5.579	5.567	5.567	5.571	5.571
116	60	0.40	1.0	4.101	4.108	4.108	4.106	4.106
117	60	0.40	1.5	2.235	2.230	2.230	2.232	2.232
118	90	0.10	0.5	0.079	0.082	0.084	0.082	0.082
119	90	0.10	1.0	0.088	0.097	0.093	0.093	0.093
120	90	0.10	1.5	0.090	0.084	0.090	0.088	0.088
121	90	0.25	0.5	2.284	2.294	2.292	2.290	2.290
122	90	0.25	1.0	2.249	2.255	2.249	2.251	2.251
123	90	0.25	1.5	1.432	1.432	1.428	1.431	1.431
124	90	0.40	0.5	4.927	4.936	4.933	4.932	4.932
125	90	0.40	1.0	3.361	3.352	3.364	3.359	3.359
126	90	0.40	1.5	2.989	2.983	2.984	2.985	2.985
127	120	0.10	0.5	0.074	0.074	0.086	0.078	0.078
128	120	0.10	1.0	0.058	0.058	0.055	0.057	0.057
129	120	0.10	1.5	0.076	0.076	0.079	0.077	0.077
130	120	0.25	0.5	2.295	2.295	2.292	2.294	2.294
131	120	0.25	1.0	2.229	2.229	2.225	2.228	2.228
132	120	0.25	1.5	1.832	1.832	1.806	1.823	1.823
133	120	0.40	0.5	5.250	5.250	5.567	5.356	5.356
134	120	0.40	1.0	4.305	4.305	4.291	4.300	4.300
135	120	0.40	1.5	2.820	2.820	2.822	2.821	2.821

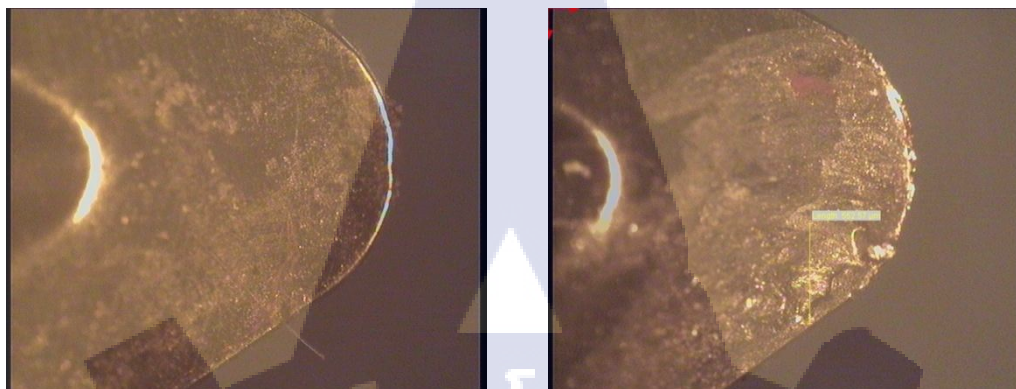
ตาราง ก.2 บันทึกผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลอง 2

condition	cutting Speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Ra (μm)				Ra (μm)
				Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average	
1	60	0.25	0.5	1.329	1.331	1.335	1.332	1.332
2	90	0.4	0.5	1.893	1.882	1.890	1.888	1.888
3	90	0.1	0.5	0.400	0.390	0.537	0.442	0.442
4	120	0.25	0.5	1.339	1.332	1.299	1.323	1.323
5	120	0.1	0.5	0.369	0.368	0.428	0.388	0.388
6	120	0.4	0.5	1.894	1.887	1.866	1.882	1.882
7	60	0.4	0.5	1.882	1.900	1.889	1.890	1.890
8	90	0.25	0.5	1.299	1.290	1.308	1.299	1.299
9	60	0.1	0.5	0.356	0.374	0.395	0.375	0.375
10	60	0.4	0.5	1.776	1.803	1.777	1.785	1.785
11	90	0.1	0.5	0.405	0.398	0.401	0.401	0.401
12	120	0.25	0.5	1.04	1.266	1.267	1.191	1.191
13	120	0.4	0.5	1.3	1.804	1.77	1.625	1.625
14	60	0.1	0.5	0.39	0.402	0.386	0.393	0.393
15	60	0.25	0.5	1.264	1.256	1.269	1.263	1.263
16	90	0.25	0.5	1.273	1.264	1.269	1.269	1.269
17	90	0.4	0.5	1.784	1.793	1.796	1.791	1.791
18	120	0.1	0.5	0.403	0.395	0.384	0.394	0.394
19	60	0.1	0.5	0.486	0.478	0.467	0.477	0.477
20	90	0.1	0.5	0.454	0.513	0.463	0.477	0.477
21	90	0.4	0.5	1.876	1.886	1.909	1.890	1.890
22	120	0.1	0.5	0.47	0.487	0.531	0.496	0.496
23	60	0.25	0.5	1.39	1.39	1.421	1.400	1.400
24	120	0.4	0.5	1.885	1.899	1.877	1.887	1.887
25	60	0.4	0.5	1.896	1.896	1.868	1.887	1.887
26	90	0.25	0.5	1.416	1.391	1.398	1.402	1.402

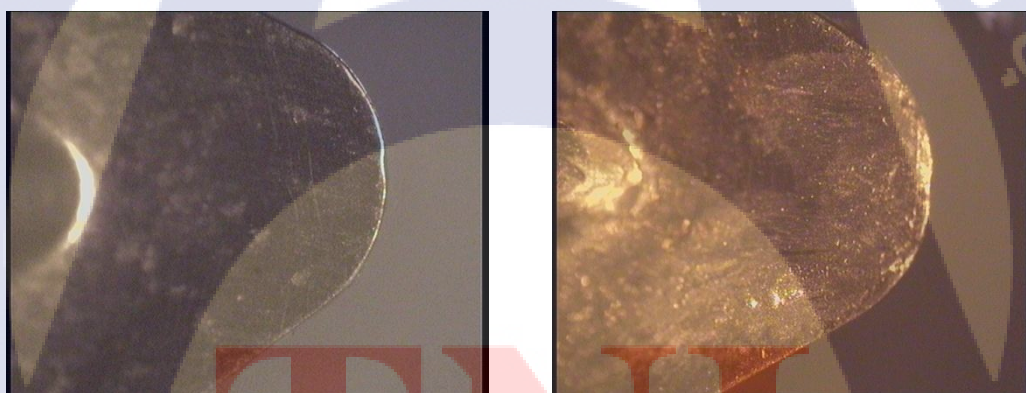
ตาราง ก.2 บันทึกผลค่าความหยาบผิวชิ้นงานทดลอง 2 (ต่อ)

condition	cutting Speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)	Ra (μm)				Ra (μm)
				Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average	
27	120	0.25	0.5	1.392	1.392	1.411	1.398	1.398
28	120	0.1	0.5	0.398	0.41	0.397	0.402	0.402
29	90	0.4	0.5	1.856	1.841	1.832	1.843	1.843
30	120	0.4	0.5	1.852	1.849	1.837	1.846	1.846
31	120	0.25	0.5	1.321	1.322	1.346	1.330	1.330
32	60	0.1	0.5	0.406	0.4	0.403	0.403	0.403
33	60	0.4	0.5	1.825	1.839	1.884	1.849	1.849
34	90	0.1	0.5	0.39	0.381	0.387	0.386	0.386
35	90	0.25	0.5	1.36	1.347	1.333	1.347	1.347
36	60	0.25	0.5	1.321	1.334	1.328	1.328	1.328
37	60	0.4	0.5	1.933	1.913	1.914	1.920	1.920
38	120	0.4	0.5	1.95	1.922	1.932	1.935	1.935
39	90	0.4	0.5	1.912	1.934	1.936	1.927	1.927
40	90	0.1	0.5	1.941	1.923	1.92	1.928	1.928
41	120	0.25	0.5	1.491	1.491	1.476	1.486	1.486
42	60	0.1	0.5	0.325	0.296	0.304	0.308	0.308
43	90	0.25	0.5	1.514	1.483	1.474	1.490	1.490
44	120	0.1	0.5	0.316	0.48	0.313	0.370	0.370
45	60	0.25	0.5	1.478	1.491	1.504	1.491	1.491

สภาพการใช้เม็ดมิตคาร์ไบด์ก่อนใช้และหลังใช้

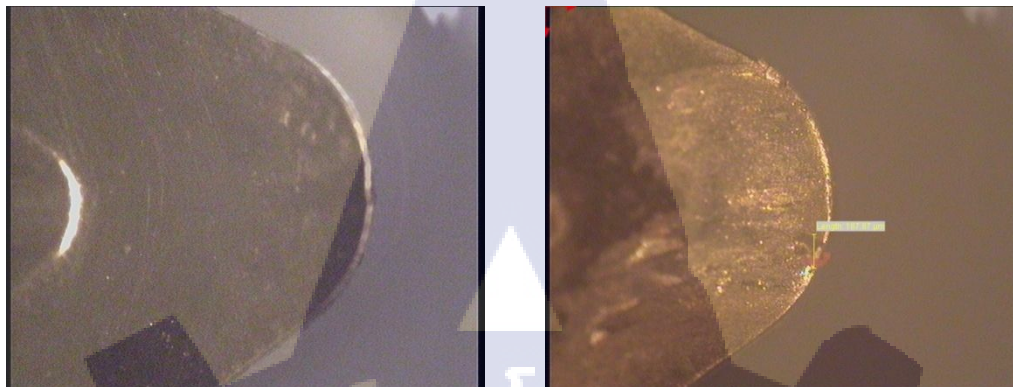


รูปที่ ก.1 สภาพเม็ดมิตคาร์ไบด์ก่อนใช้งานที่ Condition 1-9 ที่ Cutting Speed 60 90 120 (m/min) Feed Rate 0.1 0.25 0.4 (mm/rev) Depth of Cut 0.5 (mm) คงที่ พบว่า หลังจากการใช้งานเศษชิ้นงานอลูมิเนียมติดที่ปลายมุมมิตคาร์ไบด์โดยที่เม็ดไม่เกิดการเสียหายในการกลึงปอกอลูมิเนียม เกรด 6063

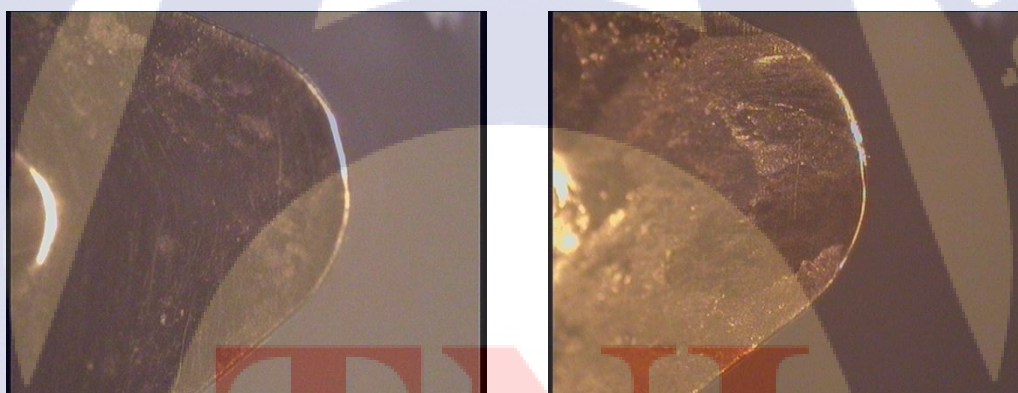


รูปที่ ก.2 สภาพเม็ดมิตคาร์ไบด์ก่อนใช้งานที่ Condition 10-18 ที่ Cutting Speed 60 90 120 (m/min) Feed Rate 0.1 0.25 0.4 (mm/rev) Depth of Cut 0.5 (mm) คงที่ พบว่า หลังจากการใช้งานเศษชิ้นงานอลูมิเนียมติดที่ปลายมุมมิตคาร์ไบด์กระจายตัวปานกลาง โดยที่เม็ดไม่เกิดการเสียหายในการกลึงปอกอลูมิเนียม เกรด 6063

สภาพการใช้เม็ดมิดคาร์ไบด์ก่อนใช้และหลังใช้

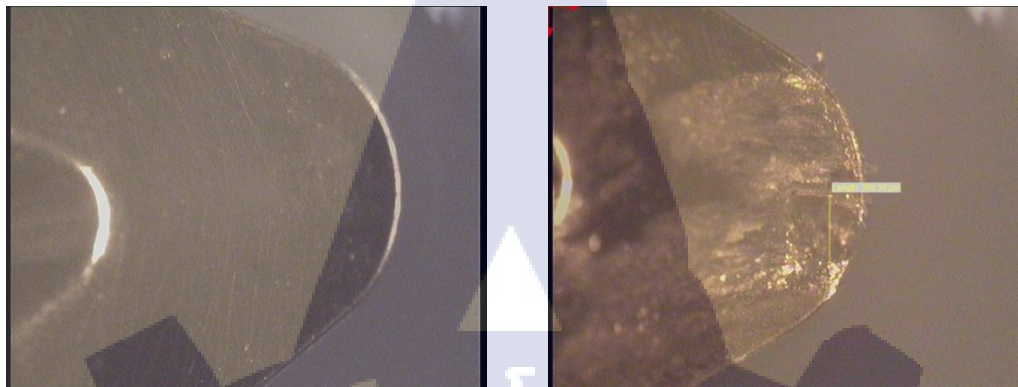


รูปที่ ก.3 สภาพเม็ดมิดคาร์ไบด์ก่อนใช้งานที่ Condition 19-27 ที่ Cutting Speed 60 90 120 (m/min) Feed Rate 0.1 0.25 0.4 (mm/rev) Depth of Cut 0.5 (mm) คงที่ พบว่า หลังจากการใช้งานเศษชิ้นงานอลูมิเนียมติดที่ปลายมุมมิดคาร์ไบด์มีการกระจายตัวเล็กน้อยโดย ที่มิดไม่เกิดการเสียหายในการกลึงปอกอลูมิเนียม เกรด 6063



รูปที่ ก.4 สภาพเม็ดมิดคาร์ไบด์ก่อนใช้งานที่ Condition 28-36 ที่ Cutting Speed 60 90 120 (m/min) Feed Rate 0.1 0.25 0.4 (mm/rev) Depth of Cut 0.5 (mm) คงที่ พบว่า หลังจากการใช้งานเศษชิ้นงานอลูมิเนียมติดที่ปลายมุมมิดคาร์ไบด์มีการกระจายตัว เล็กน้อยโดยที่มิดไม่เกิดการเสียหายในการกลึงปอกอลูมิเนียม เกรด 6063

สภาพการใช้เม็ดมิดคาร์ไบด์ก่อนใช้และหลังใช้



รูปที่ ก.5 สภาพเม็ดมิดคาร์ไบด์ก่อนใช้งานที่ Condition 37-45 ที่ Cutting Speed 60 90 120 (m/min) Feed Rate 0.1 0.25 0.4 (mm/rev) Depth of Cut 0.5 (mm) คงที่ พบว่า หลังจากการใช้งานเศษชิ้นงานอลูมิเนียมติดที่ปลายมุมมิดคาร์ไบด์มากโดยที่เม็ดไม่เกิดการเสียหายในการกลึงปอกอลูมิเนียม เกรด 6063

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ภาคผนวก ข.
ข้อมูลของเม็ดเงินติดลิ้งและด้ามติดลิ้ง

TNI

1	2	3	4	5	6	7	8
T	N	M	G	16	04	08	HM

1 Insert Shape

C	D	E	K
L	R	S	T
V	W		

2 Relief Angle

B	C	D	E
F	N	P	
Special			
O			

3 Tolerance

Class	d	m	t
A	± 0.025	± 0.025	± 0.025
C	± 0.025	± 0.013	± 0.025
H	± 0.013	± 0.013	± 0.025
E	± 0.025	± 0.025	± 0.025
G	± 0.025	± 0.025	± 0.13
J	$\pm 0.05 - \pm 0.15$	± 0.025	± 0.025
K	$\pm 0.05 - \pm 0.15$	± 0.013	± 0.025
L	$\pm 0.05 - \pm 0.15$	± 0.025	± 0.025
M	$\pm 0.05 - \pm 0.15$	$\pm 0.05 - 0.20$	± 0.13
U	$\pm 0.05 - \pm 0.25$	$\pm 0.13 - 0.38$	± 0.13

■ Tolerance on C,H,R,T,W class (exceptional case)

d	Tolerance on d		Tolerance on m	
	M,N	U	M,N	U
6.35	± 0.05	± 0.05	± 0.05	± 0.13
9.525	± 0.05	± 0.05	± 0.05	± 0.13
12.7	± 0.05	± 0.13	± 0.13	± 0.20
15.875	± 0.10	± 0.15	± 0.15	± 0.27
19.05	± 0.10	± 0.15	± 0.15	± 0.27
25.4	± 0.15	± 0.25	± 0.15	± 0.38

■ Tolerance on D class (exceptional case)

d	Tolerance on d		Tolerance on m	
	M,N	U	M,N	U
6.35	± 0.05	± 0.05	± 0.11	± 0.11
9.525	± 0.05	± 0.05	± 0.11	± 0.11
12.7	± 0.05	± 0.05	± 0.15	± 0.15
15.875	± 0.10	± 0.10	± 0.15	± 0.15
19.05	± 0.10	± 0.10	± 0.15	± 0.15

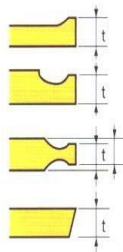
4 Cross Section Type

A	B
C	F
G	H
J	M
N	Q
R	T
U	W
Special type	
Y	

5 Cutting Edge Length, Diameter of Inscribed circle

Symbol		Metric		Inch		IC	
C	D	S	T	B	V	W	IC
03	04	03	03	03	-	02	1.2(5)
04	05	04	04	04	08	03	1.5(6)
05	06	05	05	05	09	03	1.8(7)
06	07	06	11	06	11	04	2
08	09	07	13	07	13	05	2.5
09	11	09	16	09	16	06	3
11	13	11	19	11	19	07	3.5
12	15	12	22	12	22	08	4
14	17	14	24	14	24	09	4.5
16	19	15	27	15	27	10	5
17	21	17	30	17	30	11	5.5
19	23	19	33	19	33	13	6
22	27	22	38	20	38	15	7
25	31	25	44	25	44	17	8
32	38	32	54	31	54	21	10
-	-	-	-	32	-	-	-

6 Height of Cutting Edge



Symbol	Height of Cutting Edge (t)			
	Metric	Inch	mm	Inch
-	-	0.5(1)	0.79	1/32
T0	0.6	1.00	0.040	
01	1(2)	1.59	1/16	
T1	1.2	1.98	5/64	
02	1.5(3)	2.38	3/32	
03	2	3.18	1/8	
T3	2.5	3.97	5/32	
04	3	4.76	3/16	
05	3.5	5.56	7/32	
06	4	6.35	1/4	
07	5	7.94	5/16	
09	6	9.52	3/8	
11	7	11.11	7/16	
12	8	12.70	1/2	

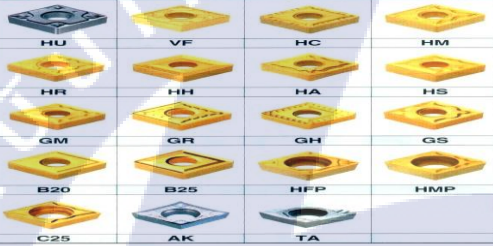
• () Symbol for small size insert

7 Nose Radius (Nose R)



Symbol	Corner Radius			
	Metric	Inch	mm	Inch
01	0	0.1	0.004	
02	0.5	0.2	0.008	
04	1	0.4	1/64	
08	2	0.8	1/32	
12	3	1.2	3/64	
16	4	1.6	1/16	
20	5	2.0	5/64	
24	6	2.4	3/32	
28	7	2.8	7/64	
32	8	3.2	1/8	
00	-	Round insert(Inch)		
M0	-	Round insert(Metric)		

8 Chip Breaker for Turning



WNMG-HA

USE Aluminum Cutting
Recommendation
HA $\phi = 0.5-5.0\text{mm}$
 $f = 0.05-0.5\text{mm/rev}$

Geometry

Available Holder	Designation	ASA	Coated Carbide	Cermet	Uncoated Carbide	l	d	t	r
PWLNRL	WNMG 160404-HA	331	•	•	•	6.5	9.525	4.76	0.4
WWLNRL	060408-HA	332	•	•	•	6.5	9.525	4.76	0.8
	080404-HA	431	•	•	•	8.7	12.7	4.76	0.4
	080408-HA	432	•	•	•	8.7	12.7	4.76	0.8
	080412-HA	433	•	•	•	8.7	12.7	4.76	1.2

VNM(G)-HA

USE Aluminum Cutting
Recommendation
HA $\phi = 0.5-5.0\text{mm}$
 $f = 0.05-0.5\text{mm/rev}$

Geometry

Available Holder	Designation	ASA	Coated Carbide	Cermet	Uncoated Carbide	l	d	t	r
MVJNRL	VNMG 160408-HA	332	•	•	•	16.6	9.525	4.76	0.8
	160404-HA	331	•	•	•	16.6	9.525	4.76	0.4
	160408-HA	332	•	•	•	16.6	9.525	4.76	0.8

TNMG-HA

USE Aluminum Cutting
Recommendation
HA $\phi = 0.5-5.0\text{mm}$
 $f = 0.05-0.5\text{mm/rev}$

Geometry

Available Holder	Designation	ASA	Coated Carbide	Cermet	Uncoated Carbide	l	d	t	r
PTJNRL	TNMG 160404-HA	331	•	•	•	16.5	9.525	4.76	0.4
PTJNRL	160408-HA	332	•	•	•	16.5	9.525	4.76	0.8
PTJNRL	220408-HA	432	•	•	•	22.0	12.7	4.76	0.8
WTJNRL			•	•	•				

WTXNR/L

Ref: Holder Style Application Available Inserts Parts

Comment: X style, Lead angle 105° Turning, Facing, Copy

Designation	Stock	H	W	L'	S'	h	l
WTXNR/L 2020-K16	•	20	20	125	25	20	30
2525-M16	•	25	25	150	30	25	33
3232-P16	•	32	32	170	40	32	33

Available Inserts: TN 1604

Parts: Wiper, Clamp, Screw, Riser, Ring, Shim, Pin, Nut, Washer

WTJNR/L

Ref: Holder Style Application Available Inserts Parts

Comment: J style, Lead angle 93° Turning, Facing, Copy

Designation	Stock	H	W	L'	S'	h	l
WTJNR/L 2020-K16	•	20	20	125	25	20	30
2525-M16	•	25	25	150	30	25	33
3232-P16	•	32	32	170	40	32	33
2525-M22	•	25	25	190	30	25	38
3232-P22	•	32	32	170	40	32	33

Available Inserts: TN 1604, TN 2204

Parts: Wiper, Clamp, Screw, Riser, Ring, Shim, Pin, Nut, Washer

ภาคผนวก ค.
ข้อมูลของเครื่องกลึง CNC

TNI

Item details	
Name	OKUMA LCS15-1SC CNC Lather
Item No.	90544
Manufacturer	OKUMA
Model/Type	LCS 15-1SC
Year of manufacture	1997
Item available from	at once
Item location	Switzerland
Delivery	ex foundation
Payment terms	100% payment prior to collection

Technical-details	
turning-diameter	270-mm
turning-length	280-mm
control	OSP-700L
Tool changer positions	8
number of controller axles	2
spindle bore	62 mm
cross slide travel	155 mm
longitudinal slide travel	320 mm
turning speed range	75 - 300 rpm
feed range	0.001 - 1000 mm/r
rapid travel range	20 m/min
total power requirement	ca 13,5 kW
weight approx	2800 kg
dimension of the machine l/w/h	1,87 x 1,66 x 1,63 m