บทที่ 3

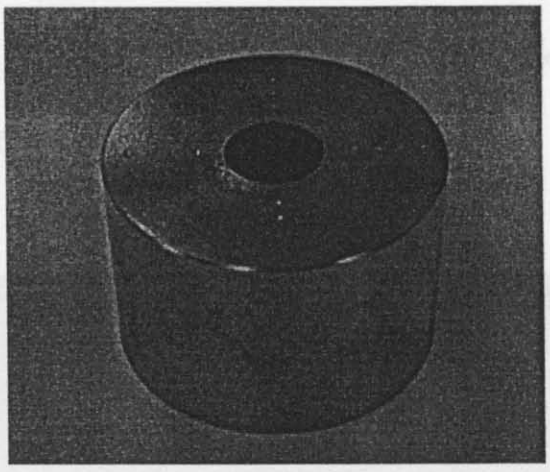
วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experiments research) เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีผลต่อการกลึงเหล็กหล่อเทาด้วยคาร์ไบด์และเซรามิก ในการทดลองได้ใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.1 วัสดุชิ้นงานและใบมีดตัด

3.1.1 ชิ้นงานเหล็กหล่อเทา

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กหล่อเทา FC 30 ตามมาตรฐาน JIS G5501 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความยาว 50 มิลลิเมตร (ดูภาพประกอบที่ 3.1)

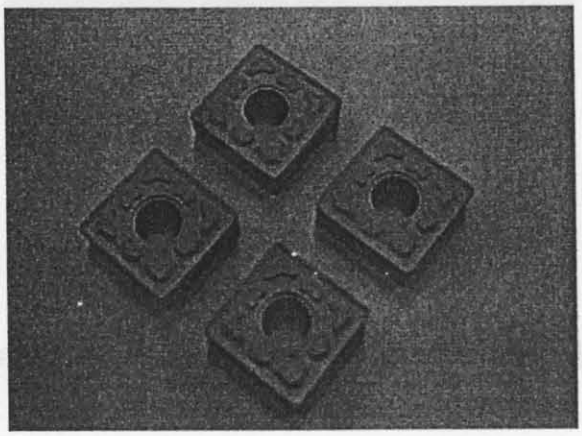


ภาพประกอบที่ 3.1 แสดงชิ้นงานเหล็กหล่อเทา FC 30

3.1.2 **ใบมีดตัด**

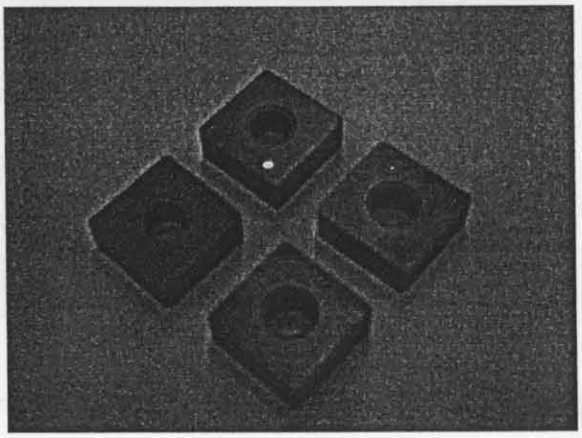
ในการทดลองครั้งนี้ได้เลือกใช้ใบมีดที่นิยมใช้ในการตัดเหล็กหล่อเทาโดยทั่วไปในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้มีด 2 ชนิด คือ ใบมีดคาร์ไบด์เคลือบและใบมีดเซรามิก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.2.1 ใบมีดคาร์ไบด์เคลือบชนิด TiN-Al_2O_3-TiCN มุมเงย (Rake angle), r = -6 $^{\circ}$ และรัศมีมุมมีด (Nose radius), r_ε = 0.8 mm. (ดูภาพประกอบที่ 3.2)



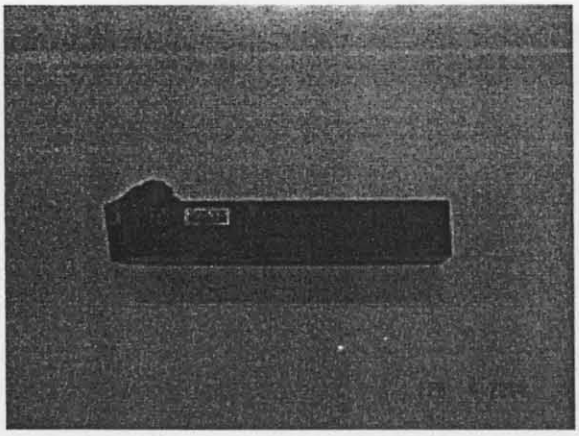
ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงใบมีดคาร์ไบด์เคลือบผิว TiN-Al_2O_3-TiCN

3.1.2.2 ใบมีดเซรามิก Si_3N_4 มุมเงย (Rake angle), r = -6 $^{\circ}$ และรัศมีมุมมีด (Nose radius), r_ε = 0.8 mm. (ดูภาพประกอบที่ 3.3)



ภาพประกอบที่ 3.3 แสดงใบมีดเซรามิก Si_3N_4

3.1.2.2 ด้ามมีด SANDVIK Coromant รหัส DSDNN 2525M12-2 (ดูภาพประกอบที่ 3.4)



ภาพประกอบที่ 3.4 แสดงด้ามมีดที่ใช้ในการจับยึดใบมีด

3.2 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

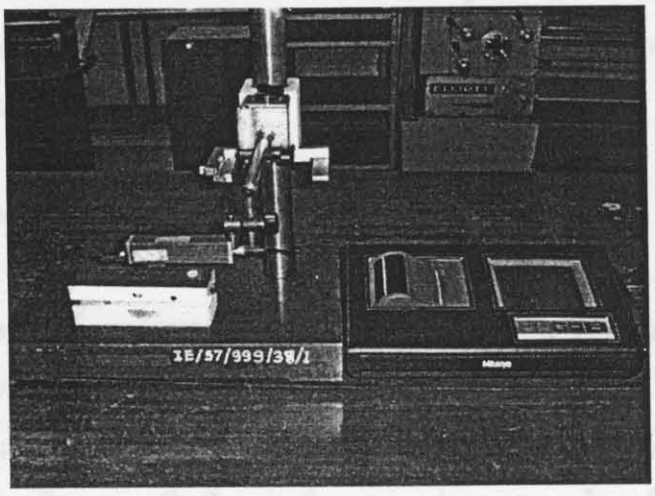
3.2.1 เครื่องกลึงอัตโนมัติ CNC ยี่ห้อ Cincinnati รุ่น Hawk 150 ปรับอัตราความเร็วรอบที่ใช้งานได้เท่ากับ 5,500 รอบ/นาที (ดูภาพประกอบที่ 3.5)

ภาพประกอบที่ 3.5 แสดงเครื่องกลึงอัตโนมัติ CNC ยี่ห้อ Cincinnati

3.2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน SEM (Scanning electron microscopy) รุ่น JSM – 5800LV ใช้ในการส่องดูเม็ดมีด ก่อนการกลึงและหลังการกลึงเพื่อเปรียบเทียบดูการสึกหรอของใบมีด (ดูภาพประกอบที่ 3.6)

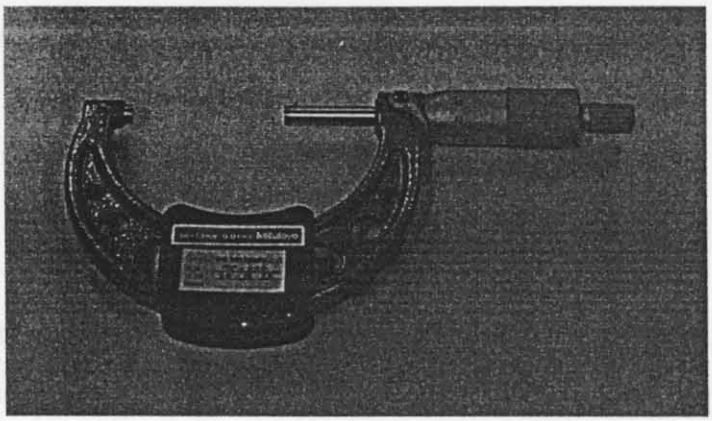
ภาพประกอบที่ 3.6 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน SEM

3.2.3 เครื่องวัดความขรุขระพื้นผิว (Surface roughness)ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-301 เป็นเครื่องวัดความขรุขระชนิดเข็มลากผ่านผิวสำเร็จของชิ้นงาน ใช้วัดความขรุขระพื้นผิวชิ้นงานที่ผ่านการกลึง (ดูภาพประกอบที่ 3.7)



ภาพประกอบที่ 3.7 แสดงเครื่องวัดความขรุขระพื้นผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ – 301

3.2.4 ไมโครมิเตอร์(Micrometer) ยี่ห้อ Mitutoyo OM – 75 ขนาดการวัด 50-75 มิลลิเมตร ค่าความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ใช้วัดขนาดของชิ้นงานก่อนและหลังการกลึง (ดูภาพประกอบที่ 3.8)



ภาพประกอบที่ 3.8 แสดงไมโครมิเตอร์ยี่ห้อ Mitutoyo

3.3 วิธีการดำเนินการศึกษา

ในการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหลักในการกลึงเหล็กหล่อเทาด้วยใบมีดคาร์ไบด์และเซรามิก ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกจะทำการทดลองเบื้องต้น ขั้นตอนต่อไปจะเป็นดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลตามที่ได้ปรับค่าตัวแปรเพื่อหาค่าความขรุขระพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานและขั้นตอนสุดท้ายทำการทดลองเพื่อวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

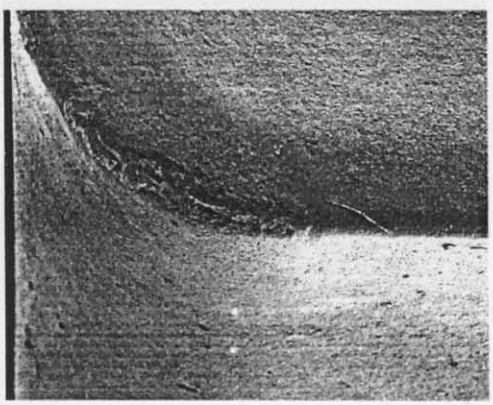
3.3.1 การทดลองเบื้องต้น

การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นให้ทราบแนวทางที่เหมาะสมของการทดลอง เช่น ทำให้ทราบขอบเขตค่าสูงสุดและต่ำสุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ความเร็วตัด อัตราป้อนและความลึกในการป้อนเพื่อให้ครอบคลุมสภาวะที่ใช้งานจริง และไม่ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเกิดความชำรุดเสียหาย ซึ่งเมื่อทราบถึงขอบเขตค่าสูงสุดและต่ำสุดที่เหมาะสมของค่าตัวแปรแต่ละตัวแล้ว จะนำค่าดังกล่าวมาทำการทดลองแบบเปลี่ยนตัวแปรทีละตัว เพื่อหาข้อสรุปถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน และปรับค่าตัวแปร

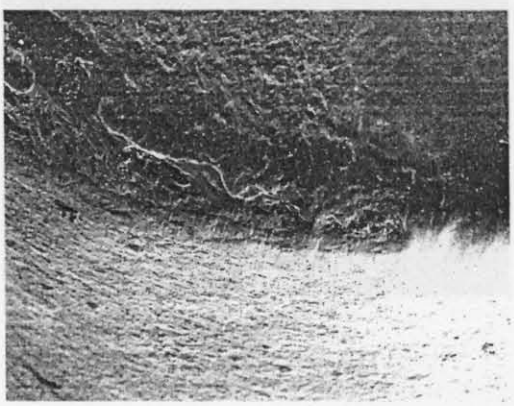
เพื่อหาค่าความขรุขระพื้นผิว และความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยในการทดลอง ได้ปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ของตัวแปรที่มีผล และนอกจากนี้ยังได้มีการปรับค่าตัวแปรบางตัวคงที่ โดยกำหนดตัวแปรที่ทำการทดลอง 3 ตัวแปร คือ ความเร็วตัด 3 ระดับ คือ 100,150 และ 200 m/min อัตราป้อน 3 ระดับ คือ 0.1,0.3 และ 0.5 mm/rev ความลึกในการตัด 0.5 และ 1 mm

3.3.1.1 การทดลองครั้งที่ 1 ได้ปรับตั้งค่า ความเร็วตัดที่ 200 m/min ตั้งค่าความลึกในการตัดที่ 0.5 mm และอัตราป้อน 2 ระดับ

	Level 1	Level 2
Cutting speed (m/min)	200	200
Feed (mm/rev)	0.1	0.5
Depth of cut (mm)	0.5	0.5



× 100



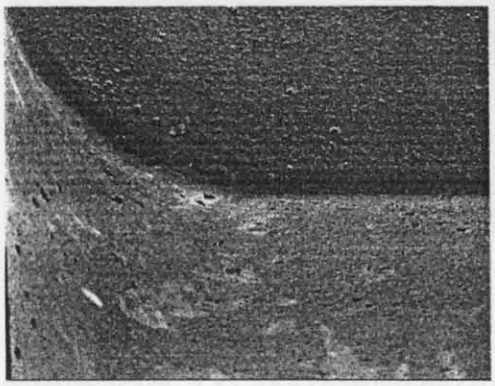
× 300

ภาพประกอบที่ 3.9 แสดงภาพถ่ายของใบมีดที่ Cutting speed = 200 m/min, Feed = 0.5 mm/rev, Depth of cut = 0.5 mm

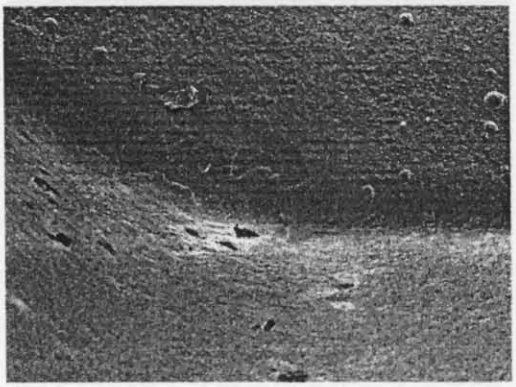
จากการทดลองพบว่าใบมีดมีรอยไหม้และเกิดการสึกหรอเกิดขึ้น (ดูภาพประกอบที่ 3.9) แสดงให้เห็นว่าค่าตัวแปรบางตัวที่ได้กำหนดไว้ในเบื้องต้นมีค่าที่สูงเกินไปจึงจำเป็นจะต้องปรับค่าตัวแปรในการทดลองให้ต่ำลงอีก

3.3.1.2 การทดลองครั้งที่ 2 ได้ปรับค่าตัวแปรของอัตราป้อนและความลึกในการตัดต่ำลงอีกเพราะว่าใบมีดยังเกิดการสึกหรอ โดยที่ค่าอัตราป้อนจะทำการปรับลดลงที่ค่าไม่เกิน 0.1 mm/rev และความลึกในการตัดทำการปรับลดลงที่ค่าไม่เกิน 0.3 mm ส่วนค่าความเร็วตัดยังคงค่าเดิม โดยกำหนดให้ค่าความเร็วตัดที่ 200 m/min ความลึกในการตัดที่ 0.3 mm และอัตราป้อน 2 ระดับ

	Level 1	Level 2
Cutting speed (m/min)	200	200
Feed (mm/rev)	0.04	0.1
Depth of cut (mm)	0.3	0.3



× 100



× 300

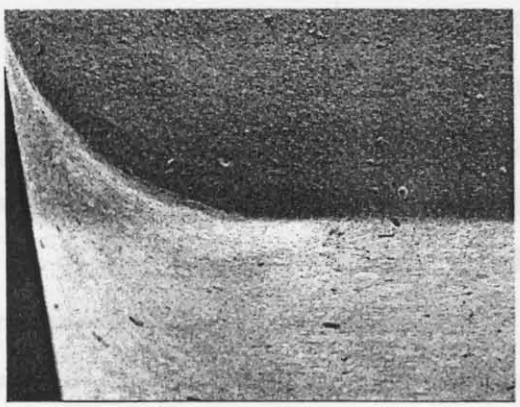
ภาพประกอบที่ 3.10 แสดงภาพถ่ายของใบมีดที่ Cutting speed = 200 m/min, Feed = 0.1 mm/rev, Depth of cut = 0.3 mm

จากการทดลองพบว่าใบมีดมีรอยไหม้และเกิดการสึกหรอลดลง (ดูภาพประกอบที่ 3.10) จากการทดลองครั้งที่ 1 แต่ก็ยังมีสภาพการสึกหรอเกิดขึ้นบางเล็กน้อยซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าตัวแปรบางตัวที่ทำการทดลองยังมีค่าที่สูงจึงจำเป็นจะต้องปรับค่าตัวแปรในการทดลองต่ำลงอีก

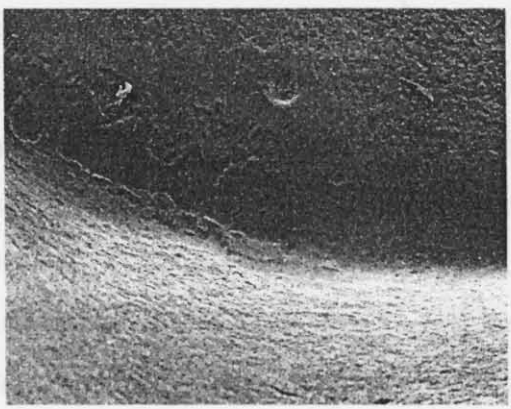
3.3.1.3 การทดลองครั้งที่ 3 ได้ปรับค่าอัตราป้อนลดลงอีก เนื่องจากการทดลองครั้งที่ 2 ใบมีดยังเกิดการสึกหรอบ้างเล็กน้อย เพื่อเป็นการลดการสึกหรอของใบมีดจึงทำการปรับค่าอัตราป้อนลดลงอีกจาก 0.1 mm/rev เป็น 0.08 mm/rev ส่วนค่าความเร็วตัดและความลึกในการป้อน

ยังคงค่าเดิมจากการทดลองครั้งที่ 2 โดยกำหนดให้ความเร็วตัดที่ 200 m/min ความลึกในการตัดที่ 0.3 mm และอัตราป้อน 2 ระดับ

	Level 1	Level 2
Cutting speed (m/min)	200	200
Feed (mm/rev)	0.04	0.08
Depth of cut (mm)	0.3	0.3



× 100



× 300

ภาพประกอบที่ 3.11 แสดงภาพถ่ายของใบมีดที่ Cutting speed = 200 m/min, Feed = 0.08 mm/rev, Depth of cut = 0.3 mm

จากการทดลองพบว่าใบมีดไม่มีรอยไหม้และสึกหรอเกิดขึ้น และยังคงสภาพค่อนข้างสมบูรณ์ (ดูภาพประกอบที่ 3.11) สามารถที่จะสรุปในเบื้องต้นได้ว่า ค่าตัวแปรที่จะใช้ในการทดลองมีค่าตัวแปรไม่เกินที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 3

3.3.1.4 ทำการทดลองเพื่อศึกษาแนวโน้มของปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงานเป็นการศึกษาเบื้องต้น เพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน ในการออกแบบการทดลองได้กำหนดตัวแปรที่ทำการทดลอง 3 ตัวแปร คือ ค่าความเร็วตัด (cutting speed) อัตราป้อนชิ้นงาน (feed) และความลึกในการตัด (depth of cut) ในการกำหนดค่าของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองอ้างอิงจากขอบเขตของการทดลองที่ได้ทำการทดลองเบื้องต้น และจาก

ความสามารถของเครื่องจักรที่มีอยู่โดยเครื่องจักรไม่เสียหายซึ่งแต่ละตัวแปรกำหนดให้มี 2 ระดับ ดังนี้

	High	Low
Cutting speed (m/min)	200	100
Feed (mm/rev)	0.08	0.04
Depth of cut (mm)	0.3	0.1

จากการทดลองพบว่าเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้นค่าความขรุขระจะลดลง ในขณะที่อัตราป้อนและความลึกในการป้อนเพิ่มขึ้นค่าความขรุขระจะเพิ่มขึ้น ส่วนความเร็วตัดไม่สามารถปรับค่าให้สูงกว่า 200 m/min เพราะเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถปรับว่าให้สูงกว่านี้ได้ ฉะนั้นจะต้องทำการทดลองกับเครื่องจักรที่สามารถปรับค่าของความเร็วตัดได้สูงขึ้นมากกว่า 200 m/min

จากทดลองเบื้องต้นสามารถที่จะสรุปได้ว่า ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองมีค่าไม่เกินที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 3 คือ อัตราป้อนไม่เกิน 0.1 mm/rev ความลึกในการป้อนไม่เกิน 0.3 mm ส่วนความเร็วตัด ไม่สามารถปรับค่าให้สูงกว่า 200 m/min เพราะว่าเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถปรับว่าให้สูงมากกว่านี้ได้ จะต้องทำการทดลองกับเครื่องจักรอื่นที่สามารถปรับค่าความเร็วตัด ให้สูงกว่า 200 m/min

3.3.2 การดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

ในขั้นตอนนี้ต้องนำผลการทดลองเบื้องต้นมาประกอบ เพื่อกำหนดขนาดของตัวแปรต่างๆที่เหมาะสม โดยอ้างอิงจากขอบเขตของการทดลองที่ได้ระบุไว้ตั้งแต่ต้น จากคู่มือต่างๆและจากความสามารถของเครื่องจักรที่มีอยู่โดยที่เครื่องจักรไม่เสียหาย ในการดำเนินการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลนั้น ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลออกเป็นหลายส่วนด้วยกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

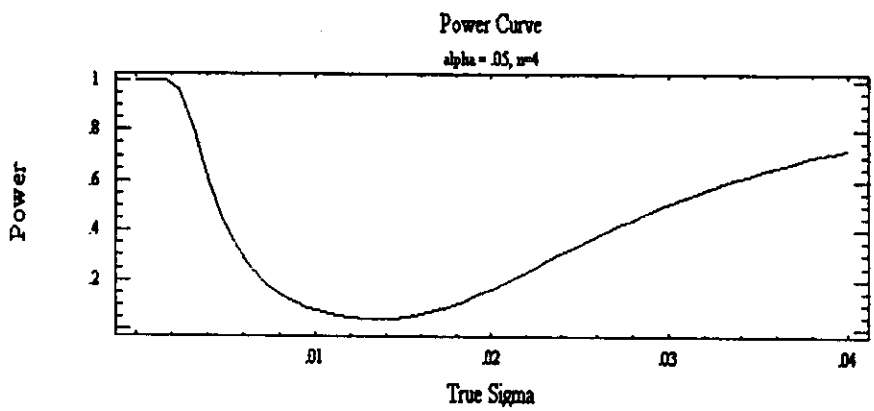
3.3.2.1 ในการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีผลต่อค่าค่าความขรุขระพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน ในการกลึงเหล็กหล่อเทาด้วยใบมีดคาร์ไบด์และเซรา-มิก ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล แบบ 3^3 (Factorial Design)โดยกำหนดตัวแปรในการทดลองไว้ 3 ตัวแปร คือ ค่าความเร็วตัด ในการกำหนดค่าของตัวแปรความเร็วตัดได้

กำหนดตามคู่มือการเลือกใช้วัสดุใบมีด ส่วนค่าอัตราป้อนชิ้นงาน และความลึกในการตัดกำหนดจากทดลองเบื้องต้นที่ได้ทำการจะสรุปไว้ว่า ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองมีค่าไม่เกินที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 3 คือ อัตราป้อนไม่เกิน 0.1 mm/rev ความลึกในการป้อนไม่เกิน 0.3 mm ซึ่งแต่ละตัวแปรกำหนดให้มี 3 ระดับ ดังนี้

	Level 1	Level 2	Level 3
Cutting Speed(m/min)	250	400	550
Feed (mm/rev)	0.02	0.06	0.1
Depth (mm.)	0.1	0.2	0.3

3.3.2.2 การหาค่าจำนวนทำซ้ำ (Replicate) ในการหาค่าจำนวนที่ต้องทำซ้ำโดยการใช้โปรแกรม Statgraphics Plus for Windows Version 4 ได้ค่าดังนี้ (ดูภาพประกอบที่ 3.12)

Parameter to be estimated : normal sigma



Desired power 95 % for sigma = 0.02, Type of alternative : not equal,

Alpha risk : 5%.The required sample size is n = 4 observation.

The Statadvisor

This procedure determines the sample size required when estimating the standard deviation of normal distribution. 4 observations are required to have a 95.0% chance of rejecting the hypothesis that sigma = 0.02

ภาพประกอบที่ 3.12 แสดงค่า n จาก Power Curve

การออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design แบบ 3^3 โดยการใช้โปรแกรม MINITAB ในการทดลองใช้ค่า n = 4 ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการออกแบบการทดลองจากโปรแกรม MINITAB

Multilevel Factorial Design

Factors:	3	Replicates:	4
Base runs:	27	Total runs:	108
Base blocks:	1	Total blocks:	4

Number of levels: 3, 3, 3

3.3.2.3 วิธีการทดลอง

ก. เตรียมชิ้นงานให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 75 มิลลิเมตร และยาว 50 มิลลิเมตร นำมาเจาะรูที่ศูนย์กลางและทำการรีมเมอร์เพื่อประกอบอัดเข้ากับเพลากลมรูปเรียว (Mandrel) ให้พร้อมที่จะติดตั้งบนเครื่องกลึง

ข. ทำการทดลองกลึงชิ้นงานด้วยใบมีดชนิดเดียวกันที่สภาวะการตัดต่างๆกัน โดยวิธีการสุ่มสภาวะการตัดจากค่าความเร็วตัด 3 ระดับ ความลึกในการตัด 3 ระดับ และอัตราการป้อนมีด 3 ระดับ โดยขั้นตอนการทดลองเป็นดังนี้

(1) สุ่มหยิบชิ้นงาน(เหล็กหล่อเทา)มา 1 ชิ้น ทำการกลึงปอกผิว และวัดค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ณ ตำแหน่งที่กำหนด 3 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกัน 120 องศา จะใช้ไมโครมิเตอร์วัดที่ระยะกลึง 20 มิลลิเมตร ในการวัดค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง กำหนดไว้ 3 ตำแหน่ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

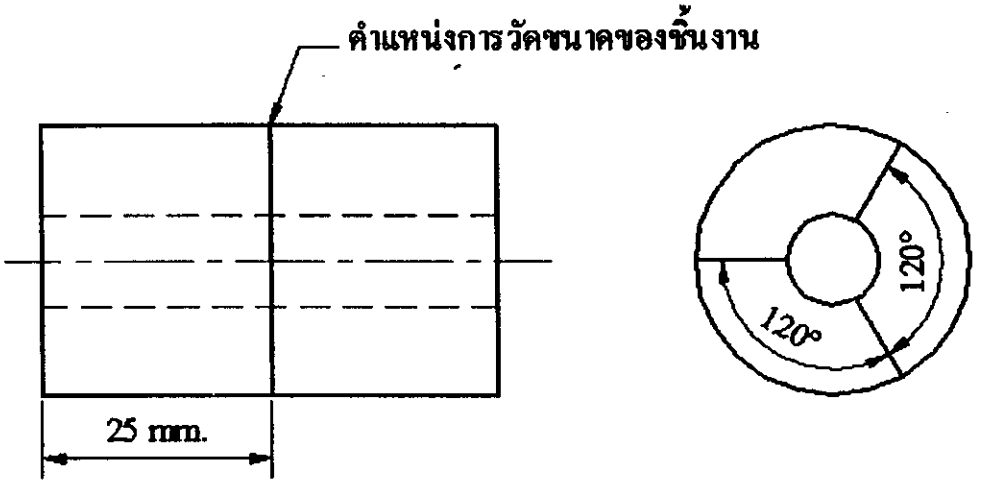
(2) เลือกสภาวะการตัดโดยการสุ่ม ค่าความเร็วในการตัด ค่าความลึกในการตัด และอัตราการป้อนมีด จาก 27 สภาวะการตัดที่กำหนดไว้แล้ว และทำการกลึงชิ้นงานตลอดความยาวของชิ้นงานเป็นระยะทาง 50 มิลลิเมตร

(3) ถอดชิ้นงานออกจากเครื่องกลึง เพื่อทำการวัดค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และค่าความขรุขระ

(4) ทำการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานโดยกำหนดตำแหน่งที่จะทำการวัดค่ากำหนดไว้ 3 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกัน 120 องศา จะใช้ไมโครมิเตอร์วัดที่ระยะกลึง 20 มิลลิเมตร โดยทำการวัดขนาดก่อนกลึงและหลังกลึง ที่จุดเดียวกัน และทำการวัด 3

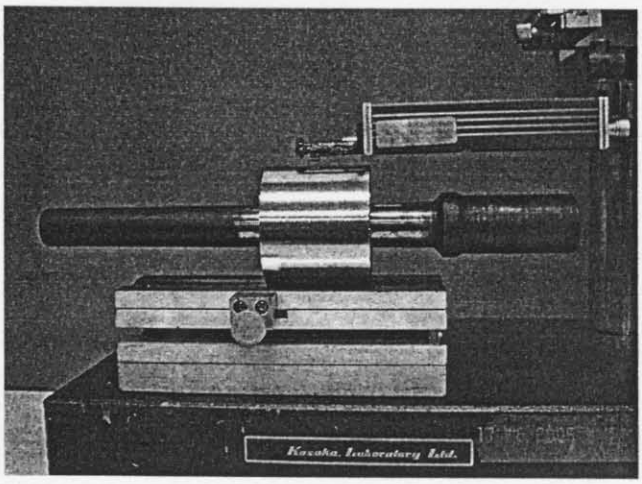
ตำแหน่งเพื่อหาค่าเฉลี่ย(ดูภาพประกอบที่ 3.13) โดยที่ ความคลาดเคลื่อนขนาด = ขนาดที่คาดว่าจะเป็น – ขนาดจริงจากการทดลอง

Dimensional error = Expected Dimension – Actual Dimension



ภาพประกอบที่ 3.13 แสดงตำแหน่งการวัดค่าขนาดของชิ้นงาน

(5) ทำการวัดค่าความขรุขระพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความขรุขระ Mitutoyo SJ-301 โดยกำหนดตำแหน่งที่จะทำการวัดค่ากำหนดไว้ 3 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกัน 120 องศา ที่ระยะกลึง 20 มิลลิเมตร ค่าที่ทำการวัดคือ R_a, R_q และ R_t ซึ่งในการวัดค่าความขรุขระพื้นผิวกำหนดไว้ 3 ตำแหน่ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย (ดูภาพประกอบที่ 3.14)



ภาพประกอบที่ 3.14 แสดงตำแหน่งการวัดค่าความขรุขระพื้นผิว

(6) สุ่มหยิบชิ้นงานชิ้นใหม่มา 1 ชิ้น และทำการทดลอง เช่นเดียวกับข้อ (1) - (5)

3.3.3 การทดลองเพื่อวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

เป็นการทดลองเพื่อยืนยันว่าผลจากการทดลองให้ผลที่สอดคล้องกันกับการพยากรณ์ โดยทำการสุ่มสภาวะการทดลองที่อยู่ในขอบเขตที่ทำการทดลองแล้วนำผลที่ได้จากการพยากรณ์มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

การทดลองได้ทำการสุ่มสภาวะการทดลองที่อยู่ในขอบเขตที่ทำการทดลองเก็บข้อมูล โดยทำการสุ่มเลือกมา 6 สภาวะการทดลอง แต่ละสภาวะการทดลองทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ไม่เกิน $\pm$10% โดยมีสภาวะการทดลองที่ได้จากการสุ่มดัง ตารางที่ 3.2 - 3.3

ตารางที่ 3.2 แสดงสภาวะการทดลองของใบมีดเซรามิก

Run No.	Speed	feed	depth	R_a	R_a cal.	De.	De. cal.
1	300	0.03	0.15	0.55		0.02	
2	280	0.09	0.25	0.58		0.03	
3	420	0.05	0.28	0.50		0.03	
4	480	0.07	0.18	0.50		0.02	
5	500	0.04	0.14	0.50		0.02	
6	350	0.08	0.12	0.60		0.04	

ตารางที่ 3.3 แสดงสภาวะการทดลองของใบมีดคาร์ไบด์

Run No.	Speed	feed	depth	R_a	R_a cal.	De.	De. cal.
1	430	0.07	0.15	0.51		0.02	
2	380	0.03	0.28	0.53		0.02	
3	520	0.05	0.18	0.52		0.03	
4	320	0.09	0.22	0.59		0.03	
5	450	0.08	0.24	0.54		0.03	
6	260	0.04	0.12	0.50		0.02	