บทที่ 4
วิธีดำเนินการวิจัย

4.1. การออกแบบการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ มุ่งเน้นการออกแบบด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่นเพื่อพัฒนากระบวนการตัดของเครื่องซีเอ็นซีทั่วไปให้ดีขึ้นเป็นสาระสำคัญ โดยที่ผลตอบของการทดลอง คือ ความหยาบของผิวชิ้นงาน ดังนั้นในการทดลองจะทำการแปรผันปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงานเท่านั้น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าผิวสำเร็จของชิ้นงาน และความสึกหรอของเครื่องมือตัด สามารถจำแนกออกได้เป็น 5 ปัจจัยหลักๆ ซึ่งได้แก่

1) ปัจจัยเนื่องจากคน (Man)
2) ปัจจัยเนื่องจากเครื่องจักร (Machine)
3) ปัจจัยเนื่องจากวัตถุดิบ (Material)
4) ปัจจัยเนื่องจากสิ่งแวดล้อม (Environment)
5) ปัจจัยเนื่องจากวิธีการ (Method)

งานวิจัยนี้จะกำหนดให้ปัจจัยเนื่องจาก คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และสิ่งแวดล้อม คงที่ ปัจจัยดังกล่าวสามารถควบคุมได้ ทั้งนี้เพื่อทำการศึกษาถึงปัจจัยอันเนื่องมาจากวิธีการเป็นหลัก

จากทฤษฎีการตัดโลหะ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหยาบของผิวชิ้นงาน ซึ่งเป็นเงื่อนไขในการตัดชิ้นงาน (Cutting condition) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์การตัดชิ้นงานสามารถจำแนกได้ดังนี้

1) อัตราป้อนตัด
2) ความลึกตัด
3) ความสึกหรอของเครื่องมือตัด
4) ความเร็วตัด
5) ความถี่ในการสั่นเครื่องมือตัด

สำหรับการกำหนดระดับของปัจจัย (Level) นั้น จะกำหนดเป็นแบบคงที่ (Fixed effect model) โดยมีเกณฑ์การกำหนดระดับของปัจจัยดังนี้

ปัจจัยอัตราป้อนตัด ซึ่ง มีผลอย่างมากกับความหยาบของผิวชิ้นงาน แต่สำหรับในการวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การใช้กระบวนการตัดแบบสั่นเป็นเทคนิคในการปรับปรุงความหยาบของผิวชิ้นงาน ดังนั้น ปัจจัยนี้จะกำหนดให้คงที่ไว้ที่ 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ ตลอดทุกการทดลอง

ปัจจัยความลึกในการตัด มีผลกับแรงตัดชิ้นงาน ซึ่ง แรงตัดชิ้นงานนั้นมีต่อความเรียบของผิวชิ้นงานด้วย แต่สำหรับในการวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การใช้กระบวนการตัดแบบสั่นเป็นเทคนิคในการปรับปรุงความหยาบของผิวชิ้นงาน ดังนั้นปัจจัยนี้ จะกำหนดให้คงที่ไว้ที่ 10 ไมโครเมตร ตลอดทุกการทดลอง

ปัจจัยความสึกหรอของเครื่องมือตัด มีผลอย่างมากกับความหยาบของผิวชิ้นงาน ในความเป็นจริงแล้ว ควรจะเปลี่ยนเครื่องมือตัดใหม่ ต่อการการทดลอง 1 ครั้ง แต่เนื่องจากงบประมาณที่มีจำกัด และ ในแต่ละการทดลองไม่ได้เป็นการใช้งานจนเครื่องมือตัดมีความสึกหรออย่างมีนัยสำคัญแต่ประการใด ดังนั้นในการเก็บผลการทดลองนั้น จึงใช้เครื่องมือตัดเพียง 2 ชิ้น โดยแยกแต่ละชิ้นใช้เฉพาะตามปัจจัยความถี่ในการสั่นเครื่องมือตัดนั้นๆ สำหรับลำดับในการทำการทดลองนั้น จะสุ่มตามระดับปัจจัยต่างๆ วนซ้ำจนครบทุกการทดลอง เพื่อให้ปัจจัยความสึกหรอนั้นซึ่งมีเพียงเล็กน้อยนั้นไปเป็นปัจจัยการผิดพลาดแบบสุ่ม

ปัจจัยความเร็วรอบตัด จากทฤษฎีการตัดแบบสั่นนั้นในบทที่ 2 นั้น ทราบกันดีว่าต้องปฏิบัติการภายใต้เงื่อนไข

$$a\omega_{vibrate} > v$$

เมื่อ a คือรัศมีการสั่นของวงรีที่ขนานกับทิศทางความเร็วตัด (เมตร)

$\omega_{vibrate}$ คือ ความเร็วเชิงมุมของการสั่น (เรเดียนต่อวินาที)

v คือ ความเร็วตัด (เมตรต่อวินาที)

แต่ความเร็วตัด (v) มีค่า เท่ากับ

$$v = \omega_{turning}\mathrm{D}/2$$

เมื่อ v คือ ความเร็วตัด (เมตรต่อวินาที)

$\omega_{turning}$ คือ ความเร็วเชิงมุมของการหมุนชิ้นงาน (เรเดียนต่อวินาที)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน (เมตร)

ความเร็วเชิงมุม (ω) นั้น มีค่าเท่ากับ

$$\omega_{vibrate} = 2\pi f$$

$$\omega_{turning} = 2\pi N/60$$

เมื่อ f คือ ความถี่ที่ใช้สั่นเครื่องมือตัด (เฮิรตซ์)

N คือ ความเร็วรอบตัด (รอบต่อนาที)

เมื่อนำค่าที่ได้มาจากการออกแบบ คือ a มีค่าเท่ากับ 2 ไมโครเมตร f มีค่าเท่ากับ 400 เฮิรตซ์ D มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร แทนค่าเข้าไปในสมการและอสมการต่างๆข้างต้น จะสามารถคำนวณหาค่าความเร็วรอบตัด (N) ที่จะใช้ในการทดลองได้ ซึ่งค่าความเร็วรอบตัดที่ได้จากการคำนวณ ต้องมีค่าต่ำกว่า 4.8 รอบต่อนาที

แต่ความเร็วรอบตัดของเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้ทำการทดลองนั้น สามารถกำหนดค่าได้เป็นเลขจำนวนเต็มเท่านั้น จึงเลือกความเร็วรอบตัดที่จะใช้ทำการวิจัย คือ 4 รอบต่อนาที

เนื่องจากความเร็วรอบตัดมีผลอย่างมากต่อเวลาในการกลึงปาดหน้าชิ้นงาน ยิ่งใช้เวลาในการกลึงปาดหน้าชิ้นงานนานขึ้นเท่าไร ยิ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการกลึงมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้น การวิจัยต้องการที่จะทราบว่าความเร็วรอบตัดยิ่งช้ายิ่งทำให้ผิวสำเร็จของชิ้นงานเรียบขึ้นหรือไม่ จึงเลือกความเร็วรอบตัดที่จะใช้ทำการวิจัยคือ 2 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วตัดน้อยที่สุดเท่าที่เครื่องซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลองสามารถทำได้ และเลือก ทำการวิจัยที่ค่าความเร็วตัด 10 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วตัดที่ไม่สอดคล้องกับอสมการการตัดแบบสั่น

ฉะนั้น ปัจจัยความเร็วรอบตัด จะทำการวิจัย 3 ค่า ดังนี้คือ 10 และ 4 และ 2 รอบต่อนาที

ปัจจัยความถี่ในการสั่นเครื่องมือตัด จะทำการวิจัย 2 ค่า ดังนี้ 0 และ 400 เฮิรตซ์ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบกัน ระหว่างการตัดแบบธรรมดาซึ่งแทนโดย ความถี่ในการสั่น 0 เฮิรตซ์ และ การตัดแบบสั่น ซึ่งแทนโดยความถี่ในการตัด 400 เฮิรตซ์ซึ่งเป็นความถี่สูงสุดที่ส่วนขยายสัญญาณสามารถปฏิบัติการได้

กล่าวโดยสรุป ระดับของปัจจัยที่ทำการวิจัยในงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1) ความเร็วรอบตัด จะทำการวิจัย 3 ค่า คือ 2 4 และ 10 รอบต่อนาที
2) ความถี่ในการสั่นเครื่องมือตัด จะทำการวิจัย 2 ค่า คือ 0 และ 400 เฮิรตซ์

ผลตอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น เป็นค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (ไมโครเมตร Ra)

จากเกณฑ์การกำหนดระดับของปัจจัย ข้างต้น จะเห็นได้ว่า หากเลือกความเร็วตัด 4 และ 2 รอบต่อนาทีนั้น จะทำให้การทดลองหนึ่งๆ ใช้เวลาในการทดลองประมาณ 6 ถึง 18 ชั่วโมง ต่อหนึ่งการทดลอง ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้การทดลองนานมาก ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการทดลองก็ย่อมสูงตามไปด้วย

เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลองในครั้งนี้ คือต้องการใช้การออกแบบการทดลอง เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ว่า แนวคิดในการออกแบบด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั่นนั้น สามารถช่วยให้ความสามารถในกระบวนการตัดดีขึ้นหรือไม่เพียงใด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะเลือกออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งเป็นการทดลองจำนวนไม่มากครั้ง แต่ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆได้อย่างบริบูรณ์ โดยมีสมมติฐานที่ว่า ผลตอบที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงระหว่างระดับหนึ่งถึงอีกระดับหนึ่ง ของระดับปัจจัยที่เลือกมาทำการทดลอง และเพื่อความแน่นอนของผลตอบ จะมีการทำซ้ำเพียง 2 การทำซ้ำเท่านั้น

และในแต่ละการทดลอง ถ้าหากทำการกลึงปาดหน้าชิ้นงานทั้งชิ้นจะใช้เวลานานมาก ซึ่งจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการทดลองมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อความรวดเร็วของการทดลองจะทำการกลึงปาดหน้าเข้าไปตามแนวรัศมีเป็นเส้นตรง เพียง 5 มิลลิเมตรจากรัศมีวงนอกของชิ้นงานเท่านั้น ซึ่งเป็นระยะทางที่เพียงพอต่อการวัดค่าความหยาบของผิวชิ้นงานได้

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

4.2.1 วัตถุดิบชิ้นงาน (Work piece materials)

ชิ้นงานทดสอบเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน S45C มีลักษณะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรและความยาว 20 มิลลิเมตร

4.2.2 เครื่องมือตัด (Cutting tool)

เครื่องมือตัดที่ใช้ในการทดลองเป็นเม็ดมีดตัด CBN ของ KYOCERA รุ่น TPGB 110304T00815SE และใช้ด้ามจับเครื่องมือตัดที่ใช้เป็นการทดลองเปรียบเทียบ ของ KYOCERA รุ่น STGCR2525M-11

4.3.3 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องซีเอ็นซี (CNC turning machine) ของ MAZAK รุ่น NEXUS turning 250 MY
2) ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ของ Kistler รุ่น 9720 สำหรับวัดแรงตัด เครื่องขยายประจุไฟฟ้า (Charge amplifier) ของ Kistler สำหรับขยายสัญญาณแรงตัด
3) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ของ YOKOGAWA สำหรับแสดงผลและบันทึกสัญญาณ
4) เครื่องวัดความหยาบผิวชิ้นงาน (Roughness tester) ของ Surfcom รุ่น 1400D
5) กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) สำหรับถ่ายภาพความสึกหรอของเครื่องมือตัด
6) ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric actuator) ของ PI รุ่น E-153.05 จำนวน 1 ตัว
7) ส่วนขยายสัญญาณ (Amplifier) ของ PI รุ่น E-507.00 จำนวน 2 ตัว และ ส่วนควบคุม (Controller module) รุ่น E-516 อุปกรณ์ทั้งหมดประกอบลงบนโครงขนาด 19 นิ้ว รุ่น E-501
8) ตัวจับการเคลื่อนที่ (Displacement sensor) ของ ADE Technologies รุ่น 5810

4.3. ขั้นตอนดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อออกแบบและทำด้ามจับเครื่องมือตัดต้นแบบเรียบร้อยแล้ว จะทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่า วิธีการตัดแบบสั่นโดยใช้ด้ามจับเครื่องมือตัดที่ออกแบบมานั้น สามารถปรับปรุงให้ความสามารถในกระบวนการตัดดีขึ้นได้

การทดลองจะแบ่งเป็นสองช่วง ในช่วงแรกจะทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างด้ามจับเครื่องมือตัดที่มีขายในท้องตลาด กับ ด้ามจับเครื่องมือตัดที่ได้ทำการออกแบบว่า ในทุกๆสภาวะที่จะทำการทดลองนั้น ความสามารถในการตัดมีความแตกต่างกันหรือไม่เพียงใด โดยใช้ดัชนีชี้วัดเป็น ความหยาบของผิวชิ้นงานสำเร็จ ซึ่งทำการวัดได้จากเครื่องวัดความหยาบผิวชิ้นงาน (Roughness tester) นำผลตอบที่ได้มาวิเคราะห์โดยวิธีการออกแบบการทดลองและการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) หลังจากนั้น จะทำการทดลองเพื่อทดสอบว่า ความถี่ในการสั่นและความเร็วรอบตัดมีผลต่อผิวสำเร็จหรือไม่เพียงใด วิเคราะห์โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองและการทดสอบความแปรปรวน

การวิเคราะห์ขั้นตอนหลังนั้นจะนำข้อมูลผลตอบใช้ร่วมกันกับขั้นตอนแรกคือ เงื่อนไขการตัดด้วยด้ามจับเครื่องมือตัดที่ทำการออกแบบและผลิตขึ้นจากขั้นตอนแรก มาใช้แทน เงื่อนไขที่ใช้ความถี่ในการสั่นเครื่องมือตัด 0 เฮิรตซ์ในการวิเคราะห์ขั้นตอนหลัง เพื่อประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในการทดลอง ส่วนตารางบันทึกการทดลองจะแบ่งตามประเภทโดยใช้ โครงสร้าง ของด้ามจับเครื่องมือตัดเป็นเกณฑ์ ตามตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1. ตารางบันทึกผลสำหรับด้ามจับเครื่องมือตัด KYOCERA รุ่น STGCR2525M-11

เงื่อนไขการทดลอง	ความเร็วรอบตัด (รอบ ต่อ นาที)	ทำซ้ำรอบที่	ความหยาบผิวเฉลี่ย (ไมโครเมตร Ra)	ความหยาบผิวสูงสุด (ไมโครเมตร Rz)
1	2	1		
2	4	1		
3	10	1		
4	2	2		
5	4	2		
6	10	2		

ตารางที่ 4.2. ตารางบันทึกผลการทดลองสำหรับด้ามจับเครื่องมือตัดที่ทำการออกแบบ

เงื่อนไขการทดลอง	ความเร็วรอบตัด (RPM)	ความถี่ (เฮิรตซ์)	ทำซ้ำรอบที่	ความหยาบผิวเฉลี่ย (ไมโครเมตร Ra)	ความหยาบผิวสูงสุด (ไมโครเมตร Rz)
7	2	0	1		
8	2	400	1		
9	4	0	1		
10	4	400	1		
11	10	0	1		
12	10	400	1		
13	2	0	2		
14	2	400	2		
15	4	0	2		
16	4	400	2		
17	10	0	2		
18	10	400	2		

4.4. ขั้นตอนการทำการทดลอง

1) เปิดเครื่องซีเอ็นซี นำชิ้นงานที่จะทำการตัดโดยใช้ ท่อนเหล็กกลม S45C ความยาวประมาณ 75 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร มาติดตั้ง และ ทำการกลึงเหล็กส่วนปลายออก ให้ลึกเข้าไป 20 มิลลิเมตร และ เหลือรัศมี 20 มิลลิเมตร เพื่อใช้สำหรับทำการทดลอง
2) เมื่อขึ้นชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ทำการสุ่มเลือกปัจจัยการทดลอง ตามตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 จากนั้นจึงเขียนโปรแกรมควบคุมให้เครื่องซีเอ็นซีปาดหน้าชิ้นงานที่ระดับปัจจัยตามการทดลองที่ได้สุ่มเลือกมา
3) ติดตั้งด้ามจับเครื่องมือตัดที่ใช้ในการทดลองตามเงื่อนไข และเครื่องมือตัดที่จะใช้ทำการทดลอง
4) ในกรณีที่การทดลองใช้เงื่อนไขความถี่ในการสั่น 400 เฮิรตซ์ ทำการเปิดโปรแกรมควบคุม PI บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่เชื่อมต่ออยู่กับส่วนควบคุม ให้กำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเพื่อป้อนตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกซึ่งติดตั้งอยู่บนด้ามจับเครื่องมือตัดที่ออกแบบไว้ ทำให้ด้ามจับเครื่องมือตัด เกิดการสั่น
5) ทำการเดินเครื่องซีเอ็นซี เริ่มตัดชิ้นงานเพื่อเก็บผลการทดลอง โดยใช้วิธีการกลึงปาดหน้า
6) เมื่อทำการทดลองครบทุกเงื่อนไขการทดลองแล้ว นำชิ้นงานที่ได้ทำการทดลองทั้งหมดมาวัดผิวหน้า และ บันทึกลงในตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

4.5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะให้หลักสถิติโดยประมวลผลด้วยโปรแกรมประยุกต์ Minitab™ และเพื่อให้การวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ สามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.5.1. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลเป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันหรือไม่ ซึ่งทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ซึ่งค่าส่วนตกค้างแต่ละค่าควรเป็นอิสระซึ่งกันและกันทั้งนี้ต้องได้จากการทำการทดลองแบบสุ่มที่เหมาะสม โดยจะทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลอยู่บนแกนนอน ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน ถ้าหากข้อมูลมีความเป็นอิสระรูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะกระจายอยู่ทั่วไปไม่เป็นแนวโน้ม (Trend) นั่นก็หมายความว่าข้อมูลมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

4.5.2. การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ

การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติโดยการสร้าง Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เป็นการพล็อตค่าส่วนตกค้าง ลงบนกราฟที่เรียกว่า Normal Probability Paper ซึ่งพล็อตระหว่างส่วนตกค้างกับค่าความน่าจะเป็นสะสม Pk = (k-1/2)/n โดย Pk x 100 อยู่บนแกนตั้งส่วนแกนนอนจะเป็นค่าส่วนทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน

4.5.3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนเป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล ทดสอบโดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และค่าที่ถูกฟิตอยู่บนแกนนอนดังแสดง ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะกระจายอยู่ทั่วไป ไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆทั้งสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นใด และทดสอบโดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัยซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และระดับของปัจจัยอยู่บนแกนนอน ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก แต่ถ้ารูปที่พล็อตขึ้นมานี้มีลักษณะเป็นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับ แสดงว่าข้อมูลนั้นไม่มีความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่มีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน

4.5.4. การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการออกแบบทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการออกแบบการทดลอง จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจะได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะคำนวณค่า P Value ออกมาให้ ซึ่งในการพิจารณาค่า P Value นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่าน้อยกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่ามากกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองโดยในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่า α มีค่าเท่ากับ 0.05

4.5.5. การวิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละการทดลอง

หลังจากการทดสอบความแปรปรวนแล้ว จะทราบว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อผลตอบ การวิเคราะห์ผลในขั้นต่อไปจะอธิบายสาเหตุของแต่ละเงื่อนไขการตัด ทีทำให้เกิดผลตอบต่างๆกัน โดยอาศัยทฤษฎีการตัดโลหะ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2