

อิทธิพลของตัวแปรที่เหมาะสมในการกัดปาดผิวหน้าเหล็กแม่พิมพ์ เกรด S50C

ด้วยมีดคาร์ไบด์

An Investigation of Optimum Cutting Conditions in Face Milling Mold Steel
Grade S50C By Carbide Toolจักรนรินทร์ ฉัตรทอง^{1*}, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์^{1**} และ วรพงศ์ บุญช่วยแทน¹¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000

*E-mail: jaknarin.c@hotmail.com , **E-mail: sitnong2@yahoo.co.th, โทร 074-317162, โทรสาร 074-317163

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิวในการกัดปาดผิวหน้าเหล็กแม่พิมพ์ด้วยมีดคาร์ไบด์ เพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแม่พิมพ์พลาสติกและอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง วัสดุทดลองเป็นเหล็กทำแม่พิมพ์ เกรด S50C ความแข็งอยู่ระหว่าง 280-325 HB ใช้เครื่องกัดกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Obraeci Strojie รุ่น FGV 32 ใช้มีดมีดคาร์ไบด์ ยี่ห้อ Iscar แบบ SEKT 1204AFR-HM ปัจจัยในการทดลองประกอบด้วย ความเร็วรอบ อัตราป้อน และความลึกในการกัด จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าความลึก ไม่มีผลต่อค่าความขรุขระผิว จึงกำหนดความลึกในการกัดคงที่ไว้ 0.5 มม. จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิว คือ อัตราป้อน และความเร็วรอบ โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำ และการเพิ่มความเร็วรอบให้สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความขรุขระผิวลดลง และสามารถกำหนดสภาวะการกัดปาดผิวหน้าด้วยสมการ $R_a = 1.29 - 0.000654 \text{ Speed} + 0.00305 \text{ Feed Rate}$ การนำสมการนี้ไปใช้ตรวจสอบในขอบเขต ความเร็วรอบ 500-1,000 รอบ/นาที อัตราป้อน 160-315 มม./นาที จากการทดลองเพื่อการยืนยันผลพบว่าค่าความขรุขระผิวที่ได้จากการพยากรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงเท่ากับ 3.27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

คำหลัก: เครื่องกัด เหล็กทำแม่พิมพ์ การกัดปาดผิว ความขรุขระผิว

Abstract

The purpose of this research is to investigate the effect of main factors on the surface roughness in mold steels face milling by carbide tool for results obtained from the analysis used in the manufacture of molds and other parts of the industry concerned the material is steel grade S50C mold with a hardness between 280-325 HB using semi-automated milling machine Obraeci Strojie brand FGV 32 model using insert carbide tool brand Iscar type SEKT 1204AFR-HM. The factors study used a speed, feed rate and depth of cut. Preliminary experiments showed that the depth of cut does not affect the surface roughness fix depth of cut at 0.5 mm. It was found from the experiment that the factor affecting surface roughness was feed rate and speed with tendency for reduction of roughness value at lower feed rate and greater cutting speed it was possible determine a facing

condition by means of the equation $R_a = 1.29 - 0.000654\text{Speed} + 0.00305\text{Feed Rate}$ leading this equation goes to use is in limitation speed 500-1,000 rpm. at feed rate 160-315 mm/min. From the experiment is to confirm the result of a comparison between the equation and the percent accuracy with the margin of error. The result from the experiment of mean absolute percentage error of the equation of surface roughness is 3.27% which is less than the margin of error and is acceptable.

Keywords: milling machine, mold steel, face milling, surface roughness.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแม่พิมพ์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องทางด้านเทคโนโลยีการผลิต และการพัฒนาด้านบุคลากรของอุตสาหกรรมผลิตต่างๆ ของประเทศ ทั้งการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ ผลิตภัณฑ์พลาสติก ผลิตภัณฑ์ยาง และอื่น ๆ ซึ่งแม่พิมพ์ที่นำมาใช้จึงมีหลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับวัสดุ เช่น แม่พิมพ์โลหะ แม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์ยาง แม่พิมพ์แก้ว และอื่น ๆ แม่พิมพ์ที่นิยมใช้กันมากทั้งในและต่างประเทศ ได้แก่ แม่พิมพ์โลหะและแม่พิมพ์พลาสติก ซึ่งนำไปใช้ในเกือบทุกอุตสาหกรรม ปัจจุบันจากการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะที่หลากหลายและมีความซับซ้อนค่อนข้างมาก นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภท จำเป็นต้องมีการระบุคุณลักษณะที่สำคัญ เพื่อให้การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งคุณลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือ ค่าความขรุขระผิวสำเร็จ เช่น การผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์พลาสติก และแม่พิมพ์โลหะ ที่ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปชิ้นงานโดยการตัดเฉือนที่ใช้เทคโนโลยีที่มีความเที่ยงตรงสูง เนื่องจากเหล็กแม่พิมพ์มีคุณสมบัติเด่นด้านความต้านทานต่อการกัดกร่อน สามารถทนต่ออุณหภูมิได้สูง ความสามารถในการตกแต่งให้เป็นเงาด้วยเครื่องจักรได้ดี และมีคุณสมบัติทางกลที่ดี มีความสามารถในการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลต่าง ๆ ได้ดี มีการเปลี่ยนรูปน้อยภายหลังการชุบแข็ง มีความทนทานต่อการสึกหรอได้ดี มีความสามารถในการระบายความร้อนได้ดี เหล็กแม่พิมพ์มีความแข็ง ทำให้เกิดปัญหาในการแปรรูป ปัญหาที่พบคือผิวของชิ้นงานเมื่อผ่านการขึ้นรูปโดยกระบวนการต่าง ๆ

ไม่ว่าจะเป็น งานไส งานกลึง งานกัด หรือแม้กระทั่งงานกัดผิวหน้าของชิ้นงานอาจมีความขรุขระ ไม่ได้คุณภาพผิวตามที่ต้องการจึงทำให้เกิดการเสียเวลาในการปรับแต่งชิ้นงานและอาจก่อให้เกิดการเสียหายของชิ้นงาน ปัญหาดังกล่าวอาจเกิดจากตัวแปรหลายอย่าง เช่น วัสดุคมตัด ความเร็วตัด อัตราป้อน ความลึกในการตัด เป็นต้น [1-8] โดยทั่วไปผู้ปฏิบัติงานจะใช้ความชำนาญการ และประสบการณ์เป็นตัวบ่งบอกทำให้ขาดความแม่นยำ

ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานผู้ผลิตแม่พิมพ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ จากเหล็กเครื่องมือในประเทศไทยไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกัดปาดผิวหน้าเหล็กทำแม่พิมพ์ เกรด S50C โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการตัดเฉือน เช่น ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันเงื่อนไขเหล่านี้ต้องอาศัยจากประสบการณ์และความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาอิทธิพลของสภาวะการกัดปาดผิวหน้าเหล็กทำแม่พิมพ์ด้วยมิตคาร์ไบด์ เพื่อเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิต ยืดอายุการใช้งานของมิตตัด ลดต้นทุนในการผลิต และเพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น และเพื่อเป็นประโยชน์ทางวิชาการและสามารถนำไปใช้ได้ ในอุตสาหกรรมขึ้นรูปเหล็กแม่พิมพ์ต่อไป

2. อุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องจักร

อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1) เครื่องกัดกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Obracsi Strojie รุ่น FGV 32 ช่วงของความเร็วรอบตั้งแต่ 45-2,000 รอบ/

นาที่ อัตราป้อน ตามชั้นของเฟืองทดของโต๊ะงานแกน X, Y เท่ากับ 14-900 มิลลิเมตร/นาที่

2) เครื่องมือตัดใช้เม็ดมิตคาร์ไบค์ ยี่ห้อ Iscar แบบ SEKT1204AFR-HM จับแบบ 5 ฟัน หัวปาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63 มิลลิเมตร

3) ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กทำแม่พิมพ์เกรด S50C หน้าตัดกว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร สูง 50 มิลลิเมตร

4) เครื่องวัดความขรุขระผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SurfTest 301

3. ขั้นตอนการดำเนินงานทดลอง

การดำเนินงานทดลองประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 การทดลองที่ 1 ทดลองเพื่อหาขนาดสิ่งตัวอย่าง

การทดลองเพื่อหาขนาดสิ่งตัวอย่างในการออกแบบการทดลองนี้จะใช้โปรแกรมมินิแทป รุ่น 15 โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ค่าระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยการเก็บข้อมูลจาก ความเร็วรอบ 710 รอบ/นาที่ อัตราป้อน 224 มิลลิเมตร/นาที่ ความลึกในการกัด 1 มิลลิเมตร ทดลองซ้ำในสภาวะการกัด 12 ครั้ง

3.2 การทดลองที่ 2 ทดลองเบื้องต้น

เพื่อศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความขรุขระของผิวเหล็กแม่พิมพ์ เกรด S50C โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลอง และใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทดลองซ้ำ 6 ครั้ง และวัดซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อลดความแปรปรวนของตัวอย่างศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความขรุขระผิว และใช้โปรแกรมมินิแทป รุ่น 15 ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติและทำการวิเคราะห์ผลการทดลองหลายปัจจัยแบบ 2^3 โดยค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคืออัตราความเปลี่ยนแปลง (F-Ratio) และที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) กำหนดปัจจัย 3 ปัจจัย แสดงดังตารางที่ 1 และผลตอบสนองเป็นค่าความขรุขระผิว

ตารางที่ 1 การกำหนดตัวแปรสำหรับการทดลองเบื้องต้น

Factor	High	Low
Speed (rpm)	710	500
Feed Rate (mm/min)	224	160
Depth of Cut (mm)	1	0.5

จากการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 ได้สภาวะการทดลอง 8 สภาวะ การกัดผิวหน้ากำหนดสภาวะโดยการสุ่มแบบธรรมดาเพื่อลดความแปรปรวนของตัวแปรบางตัว แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมมินิแทป รุ่น 15

3.3 การทดลองที่ 3 ทดลองเพื่อปรับตัวแปรเพื่อหาความขรุขระผิวที่มีผลต่อการทดลอง และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกัด

การออกแบบการทดลองทั่วไปหลายระดับ (General Factorial Design) ครั้งนี้ได้กำหนดตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิวน้อยมากมีค่าคงที่ และกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิวไว้ 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2 มีการทดลองซ้ำ 9 ครั้ง และวัดซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2 ตัวแปรสำหรับแผนการทดลอง ตอนที่ 3

Factor	High	medium	Low
Speed (rpm)	1000	710	500
Feed Rate (mm/min)	315	224	160
Depth of Cut (mm)	1	1	1

3.4 การทดลองที่ 4 ทดลองเพื่อยืนยันผล

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อยืนยันว่า ผลการทดลองให้การทดลองที่สอดคล้องกัน โดยเป็นการนำสมการเชิงเส้นจากสมการแผนการทดลองที่ 3 การทดลองเพื่อปรับตัวแปรเพื่อหาความขรุขระผิวที่มีผลต่อการทดลอง และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกัด นำมาพยากรณ์สภาวะการกัดผิวหน้าเหล็กแม่พิมพ์ที่เกิดจากการสุ่มเลือก เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

การออกแบบการทดลอง ได้ทำการสุ่มสภาวะการกัด อยู่ในขอบเขตของสมการเชิงเส้นตรงสามารถพยากรณ์ได้ โดยการสุ่มเลือก 12 สภาวะการตัด และทำการทดลองซ้ำ 5 ซ้ำ กำหนดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองที่ 1 ทดลองเพื่อหาขนาดสิ่งตัวอย่าง

ผลการทดลองเพื่อหาขนาดสิ่งตัวอย่างโดยค่าสถิติที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลคือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยการเก็บข้อมูลจาก ความเร็วรอบ 710 รอบ/นาที อัตราป้อน 224 มิลลิเมตร/นาที ความลึกในการกัด 1 มิลลิเมตร และทดลองซ้ำในสภาวะการกัด 12 ครั้ง เลือกใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 6 ตัวอย่าง จากนั้นนำมาหาจำนวนครั้งในการทดลองแต่ละระดับโดยใช้โปรแกรมมินิแทป รุ่น 15

4.2 ผลและการวิเคราะห์การทดลองที่ 2 ทดลองเบื้องต้น เพื่อศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความขรุขระของผิวเหล็กทำแม่พิมพ์

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทดลองซ้ำ 6 ครั้ง และวัดซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อลดความแปรปรวนของตัวอย่าง ศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความขรุขระผิว และใช้โปรแกรมมินิแทป รุ่น 15 ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติ แล้วทำการวิเคราะห์ผลการทดลองหลายปัจจัยแบบ 2³ โดยกำหนดปัจจัย 3 ปัจจัย ประกอบด้วย ความเร็วรอบ มี 2 ระดับ คือ 710 และ 500 รอบ/นาที อัตราป้อน มี 2 ระดับ คือ 160 และ 224 มิลลิเมตร/นาที ความลึกในการกัด มี 2 ระดับ คือ 0.5 และ 1 มิลลิเมตร ผลตอบสนองเป็นความขรุขระผิว

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจากการทดลองวัดความขรุขระผิวตามที่ได้ออกแบบไว้ได้ผลว่า R² มีค่าเท่ากับ 90.49 เปอร์เซ็นต์ และค่า Adjust R² มีค่าเท่ากับ 88.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความหมายว่าถ้าหากความแปรปรวนในข้อมูลมี 100 μm² แล้วความแปรปรวน

90.49 μm² สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย ส่วนปริมาณที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ แสดงดังตารางที่ 3 จะได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลวัดความขรุขระผิว ส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ด้วยอัตราป้อน และความเร็วรอบ

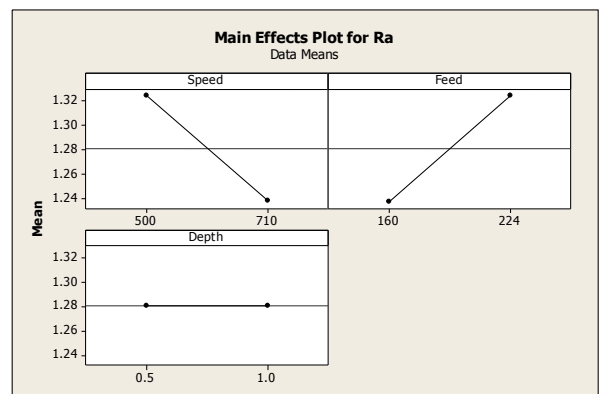
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิว

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Speed	1	0.089269	0.089269	0.089269	184.34	0.000
Feed Rate	1	0.091700	0.091700	0.091700	189.37	0.000
Depth of Cut	1	0.000001	0.000001	0.000001	0.00	0.969
Speed*Feed Rate	1	0.000884	0.000884	0.000884	1.83	0.184
Speed*Depth of Cut	1	0.000080	0.000080	0.000080	0.17	0.686
Feed Rate*Depth of Cut	1	0.000850	0.000850	0.000850	1.76	0.193
Speed*Feed Rate * Depth of Cut	1	0.001564	0.001564	0.001564	3.23	0.080
Error	40	0.019370	0.019370	0.000484		
Total	47	0.203718				

S = 0.0220057 R-Sq = 90.49% R-Sq (adj) = 88.83%



รูปที่ 1 ปฏิสัมพันธ์ของความขรุขระผิว



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของความขรุขระผิวจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยหลัก

การทดลองเบื้องต้นจากรูปที่ 1 รูปที่ 2 และตารางที่ 3 พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวเหล็กทำแม่พิมพ์ เกรด S50C คือ อัตราป้อน และความเร็วยรอบ โดยอัตราป้อนมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอัตราป้อนจาก 160 เป็น 224 มิลลิเมตร/นาที ค่าความขรุขระผิวจะเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วยรอบมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบจาก 500 เป็น 710 รอบ/นาที ค่าความขรุขระผิวจะลดลง และเมื่อปรับอัตราป้อนลดลง และความเร็วยรอบเพิ่มขึ้น ทำให้ความขรุขระผิวของเหล็กทำแม่พิมพ์ลดลง และพบว่าปัจจัยร่วมอื่น ๆ ไม่ส่งผลต่อความขรุขระผิว

4.3 ผลและการวิเคราะห์การทดลองตอนที่ 3 ทดลองเพื่อปรับตัวแปรเพื่อหาความขรุขระผิวที่มีผลต่อการทดลอง และสถานะที่เหมาะสมในการกัด

ในการทดลองที่ 3 นี้ได้ใช้การออกแบบการทดลองทั่วไปหลายระดับ และวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมมินิแทป รุ่น 15 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจากการทดลองวัดค่าความขรุขระผิวตามที่ได้ออกแบบไว้ได้ผลว่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 91.88 เปอร์เซนต์ และค่า Adjust R² มีค่าเท่ากับ 90.98 เปอร์เซนต์ มีความหมายว่าถ้าความแปรปรวน 100 μm² แล้วความแปรปรวน 91.54 μm² สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย ส่วนปริมาณที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ แสดงดังตารางที่ 4

ดังนั้นจะได้ว่า ความแปรปรวนของข้อมูลวัดความขรุขระผิว ส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ด้วยอัตราป้อน และความเร็วยรอบ

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 3 วัดค่าความขรุขระผิว

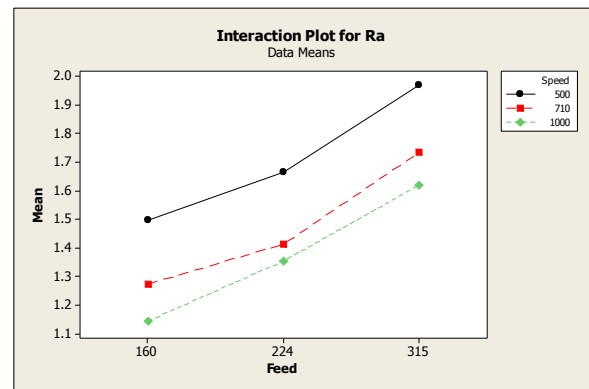
Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Speed	2	1.61410	1.61410	0.80705	140.62	0.000
Feed Rate	2	3.04819	3.04819	1.52410	265.56	0.000
Speed*Feed Rate	4	0.01271	0.01271	0.00318	0.55	0.697
Error	72	0.41322	0.41322	0.00574		
Total	80	5.08822				
S = 0.0757572 R-Sq = 91.88% R-Sq(adj) = 90.98%						

สมมุติฐาน

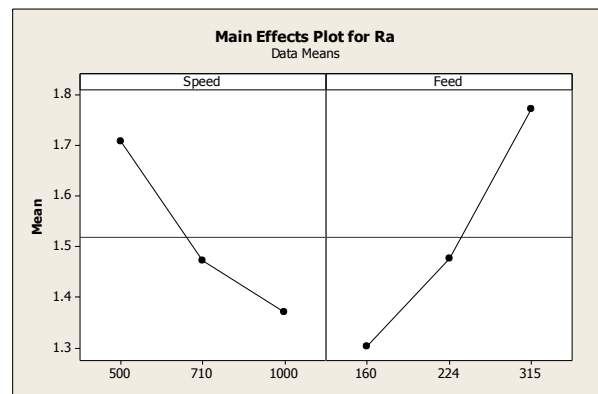
H₀ : ตัวแปรไม่มีผลต่อความขรุขระผิวเหล็กทำแม่พิมพ์

H₁ : ตัวแปรมีผลต่อความขรุขระผิวเหล็กทำแม่พิมพ์

จากตารางที่ 4 เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อความขรุขระผิวมากที่สุด คือ อัตราป้อน สังเกตได้จากค่า F-Ratio = 265.56 และ P-Value = 0.000 และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความขรุขระผิวรองลงมาคือ ความเร็วยรอบ แต่ผลน้อยกว่าดูจากค่า F-Ratio = 140.62 และ P-Value = 0.000



รูปที่ 3 ปฏิสัมพันธ์ของความขรุขระผิว



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของค่าความขรุขระผิวที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัย

จากรูปที่ 3 พบว่าค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไม่มีผลต่อความขรุขระผิว และรูปที่ 4 ผลจากปัจจัยหลัก โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อใช้อัตราป้อนน้อย จะทำให้ค่าความขรุขระผิวมีค่าต่ำ และเมื่อใช้ความเร็วยรอบสูง จะทำให้ค่าความขรุขระผิวมีค่าต่ำ และที่อัตราป้อน 160 มิลลิเมตร/นาที ความเร็วยรอบ 1,000 รอบ/นาที ให้ค่าความขรุขระผิวต่ำที่สุด

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ของค่าความขรุขระผิวเป็นการวิเคราะห์การถดถอย ของความขรุขระผิวกับอัตราป้อน และความเร็รรอบ โดยใช้ ข้อมูลจากการทดลองปรับตัวแปรเพื่อหาค่าความขรุขระผิว กำหนดอัตราป้อน 3 ระดับ คือ 160, 224 และ 315 รอบ/นาที ความเร็รรอบ 3 ระดับ คือ 500, 710 และ 1,000 รอบ/นาที กำหนดความลึกในการกัดคงที่ คือ 0.5 มิลลิเมตร เนื่องจากไม่ส่งผลต่อการทดลอง นำมา วิเคราะห์การถดถอยโดยใช้โปรแกรม มินิแทบ รุ่น 15 ซึ่ง สามารถวิเคราะห์การถดถอยโดยผลการวิเคราะห์ แสดง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความขรุขระผิวกับ ความเร็รรอบ และอัตราป้อน

Regression Analysis: Ra versus Speed, Feed Rate				
The regression equation is Ra = 1.29 - 0.000654 Speed + 0.00305 Feed Rate				
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.28959	0.05069	25.44	0.000
Speed	-0.00065360	0.00004729	-13.82	0.000
Feed Rate	0.0030464	0.0001524	19.99	0.000
S = 0.0872478 R-Sq = 88.3% R-Sq (adj) = 88.0%				

การทดลองสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลัก และตัวแปรตามในรูปแบบสมการเชิงเส้นได้ ดัง สมการที่ 1

$$R_a = 1.29 - 0.000654 \text{ Speed} + 0.00305 \text{ Feed Rate} \quad (1)$$

เมื่อ

R_a คือ ความขรุขระผิว (ไมโครเมตร)

Feed Rate คือ อัตราป้อน (อยู่ในช่วง 160-315 มิลลิเมตร/นาที)

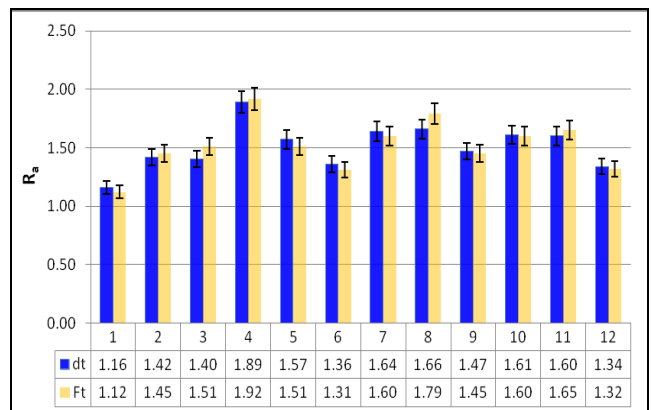
Speed คือ ความเร็รรอบ (อยู่ในช่วง 500-1,000 รอบ/นาที)

4.4 ทดลองเพื่อยืนยันผล

เป็นการทดลองเพื่อยืนยันผล โดยนำสมการเชิงเส้น มาพยากรณ์ความขรุขระผิว ทำการสุ่มสภาวะการตัดอยู่ใน ขอบเขตที่กำหนดแล้วนำผลที่ได้จากการพยากรณ์มา เปรียบเทียบค่าจริงที่ได้จากการทดลอง โดยกำหนดค่า ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์สำหรับค่าความ ขรุขระผิวไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์พบว่า

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เท่ากับ 3.27 ซึ่งสูตรในการคำนวณแสดงดังสมการที่ 2 จะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ มีค่าน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้และค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงกราฟเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 5

$$MAPE = \frac{1}{n} \left(\sum_{t=1}^T \frac{|e_t|}{d_t} \times 100 \right) \quad (2)$$



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบค่าความขรุขระผิว

5. สรุปผลการทดลอง

1) จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวหลักทำแม่พิมพ์ เกรด S50C คือ อัตราป้อน และความเร็รรอบ โดยมีอัตราป้อนในช่วง 160-315 มิลลิเมตร/นาที และความเร็รรอบอยู่ในช่วง 500-1,000 รอบ/นาที ซึ่งมีแนวโน้มว่าการใช้อัตราป้อนที่ 160 มิลลิเมตร/นาที และการเพิ่มความเร็รรอบที่ 1,000 รอบ/นาที มีผลทำให้ค่าความขรุขระผิวลดลง

2) จากการทดลองได้สมการเชิงเส้น ดังนี้

$$R_a = 1.29 - 0.000654 \text{ Speed} + 0.00305 \text{ Feed Rate}$$

การนำสมการนี้ไปใช้กับมิตคาร์ไบด์ จำนวน 5 คมตัด ความเร็รรอบ อยู่ในช่วง 500-1,000 รอบ/นาที อัตราป้อนอยู่ในช่วง 160-315 มิลลิเมตร/นาที อัตราป้อน/ฟัน อยู่ในช่วง 0.126-0.032 มิลลิเมตร/ฟัน

3) จากการทดลองเพื่อยืนยันผลเปรียบเทียบค่าที่ได้ จากสมการกับค่าที่วัดจริงโดยกำหนดค่าความคลาด

เคลื่อนของการพยากรณ์สำหรับวัดค่าความขรุขระผิวไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการทดลองหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ของสมการความขรุขระผิวเท่ากับ 3.27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ และค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4) จากการทดลองพบว่า ความลึกในการกัดที่ 0.5 และ 1 มิลลิเมตร ไม่มีผลต่อค่าความขรุขระผิวเหล็กทำแม่พิมพ์ เกรด S50C

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงปฏิบัติงานวิศวกรรมเครื่องมือกล และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมการวัด สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความสะดวกในการใช้สถานที่เครื่องมือ และเครื่องจักรในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กุศล พร้อมมูล, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, และเทิดศักดิ์ อาลัย. (2546). การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อ สมรรถภาพของการตัดไม้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้มีดตัดทำมาจากทั้งสแตนคาร์ไบด์. *การประชุมวิชาการช่วยวิศวกรรมอุตสาหกรรม*. 20-22 ตุลาคม, โรงแรมดวงตะวัน, เชียงใหม่, หน้า 74-79.
- [2] เกสร หล่อบุญสม และอภิวัฒน์ มุตตามระ. (2553). การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการสึกหรอของเม็ดมีดในงานกัดกัดเหล็กหล่อสีขาว. *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*. 13-15 ตุลาคม. โรงแรมสุนีย์ แกรนด์แอนด์คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์. อุบลราชธานี.
- [3] Eyup Bagci and Seref Aykut. (2006). A study of Taguchi optimization method For identifying optimum surface roughness in

CNC face milling of cobalt-based alloy (stellite 6). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. pp.940-947.

- [4] C. C. Tsao. (2009). Grey–Taguchi method to optimize the milling parameters of aluminum alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. pp.41-48.
- [5] Yung Kuang Yang, Ming Tsan chuang and Show Shyan Lin (2009). Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end milling process via design of experiments methods. *Journal of Materials Processing Technology*. pp.4395-4400.
- [6] S. Rawangwong, J. Chatthong and J. Rodjananugoon. (2011). The Study of Proper Conditions in Face Coconut Wood by CNC Milling Machine. *IEEE International Conference on Quality and Reliability*. Bangkok, Thailand. 14-17 September. pp.455-459.
- [7] H. R. Siller, C. Vila, C. A. Rodríguez and J. V. Abellán. (2009). Study of face milling of hardened AISI D3 steel with a special design of carbide tools. *Int J Adv Manuf Technol*. 40 pp.12–25.
- [8] Surasit Rawangwong, Jaknarin Chatthong, Romadorn Burapa and Worapong Boonchouytan. (2012). An Investigation of Optimum Cutting Conditions in Face Milling Aluminum 7075-T6 Using Design of Experiment. *4th International Conference on Applied Operational Research*. 25-27 July. Bangkok, Thailand. pp.125–135.