

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวิจัยครั้งนี้พบว่า เหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของคาร์บอน เมื่อได้รับความร้อนโครงสร้างมีการขยายตัว ทำให้มีความแข็งแรงลดลง มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ซึ่งตามสมมุติฐานที่ตั้งเอาไว้คุณลักษณะเช่นนี้สามารถจะทำให้ตัดได้ง่ายขึ้น และอาจจะส่งผลให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานมีค่าน้อยลงและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานไม่เปลี่ยนแปลง

ในการทดลองเบื้องต้นได้ทดลองกลึงชิ้นงานสแตนเลสที่อุณหภูมิ 150 °C, 300 °C, 450 °C และ 600 °C และที่ความเร็วตัด 95 m./min พบว่าพื้นผิวของชิ้นงานมีลักษณะดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.15 ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าที่อุณหภูมิ 300 °C พื้นผิวของชิ้นงานที่ผ่านการตัดมีสีเหลืองทอง ที่อุณหภูมิ 450 °C พื้นผิวของชิ้นงานมีสีแดงไหม้ และที่อุณหภูมิ 600 °C พื้นผิวของชิ้นงานมีสีไหม้สุก ตามลำดับ จากนั้นได้ทำการกำหนดช่วงอุณหภูมิในการให้ความร้อนกับชิ้นงานเบื้องต้นไว้ 2 ค่า คือ 100 °C และ 200 °C และที่ค่าความเร็วตัด 2 ค่า คือ 65 และ 95 m./min โดยให้ค่าอัตราป้อน (Feed) เท่ากับ 0.1 mm./rev. และค่าความลึก (Depth of cut) เท่ากับ 1 mm. โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Two Factor Factorial Design โดยกำหนดตัวแปรที่ทำการทดลอง 2 ตัวแปร คือ ความเร็วตัด (Cutting Speed) และอุณหภูมิพื้นผิวของชิ้นงาน (Surface Temperature) ในแต่ละตัวแปรกำหนดค่าที่จะทำการทดลองเบื้องต้นไว้ 2 ค่า ดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงสภาวะการทดลองเบื้องต้น

Cutting Speed (m./min)	Temperature (°C)	
	100	200
65		
95		

จากตารางจะได้สภาวะการตัดที่ใช้ทำการทดลองเบื้องต้น 4 สภาวะ แต่ละสภาวะมีการทำซ้ำ (Replicate) 3 ครั้ง จะได้สภาวะในการทดลองเบื้องต้นทั้งหมด 12 ครั้ง ออกแบบการทดลองเบื้องต้นโดยการสุ่มสภาวะการตัดทั้ง 12 ครั้ง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab Release 14 ได้ดังรูปที่ 4.1

Power and Sample Size					
2-Level Factorial Design					
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.18					
Factors: 2 Base Design: 2, 4					
Blocks: none					
Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
0	0.49	3	12	0.95	0.983747

รูปที่ 4.1 แสดงจำนวนการทำซ้ำในการทดลองเบื้องต้น

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น เพื่อหาระดับของตัวแปรที่เหมาะสมกับสภาวะการตัดเหล็กสแตนเลสด้วยใบมีดเซรามิก โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Minitab Release 14 ช่วยในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติและทำการวิเคราะห์ผลการทดลองแบบ Two Factor Factorial Design โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F-ratio และค่าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5% ($\alpha = 0.05$) ได้กำหนดปัจจัยในการทดลอง 2 ค่า คือ ค่าความเร็วตัดมี 2 ระดับ คือ 65 และ 95 m./min และอุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงานมี 2 ระดับคือ 100 °C และ 200 °C ผลตอบสนองเป็นค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน โดยมี Effects Model คือ

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta_{ij}) + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

โดยที่ τ_i = Treatment Effect ของค่า Cutting Speed

β_j = Treatment Effect ของค่า Surface Temperature

$\tau\beta_{ij}$ = Treatment Effect ของค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed และค่า Surface Temperature

สมมุติฐานที่ใช้ทดสอบ คือ

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1 = \text{อย่างน้อย 1 คู่ที่ } \tau_i \neq 0$$

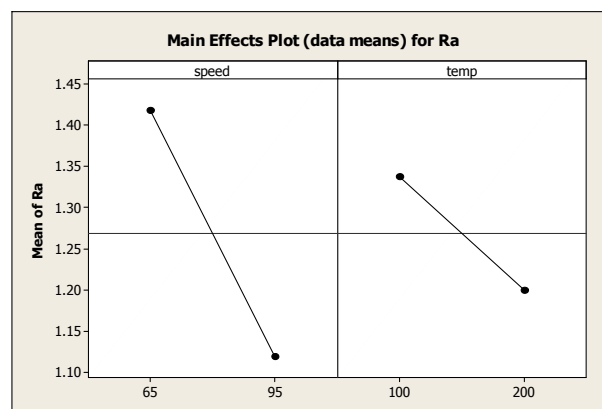
$$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_1 = \text{อย่างน้อย 1 คู่ที่ } \beta_j \neq 0$$

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

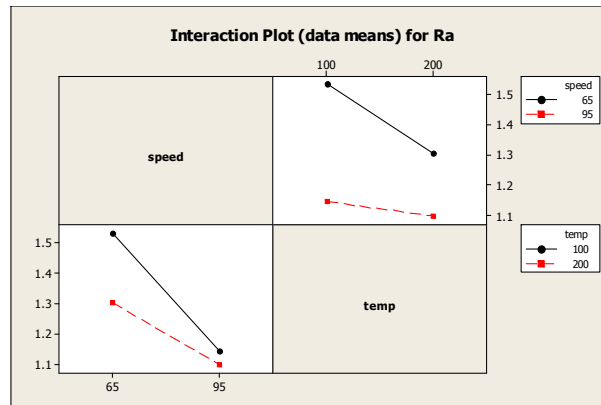
$$H_1 = \text{อย่างน้อย 1 คู่ที่ } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

4.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน



รูปที่ 4.2 แสดงค่าอิทธิพลของความเร็วตัดและอุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.2 พบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน คือ ค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน โดยมีแนวโน้มว่าถ้าเพิ่มค่าให้สูงขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานดีขึ้น



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.3 พบว่าปัจจัยร่วมมีแนวโน้มว่าถ้าเพิ่มค่าความเร็วตัดขึ้นจะส่งผลให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานเรียบขึ้น

ตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน

General Linear Model: Ra versus speed, temp						
Factor	Type	Levels	Values			
speed	fixed	2	65, 95			
temp	fixed	2	100, 200			
Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
speed	1	0.26701	0.26701	0.26701	286.08	0.000
temp	1	0.05741	0.05741	0.05741	61.51	0.000
speed*temp	1	0.02521	0.02521	0.02521	27.01	0.001
Error	8	0.00747	0.00747	0.00093		
Total	11	0.35709				
S = 0.0305505 R-Sq = 97.91% R-Sq(adj) = 97.12%						

จากตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลัก คือ ค่าความเร็วตัด ค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน และปัจจัยร่วม ระหว่างค่าความเร็วตัดกับค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ ที่ระดับนัยสำคัญ 5% ($\alpha = 0.05$) มีเกณฑ์การตัดสินใจ คือ ถ้าค่า F-ratio จากตาราง ANOVA มีค่ามากกว่า F_{α, v_1, v_2} จากตาราง F-test ปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน

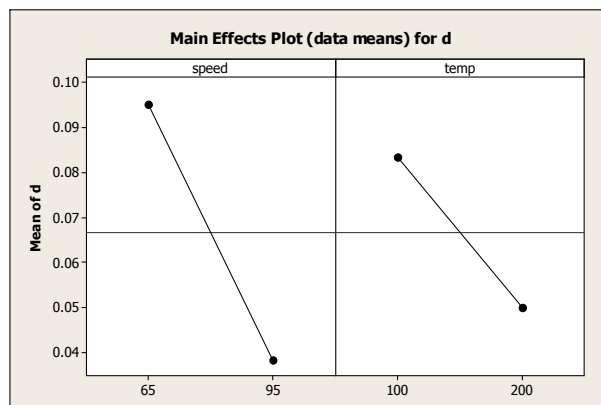
พิจารณาตัวแปรหลัก คือ ค่าความเร็วตัดจากตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F - ratio = 286.08 และค่า $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 1, 8}$

เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 5.32 ทำให้ค่า $286.08 > 5.32$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่าความเร็วตัด ส่งผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน

พิจารณาตัวแปรหลัก คือ ค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน จากตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F - ratio = 61.51 และค่า $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 1, 8}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 5.32 ทำให้ค่า $61.51 > 5.32$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ส่งผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน

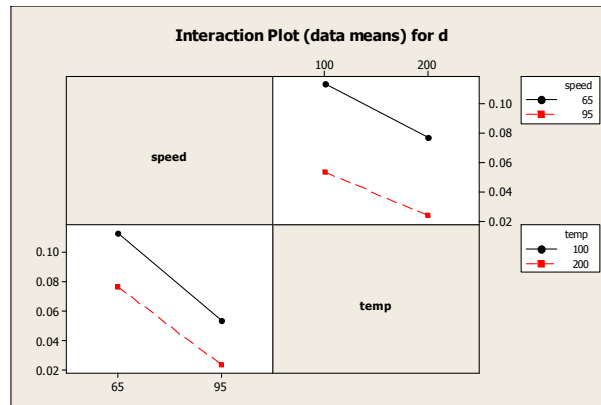
พิจารณาปัจจัยร่วม ระหว่างค่าความเร็วตัดกับค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน จากตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F - ratio = 27.01 และค่า $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 1, 8}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 5.32 ทำให้ค่า $27.01 > 5.32$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปว่าปัจจัยร่วมระหว่างค่าความเร็วตัดกับอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ส่งผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน

4.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน



รูปที่ 4.4 แสดงค่าอิทธิพลของความเร็วตัดและอุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.4 พบว่า อิทธิพลของปัจจัยหลัก คือ ค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานลดลง



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.5 พบว่าปัจจัยร่วม คือ ค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ไม่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน คือ โดยเมื่อปรับค่าทั้ง 2 เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานลดลง จากแผนภาพซ้ายมือเห็นว่าอุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงานทั้ง 100°C และ 200°C มีผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานลดลงในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และกราฟทางขวามือจะเห็นว่าที่ความเร็วตัด 65 และ 95 m./min มีผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานลดลงในอัตราที่ใกล้เคียงกันด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

General Linear Model: Dim.error versus speed, temp						
Factor	Type	Levels	Values			
speed	fixed	2	65, 95			
temp	fixed	2	100, 200			
Analysis of Variance for Dim.error, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
speed	1	0.0096333	0.0096333	0.0096333	22.23	0.002
temp	1	0.0033333	0.0033333	0.0033333	7.69	0.024
speed*temp	1	0.0000333	0.0000333	0.0000333	0.08	0.789
Error	8	0.0034667	0.0034667	0.0004333		
Total	11	0.0164667				
S = 0.0208167 R-Sq = 78.95% R-Sq(adj) = 71.05%						

จากตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลัก คือ ค่าความเร็วตัดและค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ปัจจัยร่วมระหว่างค่าความเร็วตัดกับค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ ที่ระดับนัยสำคัญ 5% ($\alpha = 0.05$) มีเกณฑ์การตัดสินใจ คือ ถ้าค่า F – ratio จากตาราง ANOVA มีค่ามากกว่า F_{α, v_1, v_2} จากตาราง F-test ปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

พิจารณาตัวแปรหลัก คือ ค่าความเร็วตัดจากตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F – ratio = 22.23 และค่า $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 1, 8}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 5.32 ทำให้ค่า $22.23 > 5.32$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าความเร็วตัด ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

พิจารณาตัวแปรหลัก คือ ค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน จากตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F – ratio = 7.69 และค่า $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 1, 8}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 5.32 ทำให้ค่า $7.69 > 5.32$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

พิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างค่าความเร็วตัดกับค่าอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน จากตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F – ratio = 0.08 และค่า $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 1, 8}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 5.32 ทำให้ค่า $0.08 < 5.32$ ดังนั้น จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าปัจจัยร่วมระหว่างค่าความเร็วตัดกับค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ไม่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

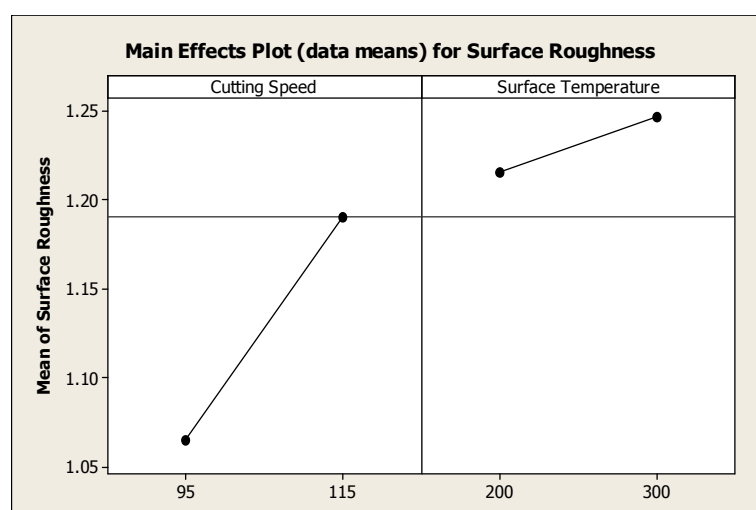
สรุปผลการทดลองเบื้องต้นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน ที่ค่าความเร็วตัด 95 m./min และอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน 200°C ปัจจัยร่วมระหว่างค่าความเร็วตัดและค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน แต่ไม่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

4.2 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองเบื้องต้นตัวแปรหลักทำให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำที่สุด คือ ค่าความเร็วตัด 95 m./min กับ

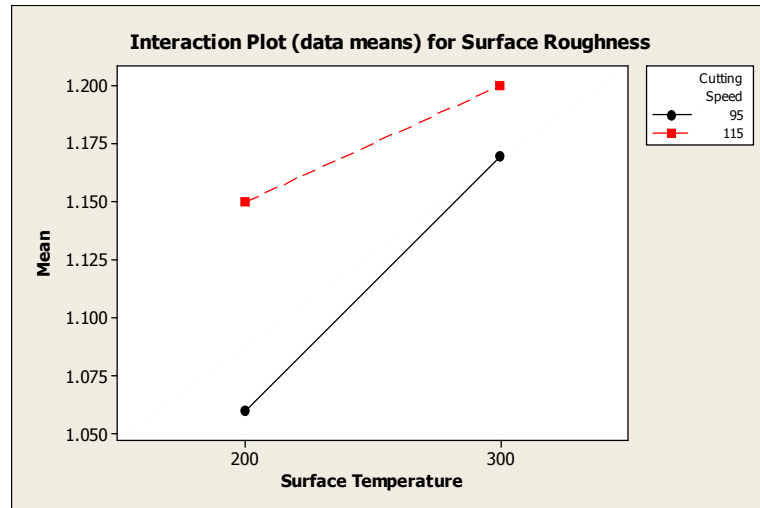
อุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน 200 °C มีแนวโน้มว่าค่าความเร็วตัดและค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานลดลง จึงได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของตัวแปรหลักที่มีผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน การวิเคราะห์ผลการทดลองในครั้งนี้ ใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Minitab Release 14 ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติและทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ด้วยวิธี Two Factors Factorial Design โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F-Ratio ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5% ($\alpha = 0.05$) โดยมี 2 ตัวแปร คือ ค่าความเร็วตัด (Cutting Speed) มี 5 ระดับ คือ 95, 100, 105, 110 และ 115 m./min ค่าอุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงาน (Surface Temperature) มี 5 ระดับคือ 200, 225, 250, 275 และ 300°C ผลที่ต้องการทราบ คือ ค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน โดยการวิเคราะห์หาค่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของค่าความเร็วตัด, อุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงาน และค่าอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างค่าความเร็วตัดกับอุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงาน รวมทั้งหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตัดและค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานกับค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

4.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน



รูปที่ 4.6 แสดงอิทธิพลของค่าความเร็วตัดและค่าอุณหภูมิพื้นผิวของชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อค่าความเร็วตัดและค่าอุณหภูมิพื้นผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงานเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความเร็วตัดและค่าอุณหภูมิพื้นผิวของชิ้นงานต่อค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน

รูปที่ 4.7 พบว่าอิทธิพลร่วม ระหว่างปัจจัยของทุกปัจจัยส่งผลต่อความขรุขระของพื้นผิวโดยที่ค่าความเร็วตัดและค่าอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.4 แสดงตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน

Analysis of Variance for Surface Roughness, using Adjusted SS for Tests					
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Cutting Speed	4	0.587592	0.587592	0.146898	90.68
Surface Temperature	4	0.123792	0.123792	0.030948	19.10
Cutting Speed*Surface Temperature	16	0.154568	0.154568	0.009660	5.96
Error	50	0.081000	0.081000	0.001620	
Total	74	0.946952			

Source	P
Cutting Speed	0.000
Surface Temperature	0.000
Cutting Speed*Surface Temperature	0.000
Error	
Total	

S = 0.0402492 R-Sq = 91.45% R-Sq(adj) = 87.34%

จากตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลัก คือ ค่าความเร็วตัดและ อุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน และปัจจัยร่วมระหว่างค่าความเร็วตัดกับอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95% หรือ ที่ระดับนัยสำคัญ 5% ($\alpha = 0.05$) มีเกณฑ์การตัดสินใจ คือ ถ้าค่า F - ratio จากตาราง ANOVA มีค่ามากกว่า F_{α, v_1, v_2} จะปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อ ความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน

พิจารณาตัวแปรหลัก คือ ค่าความเร็วตัดจากตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ผล ด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F - ratio = 90.68 และค่า $F_{\alpha, (a-1), ab(n-1)} = F_{0.05, 4, 50}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 2.57 ทำให้ค่า $90.68 > 2.57$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ ว่าค่าความเร็วตัด ส่งผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน

พิจารณาตัวแปรหลัก คือ อุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน จากตารางที่ 4.4 แสดงการ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F - ratio = 19.10 และค่า $F_{\alpha, (b-1), ab(n-1)} = F_{0.05, 4, 50}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 2.57 ทำให้ค่า $19.10 > 2.57$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ส่งผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน

พิจารณาอิทธิพลร่วมของค่าความเร็วตัด กับอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน จากตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F - ratio = 5.96 และ ค่า $F_{\alpha, (a-1)(b-1), ab(n-1)} = F_{0.05, 16, 50}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 1.865 ทำให้ค่า $5.96 > 1.865$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมระหว่างค่าความเร็วตัดกับอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ส่งผลต่อค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอิทธิพลหลัก ทุกปัจจัยมีผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิว ส่วนอิทธิพลร่วมก็ส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวด้วยเช่นกัน

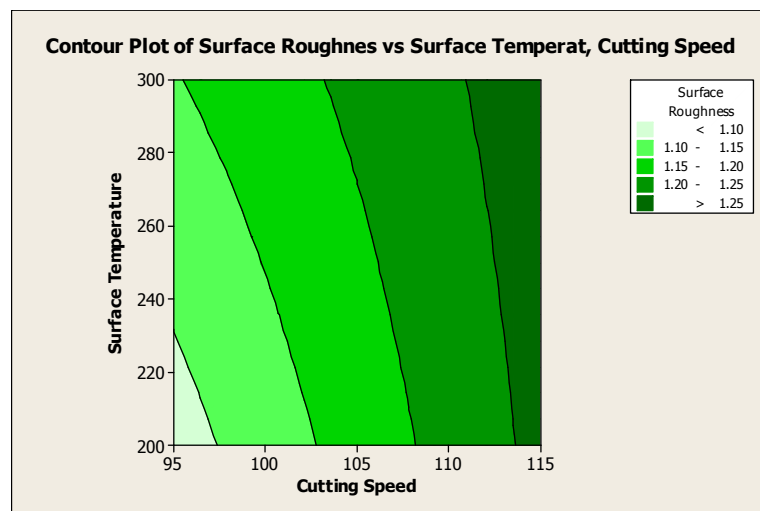
4.2.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักกับความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน จากการทดลองเป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหลักในการกลึงเหล็กสแตนเลสด้วย ไบมีดเซรามิกที่มีผลต่อความขรุขระของพื้นผิวพบว่าตัวแปรเหล่านั้นสามารถอธิบายความผันแปร ของความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานได้ดี โดยพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าสูงมาก ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะ ทำการหาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างตัวแปรหลักในการตัดกับความขรุขระของพื้นผิว ชิ้นงานของไบมีดเซรามิก ซึ่งจะใช้โปรแกรม Minitab Release 14 ช่วยในการคำนวณและ ประมวลผลทางสถิติ

$$\text{รูปแบบสมการ } Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon$$

ค่าประมาณของสมการความถดถอย คือ $\hat{Y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \varepsilon$

จากการคำนวณได้สมการความถดถอยระหว่างค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน กับค่าความเร็วตัดและค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ดังนี้

$$R_{ms} = 0.266 + 7.83 \times 10^{-2}V + 4.11 \times 10^{-3}T \quad \text{ที่ } R^2 = 25.9\%$$



รูปที่ 4.8 แสดงแผนภาพสมการความสัมพันธ์ของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานกับค่าขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน

จากสมการความสัมพันธ์ให้ค่า $R^2 = 25.9\%$ แสดงว่าอิทธิพลของค่าความเร็วตัดและค่าอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานมีผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานน้อยมาก อาจจะมีตัวแปรอื่น ๆ ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน

4.2.3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักกับความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน

จากสมการความสัมพันธ์ในหัวข้อ 4.2.2 พิจารณาจากค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 25.9% ซึ่งมีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นมีความถูกต้องต่ำ อาจจะมีสาเหตุต่าง ๆ จากการทดลองที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น จึงได้ใช้วิธี Log-log Scale ทำการวิเคราะห์เพื่อหา

สมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างตัวแปรหลักในการตัดกับความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน
ซึ่งจะใช้โปรแกรม Minitab Release 14 ช่วยในการคำนวณและประมวลผลทางสถิติ

$$\text{รูปแบบสมการ } \log_{10} Y = \beta_0 + \beta_1 \log_{10} x_1 + \beta_2 \log_{10} x_2 + \varepsilon$$

ค่าประมาณของสมการความถดถอย คือ

$$\log_{10} R_{ms} = a_0 + a_1 \log_{10} V + a_2 \log_{10} T + \varepsilon$$

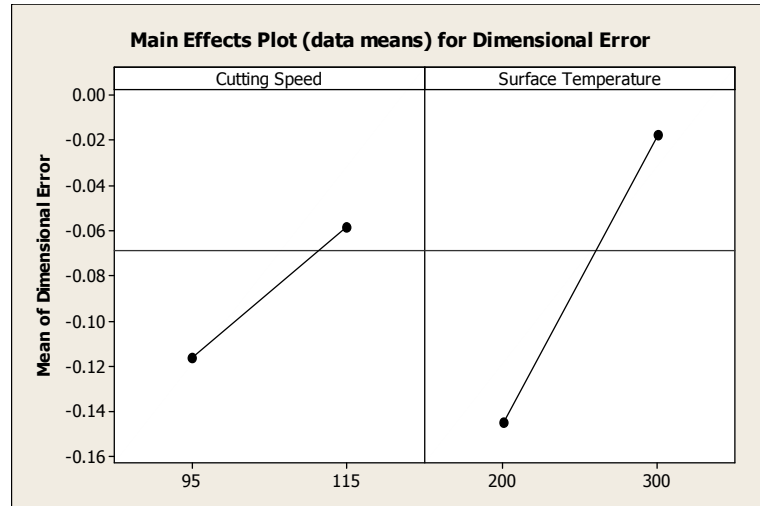
จากการคำนวณได้สมการความถดถอยระหว่างค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน
กับค่าความเร็วตัดและค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ดังนี้

$$\log_{10} R_{ms} = -1.58 + 0.727 \log_{10} V - 0.0784 \log_{10} T$$

$$R_{ms} = 0.0263V^{0.727}T^{-0.0784} \quad \text{ที่ } R^2 = 26.2\%$$

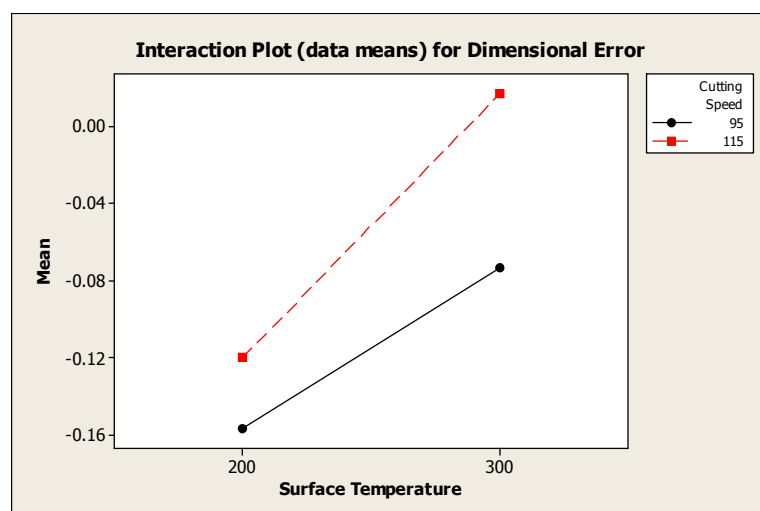
หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธี Log – log Scale แล้วได้ค่า
 $R^2 = 26.2\%$ ซึ่งยังมีค่าน้อยอยู่ แสดงว่าอิทธิพลของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานมีผล
ต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจาก R^2 มีค่าน้อยกว่า 75%
อาจจะมีตัวแปรอื่น ๆ ที่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน

4.2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน



รูปที่ 4.9 แสดงอิทธิพลของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

รูปที่ 4.10 พบว่าอิทธิพลร่วม ระหว่างปัจจัยของทุกปัจจัยไม่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานโดยค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงาน โดยเมื่อปรับค่าทั้ง 2 เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.5 แสดงตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

General Linear Model: Dimensional versus Cutting Spee, Surface Temp						
Factor	Type	Levels	Values			
Cutting Speed	fixed	5	95, 100, 105, 110, 115			
Surface Temperature	fixed	5	200, 225, 250, 275, 300			
Analysis of Variance for Dimensional Error, using Adjusted SS for Tests						
Source		DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Cutting Speed		4	0.053405	0.053405	0.013351	12.41
Surface Temperature		4	0.148125	0.148125	0.037031	34.42
Cutting Speed*Surface Temperature		16	0.020808	0.020808	0.001300	1.21
Error		50	0.053800	0.053800	0.001076	
Total		74	0.276139			
Source		P				
Cutting Speed		0.000				
Surface Temperature		0.000				
Cutting Speed*Surface Temperature		0.295				
Error						
Total						
S = 0.0328024 R-Sq = 80.52% R-Sq(adj) = 71.17%						

จากตารางที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลัก คือ ค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน และปัจจัยร่วม ระหว่างค่าความเร็วตัดกับอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ มีเกณฑ์การตัดสินใจ คือ ถ้าค่า F - ratio จากตาราง ANOVA มีค่ามากกว่า F_{α, v_1, v_2} จะปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

พิจารณาตัวแปรหลัก คือ ค่าความเร็วตัดจากตารางที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F - ratio = 16.11 และค่า $F_{\alpha, (a-1), ab(n-1)} = F_{0.05, 4, 50}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 2.57 ทำให้ค่า $16.11 > 2.57$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่าความเร็วตัด ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

พิจารณาตัวแปรหลัก คือ อุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน จากตารางที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F - ratio = 40.84 และค่า $F_{\alpha,(b-1),ab(n-1)} = F_{0.05,4,50}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 2.57 ทำให้ค่า $40.84 > 2.57$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 สรุปได้ว่าอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

พิจารณาอิทธิพลร่วมของค่าความเร็วตัด กับอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน จากตารางที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค ANOVA จากการวิเคราะห์จะได้ค่า F - ratio = 1.61 และค่า $F_{\alpha,(a-1)(b-1),ab(n-1)} = F_{0.05,16,50}$ เปิดตารางจะได้ค่า F เท่ากับ 1.865 ทำให้ค่า $1.61 < 1.865$ ดังนั้น จึงยอมรับสมมุติฐาน H_0 สรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมระหว่างค่าความเร็วตัดกับอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานไม่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

จากตารางที่ 4.5 พบว่าอิทธิพลหลัก ทุกปัจจัยมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของทุกปัจจัยไม่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

4.2.5 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลัก กับค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

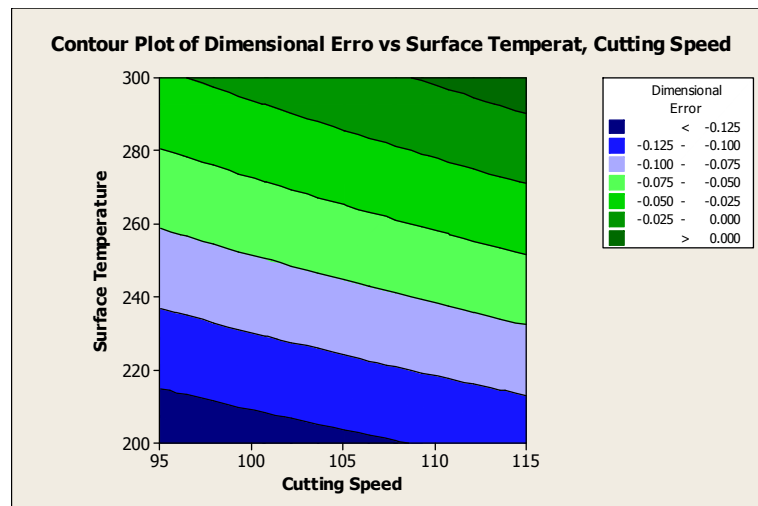
จากการทดลองเป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหลักในการกลึงเหล็กสเตนเลสด้วยใบมีดเซรามิกที่มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน พบว่าตัวแปรเหล่านั้นสามารถอธิบายความผันแปรของความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานได้ดี โดยพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าสูงมาก ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะทำการหาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างตัวแปรหลักในการตัดกับและความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานของใบมีดเซรามิก ซึ่งใช้โปรแกรม Minitab Release 14 ช่วยในการคำนวณและประมวลผลทางสถิติ

$$\text{รูปแบบสมการ } \hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon$$

$$\text{ค่าประมาณของสมการความถดถอย คือ } \hat{Y} = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \varepsilon$$

จากการคำนวณได้สมการความถดถอยระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานกับค่าความเร็วตัดและค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ดังนี้

$$D_E = -0.349 + 1.65 \times 10^{-3} V + 1.23 \times 10^{-3} T \quad \text{ที่ } R^2 = 53.8\%$$



รูปที่ 4.11 แสดงแผนภาพสมการความสัมพันธ์ของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานกับค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

จากสมการความสัมพันธ์ให้ค่า $R^2 = 53.8\%$ แสดงว่าอิทธิพลของค่าความเร็วตัดและค่าอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นค่าที่พอจะยอมรับได้ อาจจะมีตัวแปรอื่น ๆ ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ที่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

4.2.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน

ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้การวิเคราะห์ผลเบื้องต้นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ (MANOVA : Multivariate Analysis of Variance) เพื่อวิเคราะห์ผลเบื้องต้นว่าตัวแปรหลักตัวใดจะส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน โดยการดูจากค่า P-value จากการวิเคราะห์ของ Wilks' ถ้ามีค่าน้อยกว่า

ค่า $\alpha = 0.05$ ก็ให้ปฏิเสธ H_0 แสดงว่าตัวแปรหลักนั้น จะส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน

ตารางที่ 4.6 แสดงการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MANOVA for Cutting Speed

General Linear Model: Surface Roug, Dimensional versus Cutting Spee					
MANOVA for Cutting Speed					
s = 2 m = 0.5 n = 33.5					
Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.31280	13.593	8	138	0.000
Lawley-Hotelling	1.91270	16.258	8	136	0.000
Pillai's	0.77612	11.098	8	140	0.000
Roy's	1.75029				

จากตารางที่ 4.6 วิเคราะห์พบว่าผลของ Cutting Speed ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่า P-value เท่ากับ $0.000 < 0.05$ และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

ตารางที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MANOVA for Surface Temperature

General Linear Model: Surface Roug, Dimensional versus Surface Temp					
MANOVA for Surface Temperature					
s = 2 m = 0.5 n = 33.5					
Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.39890	10.062	8	138	0.000
Lawley-Hotelling	1.33049	11.309	8	136	0.000
Pillai's	0.67147	8.845	8	140	0.000
Roy's	1.18114				

จากตารางที่ 4.7 วิเคราะห์พบว่าพบว่ามีผลของ Surface Temperature ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่า P-value เท่ากับ $0.000 < 0.05$ และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

4.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน

$$\text{รูปแบบสมการ } D_E = a_0 + a_1 R_{ms}$$

จากการคำนวณได้สมการความถดถอยระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานกับค่าความเร็วตัดและค่าของอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน ดังนี้

$$R_{ms} = -0.168 + 0.0834 D_E \quad \text{ที่ } R^2 = 2.4\%$$

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานกับความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน ให้ค่า $R^2 = 2.4\%$ แสดงว่าอิทธิพลของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน น้อยมาก เพราะค่า R^2 น้อยกว่า 75% อาจจะมีตัวแปรอื่น ๆ ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ที่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน