

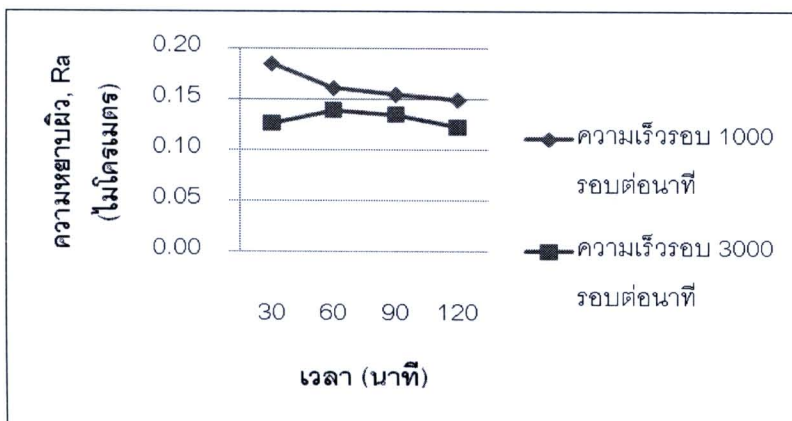
บทที่ 5

การตัดแบบละอองสารหล่อเย็น

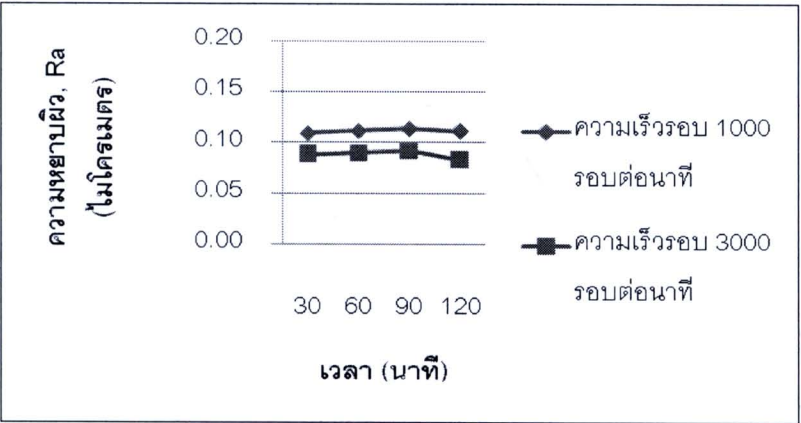
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับความเรียบของผิวชิ้นงานของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

5.1.1 อิทธิพลของความเร็รรอบต่อความหยาบผิว

จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 เห็นได้ว่าความเร็รรอบในการตัดที่ต่ำจะให้ค่าความหยาบผิวสูงกว่าความเร็รรอบในการตัดสูง ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับการตัดแบบเปียกและแบบลมเป่า สามารถอธิบายได้จากการตัดที่ความเร็รรอบสูงทำให้เกิดความร้อนสูงบริเวณพื้นที่ตัดเฉือน จึงส่งผลให้ชิ้นงานนิ่มขึ้นทำให้การตัดง่ายขึ้น จึงให้ค่าความหยาบผิวดำกว่าการใช้ความเร็รรอบต่ำ



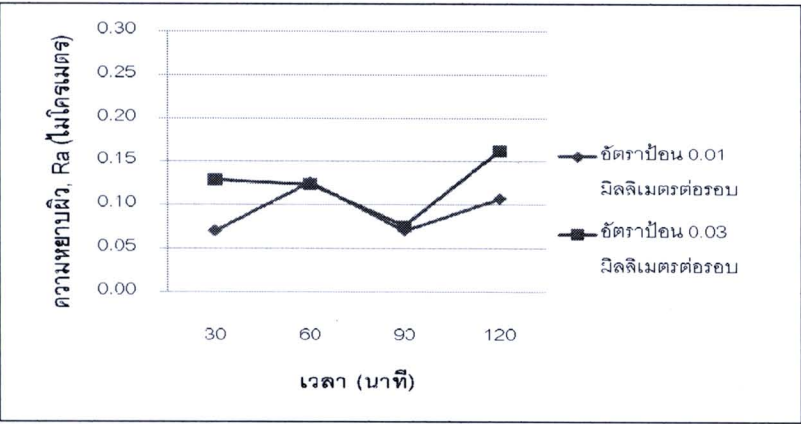
รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็นที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่ความเร็รรอบต่าง ๆ



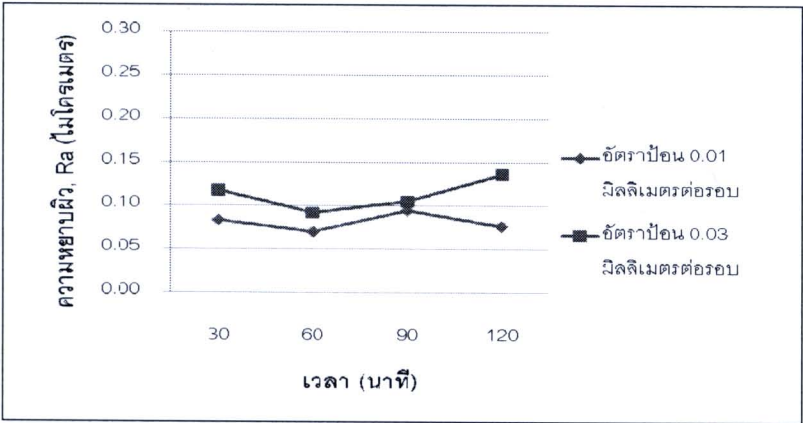
รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็นที่ความลึกตัด 1.5 มิลลิเมตร อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

5.1.2 อิทธิพลของอัตราป้อนต่อความหยาบผิว

จากรูปที่ 5.3 และ 5.4 สามารถเปรียบเทียบได้ว่าที่อัตราการป้อนตัดที่สูง ทำให้ค่าความหยาบผิวสูง อธิบายได้จากอัตราป้อนที่มากกว่า หรือการเข้าตัดด้วยอัตราการกินเนื้อโลหะที่มากกว่าต่อรอบซึ่งตัดยากกว่า ส่งผลให้เกิดความหยาบที่สูงกว่า ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน (พิจารณาจะสมการที่ 2.10) สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออัตราการป้อนตัดสูงขึ้นค่าความหยาบผิวที่ได้จะสูงขึ้นตาม และอีกเหตุผลหนึ่งคือการตัดด้วยอัตราป้อนตัดที่สูงจะต้องใช้แรงในการตัดที่สูงกว่า มีผลต่อการเกิดการสั่นของมีดตัดซึ่งส่งผลให้ความหยาบผิวสูงกว่าการกัดที่อัตราป้อนต่ำ ซึ่งแนวโน้มที่เกิดขึ้นก็เป็นไปในทิศทางเดียวกับการตัดแบบเปียกและการตัดแบบลมเป่า



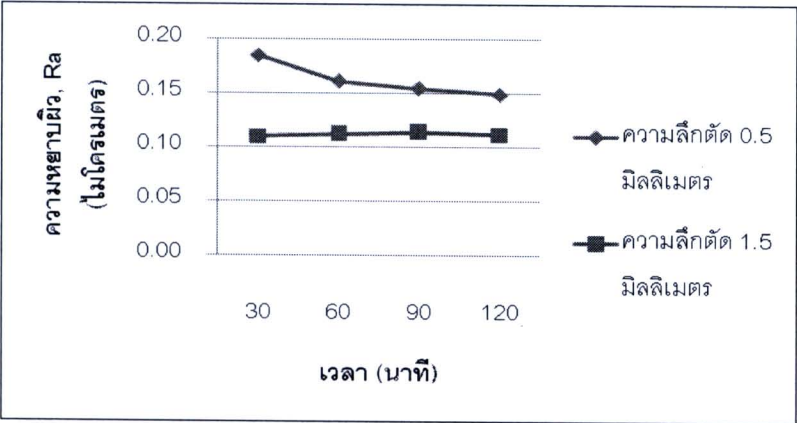
รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ที่อัตราป้อนต่าง ๆ



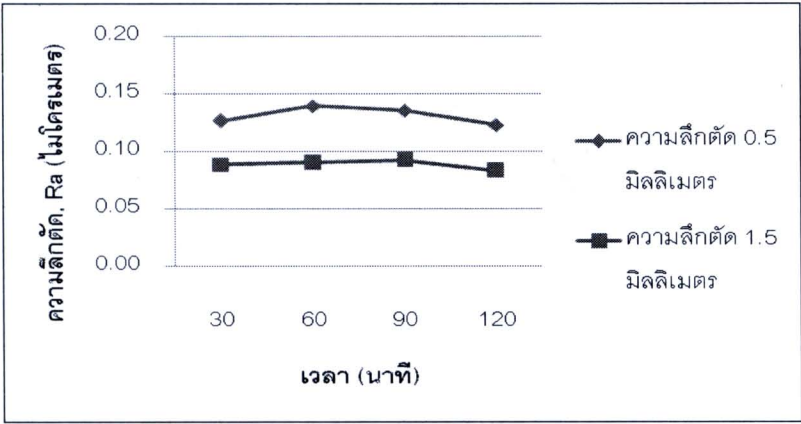
รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบละของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่อัตราป้อนต่าง ๆ

5.1.3 อิทธิพลของความลึกตัดต่อความหยาบผิว

จากรูปที่ 5.5 และ 5.6 แสดงให้เห็นว่าการตัดด้วยความลึกตัดที่มากกว่า ส่งผลให้เกิดความหยาบผิวที่ต่ำกว่า สามารถอธิบายได้จากการที่มีดตัดกินเนื้อผิวที่ลึกกว่าทำให้เกิดความร้อนสะสมที่สูงกว่าที่ความลึกตัดต่ำ เนื่องจากที่ความลึกตัดสูงมีพื้นที่สัมผัสระหว่างมีดตัดกับชิ้นงานสูง จึงทำให้เกิดความร้อนสูง จึงทำให้เนื้อวัสดุอ่อนตัวและในขณะเดียวกันก็ได้รับการระบายความร้อนจากสารหล่อเย็นทำให้อุณหภูมิในการตัดมีความเหมาะสม ส่งผลให้การตัดเฉือนง่ายและทำให้ได้ค่าความเรียบผิวที่ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการตัดแบบเปียก ในขณะที่การตัดแบบลมเป่าจะเกิดผลตรงกันข้ามกับการตัดแบบเปียกและแบบละของสารหล่อเย็น จึงกล่าวเป็นผลมาจากการใช้สารหล่อเย็นช่วยในการตัด



รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบละของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่ความลึกตัดต่างๆ



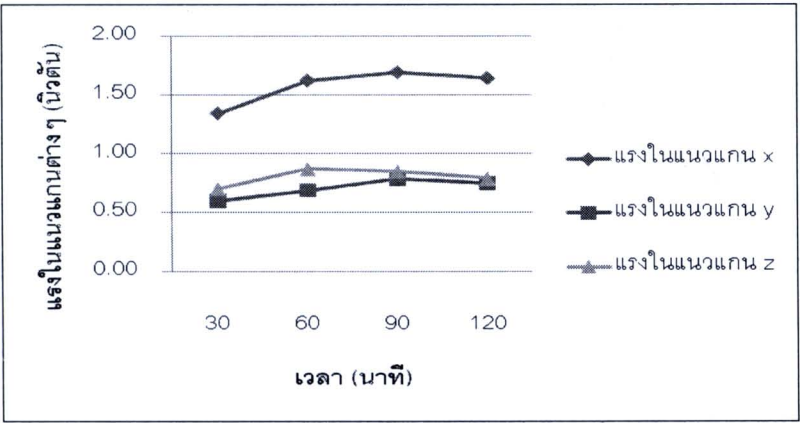
รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่ความลึกดัดต่างๆ

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับแรงที่เกิดขึ้นขณะตัดในแกนต่าง ๆ ของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็น

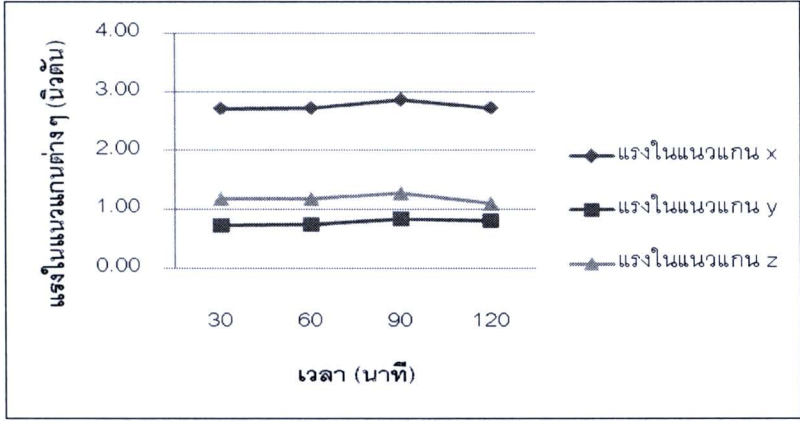
จากรูปที่ 5.7 ถึง 5.12 จะเห็นว่าแรงที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ มีค่าไม่ต่างกันมากโดยแรงในแนวแกน x เกิดขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือแรงในแนวแกน y ซึ่งจะมีค่าไม่ต่างจากแรงในแนวแกน z มากนัก ดังนั้นในการทดลองจึงนำแรงในแนวแกน x มาพิจารณาแรงเดียว

5.2.1 อิทธิพลของความเร็วรอบต่อแรงตัดในสามแกน

จากรูปที่ 5.7 จะพบว่าที่ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นแรงตัดมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นด้วย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าที่ความเร็วรอบต่ำทำให้เกิดอุณหภูมิในการตัดไม่เหมาะสม การตัดเฉือนเป็นไปได้อย่างทำให้ต้องใช้พลังงานในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุให้แยกออกจากกันสูง และในขณะเดียวกันที่ความเร็วรอบในการตัดต่ำจะทำให้เกิด BUE ส่งผลให้การตัดเฉือนเป็นไปได้อย่างและการตัดไม่มีความเสถียรทำให้แรงตัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 5.5 ที่ความเร็วรอบต่ำจะให้ความหยาบผิวสูงกว่าที่ความเร็วรอบสูง (รูปที่ 5.6) เพราะที่ความเร็วรอบสูงจะทำให้วัสดุอ่อนตัวทำให้การตัดเฉือนง่าย ทำให้ได้ความหยาบผิวที่ต่ำ



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็น



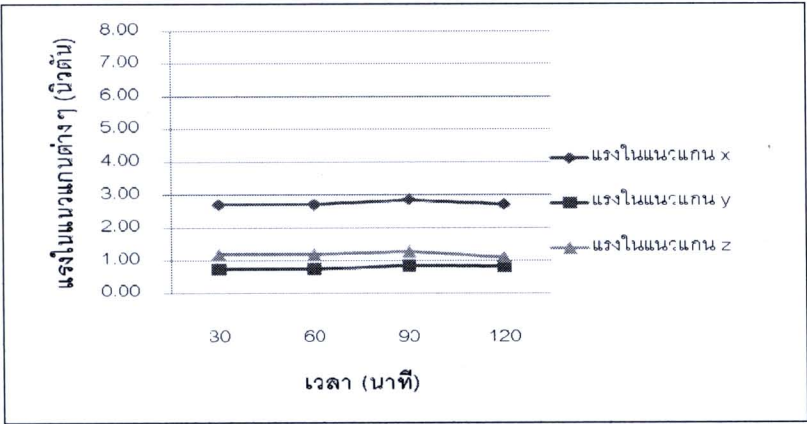
รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็น

รูปที่ 5.8 แสดงแรงตัดที่เกิดขึ้นในแนวแกนต่างๆ เมื่อความเร็วรอบตัดเพิ่มขึ้น จะพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบให้สูงขึ้น ที่ระยะเวลาในการตัดต่างๆ แรงตัดค่อนข้างจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และที่ความเร็วรอบที่สูงจะเกิดแรงในการตัดที่สูงกว่าที่ความเร็วรอบต่ำ สามารถกล่าวได้ว่าที่ความเร็วรอบที่สูงทำให้เกิดอุณหภูมิในการตัดเฉือนที่สูงทำให้จึงทำให้เกิดการสึกหรอที่สูง จึงทำให้เกิดแรงในการตัดสูง แต่ในขณะเดียวกันนั้นอัตราการสึกหรอที่เกิดขึ้นค่อนข้างจะคงที่จึงทำให้แรงตัดที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกันที่ระยะเวลาในการตัดต่างๆ

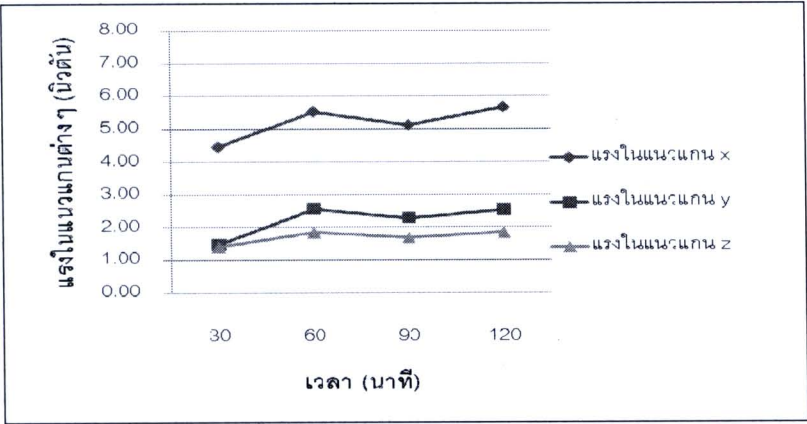
5.2.2 อิทธิพลของอัตราป้อนต่อแรงตัดในสามแกน

รูปที่ 5.9 และ 5.10 แสดงแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการตัดเฉือนชิ้นงาน จากรูปจะพบว่าแรงตัดในแนวแกน x มีค่าสูงสุด และแรงตัดในแนวแกน y และ z มีค่าที่ค่อนข้างจะ

ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นที่อัตราการป้อนตัดที่ต่างกัน คือที่อัตราป้อนตัด 0.01 และ 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่อัตราการป้อนตัดที่สูงกว่าจะเกิดแรงในขณะตัดสูงกว่าที่อัตราการป้อนตัดต่ำ สามารถอธิบายได้ว่า ที่อัตราการป้อนตัดสูงจะมีพื้นที่ในการตัดเฉือนสูง (พื้นที่สัมผัสระหว่างมีดตัดกับเนื้อชิ้นงาน) เนื่องจากระยะในการเคลื่อนที่เข้าตัดชิ้นงานสูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนตัดเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดแรงในการตัดสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการตัดแบบเปียกและแบบลมเป่าดังที่ได้อธิบายมาแล้วก่อนหน้านี้



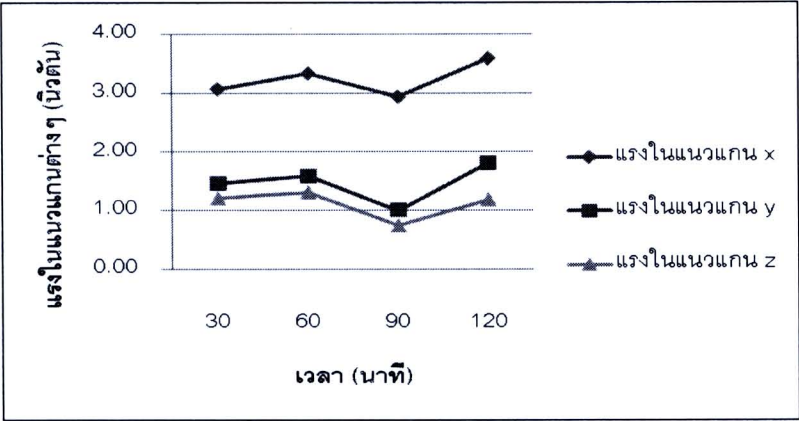
รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็น



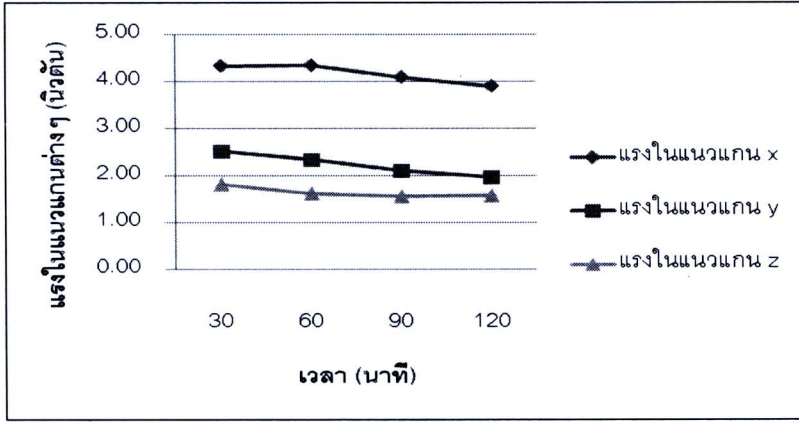
รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็น

5.2.3 อิทธิพลของความลึกตัดต่อแรงตัดในสามแกน

รูปที่ 5.11 และ 5.12 แสดงแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัดเฉือนชิ้นงานที่มีความลึกแตกต่างกันคือ ที่ความลึกตัด 0.5 และ 1.5 มิลลิเมตร จากรูปจะพบว่าแรงตัดในแนวแกน x มีค่าสูงสุด และแรงตัดในแนวแกน y และ z มีค่าที่ค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับอิทธิพลของอัตราการป้อนตัด ที่ความลึกตัดที่สูงกว่าจะเกิดแรงในขณะตัดสูงกว่าที่ความลึกตัดต่ำ ซึ่งเหตุผลสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับอัตราการป้อนตัด นั่นคือ ที่ความลึกตัดสูงจะมีพื้นที่ในการตัดเฉือนสูง (พื้นที่สัมผัสระหว่างมีดตัดกับเนื้อชิ้นงาน) จึงทำให้เกิดแรงในการตัดสูงตามไปด้วย ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการตัดแบบเปียกและแบบลมเป่า



รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็น



รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 1.5 มิลลิเมตร ของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็น

5.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนและพื้นผิวผลตอบของแรงที่ใช้ในการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

ตารางที่ 5.1 การออกแบบการทดลองความหยาบผิวและแรงในการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

Standard Order	Input Value			Responses		
	S (rpm)	F (mm/rev)	D (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
1	1,000	0.01	1	3.16	1.17	1.39
2	3,000	0.01	1	2.88	0.85	1.32
3	1,000	0.03	1	4.70	1.58	1.76
4	3,000	0.03	1	4.40	1.29	1.66
5	1,000	0.02	0.5	2.76	0.95	1.65
6	3,000	0.02	0.5	2.29	0.65	1.06
7	1,000	0.02	1.5	4.31	1.33	1.96
8	3,000	0.02	1.5	3.58	1.16	1.42
9	2,000	0.01	0.5	1.50	0.49	1.16
10	2,000	0.03	0.5	3.12	1.00	1.47
11	2,000	0.01	1.5	3.58	1.38	1.37
12	2,000	0.03	1.5	4.05	1.68	1.89
13	2,000	0.02	1	3.02	1.31	1.66
14	2,000	0.02	1	3.68	1.40	1.73
15	2,000	0.02	1	3.36	1.35	1.69

จากข้อมูลแรงที่แนวแกนต่างๆ (Fx Fy และ Fz) ในตาราง 5.1 เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) จะได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.2 ความแปรปรวนของแรงในแนวแกน x ก่อนการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการ
จัดแบบจำลองของสารหล่อเย็น

Source	DF	Seq	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	9.4760	9.4760	1.05288	13.60	0.005
Linear	3	7.9892	7.9892	2.66306	34.39	0.001
Square	3	1.1392	1.1392	0.37972	4.90	0.060
Interaction	3	0.3476	0.3476	0.11588	1.50	0.323
Residual Error	5	0.3871	0.3871	0.07743		
Lack-of-Fit	3	0.1693	0.1693	0.05643	0.52	0.711
Pure Error	2	0.2179	0.2179	0.10893		
Total	14	9.8631				

ตารางที่ 5.3 สมการการถดถอยของพื้นผิวผลตอบก่อนการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการ
จัดแบบจำลองของสารหล่อเย็น

Term		Coef	SE Coef	T	P
Constant		3.35333	0.16065	20.873	0.000
S	rpm	-0.22250	0.09838	-2.262	0.073
F	mm/rev	0.64375	0.09838	6.544	0.001
D	mm	0.73125	0.09838	7.433	0.001
S*S	rpm ²	0.30208	0.14481	2.086	0.091
F*F	mm ² /rev ²	0.12958	0.14481	0.895	0.412
D*D	mm ²	-0.42042	0.14481	-2.903	0.034
S*F	rpm*mm/rev	-0.00500	0.13913	-0.036	0.973
S*D	rpm*mm	-0.06500	0.13913	-0.467	0.660
F*D	mm ² /rev	-0.28750	0.13913	-2.066	0.094
S = 0.2783 R-Sq = 96.1% R-Sq(adj) = 89.0%					

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าสมการถดถอย (Regression model) ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 %
สามารถใช้ได้ กล่าวคือมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 และค่า Lack of fit test ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึง

การขาดความเหมาะสมของสมการมีค่า P-value 0.711 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายถึงสมการมีความเหมาะสม

เมื่อพิจารณาต่อไปพบว่าตัวแปรที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าเป็นตัวแปรที่สามารถใช้ได้ในการ Regression ได้แก่ ค่าคงที่ อัตราป้อนตัด (F) ความลึกตัด (D) ความลึกตัดอันดับสอง (D^2) ซึ่งทุกพจน์มี P-value น้อยกว่า 0.05 ทั้งสิ้น และทำการทดลองตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่น (P-value น้อยกว่า 0.05) ที่ละปัจจัยพบว่าได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.4 ความแปรปรวนของแรงในแนวแกน x หลังการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการกัดแบบละเอียดของสารหล่อเย็น

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	9.3970	9.3970	1.56616	26.88	0.000
Linear	3	7.9892	7.9892	2.66306	45.70	0.000
Interaction	2	1.0772	1.0772	0.53858	9.24	0.008
Residual Error	1	0.3306	0.3306	0.33063	5.67	0.044
Lack-of-Fit	8	0.4661	0.4661	0.05827		
Pure Error	6	0.2483	0.2483	0.04138	0.38	0.849
Total	2	0.2179	0.2179	0.10893		

ตารางที่ 5.5 สมการถดถอยของพื้นผิวผลตอบหลังการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการกัดแบบละเอียดของสารหล่อเย็น

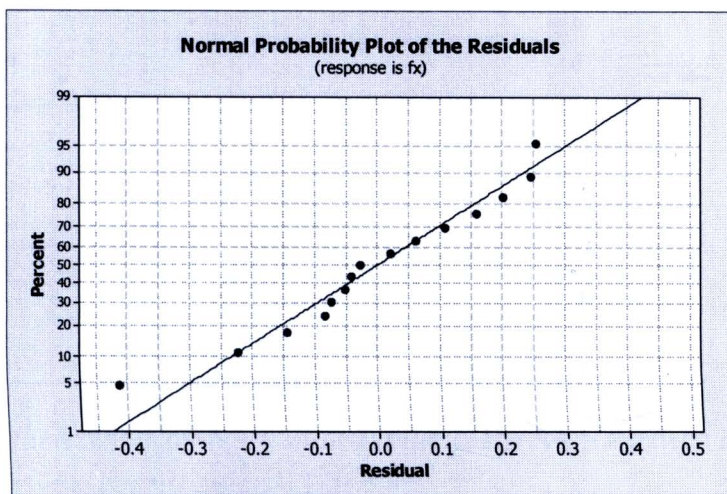
Term		Coef	SE Coef	T	P
Constant		3.4331	0.11596	29.606	0.000
S	rpm	-0.2225	0.08534	-2.607	0.031
F	mm/rev	0.6438	0.08534	7.543	0.000
D	mm	0.7312	0.08534	8.568	0.000
S*S	rpm ²	0.2921	0.12525	2.332	0.048
D*D	mm ²	-0.4304	0.12525	-3.436	0.009
F*D	mm ² /rev	-0.2875	0.12069	-2.382	0.044
S = 0.2414 R-Sq = 95.3% R-Sq(adj) = 91.7%					

พบว่าสมการถดถอยที่ได้ยังคงมีค่า R-Square และค่า R-Square Adj. สูง และมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และค่า P-value ของค่าการขาดความเหมาะสมของสมการ (Lack of Fit) มีค่า 0.849 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าสมการนี้เหมาะสม ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง แรงในแนวแกน x ต่อตัวแปรต้นต่าง ๆ คือ

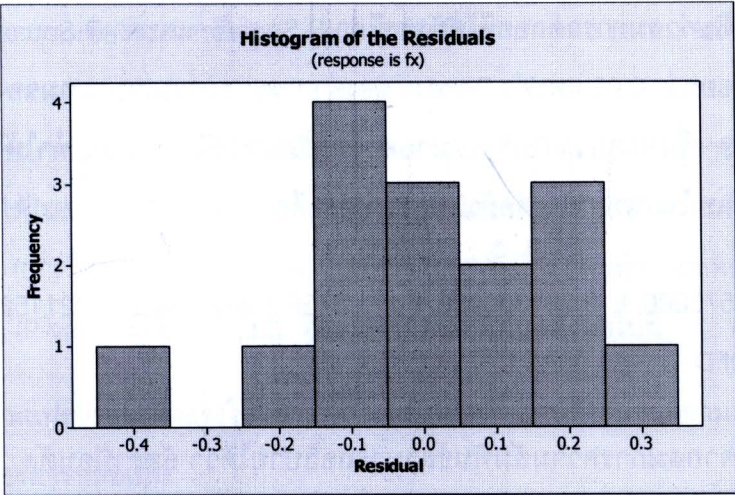
$$F_x = -0.575000 + -0.00139096S + 121.875F + 6.05558D + 2.92115E-07S^2 - 1.72154D^2 - 57.5000FD$$

จากสมการความสัมพันธ์สามารถอธิบายได้ว่า อัตราป้อนตัด (F) ความลึกตัด (D) ความเร็วรอบยกกำลังสอง (S^2) ความลึกตัดยกกำลังสอง (D^2) และผลคูณของอัตราป้อนตัดกับความลึกตัด (FD) มีอิทธิพลต่อแรงที่เกิดขึ้นในแนวแกน x มาก ในส่วนของความเร็วรอบ (S) มีอิทธิพลต่อแรงที่เกิดขึ้นในแนวแกน x น้อย ดังนั้นถ้าในการตัดมีความเร็วรอบ อัตราป้อนตัดและความลึกตัดสูง จะส่งผลให้แรงในแนวแกน x มีค่ามาก

รูปที่ 5.13 เป็นการตรวจสอบสมมติฐานที่ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ ซึ่งสังเกตได้ว่าข้อมูลมีค่าใกล้เคียงเส้นตรงที่กำหนด แสดงให้เห็นถึงสมมติฐานมีความถูกต้อง ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 5.14 จะเห็นกลุ่มข้อมูลมีแนวโน้มที่จะกระจายเป็นรูประฆังคว่ำ

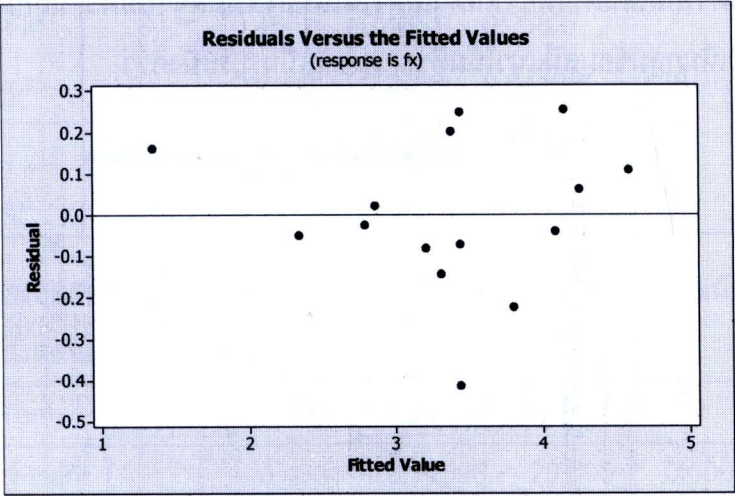


รูปที่ 5.13 ความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายแบบปกติ สำหรับแรงแนวแกน x (F_x) ของการกัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

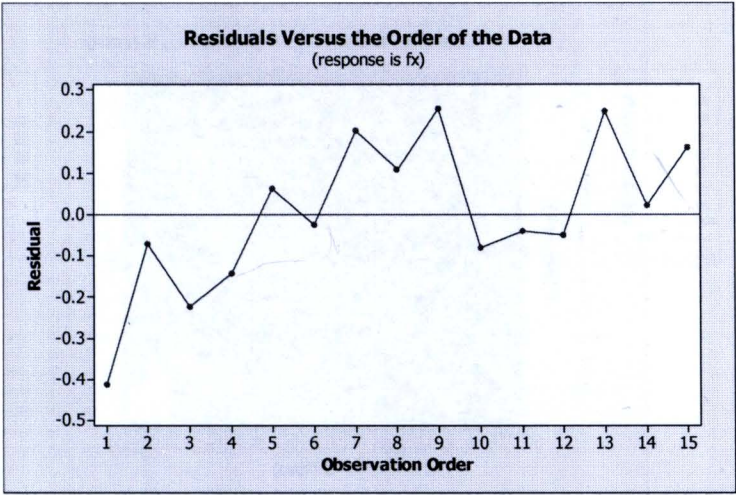


รูปที่ 5.14 ความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายแบบปกติ สำหรับแรงแนวแกน x (Fx) ของการกัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

รูปที่ 3.15 และ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาด (Residual) ซึ่งสังเกตได้ว่าค่าความผิดพลาดดังกล่าวควรมีการกระจายแบบสุ่มหรือไม่มีรูปแบบ

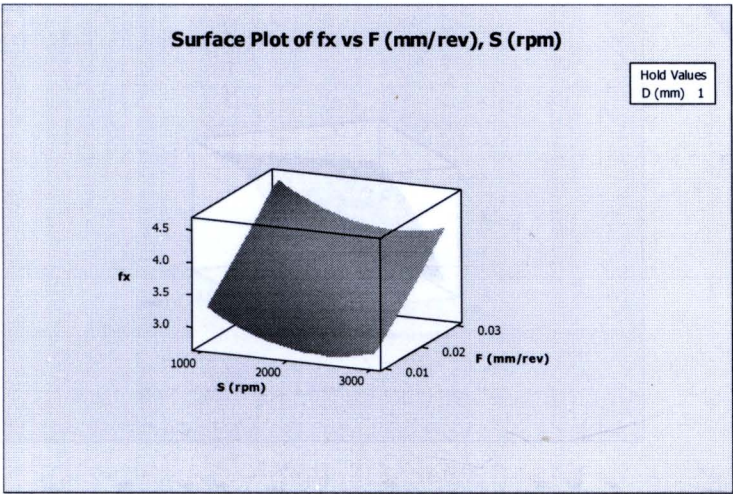


รูปที่ 5.15 การกระจายตัวของข้อมูลแรงแนวแกน x (Fx) ที่เป็นอิสระต่อกัน ของการกัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

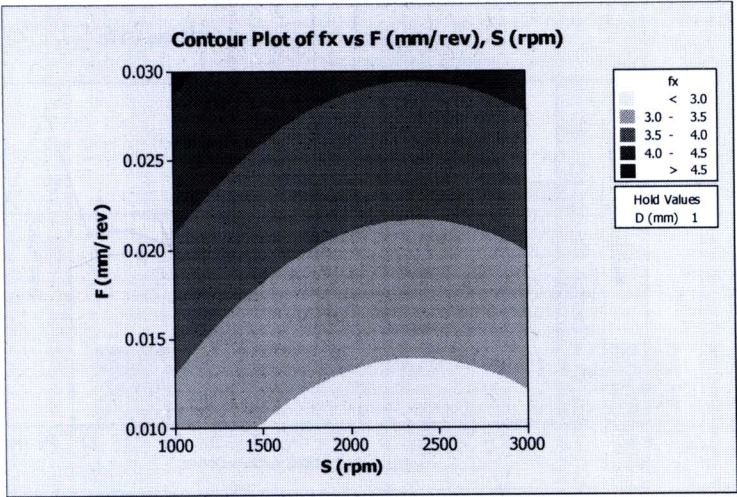


รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและลำดับของการทดลองของข้อมูลแรงแนวแกน x (Fx) ที่เป็นอิสระต่อกัน ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

รูปที่ 5.17 และ 5.18 บ่งบอกว่าเมื่อทำการกัดอลูมิเนียมแบบละอองของสารหล่อเย็น แรงในแนวแกน x (Fx) จะมีค่าน้อยที่สุดอยู่ที่อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบและมีความเร็วรอบอยู่ในช่วง 1,500 ถึง 3,000 รอบต่อนาที โดยพื้นที่สีเขียวย่นจะแสดงถึงบริเวณที่แรงตัดแกน x (Fx) ต่ำที่สุด

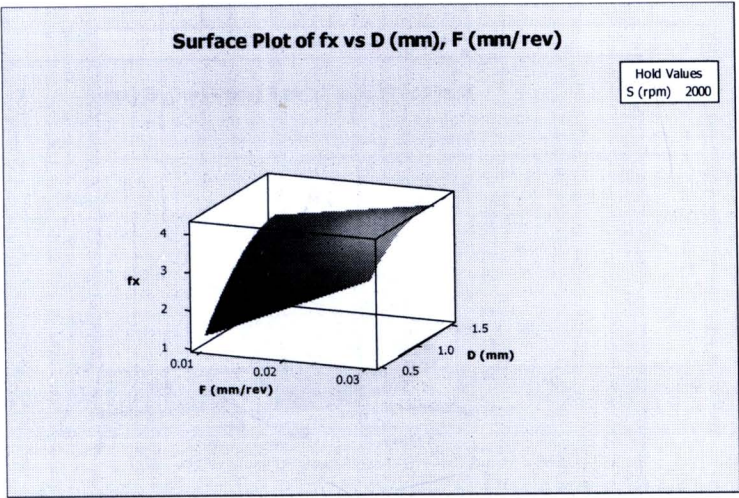


รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดแกน x (Fx) กับอัตราป้อน (F) และความเร็วรอบ (S) ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

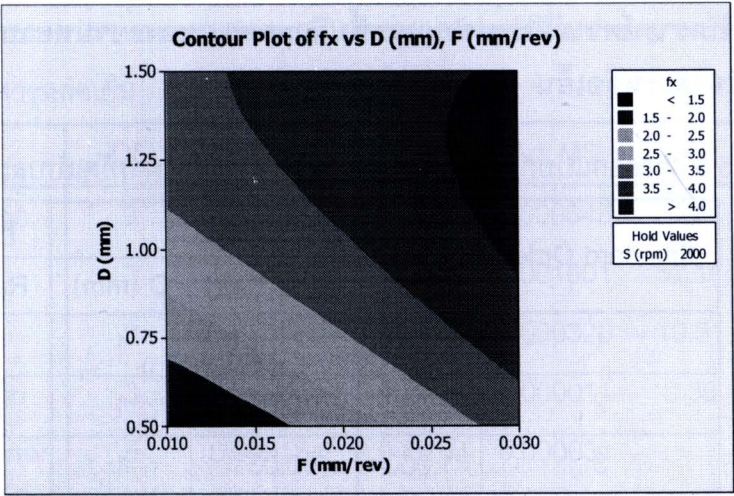


รูปที่ 5.18 กราฟคอนทัวร์แสดงระดับของแรงตัดแกน x (F_x) กับอัตราป้อน (F) และความเร็วรอบ (S) ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

เมื่อพิจารณาแรงตัดแกน x (F_x) กับอัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D) ดังรูปที่ 5.19 และ 5.20 พบว่าแรงตัดแกน x (F_x) มีค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำ และความลึกตัดต่ำ ซึ่งก็คือบริเวณสีน้ำเงินเข้มในกราฟคอนทัวร์



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดแกน x (F_x) กับอัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D) ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น



รูปที่ 5.20 กราฟคอนทัวร์แสดงระดับของแรงตัดแกน x (F_x) กับอัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D)
ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น



5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนและพื้นผิวผลตอบของความหยาบผิวของการตัดแบบ
ละอองของสารหล่อเย็น

ตารางที่ 5.6 การออกแบบการทดลองต่อความหยาบผิวของการกัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

Standard Order	Input Value			Responses
	S (rpm)	F (mm/rev)	D (mm)	Ra (micro m)
1	1,000	0.01	1	0.1008
2	3,000	0.01	1	0.0728
3	1,000	0.03	1	0.1236
4	3,000	0.03	1	0.1067
5	1,000	0.02	0.5	0.1491
6	3,000	0.02	0.5	0.1227
7	1,000	0.02	1.5	0.1113
8	3,000	0.02	1.5	0.0832
9	2,000	0.01	0.5	0.1047
10	2,000	0.03	0.5	0.1358
11	2,000	0.01	1.5	0.0834
12	2,000	0.03	1.5	0.1116
13	2,000	0.02	1	0.0977
14	2,000	0.02	1	0.0925
15	2,000	0.02	1	0.0937

จากข้อมูลความหยาบผิวในตารางที่ 5.6 เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) จะได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.7 ความแปรปรวนของความหยาบผิวก่อนการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

Source	DF	Seq	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.005805	0.005805	0.000645	21	0.002
Linear	3	0.004802	0.004802	0.001601	52.11	0.000
Square	3	0.000969	0.000969	0.000323	10.51	0.013
Interaction	3	0.000034	0.000034	0.000011	0.36	0.782
Residual Error	5	0.000154	0.000154	0.000031		
Lack-of-Fit	3	0.000139	0.000139	0.000046	6.24	0.141
Pure Error	2	0.000015	0.000015	0.000007		
Total	14	0.005958				

ตารางที่ 5.8 สมการถดถอยของพื้นผิวผลตอบของความหยาบผิวก่อนการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

Term		Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.094633	0.0032	29.573	0
S	rpm	-0.012425	0.00196	-6.341	0.001
F	mm/rev	0.0145	0.00196	7.4	0.001
D	mm	-0.01535	0.00196	-7.833	0.001
S*S	rpm ²	0.007021	0.002884	2.434	0.059
F*F	mm ² /rev ²	-0.000679	0.002884	-0.235	0.823
D*D	mm ²	0.014921	0.002884	5.173	0.004
S*F	rpm*mm/rev	0.002775	0.002771	1.001	0.363
S*D	rpm*mm	-0.000425	0.002771	-0.153	0.884
F*D	mm ² /rev	-0.000725	0.002771	-0.262	0.804
S = 0.005543 R-Sq = 97.4% R-Sq(adj) = 92.8%					

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าสมการถดถอย (Regression model) ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 % สามารถใช้ได้ กล่าวคือมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 และค่าการขาดความเหมาะสมของสมการ

(Lack of fit test) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการขาดความเหมาะสมของสมการมีค่า P-value 0.141 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายถึงสมการมีความเหมาะสม

เมื่อพิจารณาต่อไปพบว่าตัวแปรที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าเป็นตัวแปรที่สามารถใช้ได้ในการถดถอย ได้แก่ ค่าคงที่ ความเร็วรอบ (S) อัตราป้อนตัด (F) ความลึกตัด (D) และความลึกตัดลำดับสอง (D^2) ซึ่งทุกพจน์มี P-value น้อยกว่า 0.05 ทั้งสิ้น และทำการทดลองตัดพจน์อื่นที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่น (P-value น้อยกว่า 0.05) พบว่าได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.9 ความแปรปรวนของความหยาบผิวหลังการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	0.005583	0.005583	0.001396	37.25	0.000
Linear	3	0.004802	0.004802	0.001601	42.71	0.000
Square	1	0.000781	0.000781	0.000781	20.85	0.001
Residual Error	10	0.000375	0.000375	0.000037		
Lack-of-Fit	8	0.00036	0.00036	0.000045	6.07	0.149
Pure Error	2	0.000015	0.000015	0.000007		
Total	14	0.005958				

ตารางที่ 5.10 สมการการถดถอยของพื้นผิวผลตอบของความหยาบผิวหลังการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

Term		Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.09826	0.002314	42.466	0
S	rpm	-0.01243	0.002164	-5.741	0
F	mm/rev	0.0145	0.002164	6.7	0
D	mm	-0.01535	0.002164	-7.092	0
D*D	Mm ²	0.01447	0.003168	4.566	0.001
S = 0.006122 R-Sq = 93.7% R-Sq(adj) = 91.2%					

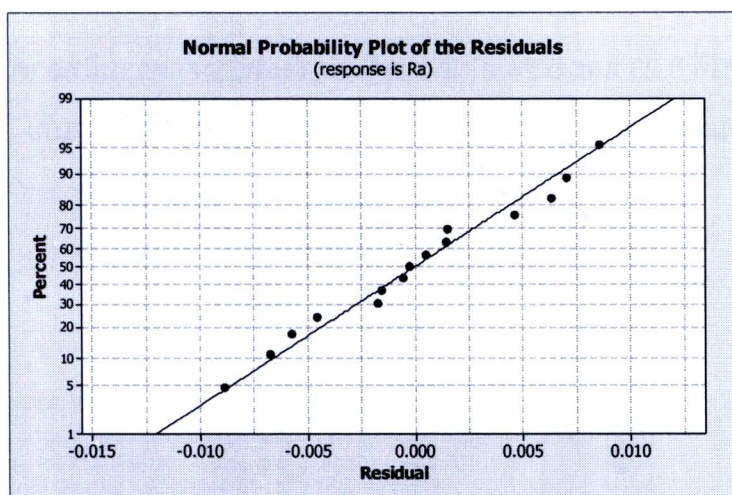
พบว่าสมการถดถอยที่ได้ยังคงมีค่า R-Square และค่า R-Square Adj. สูง และมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และค่า P-value ของค่าการขาดความเหมาะสมของสมการ (Lack of fit) มี

ค่า 0.149 ซึ่งมากกว่า 0.05 และมีค่าเพิ่มขึ้น หมายความว่าสมการนี้เหมาะสม ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ความหยาบผิวเฉลี่ยต่อตัวแปรต้นต่าง ๆ คือ

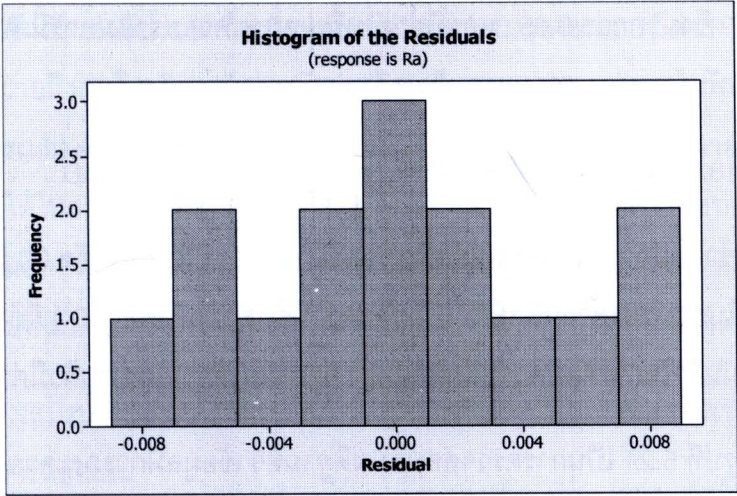
$$Ra = 0.182679 - 1.24E-05S + 1.45F - 0.146443D + 0.0578714D^2$$

จากสมการความสัมพันธ์สามารถอธิบายได้ว่า อัตราป้อนตัด (F) มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวมาก ในส่วนของความลึกตัด (D) และความลึกตัดกำลังสอง (D^2) มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวน้อย ดังนั้นถ้าในการตัดมีความลึกตัดต่ำสูง จะส่งผลให้ความหยาบผิวมีค่าน้อย

รูปที่ 5.21 เป็นการตรวจสอบสมมติฐานที่ว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นปกติ ซึ่งสังเกตได้ว่าข้อมูลมีค่าใกล้เคียงเส้นตรงที่กำหนด แสดงให้เห็นถึงสมมติฐานมีความถูกต้อง ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 5.22 จะเห็นกลุ่มข้อมูลมีแนวโน้มที่จะกระจายเป็นรูปประฆังคว่ำ

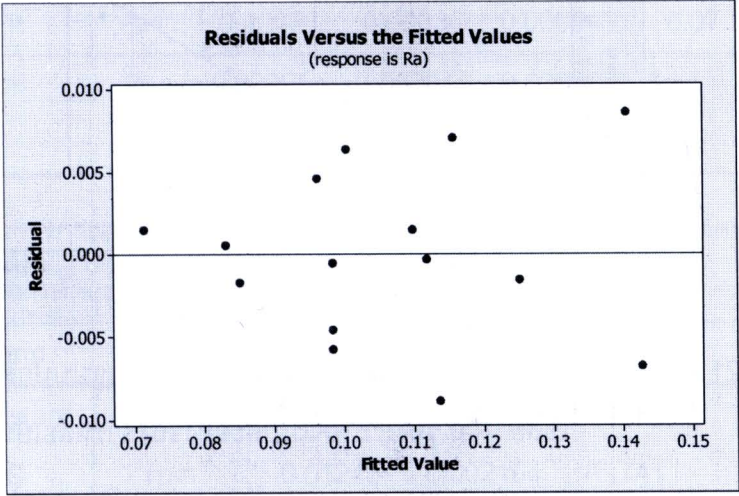


รูปที่ 5.21 ความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายแบบปกติ สำหรับความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

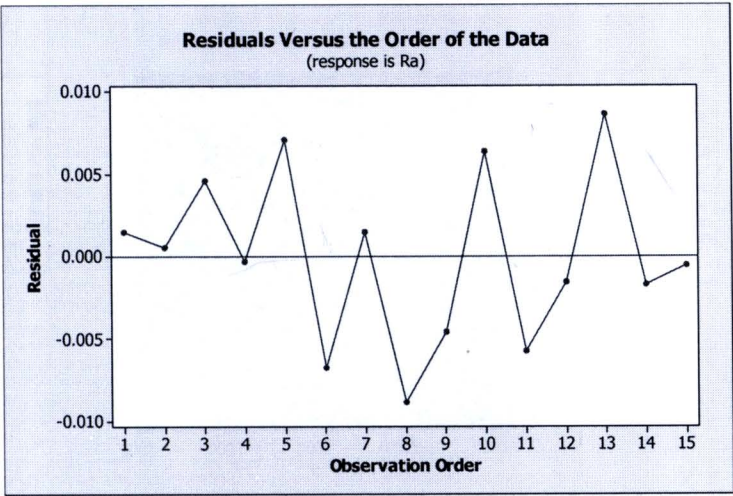


รูปที่ 5.22 ความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายแบบปกติ สำหรับความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

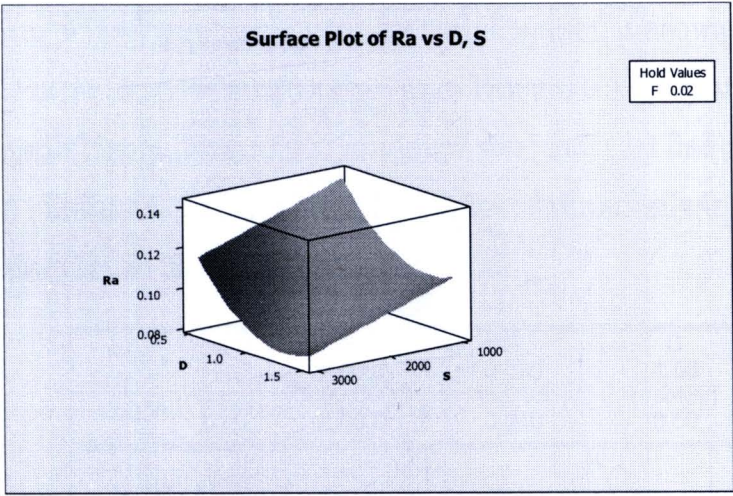
รูปที่ 5.23 และ 5.24 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาด (Residual) ซึ่งสังเกตได้ว่าค่าความผิดพลาดดังกล่าวควรมีการกระจายแบบสุ่ม หรือ ไม่มีรูปแบบ



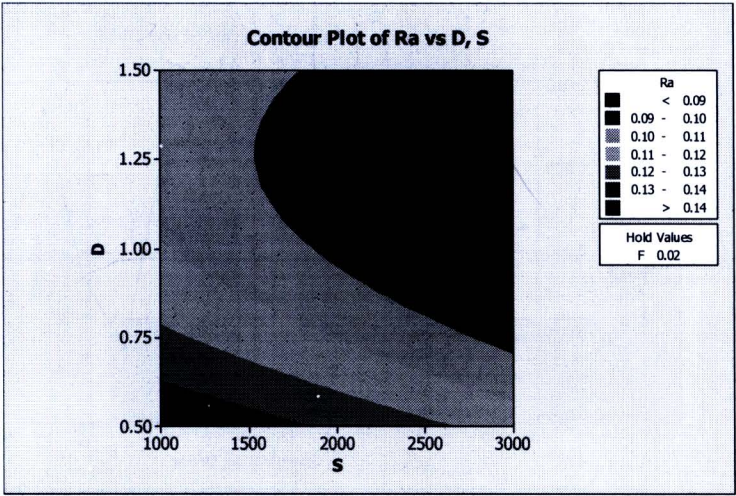
รูปที่ 5.23 การกระจายตัวของข้อมูลความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ที่เป็นอิสระต่อกัน ของการกัดแบบละอองของสารหล่อเย็น



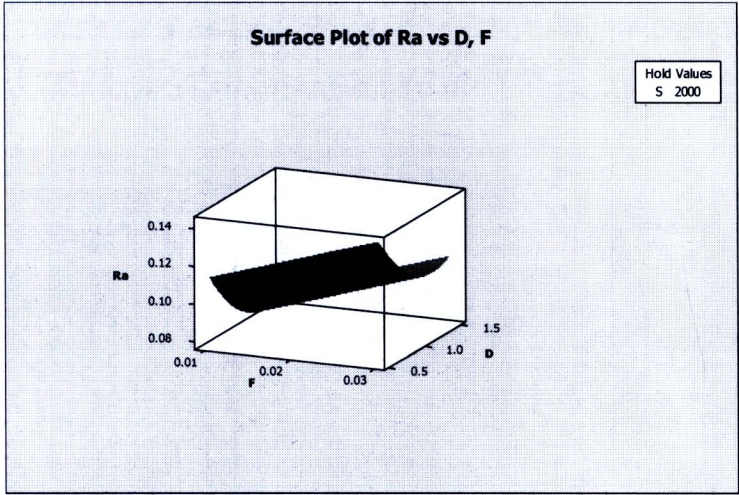
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและลำดับของการทดลอง ของการตัดแบบละออง
ของสารหล่อเย็น



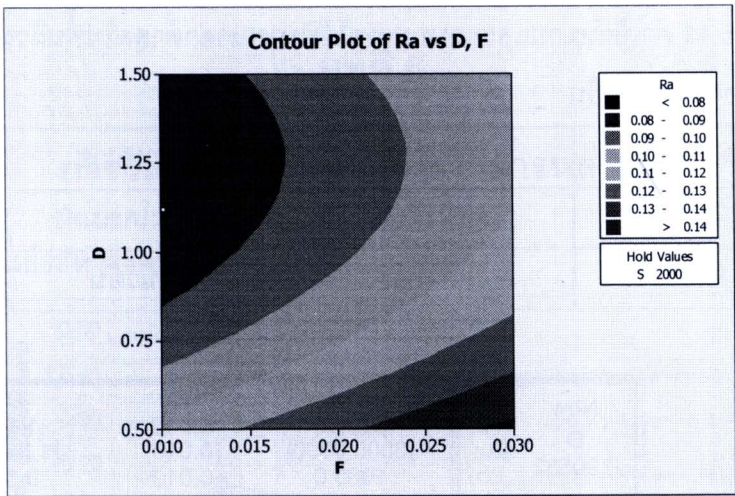
รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) กับความลึกตัด (D) และความเร็วยรอบ
(S) ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น



รูปที่ 5.26 กราฟคอนทัวร์แสดงระดับของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) กับความลึกตัด (D) และความเร็วรอบ (S) ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

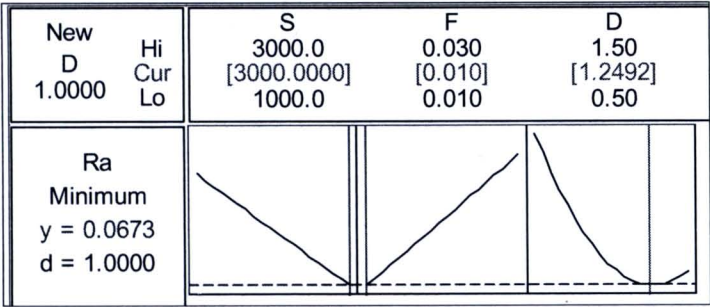


รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) กับความลึกตัด (D) และอัตราป้อน (F) ของการตัดแบบละอองสารหล่อเย็น



รูปที่ 5.28 กราฟคอนทัวร์แสดงระดับของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) กับความลึกตัด (D) และอัตราป้อน (F) ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

เมื่อพิจารณาหาจุดต่ำสุดของความหยาบผิวจากพื้นผิวผลตอบ เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายไว้เท่ากับ 0.15 ไมโครเมตร และค่าขอบบน (Upper value) ไว้เท่ากับ 0.9 ไมโครเมตร พบว่า ความหยาบผิวจะต่ำที่สุดเมื่อใช้ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกตัด 1.50 มิลลิเมตร นั่นหมายถึงความหยาบผิวจะต่ำที่สุดเมื่อปัจจัยทั้งสามมีค่าดังนี้ ความเร็วรอบสูง อัตราป้อนต่ำ และความลึกตัดสูง ดังรูป

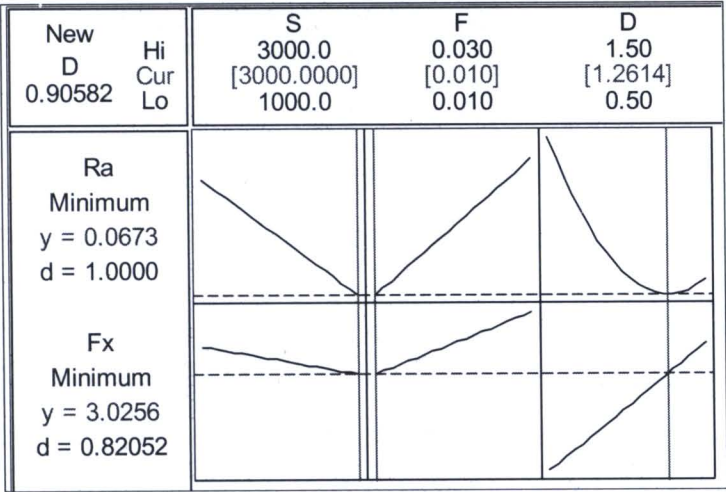


รูปที่ 5.29 การวิเคราะห์หาค่าต่ำสุดจากพื้นผิวผลตอบ เมื่อพิจารณา ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) และตัวแปรต้น ของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

ทำการวิเคราะห์หาค่าต่ำสุดจากพื้นผิวผลตอบอีกครั้งโดยมีปัจจัยเพิ่มเข้ามาคือ แรงในแนวแกน x โดยตั้งค่าเป้าหมาย (Target value) ไว้เท่ากับ 0.15 ไมโครเมตร และค่าขอบบน (Upper value) ไว้เท่ากับ 0.9 ไมโครเมตร สำหรับค่าผลตอบความหยาบผิว (Ra) และ ตั้งค่าเป้าหมายไว้เท่ากับ 1.5 นิวตัน และค่าขอบบนไว้เท่ากับ 10 นิวตัน สำหรับแรงตัดในแกน x (Fx)

ตารางที่ 5.11 ค่าเป้าหมายและขอบบนเพื่อใช้พิจารณาค่าต่ำสุดในพื้นที่ผิวผลตอบ ของการตัดแบบ ละอองของสารหล่อเย็น

ผลตอบ	เป้าหมาย	ค่าเป้าหมาย	ขอบบน
Ra	จุดต่ำที่สุด	0.15 ไมโครเมตร	0.9 ไมโครเมตร
Fx	จุดต่ำที่สุด	1.5 นิวตัน	10 นิวตัน



รูปที่ 5.30 การวิเคราะห์หาค่าต่ำสุดจากพื้นที่ผิวผลตอบของการตัดแบบละอองของสารหล่อเย็น

จากรูปที่ 5.30 การวิเคราะห์หาค่าต่ำสุดจากพื้นที่ผิวผลตอบ โดยพบว่าค่าความหยาบผิวต่ำ ที่สุดและเกิดแรงการตัดในแนวแกน x (Fx) น้อยที่สุดเมื่อ

- ความเร็วรอบ = 3,000 รอบต่อนาที
- อัตราป้อน = 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ
- ความลึกตัด = 1.26 มิลลิเมตร

หรือหมายถึง การกัดที่เงื่อนไขการตัด อัตราป้อนตัดต่ำ ความเร็วรอบ และความลึกตัดสูง