

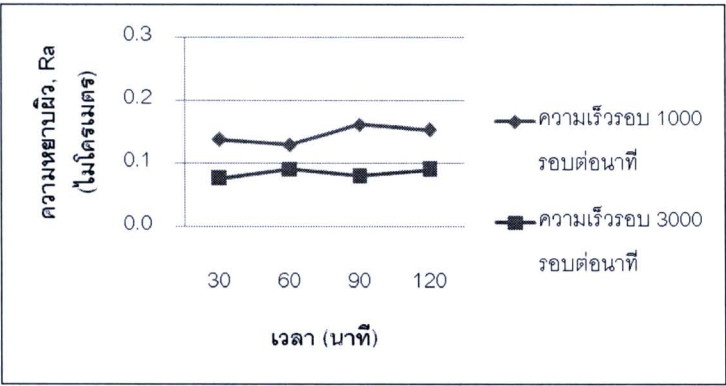
บทที่ 3

การตัดแบบเปียก

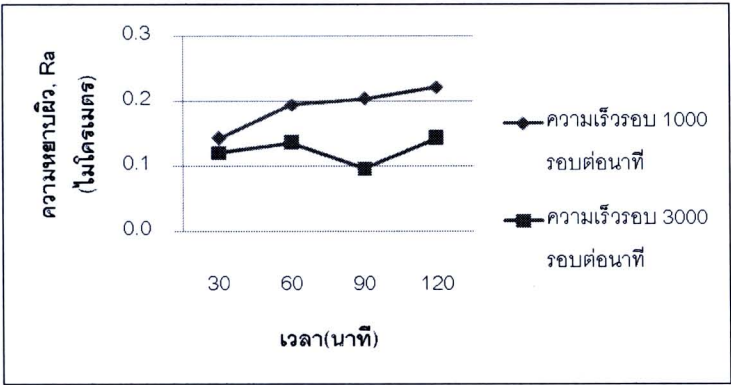
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับความเรียบของผิวชิ้นงานของการตัดแบบเปียก

3.1.1 อิทธิพลของความเร็รรอบต่อความหยาบผิว

จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 เห็นได้ว่าความเร็รรอบในการตัดที่ต่ำจะทำให้ค่าความหยาบผิวสูงกว่าความเร็รรอบในการตัดสูง สามารถอธิบายได้จากการตัดที่ความเร็รรอบสูงทำให้เกิดความร้อนสูงบริเวณพื้นที่ตัดเฉือน จึงส่งผลให้ชิ้นงานนิ่มขึ้นทำให้การตัดง่ายขึ้น จึงให้ค่าความหยาบผิวต่ำกว่าการใช้ความเร็รรอบต่ำ และนอกจากนี้เมื่อระยะเวลาในการตัดที่ยาวนานขึ้น ค่าความหยาบผิวมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของการเกิดเนื้อวัสดุ(เศษโลหะ)หลอมติดกับมีดตัด (Built-up edge: BUE) ซึ่ง BUE จะทำให้ความสามารถในการตัดเฉือนลดลงและทำให้ได้ผิวชิ้นงานไม่ดี เพราะเมื่อการตัดยาวนานขึ้นอัตราการเกิด BUE สะสมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้ความหยาบผิวชิ้นงานสูงขึ้นตามไปด้วย



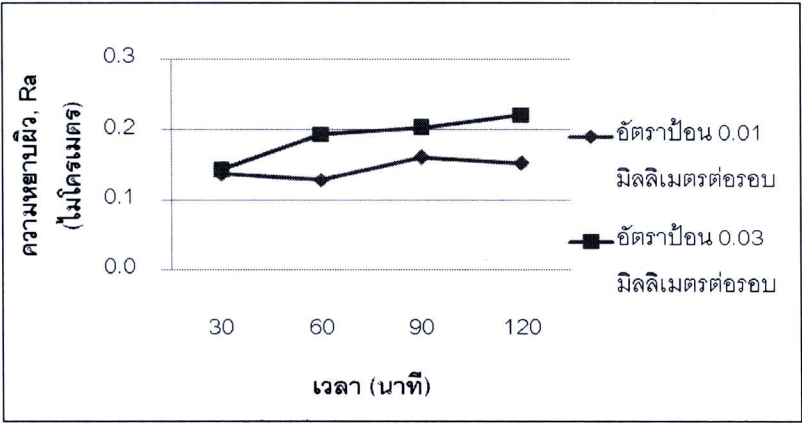
รูปที่ 3.1 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบเปียกที่ความลึกตัด 1 มิลลิเมตร อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบที่ความเร็รรอบต่าง ๆ



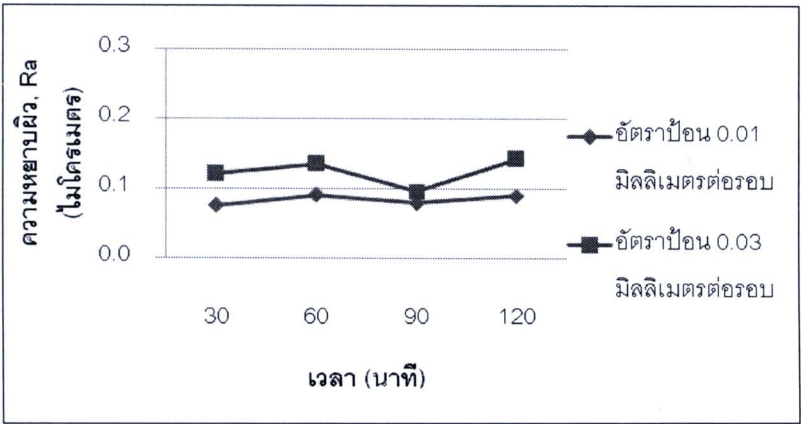
รูปที่ 3.2 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบเปียกที่ความลึกตัด 1 มิลลิเมตร อัตราป้อน 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

3.1.2 อิทธิพลของอัตราป้อนต่อความหยาบผิว

จากรูปที่ 3.3 และ 3.4 สามารถเปรียบเทียบได้ว่าที่อัตราการป้อนตัดที่สูง ทำให้ค่าความหยาบผิวสูง อธิบายได้จากอัตราป้อนที่มากกว่า หมายถึง การกัดด้วยอัตราการกินเนื้อโลหะที่มากกว่าต่อรอบซึ่งตัดยากกว่า ส่งผลให้เกิดความหยาบที่สูงกว่า ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน สามารถอธิบายได้ว่า (พิจารณาจะสมการที่ 2.10) เมื่ออัตราการป้อนตัดสูงขึ้นค่าความหยาบผิวที่ได้จะสูงขึ้นตาม และอีกเหตุผลหนึ่งคือการตัดด้วยอัตราป้อนตัดที่สูงจะต้องใช้แรงในการตัดที่สูงกว่า มีผลต่อการเกิดการสั่นของมีดตัดซึ่งส่งผลให้ความหยาบผิวสูงกว่าการกัดที่อัตราป้อนต่ำ



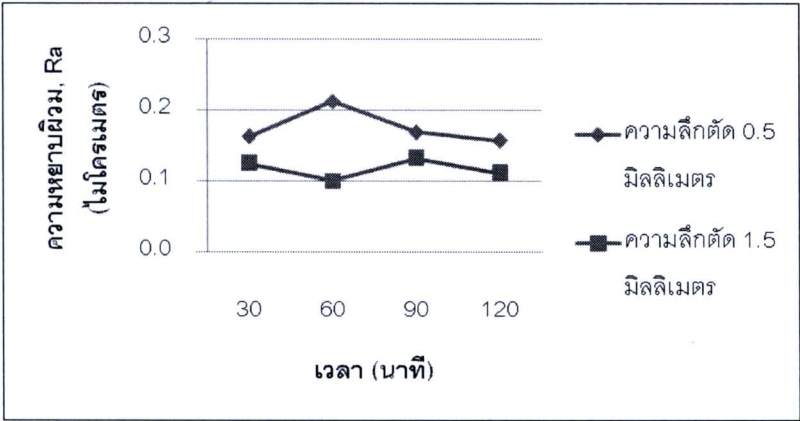
รูปที่ 3.3 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบเปียกที่ความลึกตัด 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาทีที่อัตราป้อนต่าง ๆ



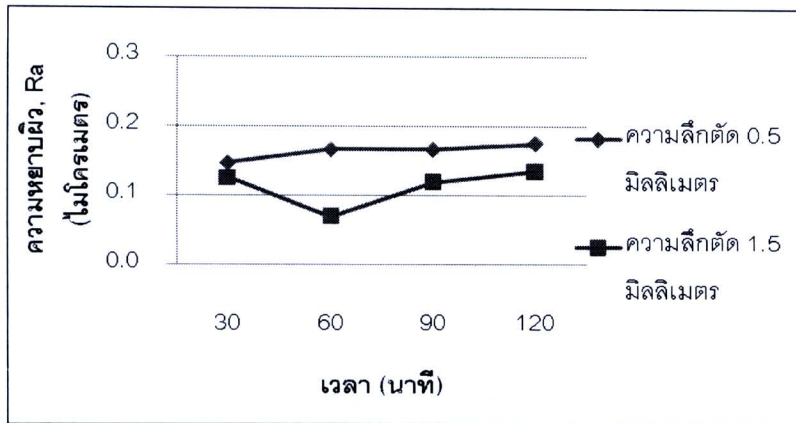
รูปที่ 3.4 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบเปียกที่ความลึกตัด 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาทีที่อัตราป้อนต่าง ๆ

3.1.3 อิทธิพลของความลึกตัดต่อความหยาบผิว

จากรูปที่ 3.5 และ 3.6 แสดงให้เห็นว่าการตัดด้วยความลึกตัดที่มากกว่า ส่งผลให้เกิดความหยาบผิวที่ต่ำกว่า สามารถอธิบายได้จากการที่มิดตัดกินเนื้อผิวที่ลึกกว่าทำให้เกิดความร้อนสะสมที่สูงกว่าที่ความลึกตัดต่ำ เนื่องจากที่ความลึกตัดสูงมีพื้นที่สัมผัสระหว่างมิดตัดกับชิ้นงานสูง จึงทำให้เกิดความร้อนสูง จึงทำให้เนื้อวัสดุอ่อนตัว ส่งผลให้การตัดเฉือนง่ายและทำให้ได้ค่าความเรียบผิวที่ต่ำ



รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบที่ความลึกตัดต่าง ๆ



รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบความหยาบผิวของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบที่ความลึกตัดต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบที่ต่างกัน คือ ที่ 2,000 และ 3,000 รอบต่อนาที จะพบว่าความเร็วรอบสูงค่าความหยาบผิวมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการตัดนานขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า ที่ความเร็วรอบสูงอัตราการสึกหรอ ก็จะสูงขึ้นด้วย จึงทำให้ขอบคมตัด (cutting edge) เกิดการสึกหรอส่งผลให้เกิดพื้นที่การตัดเฉือนที่สูงขึ้น และในขณะเดียวกันขอบคมตัดก็มีความมนอันเนื่องจากการสึกหรอเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มรัศมีของขอบคมตัดจึงทำให้ผิวชิ้นงานออกมาดีหรือค่าความหยาบผิวลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดเพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เมื่อระยะเวลาในการตัดที่ยาวนานขึ้นก็จะมีผลของการเกิด BUE เกิดขึ้นตามมา ทำให้ BUE มีอิทธิพลมากกว่าการสึกหรอของมีดกัดที่เกิดขึ้น (ซึ่งการสึกหรอเกิดขึ้นค่อนข้างจะน้อยมากในการตัดวัสดุอ่อน เช่น อะลูมิเนียม เป็นต้น) ทำให้ความหยาบผิวของชิ้นงานสูงขึ้น

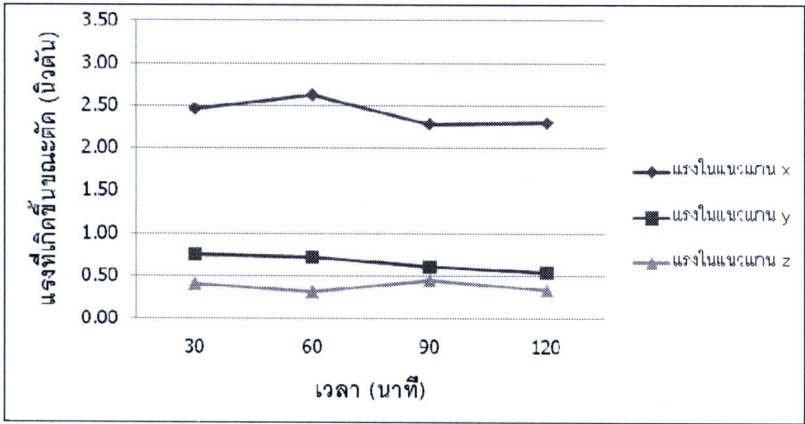
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับแรงตัดที่เกิดขึ้นขณะตัดในแกนต่าง ๆ ของการตัดแบบเปียก

จากรูปที่ 3.7 ถึง 3.12 จะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ มีค่าไม่ต่างกันมากโดยแรงในแนวแกน x เกิดขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือแรงในแนวแกน y ซึ่งจะมีค่าไม่ต่างจากแรงในแนวแกน z มากนัก ดังนั้นในการทดลองจึงนำแรงในแนวแกน x มาพิจารณาแรงเดียว

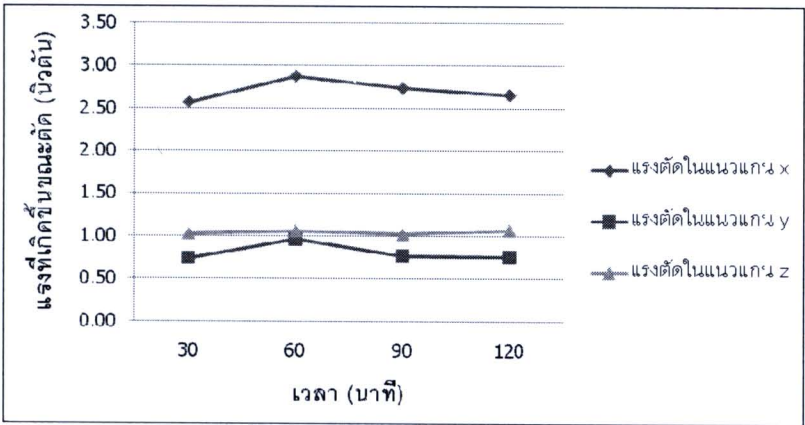
3.2.1 อิทธิพลของความเร็วรอบต่อแรงตัดในสามแกน

จากรูปที่ 3.7 และ 3.8 จะเห็นว่าความเร็วรอบสูงแรงตัดที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าที่ความเร็วรอบต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ที่ความเร็วรอบสูงเกิดความร้อนสูงทำให้เนื้อวัสดุอ่อนตัวแรงตัดที่เกิดขึ้นควรจะต่ำ แต่เนื่องจากที่ความร้อนสูงจะทำให้เศษโลหะหลอมติดกับมีดตัดสูงด้วย

ซึ่งความลึกหรือส่งผลมากกว่าการอ่อนตัวของเนื้อวัสดุทำให้เกิดแรงตึงสูงขึ้น และขณะเดียวกันที่ความเร็วรอบสูงจะทำให้เนื้อวัสดุหลอมติดกับคมตัดทำให้การตัดเฉือนไม่เสถียร ส่งผลให้แรงตึงสูงขึ้น โดยแรงที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือแรงในแนวแกน x และที่รองลงมาและมีค่าใกล้เคียงกันคือ แรงในแนวแกน y และ z ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ของการตัดแบบเปียก

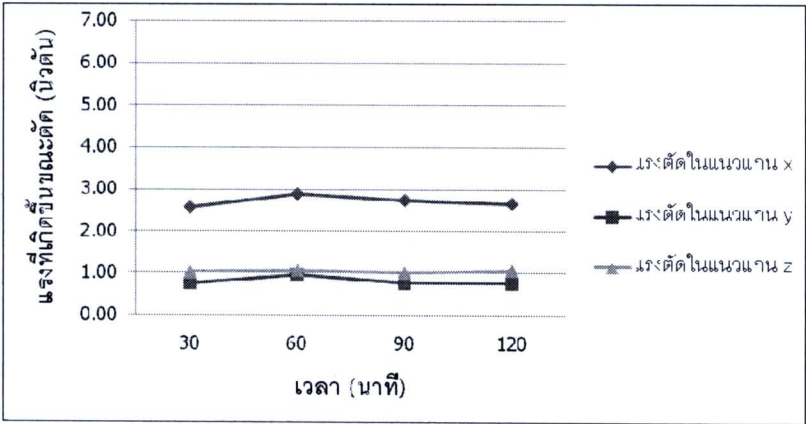


รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ของการตัดแบบเปียก

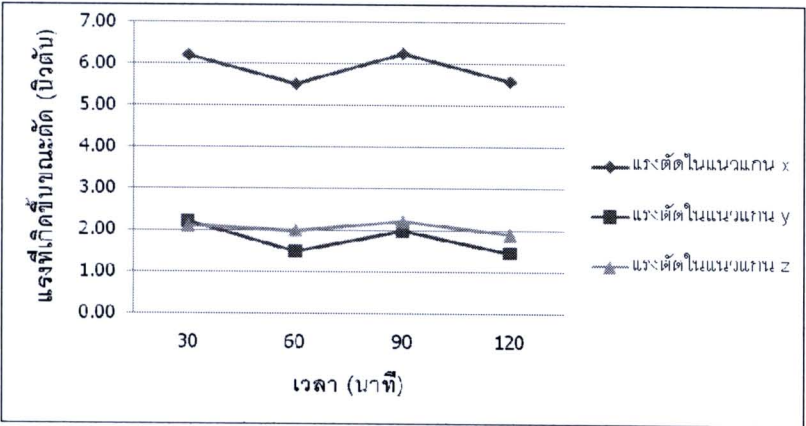
3.2.2 อิทธิพลของอัตราป้อนต่อแรงตัดในสามแกน

รูปที่ 3.9 และ 3.10 แสดงแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการตัดเฉือนชิ้นงาน จากรูปจะพบว่าแรงตัดในแนวแกน x มีค่าสูงสุด และแรงตัดในแนวแกน y และ z มีค่าที่ค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบแรงตัดที่เกิดขึ้นที่อัตราการป้อนตัดที่ต่างกัน คือที่อัตราป้อนตัด 0.01 และ 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่อัตราการป้อนตัดที่สูงกว่าจะเกิดแรงในขณะตัดสูงกว่าที่อัตราการป้อนตัด

ต่ำ สามารถอธิบายได้ว่า ที่อัตราการป้อนตัดสูงจะมีพื้นที่ในการตัดเฉือนสูง (พื้นที่สัมผัสระหว่างมีดตัดกับเนื้อชิ้นงาน) เนื่องจากระยะในการเคลื่อนที่เข้าตัดชิ้นงานสูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนตัดเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดแรงในการตัดสูงตามไปด้วย



รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ของการตัดแบบเปียก

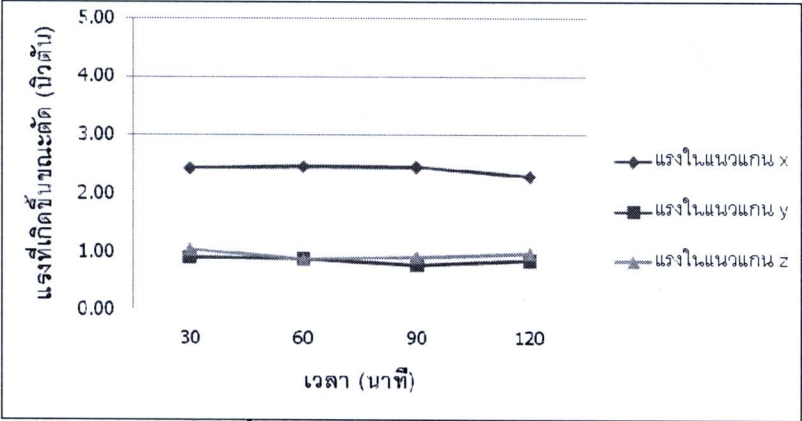


รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ของการตัดแบบเปียก

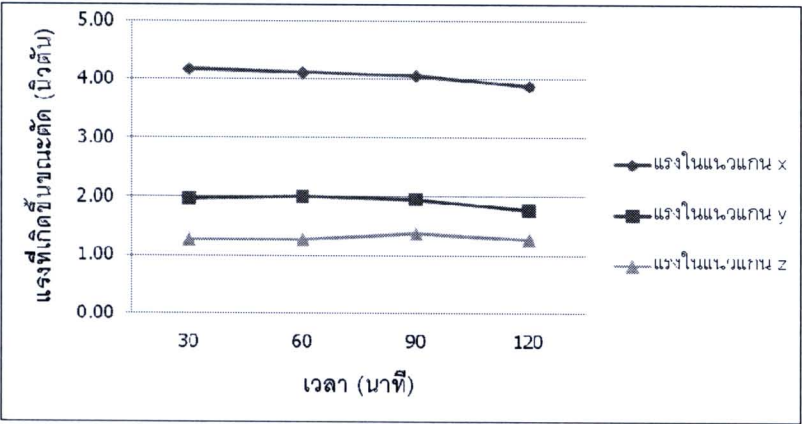
3.2.3 อิทธิพลของความลึกตัดต่อแรงตัดในสามแกน

รูปที่ 3.11 และ 3.12 แสดงแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัดเฉือนชิ้นงานที่ความลึกแตกต่างกันคือ ที่ความลึกตัด 0.5 และ 1.5 มิลลิเมตร จากรูปจะพบว่าแรงตัดในแนวแกน x มีค่าสูงสุด และแรงตัดในแนวแกน y และ z มีค่าที่ค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับอิทธิพลของอัตราการป้อนตัด ที่ความลึกตัดที่สูงกว่าจะเกิดแรงในขณะตัดสูงกว่าที่ความลึกตัดต่ำ ซึ่งเหตุผล

สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับอัตราการป้อนตัด นั่นคือ ที่ความลึกตัดสูงจะมีพื้นที่ในการตัดเฉือนสูง (พื้นที่สัมผัสระหว่างมีดตัดกับเนื้อชิ้นงาน) จึงทำให้เกิดแรงในการตัดสูงตามไปด้วย



รูปที่ 3.11 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ของการตัดแบบเปียก



รูปที่ 3.12 เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นในสามแกนสำหรับความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความลึกตัด 1.5 มิลลิเมตร ของการตัดแบบเปียก

3.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนและพื้นผิวผลตอบของแรงในการตัดของการตัดแบบเปียก

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการทดลองที่มีตัวแปร 3 ระดับและปัจจัยเป็นปัจจัยเชิงปริมาณ ดังนั้นจึงใช้การทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ได้จำนวนเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนของความหยาบผิวและแรงในการตัดแบบเปียก

เงื่อนไขการทดลอง	Input Value			Responses		
	S (rpm)	F (mm/rev)	D (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
1	1000	0.01	1	2.30	0.53	0.85
2	3000	0.01	1	2.34	1.18	1.42
3	1000	0.03	1	4.21	1.55	1.28
4	3000	0.03	1	6.49	2.19	1.71
5	1000	0.02	0.5	1.91	0.32	0.55
6	3000	0.02	0.5	2.50	0.57	1.17
7	1000	0.02	1.5	4.20	1.34	1.42
8	3000	0.02	1.5	5.86	2.16	2.16
9	2000	0.01	0.5	2.15	0.11	0.62
10	2000	0.03	0.5	4.58	1.48	3.72
11	2000	0.01	1.5	3.08	0.61	0.75
12	2000	0.03	1.5	8.59	3.02	2.85
13	2000	0.02	1	4.19	1.38	1.54
14	2000	0.02	1	4.31	1.50	1.45
15	2000	0.02	1	4.41	1.26	1.64
หมายเหตุ						
S คือ ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)			Fx คือ แรงในแนวแกน x (นิวตัน)			
F คือ อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อรอบ)			Fy คือ แรงในแนวแกน y (นิวตัน)			
D คือ ความลึกตัด (มิลลิเมตร)			Fz คือ แรงในแนวแกน z (นิวตัน)			

จากข้อมูลแรงตัดที่แนวแกนต่างๆ (Fx, Fy และ Fz) ในตารางที่ 3.1 เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) จะได้ผลดังตารางที่ 3.2

จากตารางที่ 3.2 พบว่าสมการถดถอย (Regression model) ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 % สามารถใช้ได้ กล่าวคือ มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 และค่า Lack of fit test ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการขาดความเหมาะสมของสมการมีค่า P-value 0.068 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายถึงสมการมีความเหมาะสม

เมื่อพิจารณาต่อไปพบว่าตัวแปรที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าเป็นตัวแปรที่สามารถใช้ได้ในการถดถอย ได้แก่ ค่าคงที่ ความเร็วรอบ (S) อัตราป้อนตัด (F) ความลึกตัด (D) ความเร็วรอบอันดับสอง (S^2) ความสัมพันธ์กันระหว่างความเร็วรอบและอัตราป้อนตัด (SF) และความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราป้อนและความลึกตัด (FD) ซึ่งทุกพจน์มี P-value น้อยกว่า 0.05 ทั้งสิ้น และทำการทดลองตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่น (P-value น้อยกว่า 0.05) พบว่าได้ผลดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.2 ความแปรปรวนของแรงในแนวแกน x ก่อนการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการตัดแบบเบี่ยง

Source	DF	Seq	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	47.3679	47.3679	5.2631	49.68	0.000
Linear	3	41.1291	41.1291	13.7097	129.41	0.000
Square	3	2.3265	2.3265	0.7755	7.32	0.028
Interaction	3	3.9122	3.9122	1.3041	12.31	0.010
Residual Error	5	0.5297	0.5297	0.1059		
Lack-of-Fit	3	0.5054	0.5054	0.1685	13.89	0.068
Pure Error	2	0.0243	0.0243	0.0121		
Total	14	47.8976				

ตารางที่ 3.3 สมการการถดถอยของพื้นผิวผลตอบก่อนการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการ
กัณฑ์แบบเปี่ยง

Term		Coef	SE Coef	T	P
Constant		4.30333	0.1879	22.900	0.000
S	rpm	0.57125	0.1151	4.964	0.004
F	mm/rev	1.75000	0.1151	15.207	0.000
D	Mm	1.32375	0.1151	11.503	0.000
S*S	rpm ²	-0.72542	0.1694	-4.283	0.008
F*F	mm ² /rev ²	0.25708	0.1694	1.518	0.190
D*D	mm ²	0.03958	0.1694	0.234	0.824
S*F	rpm*mm/rev	0.56000	0.1627	3.441	0.018
S*D	rpm*mm	0.26750	0.1627	1.644	0.161
F*D	mm ² /rev	0.77000	0.1627	4.731	0.005
S = 0.3255 R-Sq = 98.9% R-Sq(adj) = 96.9%					

ตารางที่ 3.4 ความแปรปรวนของแรงในแนวแกน x หลังการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการ
กัดแบบเปียก

Source	DF	Seq	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	46.8362	46.8362	7.8060	58.84	0.000
Linear	3	41.1291	41.1291	13.7097	103.33	0.000
Square	1	2.0810	2.0810	2.0810	15.69	0.004
Interaction	2	3.6260	3.6260	1.8130	13.66	0.003
Residual Error	8	1.0614	1.0614	0.1327		
Lack-of-Fit	6	1.0371	1.0371	0.1729	14.25	0.067
Pure Error	2	0.0243	0.0243	0.0121		
Total	14	47.8976				

จากตารางที่ 3.5 พบว่าสมการถดถอยที่ได้ยังคงมีค่า R-Square และค่า R-Square Adj.
สูง และมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 สำหรับทุกปัจจัย และค่า P-value ของค่าการขาดความ
เหมาะสมของสมการ (Lack of fit) มีค่า 0.067 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าสมการนี้เหมาะสม

ตารางที่ 3.5 สมการการถดถอยของพื้นผิวผลตอบหลังการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการ
กัดแบบเปียก

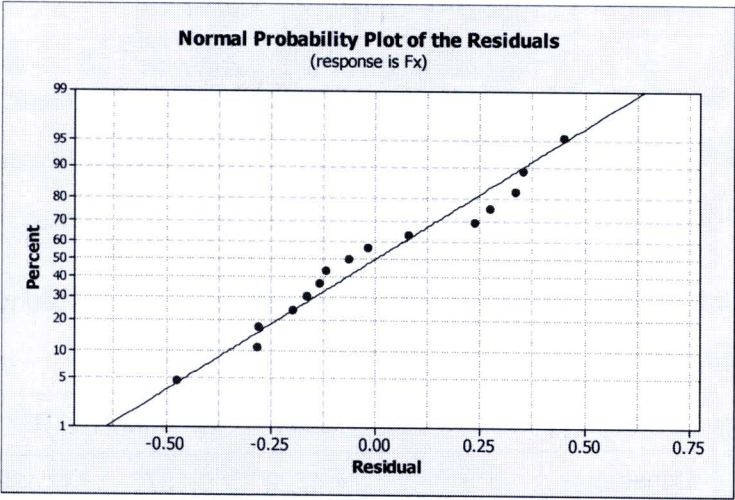
Term		Coef	SE Coef	T	P
Constant		4.4729	0.1377	32.489	0.000
S	Rpm	0.5713	0.1288	4.436	0.002
F	mm/rev	1.7500	0.1288	13.589	0.000
D	Mm	1.3237	0.1288	10.279	0.000
S*S	rpm ²	-0.7466	0.1885	-3.960	0.004
S*F	rpm*mm/rev	0.5600	0.1821	3.075	0.015
S = 0.3642 R-Sq = 97.8% R-Sq(adj) = 96.1%					

สมการความสัมพันธ์ระหว่าง แรงในแนวแกน x ต่อตัวแปรต้นต่าง ๆ คือ

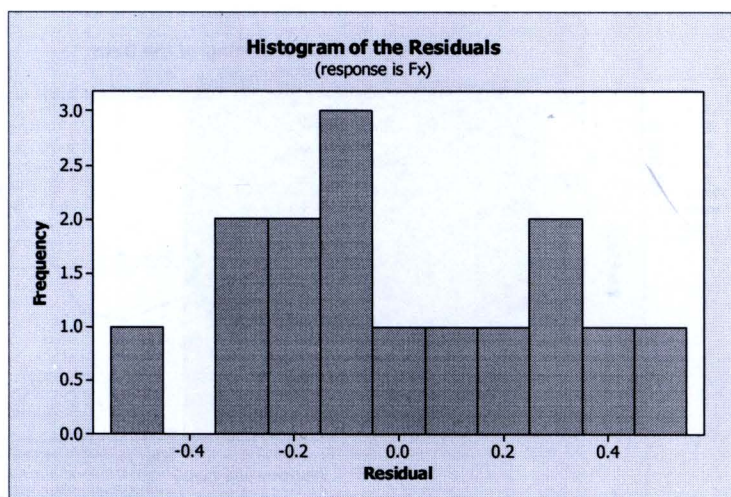
$$F_x = - 0.483571 + 0.00243768S - 91.0000F - 0.432500D - 7.46607E-07SS + 0.0560000SF + 154.000FD$$

จากสมการความสัมพันธ์สามารถอธิบายได้ว่า อัตราป้อนตัด (F) และผลคูณของอัตราป้อนตัดกับความลึกตัด (FD) มีอิทธิพลต่อแรงที่เกิดขึ้นในแนวแกน x มาก ในส่วนของความเร็วรอบ (S) ความลึกตัด (D) และผลคูณระหว่างความเร็วรอบกับอัตราป้อน (SF) มีอิทธิพลต่อแรงที่เกิดขึ้นในแนวแกน x น้อย ดังนั้นถ้าในการตัดมีอัตราป้อนตัดและความลึกตัดสูง จะส่งผลให้แรงในแนวแกน x มีค่ามาก

รูปที่ 3.13 เป็นการตรวจสอบสมมติฐานที่ว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นปกติ ซึ่งสังเกตได้ว่าข้อมูลมีค่าใกล้เคียงเส้นตรงที่กำหนด แสดงให้เห็นถึงสมมติฐานมีความถูกต้อง ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 3.14 จะเห็นกลุ่มข้อมูลมีแนวโน้มที่จะกระจายเป็นรูปประซังคว่ำ

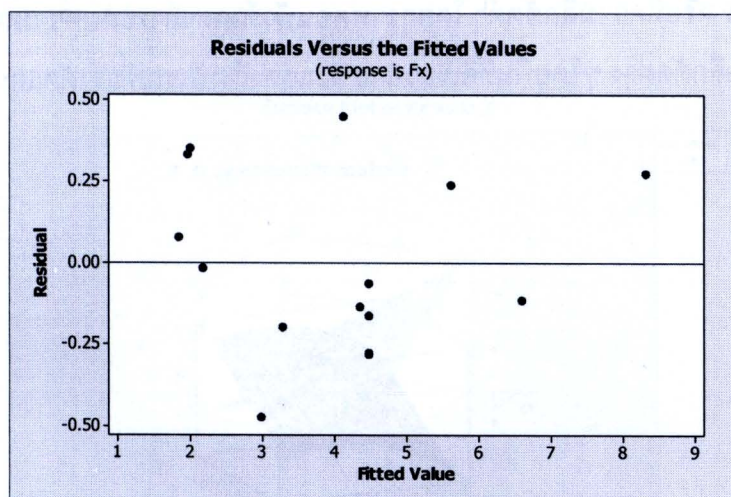


รูปที่ 3.13 ความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายแบบปกติ สำหรับแรงแนวแกน x (Fx) ของการตัดแบบเปียก

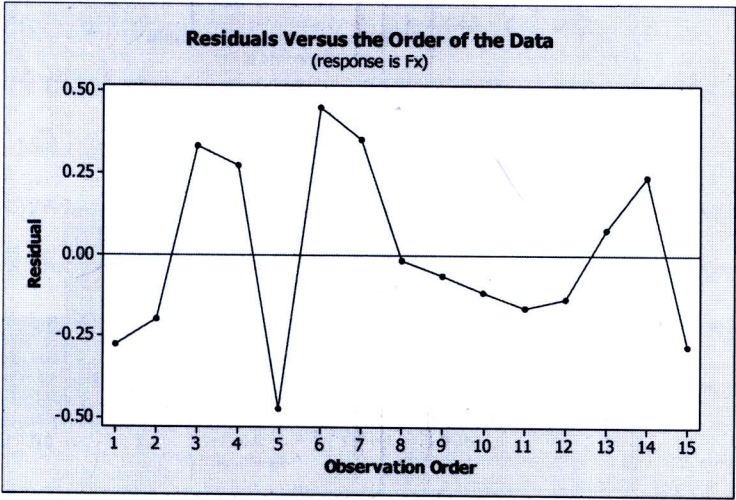


รูปที่ 3.14 ความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายแบบปกติ สำหรับแรงแนวแกน x (F_x) ของการตัดแบบเปียก

รูปที่ 3.15 และ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาด (Residual) ซึ่งสังเกตได้ว่าค่าความผิดพลาดดังกล่าวควรมีการกระจายแบบสุ่ม หรือ ไม่มีรูปแบบ

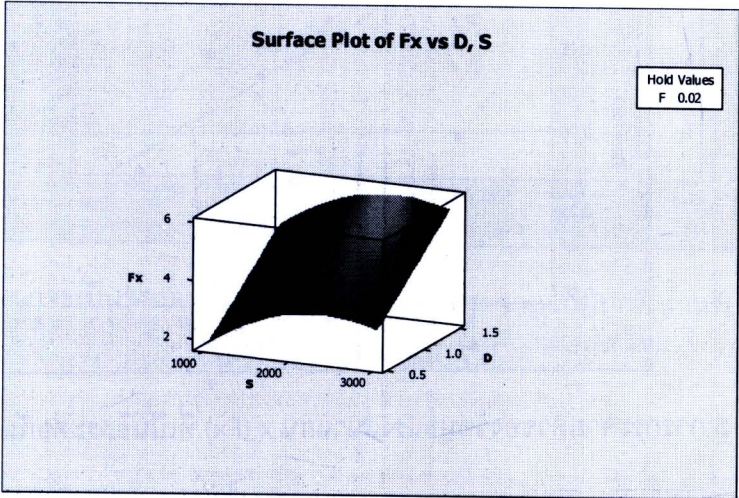


รูปที่ 3.15 การกระจายตัวของข้อมูลแรงแนวแกน x (F_x) ที่เป็นอิสระต่อกัน ของการตัดแบบเปียก

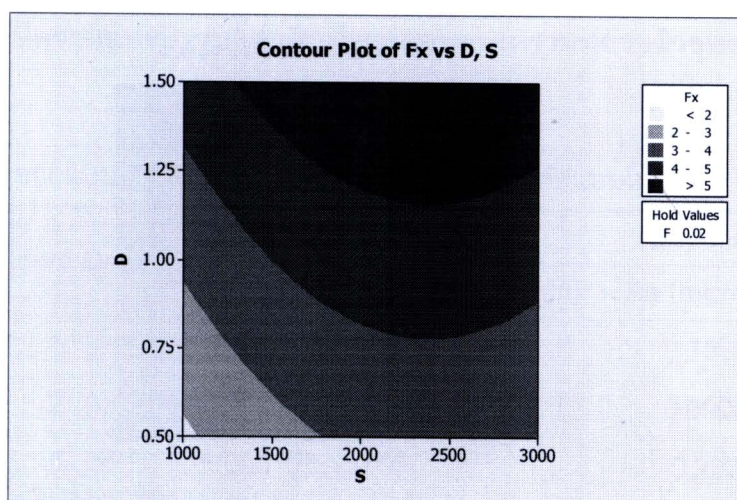


รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและลำดับของการทดลองของข้อมูลแรงแนวแกน x (Fx) ที่เป็นอิสระต่อกัน ของการตัดแบบเปียก

รูปที่ 3.17 และ 3.18 บ่งบอกว่าเมื่อทำการกัดอลูมิเนียมแบบเปียก แรงในแนวแกน x จะมีค่าน้อยที่สุดที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที หรือความเร็วรอบต่ำ และความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร หรือที่ความลึกตัดต่ำ โดยกราฟคอนทัวร์แสดงถึงระดับความหนาผิวที่ความเร็วรอบและความลึกตัดต่าง ๆ โดยพื้นที่สีเขียวอ่อน จะแสดงถึงบริเวณที่แรงตัดแกน x (Fx) ต่ำที่สุด

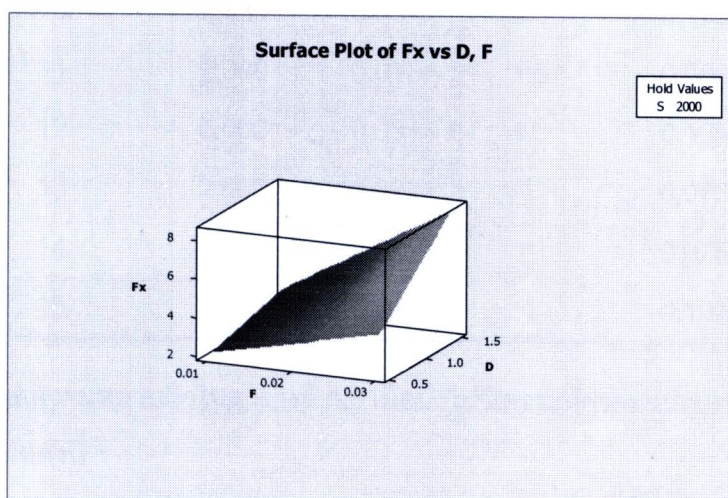


รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดแกน x (Fx) กับความเร็วรอบ (S) และความลึกตัด (D) ของการตัดแบบเปียก

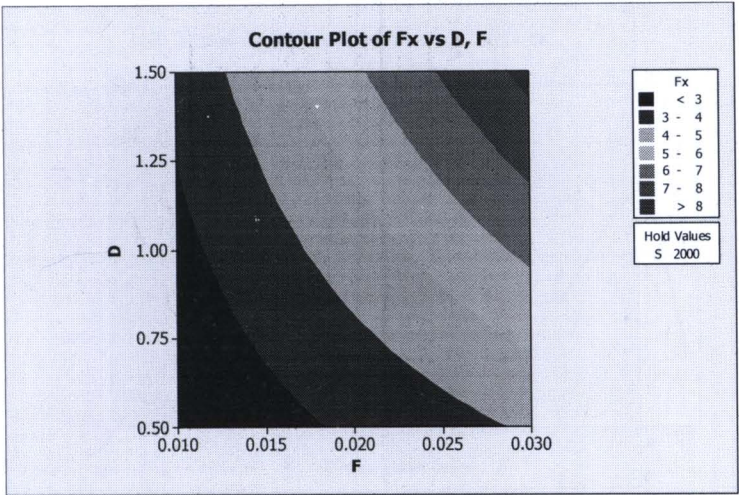


รูปที่ 3.18 กราฟคอนทัวร์แสดงระดับของแรงตัดแกน x (F_x) กับอัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D) ของการตัดแบบเปียก

เมื่อพิจารณาแรงตัดแกน x (F_x) เทียบกับอัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D) ดังรูปที่ 3.19 และ 3.20 พบว่าแรงในแนวแกน x (F_x) มีค่าน้อยที่สุดเมื่อ ใช้อัตราป้อนต่ำ และความลึกตัดต่ำ ซึ่งก็คือบริเวณสีน้ำเงินเข้มในกราฟคอนทัวร์



รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดแกน x (F_x) กับอัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D) ของการตัดแบบเปียก



รูปที่ 3.20 กราฟคอนทัวร์แสดงระดับของแรงตัดแกน x (F_x) กับอัตราป้อน (F) และความลึกตัด (D) ของการตัดแบบเปียก

3.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนและพื้นผิวผลตอบของความหยาบผิวของการตัดแบบเปียก

ตารางที่ 3.6 การออกแบบการทดลองต่อความหยาบผิวของการตัดแบบเปียก

Standard Order	Input Value			Responses
	S (rpm)	F (mm/rev)	D (mm)	Ra (micro m)
1	1,000	0.01	1	0.1530
2	3,000	0.01	1	0.0900
3	1,000	0.03	1	0.222
4	3,000	0.03	1	0.1429
5	1,000	0.02	0.5	0.2400
6	3,000	0.02	0.5	0.1570
7	1,000	0.02	1.5	0.1480
8	3,000	0.02	1.5	0.1110
9	2,000	0.01	0.5	0.0990
10	2,000	0.03	0.5	0.1751
11	2,000	0.01	1.5	0.0890
12	2,000	0.03	1.5	0.1350
13	2,000	0.02	1	0.0736
14	2,000	0.02	1	0.0758
15	2,000	0.02	1	0.1070

จากข้อมูลความหยาบผิวในตารางที่ 3.6 เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) จะได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3.7 ความแปรปรวนของความหยাবผิวก่อนการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการตัดแบบเบี่ยง

Source	DF	Seq	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.033585	0.033585	0.003732	10.82	0.009
Linear	3	0.020452	0.020452	0.006817	19.76	0.003
Square	3	0.012313	0.012313	0.004104	11.9	0.01
Interaction	3	0.00082	0.00082	0.000273	0.79	0.548
Residual Error	5	0.001725	0.001725	0.000345		
Lack-of-Fit	3	0.001027	0.001027	0.000342	0.98	0.541
Pure Error	2	0.000698	0.000698	0.000349		
Total	14	0.03531				

ตารางที่ 3.8 สมการการถดถอยของพื้นผิวผลตอบของความหยাবผิวก่อนการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการตัดแบบเบี่ยง

Term		Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.085467	0.010723	7.970	0.001
S	rpm	-0.032763	0.006567	-4.989	0.004
F	mm/rev	0.030500	0.006567	4.645	0.006
D	Mm	-0.023513	0.006567	-3.581	0.016
S*S	rpm ²	0.052992	0.009666	5.482	0.003
F*F	mm ² /rev ²	0.013517	0.009666	1.398	0.221
D*D	mm ²	0.025542	0.009666	2.642	0.046
S*F	rpm*mm/rev	-0.004025	0.009287	-0.433	0.683
S*D	rpm*mm	0.011500	0.009287	1.238	0.271
F*D	mm ² /rev	-0.007525	0.009287	-0.810	0.455
S = 0.01857 R-Sq = 95.1% R-Sq(adj) = 86.3%					

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าสมการการถดถอยที่ค่าความเชื่อมั่น 95 % สามารถใช้ได้ คือมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 และค่าที่บ่งบอกถึงการขาดความเหมาะสมของสมการ (Lack of fit test) มีค่า P-value 0.54 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายถึงสมการมีความเหมาะสม และเมื่อพิจารณาต่อไป



พบว่าตัวแปรที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่า ตัวแปรที่สามารถใช้ได้ในการถดถอย ได้แก่ ค่าคงที่ ความเร็วรอบ (S) อัตราป้อนตัด (F) ความลึกตัด (D) ความเร็วรอบอันดับสอง (S^2) และความลึกตัดอันดับสอง (D^2) ซึ่งทุกพจน์มี P-value น้อยกว่า 0.5 ทั้งสิ้น และตัวแปรต้นไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน ทำการทดลองตัด พจน์อื่นที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่น (P-value น้อยกว่า 0.05) พบว่าได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.9 ความแปรปรวนของความหยาบผิวหลังการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการตัดแบบเบี่ยง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.03209	0.03209	0.006418	17.94	0
Linear	3	0.020452	0.020452	0.006817	19.06	0
Square	2	0.011639	0.011639	0.005819	16.27	0.001
Residual Error	9	0.00322	0.00322	0.000358		
Lack-of-Fit	7	0.002522	0.002522	0.00036	1.03	0.575
Pure Error	2	0.000698	0.000698	0.000349		
Total	14	0.03531				

ตารางที่ 3.10 สมการการถดถอยของพื้นผิวผลตอบของความหยาบผิวหลังการตัดพจน์ที่ไม่ผ่านความเชื่อมั่นของการตัดแบบเบี่ยง

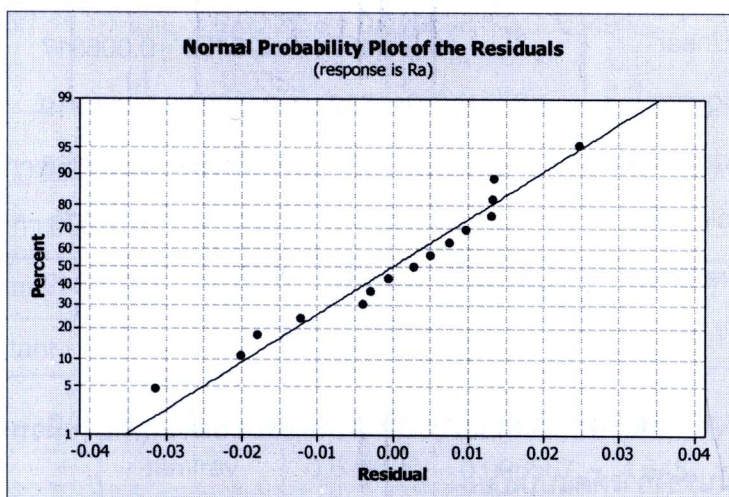
Term		Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.09378	0.009086	10.322	0.000
S	rpm	-0.03276	0.006687	-4.899	0.001
F	mm/rev	0.03050	0.006687	4.561	0.001
D	mm	-0.02351	0.006687	-3.516	0.007
S*S	mm ² /rev	0.05195	0.009814	5.294	0.000
D*D	Mm ²	0.02450	0.009814	2.497	0.034
S = 0.01891 R-Sq = 90.9% R-Sq(adj) = 85.8%					

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

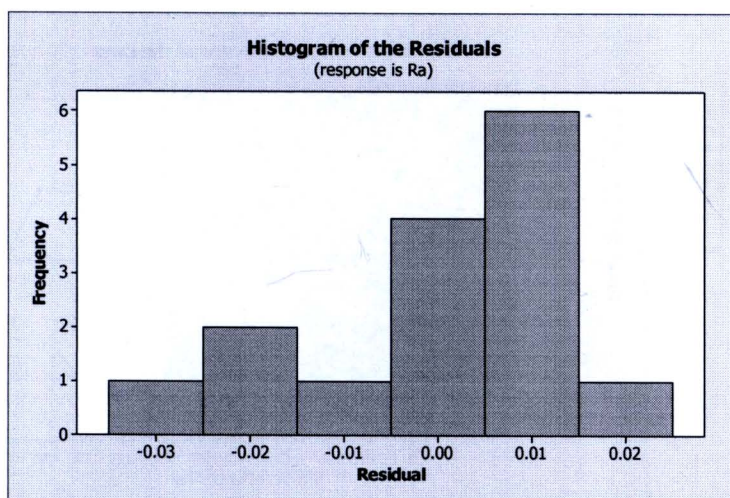
ค่า 0.575 ซึ่งมากกว่า 0.05 และมีค่าเพิ่มขึ้น หมายความว่าสมการนี้เหมาะสม ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ความหยาบผิวเฉลี่ยต่อตัวแปรต้นต่าง ๆ คือ

$$Ra = 0.451150 - 2.40570E-04S + 3.05000F - 0.243040D + 5.19519E-08S^2 + 0.0980077D^2$$

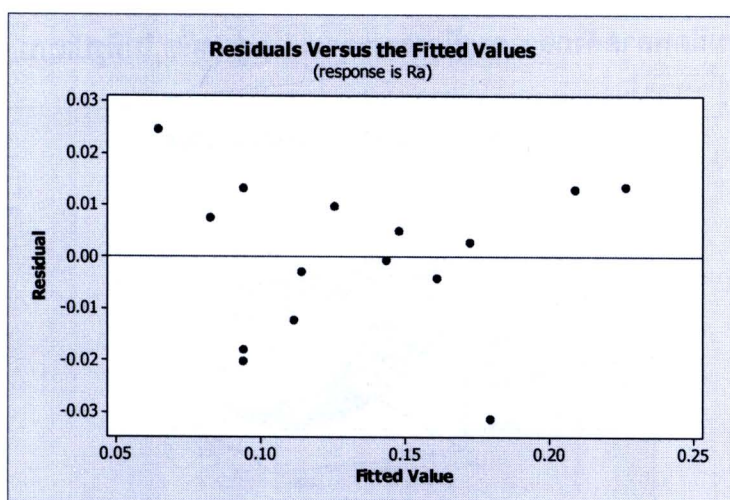
จากสมการความสัมพันธ์สามารถอธิบายได้ว่า อัตราป้อนตัด (F) และความลึกตัด (D) มีอิทธิพลต่อแรงที่เกิดขึ้นในแนวแกน x มาก ในส่วนของความเร็วรอบ (S) ความเร็วรอบลำดับสอง (S^2) และความลึกตัดลำดับสอง (D^2) มีอิทธิพลต่อแรงที่เกิดขึ้นในแนวแกน x น้อย ดังนั้นถ้าในการตัดมีอัตราป้อนตัดและความลึกตัดสูง จะส่งผลให้แรงในแนวแกน x มีค่ามาก เนื่องจากการตัดที่มีอัตราป้อนตัดและความลึกตัดสูงส่งผลให้แรงในการตัดแนวแกน x มีค่าสูง



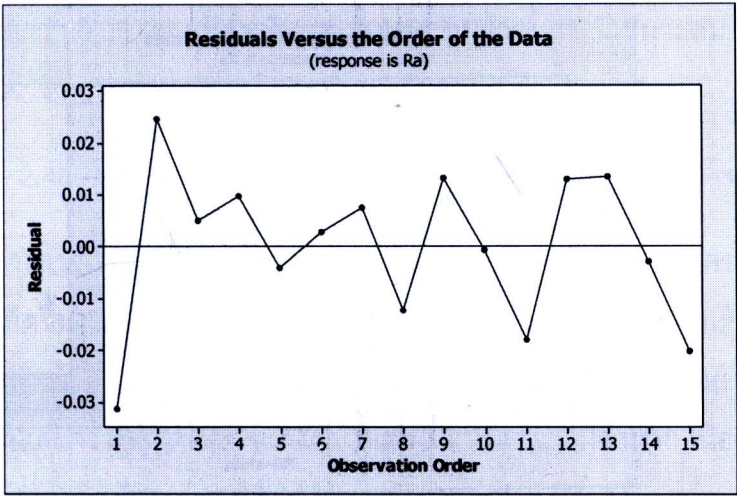
รูปที่ 3.21 ความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายแบบปกติ สำหรับความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของการตัดแบบเปียก



รูปที่ 3.22 ความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายแบบปกติ สำหรับความหยาบผิวเฉลี่ย(Ra) ของการตัดแบบเปียก

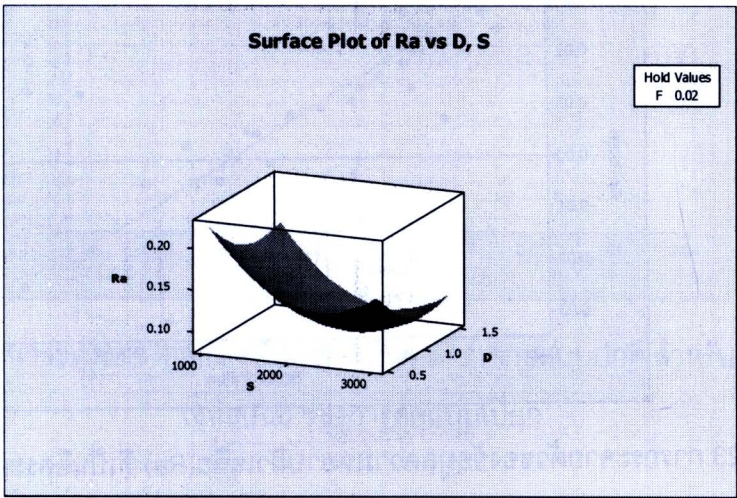


รูปที่ 3.23 การกระจายตัวของข้อมูลความหยาบผิวเฉลี่ย(Ra) ที่เป็นอิสระต่อกัน ของการตัดแบบเปียก

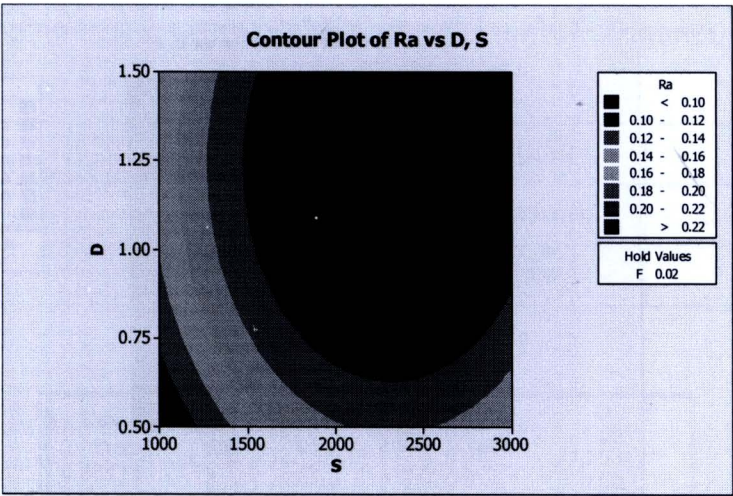


รูปที่ 3.24 ความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและลำดับของการทดลอง ของการตัดแบบเปียก

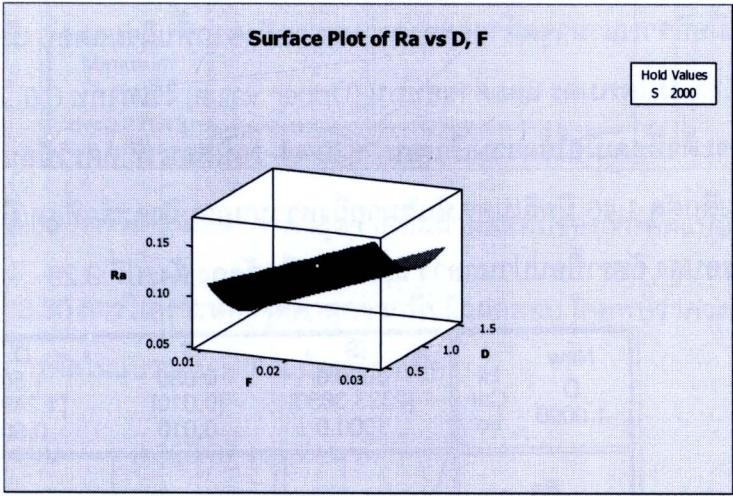
รูปที่ 3.23 และ 3.24 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาด (Residual) ซึ่งสังเกตได้
ว่าค่าความผิดพลาดดังกล่าวควรมีการกระจายแบบสุ่ม หรือ ไม่มีรูปแบบ



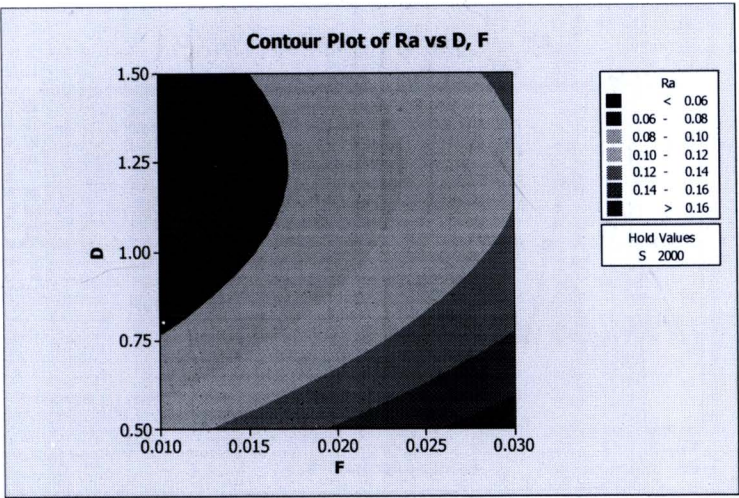
รูปที่ 3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) กับความลึกตัด (D) และความเร็วรอบ (S) ของการตัดแบบเปียก



รูปที่ 3.26 กราฟคอนทัวร์แสดงระดับของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) กับความลึกตัด (D) และความเร็วรอบ (S) ของการตัดแบบเปียก

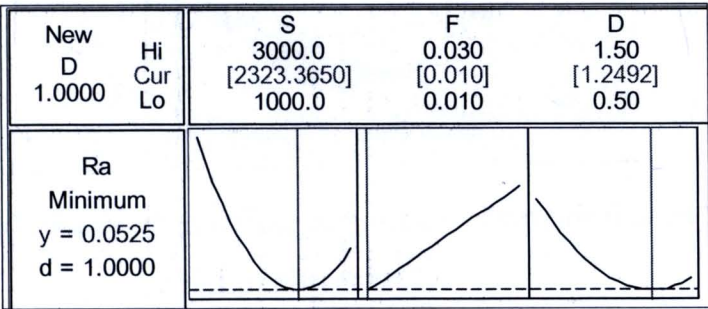


รูปที่ 3.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวเฉลี่ย(Ra) กับความลึกตัด (D) และอัตราป้อน (F) ของการตัดแบบเปียก



รูปที่ 3.28 กราฟคอนทัวร์แสดงระดับของความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) กับความลึกตัด (D) และอัตราป้อน (F) ของการตัดแบบเปียก

เมื่อพิจารณาหาจุดต่ำสุดของความหยาบผิวจากพื้นผิวผลตอบ เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายไว้เท่ากับ 0.15 ไมโครเมตร และค่าขอบบน (Upper value) ไว้เท่ากับ 0.9 ไมโครเมตร พบว่า ความหยาบผิวจะต่ำที่สุดเมื่อใช้ความเร็วรอบ 2639.44 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกตัด 1.46 มิลลิเมตร นั่นหมายถึงความหยาบผิวจะต่ำที่สุดเมื่อปัจจัยทั้งสามมีค่าดังนี้ ความเร็วรอบสูง อัตราป้อนปานกลาง และความลึกตัดสูง ดังรูปที่ 3.29

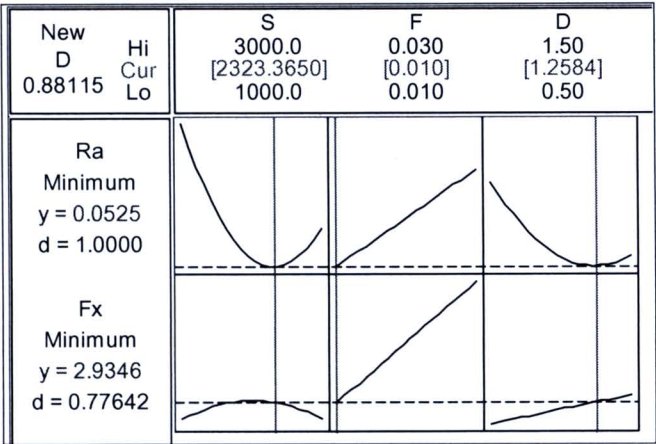


รูปที่ 3.29 การวิเคราะห์หาค่าต่ำสุดจากพื้นผิวผลตอบ เมื่อพิจารณา ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) และตัวแปรต้น ของการตัดแบบเปียก

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

ตารางที่ 3.11 ค่าเป้าหมายและขอบบนเพื่อใช้พิจารณาค่าต่ำสุดในพื้นที่ผิวผลตอบ ของการตัดแบบ เบี่ยง

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



รูปที่ 3.30 การวิเคราะห์หาค่าต่ำสุดจากพื้นที่ผิวผลตอบของการตัดแบบเบี่ยง

จากรูปที่ 3.30 การวิเคราะห์หาค่าต่ำสุดจากพื้นที่ผิวผลตอบ โดยพบว่าค่าความหยابผิวต่ำ ที่สุดและเกิดแรงการตัดในแนวแกน x (Fx) น้อยที่สุดเมื่อ

- ความเร็วรอบ = 2,323.37 รอบต่อนาที
- อัตราป้อน = 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ
- ความลึกตัด = 1.25 มิลลิเมตร

หรือหมายถึง การกัดที่เงื่อนไขการตัด ความเร็วรอบและ อัตราป้อนตัดต่ำ และความลึกตัดสูง

3.5 สรุปสมการความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของการตัดแบบเบี่ยง

สมการความหยابผิวเฉลี่ย (Ra)

$$Ra = 0.451150 - 2.40570E-04S + 3.05000F - 0.243040D + 5.19519E-08S^2 + 0.0980077D^2$$

สมการแรงแนวแกนป้อนตัด (Fx)

$$Fx = -0.483571 + 0.00243768S - 91.0000F - 0.432500D - 7.46607E-07SS + 0.0560000SF + 154.000FD$$