

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ข้อมูลผลการทดลองที่ทำการศึกษาโดยใช้วัสดุน้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำและจากน้ำมันพืช ตามวิธีการทดลองที่ได้กำหนดไว้ ได้ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่างๆไว้ในตารางในภาคผนวก ค ซึ่งได้แก่ ตารางวัดขนาดของแรงตัดเฉือน ตารางวัดขนาดของความเรียบผิวงาน และตารางวัดขนาดของการสึกหรอของมีดกลึง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ทั้งสามกรณี เรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

#### 1. ผลการทดลองหาขนาดแรงตัดเฉือน

จากการทดลองในการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันทั้งสองชนิด ซึ่งประกอบด้วยการใช้ความเร็วตัดจำนวน 8 ชั้น เริ่มต้นที่ 37.59 เมตรต่อนาที ลดลงทีละชั้นจนถึง 20.28 เมตรต่อนาที แต่ละชั้นความเร็วตัด ทำการทดลองหาค่าแรงตัดเฉือนในแนวแกน x แกน y และแกน z เพื่อรวมแรงทั้งสามให้อยู่ในรูปแรงลัพธ์ (Resultant Force, R) โดยการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ได้ข้อมูลผลการทดลองทั้งหมดโดยละเอียดดังแสดงไว้ในภาคผนวก ค และได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลองดังต่อไปนี้

##### 1.1 การทดลองหาขนาดแรงตัดเฉือนจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ (Soluble Oil)

ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4 โดยการทดลองครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 10 เริ่มต้นจากการตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 37.59 เมตรต่อนาที และสิ้นสุดที่ความเร็วตัด 20.28 เมตรต่อนาที ได้ค่าเฉลี่ยของแรงลัพธ์ (Average Resultant Force, R) เริ่มจาก 17.38 กิโลกรัม จนถึง 19.99 กิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ตารางผลการทดลองหาขนาดแรงตัดเฉือนจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ (Soluble Oil)

ความเร็วตัด เมตร/นาที	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	แรงลัพธ์ (Resultant Force, R) กิโลกรัม										
37.59	18.29	16.32	17.95	18.04	17.59	16.70	17.83	18.38	15.56	17.17	17.38
35.11	17.97	17.20	17.83	18.59	17.53	17.22	17.36	19.97	16.09	17.57	17.73
32.64	16.59	17.39	17.93	19.45	18.04	17.76	17.25	20.04	18.49	17.52	18.05
30.17	19.41	18.35	17.73	18.88	17.96	17.98	17.38	20.21	18.87	18.68	18.55
27.69	19.16	17.80	17.73	19.29	17.25	19.20	17.21	21.34	19.01	18.13	18.67
25.22	18.78	18.69	20.23	19.83	18.80	19.23	18.77	20.50	19.43	18.13	19.24
22.75	19.69	18.23	19.11	19.93	19.43	19.77	19.24	19.85	20.17	18.92	19.43
20.28	20.81	19.29	19.85	19.79	19.27	20.05	19.79	21.44	20.48	19.13	19.99

## 1.2 การทดลองหาขนาดแรงตัดเฉือนจากการใช้น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 5 โดยการทดลองครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 10 เริ่มต้นจากการตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 37.59 เมตรต่อนาที และสิ้นสุดที่ความเร็วตัด 20.28 เมตรต่อนาที ได้ค่าเฉลี่ยของแรงลัพธ์ (Average Resultant Force, R) เริ่มจาก 20.31 กิโลกรัม จนถึง 16.82 กิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ตารางผลการทดลองหาขนาดแรงตัดเฉือนจากการใช้น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

ความเร็วตัด เมตร/นาที	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	แรงลัพธ์ (Resultant Force, R) กิโลกรัม										
37.59	19.03	20.69	20.87	19.84	21.32	21.09	20.02	19.94	20.71	19.61	20.31
35.11	19.20	19.33	19.03	19.75	19.33	19.76	19.27	19.35	19.43	18.94	19.34
32.64	19.06	17.9	18.31	18.99	18.53	18.70	18.78	17.76	18.80	18.30	18.51
30.17	17.37	19.23	18.98	18.41	18.06	17.32	18.50	18.06	17.74	18.67	18.23
27.69	16.99	17.74	16.26	17.98	16.57	17.56	16.90	17.33	17.90	17.60	17.28
25.22	16.93	16.97	17.21	17.24	16.68	17.46	17.36	17.26	17.27	17.92	17.23
22.75	16.84	17.12	16.15	17.50	16.47	17.42	16.72	16.76	17.28	17.33	16.96
20.28	16.88	17.45	17.18	17.07	17.28	16.69	16.06	16.07	17.00	16.48	16.82

## 2. ผลการทดลองหาขนาดความเรียบผิวงาน

จากการทดลองในการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันทั้งสองชนิด ซึ่งประกอบด้วยการใช้ความเร็วตัดจำนวน 8 ชั้น เริ่มต้นที่ 37.59 เมตรต่อนาที ลดลงทีละชั้นจนถึง 20.28 เมตรต่อนาที แต่ละชั้นความเร็วตัด ได้ทำการวัดหาขนาดความเรียบผิวงาน โดยการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ได้ข้อมูลผลการทดลองโดยละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ค และได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลองดังต่อไปนี้

### 2.1 ผลการทดลองหาขนาดความเรียบผิวงานจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ (Soluble Oil)

ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 6 โดยการทดลองครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 10 เริ่มต้นจากการตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 37.59 เมตรต่อนาที และสิ้นสุดที่ความเร็วตัด 20.28 เมตรต่อนาที ได้ค่าเฉลี่ยความเรียบผิวงาน (Average Surface Roughness,  $R_a$ ) เริ่มจาก 6.56 ไมครอน จนถึง 6.20 ไมครอน ตามลำดับ

### 2.2 การทดลองหาขนาดความเรียบผิวงานจากการใช้น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 7 โดยการทดลองครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 10 เริ่มต้นจากการตัดเฉือนที่ความเร็วตัด 37.59 เมตรต่อนาที และสิ้นสุดที่ความเร็วตัด 20.28 เมตรต่อนาที ได้ค่าเฉลี่ยความเรียบผิวงาน (Average Surface Roughness,  $R_a$ ) เริ่มจาก 7.07 ไมครอน จนถึง 5.68 ไมครอน ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการทดลองหาขนาดความเรียบผิวงานจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ (Soluble Oil)

ความเร็วตัด เมตร/นาที	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	ความเรียบผิวงาน ( $R_a$ ) ไมครอน										
37.59	7.43	6.38	6.30	6.11	5.86	6.02	7.37	5.90	7.09	7.13	6.56
35.11	6.78	7.40	7.32	5.78	7.22	6.38	7.10	7.83	7.03	5.64	6.85
32.64	6.74	7.44	7.38	5.85	7.33	7.53	6.63	5.84	5.29	7.01	6.75
30.17	5.21	6.26	6.21	7.50	6.02	5.9	5.83	6.63	5.05	6.57	6.12
27.69	5.93	5.75	5.56	6.48	6.41	6.78	6.55	5.50	5.22	5.44	6.04
25.22	6.29	5.85	7.26	5.74	6.40	7.29	5.92	5.82	7.26	5.98	6.38
22.75	5.42	6.68	6.74	7.30	6.30	7.02	6.05	5.76	5.45	6.52	6.32
20.28	6.64	6.78	5.29	6.66	5.12	5.93	7.10	6.33	6.44	5.67	6.20

ตารางที่ 7 ผลการทดลองหาขนาดความเรียบผิวงานจากการใช้น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

ความเร็วตัด เมตร/นาที	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	ความเรียบผิวงาน ( $R_a$ ) ไมครอน										
37.59	7.29	7.24	6.68	6.66	7.61	6.84	7.48	7.42	6.59	6.93	7.07
35.11	6.98	7.06	6.23	7.14	7.52	7.69	6.52	7.51	7.65	7.55	7.19
32.64	6.98	7.25	7.61	6.45	7.44	7.47	7.43	7.63	6.76	7.83	7.29
30.17	6.59	7.66	7.09	7.29	6.06	7.21	7.09	6.14	7.32	6.07	6.85
27.69	6.44	6.57	6.74	7.32	8.08	7.10	6.80	6.65	6.73	5.39	6.78
25.22	6.98	6.29	7.49	7.32	5.36	6.26	7.27	5.32	7.33	6.16	6.58
22.75	6.94	6.96	6.57	6.70	6.80	7.32	5.55	6.87	6.23	5.64	6.56
20.28	5.37	5.59	5.36	5.72	6.58	5.05	5.94	5.78	5.85	5.55	5.68

### 3. ผลการทดลองหาขนาดการสึกหรอของมีดกลึง

จากการทดลองตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันทั้งสองชนิด ประกอบด้วยการใช้ความเร็วตัดจำนวน 8 ชั้น เริ่มต้นที่ 37.59 เมตรต่อนาที ลดลงทีละชั้นจนถึง 20.28 เมตรต่อนาที ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ที่ความเร็วตัด 37.59 เมตรต่อนาที 27.69 เมตรต่อนาที และ 20.28 เมตรต่อนาที ได้ทำการวัดหาขนาดการสึกหรอของมีด ได้ข้อมูลผลการทดลองโดยละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ค และ ง โดยได้ค่าเฉลี่ยจากการทดลองดังต่อไปนี้

#### 3.1 การทดลองหาขนาดการสึกหรอของมีดกลึงจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ (Soluble Oil)

ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 8 โดยการทดลองครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 10 ทำการวัดขนาดการสึกหรอของมีด ที่ความเร็วตัดตามค่าที่กำหนดไว้ ได้ค่าเฉลี่ยการสึกหรอของมีด (Average Frank Wear,  $h_f$ ) เริ่มจาก 19.95 ไมครอน จนถึง 15.99 ไมครอน ตามลำดับ

#### 3.2 การทดลองหาขนาดการสึกหรอของมีดกลึงจากการใช้น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 9 โดยการทดลองครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 10 ทำการวัดขนาดการสึกหรอของมีด ที่ความเร็วตัดตามค่าที่กำหนดไว้ ได้ค่าเฉลี่ยการสึกหรอของมีด (Average Frank Wear,  $h_f$ ) เริ่มจาก

## 20.02 ไมครอน จนถึง 14.10 ไมครอน ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ผลการทดลองหาขนาดการสึกหรอของมีดกลึง ( $h_r$ ) จากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ (Soluble Oil)

ความเร็ว ตัด เมตร/นาที	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	การสึกหรอของมีดกลึง ( $h_r$ ) ไมครอน										
37.59	22.99	24.34	15.80	17.28	22.22	16.93	21.16	18.62	25.75	14.46	19.95
27.69	20.18	18.69	13.05	17.99	16.58	14.46	19.40	16.22	21.16	15.52	17.33
20.28	18.56	14.40	10.50	15.87	15.16	15.52	15.52	17.99	22.22	14.11	15.99

ตารางที่ 9 การทดลองหาขนาดการสึกหรอของมีดกลึง ( $h_r$ ) จากการใช้น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

ความเร็ว ตัด เมตร/นาที	การทดลองครั้งที่										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	การสึกหรอของมีดกลึง ( $h_r$ ) ไมครอน										
37.59	17.6	22.9	20.46	18.69	22.5	20.81	17.28	20.1	21.51	18.34	20.02
27.69	12.3	18.3	15.87	15.16	17.6	17.99	15.16	17.69	16.58	15.87	16.25
20.28	10.93	15.52	13.05	12.34	15.8	14.81	13.05	16.58	13.05	15.87	14.10

## 4. การวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงตัดเฉือน

ในการทดลองได้ทำการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันตัดเฉือนสองชนิด คือแบบผสมน้ำ (Soluble Oil) และจากน้ำมันพืช (Vegetable Oil) โดยได้นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์ และสรุปจากการเปรียบเทียบขนาดของแรงตัดเฉือนที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเร็วตัด ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

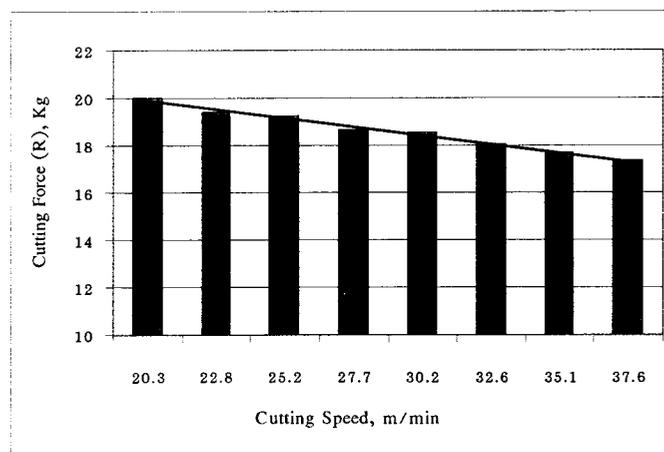
## 4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองของแรงตัดเฉือนจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ (Soluble Oil)

จากผลการทดลองในการหาขนาดแรงลัพธ์ (Resultant Force, R) ในการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ ในตารางที่ 4 ขนาดของแรงลัพธ์ (Resultant Force) ซึ่งเป็นแรงตัดเฉือนที่เกิดจากการรวมแรงในแนวแกนในระบบพิกัดฉากทั้ง 3 แกน คือ  $F_x$ ,  $F_y$  และ  $F_z$  ของแต่ละค่าความเร็วตัด นำค่าทั้งหมดทำการเฉลี่ย และกำหนดจุดพิกัด สร้างเป็นกราฟของแรงลัพธ์เฉลี่ย (Average Resultant Force) เทียบกับความเร็วตัด ดังรูปที่ 33 ซึ่งแสดงถึงขนาดของแรงตัดเฉือนที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความเร็วตัด โดยขนาดของแรงตัดเฉือนมีค่าลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการก่อตัวของสะเก็ดเล็กๆ ที่มากับเศษตัด จัวยัดที่ขอบคมตัด (Built Up Edge, BUE) ทำให้มุมคาย (Rake Angle,  $\gamma$ ) เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้มุมตัดของมีด (Cutting Angle,  $\delta$ ) เปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของมุมตัดนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้แรงเสียดทานและแรงตัดเฉือนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยความเสียดทานนี้เกิดจากการเสียดสีของผิวที่มีการสัมผัสกัน 2 บริเวณ คือ

4.1.1 บริเวณระหว่างผิวของชิ้นงาน (Workpiece Surface) กับขอบคมตัดของมีด (Frank Surface)

4.1.2 บริเวณระหว่างเศษตัด (Chip) กับผิวคายเศษตัดของมีด (Rake Face)

แรงตัดเฉือนหลัก จะเกิดจากแรงเสียดทาน (Friction Force,  $F$ ) ที่บริเวณเศษตัดกับผิวคายเศษตัดของมีดกลึง โดยขนาดของแรงเสียดทาน เกิดจากผลคูณของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of Friction,  $\mu$ ) และแรงกดที่กระทำตั้งฉากกับผิวที่เกิดการเสียดสี (Normal Force,  $N$ ) ซึ่งแรงเสียดทานนี้จะมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของมุมคาย (Rake Angle,  $\gamma$ ) เมื่อมุมคายมีค่ามากขึ้น จะทำให้เศษไหลผ่านผิวหน้ามีดได้ง่ายขึ้น แรงกดที่กระทำตั้งฉากกับผิวคายเศษตัด ( $N$ ) จะมีขนาดลดลง ทำให้แรงเสียดทาน และแรงตัดเฉือน ลดลงด้วย ดังสมการที่ (4-1) และ (4-2) รวมทั้งรูปที่ 34



รูปที่ 33 กราฟของขนาดแรงตัดเฉือน จากการใช้น้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำ ที่ความเร็วตัดต่างๆ

$$F = \mu * N \quad (4-1)$$

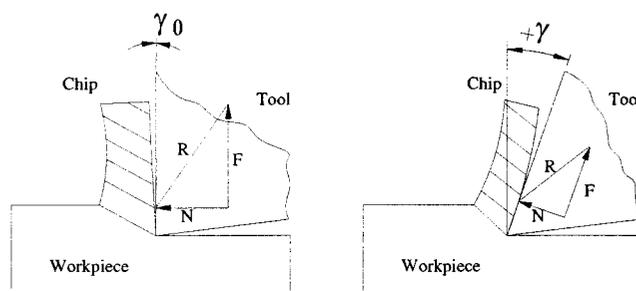
$$R = (F^2 + N^2)^{0.5} \quad (4-2)$$

$R$  = แรงตัดเฉือนที่เป็นแรงลัพธ์ระหว่าง  $F$  และ  $N$

$F$  = แรงเสียดทานระหว่างเศษตัดกับผิวคายเศษ (Rake Face) ของมีดกลึง

$N$  = แรงกดที่เศษตัดกระทำตั้งฉากกับผิวคายเศษของมีดกลึง

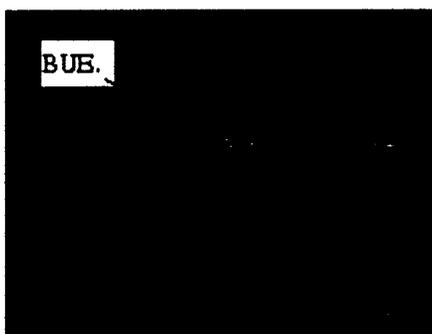
$\mu$  = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of Friction) ของผิวสัมผัส



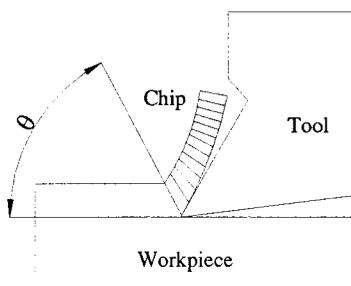
รูปที่ 34 ลักษณะสมดุลของแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการตัดเฉือน

จากสมการที่ (4-1) และ (4-2) ถ้าแรงกดที่กระทำตั้งฉากกับผิวคายเศษตัด (N) มีค่าลดลง แรง F ซึ่งเป็นแรงเสียดทานระหว่างเศษตัดกับผิวคายเศษจะลดลง และทำให้แรงตัดเฉือน R ซึ่งเป็นแรงลัพธ์ของ F และ N ลดลงด้วย

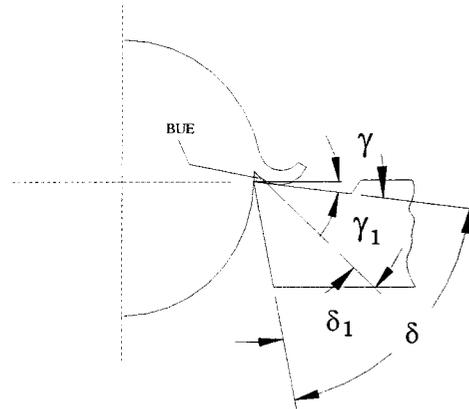
จากกราฟรูปที่ 33 มีดกลึงใช้แรงตัดเฉือนมากที่ความเร็วตัดต่ำ และลดลงเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการก่อตัวของสะเก็ดเล็ก ๆ จากเศษวัสดุงานที่ขอบคมตัดของมีดกลึง (Built Up Edge, BUE) ดังรูปที่ 35 ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มุมคาย (Rake Angle,  $\gamma$ ) มีขนาดเพิ่มขึ้น และทำให้มุมตัดของมีด (Cutting Angle,  $\delta$ ) มีขนาดลดลง โดยเมื่อมีแรงตัดเฉือนจากมีดกระทำต่อวัสดุงาน จะทำให้เนื้อวัสดุงานเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างอย่างถาวร (Plastic Deformation) ตามแนวระนาบแห่งการเฉือน (Shear Plane) และทำมุมเฉือนกับผิวงานเท่ากับมุม  $\theta$  กลายสภาพเป็นเศษตัด เรียงซ้อนต่อเนื่องกันไป ดังรูปที่ 36 ซึ่งเนื้อวัสดุจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Inhomogeneous) ทำให้เกิดเป็นสะเก็ดชิ้นเล็ก ๆ (Particles) มากมายในเนื้อของเศษตัด เมื่อไหลผ่านขอบคมตัดของมีดกลึง ทำให้สะเก็ดเล็ก ๆ นี้ยึดติดกับขอบคมตัดเนื่องจากแรงของการกดอัดและแรงเสียดทาน โดยมีการก่อตัวขึ้นในลักษณะเป็นรูปลิ้ม เริ่มที่ขอบด้านในสุดมีการก่อตัวมากที่สุด และลดขนาดลงที่ระยะห่างออกมา โดยการพอกตัวของเศษที่ปลายมีดนี้ มีความแข็งมากกว่าวัสดุเดิมเล็กน้อย เนื่องจากการ เปลี่ยนรูปอย่างถาวรของเนื้อวัสดุเมื่อมีแรงกระทำ (Strained Hardening) ทำให้มุมคาย  $\gamma$  เปลี่ยนเป็นมุม  $\gamma_1$  มุมตัด (Cutting Angle,  $\delta_1$ ) ที่เกิดจากการก่อตัวของ BUE มีค่าน้อยกว่ามุมตัดจริงของมีดกลึง ( $\delta$ ) นั่นคือทำให้คมตัดของมีดกลึงบางลง หรือมีดมีความคมมากขึ้น เศษไหลออกได้ง่ายขึ้น ดังรูปที่ 37 ดังนั้นเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น การก่อตัวของ BUE จะมีความหนาเพิ่มขึ้นด้วย มุมตัดของมีดจึงลดขนาดลงอย่างต่อเนื่อง แรงตัดเฉือนจึงลดลง [8] ดังรูปที่ 38



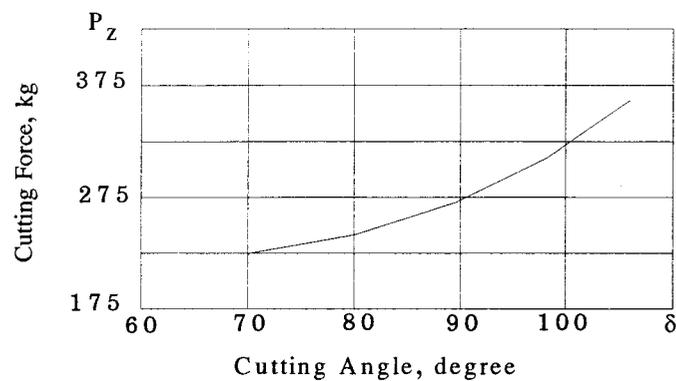
รูปที่ 35 การก่อตัวของ Built Up Edge ที่ขอบคมตัดของมีดกลึง



รูปที่ 36 ลักษณะการเกิดเศษขณะทำการตัดเฉือน [3]



รูปที่ 37 ลักษณะการก่อตัวของเศษวัสดุงาน (Built Up Edge, BUE) ที่ขอบคมตัด [3]

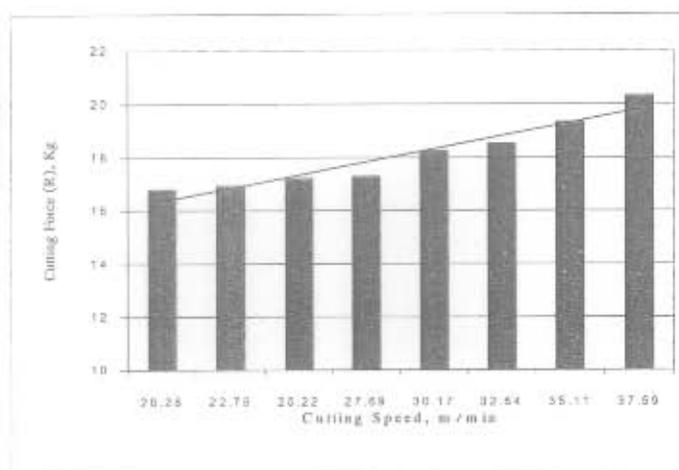


รูปที่ 38 ขนาดแรงตัดเฉือนเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดมุมตัด [8]

#### 4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองของแรงตัดเฉือนจากการใช้น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

ผลการทดลองในการหาขนาดแรงลัพธ์ (Resultant Force, R) จากการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันพืช ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 5 และสร้างเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 39 ซึ่งแสดงขนาดแรงตัดเฉือนในการใช้น้ำมันพืชที่ขนาดความเร็วตัดต่างๆ ลักษณะของกราฟแสดงถึงขนาดของแรงตัดเฉือนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วตัด นั่นคือการใช้ น้ำมันพืชในการตัดเฉือนขณะเริ่มทำการตัดเฉือนที่ความเร็วตัดต่ำ น้ำมันพืชสามารถแทรกตัวเข้าระหว่างผิวสัมผัสได้ง่าย จึงทำหน้าที่เป็นวัสดุช่วยลดความเสียดทาน ทำให้แรงที่ใช้ในการตัดเฉือนในช่วงเริ่มต้นมีค่าน้อย เมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น น้ำมันพืชแทรกตัวเข้าไประหว่างผิวสัมผัสได้ยากขึ้น อีกทั้งน้ำมันพืชทำให้คมตัดของมีดมีการยึดเกาะตัวของ BUE ได้ยาก เนื่องจากน้ำมันพืชมีสมบัติการหล่อลื่นที่ดี สะเก็ดวัสดุที่เกิดจากเศษตัดไม่สามารถยึดเกาะ ก่อตัวเป็น BUE ได้อย่างถาวร ซึ่งวัสดุที่มีสมบัติการหล่อลื่นที่ดี จะทำให้ไม่มีการก่อตัวของ BUE ที่ขอบคมตัด หรือมีขนาดน้อยมาก [9] ดังนั้นสะเก็ดเล็กๆ (Particles) ที่เกิดจากการแปรรูปอย่างถาวรในเนื้อวัสดุกลายเป็นเศษ เมื่อก่อตัวได้เล็กน้อยจึงหลุดออกไปพร้อมกับเศษตัด ทำให้มุมตัดของมีด (Cutting Angle,  $\delta$ ) เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จากการที่ไม่มีการเพิ่มขนาดของ BUE แรงตัดเฉือนจึงเพิ่มขึ้นตามขนาดของแรงเสียดทานที่มากขึ้น ดังนั้นการใช้งานด้วยน้ำมันพืชจึงไม่ทำให้เกิดการพอกตัวที่ถาวรของ BUE

ที่ขอบคมตัด และไม่มีการเพิ่มขนาดของ BUE เมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น ดังรูปแสดงขอบคมตัดของมีดจากการทดลอง รูปที่ 40



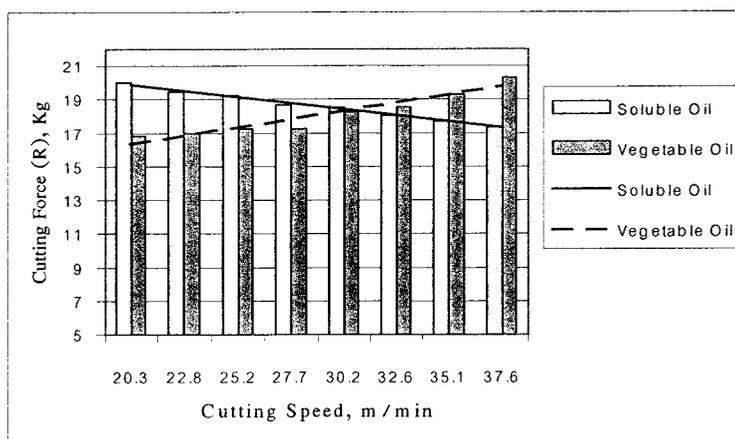
รูปที่ 39 กราฟของขนาดแรงตัดเฉือน (แรงลัพท์, R) จากการใช้น้ำมันพืชที่ความเร็วตัดต่างๆ



รูปที่ 40 คมตัดมีดกลึงจากการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันพืช

#### 4.3 เปรียบเทียบขนาดแรงตัดเฉือนจากการใช้น้ำมันตัดเฉือนทั้งสองชนิด

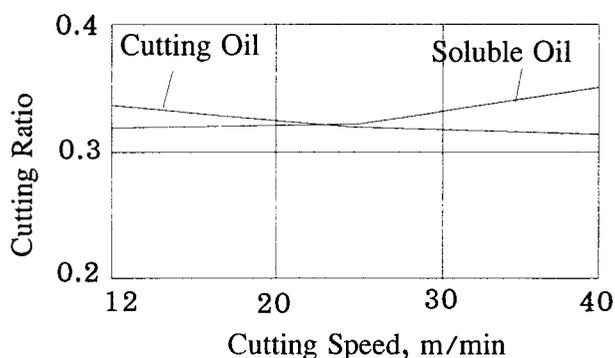
จากกราฟข้อมูลการตัดเฉือนด้วยน้ำมันทั้งสองชนิด นำมาสรุปเปรียบเทียบได้ตามรูปที่ 41 โดยในช่วงความเร็วตัดเริ่มต้น (20.28 เมตรต่อนาที) การใช้งานด้วยน้ำมันแบบผสมน้ำใช้แรงตัดเฉือนเฉลี่ย 19.99 กิโลกรัม ในขณะที่แบบน้ำมันพืชใช้แรงตัดเฉือนเฉลี่ย 16.82 กิโลกรัม ดังนั้นการใช้งานด้วยน้ำมันแบบผสมน้ำใช้แรงตัดเฉือนมากกว่าแบบน้ำมันพืชประมาณ 3.17 กิโลกรัม ตามเหตุผลที่อธิบายข้างต้นนั่นคือ แบบผสมน้ำแม้จะมีการก่อตัวของ BUE ทำให้มุมตัดของมีดมีค่าลดลง แต่ก็ยังมีขนาดเพียงเล็กน้อย ทำให้แรงที่ใช้ตัดเฉือนยังมีค่ามากกว่าแบบน้ำมันพืชซึ่งมีสมบัติการหล่อลื่นลดความเสียดทานที่ผิวสัมผัสได้ดีกว่าในช่วงความเร็วตัดสูงขึ้นไป (37.59 เมตรต่อนาที) แบบน้ำมันพืชใช้แรงตัดเฉือนมากกว่าแบบผสมน้ำประมาณ 2.93



รูปที่ 41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงตัดเฉือนจากการใช้น้ำมันทั้งสองชนิด

กิโลกรัม (20.31-17.38 กิโลกรัม) เนื่องจากแบบผสมน้ำมีการก่อตัวของ BUE จำนวนมากขึ้น มุมตัดของมีดมีค่าลดลง เศษไหลได้สะดวกขึ้น เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่า แรงตัดเฉือนที่ใช้จึงน้อยกว่าแบบน้ำมันพืชที่แทรกตัวเข้าสู่ผิวสัมผัสได้ยาก และ BUE ไม่สามารถก่อตัวยึดติดกับขอบคมตัดได้อย่างถาวร มุมตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยเท่านั้น

มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาขนาดของอัตราส่วนการตัดเฉือน (อัตราส่วนของความลึกรอยตัดต่อความหนาเศษ) จากการใช้งานด้วยน้ำมันแบบผสมน้ำ (Soluble Oil) และแบบที่ไม่ต้องผสมน้ำ (Cutting Oil) ในช่วงความเร็วตัดที่ใกล้เคียงกับการทดลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งอัตราส่วนการตัดเฉือนถ้ามีค่ามากขึ้น แรงเสียดทานจะมีค่าน้อยลง โดยที่น้ำมันแบบไม่ต้องผสมน้ำ อัตราส่วนการตัดเฉือนจะมีค่าลดลง (ใช้แรงตัดเฉือนมากขึ้น) เมื่อเพิ่มความเร็วตัด ในขณะที่แบบผสมน้ำ อัตราส่วนการตัดเฉือนจะเพิ่มขึ้น (ใช้แรงตัดเฉือนน้อยลง) เมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น [10] ดังรูปที่ 42



รูปที่ 42 ขนาดของอัตราส่วนการตัดเฉือน จากการใช้งานแบบผสมน้ำ และไม่ผสมน้ำ [10]

จากกราฟเปรียบเทียบแรงตัดเฉือน เมื่อใช้น้ำมันทั้งสองชนิด ในช่วงความเร็วตัดที่กำหนดคือ 20.28 เมตรต่อนาที ถึง 37.59 เมตรต่อนาที พบว่า มีค่าผกผันกัน นั่นคือ เมื่อใช้น้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำ แรงตัดเฉือนจะลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ใช้น้ำมันพืช แรงตัดเฉือนจะเพิ่มขึ้นตามขนาดค่าความเร็วตัด ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากกราฟทั้งสอง จึงได้ข้อเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

4.3.1 เปรียบเทียบขนาดแรงตัดเฉือนเฉลี่ยตลอดช่วงความเร็วตัดที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดของแรงตัดเฉือนเฉลี่ยจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ = 18.63 กิโลกรัม

ขนาดของแรงตัดเฉือนเฉลี่ยจากการใช้น้ำมันพืช = 18.09 กิโลกรัม

ดังนั้น แรงตัดเฉือนจากการใช้น้ำมันพืช มีค่าน้อยกว่าจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ

$$= (18.63 - 18.09) / 18.63$$

$$= 2.9 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

4.3.2 ช่วงความเร็วตัดใช้งานที่เหมาะสม จากการเปรียบเทียบจากขนาดแรงตัดเฉือน ในช่วงความเร็วตัดที่กำหนดขึ้นคือที่ 20.28 เมตรต่อนาที ถึง 37.59 เมตรต่อนาที ซึ่งกราฟตัดกัน (ใช้แรงตัดเฉือนเท่ากัน) ที่ความเร็วตัดประมาณ 30 เมตรต่อนาที ดังนั้นเมื่อความเร็วตัดลดลงน้อยกว่า หรือเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าความเร็วตัดดังกล่าว จะทำให้ขนาดแรงตัดเฉือนแตกต่างกันมากยิ่งขึ้น จึงสรุปได้ว่า

4.3.2.1 น้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำ (Soluble Oil) เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วง 30 เมตรต่อนาที ขึ้นไป เนื่องจากใช้แรงตัดเฉือนต่ำกว่าแบบน้ำมันพืช

4.3.2.2 น้ำมันตัดเฉือนแบบน้ำมันพืช (Vegetable Oil) เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงไม่เกิน 30 เมตรต่อนาที เนื่องจากใช้แรงตัดเฉือนต่ำกว่าแบบผสมน้ำ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่า โดยพิจารณาจากสมการต่อไปนี้

$$P = T * \omega \quad \text{วัตต์} \quad (4-3)$$

$$= (F * R) * (\pi * N / 30) \quad \text{วัตต์} \quad (4-4)$$

$$P = \text{กำลังงานที่ใช้ในการตัดเฉือน} \quad \text{วัตต์}$$

$$T = \text{แรงบิดจากการหมุนของชิ้นงาน} \quad \text{นิวตัน-เมตรต่อนาที}$$

$$\omega = \text{ความเร็วเชิงมุม} \quad \text{เรเดียนต่อวินาที}$$

$$F = \text{แรงตัดเฉือน} \quad \text{นิวตัน}$$

$$R = \text{รัศมีของชิ้นงาน} \quad \text{เมตร}$$

$$N = \text{ความเร็วรอบของชิ้นงาน} \quad \text{รอบต่อนาที}$$

ดังนั้น เมื่อขนาดแรงตัดเฉือน (F) ลดลง จะทำให้กำลังงานที่ใช้ (P) ลดลงด้วย ตามสมการที่ (4-4)

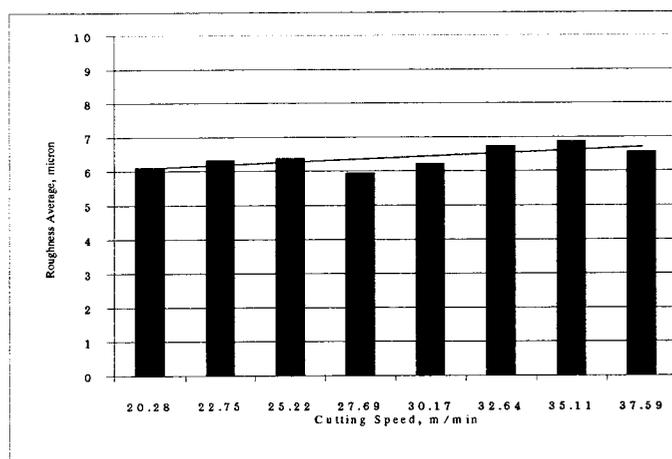
## 5. การวิเคราะห์ผลการทดลองของความเรียบผิวงาน

ในการทดลอง ได้ทำการวัดขนาดความเรียบผิวงาน ภายหลังจากที่ทำการตัดเฉือน ด้วยเครื่องมือวัดความเรียบผิวงาน โดยได้นำเอาข้อมูลที่นำมาทำการวิเคราะห์ และสรุปจากการเปรียบเทียบขนาดของความเรียบผิวงานที่เปลี่ยนแปลงไป จำนวนของข้อมูลเป็นเช่นเดียวกับการวัดขนาดแรงตัดเฉือน

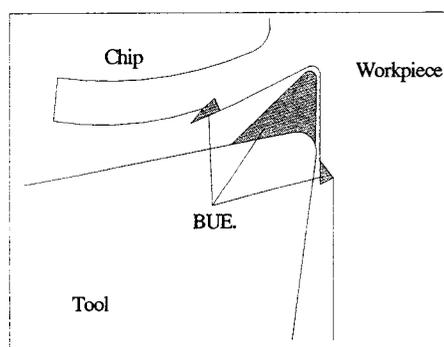
### 5.1 วิเคราะห์ความเรียบผิวงานจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ (Soluble Oil)

ผลการทดลองในการหาขนาดความเรียบผิวงาน (Surface Roughness) จากการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันแบบผสมน้ำได้ผลการทดลองตามตารางที่ 6 เมื่อนำข้อมูลค่าเฉลี่ยมาสร้างเป็นกราฟได้ตามรูปที่ 43 ขนาดของความเรียบผิวงานจากการตัดเฉือนมีสาเหตุจากองค์ประกอบหลายประการ เช่น ความเที่ยงตรงของเครื่องจักร การใช้น้ำมันตัดเฉือน ลักษณะของคมตัด สภาวะการตัดเฉือน รวมทั้งการเกิด BUE จากกราฟ รูปที่ 43

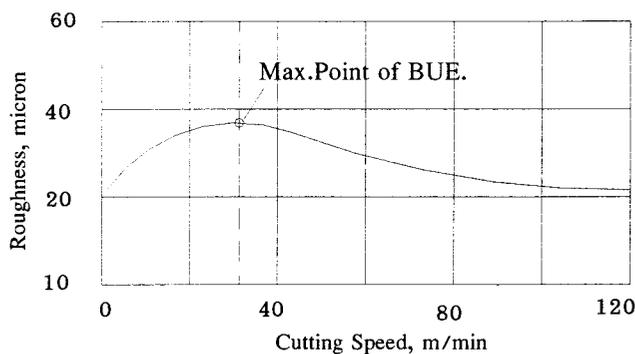
ขนาดของความเรียบผิวงาน จากการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ ที่ความเร็วตัดต่างๆ พบว่ากราฟมีแนวโน้มที่แสดงว่าผิวงานมีความหยาบมากขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วตัด ซึ่งจากการตัดเฉือนวัสดุงานจำพวกเหล็กคาร์บอนด้วยมีดกลึงความเร็วรอบสูง (High Speed Steel, HSS) โดยทั่วไปแล้ว ช่วงเริ่มต้นการตัดเฉือนที่ความเร็วตัดต่ำ ค่าความเรียบผิวงาน (Roughness) จะมีค่าน้อย เนื่องจากเป็นช่วงที่ BUE กำลังเริ่มก่อตัว มีการหลุดออกไปขีดช่วงผิวงานบ้างเล็กน้อย เมื่อความเร็วตัดสูงขึ้นทำให้ขนาดของ BUE ใหญ่มากขึ้น สะเก็ดที่หลุดออกไปมีขนาดโตขึ้น และปริมาณมากขึ้น เมื่อเกิดการขีดช่วงกับผิวของชิ้นงาน ทำให้ขนาดของความเรียบผิวงาน (Roughness) มีค่าเพิ่มมากขึ้น (ผิวงานหยาบขึ้น) โดยการก่อตัว และการหลุดออกไปของ BUE จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเวียนตลอดเวลา ซึ่งขนาดความหยาบผิวงานจะมีค่าสูงสุด เมื่อขอบคมตัดมีการก่อตัวของ BUE มากที่สุด [10] [11] ดังรูปที่ 44 และรูปที่ 45



รูปที่ 43 ขนาดความเรียบผิวงานจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำที่ความเร็วตัดต่างๆ



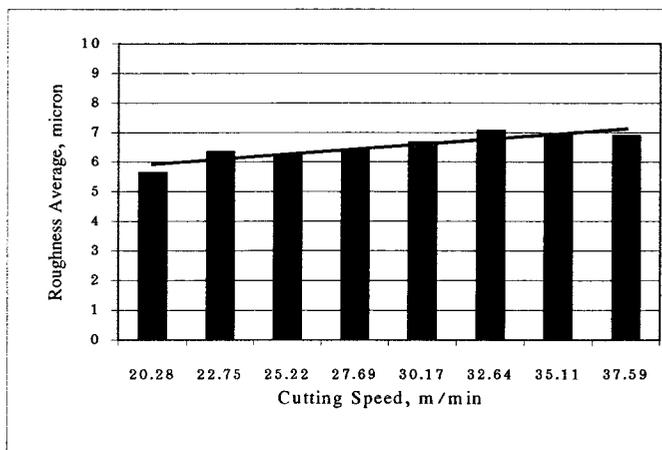
รูปที่ 44 Built Up Edge ที่หลุดออกไปกับเศษตัดและที่ผิวงาน [11]



รูปที่ 45 ขนาดของความเรียบผิวงานที่ความเร็วตัดต่าง ๆ [12]

## 5.2 วิเคราะห์ความเรียบผิวงานจากการใช้น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

ข้อมูลความเรียบผิวงานจากการตัดเฉือนโดยการใช้้ำมันพืช ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 7 และกราฟของความเรียบผิวงานเฉลี่ย (Roughness Average,  $R_a$ ) เทียบกับความเร็วตัด ดังรูปที่ 46

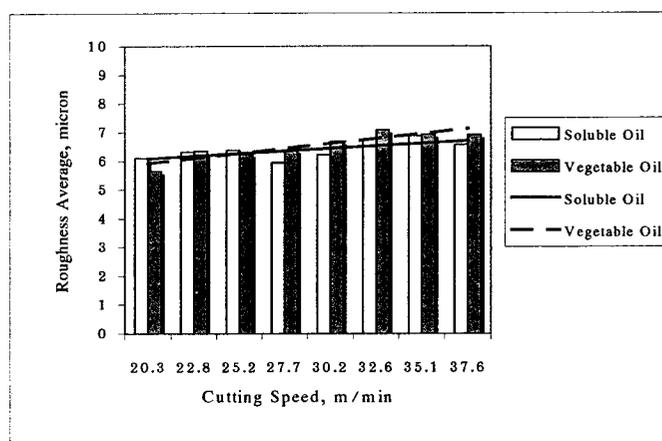


รูปที่ 46 กราฟของขนาดความเรียบผิวงานเฉลี่ย ( $R_a$ ) จากการใช้น้ำมันพืชที่ความเร็วตัดต่าง ๆ

ลักษณะกราฟของความเรียบผิวงานจากการตัดเฉือนด้วยน้ำมันพืช มีลักษณะคล้ายกับกราฟจากการตัดเฉือนด้วยน้ำมันแบบผสมน้ำ คือกราฟมีแนวโน้มที่แสดงว่าผิวงานมีความหยาบมากขึ้นเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น จากเหตุผลที่อธิบายในเรื่องของแรงตัดเฉือนจากการใช้น้ำมันพืช นั่นคือ BUE จับยึดที่คมตัดได้ยาก เมื่อก่อดัวได้ก็ไม่สามารถจับยึดกับขอบคมตัดได้อย่างแข็งแรง เนื่องจากน้ำมันพืชมีสมบัติการหล่อลื่นผิวสัมผัสที่ดี ดังนั้นสะเก็ด (Particles) ที่เกิดจากเศษตัด เมื่อก่อดัวเป็น BUE และมีขนาดโตขึ้นได้เล็กน้อย จึงหลุดไปกับเศษตัดและบางส่วนหลุดออกไปเสียดสีกับผิวงาน ดังนั้นเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น การก่อดัวของ BUE จึงมีขนาดโตขึ้นได้รวดเร็วกว่าการก่อดัวที่ความเร็วตัดต่ำในคาบเวลาเท่ากัน ปริมาณและขนาดของ BUE ทำให้เกิดการขีดข่วนมากขึ้น ผิวงานจึงมีความหยาบมากขึ้น [13]

### 5.3 เปรียบเทียบขนาดความเรียบผิวงานจากการใช้น้ำมันตัดเฉือนทั้งสองชนิด

จากกราฟข้อมูลการตัดเฉือนด้วยน้ำมันทั้งสองชนิด นำมาสรุปเปรียบเทียบได้ตามรูปที่ 47 พบว่าที่ความเร็วตัดเริ่มต้น น้ำมันพืชทำให้ความเรียบผิวงานเฉลี่ยดีกว่าน้ำมันแบบผสมน้ำ เนื่องจากที่ความเร็วตัดต่ำมีการก่อตัวของ BUE จำนวนน้อย ขนาดของ BUE ที่ยึดเกาะที่ขอบคมตัดของมีดจากการใช้น้ำมันพืชเกิดขึ้นได้ยาก และมีขนาดเล็กกว่ากรณีของน้ำมันแบบผสมน้ำ เนื่องจากน้ำมันพืชมีสมบัติการหล่อลื่นที่ดี จึงทำให้สะเก็ดของ BUE ที่หลุดไปเสียดสีกับผิวงานมีขนาดเล็กกว่าสะเก็ดที่เกิดจากการใช้งานด้วยน้ำมันแบบผสมน้ำที่สามารถก่อตัวยึดเกาะที่ขอบคมตัดได้มากกว่า (BUE มีขนาดใหญ่กว่า) แต่เมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น ปริมาณของสะเก็ดจากเศษตัดที่ไหลผ่านขอบคมตัดมีจำนวนมากขึ้น น้ำมันตัดเฉือนทั้งสองชนิดจะมีขนาดของ BUE ที่โตขึ้น โดยกรณีของน้ำมันแบบผสมน้ำ BUE สามารถยึดเกาะกับคมตัดมีดได้ และหลุดไปบางส่วน แต่สำหรับกรณีของน้ำมันพืช BUE ไม่สามารถยึดเกาะได้อย่างมั่นคงจะหลุดออกไปเกือบทั้งหมด ดังภาพแสดงคมตัดของมีดจากการใช้งานด้วยน้ำมันพืชในรูปที่ 40 ดังนั้นที่ความเร็วตัดสูงขึ้น การตัดเฉือนด้วยน้ำมันพืช ขนาดและจำนวนของ BUE ที่หลุดไปทำให้เกิดการขีดข่วนผิวงานมากขึ้น การตัดเฉือนด้วยน้ำมันพืชจึงทำให้ผิวงานมีความหยาบมากกว่าการใช้งานด้วยน้ำมันแบบผสมน้ำ ผลการเปรียบเทียบด้านอื่นๆเป็นดังนี้



รูปที่ 47 กราฟเปรียบเทียบขนาดความเรียบผิวงาน จากการใช้น้ำมันตัดเฉือนทั้งสองชนิด

5.3.1 เปรียบเทียบขนาดความเรียบผิวงานเฉลี่ย (Roughness Average,  $R_a$ ) ตลอดช่วงความเร็วตัด การตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ ความเรียบผิวงานเฉลี่ย = 6.40 ไมครอน  
 การตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันพืช ความเรียบผิวงานเฉลี่ย = 6.75 ไมครอน  
 แบบผสมน้ำมีความเรียบสูงกว่า =  $(6.75 - 6.40) / 6.40$   
 = 5.3 เปอร์เซ็นต์

5.3.2 ช่วงความเร็วตัดใช้งาน โดยการเปรียบเทียบจากกราฟของขนาดความเรียบผิวงานที่เกิดขึ้นจากช่วงความเร็วตัดที่กำหนดขึ้นคือที่ 20.28 เมตรต่อนาที ถึง 37.59 เมตรต่อนาที ซึ่งกราฟตัดกัน (ความเรียบผิวงานมีค่าเท่ากัน) ที่ความเร็วตัดประมาณ 25 เมตรต่อนาที ดังนั้นเมื่อความเร็วตัดลดลงน้อยกว่า หรือ เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าความเร็วตัดดังกล่าว จะทำให้ขนาดของความเรียบผิวงานแตกต่างกันมากยิ่งขึ้น จึงสรุปได้ว่า

5.3.2.1 น้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำ (Soluble Oil) เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วง 25 เมตรต่อนาที ขึ้นไป เนื่องจากความเรียบผิวงานดีกว่าแบบน้ำมันพืช

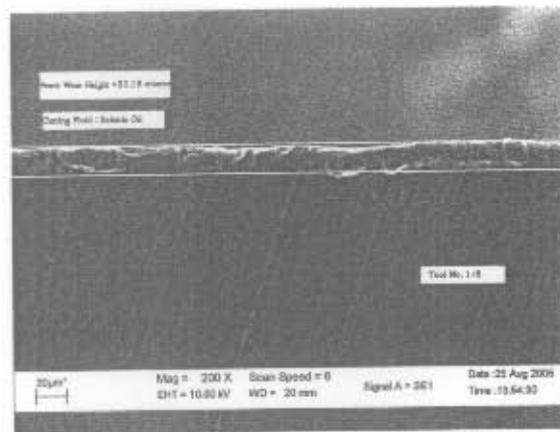
5.3.2.2 น้ำมันตัดเฉือนแบบน้ำมันพืช (Vegetable Oil) เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงไม่เกิน 25 เมตรต่อนาที เนื่องจากความเรียบผิวงานดีกว่าแบบผสมน้ำ

## 6. การวิเคราะห์ผลการสึกหรอของมีดกลึง

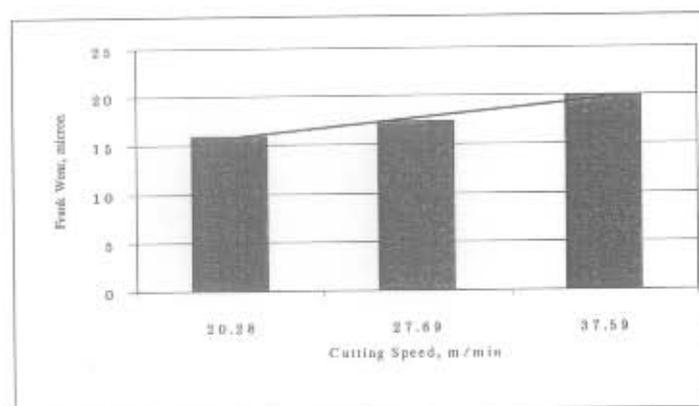
จากการทดลองทำการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันตัดเฉือนสองชนิด คือแบบผสมน้ำ และจากน้ำมันพืช โดยได้นำข้อมูลที่ได้จากการวัดขนาดการสึกหรอของคมตัดมีดกลึงมาทำการวิเคราะห์ และสรุปจากการเปรียบเทียบขนาดของการสึกหรอที่เปลี่ยนแปลงไป ดังต่อไปนี้

### 6.1 วิเคราะห์การสึกหรอจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ

ผลการทดลองในการหาขนาดการสึกหรอของมีดกลึง (Frank Wear,  $h_f$ ) จากการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 8 สภาพการสึกหรอของคมตัดจริงดังรูปที่ 48 และสร้างเป็นกราฟของการสึกหรอเทียบกับขนาดความเร็วตัดที่เปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 49



รูปที่ 48 การสึกหรอที่เกิดขึ้นของขอบคมตัดมีดกลึงจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ



รูปที่ 49 กราฟขนาดการสึกหรอของมีดจากการใช้น้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำที่ความเร็วตัดต่างๆ

จากกราฟการสึกหรอของมีดกลึงรูปที่ 49 คือการสึกหรอจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ โดยการสึกหรอมีค่ามากขึ้นเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น ซึ่งการสึกหรอของมีดเกิดจากสาเหตุสำคัญหลัก 2 ประการคือ

6.1.1 การสึกหรอจากการขีดข่วนของวัสดุที่มีความแข็งสูง (Abrasive Wear) เช่น ผิวงานที่ผ่านงานหล่อ (Casting) หรือผิวงานที่ผ่านการตีขึ้นรูป (Forging) เป็นต้น

6.1.2 การสึกหรอจากการแพร่ซึมของอะตอมระหว่างผิวที่สัมผัสกัน (Diffusive Wear) จากวัสดุที่มีความหนาแน่นของอะตอมมากกว่า คือมีดกลึง ไปสู่วัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า คือชิ้นงาน

ในการศึกษานี้ ก่อนทำการทดลอง ชิ้นงานได้ผ่านการกลึงปอกเตรียมผิวงานเบื้องต้นไว้ก่อนแล้ว จึงตัดสาเหตุของการสึกหรอเนื่องจากการขีดข่วนของวัสดุแข็ง (Abrasive Wear) ออกไป จึงมีเพียงสาเหตุของการแพร่ซึมของอะตอม (Diffusive Wear) เพียงสาเหตุเดียว ผลการทดลองหาค่าขนาดการสึกหรอของคมตัดมีดกลึง จากการใช้ น้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำ พบว่าขนาดการสึกหรอจะมีค่ามากขึ้นตามขนาดค่าความเร็วตัด สอดคล้องกับทฤษฎีการหาอายุการใช้งานของเทเลอร์ (Taylor's Tool Life Equation) [14] ตามสมการที่ (4-5)

$$T V^m = C \quad (4-5)$$

T = อายุการใช้งานของมีด พิจารณาตามขนาดของ Frank Wear

V = ความเร็วตัด

m = ค่ายกกำลังตามสภาวะการตัดเฉือน

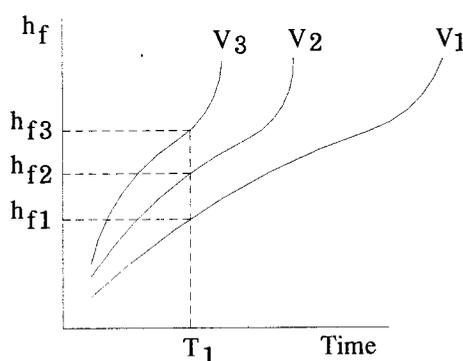
C = ค่าคงตัว (Constant)

ซึ่งขนาดการสึกหรอของ Frank Wear ขึ้นอยู่กับขนาดความเร็วตัดดังรูปที่ 50

จากรูปที่ 50 ความเร็วตัด  $V_1 < V_2 < V_3$

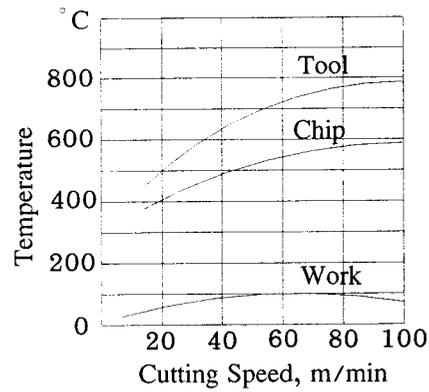
ที่เวลาในการตัดเฉือน  $T_1$  มีดจะเกิดการสึกหรอของ Frank Wear ไม่เท่ากัน นั่นคือ

$$h_{f1} < h_{f2} < h_{f3}$$

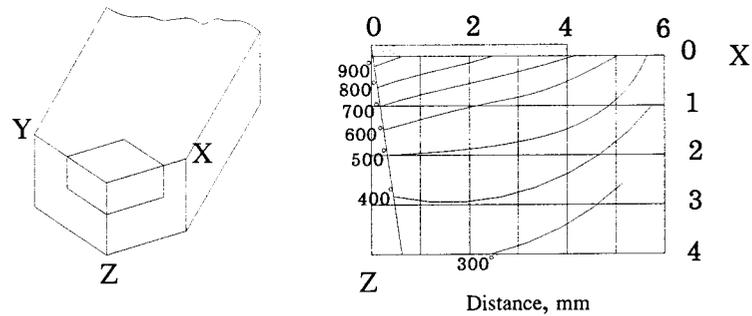


รูปที่ 50 เปรียบเทียบการสึกหรอของคมตัด Frank Wear,  $h_f$  เมื่อใช้ความเร็วตัดต่างกัน [14]

ในขณะที่ทำการตัดเฉือน ความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ จะกระจายไปที่มีด และเศษตัด มีส่วนน้อยที่กระจายไปยังชิ้นงาน ดังรูปที่ 51 การสึกหรอของคมตัด (Frank Wear) เกิดจากการส่งถ่ายอะตอมของมีด (Diffusion) ไปกับเศษตัด และไปกับผิวงาน แม้ว่ามีดกลึงจะมีความแข็งมากกว่าชิ้นงาน แต่เมื่อเกิดการเสียดสี จะทำให้จุดที่เกิดการเสียดสีมีความร้อนสูง ดังรูปที่ 52 ทำให้เกิดการแพร่ในสถานะของแข็ง (Solid State Diffusion) ซึ่งเป็นการส่งถ่ายอะตอมระหว่างบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงกว่าคือมีดกลึง ไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่น

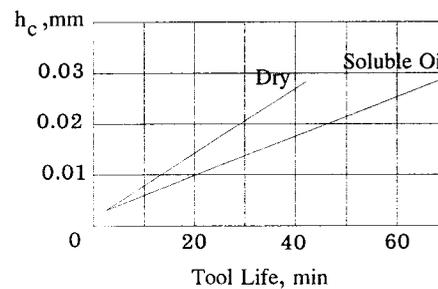


รูปที่ 51 อุณหภูมิของ Frank Surface ขณะทำการตัดเฉือน [15]



รูปที่ 52 การกระจายความร้อนขณะทำการตัดเฉือน [15]

ต่ำกว่า คือชิ้นงาน โดยมีความร้อนเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้อะตอมหลุดออกไปได้ง่ายขึ้น ดังนั้นเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น ความเร็วของการเสียดสี ความร้อน และการแพร่ซึมของอะตอมจึงมีมากขึ้น ทำให้ผิวของมิตที่บริเวณจุดสัมผัสมีความหนาแน่นของอะตอมน้อยลง ความแข็งของมิตจึงลดลง เมื่อได้รับการเสียดสี จึงทำให้มิตเกิดการสึกหรอ ดังนั้นการใช้วัสดุน้ำมันตัดเฉือน จะช่วยลดความเสียดทาน และช่วยลดอุณหภูมิ ทำให้การสึกหรอลดลง [14] ดังรูปที่ 53

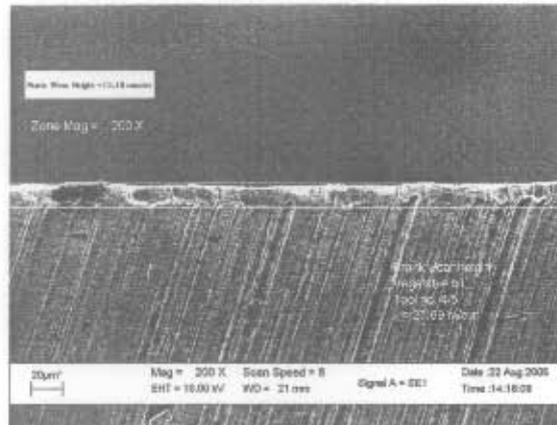


รูปที่ 53 เปรียบเทียบการสึกหรอเมื่อมีการใช้และไม่ใช้น้ำมันตัดเฉือน [3]

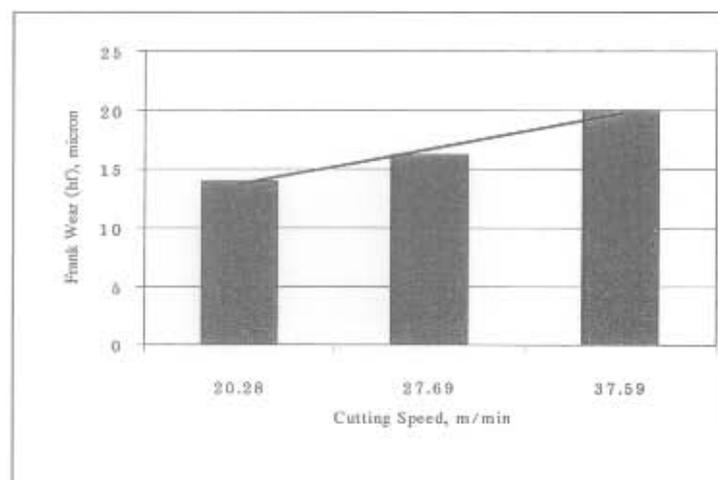
## 6.2 วิเคราะห์การสึกหรอจากการตัดเฉือนด้วยน้ำมันพืช (Vegetable Oil)

ข้อมูลการสึกหรอของมีดกลึง (Frank Wear,  $h_f$ ) จากการใช้น้ำมันพืชเป็นน้ำมันตัดเฉือน ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 9 แสดงการสึกหรอของคมตัดที่เกิดขึ้นจริงดังรูปที่ 54 และสร้างเป็นกราฟการสึกหรอเฉลี่ยของมีดเทียบกับความเร็วตัด ดังรูปที่ 55

จากกราฟรูปที่ 55 แสดงลักษณะของกราฟการสึกหรอของมีดกลึงจากการตัดเฉือนโดยใช้น้ำมันพืช คือการสึกหรอจะมีค่ามากขึ้นตามขนาดความเร็วตัด สาเหตุเกิดจากการแพร่ซึมของอะตอมที่จุดสัมผัสที่เกิดการเสียดสีเช่นเดียวกับการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ และที่ความเร็วตัดต่ำ น้ำมันพืชสามารถแทรกตัวเข้าทำการหล่อลื่นระหว่างผิวสัมผัสได้ง่าย จึงทำให้แรงเสียดทานและการแพร่ซึมของอะตอมมีน้อย การสึกหรอจึงน้อย เมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น น้ำมันพืชแทรกตัวเข้าระหว่างผิวสัมผัสยากขึ้น ทำให้การเสียดสีและการส่งถ่ายอะตอมมีมากขึ้นการสึกหรอจึงมีมากขึ้น [9]



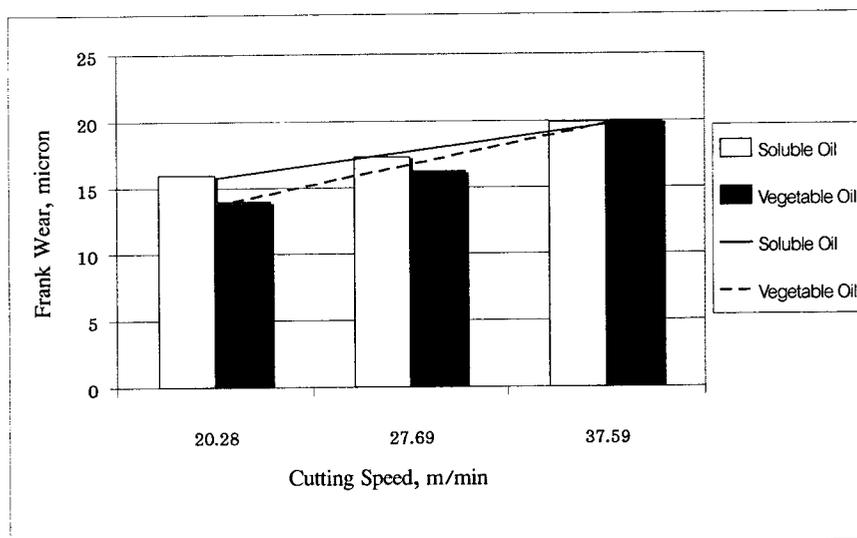
รูปที่ 54 การสึกหรอของขอบคมตัดของมีดกลึงจากการใช้น้ำมันพืช



รูปที่ 55 กราฟขนาดการสึกหรอของมีดจากการใช้น้ำมันพืชเป็นน้ำมันตัดเฉือนที่ความเร็วตัดต่างๆ

6.3 เปรียบเทียบขนาดการสึกหรอของมีดจากการใช้น้ำมันตัดเฉือนทั้งสองชนิด

การเปรียบเทียบเพื่อหาความแตกต่างของข้อมูลขนาดการสึกหรอของมีดที่ได้จากการทดลองจากการใช้น้ำมันตัดเฉือนทั้งสองชนิดใช้วิธีนำข้อมูลทั้งสองกลุ่ม แสดงเป็นกราฟรวมกันดังรูปที่ 56 พบว่าแบบน้ำมันพืช เกิดการสึกหรอที่ความเร็วตัดเริ่มต้น น้อยกว่าประมาณ 1.89 ไมครอน (15.99-14.10 ไมครอน) ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมันพืชช่วยลดความเสียหายได้ดีกว่าโดยเฉพาะที่ความเร็วตัดต่ำ โดยน้ำมันพืชจะสามารถแทรกตัวเข้าสู่บริเวณผิวสัมผัสได้ง่าย ทำให้ความเสียหายและการแพร่ซึมของอะตอมเกิดขึ้นน้อย จนกระทั่งเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น การแทรกตัวของน้ำมันพืชเป็นไปได้ยากขึ้น อีกทั้งน้ำมันพืชระบายความร้อนได้ช้า แรงเสียดทานและการแพร่ซึมของอะตอม ทำให้อัตราการสึกหรอของมีดสูงกว่าแบบผสมน้ำ ทำให้กราฟตัดกันหรือเกิดการสึกหรอเท่ากันที่ความเร็วตัดประมาณ 37 เมตรต่อนาที ซึ่งที่ความเร็วตัดมากกว่า 37 เมตรต่อนาที น้ำมันแบบผสมน้ำทำให้เกิดการสึกหรอน้อยกว่าแบบน้ำมันพืช เนื่องจากแบบผสมน้ำมีสมบัติการระบายความร้อนดีกว่าน้ำมันพืช ทำให้การแพร่ซึมของอะตอมเกิดขึ้นน้อยกว่า ผลการเปรียบเทียบด้านอื่น ๆ เป็นดังนี้



รูปที่ 56 เปรียบเทียบการสึกหรอของมีดกึ่งจากการใช้น้ำมันตัดเฉือนทั้งสองชนิด

6.3.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการสึกหรอ ตลอดช่วงความเร็วตัดที่ทำการทดลอง

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าเฉลี่ยการสึกหรอจากการตัดเฉือนด้วยน้ำมันแบบผสมน้ำ} &= 17.75 \text{ ไมครอน} \\
 \text{ค่าเฉลี่ยการสึกหรอจากการตัดเฉือนด้วยน้ำมันพืช} &= 16.79 \text{ ไมครอน} \\
 \text{การตัดเฉือนด้วยน้ำมันพืชมีการสึกหรอต่ำกว่า} &= (17.75-16.79)/17.75 \\
 &= 5.4 \text{ เปอร์เซ็นต์}
 \end{aligned}$$

6.3.2 ช่วงความเร็วตัดที่เหมาะสม

จากกราฟเปรียบเทียบขนาดการสึกหรอในรูปที่ 56. จะเห็นว่าการใช้น้ำมันพืชเป็นน้ำมันตัดเฉือน ทำให้เกิดการสึกหรอน้อยกว่าน้ำมันตัดเฉือนแบบผสมน้ำ ระหว่างช่วงความเร็วตัด 20.28 เมตรต่อนาที ถึง 37 เมตรต่อนาที หรืออาจกล่าวได้ว่าตลอดทั้งช่วงความเร็วตัดที่ทำการทดลอง ดังนั้นหากคำนึงถึงเรื่องการสึกหรอของมีดเป็นหลัก น้ำมันพืชจะมีความเหมาะสมกับการใช้งานมากกว่าน้ำมันแบบผสมน้ำ

## 7. การวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นโดยรวม

จากผลการทดลองทั้งสามด้านในการเปรียบเทียบเชิงตัวเลข คือ ขนาดแรงตัดเฉือน ความเรียบผิวงาน และขนาดการสึกหรอของมีด มีค่าใกล้เคียงกัน แต่น้ำมันพืชให้ผลการตัดเฉือนที่ดีกว่าในการใช้งานที่ความเร็วตัดต่ำหรือใช้แรงตัดเฉือนค่อนข้างน้อย เมื่อความเร็วตัดสูงขึ้นน้ำมันแบบผสมน้ำให้ผลการทำงานดีกว่า เพราะน้ำมันพืชแม้จะมีสมบัติการหล่อลื่นที่ดีกว่า แต่ระบายความร้อนได้ช้ากว่าแบบผสมน้ำซึ่งเป็นวัสดุน้ำมันตัดเฉือนที่มีลักษณะสมบัติแบบกึ่งหล่อลื่นและกึ่งระบายความร้อน ด้วยเหตุนี้จึงพิจารณาได้ว่า น้ำมันพืชเหมาะที่จะนำไปใช้งานในการตัดเฉือนที่ ความเร็วรอบต่ำ อัตราป้อนน้อย และความลึกรอยตัดที่ไม่สูงมากนัก ในกรณีของงานทดลองครั้งนี้ ความเร็วตัดที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 20.28 เมตรต่อนาที ถึง 37.59 เมตรต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วตัดที่ได้รับการแนะนำให้ใช้งานโดยทั่วไปในการตัดเฉือนเหล็กเหนียวคาร์บอน (Carbon Steel) ด้วยมีดความเร็วรอบสูง (High Speed Steel) จึงไม่สามารถลดความเร็วตัดลงได้อีก เพราะจะทำให้ใช้เวลาในการผลิตมากเกินไป ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เช่น สถานประกอบการประเภทโรงกลึง หรือโรงงานขนาดเล็ก เมื่อพิจารณาจากช่วงความเร็วตัดที่เหมาะสมทั้งสามกรณี จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่พิจารณาผลการผลิตจากขนาดของงาน ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับการสึกหรอของมีด ผิวงาน และแรงตัดเฉือนตามลำดับ

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าในกรณีขนาดของงาน (การสึกหรอของมีด) น้ำมันพืชเหมาะกับการใช้งานที่ความเร็วตัดไม่เกิน 37 เมตรต่อนาที ในกรณีของความเรียบผิวงาน น้ำมันพืชเหมาะกับการใช้งานที่ความเร็วตัดไม่เกิน 25 เมตรต่อนาที แต่เมื่อพิจารณาจากความแตกต่างของความเรียบผิวงานจากการใช้งานด้วยน้ำมันตัดเฉือนทั้งสองชนิดแล้วพบว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก (เทียบจากกราฟของความเรียบผิวงานที่ค่าความเร็วตัดต่าง ๆ) โดยที่ความเร็วตัด 30 เมตรต่อนาที น้ำมันพืชทำให้ผิวงานมีความหยาบมากกว่าน้ำมันแบบผสมน้ำประมาณ 0.4 ไมครอน (0.0004 มิลลิเมตร) เท่านั้น ส่วนในกรณีของแรงตัดเฉือน น้ำมันพืชเหมาะกับการใช้งานที่ความเร็วตัดไม่เกิน 30 เมตรต่อนาที ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วน้ำมันพืชสามารถนำมาใช้งานที่ความเร็วตัดไม่เกิน 30 เมตรต่อนาที ซึ่งจะทำให้ผลการทำงานเกิดประโยชน์ทั้งด้านแรงตัดเฉือน ความเรียบผิวงาน และการสึกหรอของมีด ทั้งนี้การพิจารณาใช้น้ำมันพืชในช่วงความเร็วตัดที่ระบุ ในด้านแรงตัดเฉือนนอกจากจะเป็นการลดภาระการรับแรงของมีดและเครื่องจักรแล้ว ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของต้นกำลังอีกด้วย ในด้านของความเรียบผิวงานทำให้ชิ้นงานมีความเรียบเรียบร้อยสวยงาม และสวมประกอบได้ดี ส่วนในด้านการสึกหรอของมีด น้ำมันพืชเหมาะกับการใช้งานทดแทนน้ำมันแบบผสมน้ำตลอดช่วงความเร็วตัดที่ทำการทดลอง เนื่องจากทำให้เกิดการสึกหรอน้อยกว่าน้ำมันแบบผสมน้ำ มีดจึงมีอายุการใช้งานสูงขึ้น ลดจำนวนครั้งการลับมีด และช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตต่อการลับมีดหนึ่งครั้ง น้ำมันพืชจึงเหมาะกับการนำไปใช้กับงานประเภท งานสำเร็จ (Finishing) ที่ต้องการแสดงความเรียบเรียบร้อยสวยงามของผิวงาน หรือสวมอัดแน่นของชิ้นส่วน และงานกึ่งสำเร็จ (Semi-Finishing) ที่มีการสวมประกอบของชิ้นส่วนทั่วไป

## 8. การวิเคราะห์ผลด้านอื่น ๆ

นอกจากการวิเคราะห์ผลที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น ยังมีผลการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับสภาพการทำงานขณะทำการทดลอง ทั้งสภาพแวดล้อม และสมบัติของน้ำมันตัดเฉือนดังนี้

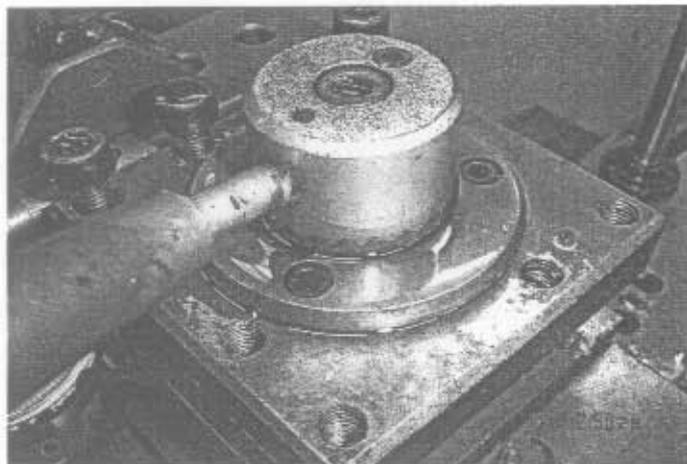
### 8.1 สภาพการทำงาน

การทดลองใช้งานด้วยน้ำมันพืช จะพบปัญหาเกี่ยวกับเรื่องสภาพแวดล้อมขณะทำงาน นั่นคือบนเครื่องจักร และพื้นที่รอบ ๆ เครื่องจักรจะเกิดความสกปรกเนื่องจากการกระเด็นของหยดน้ำมันพืช ทั้งขณะทำการตัดเฉือน และขณะถอดเปลี่ยนชิ้นงาน รวมทั้งขณะทำความสะอาดเก็บกวาดเศษตัด ซึ่งคราบน้ำมันดังกล่าว

ระเหยหรือทำความสะอาดคอนข้างยาก และผู้ปฏิบัติงานต้องทำความสะอาดมือที่เปื้อนครบน้ำมันพิษอยู่เสมอ ซึ่งน้ำมันแบบผสมน้ำจะเกิดปัญหาลักษณะดังกล่าวน้อยกว่า ดังรูปที่ 57 และ 58



รูปที่ 57 สภาพพื้นที่บริเวณปฏิบัติงาน



รูปที่ 58 สภาพเครื่องจักรขณะปฏิบัติงาน

## 8.2 อายุการใช้งานของน้ำมันตัดเฉือน

จากการสังเกตสภาพและสมบัติของน้ำมันตัดเฉือน ภายหลังจากเสร็จสิ้นการปฏิบัติการทดลอง พบว่า

8.2.1 ตลอดระยะเวลาของการทดลอง 12 สัปดาห์ น้ำมันพิษยังคงสมบัติภายนอกที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่มีการสึกหรอง ต่างจากน้ำมันแบบผสมน้ำที่บริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่มักจะกำหนดอายุการใช้งานได้ปกติเพียงระยะเวลา 2-4 สัปดาห์ ดังนั้นน้ำมันพิษจึงใช้งานได้ยาวนานกว่าอย่างน้อย 3 ถึง 6 เท่า

8.2.2 การใช้งานด้วยน้ำมันแบบผสมน้ำ เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะเสื่อมสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อน ทำให้ชิ้นส่วนเครื่องจักรเป็นสนิม ซึ่งน้ำมันพิษจะไม่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ดังนั้นน้ำมันพิษนอกจากจะมีสมบัติการหล่อลื่นที่ดีแล้วยังช่วยป้องกันการกัดกร่อนจากสนิมทั้งตัวเครื่องจักร และชิ้นงานที่ถูกตัดเฉือน