



บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 เครื่องทดสอบการสึกหรอ (Friction Wear Tester EFM III-1010)
- 3.1.2 วงแหวนเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นคู่สัมผัสการไถล
- 3.1.3 เหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 เป็นดิสก์
- 3.1.4 สารเคมีกรรมวิธี TRD ได้แก่ เกลือบอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) วาเนเดียมเพนทอกไซด์ (V_2O_5) และโบรอนคาร์ไบด์ (B_4C)
- 3.1.5 เตามufflesใช้สำหรับหลอมเกลือบอแรกซ์และให้ความร้อนกับเป้าเหล็กกล้าไร้สนิมเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิภายในเตา Muffle

3.2 ขั้นตอนการเตรียมดิสก์และเคลือบด้วยกระบวนการทีอาร์ดี

- 3.2.1 ตัดชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 มีส่วนผสมทางเคมีแสดงในตารางที่ 3.2 ขึ้นรูปและเจาะรูตามรูปที่ 3.2 หนา 5 มิลลิเมตร
- 3.2.2 ขัดขอบดิสก์ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 และขัดผิวหน้าดิสก์ด้วยกระดาษทรายจนถึงเบอร์ P1000 เพื่อขจัดสนิมสิ่งสกปรกที่ผิวชิ้นงานและเตรียมผิวชิ้นงานก่อนการเคลือบ
- 3.2.3 เคลือบดิสก์ DC53 โดยกระบวนการวิธี TRD ที่อุณหภูมิ $1,000^\circ\text{C}$ ใช้เวลา 6 ชั่วโมง 15 นาที

3.3 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบเกาะติด

- 3.3.1 เตรียมชิ้นงานดิสก์ชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ (VC)
- 3.3.2 เตรียมชิ้นงานแหวนเหล็กกล้าไร้สนิม ขึ้นรูปชิ้นงานตามรูปที่ 3.3 เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในเท่ากับ 20.00 ± 0.021 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางนอกเท่ากับ 25.6 ± 0.02 มม. ชิ้นงานทรงกระบอกสูง 15 มม. เจาะรูเสียบลวดวัดอุณหภูมิ
- 3.3.3 ทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบด้วย Supersonic cleaning
- 3.3.4 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานดิสก์และแหวนก่อนการทดสอบ ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 3.3.5 ตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องทดสอบการสึกหรอ (Friction Wear Tester EFM III-1010) โดยมีขอบเขตการใช้งานเครื่อง ดังตารางที่ 3.1 คือค่าแรงกด, ความเร็วการไถลและระยะทางไถล เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบเกาะติด

3.3.8 ทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่อง Supersonic cleaning

3.3.9 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานดิสก์และแหวนหลังการทดสอบด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผิววงแหวนและผิวดิสก์บริเวณที่เกิดการเกาะติดหลังการทดสอบ

3.4.1 ถ่ายรูปเหล็กกล้าไร้สนิมที่เกาะติดบนผิวชิ้นงานดิสก์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

3.4.2 วัดปริมาณธาตุของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผิวโดยเครื่อง Energy dispersive electron spectroscopy (SEM-EDS)

3.4.3 วิเคราะห์สารประกอบที่ผิววงแหวนด้วยเครื่อง X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)

3.4.4 วิเคราะห์ธาตุที่ผิวดิสก์และวงแหวนด้วยเครื่อง Electron Probe Micro Analysis (EPMA)

3.5 เงื่อนไขในการทดลอง

แบ่งเป็น 3 ส่วน ในตารางที่ 3.1

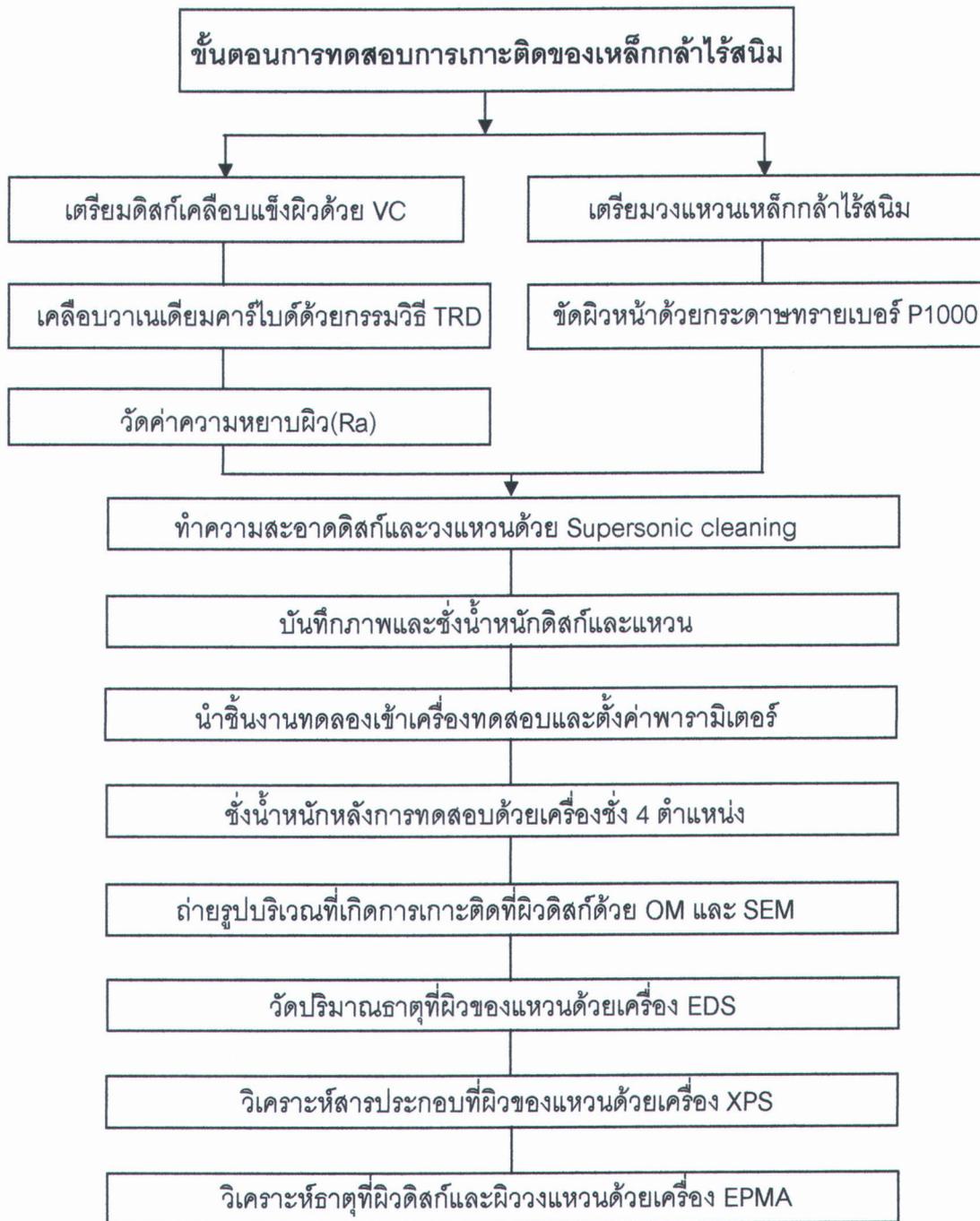
3.5.1 แปรผันระยะทางไกลจาก 1,000 เมตร ถึง 2,200 เมตรด้วยแรงกด 220 นิวตัน
ความเร็วการไกล 1.432 เมตร/วินาที

3.5.2 ให้แรงกดคงที่ 220 นิวตัน แปรผันความเร็วไกลในช่วง 0.716 - 2.148 เมตร/วินาที

3.5.3 ให้ความเร็วคงที่ 1.432 เมตร/วินาที แปรผันแรงกดในช่วง 120 - 320 นิวตัน

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลองเพื่อหาการสูญเสียเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมที่ความเร็วและแรงกดค่าต่างๆ

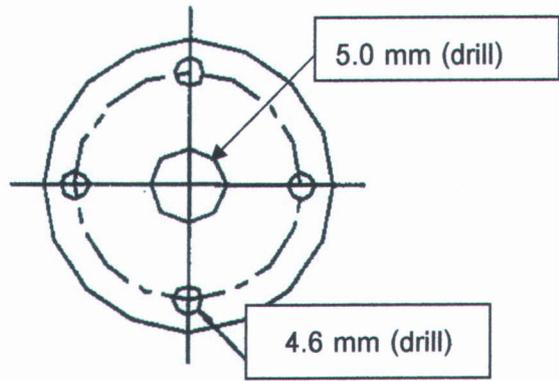
ชั้นเคลือบผิวแข็ง	ความเร็วการไถล (เมตร/วินาที)	แรงกด (นิวตัน)	ระยะทางไถล (เมตร)
(VC)	0.716	220	2,000
	1.074	220	2,000
	1.432	220	2,000
	1.790	220	2,000
	2.148	220	2,000
	1.432	120	2,000
	1.432	170	2,000
	1.432	220	2,000
	1.432	320	2,000
	1.432	220	1,000
	1.432	220	1,500
	1.432	220	2,000
	1.432	220	2,200



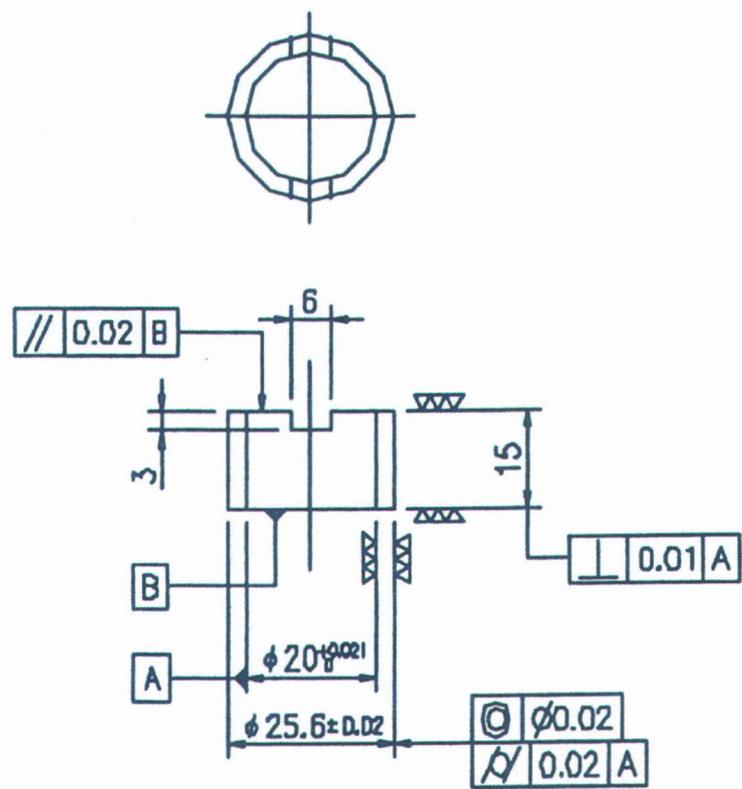
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบการเกาะติดของเหล็กกล้าไร้สนิมบนชิ้นวานาเดียมคาร์ไบด์

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

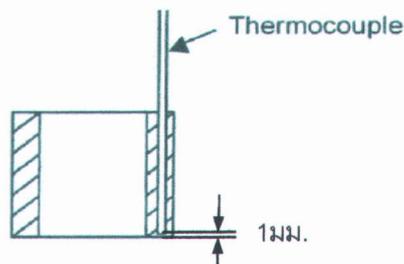
ส่วนผสม ดิสก์	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Fe
DC53 (Modified SKD 11)	0.93	1.03	0.41	0.016	< 0.001	6.82	1.99	0.09	0.07	0.25	bal.



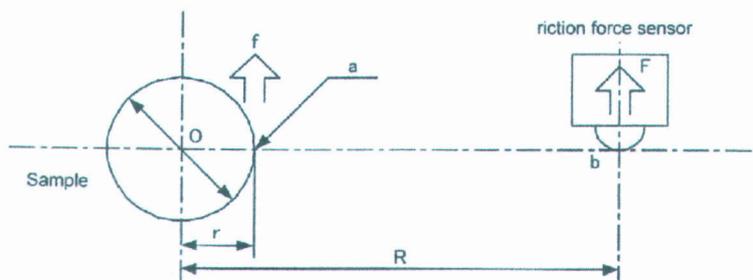
รูปที่ 3.2 แบบขึ้นงานดิสก์เหล็กDC53 มีความหนา 5 มม. [10]



รูปที่ 3.3 แบบขึ้นงานแหวนเหล็กกล้าไร้สนิม [10]



รูปที่ 3.4 แนวเจาะรูเพื่อเสียบเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิขณะทำการทดสอบ [10]



รูปที่ 3.5 แบบจำลองแสดงการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

สมการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน [10]

จากรูปที่ 3.5

$$f = \frac{FR}{r}$$

$$\mu = \frac{f}{W} = \frac{FR}{Wr}$$

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

f คือ แรงเสียดทาน

F คือ แรงที่อ่านได้จาก load cell

W คือ แรงกดตามแนวตั้ง

r คือ ระยะ oa

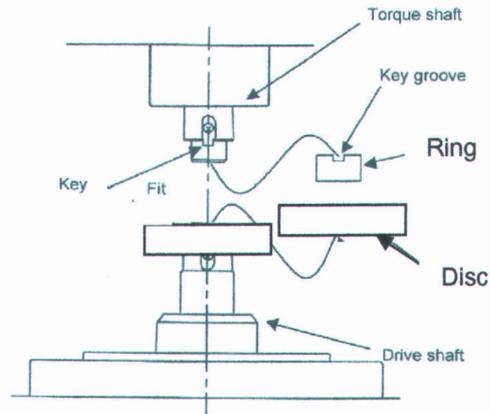
R คือ ระยะ ob

ตารางที่ 3.3 ขอบเขตเครื่องทดสอบ (Friction Wear Tester EFM III-1010) [10]

รายการ	ขอบเขตการใช้งานของเครื่อง
แรงกด (N)	30 ถึง 5000
ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	0.2 ถึง 10
ค่าแรงบิดสูงสุด (N.m)	10
ความเร็วรอบ ($m.s^{-1}$)	0.1 to 11.93

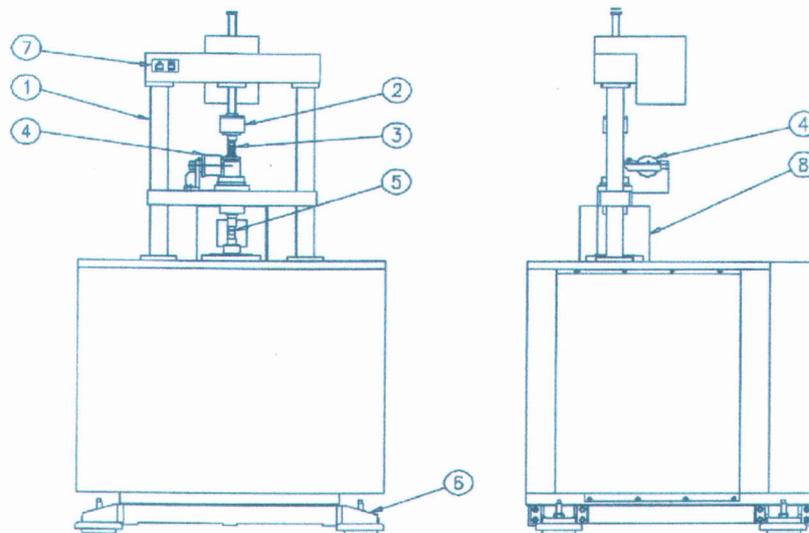
ตารางที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ของแรงส่งกำลังเครื่องทดสอบกับความเร็วการไถลและสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

แรงส่งกำลัง (T) (N.m)	ความเร็วรอบสูงสุด (m/sec)	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ)	แรงเสียดทานสูงสุด (N)
10	2.98	1	877
		0.8	1096
		0.6	1461
		0.5	1754
		0.4	2192
5	5.97	1	439
		0.8	548
		0.6	731
		0.5	878
		0.4	1096
3	7.99	1	263
		0.8	328
		0.6	438
		0.5	526
		0.4	657
2	11.93	1	175
		0.8	218
		0.6	292
		0.5	350
		0.4	438



รูปภาพที่ 3.6 แสดงการวางชิ้นงานการทดสอบแบบ Ring-On-Disc [10]

เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบ Ring-On-Disc (Friction Wear Tester EFM III-1010)



รูปที่ 3.7 แบบเครื่องทดสอบ [10]

- (1) Support
- (2) Pressuring load cell
- (3) Pressurizing spring mechanism
- (4) Friction load cell
- (5) Test piece
- (6) Vibration-proof seat
- (7) Pressurizer UP/DOWN
- (8) Safety cover