บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

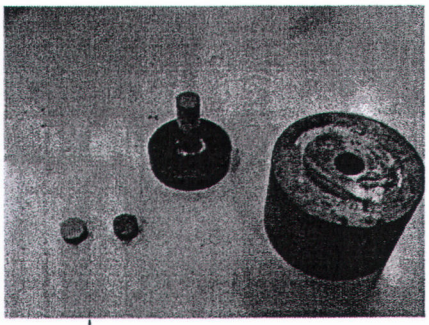
1. ผงไทเทเนียมบริสุทธิ์แบบละเอียดความบริสุทธิ์ 99.7% ขนาดเฉลี่ย 29.59 ไมโครเมตร
2. ผงทองแดงความบริสุทธิ์ 99% ขึ้นไป ขนาดเฉลี่ย 75 ไมโครเมตร
3. ผง diewax ชนิด L
4. อะซีโตน
5. แก๊สอาร์กอน
6. สารละลาย HF:HNO_3:H_2O ในอัตราส่วน 2:4:100 (Kroll etchant)

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของผงโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์แบบละเอียด

ธาตุ / ผงโลหะ	Fe	Cl	Mn	Mg	Si	N	C	O	H	Ti
ผงไทเทเนียมแบบละเอียด	0.003	0.01	<0.01	<0.001	0.003	<0.01	0.02	0.01	0.24	Bal.

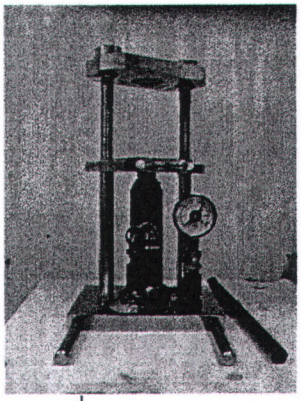
3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งน้ำหนักระบบดิจิตอล 2 ตำแหน่งและ 4 ตำแหน่ง
2. แม่พิมพ์ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm



รูปที่ 3.1 แม่พิมพ์ทรงกระบอก

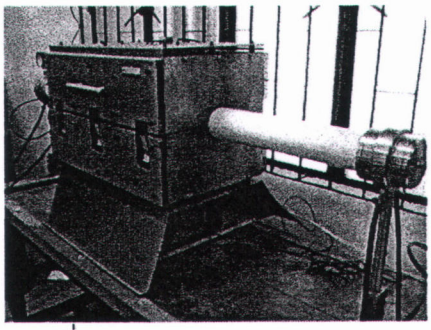
3. เครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 3 ตัน



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดผงระบบไฮดรอลิก

4. คาลิเปอร์ เวอร์เนีย

5. เตาท่อ (Tube furnace)



รูปที่ 3.3 เตาท่อ (Tube furnace)

6. เตา ULVAC รุ่น RHL-P610CP AC 200 V 12 Kw

7. เตา Muffle

8. อุปกรณ์วัดความหนาแน่นแบบอาร์คิมิดิส

3.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. กล้องจุลทรรศน์แสง (Optical microscope)

2. Differential Scanning Calorimeter (DSC)

3. X-ray Diffractometer (XRD)

4. Scanning electron microscope (SEM)/ Energy dispersive spectrometer (EDS)

5. เครื่องวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์

6. เครื่องทดสอบการสึกหรอ (Tribometer)

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การเตรียมผงโลหะผสม

ผงโลหะไทเทเนียมและทองแดงจะถูกนำมาผสมกันให้ได้ส่วนผสมที่ต้องการ ได้แก่ 2, 4, 7, 10, 15% ทองแดงโดยน้ำหนัก หลังจากนั้นเติมผงสารหล่อลื่นโดยปริมาณผงของสารหล่อลื่นที่ใช้คือ 0.5% ของน้ำหนักของผงโลหะผสม ปริมาณของผงต่างๆที่ต้องใช้แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณของผงต่างๆที่ต้องใช้ในแต่ละส่วนผสม

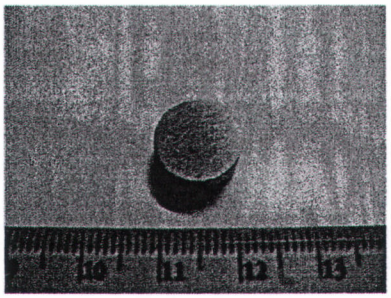
ปริมาณผง / โลหะผสม	Ti (g)	Cu (g)	Diewax ชนิด L (g)
Ti-2Cu	1.75	0.04	0.0089
Ti-4Cu	1.74	0.07	0.0090
Ti-7Cu	1.71	0.12	0.0092
Ti-10Cu	1.68	0.19	0.0093
Ti-15Cu	1.63	0.29	0.0096

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

1. ทาสารหล่อลื่น diewax ชนิด L ซึ่งละลายในอะซีโตนในแม่พิมพ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm

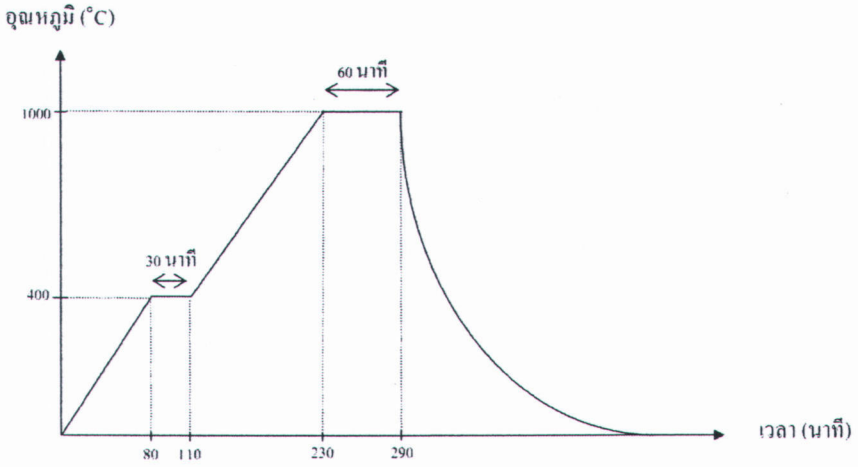
2. เทผงโลหะผสมซึ่งมีส่วนผสมตามที่ได้คำนวณไว้ลงในแม่พิมพ์

3. ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ให้ได้ชิ้นงานรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm สูง 0.5 cm และ 1 cm สำหรับชิ้นงานที่จะนำไปทดสอบความต้านทานการสึกหรอ โดยใช้แรงอัดที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานผงโลหะผสมไทเทเนียมและทองแดงที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น

4. เผาผนึกชิ้นงานในเตาท่อ ซึ่งมีการควบคุมบรรยากาศด้วยแก๊สอาร์กอนโดยมีตัวอย่างรูปแบบการให้ความร้อนดังนี้



รูปที่ 3.5 รูปแบบการให้ความร้อนของชิ้นงานในเตาท่อ

5. ชิ้นงานเผาผนึกที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์และความแข็งสูงสุดจะถูกนำมาผ่านกระบวนการ Solution treatment ที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 0.5 ชม. และบ่มแข็ง (Age-hardening) ที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 24 ชม.

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2.3.1 การวิเคราะห์ความหนาแน่นหลังการเผาผนึก

ชิ้นงานที่ผ่านการเผาผนึกจะถูกนำไปวัดความหนาแน่นด้วยอุปกรณ์วัดความหนาแน่นแบบอาร์คิมิดิส ชิ้นงานจะถูกชั่งน้ำหนักในอากาศและในน้ำ โดยค่าความหนาแน่นสามารถหาได้จากสมการ

$$D = M_{air} / (M_{air} - M_{water})$$

โดย D = ความหนาแน่นของชิ้นงาน (g/cm^3)

M_{air} = น้ำหนักของชิ้นงานเมื่อชั่งในอากาศ (g)

M_{water} = น้ำหนักของชิ้นงานเมื่อชั่งในน้ำ (g)

ความหนาแน่นหลังจากการเผาผนึกสามารถคำนวณได้ โดยสมมติว่าทองแดงสามารถเกิสารประกอบกับไทเทเนียมเป็น Ti_2Cu ได้ทั้งหมด ค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ความหนาแน่นที่ได้จากการคำนวณหลังการเผาผนึก

โลหะผสม	ความหนาแน่นหลังเผาผนึก (g/cm^3)
Ti-2Cu	**4.55**
Ti-4Cu	**4.60**
Ti-7Cu	**4.68**
Ti-10Cu	**4.76**
Ti-15Cu	**4.89**

ความหนาแน่นซึ่งได้จากการวัดจะถูกนำมาคิดเป็นเปอร์เซนต์เทียบกับความหนาแน่นที่ได้จากการคำนวณออกมาเป็นค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ หรือ Relative density (%)

3.2.3.2 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

การตรวจสอบธาตุและสารประกอบสามารถทำได้โดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ใช้เป้าโลหะทองแดง ($Cu_{K\alpha}$) และอุปกรณ์ Energy dispersive spectrometer (EDS) หลังการเผาผนึกและการทำ Solution treatment

3.2.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคทำได้โดยการนำชิ้นงานไปขึ้นรูปตัวเรือน ขัดหยาบจนถึงกระดาษทรายเบอร์ 2000 และขัดละเอียดด้วยอะลูมินาขนาด 1 ไมครอน จากนั้น etchingโดยใช้ Kroll etchant แล้ววิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด หลังการเผาผนึกและการทำ Solution treatment

3.2.3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกล

การวิเคราะห์สมบัติทางกลแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

- วิเคราะห์ความแข็งโดยใช้เครื่องวัดความแข็งแบบวิกเกอร์
- วิเคราะห์ความต้านทานการสึกหรอโดยใช้เครื่องทดสอบ Tribometer แบบ Pin-on-disc โดยมีเงื่อนไขดังนี้
    1. วัสดุขัดสี 304 stainless steel
    2. Sliding speed 37.69 m/min
    3. ระยะทาง 5000 m
    4. แรงกด 16 N
    5. ความเร็วรอบ 200 rpm