

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

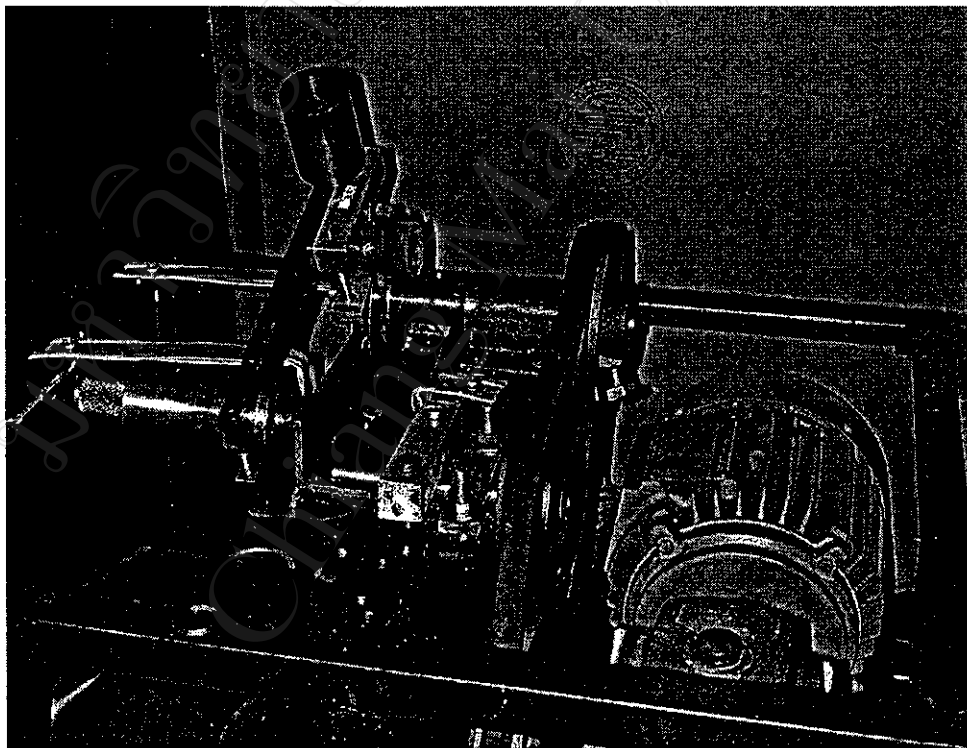
3.1.1 โลหะตัวอย่างและอุปกรณ์การเตรียม

1. โลหะตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิดได้แก่ โลหะผสมไทเทเนียม MJ12 และ MJ47 ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้

$$\text{MJ12} = \text{Ti} - 47\% \text{Al} - 2\% \text{Nb} - 2\% \text{Cr}$$

$$\text{MJ47} = \text{Ti} - 47\% \text{Al} - 2\% \text{Nb} - 2\% \text{Mn} - 0.8\% \text{TiB}_2$$

2. เครื่องตัดสารใบตัดเพชร (diamond saw) หนาประมาณ 0.5 mm ดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดงภาพเครื่องตัดสารที่ใช้ในการทดลอง

3. กระดาษทรายเบอร์ 100 , 400 และ 1000
4. ผงขัดอะลูมินา ขนาด 1 และ 0.3 μm
5. เครื่องขัดสารใช้สำหรับขัดผิวโลหะ



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องขัดสารที่ใช้ผงขัดอะลูมินา

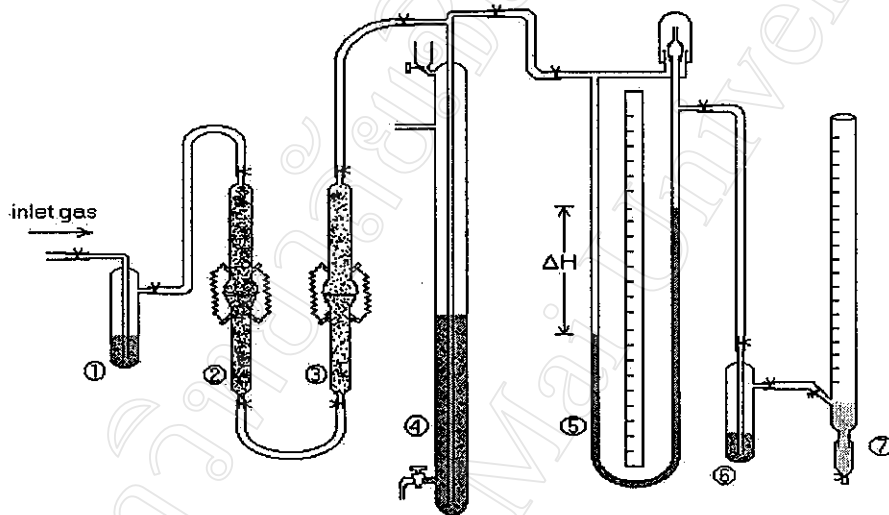
6. เวอร์เนียและไมโครมิเตอร์
7. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ความละเอียด 0.0001 g
8. อะซิโตน (acetone) ใช้สำหรับล้างคราบไขมันและสิ่งสกปรกจากสารตัวอย่าง

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาอัตราการไหลของแก๊ส

1. แก๊สแอมโมเนีย (NH_3) commercial grade
2. แก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) commercial grade
3. แก๊สอาร์กอน (Ar) commercial grade
4. อุปกรณ์ควบคุมความดันที่แก๊ส (Gas Regulator)
5. ชุดควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้
 - หลอดตรวจสอบแก๊สเข้า
ภายในหลอดบรรจุสารละลาย Dibutyl phthalate เมื่อมีแก๊สไหลผ่านจะเกิดฟองขึ้น
 - หลอดบรรจุสาร Drierite
ภายในหลอดบรรจุสาร Silica gel ทำหน้าที่ ดูดซับความชื้นของแก๊ส
 - หลอดบรรจุสาร Ascarite
ภายในหลอดบรรจุสาร Sodium hydroxide ทำหน้าที่ ดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
 - หลอดควบคุมความดันแก๊ส
ลักษณะหลอด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0 cm ยาวประมาณ 90 cm ภายในหลอดบรรจุสารละลาย Dibutyl phthalate ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของแก๊สโดยการลดหรือเพิ่มระดับสารละลายภายในหลอด ซึ่งจะส่งผลให้ระดับความแตกต่างของสารละลายในหลอดรูปตัวยูเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย
 - ชุดเวเนทิวรีมิเตอร์ (Venturi meter)
ประกอบด้วยหลอดรูปตัวยู มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 cm ยาว 88.0 cm ภายในหลอดบรรจุสารละลาย Dibutyl phthalate เมื่อมีแก๊สไหลผ่านจะส่งผลให้เกิดระดับความแตกต่างของสารละลายทั้ง 2 ด้าน ซึ่งจะเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณแก๊สที่ไหลผ่านออกไป ส่วนปลายด้านบนของหลอดด้านหนึ่งจะเป็นหลอดคาปิลารี (capillary tube) ครอบด้วยหลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0 cm ยาวประมาณ 14.0 cm
 - หลอดตรวจสอบแก๊สออก
ภายในหลอดบรรจุสารละลาย Dibutyl phthalate ทำหน้าที่เหมือนหลอดตรวจสอบแก๊สเข้า

6. หลอดวัดปริมาณการไหลของแก๊ส

ลักษณะหลอด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 cm ยาว 51.0 cm มีปริมาตร 50 cm³ ด้านบนจะเป็นปลายเปิด ส่วนปลายหลอดด้านล่างจะปิดด้วยจุกยางและบรรจุสารที่ทำให้เกิดฟอง มีหน้าที่วัดอัตราการไหลของแก๊สโดยอาศัยการวัดความเร็วของฟอง ที่มีลักษณะเป็นฟิล์มบาง



รูปที่ 3.3 แสดงชุดควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส โดยมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1. หลอดตรวจสอบแก๊สเข้า | 5. หลอดรูปตัวยู |
| 2. หลอดบรรจุสาร Drierite | 6. หลอดตรวจสอบแก๊สออก |
| 3. หลอดบรรจุสาร Ascarite | 7. หลอดวัดอัตราการไหลของแก๊ส |
| 4. หลอดควบคุมความดันแก๊ส | |

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเคลือบผิว

1. แก๊สแอมโมเนีย (commercial grade)
2. แก๊สอะเซทิลีน (commercial grade)
3. แก๊สอาร์กอน (commercial grade)
4. อุปกรณ์ควบคุมความดันแก๊ส (Gas regulator)
5. ชุดอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส
6. หลอดผสมแก๊ส
ทำน้ำที่ผสมแก๊สก่อนนำเข้าห้องเผา
7. ชุดห้องเผา (chamber) มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้
 - ฝาปิด
ทำจากทองแดง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 cm หนาประมาณ 1 cm ที่ขอบเจาะรูสำหรับยึดน็อต
 - ท่อทองแดง
จะเชื่อมติดกับฝาปิด ใช้สำหรับสอดท่อเซรามิกเข้าสู่ห้องเผา จะมีอยู่ 3 ท่อคือ ท่อนำแก๊สเข้า ท่อระบายแก๊สออก และท่อสำหรับสอดเทอร์โมคัปเปิล
 - ขดท่อทองแดง
ถูกเชื่อมติดกับฝาท่อโดยขดเป็นวง รอบท่อทองแดงทั้งสามท่อ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 cm ปลายท่อทั้ง 2 จะต่อสายยาง สำหรับน้ำเข้าและออก ทำน้ำระบายความร้อนให้กับฝาปิด
 - ที่ยึดฝาปิด
สำหรับยึดฝาปิดให้ติดสนิทกับขอบปากห้องเผา มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางบริเวณขอบจะเจาะรูไว้สำหรับยึดน็อต
 - น็อต ยึดฝาปิด
 - แหวนยาง
สำหรับป้องกันการรั่วซึมอากาศ มีลักษณะเป็นวงแหวนแบน ใช้กันระหว่างฝาปิดและขอบปากห้องเผา

- อิฐทนไฟ หรือ อิฐฉนวนความร้อน

เป็นอิฐชนิดเดียวกับที่ใช้ทำเตาเผา ทนอุณหภูมิได้สูงสุดประมาณ 1300°C ลักษณะเป็นทรงกระบอกยาวประมาณ 10 cm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะเท่ากับห้องเผา ใช้สำหรับป้องกันความร้อนไม่ให้ขึ้นไปถึงฝาปิด และมีรูสำหรับสอดท่อเซรามิก

- ห้องเผา

ทำจากเซรามิก ลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5.8 cm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 6.5 cm ยาวประมาณ 61.5 cm ปากกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.0 cm และหนา 0.8 cm

- ท่อเซรามิก

จะใช้อยู่ 2 ท่อด้วยกันคือ ท่อสำหรับสอดเทอร์โมคัปเปิล และท่อสำหรับนำแก๊สเข้า มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 cm ทนอุณหภูมิได้ 1300°C

- เทอร์โมคัปเปิล

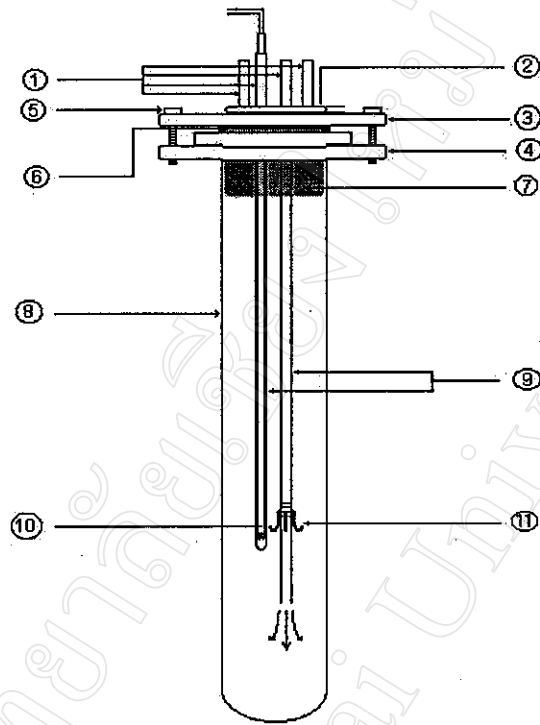
ทำจากโลหะผสมโครเมิล – อะลูเมล ชนิด K (Cromel – Alumel, Type K) ใช้สำหรับในการวัดอุณหภูมิของเตาในห้องเผา โดยจะต่อเข้ากับมัลติมิเตอร์เพื่ออ่านค่าความต่างศักย์ และอีกชุดต่อเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

- ลวดแขวนสารตัวอย่าง

ทำจากเศษของลวดนำความร้อน (heating element) ดัดงอให้มีลักษณะเป็นขอแล้วนำไปผูกติดกับท่อเซรามิกที่ใช้สำหรับนำแก๊สเข้า



รูปที่ 3.4 แสดงชุดห้องเผาที่ใช้ในการทดลอง

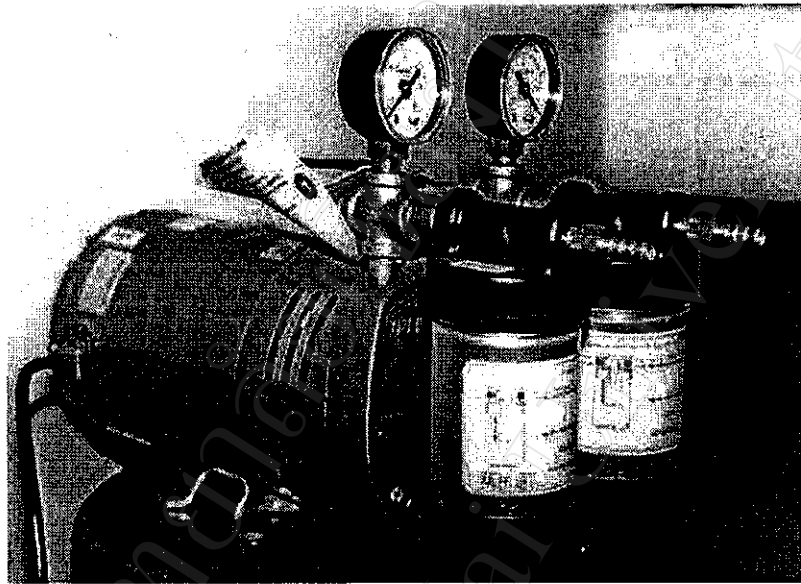


รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดห้องเผา

- | | |
|------------------------|--------------------|
| 1. ท่อทองแดง | 2. ชุดท่อทองแดง |
| 3. ฝาปิด | 4. ที่ยึดฝาปิด |
| 5. น็อตยึดฝาปิด | 6. แหวนยาง |
| 7. อิฐทนไฟ | 8. ห้องเผา |
| 9. ท่อเซรามิก | 10. เทอร์โมคัปเปิล |
| 11. ลวดแขวนสารตัวอย่าง | |

8. บั้มกลสูญญากาศ

เป็นบั้มชนิด Rotary Pump สำหรับสร้างสูญญากาศภายในห้องเผา สามารถสร้าง ความดันได้ประมาณ 650 - 670 mm.Hg



รูปที่ 3.6 แสดงบั้มกลสูญญากาศ

9. เตาเผา (Furnace)

สามารถปรับอุณหภูมิได้ประมาณ 1200°C โครงและผนังเตาภายนอกทำจากเหล็ก ภายในเตามีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- ท่อเกลียวเซรามิก

ทำจากดินที่ผสมกับอะลูมินา ทนอุณหภูมิได้ 1300 °C มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 12.0 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 8.0 ซม. สูง 51.0 ซม. มีเกลียวขนาด 1.0 ซม. โดยรอบสำหรับยึดลวดนำความร้อน มีระยะห่างระหว่างเกลียว 2.5 ซม ผนังท่อมีรูพรุน โดยจะวางท่อเกลียวเซรามิกในแนวตั้ง

- ลวดนำความร้อน(Heating Element)

ทำจากโลหะผสม Khantal มีจุดหลอมเหลวสูง มีค่าความต้านทานไฟฟ้า 0.4616 โอห์มต่อเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 mm ความยาวของลวดที่ใช้ 29.5 m

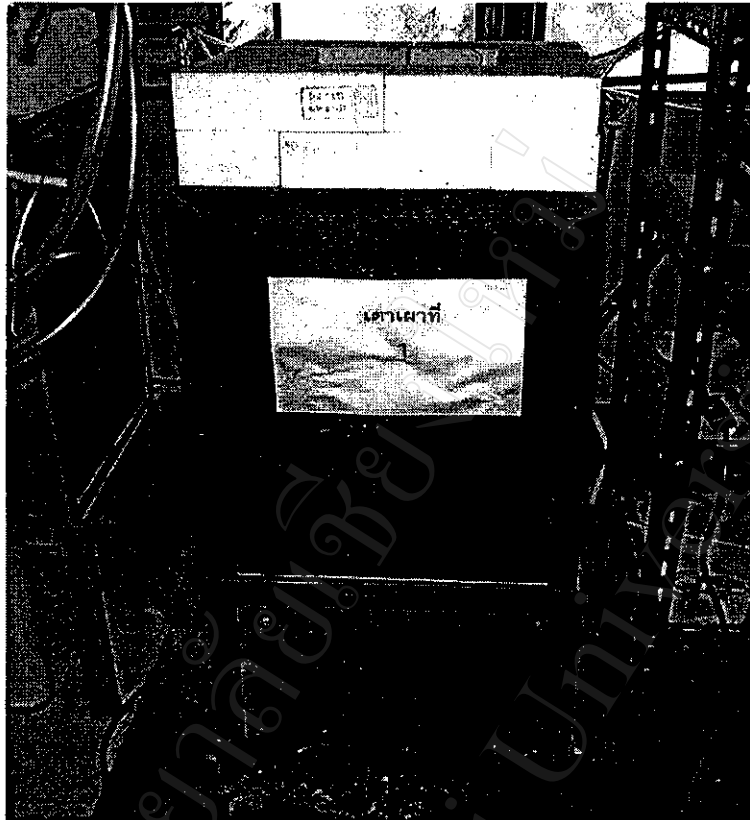
สามารถให้กำลังไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 – 3558.8 W ตามค่าความต่างศักย์ที่ให้ 0 – 220 V โดยการใช้จะนำลวดนำความร้อนดังกล่าวมาขดเป็นเป็นสปริง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 cm แล้วนำไปพันรอบท่อเกลียวเซรามิก และปลายทั้งสองของขดลวดจะต่อกับชุดควบคุมอุณหภูมิ

- อิฐทนไฟ หรือ อิฐฉนวนความร้อน

ผลิตโดย บริษัท Asia Refractory Industry Co., Ltd. รุ่น ARI C-1 ซึ่งทนอุณหภูมิได้สูงสุด 1100°C และรุ่น ARI C-2 ซึ่งทนอุณหภูมิได้สูงสุด 1300°C โดยจะวางอิฐรุ่น ARI C-2 ไว้ชั้นในติดกับท่อเกลียวเซรามิกและวางอิฐรุ่น ARI C-1 ไว้ชั้นนอกติดกับกระเบื้องฉนวนกันความร้อนที่ผนังเตา



รูปที่ 3.7 แสดงท่อเกลียวเซรามิกและลวดนำความร้อน



รูปที่ 3.8 แสดงเตาเผา

10. ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของเตา (Temperature Controller) มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- ชุดควบคุมอุณหภูมิสำเร็จรูป

ผลิตโดยบริษัท Shinko Electric Instrument Co., Ltd. Japan รุ่น AF-720-R/F ใช้กับกระแสไฟฟ้า 220 V หรือมีกำลังไฟฟ้า 1100 W

- ชุดวงจรหรีไฟ

เป็นวงจรที่ต่อเข้ากับส่วนจ่ายไฟของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ทำหน้าที่ปรับอุณหภูมิของเตาโดยการเพิ่มหรือลด ค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับลวดนำความร้อน



รูปที่ 3.9 แสดงอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิเตา

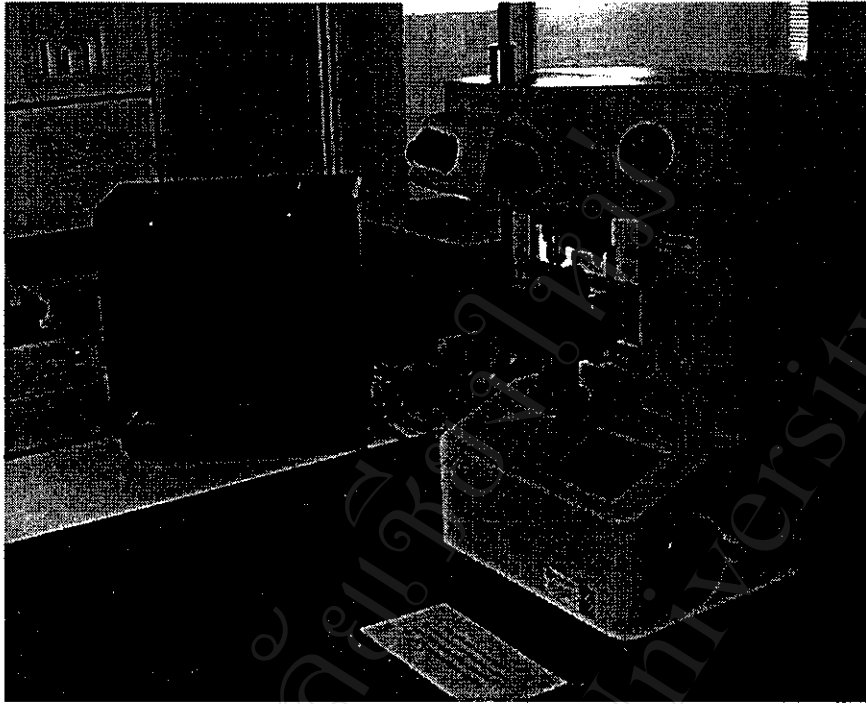
11. นาฬิกาจับเวลา
12. ถังมือฉนวนความร้อน
13. เครื่องชั่งแบบดิจิตอลความละเอียด 0.0001 g.

3.1.4 อุปกรณ์การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่และมวลของสารตัวอย่าง

- เวอร์เนียและไมโครมิเตอร์
- เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ความละเอียด 0.0001 g.

3.1.5 อุปกรณ์การวิเคราะห์ความแข็ง

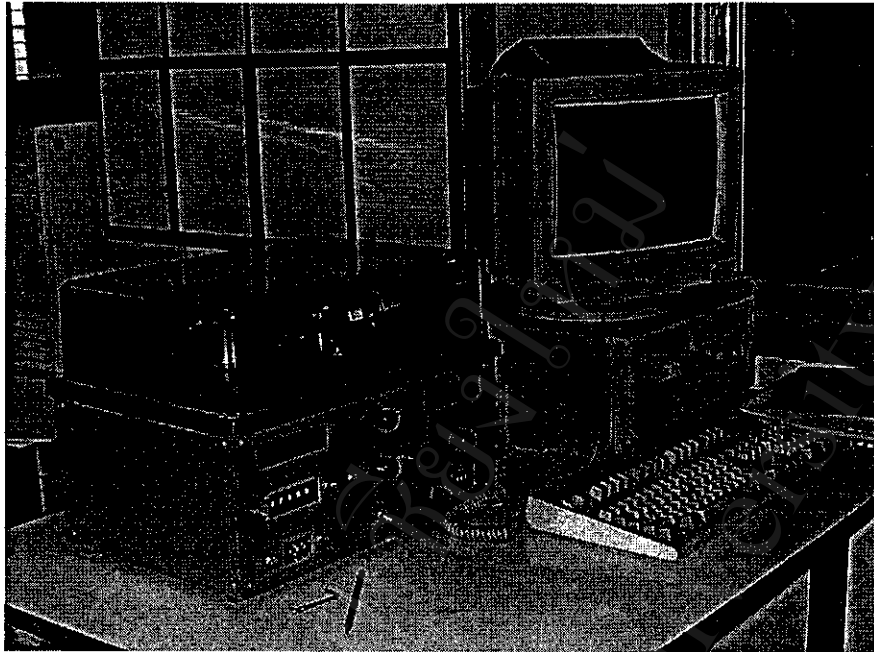
- เครื่องทดสอบความแข็งจุลภาคแบบนूप (Knoop) ของบริษัท Mastsuzawa Seiki Co., Ltd Japan รุ่น MXT - α



รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องวัดความแข็ง

3.1.6 อุปกรณ์การวิเคราะห์การสึกหรอ

- เครื่องวิเคราะห์การสึกหรอแบบหัวกดบนจานทดสอบ (Pin-on-disk) ของบริษัท Implant Science Corporation รุ่น ISO 200
- กล้องจุลทรรศน์ของเครื่องทดสอบความแข็งจุลภาค ของบริษัท Mastsuzawa Seiki Co., Ltd รุ่น MXT - $\alpha 7$ ความละเอียด $0.1 \mu\text{m}$.



รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องวิเคราะห์การสีกหรอ

3.1.7 อุปกรณ์การประมวลผลทางสถิติ

- เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel 97
- โปรแกรมสำเร็จรูป SigmaPlot V 5.0
- โปรแกรมสำเร็จรูป PC – Stripchart V 3.3

3.2 การทดลอง

3.2.1 การเตรียมสารตัวอย่าง

1. ตัดแท่งโลหะผสมไทเทเนียมทั้งสองชนิดให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 cm. ความหนาประมาณ 1.5 mm.
2. ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100, 400 และ 1000 ตามลำดับ
3. ขัดเงาด้วยผงขัดอะลูมินาขนาด 1 และ 0.3 μm . ตามลำดับ
4. ทำความสะอาดสารตัวอย่างทั้งหมดด้วยอะซิโตน
5. หาพื้นที่ผิวของสารตัวอย่าง
6. ชั่งมวล

3.2.2 การทดลองหาอัตราการไหลของแก๊ส

อัตราการไหลของแก๊สที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าดังนี้

$$\text{Ar} = 1.8 \text{ ml.s}^{-1}$$

$$\text{C}_2\text{H}_2 = 0.2 \text{ ml.s}^{-1}$$

$$\text{NH}_3 = 2.0 \text{ ml.s}^{-1}$$

เราสามารถที่จะหาอัตราการไหลของแก๊สได้ 2 วิธีคือ

- หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊ส (Q , ml.s^{-1}) กับ

ระดับความแตกต่างของของเหลว (ΔH , cm)

- จากการคำนวณสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นที่หาได้

วิธีการทดลอง

1. เปิดแก๊สที่ต้องการจะวัดจากถัง ผ่านอุปกรณ์ควบคุมความดัน ผ่านเข้าทางหลอดตรวจสอบแก๊สเข้า
2. ปรับระดับสารละลายในหลอดควบคุมความดันแก๊ส ให้ระดับความแตกต่างของสารละลายในหลอดรูปตัวยู (ΔH , cm) เกิดขึ้น พร้อมทั้งบันทึกค่าระดับความแตกต่างนั้น
3. บีบจุกยางที่ปลายหลอดด้านล่างวัดปริมาณการไหลของแก๊ส เพื่อให้เกิดฟอง โดยฟองที่เกิดขึ้น ควรจะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มและมีชั้นเดียว
4. บันทึกเวลา (s) ที่ฟิล์ม ใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านปริมาตรที่กำหนดไว้ในหลอดวัดปริมาณการไหลของแก๊สเช่น 20,30 ml. ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้งแล้วนำมาหาเวลาที่บันทึกได้มาหาค่าเฉลี่ย

5. คำนวณหาอัตราการไหลของแก๊ส (Q , ml.s^{-1}) จากปริมาตรที่กำหนดไว้หารด้วย เวลาเฉลี่ยที่ฟิล์มใช้ในการเคลื่อนที่

6. ปรับระดับสารละลายในหลอดควบคุมความดันแก๊ส โดยการลดหรือเพิ่มของเหลว ในหลอด ให้ระดับ ΔH (cm) เปลี่ยนแปลงไปอย่างน้อย 10 ค่า พร้อมทั้งบันทึกค่า ΔH ในแต่ละ ครั้ง ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ข้อ 3. ถึง 5.

7. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\text{Log } (Q, \text{ml.s}^{-1})$ และ $\text{Log } (\Delta H, \text{cm})$ ซึ่งกราฟ ที่ได้จะเป็นกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยจะอยู่ในรูปของ Logarithm ดังนี้

$$\text{Log } Q = \text{Log } \Delta H + \text{constant}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของแก๊ส (ml.s^{-1})

ΔH คือ ระดับความแตกต่างของสารละลายในหลอดรูปตัวยู (cm)

3.2.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงมวลต่อพื้นที่

1. ชั่งมวลและหลังก่อนการทดลอง
2. หาพื้นที่ผิวของสารตัวอย่าง
3. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การเปลี่ยนมวลต่อพื้นที่ ($\Delta m/A$) กับเวลา (t)

3.2.4 การทดลองการเคลือบผิว

ในการทดลองการเคลือบผิวจะใช้กระบวนการคาร์โบไนไตรเดชัน (Carbonitridation) มีการกำหนดตัวแปร (Conditions) ต่าง ๆ ดังนี้

- อัตราการไหลของแก๊ส $\text{Ar} = 1.8$, $\text{C}_2\text{H}_2 = 0.2$ และ $\text{NH}_3 = 2.0 \text{ ml.s}^{-1}$
- อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1000, 1100, 1200 และ 1300 K
- เวลาที่ใช้ในการเผา 2, 5, 10, 15 h

วิธีการทดลอง

1. หลังจากเตรียมสารตัวอย่างแล้ว ทำความสะอาดผิวของสารตัวอย่างด้วยอะซิโตน

อีกครั้ง

3. ใช้ปั๊มกลสูญญากาศ สูบอากาศออก จนกระทั่งภายในห้องเผามีความดันบรรยากาศ ประมาณ 670 mm.Hg.

4. ปลดปล่อยแก๊สอาร์กอนเข้าสู่ห้องเผา (ไม่ต้องกำหนดอัตราการไหล)ทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นสูบอากาศออกด้วยปั๊มกลสูญญากาศอีกครั้งโดยทำซ้ำ 10-12 ครั้ง เพื่อที่จะให้มีอากาศเหลืออยู่ในห้องเผาน้อยที่สุด จากนั้นจึงปลดปล่อยแก๊สอาร์กอน ให้ผ่านเข้าสู่ห้องเผาเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับสารตัวอย่าง ขณะสูบอากาศออก ควรเปิดเตาด้วย

5. เปิดน้ำระบายความร้อนและยกห้องเผาใส่ในเตาเผา

6. ต่อเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่ในห้องเผาเข้ากับมัลติมิเตอร์

7. เมื่ออุณหภูมิขึ้นถึงที่ตั้งไว้เช่น 1000 K ทราบได้จากค่าความต่างศักย์จะเท่ากับ 30.3 mV ปิดแก๊สอาร์กอนแล้วผ่านแก๊สแอมโมเนีย, อาร์กอน, อะเซทิลีนที่ปรับค่าอัตราการไหลของแก๊สไว้แล้ว เข้าสู่ห้องเผาแล้วเริ่มจับเวลา

8. เมื่อครบเวลาที่กำหนดเช่น 15 h ปิดแก๊ส ปิดเตา แล้วปลดปล่อยแก๊สอาร์กอน เข้าสู่ห้องเผาเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับสารตัวอย่าง จนกระทั่งห้องเผามีอุณหภูมิ 200°C จึงทำการยกห้องเผาออกจากเตาเผา

9. เมื่อห้องเผามีอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้องจึงปิดแก๊สอาร์กอนและปิดน้ำ

10. นำตัวอย่างทดสอบออกมาชั่งมวลหลังเผา ทำกระบวนการนี้ไปจนครบเงื่อนไขที่กำหนดไว้

3.2.5 การทดสอบการสึกหรอ

1. วัดขนาดของหัวกด (Pin) ของเครื่องทดสอบการสึกหรอ

2. นำสารตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบคาร์บอนไดรด์ที่อุณหภูมิ 1000, 1100, 1200 และ 1300 K และสารตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบมาทำการวัดการสึกหรอโดยกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- กำหนดน้ำหนักถ่วงที่ตัวเครื่องทดสอบการสึกกร่อน (Weight) เท่ากับ 500 g.
- กำหนดน้ำหนักถ่วงจริง (Load) เท่ากับ 250 g.
- กำหนดขอบเขตความเสียดทาน (Friction limit) เท่ากับ 1.22
- กำหนดจำนวนรอบในการหมุนเท่ากับ 7100 รอบ
- กำหนดรัศมีรอยลึก (Wear track radius) เท่ากับ 4.5 mm
- กำหนดความเร็วในการหมุนเท่ากับ 100 rpm

3. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง (distance) กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (friction coefficient) ของโลหะผสมไทเทเนียม-อะลูมิเนียมแต่ละชนิดและอุณหภูมิโดยให้โปรแกรมสำเร็จรูป PC – Stripchart V 3.3

4. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรอยสึกบนหัวกดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ของเครื่องทดสอบความแข็งจุลภาค โดยทำการปรับแถบวัดระยะทั้งสองเส้นให้ชิดกัน แล้วตั้งค่าใหม่เป็น $0.0\ \mu\text{m}$ จากนั้นวัดรอยสึกบนหัวกดเมื่อปรับให้แถบวัดระยะทั้งสองห่างกันเป็นระยะทางเท่ากับ ความกว้างรอยสึก เครื่องก็จะแสดงระยะห่างนั้นออกมาเป็นตัวเลขดิจิตอล ทำการวัด 4 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

5. วัดขนาดความกว้างของรอยสึกบนสารตัวอย่างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ของเครื่องทดสอบความแข็ง โดยใช้วิธีการวัดแบบเดียวกันกับการหารอยสึกบนหัวกด วัด 8 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

6. คำนวณหาอัตราการสึกหรอของหัวกด จากความสัมพันธ์

$$\text{pin volume loss} = \frac{\pi(d_{ws})^4}{64r_p}$$

เมื่อ pin volume loss คือ ปริมาตรที่หัววัด (Pin) สูญเสียหลังการทดสอบ (mm^3)

d_{ws} คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรอยสึกบนหัวกด (mm.)

r_p คือ รัศมีของหัวกด (mm.)

7. คำนวณหาอัตราการสึกหรอของสารตัวอย่าง จากความสัมพันธ์

$$\text{disk volume loss} = \frac{\pi(r_t)(w_t)^3}{6r_p}$$

เมื่อ disk volume loss คือ ปริมาตรที่สารตัวอย่างสูญเสียหลังการทดสอบ (mm^3 .)

r_t คือ รัศมีของรอยสึกบนตัวอย่างทดสอบ (mm.)

w_t คือ ความกว้างของรอยสึกบนสารตัวอย่าง (mm.)

r_p คือ รัศมีของหัวกด (mm.)

3.2.6 การทดสอบความแข็ง

นำสารตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยวิธีคาร์โบไนไตรด์ และที่ไม่เคลือบผิว มาวัดค่าความแข็งจุลภาคโดยใช้เครื่องทดสอบแบบนูน น้ำหนักที่ใช้กดเท่ากับ 50 และ 100 g. การวัดขนาดความยาวของรอยกดจะใช้กล้องจุลทรรศน์แสงที่ติดมากับเครื่อง โดยขั้นแรกจะต้องปรับแถบวัดระยะทั้งสองเส้นให้ชิดกัน แล้วตั้งค่าให้เป็น 0.0 μm จากนั้นเมื่อปรับให้แถบวัดระยะทั้งสองห่างกันเป็นระยะทางเท่ากับความยาวรอยกด เครื่องก็จะแสดงระยะห่างนั้นออกมาเป็นตัวเลขและเมื่อกดปุ่มอ่านค่าความยาวของรอยกด เครื่องวัดก็จะประมวลผลออกมาเป็นค่าความแข็งนูนสำเร็จรูปหรือคำนวณค่าความแข็งสเกลนูนได้จากความสัมพันธ์

$$\text{Knoop Hardness} = 14.2 \frac{P}{L^2}$$

โดย P เท่ากับ น้ำหนักที่กระทำ (kg)

L เท่ากับ ความยาวของเส้นทแยงมุมด้านยาว (mm)

การวัดค่าความแข็งสารตัวอย่างในแต่ละน้ำหนักที่กดนั้น จะทำการกด 10 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

ค่าความแข็งเฉลี่ย, ค่าความแข็งมากที่สุด น้อยสุด, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถคำนวณได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปที่ติดมากับกับเครื่องวัดความแข็ง