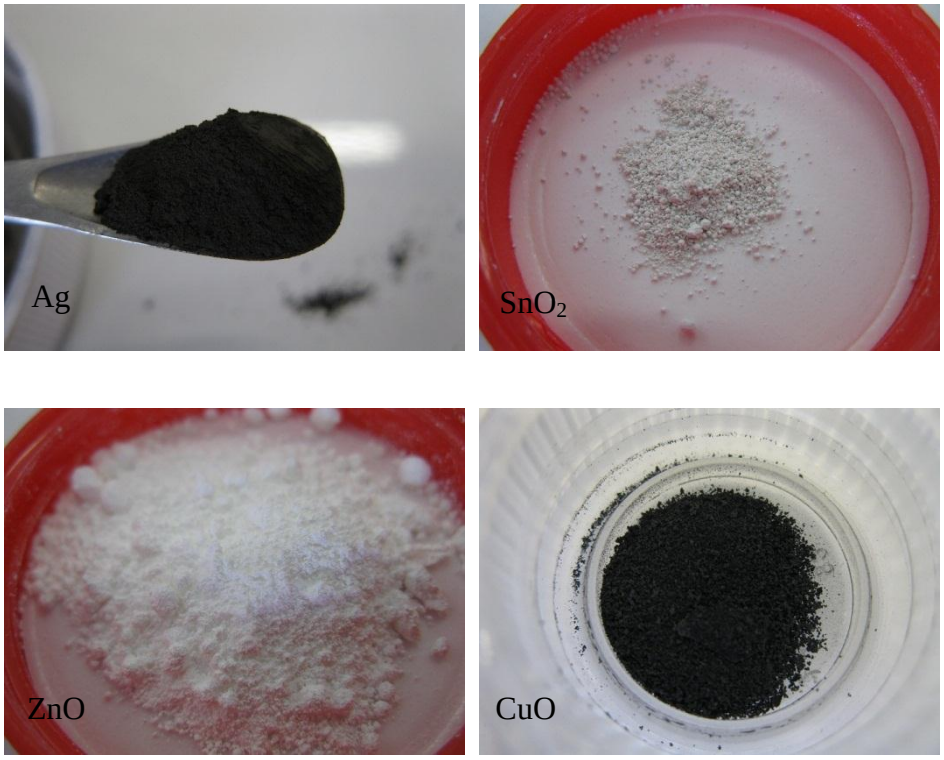
บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ การตรวจสอบความหนาแน่น การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค การทดสอบความแข็ง การตรวจสอบค่าการนำไฟฟ้า และการทดสอบการสึกหรอจากการอาร์คโดยผลการวิจัยทั้งหมดจะถูกรวบรวมพร้อมทั้งสรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

3.1 วัตถุดิบ

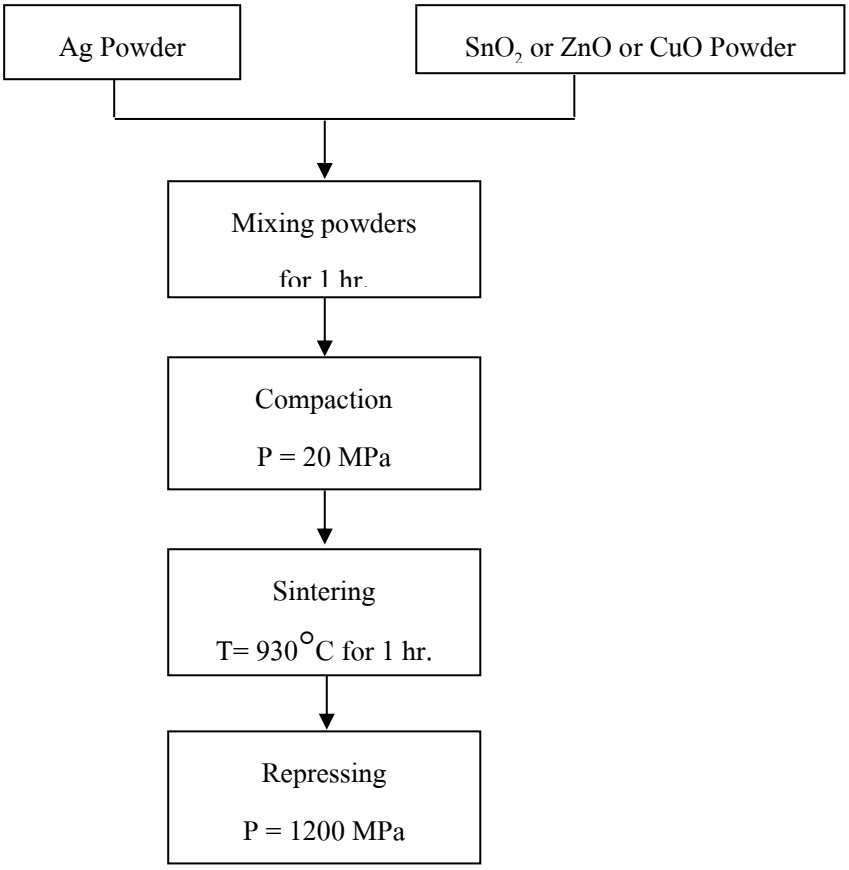
วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย ผงโลหะเงินบริสุทธิ์(99.95%) ของบริษัท Inframat Advanced Materials ขนาดผง 10-20 ไมครอน กับผงโลหะออกไซด์ของบริษัท Sigma-Aldrich ได้แก่ SnO_2 , ZnO ขนาดผง 1-5 ไมครอน และ CuO ขนาดผง 100-500 ไมครอน การกระจายของผงโลหะและผงโลหะออกไซด์แสดงดังภาคผนวก ก



รูปที่ 3.1 ผงวัตถุดิบ

3.2 การเตรียมชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์

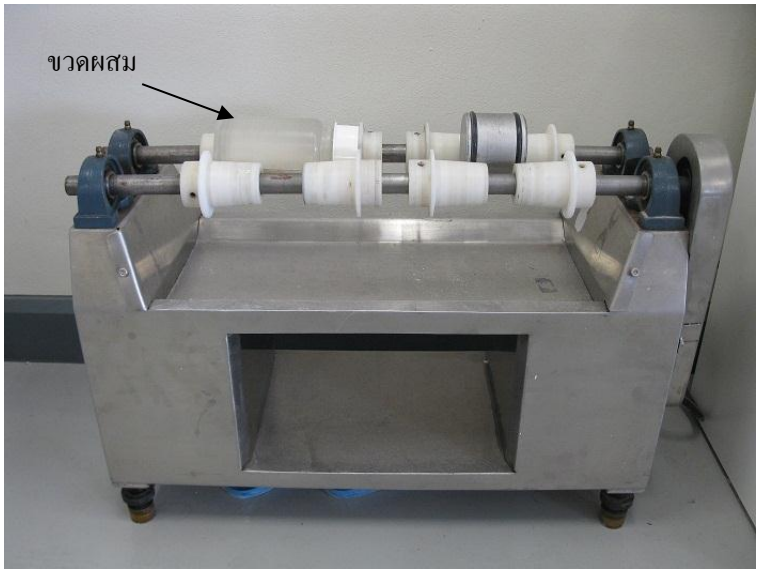
ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.2 และรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์

3.2.1 ชั่งน้ำหนักผงโลหะเงิน และ ผงโลหะออกไซด์ SnO2 ZnO และ CuO ตามส่วนผสมที่ทำการศึกษาได้แก่ 95Ag-5SnO_2 , 90Ag-10SnO_2 , 95Ag-5ZnO, 90Ag-10ZnO, 95Ag-5CuO และ 90Ag-10CuO ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่งผลิตโดยบริษัท Sartorius รุ่น ED3202S ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 3,200 กรัม ค่าความผิดพลาด ± 0.01 กรัม

3.2.2 นำผงโลหะเงิน และผงโลหะออกไซด์ มาผสมกันด้วยเครื่องผสมดังแสดงในรูปที่ 3.3 เลือกวิธีการผสมแบบเปียกโดยใช้เอทานอลและลูกบอลอลูมินาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ช่วยในการผสมผงโลหะเงินและโลหะออกไซด์ให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ใช้ความเร็วในการผสมระดับ 2 เวลาในการผสม 1 ชั่วโมงหลังจากนั้นจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.3 ชุดเครื่องผสมผงโลหะ

3.2.3 จากนั้นนำผงโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์มาอัดขึ้นรูป (Compaction) ด้วยชุดแม่พิมพ์อัดบนเครื่องอัดขึ้นรูป (Pneumatic Press) ขนาด 10 ตันดังแสดงในรูปที่ 3.4 แรงดันในการอัดขึ้นรูปประมาณ 20 เมกะปาสคาล เวลาในการอัด 15 วินาที ชิ้นงานหลังผ่านการอัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร หนาประมาณ 5 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.4 เครื่องอัดขึ้นรูปและชุดแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปผงโลหะ

3.2.4 ชิ้นงานหลังผ่านการอัดขึ้นรูปถูกนำไปทำกระบวนการซินเทอร์ริ่ง (Sintering) ในเตาไฟฟ้า Carbolite โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 930 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กำหนดให้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่ากับ 1-3 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.2.5 นำชิ้นงานมาอัดขึ้นรูปซ้ำ (Repressing) ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Hydraulic Press) ขนาด 50 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ด้วยชุดแม่พิมพ์อัดชุดเดียวกับชุดแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป (Compaction) โดยใช้แรงดัน 1200 เมกะปาสคาล

รูปที่ 3.5 เครื่องอัดขึ้นรูปขนาด 50 ตัน

3.3 การตรวจสอบความหนาแน่น

ชิ้นงานหลังผ่านการกระบวนการซินเทอร์ริ่งและกระบวนการอัดขึ้นรูปซ้ำ(Repressing) ถูกนำไปตรวจสอบความหนาแน่นด้วยวิธีของอาร์คีมีดิส (Archimedes's Method) โดยทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานในอากาศ และ ในน้ำกลั่นด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ผลิตโดยบริษัท Mettler Toledo รุ่น A8024-S สามารถชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 220 กรัม จากนั้นคำนวณหาค่าความหนาแน่นได้จากสมการ

$$\rho = \frac{A}{A-B}(\rho_0 - \rho_L) + \rho_L$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของชิ้นงาน (g/cm^3)

A = น้ำหนักของชิ้นงานในอากาศ (g)

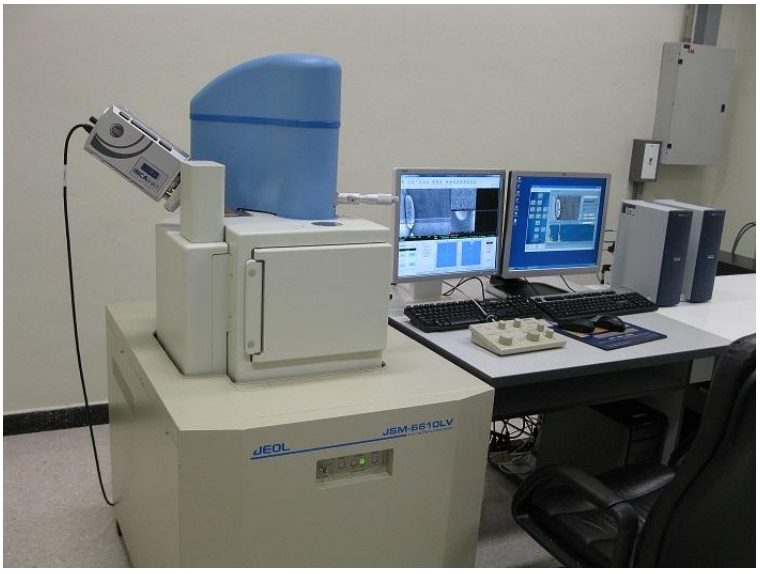
B = น้ำหนักของชิ้นงานในน้ำกลั่น(g)

ρ_0 = ความหนาแน่นของน้ำกลั่นที่อุณหภูมินั้นๆ (ภาคผนวก ข)

ρ_L = ความหนาแน่นของอากาศ (0.0012 g/cm^3)

3.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคสามารถทำได้โดยเตรียมผิวหน้าชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ ตามด้วยการขัดละเอียดหรือขัดเงา (Polishing) ด้วยผงอลูมินาขนาด 1 และ 0.3 ไมครอน จากนั้นล้างผิวหน้าให้สะอาดพร้อมทั้งเป่าให้แห้ง แล้วทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรองแบบส่องกราด(Scanning Electron Microscope : SEM) ด้วยเครื่อง JEOL รุ่น JSM-6610LV ดังแสดงในรูปที่ 3.6 รวมทั้งตรวจสอบส่วนผสมด้วยเทคนิค Energy Dispersive Spectrometer (EDS)



รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรองแบบส่องกราด

3.5 การทดสอบความแข็ง

นำชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมผิวหน้ามาวัดความแข็ง ด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบจุลภาคด้วยหัวกดแบบวิกเกอร์ ผลิตโดยบริษัท Future-Tech รุ่น FM 700e น้ำหนักทดสอบสูงสุด 1000 กรัม ความเร็วหัวกด 50 ไมโครเมตรต่อวินาที เวลากดค้าง 5-99 วินาที กำลังขยายเลนส์ใกล้ตา 10 เท่า กำลังขยายเลนส์ใกล้วัตถุ 10 และ 50 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.7 หัวกดเป็นเพชรรูปปิรามิดฐาน

สี่เหลี่ยมจัตุรัส มุมยอด 136 องศา ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำหนักในการทดสอบ 100 กรัม การกดค้างใช้เวลา 15 วินาที โดยทดสอบชิ้นละ 3 จุด

รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็งแบบจุลภาค

3.6 การตรวจสอบค่าการนำไฟฟ้า

ชิ้นงานหลังผ่านการอัดขึ้นรูปซ้ำถูกตรวจสอบค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า Foerster Sigmatest 2.069 ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ประกอบด้วยหัวโพรบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร ย่านความถี่ที่เลือกใช้เท่ากับ 240 กิโลเฮิรตซ์ อุณหภูมิการตรวจสอบมีค่าประมาณ 26.5 องศาเซลเซียส วิธีการตรวจสอบทำโดยการนำหัวโพรบมาสัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงาน แล้วอ่านค่าในหน่วย %IACS โดยสุ่มวัด 3 จุด

รูปที่ 3.8 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

3.7 การทดสอบการสึกหรอ

การทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานโลหะเงินผสมโลหะออกไซด์ใช้การทดสอบการอาร์คโดยประยุกต์ใช้เครื่อง Electric Discharge Machine (EDM) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Sodick รุ่น EPOC-2 และแท่งอาร์คทำจากทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอาร์คเท่ากับ 10 แอมแปร์ โดยทำการอาร์คเป็นระยะลึก 0.03 มิลลิเมตร การอาร์คจะทำการสุ่มอาร์คบริเวณผิวหน้าของโลหะ 3 ตำแหน่ง หลังจากนั้นชิ้นงานที่ผ่านการอาร์คจะถูกนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาความแตกต่างของน้ำหนักชิ้นงานพร้อมทั้งตรวจสอบรอยการอาร์คด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

รูปที่ 3.9 เครื่อง Electric Discharge Machine