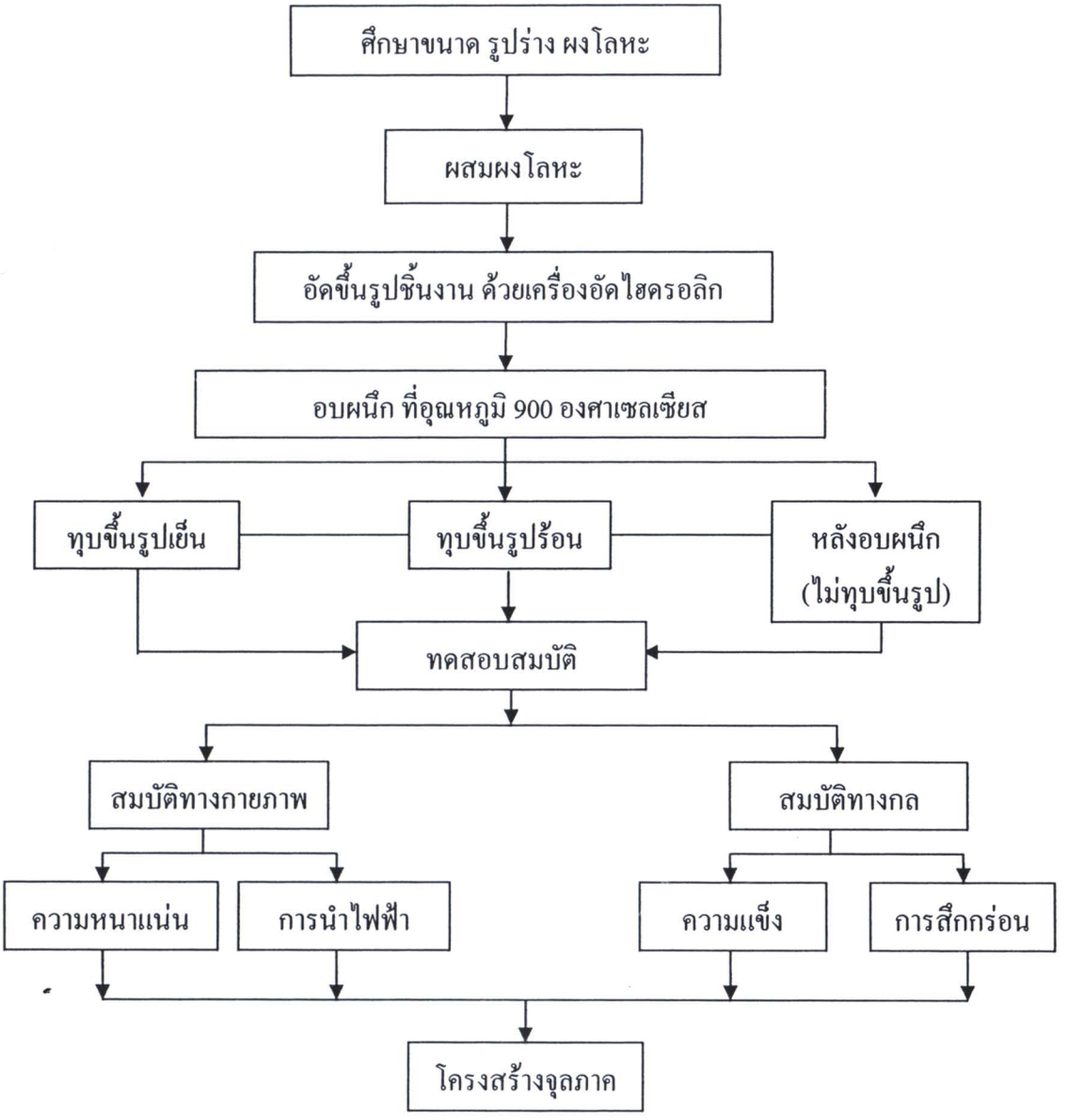
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการศึกษา ขนาดรูปร่างของผงโลหะ จากนั้นผสมผงเข้าด้วยกัน อัดขึ้นรูป อบผนึก ทุบขึ้นรูป แล้วศึกษาโครงสร้างจุลภาคและ สมบัติต่างๆ แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 3.1

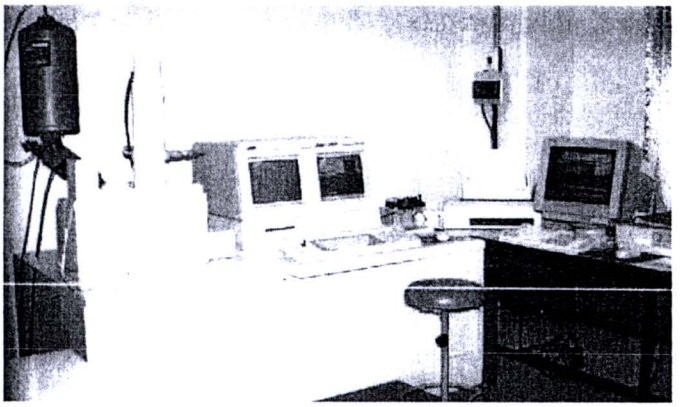


รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

3.1 การศึกษาขนาดและรูปร่างผงโลหะ

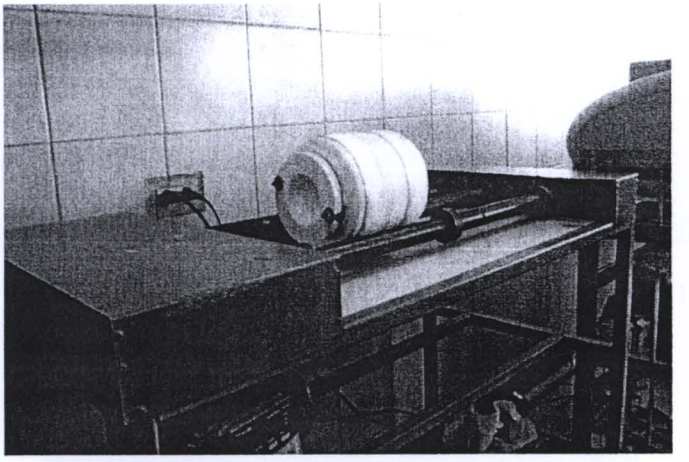
การศึกษาขนาดศึกษาขนาด รูปร่าง ใช้ผงทองแดงบริสุทธิ์ 99.99% โดยได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ผลิตด้วยวิธีอะตอมไมเซชัน (Atomization) ในการทดลองนี้ได้ทำการร่อนผง (Sieve) แล้วเลือกใช้ผงที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 450 ผงทังสเตนคาร์ไบด์บริสุทธิ์ 99% จากบริษัท Sigma Aldrich และผงทังสเตนคาร์ไบด์ผสมโคบอลต์ร้อยละ12 (WC-12Co) โดยน้ำหนัก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope: SEM) JEOL รุ่น JSM-5800 ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด JEOL รุ่น JSM-5800

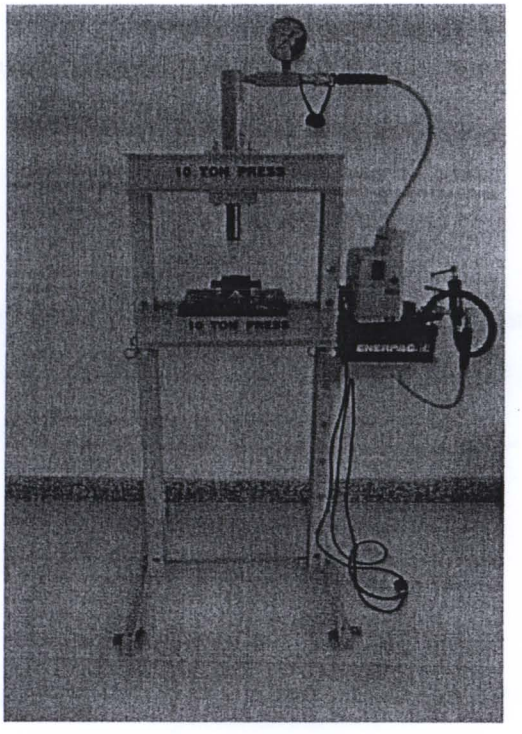
3.2 การผสมผงและอัดขึ้นรูป

การผสมผงทองแดงและทังสเตนคาร์ไบด์ ที่อัตราส่วนของทังสเตนคาร์ไบด์ ร้อยละ 20, 35 และ 50 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้สัญลักษณ์ดังนี้ Cu-20WC, Cu-35WC, Cu-50WC และผงทองแดงและทังสเตนคาร์ไบด์- 12โคบอลต์ (WC-12Co) ที่อัตราส่วนของทังสเตนคาร์ไบด์- 12โคบอลต์ ร้อยละ 20, 35 และ 50 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้สัญลักษณ์ดังนี้ Cu-20(WC-12Co), Cu-35(WC-12Co) และ Cu-50(WC-12Co) ตามลำดับ การผสมผงใช้เครื่องกลิ้งแนวนอน ดังรูปที่ 3.3 เป็นเวลา 9 ชั่วโมง โดยภายในขวดผสมผงบรรจุลูกบดอะลูมินา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ในอัตราส่วนมวลของลูกบดต่อมวลของผงที่ผสมเท่ากับ 10 กรัม ต่อ 1 กรัม



รูปที่ 3.3 ลักษณะการผสมผงด้วยเครื่องกลิ้ง

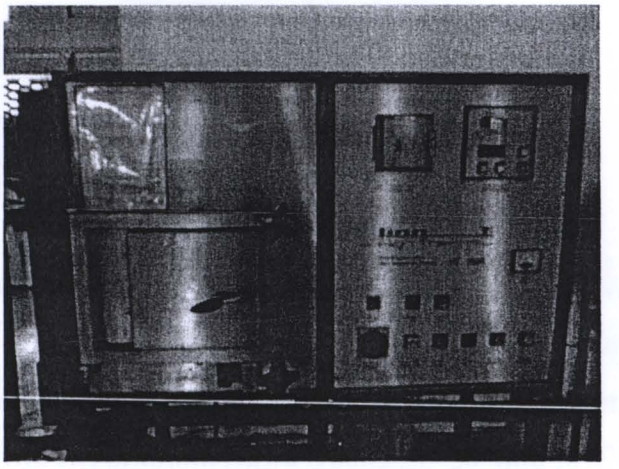
จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปผงที่ผสมเสร็จโดยใช้แม่พิมพ์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press) ENERPAC รุ่น RC1010 ที่แรงดัน 500 บาร์เป็นเวลา 15 วินาที ดังรูปที่ 3.4 ก่อนทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานได้ทำการเคลือบผิวของแม่พิมพ์ด้วยซิงค์สเตียเรต (Zinc Stearate) ผสมอะซิโตนแล้วปล่อยให้แห้งก่อนบรรจุผงลงในแม่พิมพ์



รูปที่ 3.4 เครื่องอัดไฮโดรลิก ENERPAC รุ่น RC1010

3.3 การอบผนึก

การอบผนึกชิ้นงานใช้เตาอบอุณหภูมิสูง (High Temperature Furnace) Linn High Term รุ่น HT 1600 ควบคุมบรรยากาศด้วยก๊าซอาร์กอน ดังรูปที่ 3.5 โดยให้อัตราความร้อนจากอุณหภูมิห้อง ถึง 800 องศาเซลเซียส ในเวลา 3 ชั่วโมง และจากอุณหภูมิ 800 ถึง 900 องศาเซลเซียส อีก 1 ชั่วโมง จากนั้นอบแช่ไว้ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในเตา



รูปที่ 3.5 เตาอบอุณหภูมิสูง Linn High Term รุ่น HT 1600

3.4 การทุบขึ้นรูป

นำชิ้นงานที่ผ่านการอบผนึกเรียบร้อยไปทุบขึ้นรูป ด้วยเครื่องทุบ (Mechanical Press) SANES รุ่น SHF 400 ดังรูปที่ 3.6 โดยทุบขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เปิด เพื่อลดความหนาของชิ้นงานลงร้อยละ 25, 50 และ 75 ตามลำดับ โดยร้อยละของการทุบขึ้นรูปนั้นหาได้จากสมการที่ 3.1

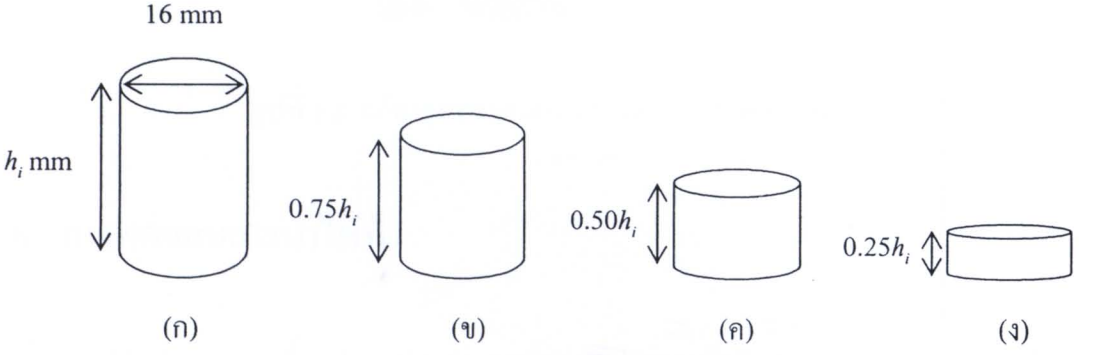
$$\text{ร้อยละของการทุบขึ้นรูป} = \frac{h_i - h_f}{h_i} \times 100\% \qquad \text{.....(3.1)}$$

เมื่อ h_i คือ ความสูงเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

h_f คือ ความสูงหลังผ่านการทุบขึ้นรูป (มิลลิเมตร)

รูปที่ 3.6 เครื่องทุบ SANES รุ่น SHF 400

การทุบขึ้นรูปนั้นได้ทำการทุบขึ้นรูปทั้ง 2 ประเภทคือ ทุบขึ้นรูปร้อนและทุบขึ้นรูปเย็น ก่อนทดลองต้องมีการติดตั้งแม่พิมพ์รวมทั้งกำหนดระยะห่างในการทุบ จึงได้ทุบชิ้นงานทองแดงอื่น เพื่อใช้ในการจัดตั้งระยะของแม่พิมพ์กระทั่งได้ค่าที่แน่นอนก่อนทุบชิ้นงานที่อบผนึกจริงจากนั้นจึงใส่ชิ้นงานจริงเพื่อทุบขึ้นรูป ชิ้นงานที่ทุบขึ้นรูปเพื่อลดความหนาร้อยละ 25, 50 และ 75 มีลักษณะความสูงของชิ้นงานก่อนและหลังการทุบขึ้นรูป ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะชิ้นงานก่อนและหลังทำการทุบขึ้นรูปเพื่อลดความหนา

(ก) ชิ้นงานก่อนทุบขึ้นรูป

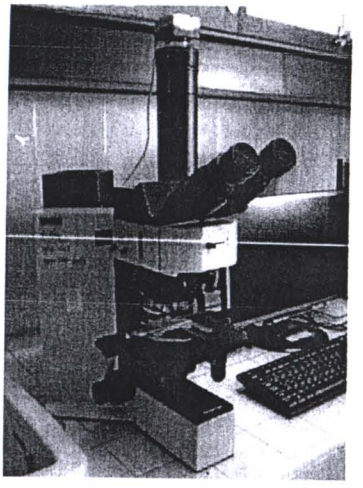
(ข) ชิ้นงานหลังทุบขึ้นรูปเพื่อลดความหนาร้อยละ 25

(ค) ชิ้นงานหลังทุบขึ้นรูปเพื่อลดความหนาร้อยละ 50

(ง) ชิ้นงานหลังทุบขึ้นรูปเพื่อลดความหนาร้อยละ 75

3.5 ศึกษาโครงสร้างจุลภาค

นำชิ้นงานที่ผ่านการทุบขึ้นรูปมาขัดผิวแบบหยาบ (Grinding) ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240, 400, 600, 800, 1,000 และ 1,200 ตามลำดับ โดยใช้เครื่องขัดยี่ห้อ Struers รุ่น KNUTH–ROTER 2 และขัดละเอียด ด้วยเครื่องขัดยี่ห้อ Struers รุ่น DAP-V หมุนด้วยความเร็วรอบ 350 รอบต่อนาที บนผ้าสักหลาดโดยใช้ผงอลูมินาเป็นผงขัด ขนาด 1 ไมครอน ผสมน้ำในอัตราส่วน 20 กรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 1 คืน ก่อนนำมาใช้งาน จากนั้นนำมาศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (Optical Microscope, OM) ยี่ห้อ Olympus รุ่น BX-60M ดังรูปที่ 3.8 และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด JEOL รุ่น JSM -5800

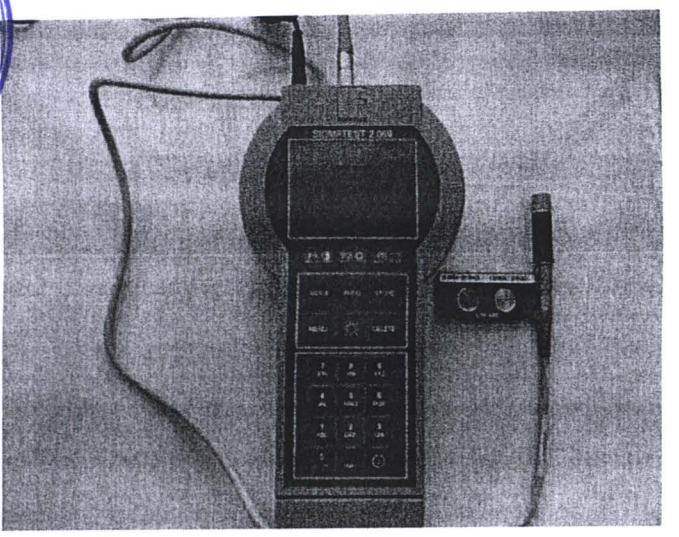


รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์แสง Olympus รุ่น BX-60M

3.6 การทดสอบการนำไฟฟ้า

นำชิ้นงานที่ไม่ผ่านการทุบขึ้นรูปและผ่านการทุบขึ้นรูปที่ผ่านการขัดผิวทำความสะอาดแล้ว มาวัดการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า Foerster รุ่น Sigma test 2.069 มีลักษณะดังรูปที่ 3.9 เป็นเครื่องวัดการนำไฟฟ้าสำหรับกลุ่มโลหะเบา (Light Alloys) ทำงานด้วยหลักการของกระแสไหลวน (Eddy Current) ดังที่กล่าวไปในบทที่ 2 โดยก่อนวัดค่าการนำไฟฟ้านั้น ได้ทำการสอบเทียบด้วยทองแดงและอลูมิเนียมก่อนเสมอ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM B663-94 เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ในการทดลองวัดค่าการนำไฟฟ้าจำนวน 10 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

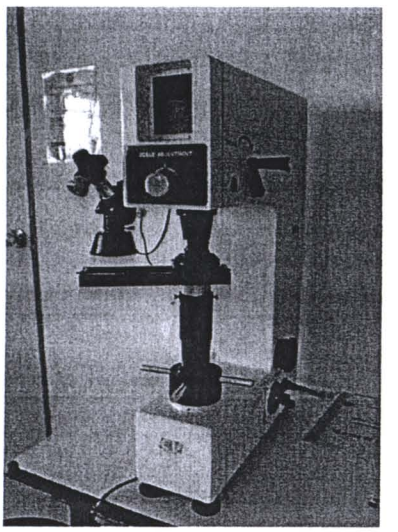
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



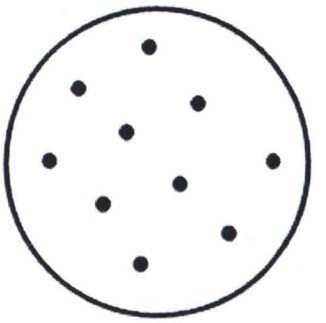
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดการนำไฟฟ้า Foerster รุ่น Sigma test 2.069

3.7 การทดสอบความแข็ง

จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกลด้านความแข็งของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง รุ่น CV-700 ดังรูปที่ 3.10 โดยเป็นการวัดค่าความแข็งรอคเวลส์ (Rockwell Hardness) ใช้หัวกดเป็นลูกเหล็กทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวกด 2.5 มิลลิเมตร ใช้แรงกดทดสอบ 100 กิโลกรัม กดนาน 10 วินาที โดยวัดค่าความแข็งของชิ้นงาน ชิ้นงานละ 10 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.11 แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าความแข็งของแต่ละชิ้นงาน



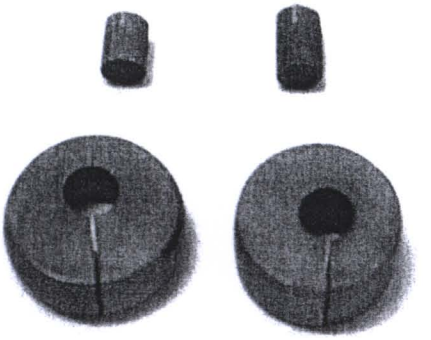
รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบความแข็ง รุ่น CV-700



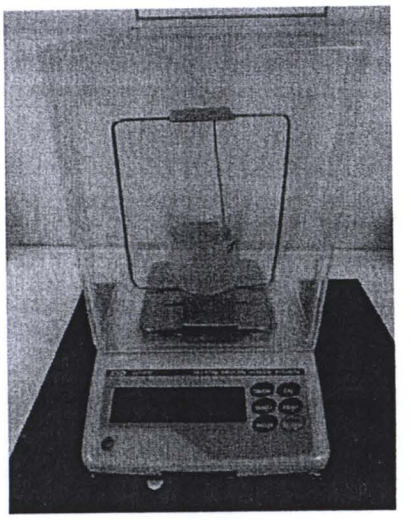
รูปที่ 3.11 ตำแหน่งการวัดความแข็งของชิ้นงาน

3.8 การหาความหนาแน่น

นำชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิวและทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว มาตัดด้วยเครื่องตัดด้วยลวด (Wire Cut Machine) ให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.12 จากนั้นนำชิ้นงานไปวัดหาความหนาแน่นตามหลักการของอาร์คีมีดิส (Archimedes Principle) ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก AND GF-600 ที่มีอุปกรณ์เสริมสำหรับวัดความหนาแน่น ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยลวด



รูปที่ 3.13 เครื่องวัดความหนาแน่น AND รุ่น GF-600

ในการทดลองนำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักในอากาศ (m_a) และชั่งน้ำหนักในน้ำ (m_w) หลังจากนั้นจึงน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นงานดังสมการที่ 3.2 [6]

$$\rho = {m_a(\rho_o - d)}\Big/{(m_a - m_w)} + d \qquad \text{..... (3.2)}$$

เมื่อ ρ คือ ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

ρ_o คือ ค่าความหนาแน่นน้ำ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

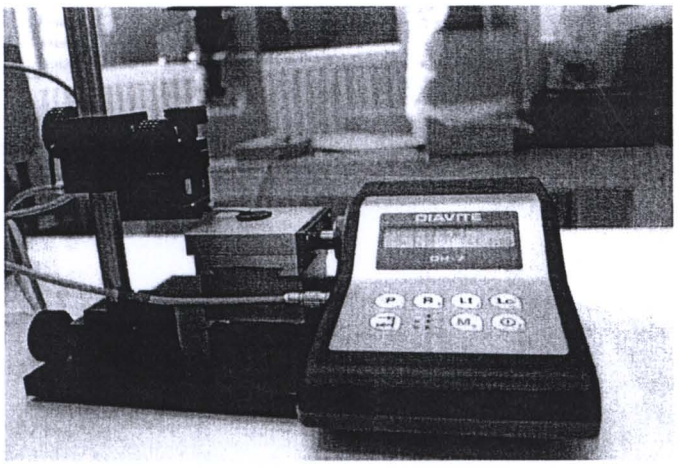
d คือ ค่าความหนาแน่นอากาศ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m_a คือ น้ำหนักที่ชั่งในอากาศ

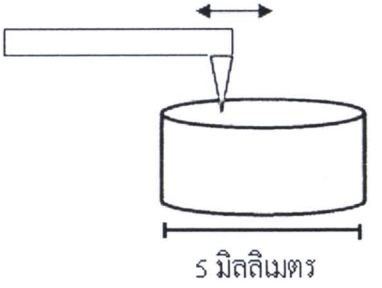
m_w คือ น้ำหนักที่ชั่งในน้ำ

3.9 การทดสอบความหยาบผิว

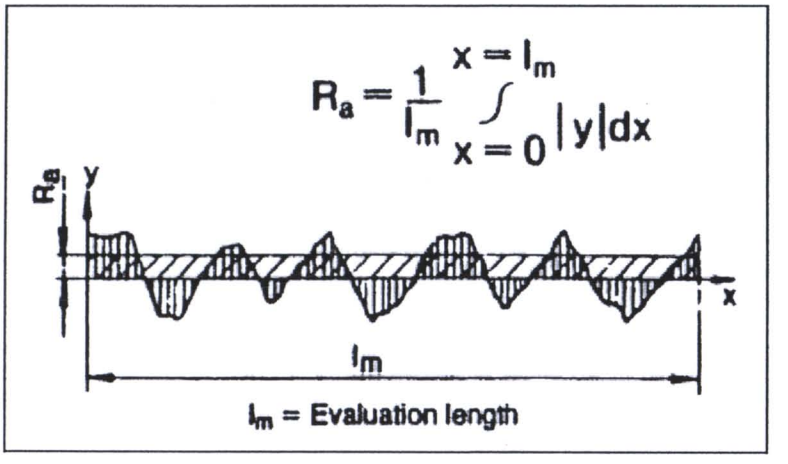
ก่อนทำการทดสอบความหยาบผิวก่อนทดสอบแบบการสปาร์คนั้นได้นำชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยลวด (Wire Cut) เป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรทำการขัดผิวด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 1200 แล้วเป่าให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปทดสอบความหยาบผิว ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Tester) DIAVITE รุ่น DH-7 ดังรูปที่ 3.14 ด้วยการลากจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง ดังรูปที่ 3.15 ในการทดลองนี้ใช้วิธีวัดความหยาบผิวเฉลี่ย (Average Surface Roughness : Ra) หาได้จากสมการ [29] ดังรูปที่ 3.16 และใช้เงื่อนไข L_t 1.50 และ L_c 0.80 จำนวน 5 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของความหยาบผิว



รูปที่ 3.14 เครื่องวัดความหยาบผิว DIAVITE รุ่น DH-7



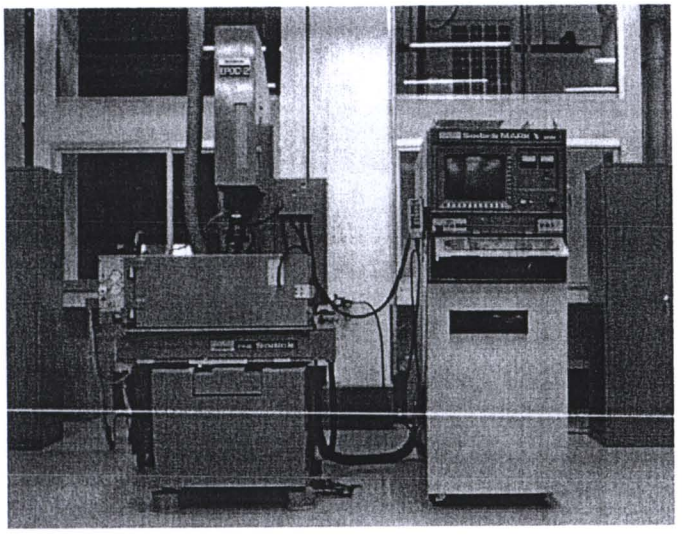
รูปที่ 3.15 ลักษณะการวางตัวของหัววัดความหยาบผิวบนชิ้นงาน



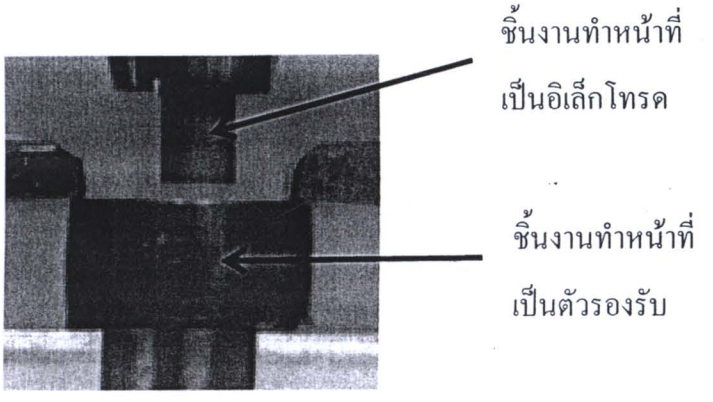
รูปที่ 3.16 การหาความเรียบผิวเฉลี่ย [29]

3.10 การทดสอบการสึกกร่อนจากการสปาร์ค

การทดสอบการสึกกร่อนจากการสปาร์ค ทำการทดลองด้วยเครื่องอีดีเอ็ม Sodick Mark X EPOC2 และสารไดอิเล็กตริก Shell EDM Fluid 2A ดังรูปที่ 3.17 โดยใช้ชิ้นงานที่ต้องการทดสอบทำหน้าที่เป็นตัวอิเล็กโทรด และตัวรองรับ ลักษณะการจับอิเล็กโทรดและการวางตัวรองรับการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.18



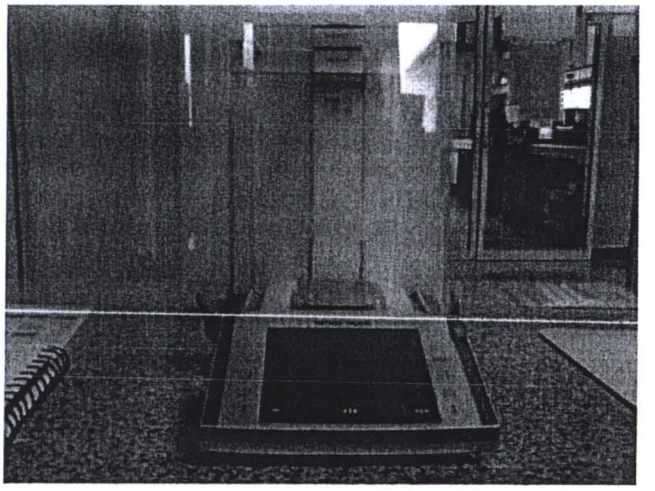
รูปที่ 3.17 เครื่องอีดีเอ็ม Sodick Mark X EPOC2



รูปที่ 3.18 ลักษณะการจับอิเล็กโทรดและการวางตัวรองรับการทดสอบ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะทำการทดสอบ 2 แบบ คือ แบบสปาร์คหยาบ (C190) และแบบสปาร์คละเอียด (C300) โดยใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ 15 และ 1 แอมแปร์ ตามลำดับ กำหนดให้

สปาร์คชิ้นงานสึกลงไป 0.3 มิลลิเมตร พร้อมทั้งจับเวลาที่ใช้ในการสปาร์ค จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการสปาร์คไปไล่สารละลายไดอิเล็กตริกที่ตกค้างอยู่ภายในชิ้นงาน ด้วยการแช่ในสารละลายอะซิโตนเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการไล่สารละลายไดอิเล็กตริกเรียบร้อยแล้วไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล METTLER TOLEDER รุ่น XP-204 ความละเอียด 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.19 นำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการ 3.3 เพื่อหาร้อยละการสึกหรอ และแทนค่าสมการที่ 3.4 เพื่อหาอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน สุดท้ายทำการวัดค่าความหยาบผิว และศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหลังการทดสอบการสปาร์ค



รูปที่ 3.19 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล METTLER TOLEDER รุ่น XP-204

$$\%wear = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i}\right) \times 100\% \qquad \text{..... (3.3)}$$

เมื่อ $\%wear$ คือ ร้อยละการสึกหรอ

m_i คือ น้ำหนักก่อนการทดสอบ (กรัม)

m_f คือ น้ำหนักหลังการทดสอบ (กรัม)

$$R = \frac{m_i - m_f}{t} \qquad \text{..... (3.4)}$$

เมื่อ R คือ อัตราการสึกหรอ (กรัมต่อนาที)

t คือ เวลา (นาที)