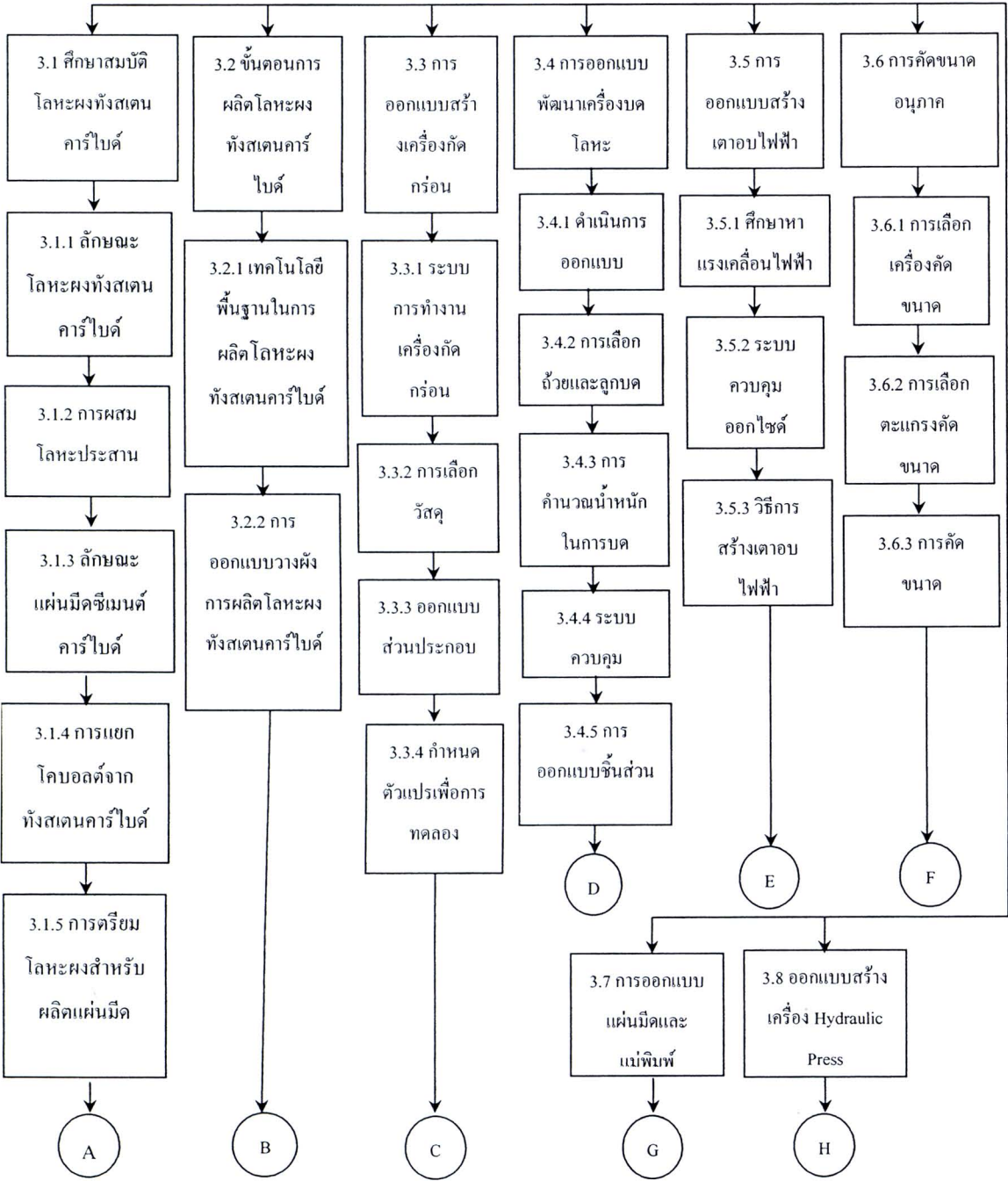


บทที่ 3

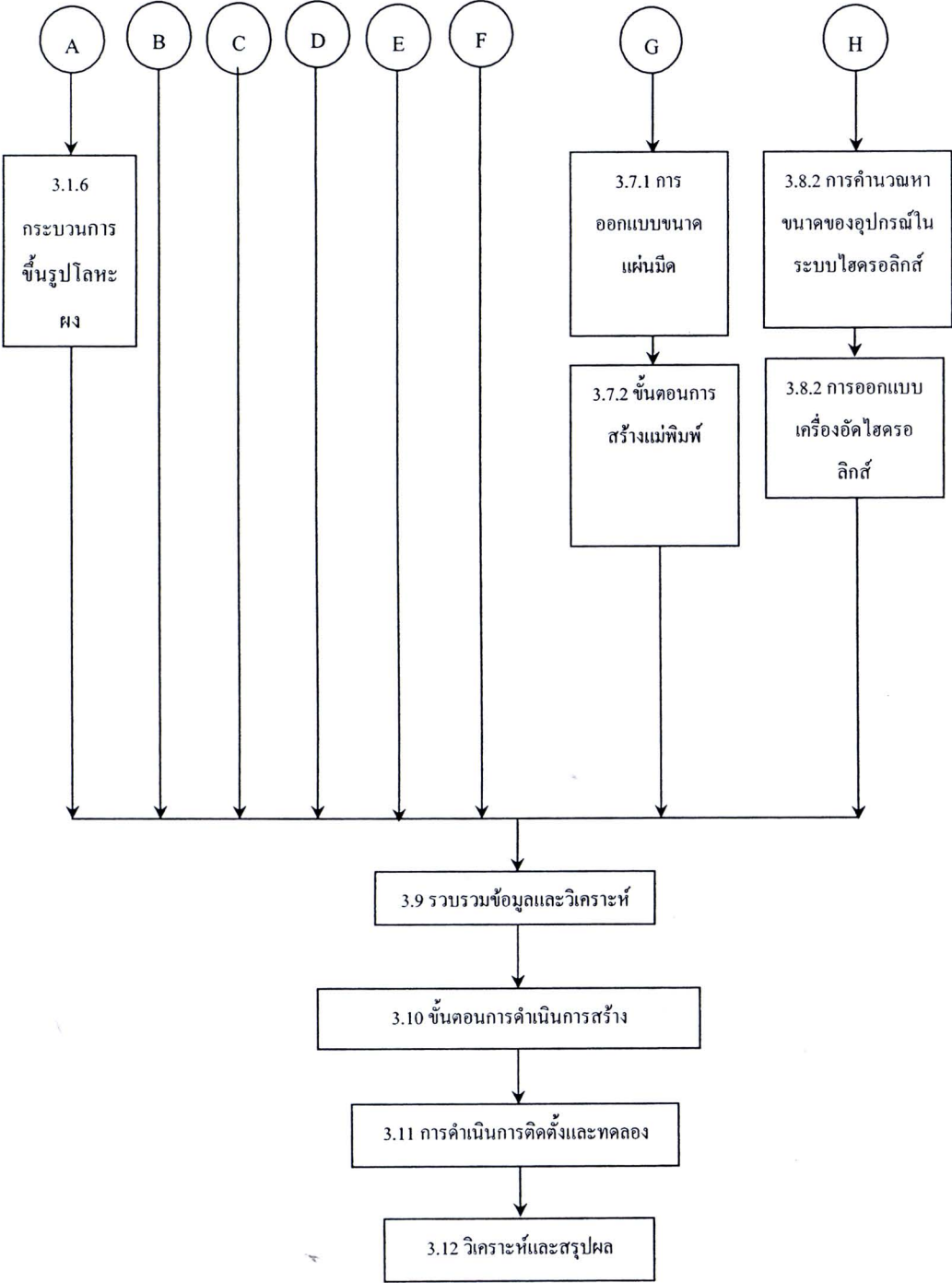
การดำเนินงานและวิธีการทดลอง

การดำเนินงานในการพัฒนาและสร้างเทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนกระบวนการทดลองและศึกษาแนวทางการนำเศษวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide) ที่ผ่านการใช้งานแล้วมาแยกสลายด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของผงทั้งสแตน การผสมโลหะประสานเพื่อนำไปใช้งาน วิธีการแยกสลายโคบอลต์ การศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตการออกแบบวางผังกระบวนการผลิต การออกแบบสร้างเครื่องแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ การปรับปรุงคุณภาพโลหะผงโดยวิธีการบด การกรอง การออกแบบสร้างเครื่องบดโลหะผง การออกแบบหม้อบด การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องบด การศึกษาหลักการอบโลหะผง การออกแบบและพัฒนาเตาอบสูญญากาศ ศึกษาการคัดขนาดด้วยตะแกรงเพื่อกำหนดสมบัติในการใช้งาน ศึกษาโลหะผงมาตรฐาน ขั้นตอนต่อมาศึกษาขั้นตอนการผลิตชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ และดำเนินการผลิตแผ่นมีดตัด โดยการออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์สำหรับใช้ในการอัดขึ้นรูปประกอบด้วย การออกแบบส่วนประกอบของแม่พิมพ์ การดำเนินการผลิต การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการอัดโดยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ที่พัฒนาส่วนประกอบและเลือกอุปกรณ์ในระบบที่ได้มาตรฐาน เป็นต้น จากการศึกษาเทคโนโลยีสำหรับผลิตโลหะผง ได้ทำการวิเคราะห์และกำหนดขนาด ออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ สำหรับเครื่องจักรรวมถึงอุปกรณ์อื่นๆ ให้มีความเหมาะสมตามการใช้งานเพื่อดำเนินการพัฒนาเครื่องจักรสำหรับใช้เป็นเทคโนโลยีในการผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ หลังจากการพัฒนาสร้างเทคโนโลยีแล้วได้ทำการติดตั้ง ทดลองผลิตผงโลหะ เพื่อดำเนินการแก้ไขปรับปรุงการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสม สามารถผลิตโลหะผงที่มีคุณภาพและกำหนดเป็นมาตรฐานเพื่อเป็นพื้นฐานในการผลิตชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ สุดท้ายเป็นการวิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินการทดลองทั้งหมดเพื่อผลิตเทคโนโลยีที่สามารถผลิตโลหะผง ซึ่งสามารถทำการออกแบบผังการดำเนินงานได้ดังรูปที่ 3.1





รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

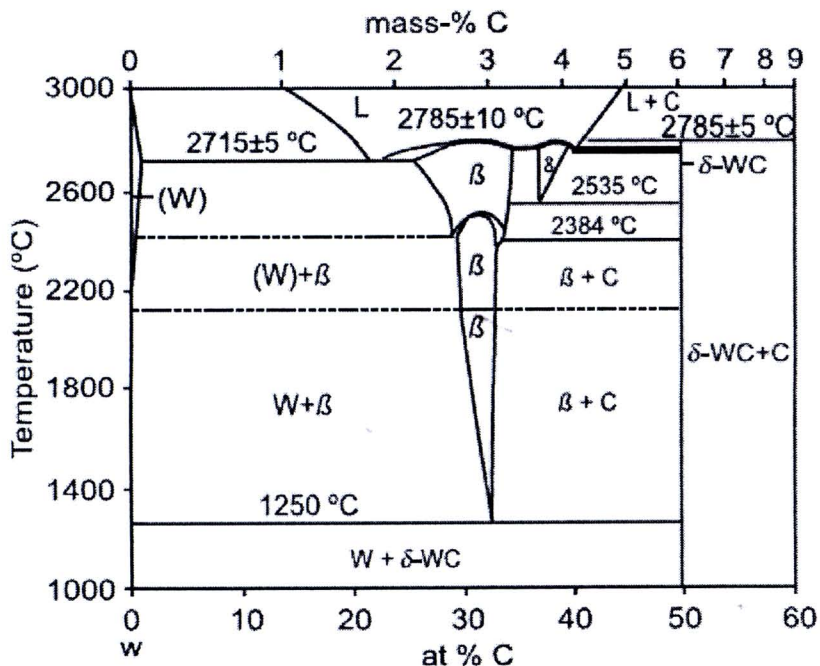
3.1 ศึกษาสมบัติโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

ทั้งสแตนคาร์ไบด์ประกอบขึ้นจากทั้งสแตนถูกผูกมัดทางเคมีและคาร์ไบด์ ความแข็งแรงทำให้สามารถแทนที่เหล็กและโลหะผสมโลหะอื่น ทั้งสแตนคาร์ไบด์มักจะเรียกว่า คาร์ไบด์ ในรูปแบบพื้นฐานที่สุดจะมีลักษณะเป็นผงสีเทา, แต่ก็สามารถกดและเกิดเป็นรูปสำหรับใช้ในเครื่องจักรอุตสาหกรรมเครื่องมือรวมทั้งเครื่องประดับ

3.1.1 คุณสมบัติโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

คุณลักษณะโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่สำคัญประกอบด้วย ลักษณะการเกิดสมดุลของทั้งสแตนและคาร์บอน ลักษณะเกรน ขนาดของอนุภาค และความบริสุทธิ์ เป็นต้น

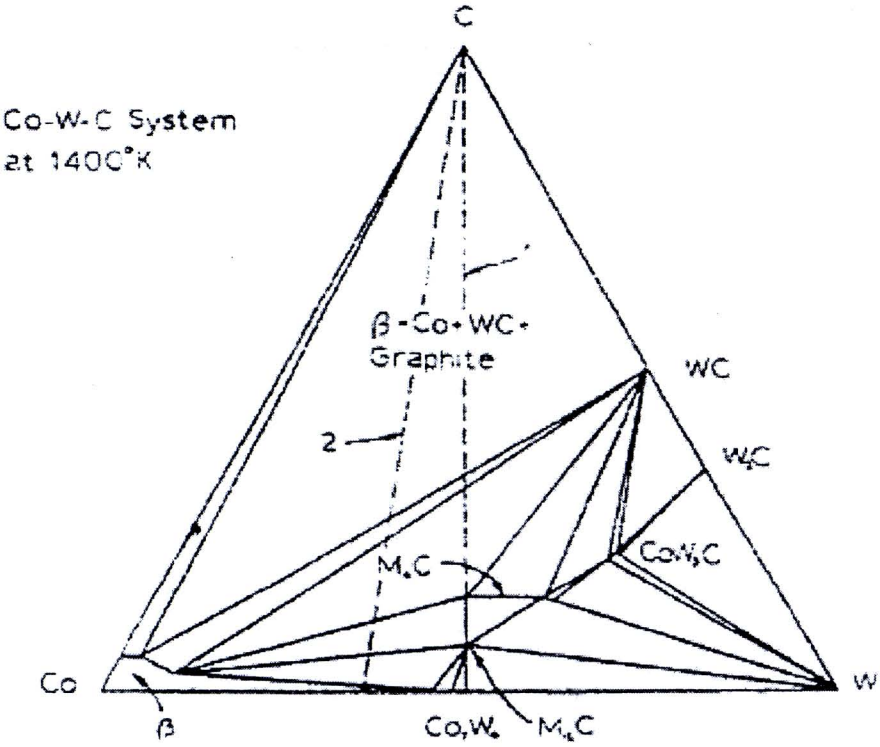
3.1.1.1 ลักษณะเฟสไดอะแกรมทั้งสแตนคาร์ไบด์



รูปที่ 3.2 แสดงเฟสไดอะแกรมของระบบ W – C ที่ ความสัมพันธ์ mass-% C และ อุณหภูมิ [24]

จากรูปที่ 3.2 แสดงเฟสไดอะแกรม (phase diagram) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของคาร์บอน (C) กับอุณหภูมิ (°C) และมวล (mass) ของอัตราส่วนคาร์บอน (mass-% C) ปรากฏว่าที่ mass-% C ในช่วง 6-9% C และอุณหภูมิจาก 1000-2785±5 °C โครงสร้างโลหะเป็น δ-WC+C ที่ mass-% C อยู่ระหว่าง 1-3% C และอุณหภูมิจาก 2384 -2535 °C โครงสร้างโลหะเป็น W 100% ที่

mass % C อยู่ระหว่าง 0-3% และอุณหภูมิจาก 1400 – 2400 °C โครงสร้างโลหะเป็น $W+\beta$ และที่ อุณหภูมิ 1000-1250 ที่ Mass% C อยู่ระหว่าง 0-6% โครงสร้างเป็น $W+\delta-WC$ เป็นต้น

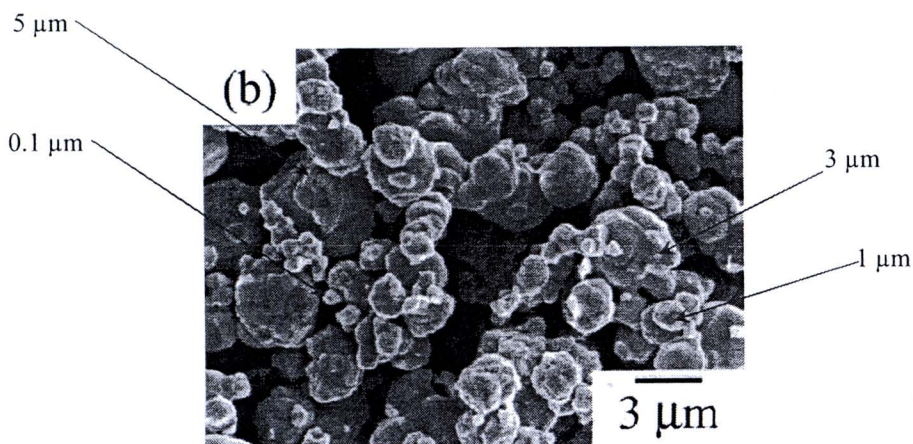


รูปที่ 3.3 โครงสร้างของทั้งสแตนคาร์ไบด์ [25]

จากรูปที่ 3.3 แสดงสมดุลเฟสไดอะแกรมของ Co-W-C ที่อุณหภูมิ 1400 °K จากจุด $\beta-Co+WC+Graphite$ มีส่วนผสมของทั้งสแตน (W) ประมาณ 50% คาร์บอน (C) 20% และโคบอลต์ (Co) 30% เมื่อได้รับความร้อนที่ 1400 °K จุด WC มีส่วนผสมมีทั้งสแตน (W) 25% โคบอลต์ 75% คาร์บอน 35% รับอุณหภูมิที่ 1400 °K จุด W_2C ทั้งสแตน (W) 20% โคบอลต์ 80% คาร์บอน (C) 60% เมื่อรับอุณหภูมิที่ 1400 °K และจุด CoW_2C มีทั้งสแตน (W) 30% โคบอลต์ 70% และ คาร์บอน (C) 70% เมื่อได้รับอุณหภูมิที่ 1400 °K

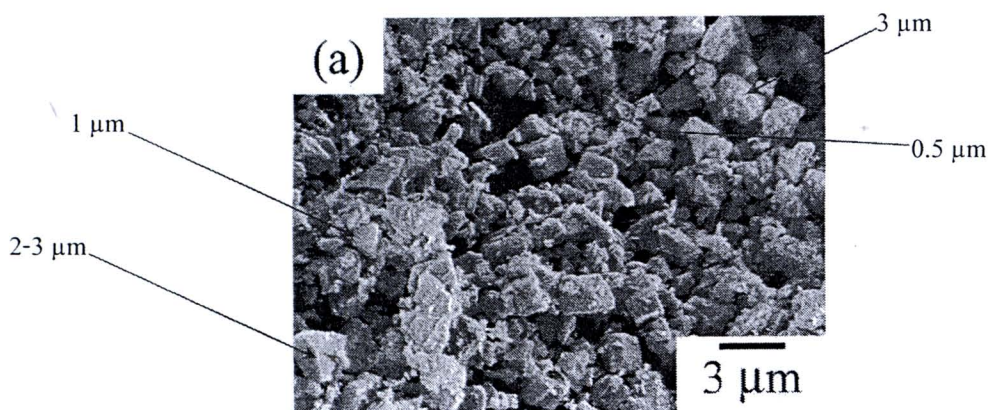
3.1.1.2 ลักษณะรูปร่างโลหะผงทั้งเดนคาร์ไบด์

การตรวจลักษณะของโลหะผงทั้งสเดนคาร์ไบด์ เพื่อการตรวจสอบสมบัติโลหะผง เป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์สมบัติ คุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในงานขึ้นรูปเป็นโลหะแข็งต่อไป



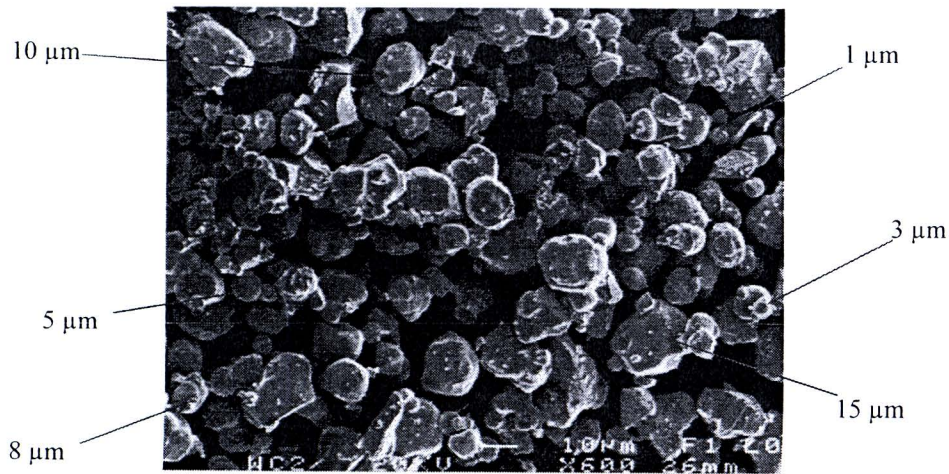
รูปที่ 3.4 Virginal WC powder [26]

จากรูปที่ 3.4 ผลการตรวจสอบตัวอย่างผงทั้งสเดนคาร์ไบด์ ปรากฏว่าโลหะผงขนาดไม่เกิน 5 μm ขนาดเล็กสุดประมาณ 0.1-1.0 μm โลหะผงขนาดใหญ่สุดประมาณ 3 μm เมื่อพิจารณาแล้ว ส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ระหว่าง 2-3 μm



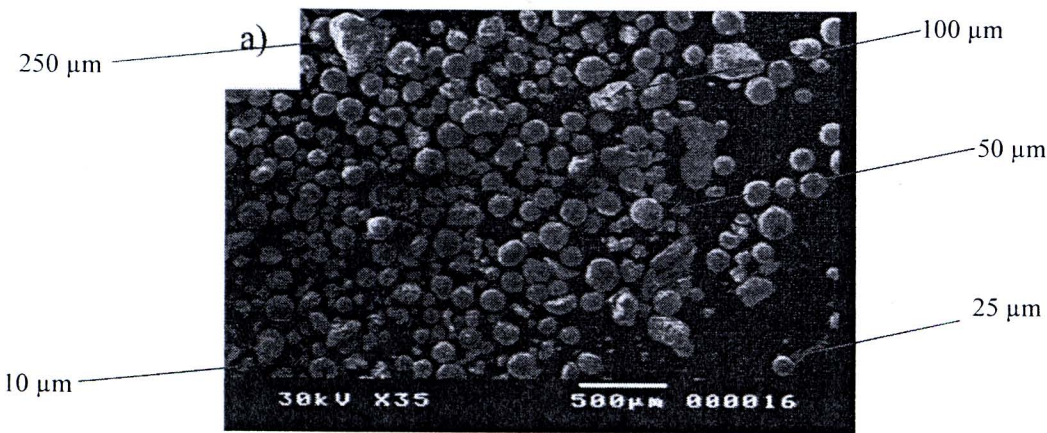
รูปที่ 3.5 Appearances of the recovered and virginal WC powders Recovered WC powder [26]

จากรูปที่ 3.5 ผลการตรวจสอบตัวอย่าง SEM ผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ปรากฏว่าโลหะผงขนาดใหญ่ประมาณ 3 μm โลหะผงขนาดเล็กประมาณ 0.2-0.5 μm และโลหะผงส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 1-2.5 μm



รูปที่ 3.6 SEM-image of a WC powder with rounded particles 600x [27]

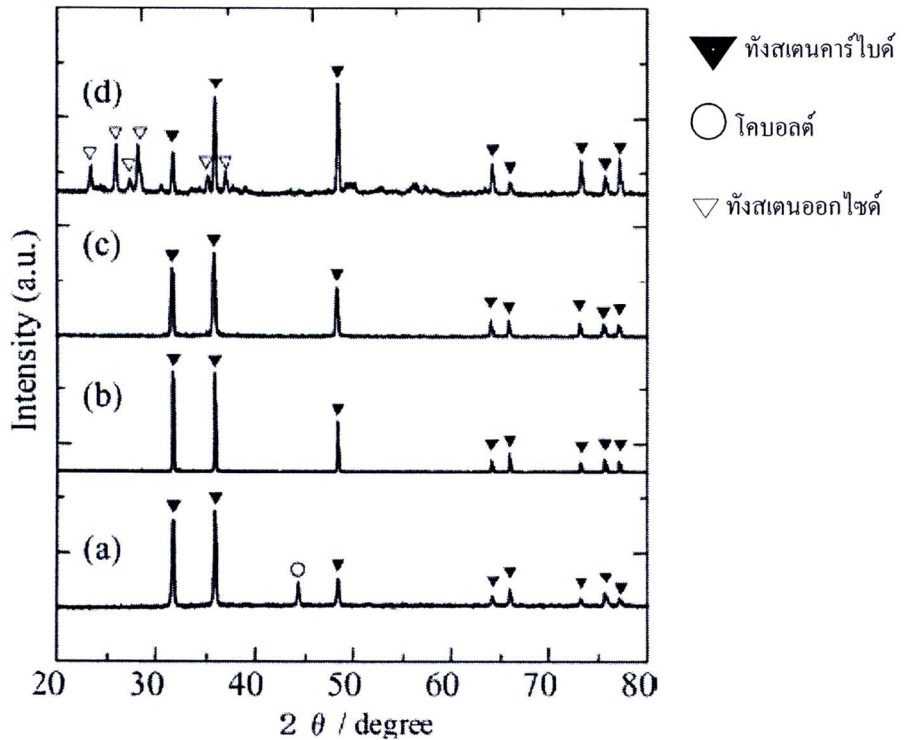
จากรูปที่ 3.6 ผลการตรวจสอบ SEM ของผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่กำลังขยาย 600 เท่า ปรากฏว่าลักษณะโลหะผงค่อนข้างกลมขนาดเล็กสุดประมาณ 1-3 μm ขนาดใหญ่ประมาณ 15 μm เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว โลหะผงมีขนาดอยู่ระหว่าง 3-10 μm



รูปที่ 3.7 SEM graphs of (a) pure WC powder [28]

จากรูปที่ 3.7 แสดงผลการตรวจสอบตัวอย่าง SEM ของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่กำลังขยาย 35 เท่า ปรากฏว่า โลหะผงขนาดเล็กที่สุดประมาณ $10\text{ }\mu\text{m}$ ขนาดใหญ่ประมาณ $250\text{ }\mu\text{m}$ โดยรวมแล้วโลหะผงมีขนาดอยู่ระหว่าง $10\text{--}50\text{ }\mu\text{m}$ ลักษณะโลหะผงเป็นรูปทรงกลม

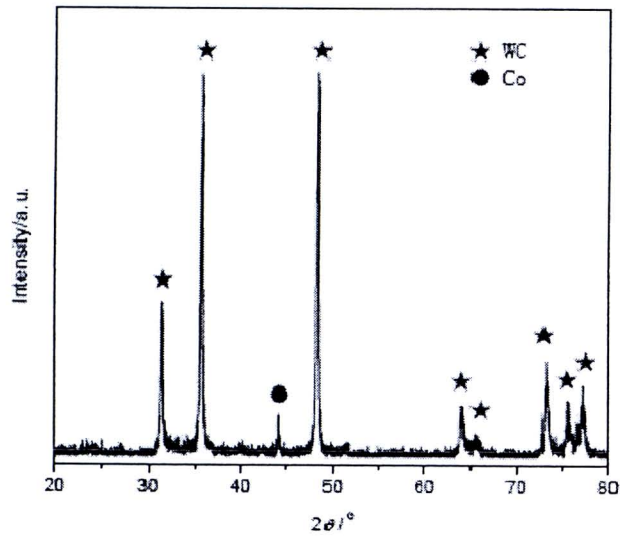
3.1.1.3 ชนิดและสารประกอบทั้งสแตนคาร์ไบด์จากกระบวนการรีไซเคิล



รูปที่ 3.8 แสดงการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุของสารละลายที่ผ่านกระบวนการแยกสลาย

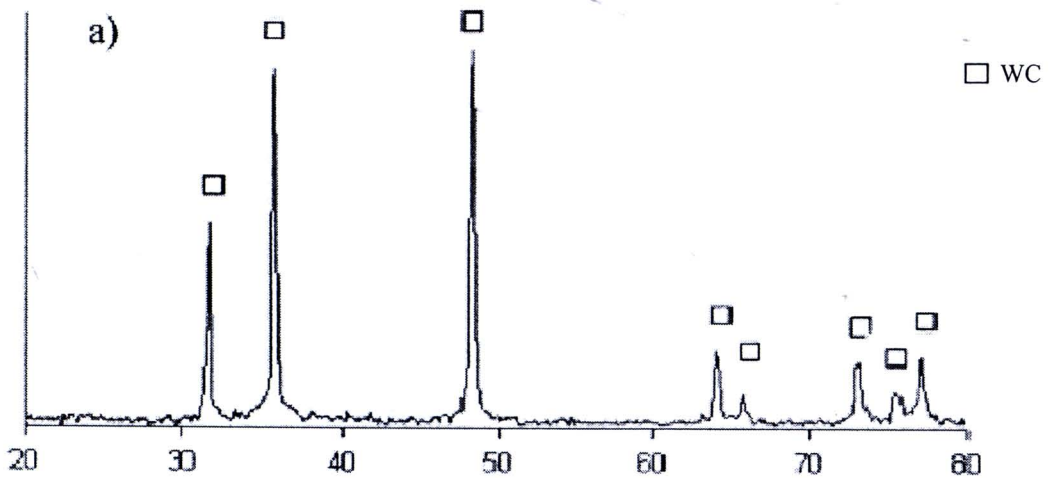
โดยสารละลายกรดที่ อุณหภูมิ $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 24 ชั่วโมง ความเข้มข้นสารละลาย 1 N [26]

จากรูปที่ 3.8 แสดงผลการตรวจสอบ XRD โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ พบว่าที่ (a) ธาตุหลักที่พบคือ สแตนคาร์ไบด์และมีโคบอลต์ผสมเล็กน้อย ที่ (b),(c) องค์ประกอบธาตุหลักเป็นสแตนคาร์ไบด์ 100% ไม่พบการเจือปนของธาตุอื่น และที่ (d) ธาตุที่พบส่วนใหญ่ปรากฏว่าเป็นสแตนคาร์ไบด์และมีสแตนออกไซด์ผสมอยู่เล็กน้อย



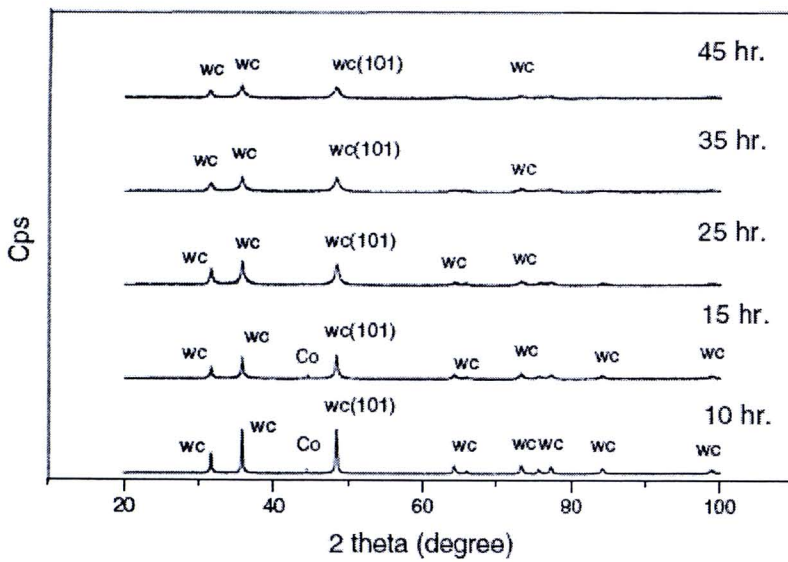
รูปที่ 3.9 XRD pattern of WC-Co powder. [29]

จากรูปที่ 3.9 แสดงผลการตรวจ XRD โลหะผง WC-Co จากการพิจารณาพบว่าตัวอย่างทดสอบมีทั้งสเดนเป็นองค์ประกอบหลักกว่า 90% และมีโคบอลต์ผสมประมาณ 10%



รูปที่ 3.10 The XRD spectra of the powders of: (a) pure [28]

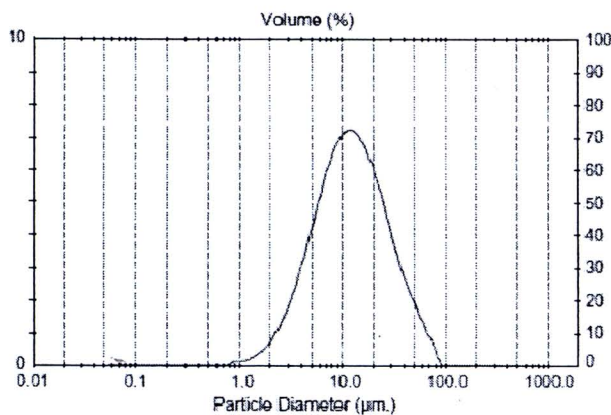
จากรูปที่ 3.10 เป็นผลการตรวจสอบ XRD พบว่าตัวอย่างโลหะผงทั้งสเดนคาร์ไบด์ไม่มีธาตุอื่นปนมีความบริสุทธิ์ 100%



รูปที่ 3.11 XRD of the La doped WC-Co powder with different ball milling time [30]

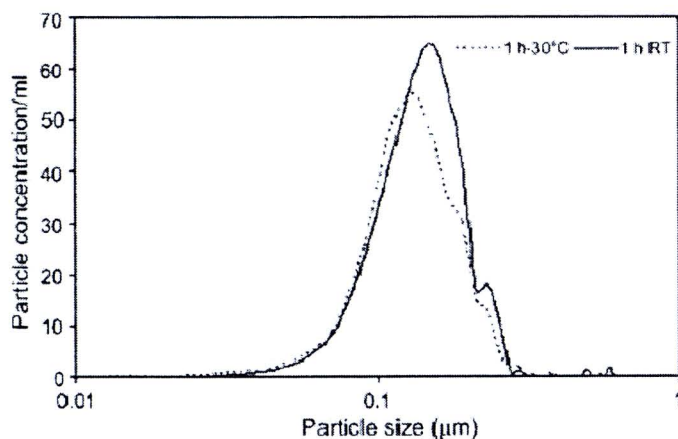
จากรูปที่ 3.11 แสดงผลการตรวจสอบ XRD ของโลหะผง WC-Co ที่ผ่านการบดละเอียดจากการวิเคราะห์พบว่า ที่ 10 -15 hr ตัวอย่างโลหะผงเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์ มีธาตุโคบอลต์ผสมอยู่เล็กน้อยที่มุมประมาณ 45° ที่ชั่วโมงบด 25 hr โลหะผงที่พบเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์ 100%

3.1.1.4 ขนาดและการกระจายของอนุภาคโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC powder)



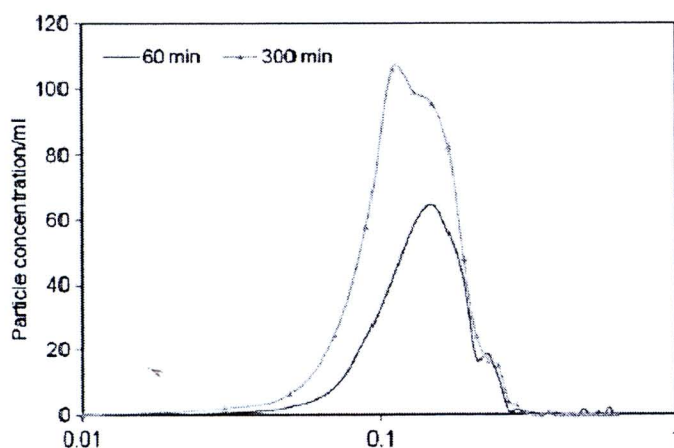
รูปที่ 3.12 การตรวจวิเคราะห์ขนาดและการกระจายโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ [31]

จากรูปที่ 3.11 เป็นผลการตรวจสอบขนาดอนุภาคของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ จากการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง $0.8 - 100 \mu\text{m}$ อนุภาคเล็กสุดประมาณ $0.8 \mu\text{m}$ และอนุภาคใหญ่สุดประมาณ $90 \mu\text{m}$



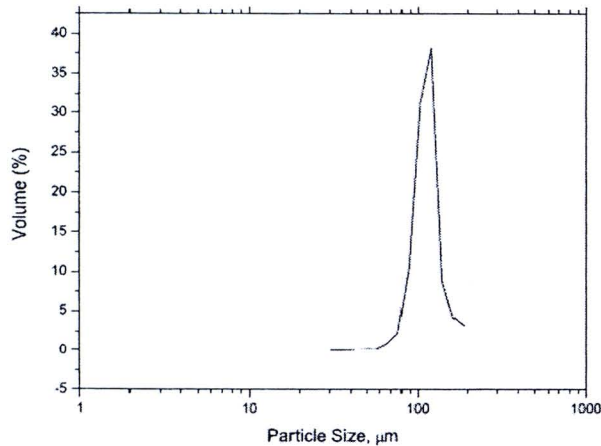
รูปที่ 3.13 Particle size distribution for powders milled at 30°C and RT. [32]

จากรูปที่ 3.13 แสดงผลการตรวจสอบ Particle size distribution ของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ที่อุณหภูมิ 30°C จากการวิเคราะห์พบว่า ขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง $0.05 - 0.4 \mu\text{m}$ เล็กสุดประมาณ $0.05 \mu\text{m}$ ขนาดอนุภาคใหญ่สุดประมาณ $0.8 \mu\text{m}$



รูปที่ 3.14 Particle size distribution for powders milled for 60 and 300 min. [33]

จากรูปที่ 3.14 แสดงผลการตรวจ Particle size distribution ของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ ที่ผ่านการบดด้วยเวลา 60 นาทีและ 300 นาที ปรากฏว่าการบด 60 นาที พบอนุภาคเล็กสุดประมาณ $0.05\ \mu\text{m}$ ใหญ่สุดประมาณ $0.5\ \mu\text{m}$ อนุภาคส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง $0.1\ \mu\text{m} - 0.3\ \mu\text{m}$ ส่วนการบด 300 นาที ปรากฏว่าอนุภาคเล็กสุดประมาณ $0.03\ \mu\text{m}$ ใหญ่สุดประมาณ $0.05\ \mu\text{m}$ ซึ่งอนุภาคเฉลี่ยอยู่ประมาณ $0.08\ \mu\text{m} - 0.3\ \mu\text{m}$

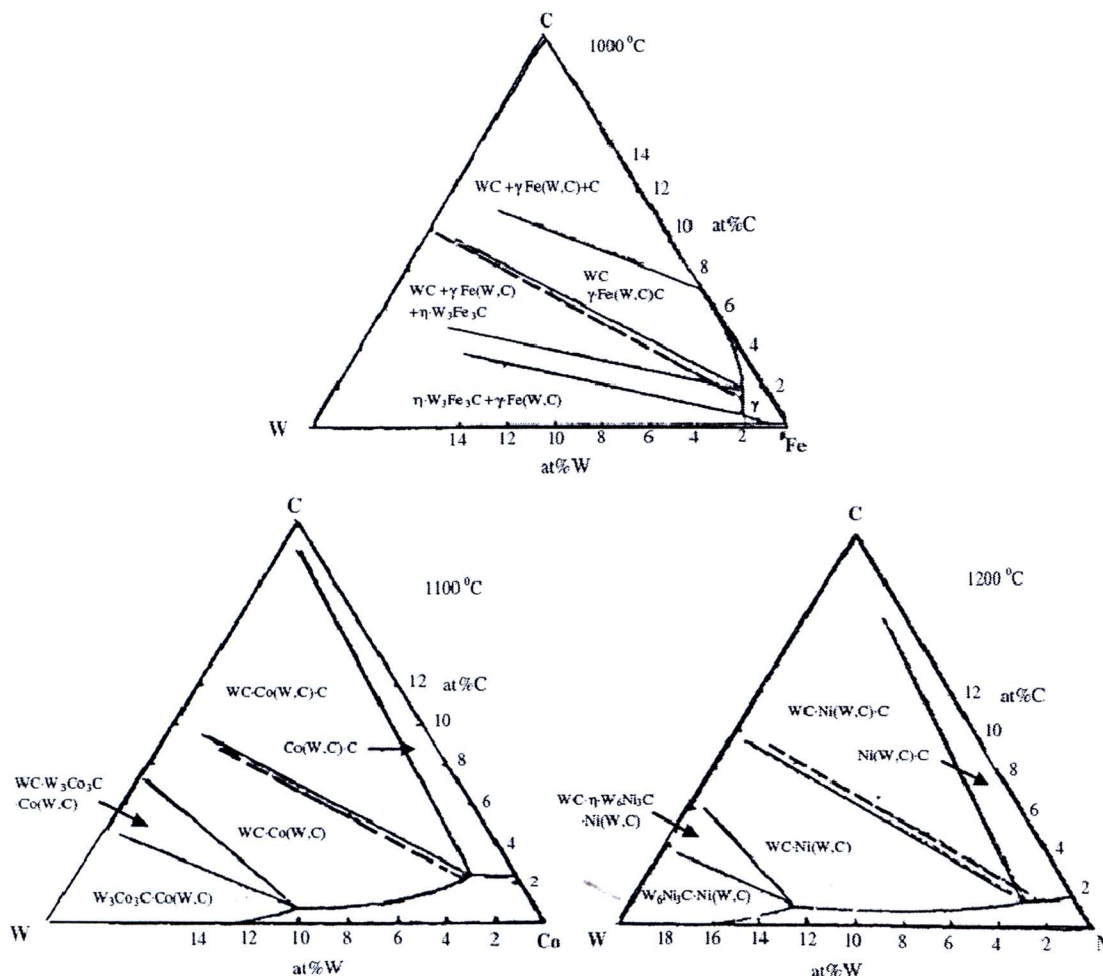


รูปที่ 3.15 Particle size distribution for spherical shaped tungsten carbide powder used in present study. [34]

จากรูปที่ 3.15 แสดงผลการตรวจสอบขนาดของอนุภาคโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ ปรากฏว่าอนุภาคเล็กสุดประมาณ $30\ \mu\text{m}$ อนุภาคใหญ่สุดประมาณ $200\ \mu\text{m}$ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง $75\ \mu\text{m} - 150\ \mu\text{m}$

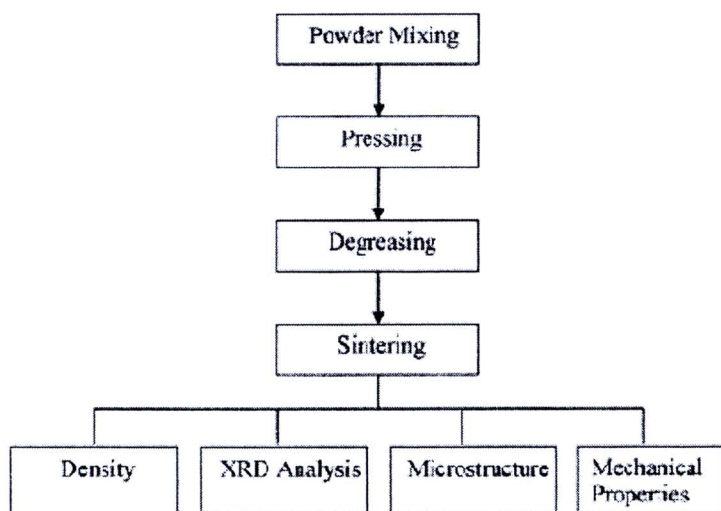
3.1.2 การผสมโลหะประสาน

ชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ที่ผสมโลหะอื่นเช่น โคบอลต์ เหล็ก นิกเกิล เพื่อเป็นการปรับปรุงสมบัติการใช้งานให้มีการยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคได้ดีขึ้นและจะทำให้มีความแข็งแรงและต้านทานการสึกหรอได้ดี สามารถยืดอายุการใช้งานได้นานขึ้นซึ่ง สามารถอธิบายสัดส่วนการผสมโลหะประสานต่างๆ ได้ดังนี้



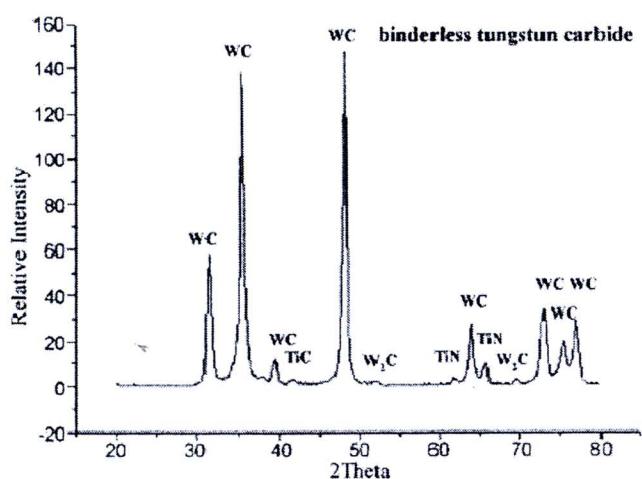
รูปที่ 3.16 Isothermal sections of the binder metal rich corner for the systems: a) W-Fe-C, b) W-Co-C and c) W-Ni-C. The dotted lines represent the theoretical WC-binder metal, compositions [18]

จากรูปที่ 3.16 แสดงเฟสไดอะแกรมของ W-Fe-C, W-Co-C, และ W-Ni-C ที่ อุณหภูมิ 1000 °C จากจุด WC+ γ Fe(W,C)+C พบว่าส่วนผสมมี W ประมาณ 85 % เหล็กประมาณ 3 % และ C อยู่ประมาณ 65 % เมื่อได้รับอุณหภูมิ 1000 °C จุด WC+ γ Fe(W,C) พบว่ามีส่วนผสม W ประมาณ 90 % เหล็กประมาณ 2 % และ C อยู่ประมาณ 80 % เมื่อได้รับอุณหภูมิ 1000 °C จุด WC+ γ Fe(W,C)+ η -W₃Fe₃C พบว่ามีส่วนผสม W ประมาณ 25-80 % เหล็กประมาณ 4 % และ C ประมาณ 50-80 % เมื่อได้รับอุณหภูมิ 1000 °C และที่จุด η -W₃Fe₃C+ γ Fe(W,C) พบว่ามีส่วนผสม W ประมาณ 95 % เหล็กประมาณ 5 %



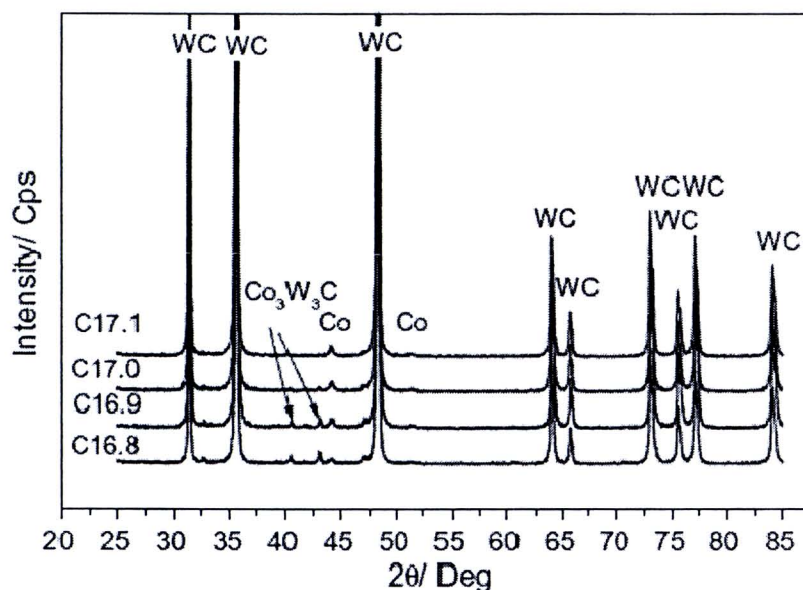
รูปที่ 3.17 The flow chart of experimental procedure. [35]

จากรูปที่ 3.17 แสดงขั้นตอนการผลิตชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ประกอบด้วย การผสมโลหะผง (Powder Mixing) การอัดขึ้นรูป (Pressing) การปรับปรุงสมบัติ (degreasing) และการอบชิ้นงาน (sintering) หลังจากนั้นเป็นการทดสอบสมบัติชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ได้แก่ ตรวจสอบความหนาแน่น (Density) การตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุ (XRD Analysis) การทดสอบโครงสร้าง (Microstructure) และขั้นตอนสุดท้ายการทดสอบการใช้งาน



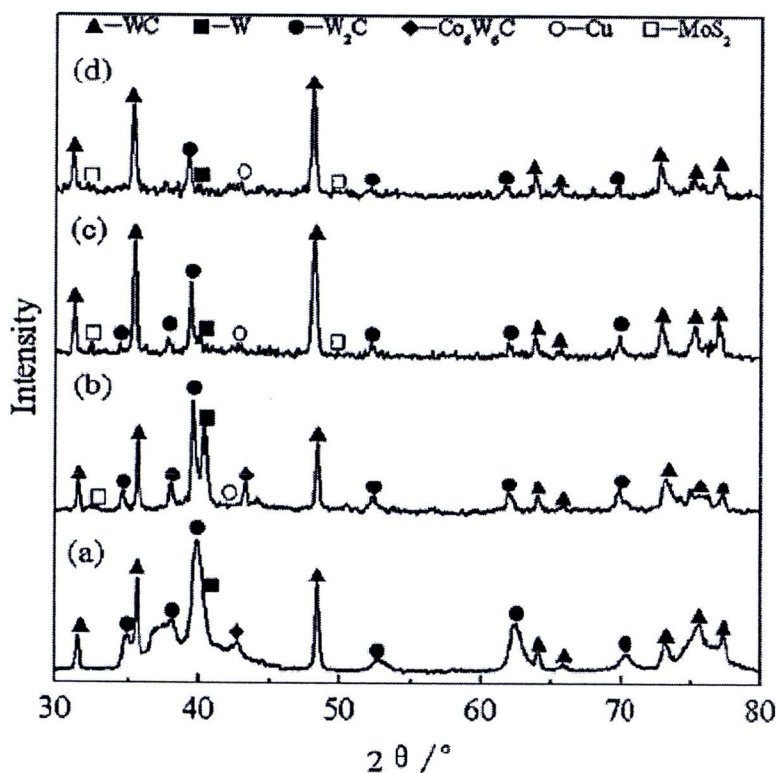
รูปที่ 3.18 X-ray diffraction pattern of sintered specimen [35]

จากรูปที่ 3.18 แสดงผลการตรวจสอบ XRD ของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์หลังการอบผนึก ปรากฏว่า พบทั้งสแตนคาร์ไบด์เป็นองค์ประกอบหลัก ธาตุเจือปนอื่นผสม ได้แก่ TiC, W_2C องค์าที่ และ TiN เป็นต้น



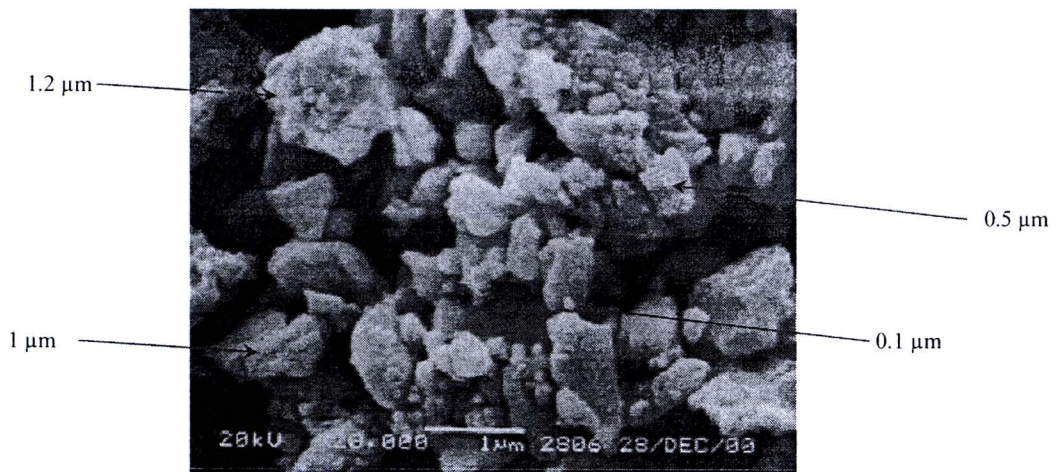
รูปที่ 3.19 XRD analyses on the phase constitution in the different composite powders. [36]

จากรูปที่ 3.19 แสดงผลการตรวจสอบ XRD ของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผสมแล้ว ปรากฏว่า ตัวอย่าง C16.8, C16.9 เป็นโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ผสมกับ Co_3W_3C และ Co ตัวอย่าง C17.0, C17.1 ผลการตรวจสอบพบว่าเป็นโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ผสมกับ โคบอลต์ (Co)



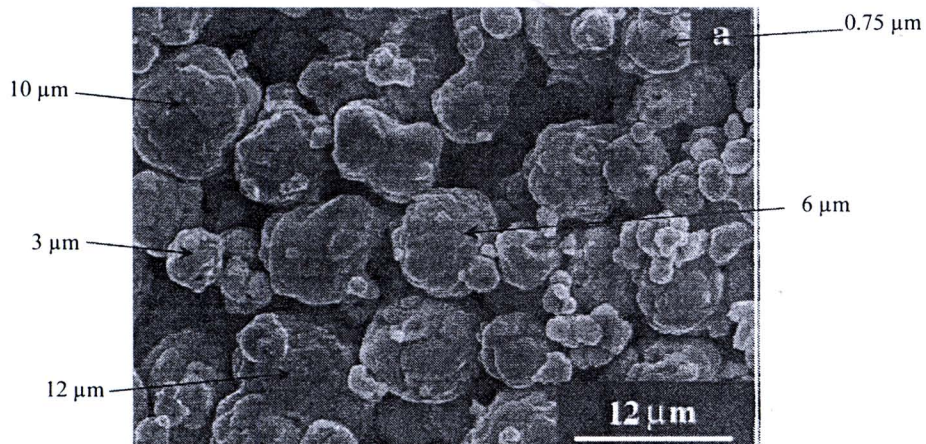
รูปที่ 3.20 XRD patterns for the (a) WC–Co coating; (b) 90W₆C₄S coating; (c) 80W12C8S Coating and (d) 70W18C12S coating. [37]

จากรูปที่ 3.20 แสดงผลการตรวจสอบ XRD ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการผสมแบบ plasma spraying พบว่า ที่ (a) เป็นโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ผสมโลหะทั้งสแตน W₂C, ผสมโลหะ (W), และผสมโลหะ Co₃W₆C ที่ (b) เป็นโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ผสมโลหะ W₂C, ผสมโลหะทั้งสแตน (W), ผสมโลหะ (Cu) และ Co₃W₆C ที่ (c) เป็นโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ผสมโลหะ MoS₂, ผสมโลหะ W₂C, ผสมโลหะ WC, ผสมโลหะ W, และผสมโลหะ Cu ที่ (d) เป็นโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ผสมโลหะ MoS₂, ผสมโลหะ W₂C, ผสมโลหะ W, และผสมโลหะ Cu เป็นต้น



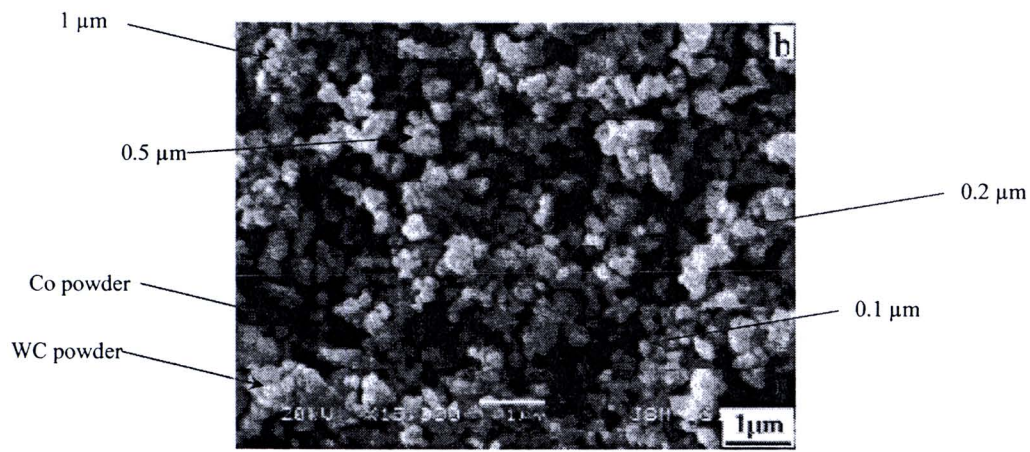
รูปที่ 3.21 SEM of WC-8%Co powder mixture. [38]

จากรูปที่ 3.21 ผลการตรวจสอบ SEM ของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสมโคบอลต์ ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า ปรากฏว่า ลักษณะโลหะผงขนาดเล็กสุดประมาณ 0.1 μm ขนาดใหญ่ประมาณ 1.2 μm เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วโลหะผงมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 -1 μm



รูปที่ 3.22 (a) And (b) Microstructures of fracture sections of pressed compacts made from coated powders. [18]

จากรูปที่ 3.22 แสดงผลการตรวจสอบ SEM ของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ที่ (a) ลักษณะโลหะ ผงค่อนข้างกลมขนาดเล็กสุดประมาณ 0.75 μm ขนาดใหญ่ประมาณ 12 μm พิจารณาโดยรวมแล้ว ขนาดอยู่ระหว่าง 3-6 μm



รูปที่ 3.23 SEM photographs of the WC–10%Co nanocomposite powders. [39]

จากรูปที่ 3.23 แสดงผลการตรวจสอบ SEM ของโลหะผง WC- 10% Co ที่กำลังขยาย 13,000 เท่า ขนาดอนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.1 μm ใหญ่สุดประมาณ 1 μm พิจารณาโดยรวมขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 0.2-0.5 μm

3.1.2.1 ชนิดโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผสมตามมาตรฐาน

จากการศึกษาโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้า จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูล จากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์มา ขอยกตัวอย่างดังนี้

1) ผงทังสเตนคาร์ไบด์ (Thermal spray powders DIN EN 1274)

ตารางที่ 3.1 ชนิดและสมบัติของผงทังสเตนคาร์ไบด์ [61]

ผลิตภัณฑ์	องค์ประกอบของผง	สมบัติและการประยุกต์ใช้งาน
DURMAT101	88 WC / 12 Co	สำหรับงานที่ใช้เปลวไฟในการพ่นสูงความแข็ง ~1200 HV
DURMAT102	88 WC /17 Co	สำหรับงานที่ใช้เปลวไฟในการพ่นสูงแต่มีค่า Co สูงความแข็ง ~1100 HV
DURMAT103	88 WC /12 Ni	มีความหนาต่อต้านการกัดกร่อนในสารละลายได้ดีความแข็ง ~1000 HV
DURMAT104	88 WC /17 Ni	มีความหนาต่อต้านการกัดกร่อนในสารละลายได้ดีแต่มีค่า Ni สูงความแข็ง ~950 HV
DURMAT105	88 WC /10 Co /4 Cr	มีการต่อต้านสูงจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนกับสารอื่นทนการกัดกร่อนในสารละลายความแข็ง 1000-1300 HV
DURMAT106	88 WC /6 Co /8 Cr	มีการต่อต้านสูงจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนกับสารอื่นทนการกัดกร่อนในสารละลายแต่มีค่า Cr สูงความแข็ง 1000-1300 HV
DURMAT107	3.9-4.0 C/ W bal	เป็นส่วนผสมของอัลลอย มีจุดหลอมแข็งต่ำความแข็ง >2200 HV

จากตารางที่ 3.1 แสดงชนิดและสมบัติของผงทังสเตนคาร์ไบด์ ประกอบด้วย

DURMAT101-102: มีส่วนผสมทังสเตนคาร์ไบด์ 88 % โคบอลต์ 12 -17 % เหมาะสำหรับงานที่ใช้ความร้อนสูง มีความแข็งประมาณ 1,100 – 1,200 HV

DURMAT103-104: มีส่วนผสมทังสเตนคาร์ไบด์ 88 % นิกเกิล 12 -17 % เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความต้านทานการกัดกร่อนในสารละลายมีความประมาณ 950 - 1,000 HV

DURMAT105-106: มีส่วนผสมทังสเตนคาร์ไบด์ 88 % นิกเกิล 6 – 10 % และ โครเมียม 4 – 8 % เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความต้านทานการเกิดปฏิกิริยาเคมีจากการรวมตัวของออกซิเจน มีความแข็งประมาณ 1,000 -1,300 HV เป็นต้น

2) ผงทังสเตนคาร์ไบด์ของบริษัท Allegheny Technologies, Inc [62]

ตารางที่ 3.2 ชนิดและสมบัติของผงทังสเตนคาร์ไบด์

เกรด	การตรวจ วิเคราะห์ความ หนาแน่น (g/cc)					สมบัติ
		Co Wt%	Ni Wt%	TaC-TiC- NbC Wt%	WC Wt%	
GWC-1	14.85	6.0			94.0	วัสดุใช้งานกลึงเช่นเหล็กที่มี คาร์บอนสูง
GWC-4	14.50	10.0			90.0	วัสดุที่ใช้ในการผลิตโลหะผสมเช่นTi alloys, W alloys, Mo alloys, Zr alloys, Gray cast iron
GWC-10	14.95	6.0			94.0	วัสดุใช้งานเจาะเช่นการทำเหมือง
GWC-12	14.45	10.0			90.0	ใช้ผลิตเครื่องมือที่ต้องการความ เหนียว
GWC-13	14.85	6.0		0.5	93.5	ใช้เป็นสารประกอบทั่วไปในชิ้นส่วน เครื่องจักรที่ต้องถอดเข้าถอดออก รวมถึงในงานกลึงงานเจาะงานกัด
GWC-15	14.40	11.0		0.5	88.5	ใช้งาน machining และงานที่ต้อง มีการกระแทกแรง

จากตารางที่ 3.2 แสดงชนิดและสมบัติผงทังสเตนคาร์ไบด์ของบริษัท Allegheny Technologies ประกอบด้วยทังสเตนเกรด GWC-1, GWC- 4, GWC- 10, GWC- 12 มีความหนาแน่นระหว่าง 14.40 – 14.95 กรัม/ซีซี เปอร์เซนต์โคบอลต์ ระหว่าง 6 - 11% มีทังสเตนคาร์ไบด์อยู่ระหว่าง 90 - 94% มีสมบัติการใช้งานด้านงานกลึง การผลิตโลหะผสมสูง ใช้งานการผลิตวัสดุในงานเจาะ เช่นการทำเหมือง ใช้ในการผลิตเครื่องมือที่ต้องการความเหนียว ส่วนเกรด GWC-13 และ GWC-15 มีความหนาแน่น 14.40 – 14.85 กรัม/ซีซี เปอร์เซนต์โคบอลต์ ระหว่าง 6 - 11% มีส่วนผสมของแทนทาลัมคาร์ไบด์ ไทเทเนียมคาร์ไบด์และ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ 0.5% มีทังสเตนคาร์ไบด์ อยู่ระหว่าง 88 – 93.5% มีสมบัติใช้เป็นสารประกอบในชิ้นส่วนเครื่องจักรรวมถึง งานกลึง งานเจาะ งานกัด ใช้ในงาน machining และงานที่ต้องมีการกระแทกแรง เป็นต้น

ตารางที่ 3.3 ชนิดทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่มีส่วนผสมธาตุโลหะ Co, Ni, TaC-TiC- NbC, WC [62]

เกรด	การตรวจวิเคราะห์ความหนาแน่น (g/cc)	การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี				สมบัติ
		Co Wt%	Ni Wt%	TaC-TiC-NbC Wt%	WC Wt%	
GWC-50	13.98	15.0			85.0	ใช้ในงานเจียรไน งานเกี่ยวกับธรณีวิทยา
GWC-52	13.40	20.0		5.0	75.0	ใช้ผลิตวัสดุในโรงงานผลิตลูกปืน
GWC-53	12.95	25.0		5.0	70.0	ใช้ในในงานผลิตแม่พิมพ์และเครื่องมือ
GWC-69	12.43	10.0		21.0	69.0	ใช้ผลิตเครื่องมือที่ต้องใช้แรงอัด
GWC-71	12.85	7.0		12.5	80.5	ใช้ผลิตวัสดุที่ต้องรับแรงกระแทก
GWC-73	12.85	11.0		10.0	79.0	ใช้ในการผลิตเครื่องจักรกลหนักวัสดุที่ต้องรับแรงมีความต้านทานสูง
GWC-75	15.0		6.0		94.0	ผลิตชิ้นส่วนเกี่ยวกับเครื่องยนต์ผลิตหัวฉีด
GWC-76	14.50		10.0		90.0	

จากตารางที่ 3.3 แสดงชนิดของทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่มีส่วนผสมธาตุ ต่างๆ เช่น Co, Ni, Tic-Tac- NbC เกรด GWC-50 มีความหนาแน่น 13.98 กรัม/ซีซี มีส่วนผสมโคบอลต์ 15% และ 8% ทั้งสแตนคาร์ไบด์ เหมาะสำหรับงานเจียรไน

เกรด GWC-52 - GWC-73 มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 12.43 - 13.40% มีส่วนผสมโคบอลต์ 7 - 25% มีส่วนผสม แทนทาลัมคาร์ไบด์ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ และ ไนเบียมคาร์ไบด์ 5 - 21% ส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ประมาณ 69 - 94% เหมาะสำหรับงานผลิตลูกปืน งานแม่พิมพ์ การผลิตเครื่องมือที่ต้องการแรงอัด ผลิตวัสดุที่ต้องรับแรงกระแทก ใช้ผลิตเครื่องจักรกลหนัก เป็นต้น

เกรด GWC-75 - GWC-76 มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 14.5 - 15% มีส่วนผสมนิเกิล 6 - 10% และมีส่วนผสมทั้งสแตนคาร์ไบด์ 90 - 94% เหมาะสำหรับงานผลิตชิ้นส่วนเกี่ยวกับเครื่องยนต์ ผลิตหัวฉีดในอุตสาหกรรมอาหารที่ทนทานต่อการกัดกร่อน เป็นต้น

3) การผสมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์กับ โคบอลต์ของ Betek Progress, Inc [63]

ตารางที่ 3.4 การผสมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์กับโคบอลต์

เกรด	ขนาดเกรน (μm)	ปริมาณทั้งสแตนคาร์ไบด์ (%)	ปริมาณ โคบอลต์ (%)	ค่าความแข็ง (HV)
B - 10F	3	94.0	6	1,400
B - 10	2.5	90.0	6	1,556
B - 15	4	92.5	7.5	1,245
B - 20	6	90.5	9.5	1,200
B - 25	6	90.0	10	1,160
B - 30	6	89.0	11	1,160
B - 40	6	85.0	15	854

จากตารางที่ 3.4 แสดงสมบัติของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ของบริษัท Betek Progress อธิบายได้ว่า โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ขนาดอนุภาค 2.5 - 6 ไมครอน ส่วนผสมทั้งสแตนคาร์ไบด์ 85 - 94% และส่วนผสมโคบอลต์ ระหว่าง 6 - 15% มีค่าความแข็งระหว่าง 854 -1,400 HV ถ้าส่วนผสมของโคบอลต์เพิ่มขึ้น และสัดส่วนของทั้งสแตนคาร์ไบด์น้อยลงจะทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานลดลง

4) โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ บริษัท Buffalo Tungsten Inc. [63]

ตารางที่ 3.5 ชนิดและสมบัติของโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์

ประเภท	ขนาดเฉลี่ย (ไมครอน)	ความหนาแน่น (g/in ³)	มาตรฐาน screening ₂
C3	0.60-0.99	20-40	-100 Mash
C5	1.00-1.39	25-50	-100 Mash
C6	1.40-1.99	30-60	-100 Mash
C8	2.00-3.99	35-70	-200 Mash
C10	4.00-5.99	40-80	-200 Mash
C20	6.00-9.99	50-90	-200 Mash

ตารางที่ 3.6 ส่วนผสมของธาตุอื่นๆ [63]

ธาตุ	max	Typical	ธาตุ	max	Typical
Al	0.003	<0.001	Mo	0.020	0.005
Co	0.005	<0.001	Na	0.010	0.005
Cr	0.020	0.005	Ni	0.020	0.005
Cu	0.005	<0.001	Si	0.002	<0.001
Fe	0.020	0.002	Sn	0.002	<0.001

5) ราคาจำหน่ายโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

ตารางที่ 3.7 ราคาจำหน่ายทั้งสแตนคาร์ไบด์และโคบอลต์ [64]

รายการ	ขนาด	น้ำหนัก	ผู้ผลิต/ยี่ห้อ			
			LLC/kg		Inc/ราคา	
Tungsten Carbide Powder	1 µm		\$/kg	฿/kg		
		500 g	87.80	2,985.2	-	-
		1 kg	139.30	4,736.2	-	-
		2 kg	98.25	3,340	-	-
		5 kg	77.60	2,638.4	-	-
		10 kg	68.50	2,329	-	-

ตาราง 3.8 ราคาจำหน่ายโคบอลต์ [64]

รายการ	ขนาด	น้ำหนัก	ผู้ผลิต/ยี่ห้อ			
			LLC/kg		Feilan Non-Ferrous Metal / ราคา	
Cobalt Powder	1.5 µm		\$/kg	฿/kg	\$/kg	฿/kg
		200 g	89.70	3,139.5	88.70	3,018.18
		500 g	142.50	4,845	140.50	4,777
		1 kg	228.60	7,772.4	226.60	7,704.4
		2 kg	281.40	9,567.6	270.40	9,193.6
		5 kg	372.50	12,665	370.50	12,597
		10 kg	462.20	15,714.8	460.20	15,646.8

ตารางที่ 3.9 ราคาจำหน่ายโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ในตลาดประเทศจีนของ (23 พ.ย. 2010) [65]

ผลิตภัณฑ์	(RMB / กก.)	(฿/กก.)	ในบริเวณ	ผลิตภัณฑ์
ทั้งสแตนคาร์ไบด์ ผง 2-10 µm	268-270	1,315.88-1,325.7	จูโจว	268-270
	272-275	1,335.52-1,350.25	Zigong	272-275
	268-270	1,315.88-1,325.7	Chongyi	268-270
	268-270	1,335.52-1,350.25	Ganzhou	268-270

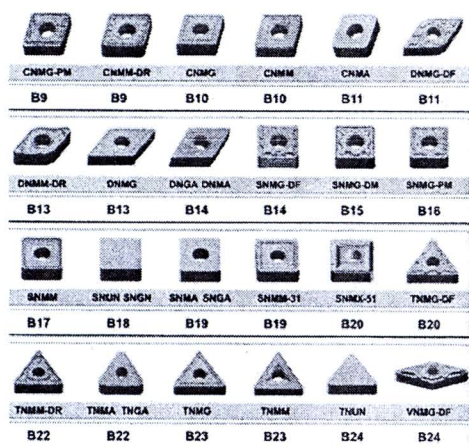
ตารางที่ 3.10 ราคาจำหน่ายโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ บริษัท Inframmat advanced material LLC [64]

รหัส	สเปค	\$/กก	฿/กก.
74R - 0601	WC 99.9% + APS <1	<u>\$ 149.30</u>	4,484.7
74R - 0602	WC 99.95% + APS 1-1.5 µm	<u>\$ 142.60</u>	4,320.78
74R - 0603	WC 99.9% + APS 2-6 µm	<u>\$ 149.30</u>	4,484.7
74R - 0605	WC 99.9% + APS 10-15 µm	<u>\$ 149.30</u>	4,484.7
74R - 0606	WC 99.9% + APS 15-25 µm	<u>\$ 149.30</u>	4,484.7
74N - 0601	WC 99.95% + 40-70 นาโนเมตร	<u>\$ 249.00</u>	7,544.7
74N - 062705	WC/5Co ผง, 99.9%, 40-80 nm	<u>\$ 385.00</u>	11,665.5
74N - 062715	WC/15Co ผง, 99.9%, 40-80 nm	<u>\$ 385.00</u>	11,665.5

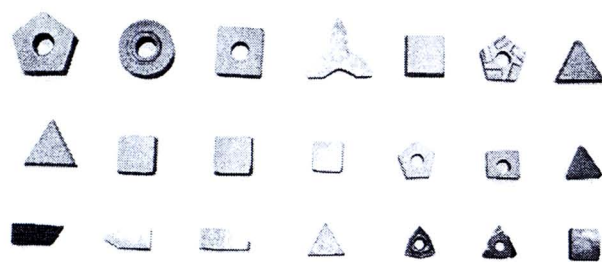


3.1.3 ลักษณะแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์

ในปัจจุบันนี้ วัสดุในกลุ่มของ ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรม การตัดเฉือน ซึ่งสามารถทนทานต่อการสึกหรอได้ดีและมีการผลิตเป็นรูปทรงต่างๆ เพื่อความ เหมาะสมด้านการใช้งานด้านงานกลึงปอกและแผ่นมีดที่มีความเหมาะสมคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือเรียกว่าทรง S



รูปที่ 3.24 รูปทรงต่างๆ ของเม็ดมีด WC ก่อนการใช้งาน (เคลือบผิวด้วย Titanium Nitride) [66]



รูปที่ 3.25 รูปทรงต่างๆ ของเม็ดมีด WC ก่อนการใช้งาน (เคลือบผิวด้วย Titanium Carbide) [67]

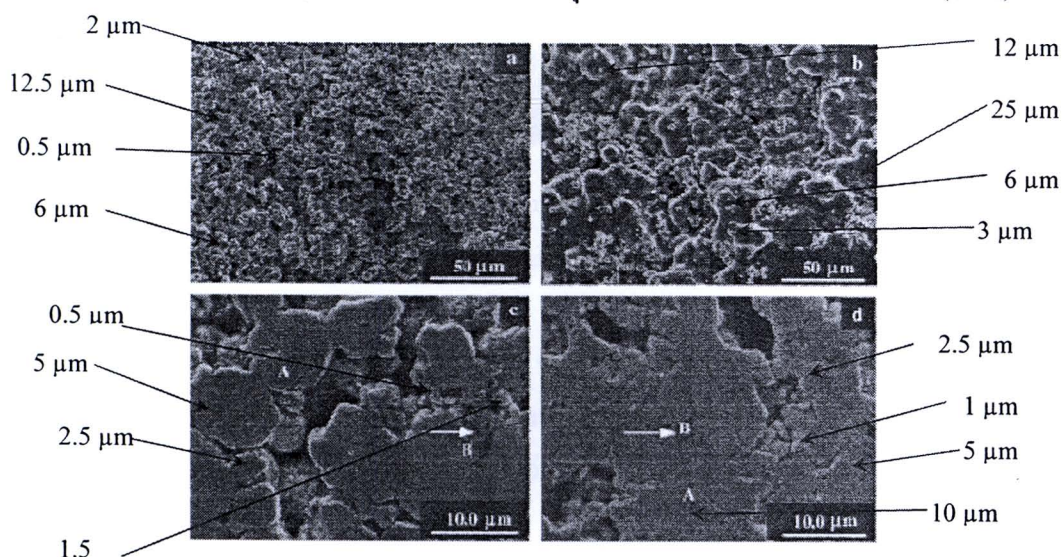
ตารางที่ 3.11 แสดงขนาดรูปทรงทางเรขาคณิตแผ่นมีดกลึงปอก [68], [69]

INSERT	รหัสแผ่นมีด (ISO)	ขนาดแผ่นมีด A mm.	รัศมีคมตัด r (mm.)	ความหนา แผ่นมีด T (mm.)	ขนาดรูตรง กลาง d (mm.)
SANDVIK	SNMG 120408	12.7	0.8	4.76	5.16
MITSUMISHI	SNMG 120408	12.7	0.8	4.76	5.16

- 1) S หมายถึง ลักษณะรูปทรงของแผ่นมีดที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมมุม (90)
- 2) N หมายถึง มุมหลบ (ReliefAngle) ของแผ่นมีดเท่ากับ 0 องศา
- 3) M หมายถึง ระยะเพื่อ (Tolerance) มีดังนี้คือความหนา (Thickness) ± 0.13, มุมปลายมี (ConnerHeight + 0.08 + 0.18, I.C.Size ±0.05 ±0.15)
- 4) G หมายถึง มีรูตรงกลางมีดและมีมุมหักเศษใช้งานได้ทั้งสองด้าน (Hole and Chip Breaker Symbol)
- 5) 12 หมายถึง ขนาดความกว้าง (EdgeLengthSymbol) และความยาวของแผ่นมีดขนาด 12.7 mm.
- 6) 04 หมายถึง ความหนาของมีดขนาด 4.76 mm
- 7) 08 หมายถึงรัศมีโค้งปลายมีด 0.8 mm

3.1.3.1 สมบัติชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์

1) การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM)



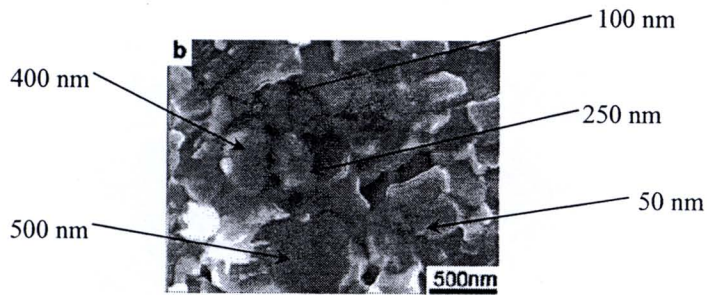
รูปที่ 3.26 Microstructures of sintered C-WC₂ compacts. Fracture sections at (a) 1080 °C and (b) 1200 °C; polished sections at (c) 1200 °C and (d) 1260 °C. [40]

จากรูปที่ 3.26 แสดงผลการตรวจสอบ SEM ของซีเมนต์คาร์ไบด์ C-WC₂ (a) ชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ออบผนึกที่อุณหภูมิ 1080 °C ปรากฏว่า ขนาดอนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.5 μm ใหญ่สุดประมาณ 12.5 μm พิจารณาโดยรวมอนุภาคอยู่ระหว่าง 2-6 μm

(b) ชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ออบผนึกที่อุณหภูมิ 1200 °C ขนาดอนุภาคเล็กสุดประมาณ 3 μm ใหญ่สุดประมาณ 25 μm พิจารณาโดยรวมอนุภาคอยู่ระหว่าง 6-12 μm

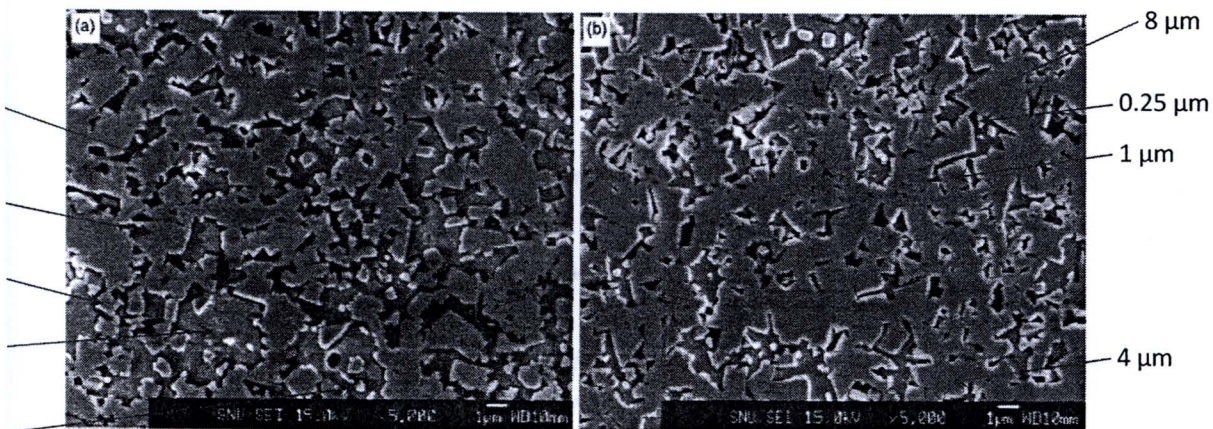
(c) ชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ออบผนึกที่อุณหภูมิ 1200 °C ขนาดอนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.5 μm ใหญ่สุดประมาณ 5 μm พิจารณาโดยรวมอนุภาคอยู่ระหว่าง 1.5-2.5 μm

(d) ชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ออบผนึกที่อุณหภูมิ 1260 °C ขนาดอนุภาคเล็กสุดประมาณ 1 μm ใหญ่สุดประมาณ 10 μm พิจารณาโดยรวมอนุภาคอยู่ระหว่าง 2.5-5 μm



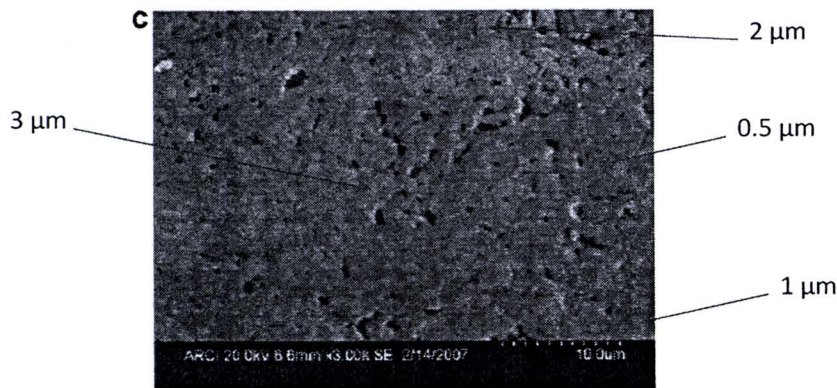
รูปที่ 3.27 SEM images of WC powder (40–70 nm) consolidated at different temperatures. (b) Sintered at 1500 °C with different magnifications; [41]

จากรูปที่ 2.27 แสดงการตรวจสอบ SEM ชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์หลังการอบผนึกที่อุณหภูมิ 1500 °C จากการพิจารณาปรากฏว่า (b) ขนาดอนุภาคเล็กสุดประมาณ 1 μm ใหญ่สุดประมาณ 10 μm พิจารณาโดยรวมอนุภาคอยู่ระหว่าง 2.5-5 μm



รูปที่ 3.28 SEM images of WC–10Co sintered at 1450 °C with disc-type pallet compacted under the pressures: (a) 200MPa, (b) 300MPa, for comparison the pallet. [42]

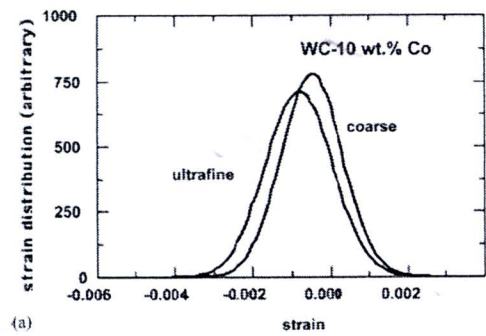
จากรูป 3.28 แสดงผลการตรวจสอบ SEM ชิ้นงาน disc-type pallet ส่วนผสม 10%Co sintering ที่อุณหภูมิ 1450 °C จากการพิจารณาปรากฏว่า (a) ที่ความดัน 200 MPa ขนาดเกรนเล็กสุดประมาณ 0.25 μm ใหญ่สุดประมาณ 10 μm พิจารณาโดยรวมแล้วขนาดเกรนอยู่ระหว่าง 1-5 μm (b) ที่ความดัน 300 MPa ขนาดเกรนเล็กสุดประมาณ 0.25 μm ใหญ่สุดประมาณ 8 μm พิจารณาโดยรวมแล้วขนาดเกรนอยู่ระหว่าง 1-4 μm



รูปที่ 3.29 SEM images of microwave sintered nanocrystalline powders processed at different temperature set points, (c) 1450 °C [43]

จากรูปที่ 3.29 แสดงผลการตรวจสอบ SEM ชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ที่อุณหภูมิ 1450 °C ขนาดเกรนเล็กสุดประมาณ 0.5 μm ใหญ่สุดประมาณ 3 μm โดยรวมขนาดเกรนอยู่ระหว่าง 1-2 μm

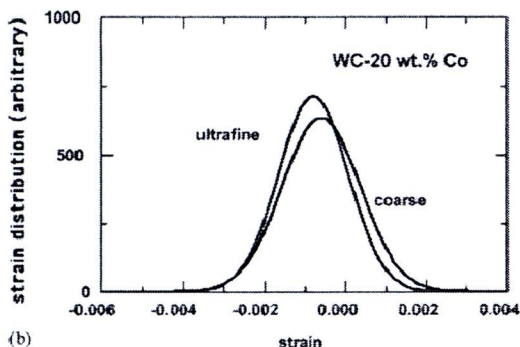
2) ความเครียด (Strain)



รูปที่ 3.30 Stress distribution in WC calculated assuming stresses are entirely due to the deviatoric strain component for the coarse and ultrafine particles in WC-10 wt. % [44]

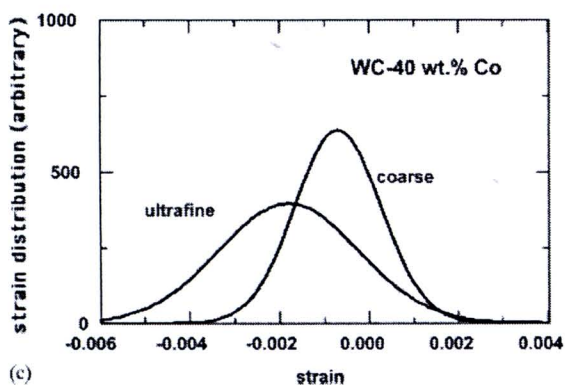
จากรูปที่ 3.30 แสดงความเครียดของชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ที่ส่วนผสม WC-10 wt. % Co ระดับการตรวจสอบ ultrafine พบว่ามีความเครียด (strain) อยู่ระหว่าง -0.0025 ถึง 0.002 มีค่า strain

distribution ประมาณ 690 Mpa ระดับ coarse พบว่ามี strain อยู่ระหว่าง -0.003 ถึง 0.002 และค่า strain distribution ประมาณ 760 Mpa



รูปที่ 3.31 Stress distribution in WC calculated assuming stresses are entirely due to the deviatoric strain component for the coarse and ultrafine particles in WC-20 wt.% Co [44]

จากรูปที่ 3.31 แสดงความเครียดของชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ที่ส่วนผสม WC-20 wt. % Co ที่ระดับการตรวจสอบ ultrafine พบว่ามี strain อยู่ระหว่าง -0.0025 ถึง 0.002 มีค่า strain distribution ประมาณ 730 Mpa ระดับ coarse พบว่ามี strain อยู่ระหว่าง -0.0025 ถึง 0.0023 และค่า strain distribution ประมาณ 650 Mpa



รูปที่ 3.32 Stress distribution in WC calculated assuming stresses are entirely due to the deviatoric strain component for the coarse and Ultrafine particles in WC-40% wt. % Co. [44]

จากรูปที่ 3.32 แสดงความเครียดของชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ที่ส่วนผสม WC-40 wt.% Co ที่ระดับการตรวจสอบ ultrafine พบว่ามี strain อยู่ระหว่าง -0.006 ถึง 0.0022 มีค่า strain distribution ประมาณ 400 Mpa ระดับ coarse พบว่ามี strain อยู่ระหว่าง -0.003 ถึง 0.0022 และค่า strain distribution ประมาณ 650 Mpa

ตารางที่ 3.12 Sintering results obtained in compacts with different binder contents and sintered for 173 min at selected temperatures [40]

sample	อัตราส่วนโคบอลต์ (%)	ความหนาแน่นก่อน อบผนึก (g/cm ⁻³)	Temperature (°C)	Density (g/cm ⁻³)	Weight loss (%)
M-WC	6.5	8.7	1160	9.7	1.8
		8.6	1200	11.8	2.1
		8.6	1325	13.2	3.0
C-WC1	5.2	8.0	1200	10.4	0.8
C-WC2	5.7	8.1	1160	8.9	0.5
		8.2	1200	11.4	1.0
		8.2	1325	12.1	3.7
C-WC3	6.7	8.1	1200	12.1	1.2
		7.7	1325	13.5	4.6
C-WC5	10.0	7.8	1160	8.6	1.0
		7.7	1200	13.2	2.1
		7.8	1325	14.3	7.4

จากตารางที่ 3.12 แสดงผลการตรวจสอบสมบัติชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ที่ผ่านการอบผนึก
จากการพิจารณาปรากฏว่า

ชิ้นงาน M-WC อัตราส่วนผสม โคบอลต์ 6.5% ความหนาแน่นก่อนอบผนึกอยู่ระหว่าง 8.6 - 8.7 g/cm³ อบผนึกที่อุณหภูมิระหว่าง 1160 - 1325 °C มีความหนาแน่นหลังอบผนึกอยู่ระหว่าง 9.7 - 13.2 g/cm³ น้ำหนักที่สูญเสีย 1.8 - 3.0%

ชิ้นงาน C-WC1 อัตราส่วนผสม โคบอลต์ 5.2% ความหนาแน่นก่อนอบผนึก 8.0 g/cm³ อบผนึกที่อุณหภูมิ 1200 °C มีความหนาแน่นหลังอบผนึก 10.4 g/cm³ น้ำหนักที่สูญเสีย 0.8%

ชิ้นงาน C-WC2 อัตราส่วนผสม โคบอลต์ 6.7% ความหนาแน่นก่อนอบผนึกอยู่ระหว่าง 7.7 - 8.1 g/cm³ อบผนึกที่อุณหภูมิระหว่าง 1200 - 1325 °C ความหนาแน่นหลังอบผนึกอยู่ระหว่าง 8.9-12.1 g/cm³ น้ำหนักที่สูญเสีย 0.5 - 3.7%

ชิ้นงาน C-WC3 อัตราส่วนผสม โคบอลต์ 5.7% ความหนาแน่นก่อนอบผนึกอยู่ระหว่าง 8.1 - 8.2 g/cm³ อบผนึกที่อุณหภูมิระหว่าง 1160 - 1325 °C ความหนาแน่นหลังอบผนึกอยู่ระหว่าง 12.1 - 13.5 g/cm³ น้ำหนักที่สูญเสีย 1.2 - 4.6%

ชิ้นงาน C-WC5 อัตราส่วนผสม โคบอลต์ 10% ความหนาแน่นก่อนอบผนึกอยู่ระหว่าง 7.7 - 7.8 g/cm³ อบผนึกที่อุณหภูมิระหว่าง 1160 - 1325 °C ความหนาแน่นหลังอบผนึกอยู่ระหว่าง 8.6 - 14.3 g/cm³ น้ำหนักที่สูญเสีย 1.0 - 7.4%

ตารางที่ 3.13 Mechanical properties of WC–10Co powders sintered at 1450 °C [42]

Compacting pressure (MPa)	Hardness, H _{v20} (GPa)	Density (g/cm ³)
200	12.42	12.35(81.7%)
300	13.01	12.28(81.2%)
400	13.38	12.52(82.8%)
500	13.66	13.03(86.2%)
CIP (300)	12.03	14.00(92.6%)

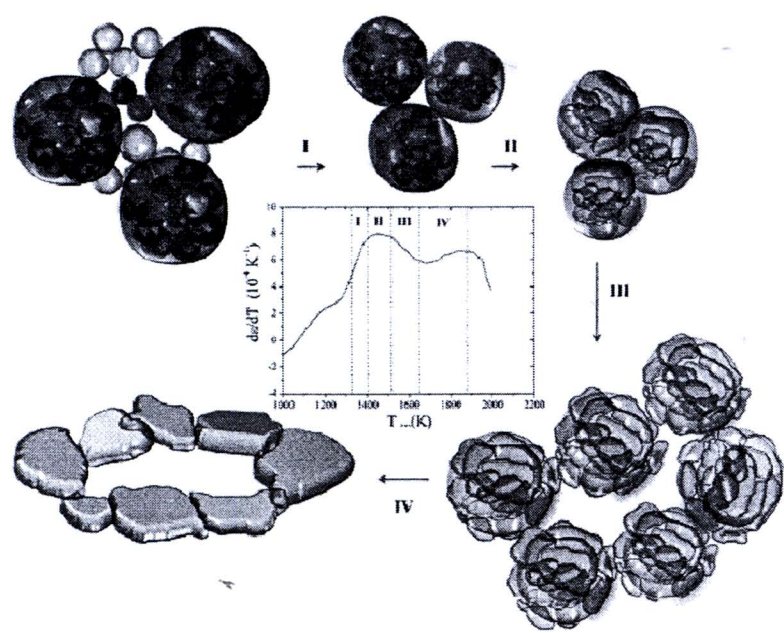
จากตารางที่ 3.13 แสดงผลการตรวจสอบชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ที่อัตราส่วนผสมโคบอลต์ 10% อบผนึกที่อุณหภูมิ 1450 °C ปรากฏว่า ที่ความดัน 200 Mpa มีความแข็ง 12.42 H_{v20}GPa ความหนาแน่นอยู่ที่ 12.35 g/cm³ ที่ความดัน 300 MPa มีความแข็ง 13.01 H_{v20}GPa มีความหนาแน่นที่ 12.28 g/cm³ ที่ความดัน 400 MPa มีความแข็งที่ 13.38 H_{v20}GPa ความหนาแน่น 12.52 g/cm³ ที่ความ

ดัน 500 MPa มีความแข็ง 13.66 H_{v20} GPa ความหนาแน่น 13.03 g/cm³ และที่ CIP (300) Mpa มีความแข็งที่ 12.03 H_{v20} GPa ความหนาแน่น 14.0 g/cm³

ตารางที่ 3.14 Comparison of density, hardness and fracture toughness of samples investigated in the present study.[43]

Property	Sample A	Sample B	Sample C	Sample D
Density (g/CC)	14.1	14.5	14.5	14.2
Vickers Hardnessb	1397	1488	1363	1466
Fracture toughness (MPa m ^{-1/2})	13.7	12	13.4	15.1

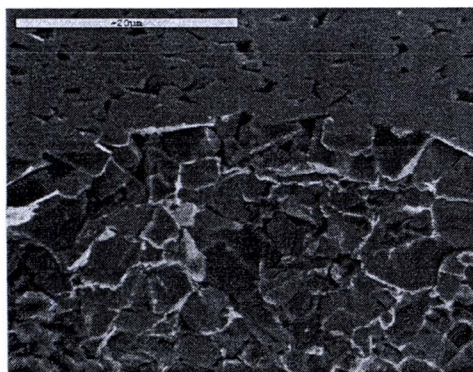
จากตารางที่ 3.14 แสดงผลการตรวจสอบชิ้นงานซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่อัตราการผลิตโคบอลต์ 12% จากการพิจารณาพบว่า ชิ้นงานทดสอบตรวจวัด Density ได้ระหว่าง 14.1-14.5 g/CC ค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 1397 Hv-1488Hv และตรวจวัดค่าความต้านทานการแตกหัก (Fracture toughness) อยู่ระหว่าง 12-15.1 Mpa



รูปที่ 3.33 Schematic of the sintering mechanism of n-WC on the basis of the experimental shrinkage strain rate in a CRH experiment. [45]

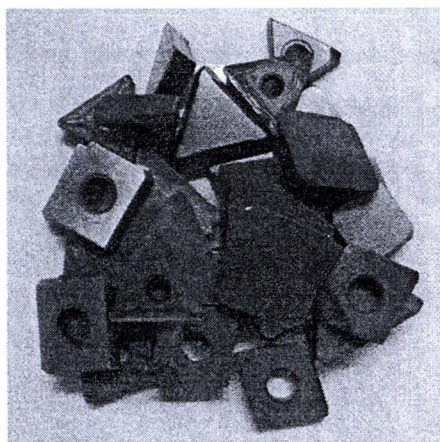
จากรูปที่ 3.33 แสดงกลไกการการอบผืนึกของ n-WC จากเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 1,000-2,200 Temperature...(K) กับ $-4 -10 \text{ dE/dT} (10^{-4} \text{ K}^{-1})$ อธิบายได้ดังนี้ ที่ I อุณหภูมิประมาณ 1,300 - 1,400 (K) อัตราการเพิ่มความเครียดประมาณ $5-7.9 (10^{-4} \text{ K}^{-1})$ ที่ II อุณหภูมิประมาณ 1,400 - 1,500 (K) อัตราการเพิ่มความเครียดประมาณ $7.9-8 (10^{-4} \text{ K}^{-1})$ ที่ III อุณหภูมิประมาณ 1,500 -1,650 (K) อัตราการเพิ่มความเครียดประมาณ $7.9-5 (10^{-4} \text{ K}^{-1})$ และที่ IV อุณหภูมิประมาณ 1,650 - 1,880 (K) อัตราการเพิ่มความเครียดประมาณ $5-6 (10^{-4} \text{ K}^{-1})$

2) การสูญเสียโคบอลต์ของซีเมนต์คาร์ไบด์

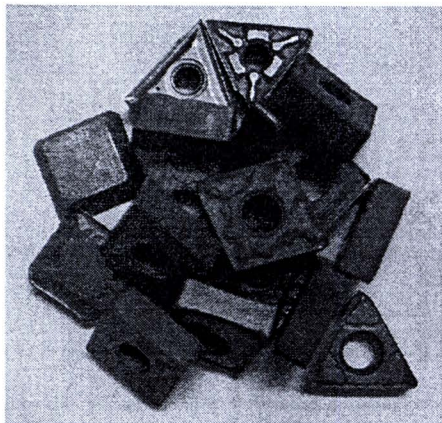


รูปที่ 3.34 แสดงการสูญเสียโคบอลต์ของซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์ [71]

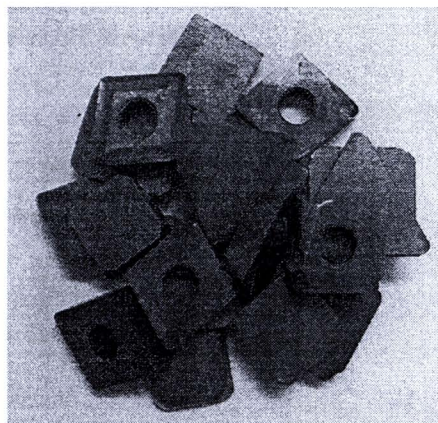
3.1.3.2 การเลือกเศษแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์



รูปที่ 3.35 เศษแผ่นมีดที่ผ่านการใช้งานแล้ว



รูปที่ 3.36 เศษแผ่นมีดเคลือบด้วย Titanium Nitride

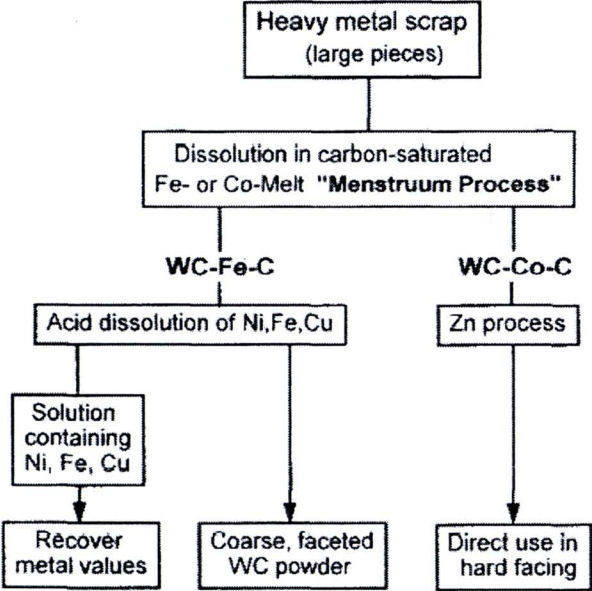


รูปที่ 3.37 เศษแผ่นมีดเคลือบด้วย Titanium Carbide

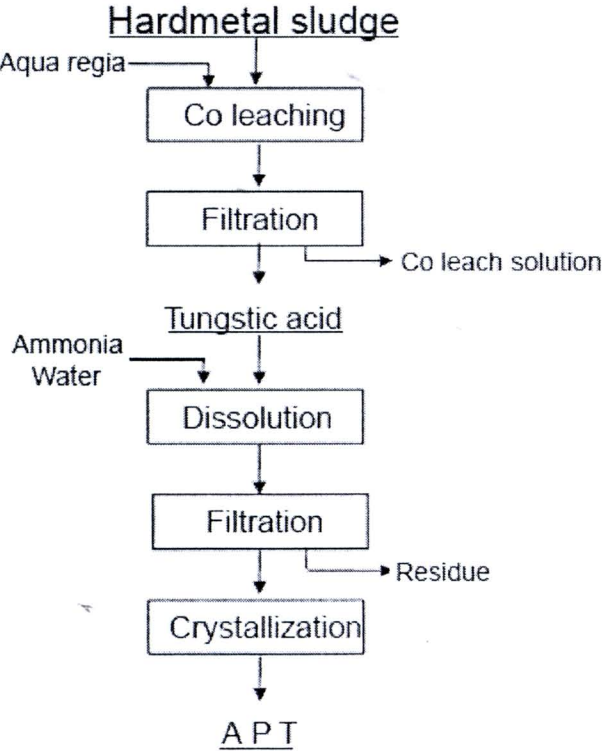
จากรูปที่ 3.36 – 3.37 สามารถอธิบายได้ดังนี้ หลังจากแผ่นมีดผ่านการใช้งานแล้วและเกิดการสึกหรอ เช่น ปลายคมตัดบิ่น เกิดรอยร้าวแตก ไม่สามารถที่จะใช้งานต่อไปได้และกลายเป็นเศษแผ่นมีดได้ทำการแยกแผ่นมีดออกเป็น 2 ชนิด คือ เศษมีดที่เคลือบด้วย Titanium Nitride และ เศษมีดที่เคลือบด้วย Titanium Carbide ซึ่งเป็นเศษมีดที่สามารถสามารถนำไปผ่านกระบวนการแยกสลายต่อไปได้ แต่เศษมีดที่เคลือบด้วย Titanium Nitride หากจะนำไปทำการแยกสลายควรจะทำการกำจัดสารเคลือบออกก่อนเพื่อให้โลหะผงที่ผ่านการแยกสลายทั้งสแตนคาร์ไบด์ มีอินเจ็ปนน้อยที่สุด

3.1.4 การแยกโคบอลต์จากทั้งสแตนคาร์ไบด์

การนำวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ มีกระบวนการแยก 4 วิธี ได้แก่ Hydrometallurgy, Melting, Direct recycling และ Semi direct recycling ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาแนวทางการนำกลับมาใช้ใหม่โดยวิธี Hydrometallurgy ซึ่งเลือกใช้การแยกด้วยเคมีไฟฟ้า (Electrolysis)



รูปที่ 3.38 Sankaran Venkateswaran, Wolf-Dieter Schubert & Benno Lux W-Scrap Recycling by the Melt Bath Technique [46]

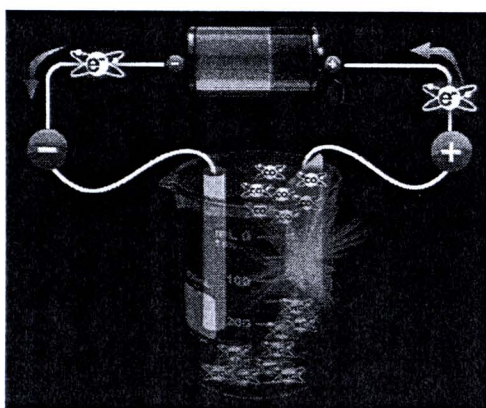


รูปที่ 3.39 Scheme for the processing of WC-Co hard metal sludge. [47]

กรรมวิธีแบบ Hydrometallurgy โดยใช้เคมีไฟฟ้า (Electrolysis) แต่ในกรณีศึกษาที่เราจะใช้ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เป็นตัวละลายโดยมีอุปกรณ์จ่ายแรงดันไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้า ผ่าน สารละลายที่กำหนดเปรียบเทียบกับแรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่ต่างกัน

1) การแยกสลายด้วยไฟฟ้า (Electrolysis) แบบพื้นฐาน

การแยกสลายด้วยไฟฟ้าเป็นคำที่ใช้อธิบายปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในของเหลวที่มีไอออนอยู่ โลหะและกราไฟต์จะนำกระแสไฟฟ้า เพราะอิเล็กตรอนบางตัวมีอิสระที่จะเคลื่อนที่ผ่านผลึกแลตทิซ แต่สารประกอบไอออนิก ที่หลอมเหลว หรือสารประกอบที่แตกตัวเป็นไอออนในสารละลาย จะนำไฟฟ้าได้โดยการเคลื่อนที่ของไอออน

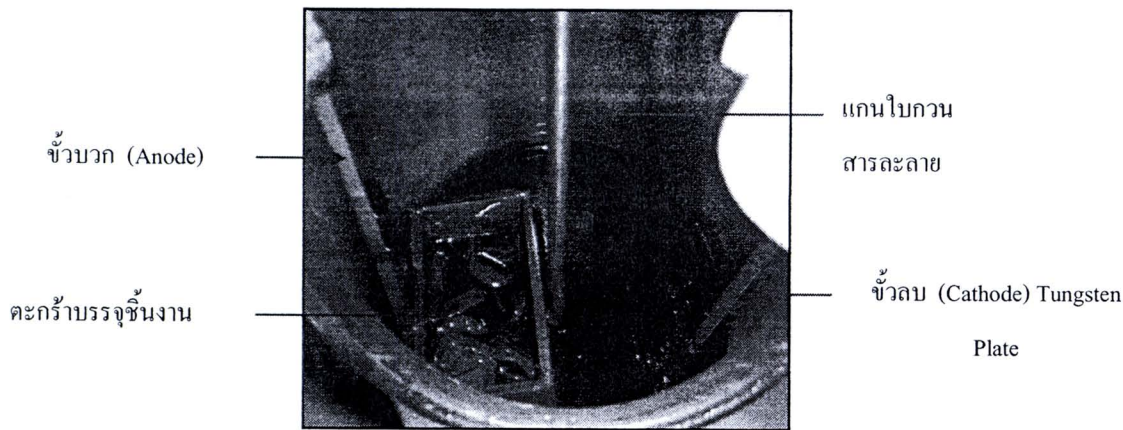


รูปที่ 3.40 รูปจำลองการกักตรอนขึ้นงานคาร์ไบด์ด้วยระบบเคมีไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.40 อธิบายถึงหลักการ เสียอิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอน โดยมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าคือ แบตเตอรี่ ขั้วบวก (Anode) ต่อเข้ากับโลหะที่ต้องการให้ถูกกักตรอน ขั้วลบต่อ (Cathode) เข้ากับเซลล์ไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิง ขั้วบวกจะสูญเสียอิเล็กตรอนและขั้วลบจะรับอิเล็กตรอน

2) กระบวนการ Electrolysis จากอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเป็นกรณีศึกษาการหลักแยกสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ในขั้นพื้นฐาน ได้ทำการออกแบบการทดลองและประยุกต์ใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเพื่อทำการแยกสลายเศษโลหะซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์แสดงไว้ดังรูปที่ 3.41

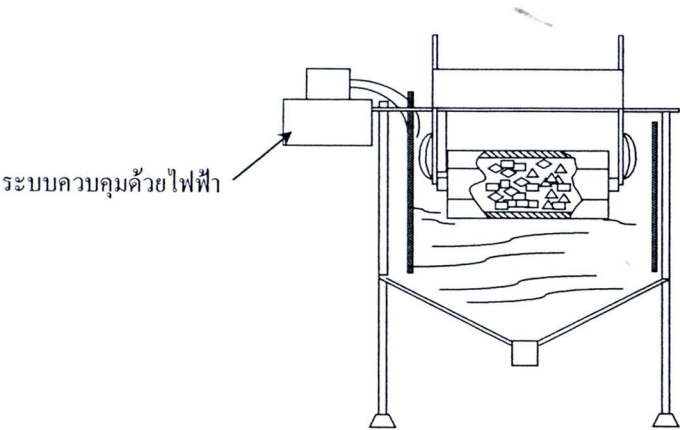




รูปที่ 3.41 การแยกสลายด้วยอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

การออกแบบอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากการทดลองสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีการทางเคมีไฟฟ้า เศษชิ้นงานจะบรรจุในตะกร้าไทเทเนียม เป็นขั้วบวก (Anode) จุ่มในสารละลายที่บรรจุในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตรทำปฏิกิริยาระหว่างขั้วลบ (Cathode) และใช้ใบกวนสารละลายตามรูป 3.41

3) กระบวนการ Electrolysis ด้วยเครื่องแยกสลาย



รูปที่ 3.42 จำลองส่วนต่างๆ ขณะทำการสลายเศษโลหะ [40]

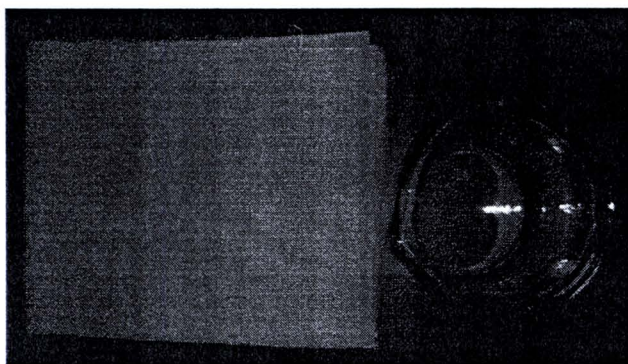
จากรูปที่ 3.42 การออกแบบเครื่องแยกสลายเศษโลหะ มีจุดประสงค์เพื่อจัดสร้างเครื่องและมีประสิทธิภาพในการกักความร้อนวัสดุโดยมีชุดต้นกำลังจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขนาด

90 W ความเร็วรอบ 1,400 rpm ส่งกำลังผ่านระบบเฟืองขับโดยปรับความเร็วรอบได้ในช่วง 3-25 รอบ/นาที ใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 220 โวลต์ กระแสไฟฟ้าจ่ายเป็นกระแสตรง (DC) ปรับตั้งในช่วง 1 - 24 โวลต์ และเลือกใช้กระแสไฟฟ้าในช่วง 0-50 แอมแปร์

3.1.5 การเตรียมโลหะผงสำหรับผลิตแผ่นมีด

1) การเตรียมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

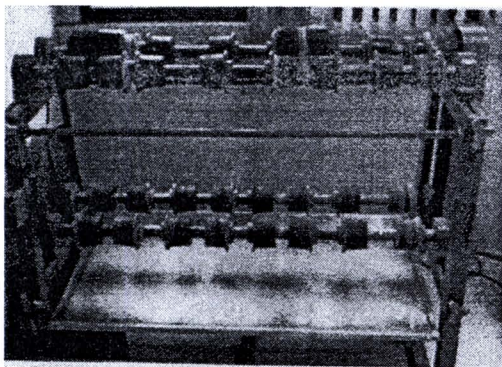
การเตรียมโลหะผงสำหรับผลิตแผ่นมีดมีขั้นตอนการดำเนินการเป็นขั้นตอนมีข้อควรระวังคือการเกิดออกไซด์ของโลหะผงระหว่างขั้นตอนการเตรียม ซึ่งในขั้นตอนการปฏิบัติแสดงดังรูปที่ 3.43 - 3.47



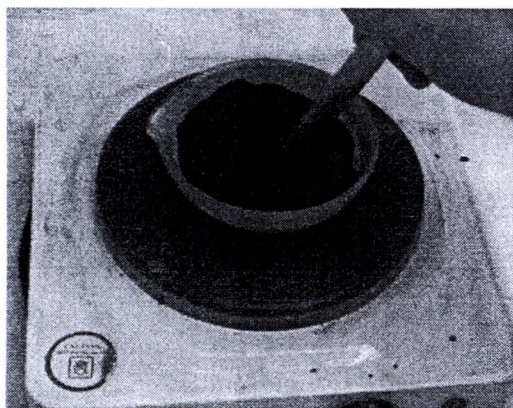
รูปที่ 3.43 เตรียมอุปกรณ์สำหรับการล้างโลหะผง (ผ้าฝ้ายและแอลกอฮอล์)



รูปที่ 3.44 การล้างโลหะผงที่ผ่านกระบวนการแยกสลาย



รูปที่ 3.45 ปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการบด



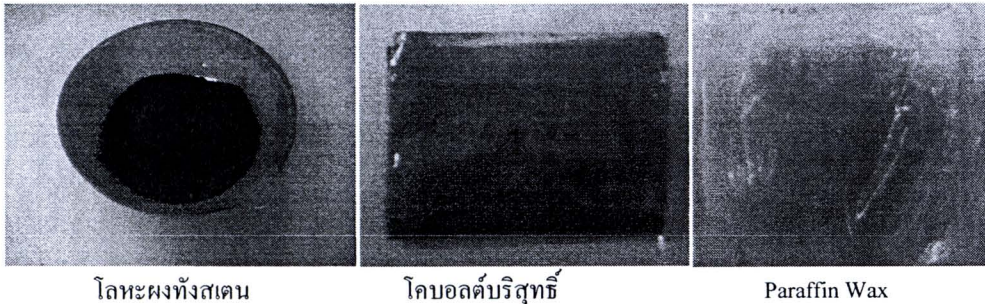
รูปที่ 3.46 การลดความชื้นในโลหะผงโดยตั้งบนเตาไฟฟ้า



รูปที่ 3.47 โลหะผงที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล

จากรูปที่ 3.43– 3.47 แสดงกระบวนการเตรียมโลหะผงที่ผ่านกระบวนการแยกสลายเพื่อนำไปทำการขึ้นรูป เริ่มการนำโลหะผงที่ผ่านการรีไซเคิลมาทำการล้างผ่านผ้าฝ้าย จากนั้นนำไปผ่านการบดเพื่อลดขนาดและเตรียมนำไปผสมโลหะประสานเพื่ออัดขึ้นรูปเป็นแผ่นมีต่อไป

2) การเตรียมโลหะผงสำหรับการนำไปอัดขึ้นรูป



รูปที่ 3.48 การเตรียมส่วนผสม

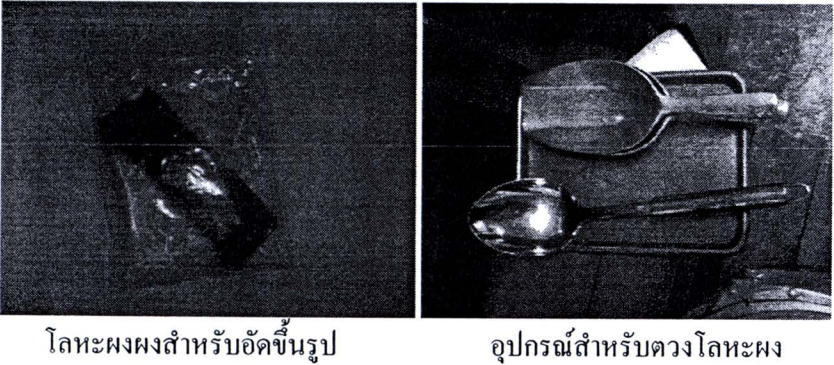


รูปที่ 3.49 การผสมโลหะประสาน

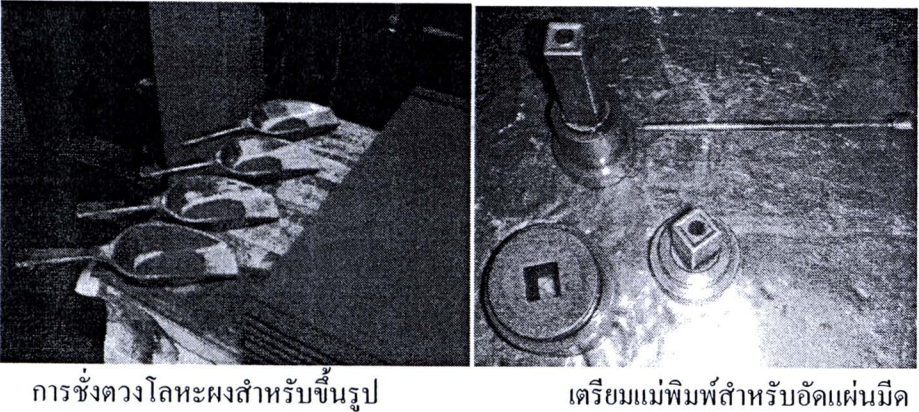
จากรูปที่ 3.48 และ 3.49 เป็นการเตรียมโลหะผงทังสเทนคาร์ไบด์ (WC) โลหะประสานโคบอลต์ (Co) และ สารยึดพาราฟิน (Wax) สำหรับทำการผสมบนเตาไฟฟ้าเพื่อนำไปผลิตเป็นชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ เช่น แผ่นมีด เป็นต้น

3.1.6 กระบวนการขึ้นรูปโลหะผง

ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นมีดตัด จากโลหะผงทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ที่ผ่านกระบวนการผลิต ตรวจสอบสมบัติ วิเคราะห์ และผสมโลหะประสาน การดำเนินการต่อมาเป็นการอัดขึ้นรูปตามแบบหรือแม่พิมพ์ที่ต้องการ ในการผลิตนี้เป็นแผ่นมีดตัดคาร์ไบด์ ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการผลิตได้ตามรูปดังนี้



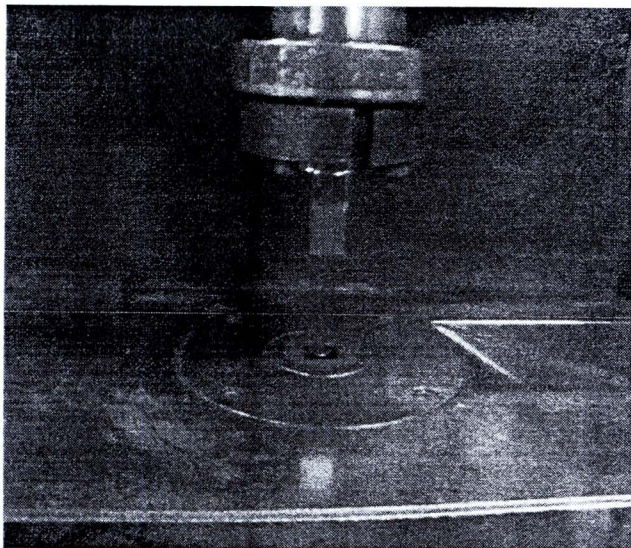
รูปที่ 3.50 เตรียมอุปกรณ์สำหรับการชั่งตวง



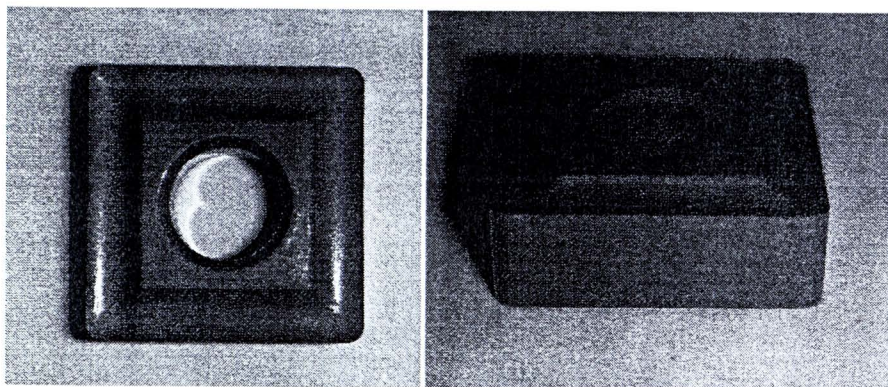
รูปที่ 3.51 การเตรียมโลหะผงและแม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูป

จากรูปที่ 3.50 และ 3.51 เป็นการเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการขึ้นรูปแผ่นมีด ซึ่งประกอบด้วย โลหะผงผสมแล้ว อุปกรณ์ตวงหรือช้อนตวง เครื่องชั่งน้ำหนัก และแม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นมีด เมื่อเตรียมโลหะผงและอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วให้ทำการติดตั้งแม่พิมพ์เข้า

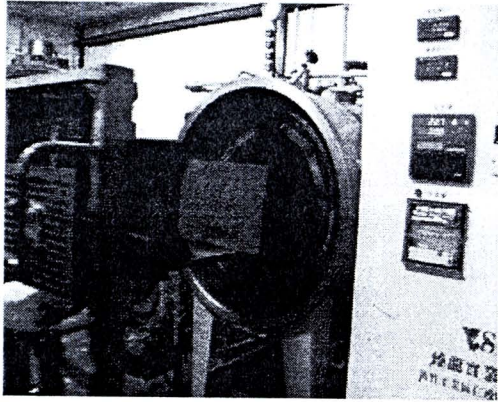
กับเครื่องอัดแล้วทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานตามต้องการ เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วให้เตรียมไว้สำหรับการนำไปอบขึ้นรูปในขั้นตอนต่อไป



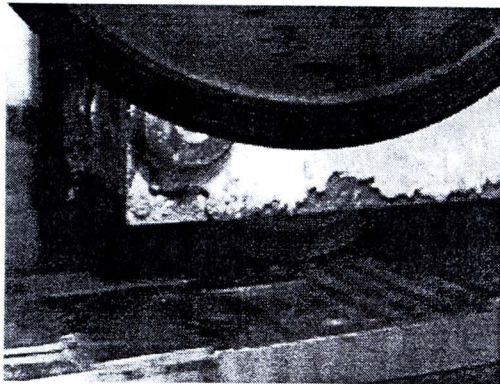
รูปที่ 3.52 การอัดขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นมิดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์



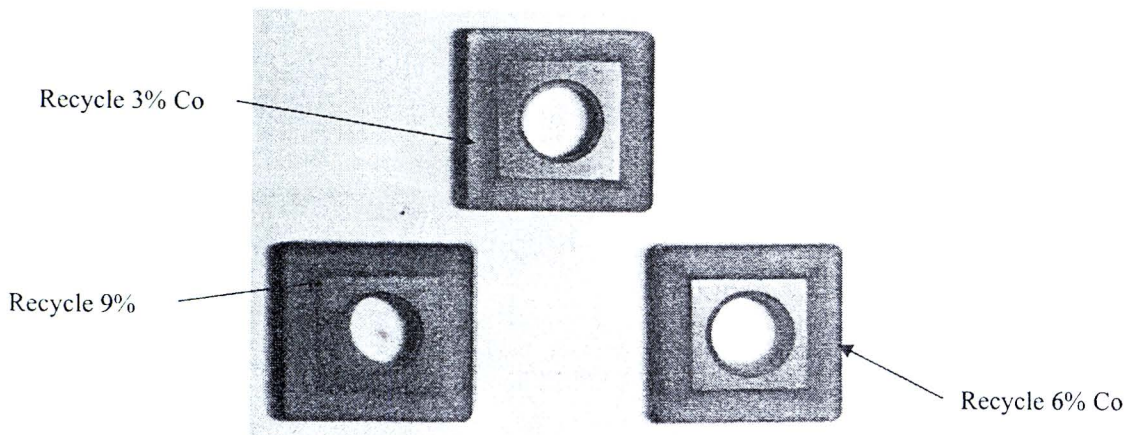
รูปที่ 3.53 ตัวอย่างชิ้นงานแผ่นมิดหลังการอัดขึ้นรูป



รูปที่ 3.54 การอบชิ้นงานแผ่นมีดด้วยเตาสุญญากาศ



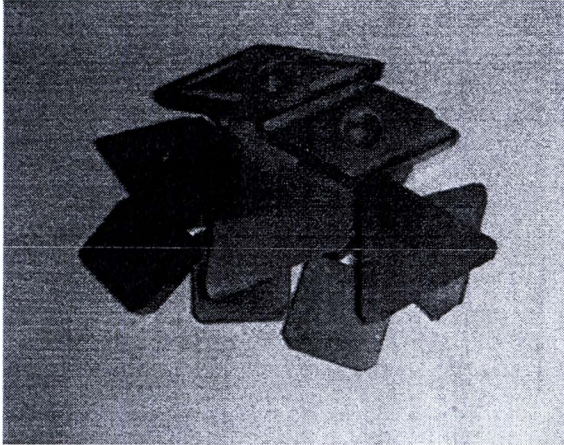
รูปที่ 3.55 การตกแต่งผิวชิ้นงาน



รูปที่ 3.56 ตัวอย่างชิ้นงานแผ่นมีดที่ผ่านการเจียระไน

3.2 ขั้นตอนการผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

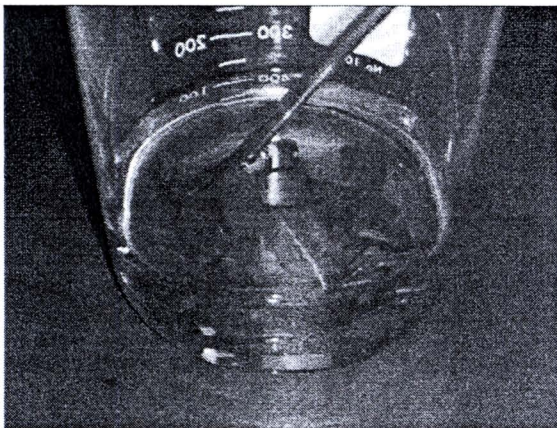
จากการศึกษากระบวนการแยกสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์จึงได้ออกแบบการทดลองและได้ทำการสรุปขั้นตอนการผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.57 การเตรียมเศษโลหะแผ่นมีด

1) ชั่งน้ำหนักเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์

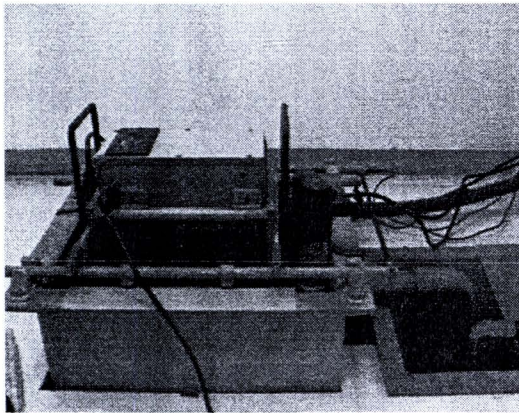
เริ่มการทดลองโดยการชั่งน้ำหนักเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ 1,500 กรัม เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการแยกสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์



รูปที่ 3.58 ทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์

2) ทำความสะอาดเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์

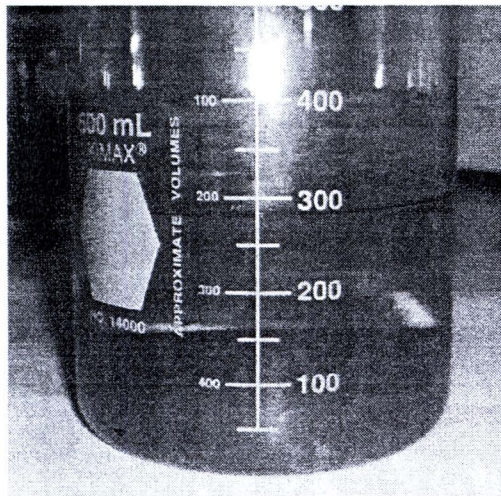
นำเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ที่ผ่านการซังน้ำหนักมาทำความสะอาด โดยการล้างด้วย แอลกอฮอล์



รูปที่ 3.59 เครื่องแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์

3) ดำเนินการแยกสลายเศษซีเมนต์สแตนคาร์ไบด์

เมื่อทำการคัดแยกเศษโลหะได้แล้วให้นำเศษโลหะที่ต้องการมาแยกสลายด้วย เครื่องแยกสลายเศษโลหะ



รูปที่ 3.60 การตกตะกอนของโลหะผงจากกระบวนการแยกสลาย

4) เมื่อทำการแยกสลายได้ครบตามเวลาที่ได้ออกแบบไว้ให้นำสายละลายที่ได้มาพักไว้ให้ตกตะกอนในบีกเกอร์ จากนั้นล้างด้วยแอลกอฮอล์



รูปที่ 3.61 การไล่ความชื้นด้วยการให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้า

5) นำตะกอนโลหะผงตั้งบนเตาไฟฟ้าเพื่อไล่ความชื้นของผงโลหะ จากนั้นทำการเทลงในถ้วยเซรามิกพร้อมคนด้วยแท่งสแตนเลสอีกครั้ง

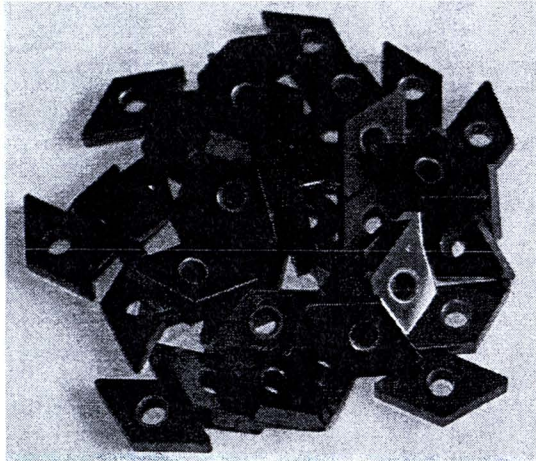


รูปที่ 3.62 การบรรจุเพื่อตรวจสอบน้ำหนักโลหะผงจากกระบวนการรีไซเคิล

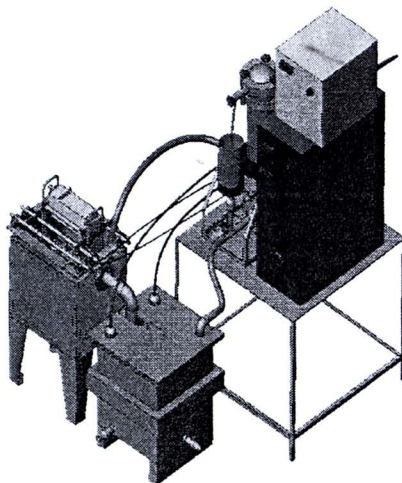
6) บรรจุโลหะผงที่ได้จากกระบวนการผลิตและตรวจสอบน้ำหนักรวมถึงสมบัติอื่นๆ เช่น ลักษณะเกรน size ชนิดสารประกอบ ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค เป็นต้น

7) ทำการผสมโลหะผงที่ได้จากกระบวนการผลิต ประกอบด้วย ผงทังสเตนคาร์ไบด์ โคบอลต์ และ Wax เพื่อเตรียมนำไปอัดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานโลหะแข็งตามต้องการ

3.2.1 เทคโนโลยีพื้นฐานในการผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์

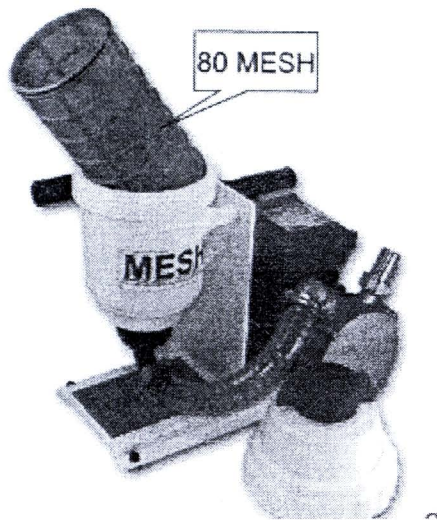


รูปที่ 3.63 เศษซีเมนต์คาร์ไบด์



รูปที่ 3.64 เครื่องจำลองสำหรับแยกสลายเศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์

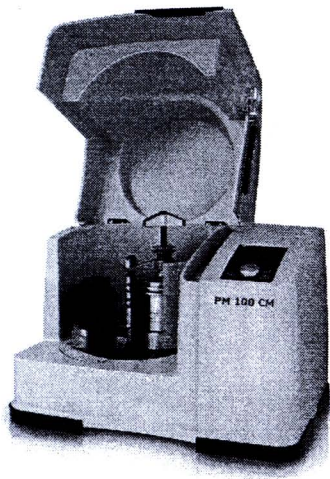




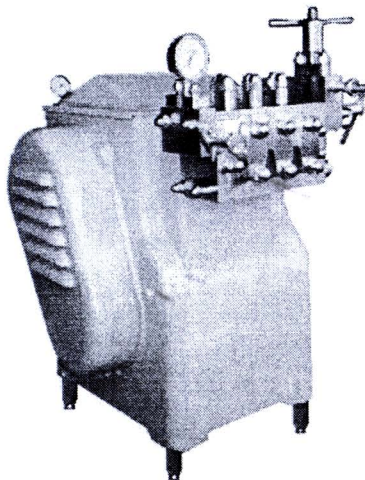
รูปที่ 3.65 เครื่องกรองโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์



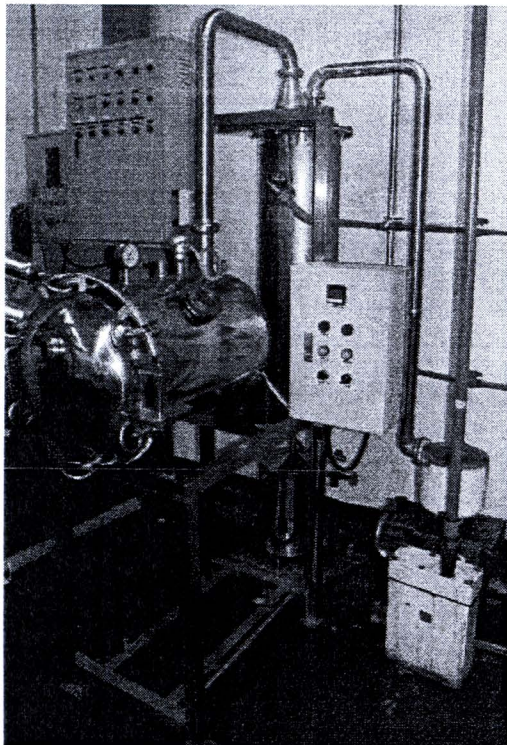
รูปที่ 3.66 เครื่องคัดขนาดโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์



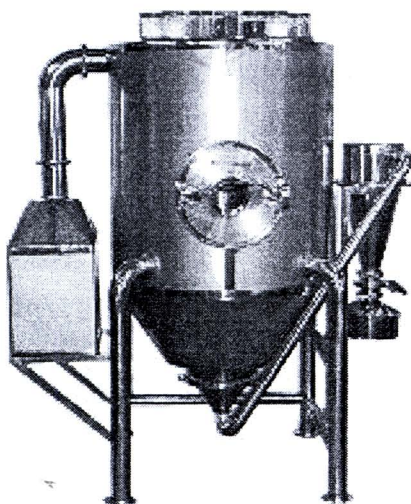
รูปที่ 3.67 เครื่องบดโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์



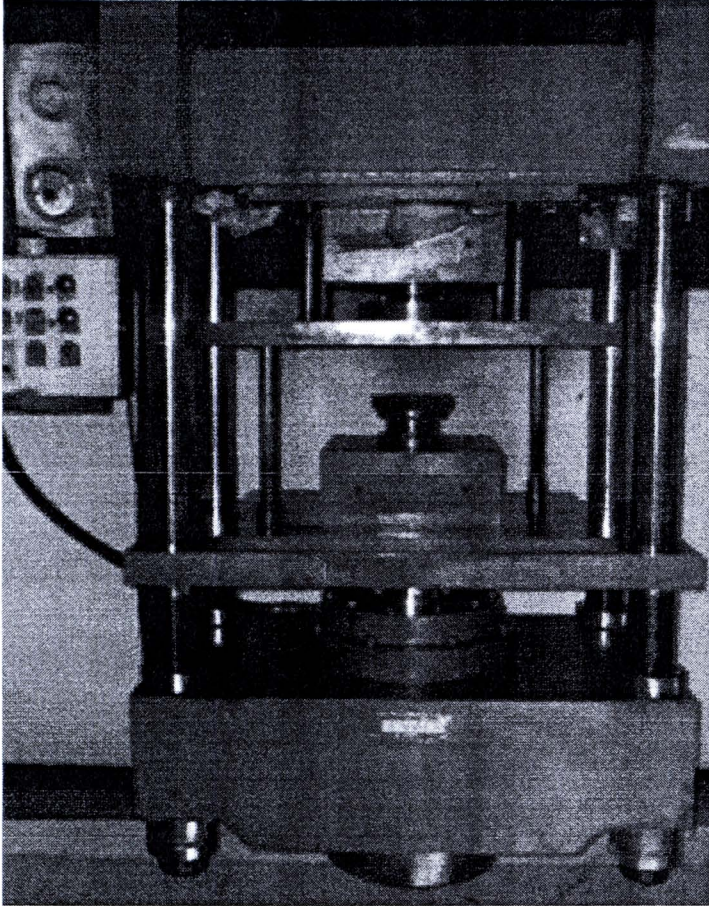
รูปที่ 3.68 เครื่องผสมโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์



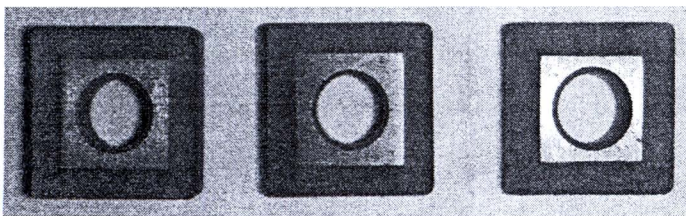
รูปที่ 3.69 เตาอบโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์



รูปที่ 3.70 เครื่องบรรจุโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์



รูปที่ 3.71 เครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน ซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์

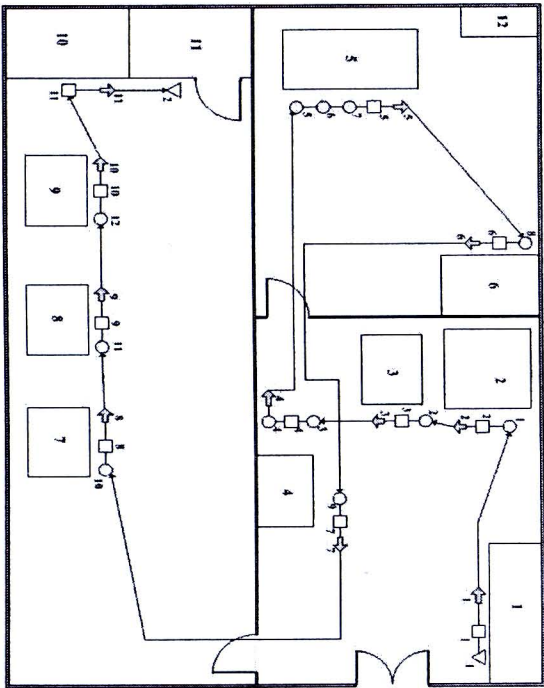


รูปที่ 3.72 ชิ้นงานแผ่นมีดซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์

3.2.2 การออกแบบและวางแผนการผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

การวางแผนโรงงานเพื่อสะดวกในการจัดการพื้นที่การใช้สอยในแผนการผลิต

1) การออกแบบผังบริเวณโรงงาน (Planning Design) ในการออกแบบผังโรงงาน ต้องคำนึงถึง ระยะทางในการเคลื่อนที่ของวัตถุ เวลาในการเคลื่อนย้ายวัตถุ ที่ทำให้ปลอดภัยและประหยัดเวลาในการทำงาน



รูปที่ 3.73 การออกแบบผังบริเวณโรงงาน ขนาดของโรงงาน 10 x 9 เมตร (Planning Design) [6]

จากรูปที่ 3.73 เป็นการออกแบบผังบริเวณโรงงานผลิตผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ ประกอบด้วย 12 หมายเลข คือ 1. Store 2. เครื่องล้าง 3. เครื่องซัง 4. เครื่องอบ 5. เครื่องผลิตผง 6. เครื่องกรอง 7. เครื่องคัด 8. เครื่องบด 9. เครื่องบรรจุ 10. ตรวจสอบ QC 11.ห้องเก็บผลิตภัณฑ์ 12.อ่างล้างมือ

2) แผนภูมิกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) ผงทั้งสเดนคาร์ไบด์

CHART NO. SHEET NO. OF.		SUMMARY									
SUBJECTE CHARTED			ACTIVITY		PRESENT	PROPOSED			SAVING		
			OPERATION ○		11						
			TRANSPORT ⇨		11						
			ACTIVITY		DELAY D					1	
INSPECTION □		11									
STORAGE ▽		2									
METHOD PRESENT/PROPOSED			DISTANCE (m)		31.5						
LOCATION			TIME(Man-hr)		5,792						
OPERATIVE CLOCK NO.			COST								
CHARTED BY. DATE:			TOTAL								
APPROVED BY DATE:											
DESCRIPTION			QTY (pcs.)	DISTANCE (m.)	TIME (min)	SYMBOL ○⇨D□▽			REMARKS		
1. เศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์อยู่ที่STORE			-	-							
2. ตรวจสอบคัดแยกเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์			-	-	30						
3. นำ เศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์ไปล้าง			-	3							
4. ล้างเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์			1500 g	-	120						
5. ตรวจสอบความสะอาดของเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์			1500 g	-	30						
6. นำเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์ไปซัง			1500 g	1							
7. ชั่งเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์			1500 g	-	30						
8. ตรวจสอบน้ำหนักเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์ให้ได้ 1500g			1500 g	-	30						
9. นำเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์ไปอบ			1500 g	2							
10. อบเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์ให้แห้ง			1500 g	-	120						
11. ตรวจสอบความแห้งของเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์			1500 g	-	30						
12. ให้เศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์เย็นตัว			1500 g	-	240						
13. นำเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์ไปยังเครื่องผลิตผง			1500 g	6							
14. ทำการช้อนเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์			1500 g	-	2880						
15. จากเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์กลายเป็นโคลน			1500 g	-							

รูปที่ 3.74 แผนภูมิกระบวนการผลิตผงทั้งสเดนคาร์ไบด์ [6]

CHART NO. SHEET NO. OF.		SUMMARY							
SUBJECTE CHARTED		ACTIVITY		PRESENT	PROPOSED			SAVING	
		OPERATION ○		11					
		TRANSPORT ⇨		11					
ACTIVITY		DELAY D		1					
		INSPECTION □		11					
		STORAGE ▽		2					
METHOD PRESENT/PROPOSED		DISTANCE (m)		31.5					
LOCATION		TIME(Man-hr)		5,792					
OPERATIVE CLOCK NO.		COST							
CHARTED BY. DATE:		TOTAL							
APPROVED BY DATE:									
DESCRIPTION	QTY (pcs.)	DISTANCE (m.)	TIME (min)	SYMBOL					REMARKS
				○	⇨	D	□	▽	
16. รอให้โคลนตกตะกอน	1500 g	-	360			●			
17. ตรวจสอบการตกตะกอนของโคลน	1500 g	-	30				●		
18. นำโคลนไปยังเครื่องกรอง	-	2				●			
19. กรองโคลนให้เป็นผงเปียก	1200 g	-	120	●					
20. ตรวจสอบขนาดผงเปียกที่ได้	1200 g	-	30				●		
21. นำผงเปียกไปอบ	1200 g	5				●			
22. อบผงเปียกให้แห้ง	1200 g	-	120	●					
23ตรวจสอบความแห้งของผงหยาบ	1200 g	-	30					●	
24. นำผงหยาบที่แห้งแล้วไปคัดขนาด	1200 g	9				●			
25. คัดขนาดของผงหยาบ	1200 g	-	60	●					
26. ตรวจสอบขนาดผงหยาบ	1200 g	-	30					●	
27. นำผงที่คัดไม่ผ่านไปบด	1200 g	1				●			
28. บดผงหยาบให้เป็นผงละเอียด	1200 g	-	1,440	●					
29. ตรวจสอบความละเอียดของผงที่ได้	1200 g	-	30					●	
30. นำผงที่ได้ไปบรรจุ	1200 g	1				●			

รูปที่ 3.74 แผนภูมิกระบวนการผลิตผงทั้งสเดนคาร์ไบด์ (ต่อ) [6]

3.3 การออกแบบสร้างเครื่องกัดกร่อน

3.3.1 ระบบการทำงานของเครื่องแยกสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (เครื่องกัดกร่อน)

ในการออกแบบการทำงานของเครื่องแยกสลายนั้นจะต้องประกอบด้วยส่วนต่างๆ เช่น ระบบมอเตอร์ ระบบการหมุนของถังบรรจุชิ้นงาน ระบบให้ความร้อน ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ ระบบจ่ายกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

1) ระบบการทำงานของมอเตอร์

โดยมีชุดคั่นกำลังจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า AC ขนาด 90 W ความเร็วรอบ 1,400 รอบ/นาที ส่งกำลังผ่านระบบเฟืองขับโดยปรับความเร็วรอบได้ในช่วง 0 - 25 รอบ/นาที เป็นตัวขับเคลื่อนในการหมุนของถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel) เพื่อจะทำให้ชิ้นงานเกิดการสัมผัสกับขี้เถ้าเอนโดเพื่อทำปฏิกิริยาในการกัดกร่อน

2) ระบบหมุนของถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)

ถังบรรจุชิ้นงานจะมีทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกา โดยอ้างอิงจากสิทธิบัตร United States Patent No. 4,234,333 ของสหรัฐอเมริกา การหมุนของถังบรรจุชิ้นงาน หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกาโดยการส่งกำลังด้วยเฟืองขับมีคั่นกำลังมอเตอร์เกียร์สามารถปรับความเร็วรอบได้ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาในการกัดกร่อนดีกว่าการหมุนตามเข็มนาฬิกา

คำนวณปริมาณชิ้นงานที่บรรจุลงในถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)

$$D = 184.752 \text{ mm.}, d = 160 \text{ mm.}, l = 92.376 \text{ mm.}, h = 300 \text{ mm.},$$

$$\alpha = 60^\circ, \beta = 120^\circ$$

คำนวณพื้นที่หน้าตัด A

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.22)} \quad A &= \frac{n \times l \times d}{4} \\ &= \frac{6 \times 92.37 \text{ mm.} \times 160 \text{ mm.}}{4} \\ &= 22,168.8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{จากสมการ (2.23)} \quad V = \frac{n \times l \times d}{4} \cdot h$$

$$\therefore \text{ ปริมาตรของ (Barrel)} = 22,168.8 \text{ mm}^2 \times 300 \text{ mm.}$$

$$= 6,650,640 \text{ mm}^3 \text{ หรือ } 6,650.640 \text{ cm}^3$$

จากการบรรจุเศษมีด 3 kg. จะมีปริมาตร $= 613.5223 \text{ cm}^3$

$$\begin{aligned}\therefore \text{จำนวนชิ้นงานที่บรรจุ} &= (6,650.640 \text{ cm}^3 / 613.5223 \text{ cm}^3) \cdot 3 \text{ kg.} \\ &= 32.522 \text{ kg.}\end{aligned}$$

ดังนั้น ถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel) สามารถบรรจุวัสดุเศษซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์ได้จำนวน 32.52 กิโลกรัม จาก U.S. Patent 4,234,333 อธิบายว่าการกัดกร่อนโลหะจะมีประสิทธิภาพต้องมีวัสดุซีเมนต์ทั้งสเดนคาร์ไบด์ WC ปริมาณ $\frac{1}{4}$ ของถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel) คือ 8.13 kg. จึงจะมีการกัดกร่อนที่ดี

3) ระบบส่งกำลังด้วยเฟืองขับ

กั๊ดเฟืองตรงตัวที่ 1 มีจำนวนฟัน 14 ฟัน จำนวนฟันต่อมิลลิเมตร $m = 4.5$

คำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางพิตซ์

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ (2.5)} \quad d &= m \times z \\ &= 4.5 \times 14 = 63 \text{ mm.}\end{aligned}$$

คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน

ช่องว่างยอดฟันเฟือง $C = 0.1 \times m$ ถึง $0.3 \times m$ ส่วนใหญ่ใช้ $= 0.167$

$$\begin{aligned}C &= 0.167 \times 0.167 \\ &= 0.75\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ (2.7)} \quad df &= d - 2 \times (m + c) \\ &= 0.167 \times 4.5 \\ &= 63 - 2 \times (4.5 + 0.75) \\ &= 52.5 \text{ mm.}\end{aligned}$$

คำนวณความสูงของฟัน

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ (2.8)} \quad h &= 2 \times m + c \\ &= 2 \times 4.5 + 0.75 \\ &= 9.75 \text{ mm.}\end{aligned}$$

คำนวณความสูงของโคนฟัน

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ (2.9)} \quad hf &= m + c \\ &= 4.5 + 0.75 \\ &= 5.25 \text{ mm.}\end{aligned}$$

กััดเฟืองตรงตัวที่ 2 มีจำนวนฟัน 27 ฟัน จำนวนฟันต่อมิลลิเมตร $m = 4.3$

คำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ (2.5)} \quad d &= m \times z \\ &= 4.3 \times 27 = 118 \text{ mm.}\end{aligned}$$

คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน

$$\begin{aligned}\text{ช่องว่างยอดฟันเฟือง } C &= 0.1 \times m \text{ ถึง } 0.3 \times m \text{ ส่วนใหญ่ใช้ } = 0.167 \\ C &= 0.167 \times 4.3 \\ &= 0.72\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ (2.7)} \quad df &= d - 2 \times (m + c) \\ &= 118 - 2 \times (4.3 + 0.72) \\ &= 108 \text{ mm.}\end{aligned}$$

คำนวณความสูงของฟัน

$$\text{จากสมการ (2.8)} \quad h = 2 \times m + c$$

$$= 2 \times 4.3 + 0.72$$

$$= 9.32 \text{ mm.}$$

คำนวณความสูงของโคนฟัน

$$\text{จากสมการ (2.9) } hf = m + c$$

$$= 4.3 + 0.72$$

$$= 5.02 \text{ mm.}$$

กั๊ดเฟืองตรงตัวที่ 3 มีจำนวนฟัน 56 ฟัน จำนวนฟันต่อมิลลิเมตร $m = 4.3$

คำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์

$$\text{จากสมการ (2.5) } d = m \times z$$

$$= 4.3 \times 56 = 240.8 \text{ mm.}$$

คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน

$$\text{ช่องว่างยอดฟันเฟือง } C = 0.1 \times m \text{ ถึง } 0.3 \times m \text{ ส่วนใหญ่ใช้ } = 0.167$$

$$C = 0.167 \times 4.3$$

$$= 0.72$$

$$\text{จากสมการ (2.7) } df = d - 2 \times (m + c)$$

$$= 240 - 2 \times (4.3 + 0.72)$$

$$= 230 \text{ mm.}$$

คำนวณความสูงของฟัน

$$\text{จากสมการ (2.8) } h = 2 \times m + c$$

$$= 2 \times 4.3 + 0.72$$

$$= 9.32 \text{ mm.}$$



คำนวณความสูงของโคนฟัน

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ (2.9)} \quad hf &= m + c \\ &= 4.3 + 0.72 \\ &= 5.02 \text{ mm.}\end{aligned}$$

คำนวณอัตราความเร็วของเฟือง

เฟืองฟันตรง 3 ตัวขับเคลื่อนด้วยรูปส่งกำลังเฟืองติดกับแกนมอเตอร์เฟืองขับตัวที่ 1 มีจำนวนฟัน 14 ฟัน เฟืองตามตัวที่ 2 มีจำนวนฟัน 27 ฟัน เฟืองขับตัวที่ 3 มีจำนวน 56 ฟันเฟือง หาอัตราความเร็วของเฟืองตัวที่ 1 , 2 และตัวที่ 3

N_1 = ความเร็วรอบ	120	rpm
Z_1 = จำนวนฟันเฟืองขับ	14	mm.
Z_2 = จำนวนฟันเฟืองตาม	27	mm.
Z_3 = จำนวนฟันเฟืองขับ	56	mm.

คำนวณความเร็วรอบ N_2

$$\text{จากสมการ (2.11)} \quad N_1 \times Z_1 = N_2 \times Z_2$$

$$\begin{aligned}N_2 &= \frac{N_1 \times Z_1}{Z_2} \\ &= 120 \times (14 / 27) \\ &= 62.22 \text{ rpm}\end{aligned}$$

อัตราความเร็วของเฟืองตาม $N_2 = 62.22$ รอบ / นาที

คำนวณความเร็วรอบ N_3

$$\text{จากสมการ (2.11)} \quad N_2 \times Z_2 = N_3 \times Z_3$$

$$\begin{aligned}N_3 &= \frac{N_2 \times Z_2}{Z_3} \\ &= 62.22 \times (27 / 56) \\ &= 30 \text{ rpm.}\end{aligned}$$

อัตราความเร็วของเฟืองตาม $N_3 = 30$ รอบ / นาที

การส่งกำลังด้วยเฟือง : ทดหลายชั้น

จากสมการ (2.12) อัตราทดรวม $i = \frac{Z_2 \times Z_3}{Z_1 \times Z_2}$

$$i = \frac{27 \times 56}{14 \times 27}$$

$$= 4$$

4) ระบบความร้อน

ให้ความร้อนโดยใช้ฮีตเตอร์แก้ว ขนาด 1 กิโลวัตต์ 220 โวลต์ และมี ชุดควบคุม อุณหภูมิ ขนาด 2 กิโลวัตต์ 220 โวลต์ แบบดิจิตอล เนื่องจากมีสมบัติถ่ายเทความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งานเช่น งานค้ำน้ำ - ค้ำน้ำมัน งานผสมสาร เป็นต้น

5) ระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 220 โวลต์ กระแสไฟฟ้าจ่ายเป็น กระแสตรง (DC) ปรับได้ในช่วง 1-15 Volt และมีกระแสไฟฟ้าปรับได้ในช่วง 0-10 แอมแปร์ จ่ายเข้าไปยังขั้วแอโนด (+) และขั้วแคโทด (-) เพื่อทำปฏิกิริยาในการกัดกร่อนโลหะ

6) การไหลเวียนของสารละลาย

ใช้ระบบปั๊มสารละลายที่มีสมบัติสามารถทนกรด และทนความร้อน ความร้อน คูณ สารละลายจากถังพักไปยังถังทำงาน สารละลายมีระบบไส้กรองผงโลหะในตัว สารละลาย ไหลเวียนได้ตลอดเวลาเพื่อกรองผงโลหะ

การคำนวณปริมาตรถึงทำงาน

จากสมการ (2.14) $V = l * b * h$

ถึงทำงานทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $l = 55 \text{ cm}, b = 44 \text{ cm}, h = 33 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรทรงสี่เหลี่ยม} \quad V &= 55 \text{ cm} \times 44 \text{ cm} \times 33 \text{ cm} \\ &= 79,860 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

จากสมการ (2.13) $V = \frac{h}{3} \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2})$

ถึงทำงานทรงปริระมิดตัดมีขนาด

$$l_1 = 55 \text{ cm}, b_1 = 44 \text{ cm}, l_2 = 3 \text{ cm}, b_2 = 3 \text{ cm}, h = 18.2 \text{ cm}$$

ปริมาตรทรงปรีระมิดตัด

$$\begin{aligned}
 &= \frac{18.2 \text{ cm}^2}{3} \times (2,420 \text{ cm}^2 + 9 \text{ cm}^2 + \sqrt{(2,420 \text{ cm}^2 \times 9 \text{ cm}^2)}) \\
 &= \frac{18.2 \text{ cm}^2}{3} \times (2,576.5804 \text{ cm}^2) \\
 &= 15,631.255 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

ปริมาตรรวมถังทำงาน

$$\begin{aligned}
 &= 79,860 \text{ cm}^3 + 15,631.255 \text{ cm}^3 \\
 &= 95,491.255 \approx 96 \text{ L}
 \end{aligned}$$

ข) การคำนวณปริมาตรถังพักสารละลาย

จากสมการ (2.14) $V = l \times b \times h$

ถังทำงานทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $l = 45 \text{ cm}, b = 45 \text{ cm}, h = 33 \text{ cm}$

ปริมาตรทรงสี่เหลี่ยม $V = 45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm} \times 33 \text{ cm}$
 $= 66,825 \text{ cm}^3$

จากสมการ (2.13) $V = \frac{h}{3} \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2})$

ถังทำงานทรงปรีระมิดตัดมีขนาด

$$l_1 = 45 \text{ cm}, b_1 = 45 \text{ cm}, l_2 = 3 \text{ cm}, b_2 = 3 \text{ cm}, h = 9.1 \text{ cm}$$

ปริมาตรปรีระมิดตัด

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{9.1 \text{ cm}^2}{3} \right) \times (2,025 \text{ cm}^2 + 9 \text{ cm}^2 + \sqrt{(2,025 \text{ cm}^2 \times 9 \text{ cm}^2)}) \\
 &= \frac{9.1 \text{ cm}^2}{3} \times (2,126 \text{ cm}^2) \\
 &= 6,579.3 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

ปริมาตรรวมถังพักรวม

$$\begin{aligned}
 &= 66,825 \text{ cm}^3 + 6,579.3 \text{ cm}^3 \\
 &= 73,404.3 \approx 73 \text{ L}
 \end{aligned}$$

7) ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ

ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบเติมของเหลวในหลอดแก้ว เทอร์โมมิเตอร์แบบนี้ใช้วัดอุณหภูมิซึ่งใช้ความแตกต่างของการขยายตัวนี้เป็นตัวบอกระดับอุณหภูมิเทอร์โมสแตท (Thermostat)

ตัวควบคุมอุณหภูมิของระบบการทำงานทำความร้อน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้ความดันในตัวเปราะ (Thermo bulb) ไปดันคอนแทคไฟฟ้าเปิด / ปิด ตัวควบคุมอุณหภูมิจะตัดไฟเมื่อมีอุณหภูมิเกินที่กำหนดไว้

3.3.2 การเลือกวัสดุอุปกรณ์เพื่อการผลิต

1) ทองแดง (Copper) เลือกนำมาสร้างทำเพลานำไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้า จ่ายกระแสไฟไปยังขั้วลบ (-) กับขั้วบวก (+)

สมบัติของทองแดงเป็นโลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี

ความหนาแน่น $8.90 - 8.96 \text{ kg/dm}^3$	จุดหลอมเหลว $1083 \text{ }^{\circ}\text{C}$
ความเค้นยืดหยุ่น 125000 N/mm^2	สัมประสิทธิ์การขยายตัว $17.10 \cdot 10^{-6}/\text{K}$
ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า $35 - 58 \text{ m}/\Omega\cdot\text{mm}^2$	
ความสามารถในการนำความร้อน $240 - 386 \text{ W/K}\cdot\text{m}$	
ความต้านแรงดึง $200 - 360 \text{ N/mm}^2$	ความยืดหยุ่นระหว่าง $2 - 45 \%$

2) พลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) เลือกนำมาสร้างถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel) ถึงพักสารละลาย และผนังกันกระแสไฟ สมบัติของโพลีโพรพิลีน ทนต่อการแปรรูปด้วยความร้อน ทนต่อแรงดึง แรงกระแทกและทรงตัวดี ผิวแข็งไม่มีแนวโน้มของการสึกกร่อน นำเชื้อโรคที่อุณหภูมิ $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ได้ ไม่ดูดซึมน้ำจะเปราะที่อุณหภูมิ $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

3) โพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) อุปกรณ์ส่วนหนึ่งที่ใช้ในเครื่องกักกร่อนพวก วาล์วน้ำ ซิลยางกันน้ำรั่ว และร่องตัวยู

สมบัติโพลีเอทิลีน มีความแข็งแรงสูง ทนอุณหภูมิสูงและคงรูป อุณหภูมิที่ใช้งานได้เป็นระยะเวลานานๆ $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$

การทนต่อสารเคมี : ทนต่อกรด ต่าง

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (λ) : $1.38 \text{ kJ/mh }^{\circ}\text{C}$

ค่าความร้อนจำเพาะ C_p : $1.88 \text{ kJ/mh }^{\circ}\text{C}$

ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ (ρ) : ที่อุณหภูมิ $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เท่ากับ $0.94 - 0.96 \text{ g/cm}^3$

4) พีวีซี (Polyvinylchloride: PVC) อุปกรณ์ส่วนหนึ่งที่ใช้ในเครื่องกักกร่อนพวก ข้อต่อ ท่อล้นของสารละลาย

สมบัติโดยทั่วไปของผลผลิต : มีความแข็งแรงสูง แข็งเหนียว ไม่สึกกร่อน ติดไฟยาก อุณหภูมิที่ใช้งานได้เป็นเวลานานๆ: 60-70 °C

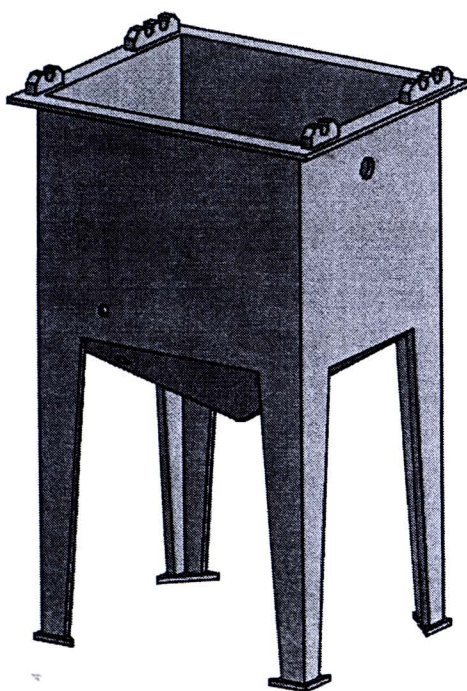
การทนต่อสารเคมี : ทนต่อกรดและด่าง แอลกอฮอล์ น้ำมันเครื่องและไขมัน

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.59 KJ/mh °C ความหนาแน่น (p) ที่อุณหภูมิ 20 °C เท่ากับ 1.4 g/cm³ อัตราการหดตัวอยู่ระหว่าง 0.4 – 0.5 %

3.3.3 ออกแบบส่วนประกอบ

3.3.3.1 การออกแบบถังบรรจุสารละลาย (Tank) เลือกวัสดุที่ทำโพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) มีสมบัติต้านทานการกัดกร่อนดี สะดวกในงานสร้างประกอบหรือขึ้นรูปทั่วไปได้

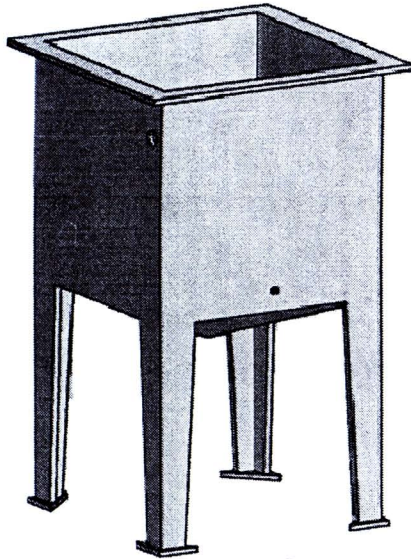
ทำหน้าที่ยังบรรจุสารละลาย ถึงทำงานที่มีขนาด 450×560×1,040 mm. มีรูล้นของสารละลาย ด้านข้างสำหรับไหลลงถึงพักสารละลาย และมีที่ระบายสารละลายด้านล่าง ด้านหน้ามีท่อน้ำทิ้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm. สำหรับระบายน้ำทิ้ง



รูปที่ 3.75 ถังบรรจุสารละลาย (Tank) ขนาด 450×560×1,040 mm.

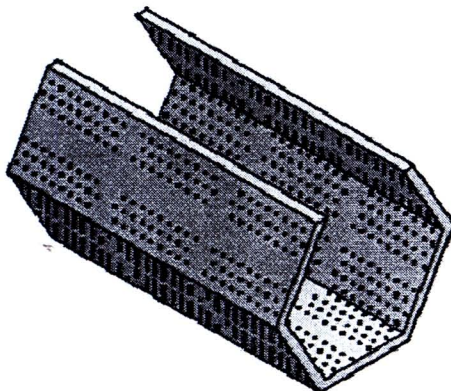
3.3.3.2 การออกแบบถังพักสารละลาย เลือกว่าวัสดุที่ทำจากพลาสติกโพลีโพรพิลีน

การทนต่อสารเคมี ทนต่อการด่อน ค้างอ่อน ทนแรงกระแทกสูงและทนความร้อนได้สูง รับภาระบรรจุสารละลายเพื่อไหลเวียนไปยังถังทำงาน มีหน้าที่บรรจุสารละลายเพื่อให้ปั๊มดูดสารละลายให้ไหลเวียนไปยังถังบรรจุสารละลาย (Tank) จากนั้นสารละลายสลับกลับมายังถังพักและไหลเวียนตลอดเวลา

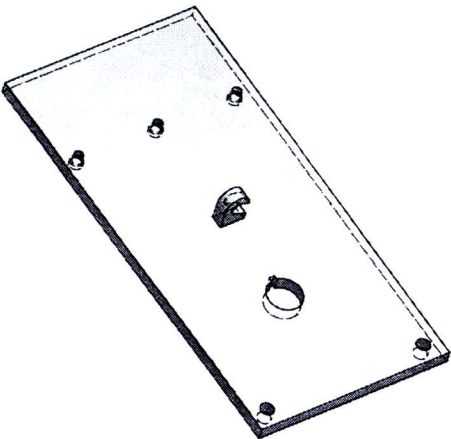


รูปที่ 3.76 ถังพักสารละลาย ขนาด 450×450×867 mm.

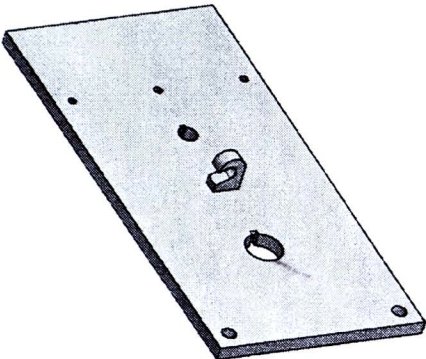
3.3.3.3 ออกแบบถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel) เลือกว่าวัสดุที่ทำจากพลาสติกโพลีโพรพิลีน



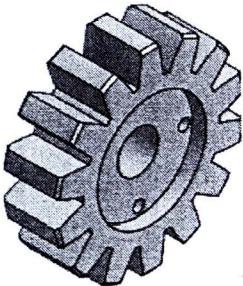
รูปที่ 3.77 ชิ้นส่วนถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)



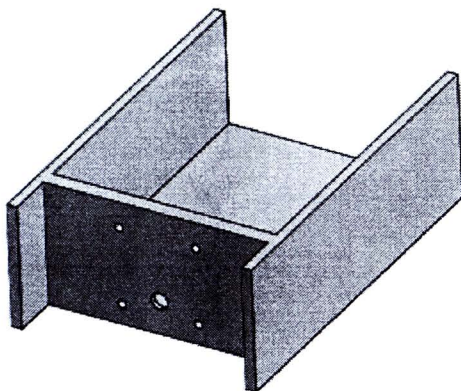
รูปที่ 3.78 ชิ้นส่วนผนังด้านซ้ายถึงบรรจุชิ้นงาน (Barrel) ขนาด 200x3486x15 mm.



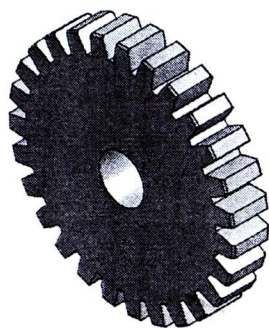
รูปที่ 3.79 ชิ้นส่วนผนังด้านซ้ายถึงบรรจุชิ้นงาน (Barrel) ขนาด 200x3486x15 mm.



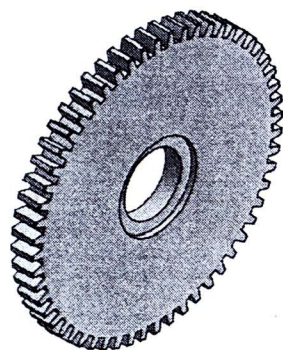
รูปที่ 3.80 ชิ้นส่วนเฟืองขับถึงบรรจุชิ้นงาน ขนาดความโต 67 mm. 6 DP จำนวน 14 ฟัน



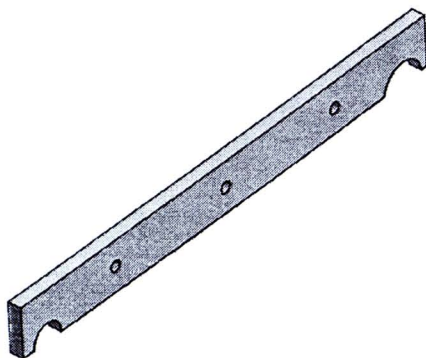
รูปที่ 3.81 ชิ้นส่วนกล่องใส่มอเตอร์ ขนาด 240x353x15 mm.



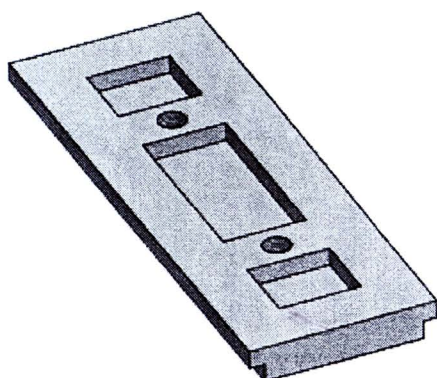
รูปที่ 3.82 ชิ้นส่วนเฟืองตามประกอบข้างถังบรรจุชิ้นงาน ขนาดความโต 122 mm. 6 DP
จำนวน 27 ฟัน เจาะรูยึดบูช 25 mm.



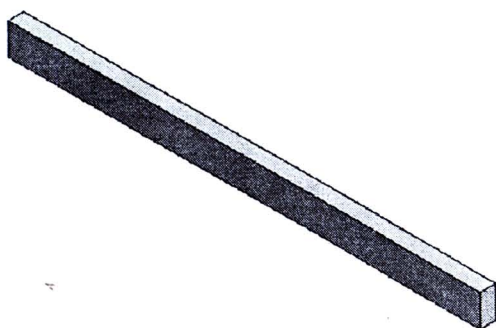
รูปที่ 3.83 ชิ้นส่วนเฟืองทด ขนาดความโต 250 mm. 6 DP จำนวน 56 ฟัน



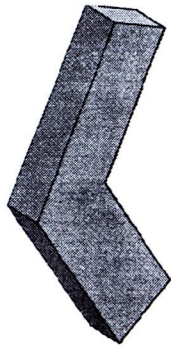
รูปที่ 3.84 ชิ้นส่วนแผ่นทองแดงยึดถึงบรรจุชิ้นงาน ให้กระแสไหลผ่านไปยังขั้ว (+) ขนาด 39x370x10 mm. เจาะรูยึดกับผนังขนาด 8 mm.



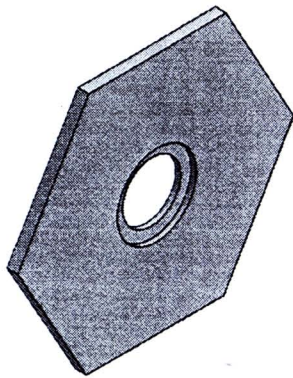
รูปที่ 3.85 ชิ้นส่วนฝาปิดถึงบรรจุชิ้นงาน ขนาด 90x300x20 mm.



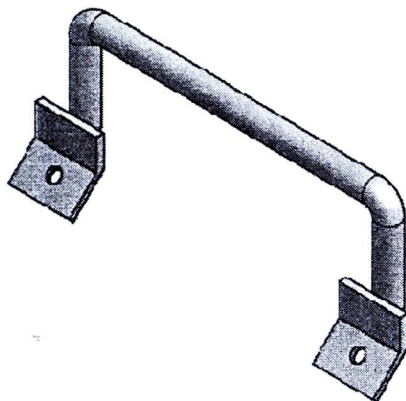
รูปที่ 3.86 ชิ้นส่วนกานยึดถึงบรรจุชิ้นงาน ขนาด 90x300x20 mm.



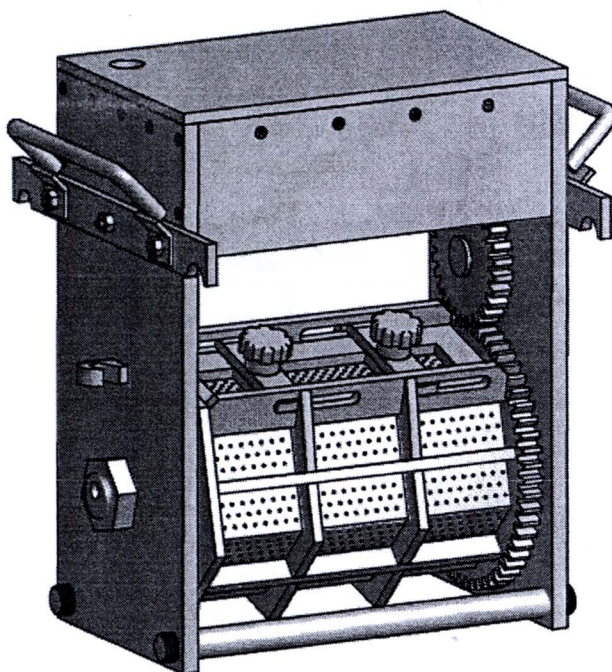
รูปที่ 3.87 ชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงถึงบรรจุชิ้นงาน ขนาด 90x300x20 mm.



รูปที่ 3.88 ชิ้นส่วนฝาประกบข้างถึงบรรจุชิ้นงาน ขนาด 90x300x20 mm.



รูปที่ 3.89 อุปกรณ์สำหรับจับและยกเครื่องแยกสลาย ขนาด 15x67.5x215 mm.

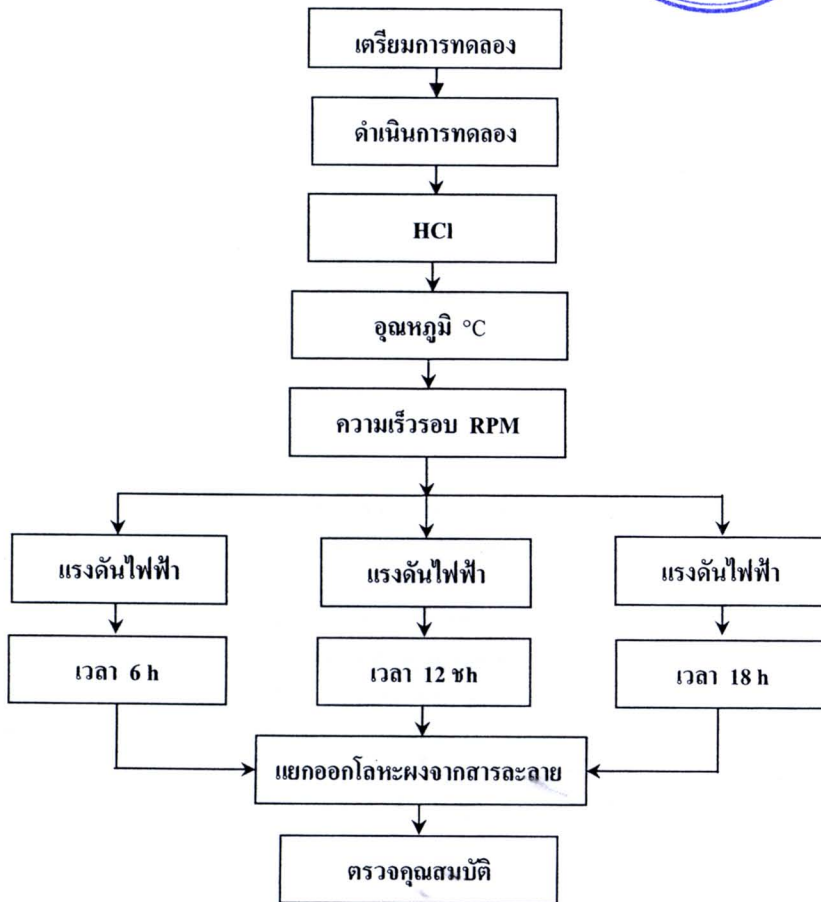


รูปที่ 3.90 ชุดบรรจุชิ้นงานสำหรับกระบวนการแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์

จากรูปที่ 3.77 – 3.90 แสดงชิ้นส่วนของเครื่องแยกสลายเศษโลหะแผ่นมีด สร้างด้วยพลาสติก โพลีโพรพิลีน (PP) เมื่อประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันจะมีขนาดประมาณ 370x383x496 mm. และมีน้ำหนักประมาณ 15 กิโลกรัม ส่งกำลังด้วยเฟืองขับในการหมุนถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)



3.3.4 การกำหนดตัวแปรเพื่อการทดลอง



รูปที่ 3.91 แผนภูมิการกำหนดตัวแปรในการทดลอง

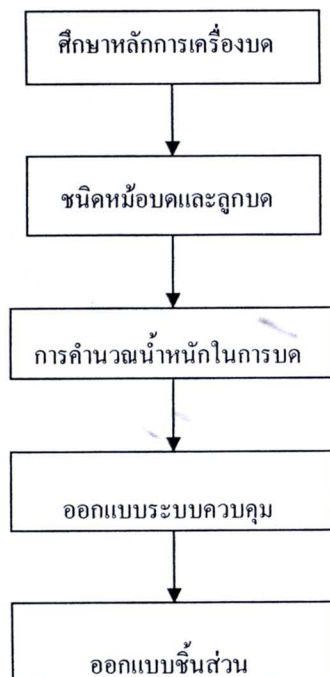
สรุปผลการออกแบบสร้างเครื่องแยกสลายเศษโลหะซีเมนต์คาร์ไบด์ ประกอบด้วย ถังบรรจุสารละลายขนาด 450×560×1,040 mm. ถังพักสารละลายขนาด 450×450×867 mm. และถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel) ขนาดบรรจุ 10 กิโลกรัม ซึ่งทำจากวัสดุพลาสติกโพลีโพรพิลีน (PP)

กำหนดตัวแปรในการทดลองแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.4 -1.0 โวลต์ (V) ใช้เวลา 18 ชั่วโมง (h) จากนั้นทำการแยกโลหะผงจากสารละลาย และทำการตรวจสอบสมบัติโลหะผงที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล เป็นต้น

3.4 การออกแบบสร้างเครื่องบดโลหะ

3.4.1 ดำเนินการออกแบบ

ในการออกแบบและสร้างเครื่องบดโลหะผงทั้งสเตนคาร์ไบด์ อาศัยข้อมูลอ้างอิงได้แก่ คู่มือเครื่องจักรของบริษัท FRITSCH ห.จ.ก. เนติพงษ์เอ็นจิเนียริง บริษัท พามาลิน จำกัด และอื่นๆ เป็นแนวทางในการออกแบบ มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเครื่องจักรสำหรับงานโลหะผงและการลดขนาดให้เล็กลง อาศัยหลักการหมุนและแรงเหวี่ยง โดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางให้ลูกบดตกลงมา กระแทกในขณะที่หม้อบดถูกขับให้หมุน ทำให้โลหะผงถูกกระทบด้วยลูกบดที่มีความแข็งแรงสูง บ่อย ๆ ครั้ง เป็นเวลานานผงโลหะมีขนาดค่อย ๆ เล็กลง ในการออกแบบสามารถสรุปขั้นตอนการ สร้างดังรูปที่ 3.92

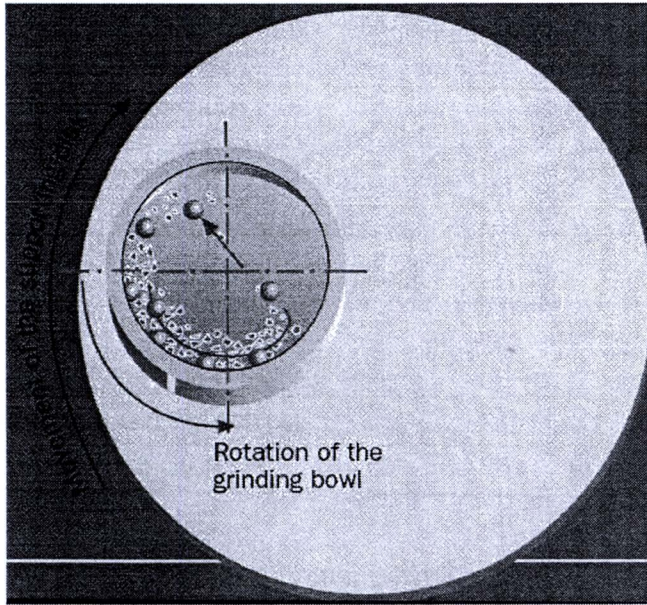


รูปที่ 3.92 ขั้นตอนการดำเนินการออกแบบ

3.4.1.1 หลักการทำงาน

บด หมายถึง การบด (Pulverized) พร้อมกับการผสม หรือการบดเพื่อลดขนาดโลหะผงแต่เพียงอย่างเดียว ภายใต้ระบบการทำงานในหม้อบด (Pot) และลูกบด (Ball) ซึ่งเรียกอีกแบบว่าการทำ Mechanical Alloying" หลักการตกกระทบของลูกบดโดยอาศัยการหมุนแกว่งของหม้อบดด้วย

ความเร็วรอบในช่วง 200-1,000 รอบ/นาที โลหะที่มีความแข็งแรง (Hard Material) ดังเช่นทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide) นั้นหม้อบดและลูกบดต้องเป็นโลหะที่มีสมบัติด้านความแข็งแรงและทนทานต่อการสึกหรอสูงไม่น้อยไปกว่ากันหมายถึงการใช้หม้อบด WC และลูกบด WC บดละเอียด โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จึงจะสามารถทำการบดให้ละเอียดได้



รูปที่ 3.93 แสดงทิศทางการหมุนของลูกบด [58]

จากรูปที่ 3.93 แสดงทิศทางการของการบดโดยอาศัยแรงเหวี่ยงที่เกิดจากการหมุนของจานหลัก (Supporting disk) โดยแรงจากจานหลักจะหมุนตามเข็มนาฬิกาและจะส่งโมเมนตัมให้จานรองที่ยึดติดกับหม้อบดให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งภายในบรรจุโลหะผงและลูกบด เมื่อลูกบดได้รับแรงจากการหมุนของหม้อบดก็จะเกิดการหมุนไปตามผนังจนลอยถึงจุดสูงสุดและจะตกลงมา ทำให้เกิดการกระแทกกันระหว่างลูกบดและผนังหม้อบดหรือระหว่างลูกบดด้วยกันเองทำให้เกิดการบดละเอียดโลหะผงขึ้น

3.4.2 การเลือกหม้อและลูกบด

ตารางที่ 3.15 ตารางแสดงสมบัติของหม้อบดชนิดต่างๆ [58]

ชนิดวัสดุ (หม้อบดและลูกบด)	ส่วนประกอบ	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความต้านทานการสึกหรอ
หิน โมรา	(99.9 % SiO ₂)	2.65	ดี
อะลูมินัมออกไซด์	(99.7 % Al ₂ O ₃)	3.8	ดีพอใช้
ไซโครเนียมออกไซด์	(99.5 % ZrO ₂)	5.7	ดีมาก
สแตนเลส	Bowl : (17-19 % Cr+ 8-10% Ni) Balls : (12.5 -14.5% Cr +1% Ni)	7.8	ดีพอใช้
โลหะผสม	Bowl : (11-12 % Cr) Balls : (1.0 -16.5% Cr)	7.9	ดี
โลหะแข็งทั้งสแตนครีไบต์	(93%WC + 6% Co)	14.7	ดีมาก
ซิลิกอนไนไตรด์	(90% Si ₃ N ₄)	3.1	ดีที่สุด

จากตารางที่ 3.15 แสดงสมบัติของหม้อบดเพื่อการเลือกใช้งานที่เหมาะสมในที่นี้ วัสดุที่เราต้องการบดนั้นเป็นชนิดทั้งสแตนครีไบต์ ที่มีความหนาแน่นสูง เราจึงควรเลือกวัสดุในการสร้างหม้อบดที่เป็นชนิดเดียวกันกับตัวของวัสดุที่เราต้องการบดหรือที่มีความแข็งแรงกว่าก็จะช่วยให้นานหรือคุณภาพของโลหะผงที่ได้มันดียิ่งขึ้น จากตารางที่ 3.6 วัสดุที่เหมาะสมในการใช้สร้างหม้อบดคือ ทั้งสแตนครีไบต์ ที่มีส่วนผสม 93%WC + 6% Co มีความหนาแน่นสูง 14.7 g/cm³ สามารถต้านทานการสึกหรอได้ในระดับดีมาก เป็นต้น

3.4.3 การคำนวณน้ำหนักในการบด

ตารางที่ 3.16 ตารางแสดงสมบัติและการคำนวณน้ำหนักของลูกบด [58]

ขนาดของลูกบด		5	10	15	20	30	40
ชนิดวัสดุ	ความหนาแน่น (g/cm3)	น้ำหนักลูกบด (กรัม)					
หิน โมรา	2.65	0.17	1.39	4.68	11.10	37.46	88.80
อะลูมินัมออกไซด์	3.8	0.25	1.99	6.72	15.92	53.72	127.34
ไซโครเนียมออกไซด์	5.7	0.37	2.98	10.07	23.88	80.58	191.01
สเตนเลส	7.8	0.51	4.08	13.78	32.67	110.27	261.38
โลหะผสม	7.9	0.52	4.14	13.96	33.09	111.68	264.73
โลหะแข็งทั้งสเตนคาร์ไบด์	14.7	0.96	7.70	25.98	61.58	207.82	492.60
ซิลิกอนไนไตรด์	3.1	0.20	1.62	5.48	12.99	43.83	103.88

จากตารางที่ 3.7 แสดงสมบัติในการเลือกใช้ลูกบด ซึ่งวัสดุที่เราต้องการบดเป็นผงโลหะทั้งสเตนคาร์ไบด์ เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ลูกบดที่ผลิตด้วย โลหะแข็งทั้งสเตนคาร์ไบด์ที่มีความหนาแน่น 14.7 g/cm³) ซึ่งมีให้เลือกหลายขนาดตามความต้องการ ตั้งแต่ ขนาด 5 – 40 มิลลิเมตร

การคำนวณหาน้ำหนักของลูกบด คำนวณโดยใช้น้ำหนักของลูกบดคูณด้วยจำนวนของลูกบด แสดงดังการคำนวณ ดังนี้

ปริมาตรหม้อบด 250 มิลลิลิตร ต้องการลูกบดชนิดหิน โมรา 1,221 ลูก ลูกบดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

วิธีคำนวณ 0.17 x 1221 = 207.57 กรัม

3.4.4 ระบบการควบคุมและตั้งเวลาในการทำงาน

- 1) การใช้ความเร็วรอบ โดยปรับเครื่องหมาย + หรือเครื่องหมาย - ตั้งความเร็วรอบในการบดได้ ตั้งแต่ 1- 600 รอบต่อนาที (Rpm)
- 2) การกำหนดเวลา โดยปรับเครื่องหมาย + หรือเครื่องหมาย - ตั้งเวลาในการบดเป็นช่วงเวลาได้ 2 หน่วยเวลา คือ 0-99 ชั่วโมง และในหน่วยเวลา 0-60 นาที

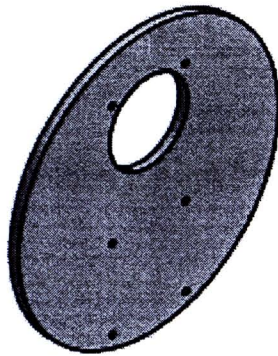
3) มีฟังก์ชันตั้งเวลาหยุดพักเครื่อง (ปุ่ม Pause) เพื่อลดอุณหภูมิภายในด้วยการกำหนดขนาดของเวลาตามหน่วยเวลาที่เป็นชั่วโมงในช่วง 0-99 ชั่วโมงและหากเวลาน้อยลงสามารถปรับได้เป็นนาทีในช่วง 0-60 นาที

4) มีฟังก์ชันกำหนดจำนวนรอบในการบดและสามารถตั้งให้หมุนตาม-ทวนเข็มนาฬิกาได้

4) มีปุ่มไฟแสดงฟังก์ชัน ณ เวลาที่อยู่ระหว่างการทำงานในแต่ละขั้นตอน (Step)

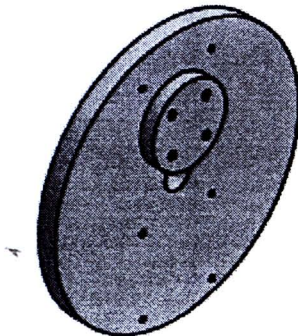
3.4.5 การออกแบบชิ้นส่วน

3.4.5.1 การออกแบบส่วนประกอบเครื่องบด



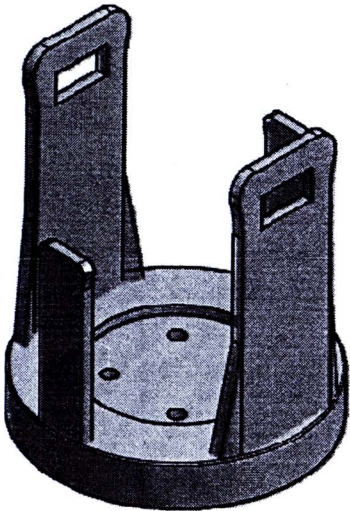
รูปที่ 3.94 ชิ้นส่วนจานหมุนรอง (Cover plate)

จากรูปที่ 3.94 แสดงชิ้นส่วนจานหมุนรอง (Cover plate) ขนาด $\varnothing 300 \times 10$ มิลลิเมตร เป็นวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 ทำหน้าที่ยึดฐานหม้อบดและยึดชุดปรับสมดุลน้ำหนัก



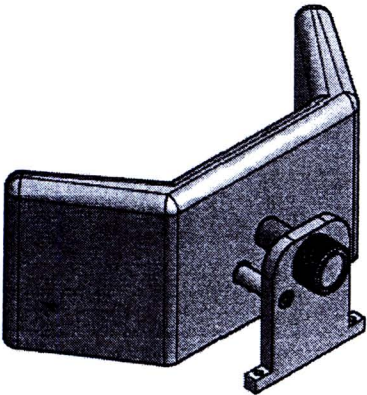
รูปที่ 3.95 ชิ้นส่วนชุดข้อเหวี่ยง (Gear box)

รูปที่ 3.95 แสดงชิ้นส่วนของงานชุดข้อเหวี่ยง ภายในประกอบด้วยกลไกการหมุนด้วยข้อเหวี่ยงมีขนาด Ø 300 x 20 มิลลิเมตร วัสดุเป็นเหล็ก AISI 1040



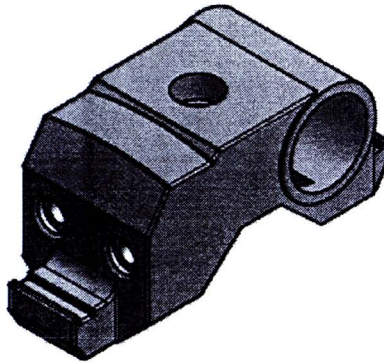
รูปที่ 3.96 ชิ้นส่วนฐานยึดหม้อบด (Bowl holder)

รูปที่ 3.96 แสดงชิ้นงานฐานยึดหม้อบด ขนาด Ø 150 x 125 mm วัสดุเหล็กเป็นชนิด AISI 1040 ฐานยึดหม้อบดทำหน้าที่หลักในการยึดแน่นให้หม้อบดติดแน่นป้องกันการรั่วซึมของตัวอย่างในการบดละเอียด



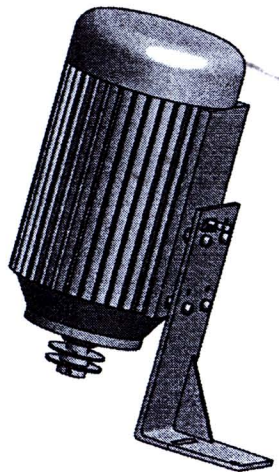
รูปที่ 3.97 ชิ้นส่วนปรับสมดุลน้ำหนัก (Compensation mass)

รูปที่ 3.97 ชิ้นส่วน Compensation mass ขนาด 126x285x24 mm ทำหน้าที่ถ่วงน้ำหนักให้หม้ออบมีความสมดุลก่อนทำการเดินเครื่องอบ



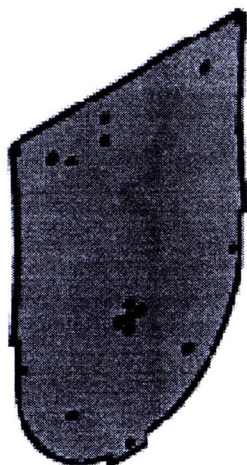
รูปที่ 3.98 ชิ้นส่วนสะพานขันแน่นหม้ออบ

รูปที่ 3.98 สะพานล็อกหม้ออบ ขนาด 59x143x63.67mm ทำหน้าที่ขันแน่นหม้ออบผลิตด้วยวัสดุเหล็กหล่อสีเทา



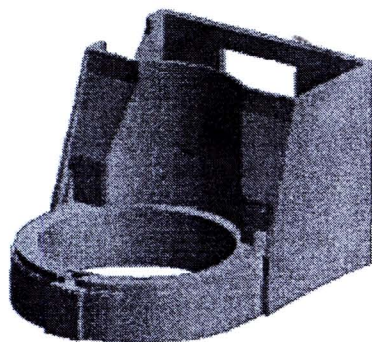
รูปที่ 3.99 มอเตอร์ไฟฟ้า EN 600034

จากรูปที่ 3.99 เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 0.75 kW ใช้ในการส่งกำลังเพื่อขับเคลื่อนหลักทำงานโดยใช้สายพานเป็นตัวเชื่อมระหว่างพูลเลย์ของจานหมุนหลักและมอเตอร์



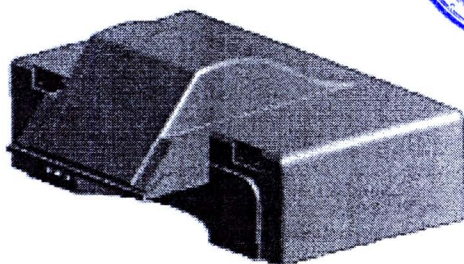
รูปที่ 3.100 ชิ้นส่วนฐานล่าง (Bottom plate)

จากรูปที่ 3.100 แสดงชิ้นส่วนฐานล่าง (Bottom plate) วัสดุเป็นเหล็กสแตนเลส 304 เป็นฐานล่างในการยึดแน่นชิ้นส่วนต่างๆ ขนาดของชิ้นส่วน 377x 540x3mm



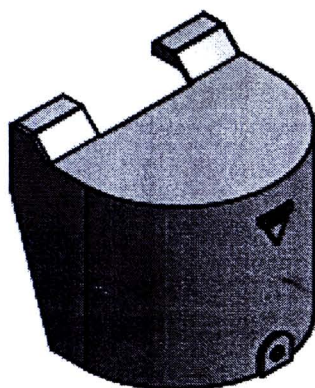
รูปที่ 3.101 ชิ้นส่วนโครงฐานเครื่องบด

รูปที่ 3.101 แสดงโครงภายนอกของเครื่องบดโลหะผง ขนาด 380 x 480x 10 mm เป็นโครงที่ออกแบบให้มีลักษณะเป็นฝาครอบ เปิดให้ยกฝาครอบขึ้น และปิดให้กดฝาครอบลง



รูปที่ 3.102 ชิ้นส่วนฝาครอบด้านบนพร้อมจอแสดงผล

จากรูปที่ 3.102 แสดงฝาครอบด้านบนของเครื่องบดโลหะผง พร้อมมีจอแสดงผลและ
ฟังก์ชันการทำงานระบบดิจิทัล

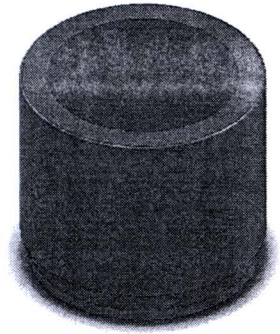


รูปที่ 3.103 ฝาปิดเครื่องบด

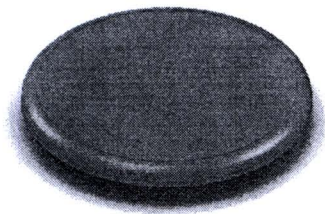
จากรูปที่ 3.103 เป็นฝาครอบปิด-เปิด เครื่องบด ลักษณะการทำงานเป็นการเปิดขึ้นลงและมี
ระบบการปิดล็อกบริเวณด้านหน้าเครื่อง

3.4.5.2 การออกแบบหม้อบด

การดำเนินการออกแบบหม้อสำหรับบรรจุโลหะผงทั้งสเตนคาร์ไบด์ที่ได้จากกระบวนการ
ไซเคิลนั้น อาศัยขนาดของฐานรองรับหม้อบดเป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงขนาดของหม้อบด ซึ่งขนาด
ของฐานรองรับหม้อบดนั้นมีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร ซึ่งการกำหนดขนาดต่างๆ ของ
หม้อบดพร้อมฝา ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.104 การออกแบบหม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 97.40 x 85 mm



รูปที่ 3.105 การออกแบบฝาหม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 97.40 x 15 mm

จากรูปที่ 3.104 และรูปที่ 3.105 เป็นหม้อบดทั้งสแตนคาร์ไบด์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 97.40 x 85 มิลลิเมตร พร้อมปาปิด ผลิตด้วยโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์มาตรฐานจากโรงงาน ทำหน้าที่เป็นภาชนะในการบรรจุวัสดุผง หรือลูกบด เพื่อทำการบดละเอียดโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลซึ่งมีปริมาตรดังนี้

$$\text{จากสมการที่ (2.17)} \quad V = \frac{\pi \cdot h}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

$$D = 97.40 \text{ มม.} \quad d = 75.60 \text{ มม.}$$

$$h = 74.10 \text{ มม.} \quad V = ?$$

แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned} V &= 3.1415 \times 74.10 \text{ มม} / 4 \times (97.40 \text{ มม}^2 - 75.60 \text{ มม}^2) \\ V &= 58 \times (97.40 \text{ มม}^2 - 75.60 \text{ มม}^2) \\ V &= 58 \times (3771.4 \text{ มม}^2) \\ V &= 58 \text{ มม} \times 3771.4 \text{ มม}^2 \\ V &= 58 \text{ มม} \times 3771.4 \text{ มม}^2 \\ V &= 21,574 \text{ มม}^3 \\ V &= 21.6 \text{ ซม}^3 \end{aligned}$$

3.5 การออกแบบสร้างเตาอบไฟฟ้า

3.5.1 คำนวณหาแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)

ในการออกแบบและสร้างเตาอบไฟฟ้า อาศัยเอกสารอ้างอิงและคู่มือของเครื่องจักร ได้แก่ คู่มือ KANTHAL® HANDBOOK บริษัท ไออีเอส อิเล็กทริก จำกัด ห.จ.ก. สมบูรณ์ฯพพลาย เป็นแนวทางในการเลือกใช้งานฮีตเตอร์ให้ความร้อน ซึ่งเป็นฮีตเตอร์ร้อนประเภทให้อุณหภูมิได้สูงสุด 250 °C เลือกใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 Volt 1 Phase เนื่องจากสามารถให้ความร้อนได้เร็ว

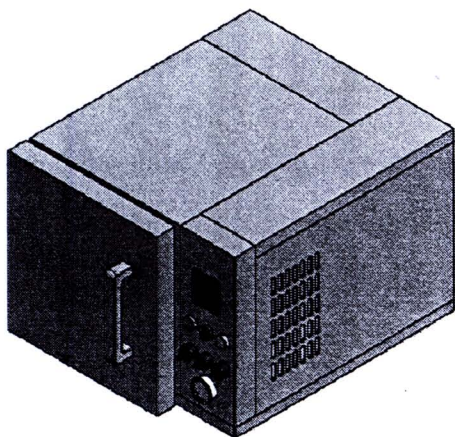
$$\begin{aligned}\text{จากสมการที่ 2.21 ปริมาตรภายในเตา} &= W \times L \times H \\ &= 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \\ &= 27 \text{ dm}^3\end{aligned}$$

$$\text{จะได้กำลังไฟฟ้า (T30/250A)} = 2 \text{ kw}$$

ในทางปฏิบัติจะต้องมีการเผื่อการสูญเสีย 50 %

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้} = 4 \text{ kw}$$

$$\begin{aligned}\text{ใช้ไฟฟ้า 220 Volt 1 Phase และมี Power / phase} &= 4 \text{ kw} / 220 \text{ V} \\ &= 18.18 \text{ A}\end{aligned}$$

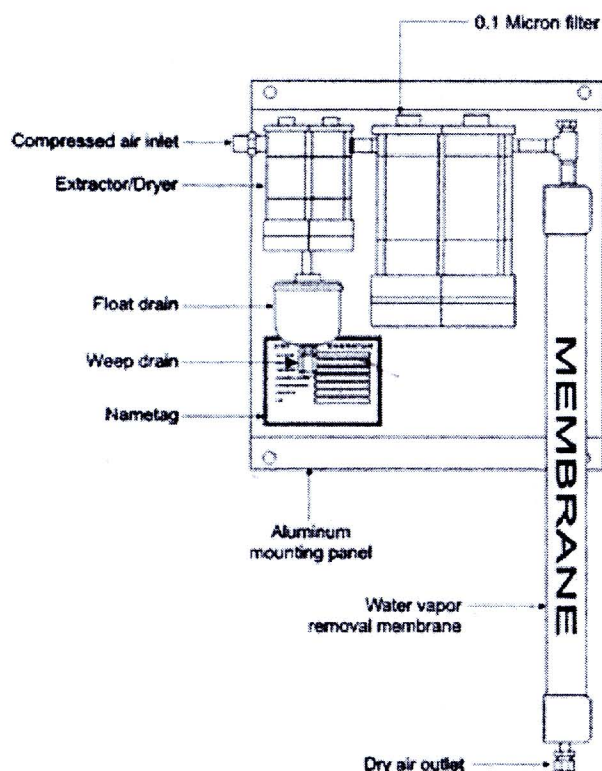


รูปที่ 3.106 เตาอบไฟฟ้าควบคุมการเกิดออกไซด์

จากรูปที่ 3.106 แสดงเตาอบไฟฟ้าระบบควบคุมการเกิดออกไซด์ ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ ตัวเตาอบขนาดภายใน 300x300x330 mm. ฮีตเตอร์ให้ความร้อน (Tubular Heater) พร้อมทั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับ พัฒนาระบายความร้อน ปั๊มสุญญากาศชนิด Mechanical pump และชุดควบคุมการทำงาน

3.5.2 ระบบควบคุมการเกิดออกไซด์

ระบบการควบคุมการเกิดออกไซด์นั้น ใช้ปั๊มสุญญากาศในการดูดความชื้นหรืออากาศที่ตกค้างอยู่ในถังบรรจุชิ้นงาน จากนั้นจะผ่านระบบควบคุมและให้ความร้อนเพื่อทำให้แห้ง และกรองอีกครั้งก่อนจะปล่อยออกจากระบบ



รูปที่ 3.107 ระบบการทำงานของปั๊มสุญญากาศ [70]

จากรูปที่ 3.107 แสดงส่วนประกอบของปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) รุ่น ULVAC DA-15D ปั๊มด้วยอัตราเร็ว 12-15 ลิตร/นาที มีองค์ประกอบของระบบการทำงาน คือ

ช่องดูดอากาศเข้า (Compress air inlet) ตัวทำให้แห้ง (Extractor/Dryer) ตัวกรองออก (Float drain) ช่องระบายอากาศออก (Weep drain) กรอบหุ้มแผงวงจร (Aluminum mounting panel) ท่อส่งความชื้น (Water vapor removal membrane) ขั้วต่อรับอากาศเข้า (Dry air outlet)

3.5.3 วิธีการผลิตเตาอบไฟฟ้า

ในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ของเตาอบชิ้นงาน เพื่อประกอบและสร้างเตาอบชิ้นงาน ประกอบด้วยการผลิตชิ้นส่วนงานโลหะแผ่น การเชื่อม การประกอบชิ้นส่วนทั้งภายนอกและภายใน เตา รวมถึงโครงสร้างของเตา โดยป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนภายใน ขั้นตอนการสร้างเตาอบไฟฟ้า ประกอบด้วย การออกแบบและเขียนแบบชิ้นส่วนแต่ละชิ้น จากนั้นวางแผนการผลิต ชิ้นรูปตามแต่ชิ้นส่วนที่ออกแบบไว้ ปรับแต่ง ประกอบ และทดสอบการใช้งาน

สำหรับชิ้นส่วนที่เป็นมาตรฐานหรือชิ้นส่วนสำเร็จรูปอื่น ๆ ซึ่งนอกเหนือจากชิ้นส่วนที่ออกแบบและผลิตแล้ว ชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านั้น ได้แก่

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller DC 1030) 6) ไยแก้ว | |
| 2) ขดลวดให้ความร้อน Dia: 1.5mm x 1.3kw | 8) ไฟเบอร์บอร์ด |
| 3) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple) | 9) หม้อแปลงไฟฟ้า |
| 4) ชุดปั๊มสำหรับ Vacuum | 10) ขั้วต่อสำหรับชุด Vacuum |
| 5) ชุด CONTROL | 11) Solid State Relay 25A 220V |

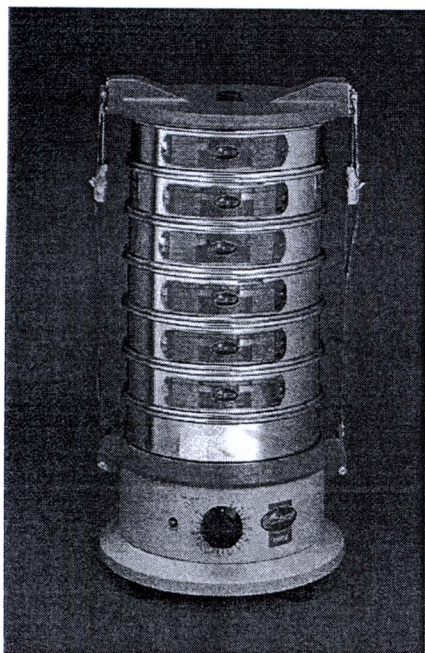
โดยมีรายละเอียดในการออกแบบและเขียนแบบตามภาคผนวก ง

3.6 การคัดขนาดอนุภาค

3.6.1 การเลือกเครื่องคัดขนาด

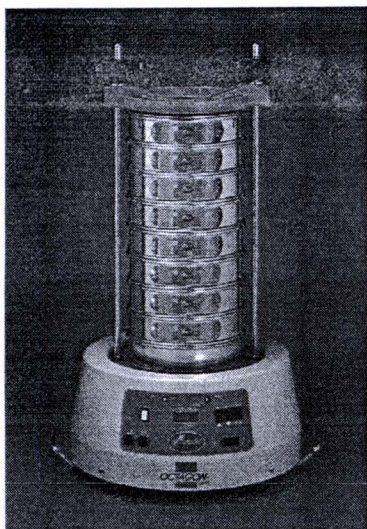
การเลือกใช้งานเครื่องเขย่าตะแกรงสำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการทดลอง มีหลายรุ่น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการใช้งาน ซึ่งมีตัวอย่างนี้

1) เครื่องเขย่าตะแกรงคัดขนาด รุ่น Minor เหมาะสำหรับงานวิเคราะห์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ มีน้ำหนักเบา, เคลื่อนย้ายสะดวก, น้ำหนักตัวเครื่อง 17 กิโลกรัม ลักษณะการเขย่าแบบ 3 มิติ ตะแกรงวางซ้อนกันได้หลายชั้น



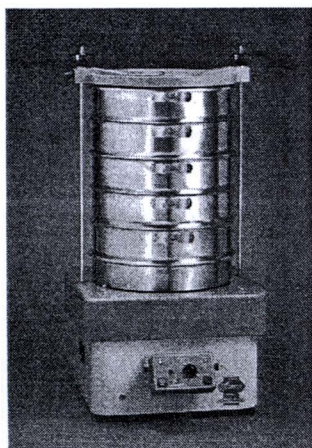
รูปที่ 3.108 เครื่องเขย่าตะแกรงคัดขนาด รุ่น Minor [60]

2) เครื่องเขย่าตะแกรง รุ่น Octagon Digital 2000 เหมาะสำหรับงานวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เขย่าแบบ 3 มิติ ใช้ได้ทั้งงานคัดขนาดแห้งและเปียก



รูปที่ 3.109 เครื่องแช่ตะแกรงคัดขนาด รุ่น Octagon Digital 2000 [60]

3) เครื่องแช่ตะแกรงคัดขนาด รุ่น Powermatic เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป มีตะแกรงคัดขนาดขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 12 นิ้ว ถึง 18 นิ้ว



รูปที่ 3.110 เครื่องแช่ตะแกรงรุ่น Powermatic [60]

4) เครื่องคัดแยกอนุภาคแบบ Air Jet เหมาะสำหรับคัดแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กและเป็นผง ฟุ้งแห้งละเอียด น้ำหนักเบา คัดขนาดอนุภาคที่มีขนาดละเอียดมากๆ ตั้งแต่ 20 ไมครอนขึ้นไป ด้วยระบบลมดูดที่สามารถควบคุม ความเร็วลมดูด (Negative pressure) ด้วยการปรับที่วาล์วเปิดปิดแบบ

คันโยก แส่นจะสะดวก และง่ายต่อผู้ใช้ โดยใช้ระบบลมดูด (Vacuum System Unit) ที่ประกอบมากับตัวเครื่อง ทำงานสั่นพั่นการหมุนรอบเป็นแนวราบของส่วนที่เรียก Nozzle ด้วยความเร็วรอบ 24 รอบ ต่อนาที



รูปที่ 3.111 เครื่องคัดแยกอนุภาคแบบ Air Jet [60]

5) เครื่องคัดขนาดอนุภาคแบบความเร็วสูง เป็นเครื่องคัดขนาดอนุภาคของวัสดุที่เป็นผงละเอียดและแห้ง สามารถคัดแยกอนุภาคที่ละเอียดมากจนถึง 5 ไมครอนได้ สามารถทดลองกับตัวอย่างอนุภาคได้ครั้งละหลายขนาด และรู้ผลในเวลาไม่เกิน 1 นาที อนุภาคที่ได้จากการทดลอง จะมีขนาดมาตรฐานที่ถูกต้องที่สุด ความคลาดเคลื่อนไม่ถึง ± 2 ไมครอน ตัวตะแกรงมีทั้งแบบทำจากโลหะสแตนเลส และแบบทำจากโลหะผสมนิกเกิล (Electroformed Nickel plate)



รูปที่ 3.112 Sonic Sifter (เครื่องคัดแยกอนุภาคที่ละเอียดมาก ๆ ด้วยระบบความเร็วสูง) [60]

3.6.2 การเลือกตะแกรงคัดขนาด

ตารางที่ 3.17 แสดงรายละเอียดขนาดตะแกรง มาตรฐาน ASTM (มิลลิเมตร) [60]

 American Standard Sieve Series ASTM E11:95					
Standard (mm)	Alternative	Standard (mm)	Alternative	Standard (mm)	Alternative
125.00	5.00 in	25.00	1 in	4.75	No. 4
106.00	4.24 in	22.40	7/8 in	4.00	No. 5
100.00	4 in	19.00	¾ in	3.35	No. 6
90.00	3½ in	16.00	5/8 in	2.80	No. 7
75.00	3 in	13.20	0.530 in	2.36	No. 8
63.00	2½ in	12.50	½ in	2.00	No. 10
53.00	2.12 in	11.20	7/16 in	1.70	No. 12
50.00	2 in	9.50	3/8 in	1.40	No. 14
45.00	1¾ in	8.00	5/16 in	1.18	No. 16
37.50	1½ in	6.70	0.265 in	1.00	No. 18
31.50	1¼ in	6.30	¼ in		
26.50	1.06 in	5.60	No. 3½		

ตารางที่ 3.17 เป็นตะแกรงคัดขนาดมาตรฐานของ ASTM มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง ¼ - 5 นิ้ว และ NO. 3 ½ No.18 สามารถคัดแยกขนาดอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 1- 125 มิลลิเมตร

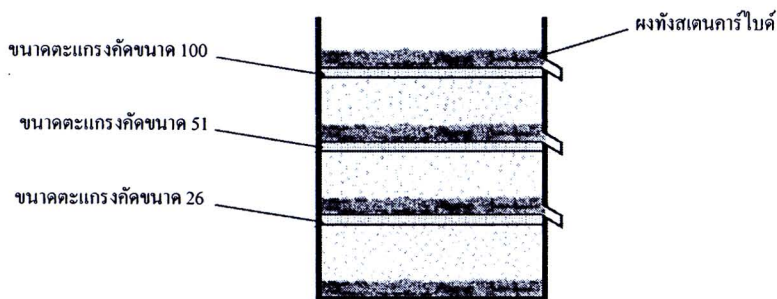
ตารางที่ 3.18 แสดงรายละเอียดขนาดตะแกรง มาตรฐาน ASTM (ไมครอน) [60]

 American Standard Sieve Series ASTM E11:95			
Standard (µm)	Alternative	Standard (µm)	Alternative
850	No. 20	125	No. 120
710	No. 25	106	No. 140
600	No. 30	90	No. 170
500	No. 35	75	No. 200
425	No. 40	63	No. 230
355	No. 45	53	No. 270
300	No. 50	45	No. 325
250	No. 60	38	No. 400
212	No. 70	32	No. 450
180	No. 80	25	No. 500
150	No. 100	20	No. 635

จากตารางที่ 3.18 เป็นตะแกรงคัดขนาดอนุภาคในระดับไมครอน มีขนาดให้เลือกตั้งแต่ No.20 – No. 635 สามารถคัดขนาดอนุภาคระหว่าง 850 – 20 µm

3.6.3 การคัดขนาด (Screening)

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้โดยทั่วไปแต่พบว่ายังประสบปัญหาในการใช้ ตะแกรงคัดขนาดมีขนาดแปรผันโดยเฉลี่ยตั้งแต่ 3% ถึง 7% ซึ่งในช่วงที่ยอมรับได้กำหนดโดยผู้ผลิตตะแกรง ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่แต่ละรูเปิดอาจมีขนาดใหญ่กว่าขนาดช่องตะแกรงที่กำหนดเกือบ 50% ส่งผลให้การแยกขนาดในแต่ละตะแกรงไม่แตกต่างกันชัดเจน



รูปที่ 3.113 แบบจำลองการคัดแยกขนาดโลหะผงทั้งสเดนคาร์ไบด์

จากรูปที่ 3.113 แสดงการจำลองการคัดแยกขนาดโลหะผงทั้งสเดนคาร์ไบด์ เพื่อจะได้รู้ถึงขนาดของผงที่เราทำการคัดแยก และจะสามารถนำผงที่ได้ไปใช้ประโยชน์ตามขนาดที่เราได้คัดไว้ โดยใช้ตะแกรงคัดขนาด 3 ขนาด ชั้นแรกจะมีขนาด 100 ไมครอน (μm) ลงลงมา มีขนาด 51 μm และ ชั้นล่างสุดมีขนาด 26 μm ทำการคัดแยกด้วยวิธีการสั่นของตะแกรงคัดขนาดเพื่อให้ผงตกลงมาจากตะแกรง ลงสู่ชั้นล่างต่อไป

การใช้ตะแกรงคัดขนาดมีประโยชน์ในการเลือกขนาดผงให้ได้ตามต้องการ วิธีการนี้เรียกว่า การจำแนกขนาดอนุภาคและใช้ในการปรับปรุงแจกแจงขนาดอนุภาค ในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานหลายอย่าง ความสามารถของกระบวนการผลิตของผงอนุภาคขึ้นกับการควบคุมขนาดอนุภาค ดังนั้นการคัดขนาดจึงช่วยกำจัดขนาดผงที่ไม่ต้องการออกไปได้



3.7 การออกแบบแผ่นมิดและแม่พิมพ์

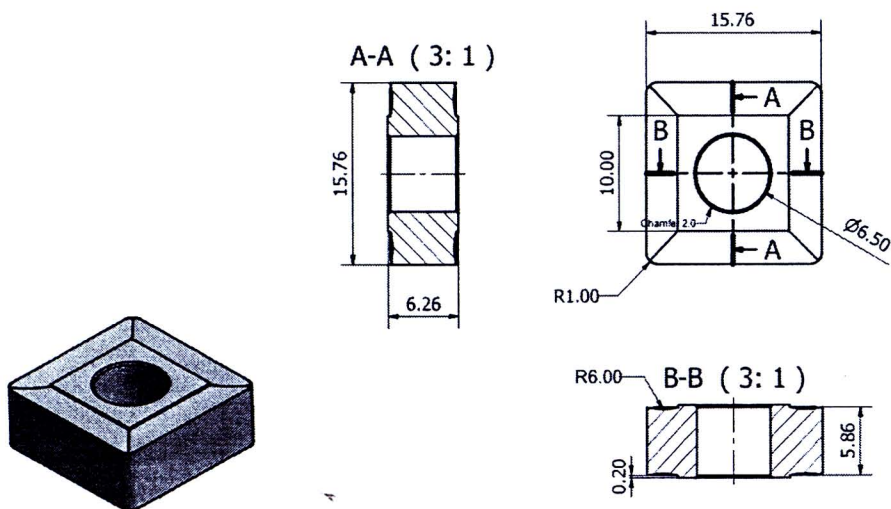
3.7.1 การออกแบบขนาดแผ่นมิดตัด

การออกแบบแม่พิมพ์สำหรับการอัดขึ้นรูปมีความสัมพันธ์กับขนาดแผ่นมิดตัด ทำการตรวจสอบขนาดแผ่นมิดตัดหลังการอัดขึ้นรูปเพื่อประกอบการออกแบบแม่พิมพ์

ตารางที่ 3.19 การตรวจสอบชิ้นงานแผ่นมิดตัดหลังการอัดขึ้นรูป

รายการ \ ส่วนผสม	รีไซเคิล 3%Co	รีไซเคิล 6%Co	รีไซเคิล 6%Co	นำเข้า 6%Co	นำเข้า 9%Co	ค่าเฉลี่ย
ความกว้าง (mm)	15.76	15.74	15.76	15.75	15.76	15.754
ความยาว (mm)	15.78	15.72	15.75	15.74	15.76	15.75
รูใน (mm)	6.38	5.70	6.41	6.38	6.38	6.25
ความหนา (mm)	6.37	6.70	6.53	6.60	6.45	6.53

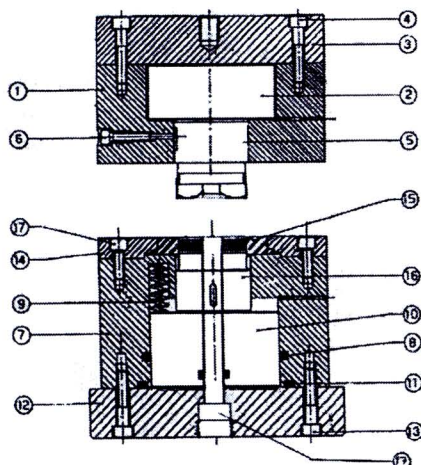
จากตารางที่ 3.19 แสดงการตรวจสอบขนาดชิ้นงานหลังการอัดขึ้นรูป ที่อัตราส่วนผสม 3-9%Co จากการตรวจสอบพบว่าชิ้นงานเฉลี่ยมีขนาดประมาณ 15.76x17.76x6.26 mm (กว้างxยาวxหนา) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูใน 6.50 mm



รูปที่ 3.114 การออกแบบแผ่นมิด

จากรูปที่ 3.114 เป็นแผ่นมีดตัด ใช้ในงานกลึงปอกผิวชิ้นงาน เป็นแผ่นมีทรงมาตรฐาน ทรง S ขนาด 15.76 x 15.76 x 6.26 มิลลิเมตร มีรูตรงกลางสำหรับขันยึดกับป้อมมีด แผ่นมีดลักษณะนี้เหมาะสำหรับงานที่มีข้อจำกัด ผิวชิ้นงานแห้งกระด้าง หรือมีแรงกระแทกหนักๆ ทำงานได้ดีกับวัสดุเนื้อนุ่ม กลึงปอกผิวดิบ ปรับลดขนาดชิ้นงานได้ดีมีความแข็งแรง

3.7.1.1 การกำหนดส่วนประกอบของแม่พิมพ์



รูปที่ 3.115 การออกแบบแม่พิมพ์อัดแผ่นมีด

จากรูปที่ 3.115 อธิบายหมายเลขส่วนประกอบของชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานซีเมนต์ทั้งสदनคาร์ไบด์ประกอบด้วยส่วนประกอบดังต่อไปนี้

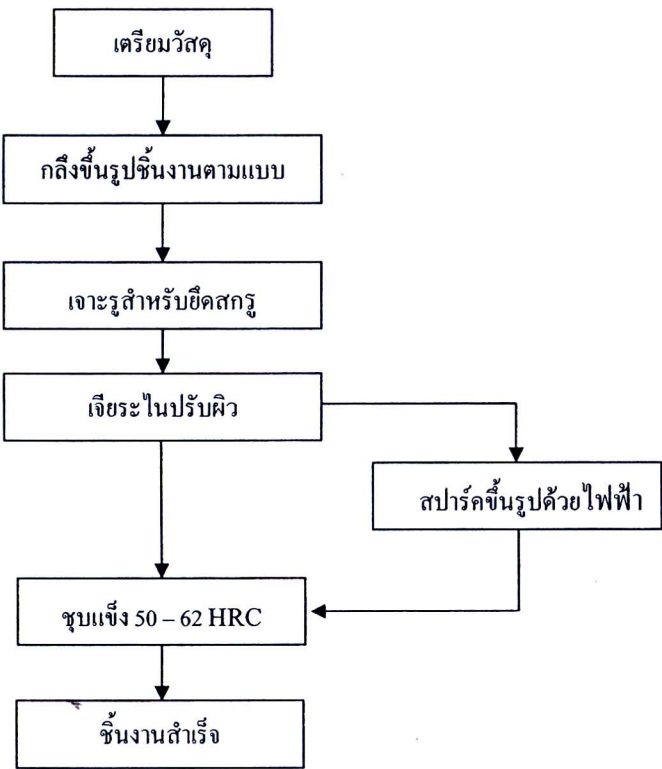
- | | | |
|---------------------|---------------|----------------------|
| 1. Upper die holder | 2. Upper boss | 3. Attachment flange |
| 4. M8x50 screws | 5. Upper die | 6. Fixing screw |
| 7. Lower die holder | 8. Packing | 9. Spring |
| 10. Lower boss | 11. Packing | 12. Support plate |
| 13. Screws | 14. Ring | 15. Knurled collar |
| 16. Lower die | 17. Core pin | |

3.7.2 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์

การเตรียมงานได้มีการออกแบบรูปร่าง ขนาด ของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป เมื่อออกแบบรูปร่างขนาดและชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์จึงทำการเขียนแบบ เมื่อเสร็จแล้วจึงได้มีการจัดซื้อวัสดุที่จะเป็นส่วนประกอบอื่นๆ และจัดเตรียมเครื่องมือเครื่องจักร ที่จะใช้ในการสร้างได้แก่

- 1) เครื่องกลึง 2) เครื่องกัด
- 3) เครื่องไส 4) เครื่องเลื่อย
- 5) เครื่องเจาะ 6) เครื่องมือวัด เช่น เวอร์เนีย ไมโคร คัลลิเปอร์
- 7) เหล็ก SCM4 Ø 230 x L 40 mm
- 8) เหล็ก SCM4 Ø 180 x L 120 mm 9) เหล็ก SCM4 Ø 180 x L 35 mm
- 10) เหล็ก SCM4 Ø 170 x L 120 mm 11) เหล็ก SCM4 Ø 225 x L 40 mm
- 12) เหล็ก SCM4 Ø 102 x L 85 mm 13) เหล็ก XW42 Ø 102 x L 40 mm
- 14) เหล็ก SCM4 Ø 102 x L 50 mm 15) เหล็ก SCM4 Ø 60 x L 65 mm
- 16) เหล็ก DC53 Ø 50 x L 70 mm 17) เหล็ก DC53 Ø 25 x L 10 mm

การออกแบบสร้างแม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นมีดซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์อธิบายกระบวนการโดยสังเขปได้ดังนี้



รูปที่ 3.116 แสดงขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์

จากรูปที่ 3.116 เป็นขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นมิด ทั้งสแตนคาร์ไบด์ เริ่มด้วยการเตรียมวัสดุ ทำการกลึงขึ้นรูปชิ้นงานตามแบบ พร้อมเจาะรูสำหรับ สกรูยึดแน่น ทำการเจียรระนาดแต่งผิว แล้วนำชิ้นส่วนไปผ่านขั้นตอนการสปาร์คขึ้นรูปด้วยไฟฟ้า ทำการชุบแข็งในขั้นตอนต่อมาแล้วทำการอบผนึก ต่อจากนั้นเจียรระนาดแต่งผิวสำเร็จเป็นต้น

3.8 การออกแบบสร้างเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Press)

ในการเตรียมงานได้มีการออกแบบรูปร่าง ขนาด และประสิทธิภาพ ของเครื่องอัดขึ้นงาน แผ่นมิดโดยใช้ระบบไฮดรอลิกส์ไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมการทำงาน หลังจากนั้นจึงได้ทำการออกแบบ ขนาดและคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

1. ออกแบบให้แรงอัดของเครื่องมีกำลังอัด 300 ตัน
2. ใช้มอเตอร์กำลัง 10 HP 3 สาย 380 V
3. ใช้ระบบไฟฟ้าควบคุมกระบอกสูบกดขึ้นและกระบอกสูบในแม่พิมพ์ปลดชิ้นงาน,

manual และ semi – auto

4. ปรับตั้งปั๊ม Pressure switch ปรับตั้งกำลังอัดสูงสุดได้ 300 ตัน

3.8.1 การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิกส์

กระบอกสูบลูกสูบมี ขนาด $\varnothing 390 \text{ mm}$, มีความดัน 260 bar

การคำนวณหาแรงสูงสุดของกระบอกสูบที่สามารถใช้ได้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2.20)} \quad F &= PA \\ A &= 1,195 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$F = 265.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 1,195 \text{ cm}^2$$

$$= 316,914 \text{ kg}$$

$$= 317 \text{ ton}$$

หาความเร็วของกระบอกสูบ

$$\text{จากสมการ (2.21)} \quad V = \frac{GPM \times 231}{A(\text{in}^2 \times 60)}$$

เมื่อ

$$GMP = 8.9 \text{ (pump } 13.7 \text{ l/min)}$$

$$A = 1,256 \text{ cm}^2 = 24.72 \text{ in}^2$$

$$V = \frac{8.9 \times 231}{24.72 \times 60}$$

$$= 1.4 \text{ in/sec}$$

$$= 35.56 \text{ mm/sec}$$

หาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า

จากสมการ (2.22)

$$HP = \frac{P \times LMP}{450 \times 0.9}$$

$$= \frac{256.2 \text{ kg/cm}^2 \times 13.7}{450 \times 0.9}$$

$$= 8.66 \approx 10 \text{ HP}$$

การคำนวณจำนวนอัตราการไหลที่ใช้กับมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

มอเตอร์ขนาด 10 HP คู่อัตราการไหลจากแคตตาล็อกได้ $2.6 \text{ in}^3/\text{rev}$

จากสมการ (2.23)

$$GPM = \frac{V(\text{in}^3 \times \text{rpm})}{231}$$

$$= 2.6 \times \frac{1,440}{231}$$

$$= 16.21 \text{ GPM}$$

การคำนวณหาขนาดของปั๊ม จากสมการ (2.24)

$$\text{สูตร } Q = VA$$

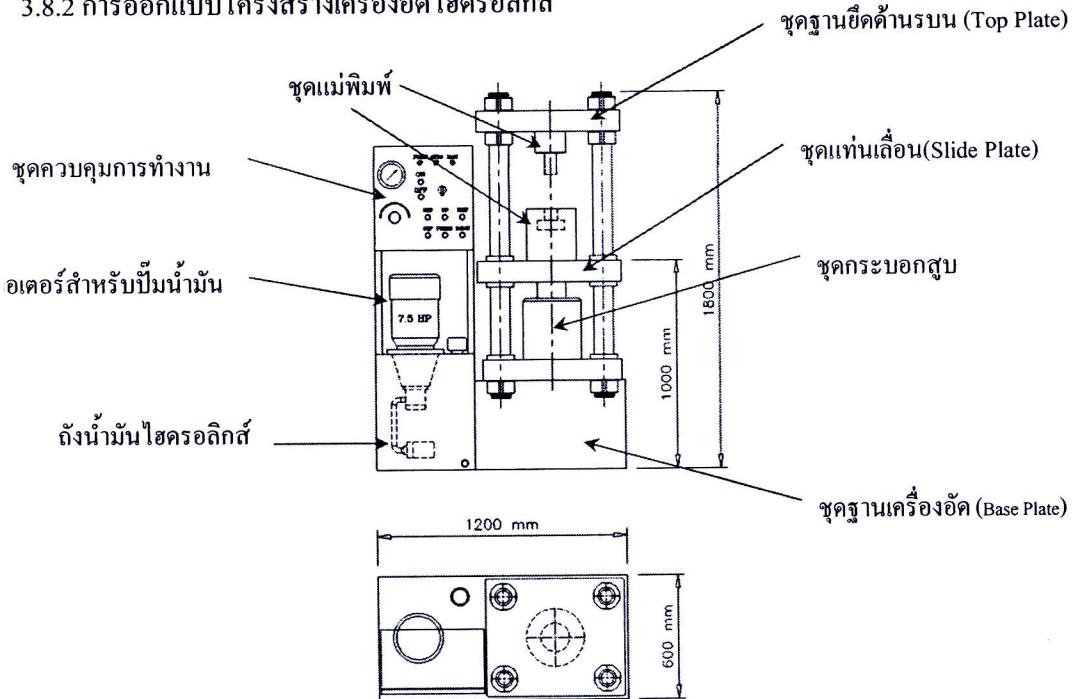
$$= 35.56 \frac{\text{mm}}{\text{sec}} \times 1,195 \text{ cm}^2 \times 0.006$$

$$= 7.47 \text{ LPM}$$

$$= 1.97 \text{ GPM}$$



3.8.2 การออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกส์



รูปที่ 3.117 ส่วนประกอบเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกส์ กำลังอัดสูงสุด 300 ตัน

จากรูปที่ 3.117 เป็นส่วนประกอบของเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกส์ ขนาดกำลังอัดสูงสุด 300 ตัน กว้าง 0.6 เมตร ยาว 1.2 เมตร สูง 1.8 เมตร ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ ชุดควบคุมการทำงาน (Control panel) มอเตอร์ขับเคลื่อน ถังน้ำมันไฮดรอลิกส์ ชุดฐานยึดด้านบน (Top plate) ชุดแท่นเลื่อน (Slide plate) และชุดฐานรองรับกระบอกสูบ (Base plate) เป็นต้น

3.9 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์

การวิเคราะห์วัสดุที่จะนำมาสร้างเครื่องแยกสายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยระบบเคมีไฟฟ้า ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลต่างๆ เช่น สิทธิบัตร สิทธิบัตร United States Patent No. 4,234,333 ซึ่งได้บอกส่วนต่างๆ ของเครื่องจากวัสดุชนิดและหน้าที่ ในการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่มีสมบัติทนความร้อน ทนการกัดกร่อนขนาดของสารละลายกรดได้ ให้เหมาะสมกับข้อมูลและประยุกต์ใช้ในการดำเนินการสร้างเครื่องและสร้างอุปกรณ์ในการทดลอง

การวิเคราะห์ออกแบบเครื่องและระบบการทำงานของเครื่องแยกสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนด์บายระบบเคมีไฟฟ้า ได้ศึกษาการออกแบบเครื่องเกี่ยวกับระบบการทำงานของเครื่อง เพื่อให้เครื่องทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดขั้นตอนการทำงาน และให้เกิดความปลอดภัยของผู้ทดลอง

การวิเคราะห์ออกแบบขนาดทดลอง เพื่อกำหนดและวางแผนการทดลองปฏิบัติตามขั้นตอนของกระบวนการให้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด เช่น การปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความเร็วรอบ สารละลายที่ใช้และทดลองตามเป้าหมายที่วางไว้

การวิเคราะห์ออกแบบเครื่องบดและระบบการการบดในภาชนะทรงกระบอกที่บรรจุด้วยลูกบอลและวัสดุที่ต้องการทำให้เป็นผง การออกแบบได้รวบรวมข้อมูลจากคู่มือของ บริษัท Fritsch เป็นการออกแบบเครื่องบดโดยอาศัยหลักการ การหมุนของภาชนะทำให้เกิดการชนกันอย่างต่อเนื่องของลูกบอลกับวัสดุที่ต้องการบด การออกแบบเพื่อการปรับลดขนาดโลหะผงให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด ในการผลิตที่ดี สามารถที่จะใช้งานเครื่องบดได้สะดวก ซึ่งการบดที่มีคุณภาพนั้นมีปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการบดผงโลหะ อาทิเช่น การปรับหรือตั้งเวลา ความเร็วรอบ จำนวนรอบ ลักษณะการหมุน ตามเข็มนาฬิกา เป็นต้น

การวิเคราะห์ออกแบบเตาอบชิ้นงานระบบป้องกันการเกิด Oxidation เป็นการอบในสภาวะสุญญากาศ ปัจจัยที่สำคัญในการอบนั้น ได้แก่ อุณหภูมิ ขนาดภายใน ภาชนะบรรจุชิ้นงาน การเลือกใช้งานฮีตเตอร์ให้ความร้อน กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม เป็นต้น

การออกแบบเครื่องอัดระบบไฮดรอลิก และระบบการทำงาน การเลือกอุปกรณ์ต่างๆ กำลังอัดสูงสุดที่ต้องการ ซึ่งได้อาศัยข้อมูลจากหนังสือ เรื่อง ระบบนิวแมตริกส์และไฮดรอลิกส์ แต่งโดย รองศาสตราจารย์วันชัย จันทรวงศ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในการออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งเครื่องจักรในระบบไฮดรอลิกส้นนั้นมีองค์ประกอบสำคัญได้แก่ ชุดต้นกำลัง ซึ่งประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า ปั๊มไฮดรอลิกส์ และวาล์วควบคุมความดัน โครงเครื่องอัด ฐานล่าง (Base Plate) กระบอกและก้านสูบไฮดรอลิกส์ แท่นเลื่อน (Slide Plate) ชุดแท่นกด (Top Plate) ชุดควบคุม (Control)

การออกแบบแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดแน่น การออกแบบชิ้นส่วนประกอบด้วย แม่พิมพ์ตัวบน (Upper punch) แม่พิมพ์ตัวกลาง (Die) แม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower punch) แท่งแกนกลาง (Core pin) ฐานยึดแน่นแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower plate) ฐานยึดแม่พิมพ์ตัวบน (Upper plate) เป็นต้น การออกแบบแม่พิมพ์ในส่วนที่เกี่ยวข้องในการใช้งานจำเป็นต้องทราบปริมาณผงที่จะเดิม การรับแรงขณะใช้งาน เพื่อป้องกันการการสึกหรอของแม่พิมพ์เพื่อให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นด้วย

3.10 ออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

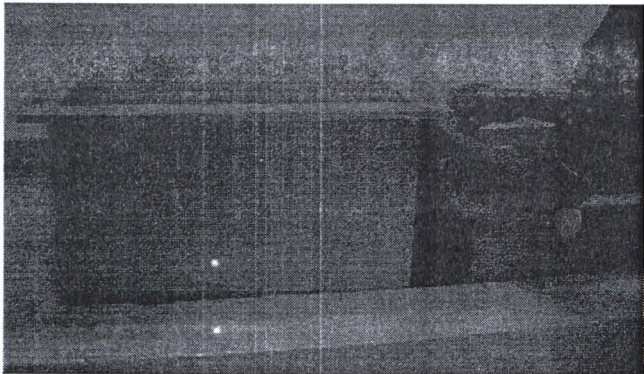
- 3.10.1 ศึกษาชนิดของแผ่นมีดตัดซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์
- 3.10.2 เตรียมอุปกรณ์ วัสดุสำหรับการทดลอง
- 3.10.3 ออกแบบวิธีการทดลองสลายโดยระบบเคมีไฟฟ้า
- 3.10.4 ทำการทดลอง
 - 1) แยกสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์
 - 2) อบโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์
 - 4) ตรวจสอบสมบัติโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์
 - 5) ปรับลดขนาดโดยวิธีการบดโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์
 - 6) เตรียมโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์สำหรับขึ้นรูป
 - 7) อัดขึ้นรูปโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากกระบวนการแยกสลาย
- 3.10.5 ตรวจสอบคุณภาพโลหะผง
- 3.10.6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.11 การดำเนินการติดตั้งและทดลอง

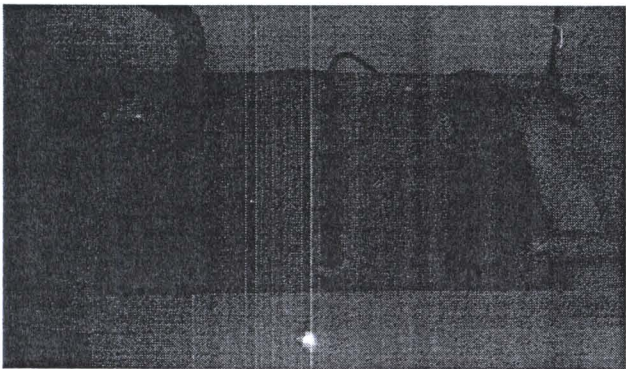
การดำเนินการสร้างเทคโนโลยีที่จำเป็นในการผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นั้นได้ดำเนินการจัดสร้างตามขั้นตอน จากนั้นจึงทำการติดตั้งเพื่อดำเนินการทดสอบระบบต่างๆ เพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรต่างๆ เช่น เครื่องแยกสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ เตอบไฟฟ้าระบบป้องกันการเกิด Oxidation เครื่องบดโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ เครื่องอัดขึ้นรูปขึ้นงานแผ่นมีดตัด และ แม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงานซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์

3.11.1 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องแยกสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์

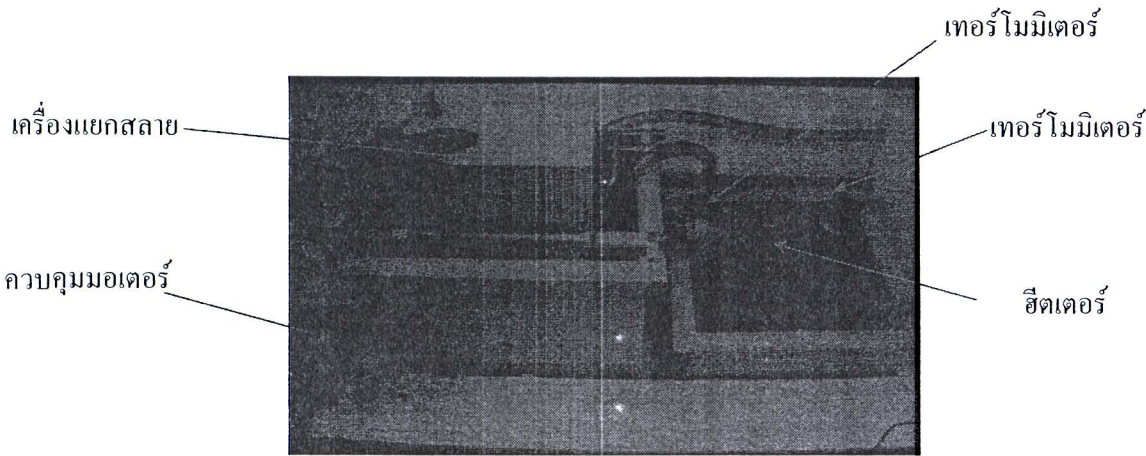
ในการออกแบบและผลิตเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ซึ่งในส่วนของการติดตั้งใช้งาน ได้แก่ การติดตั้งเครื่องแยกสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ การติดตั้งและทดสอบเครื่องบดโลหะผง การติดตั้งและทดสอบเตอบขึ้นงานระบบควบคุมการเกิด Oxidation การติดตั้งและทดสอบเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกส์



รูปที่ 3.118 การติดตั้งถังบรรจุสารละลายและท่อน้ำล้น



รูปที่ 3.119 การติดตั้งชุดควบคุมและตรวจวัดอุณหภูมิ

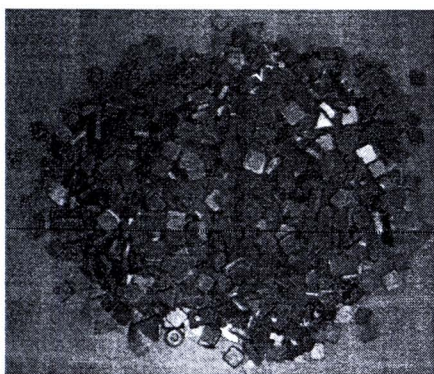


รูปที่ 3.120 แสดงส่วนประกอบในการแยกสลายเศษโลหะ

รูปที่ 3.120 ชุดเครื่องแยกสลายประกอบติดตั้งเรียบร้อยแล้ว พร้อมแยกสลายได้ ประกอบด้วย ชุดแยกสลายบาร์เรล ฮีตเตอร์ เทอโมมิเตอร์ และ ชุดควบคุมการมอเตอร์เป็นต้น

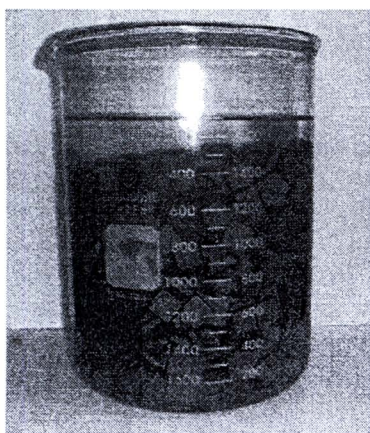
1) ขั้นตอนการทดลองแยกสลาย

ในขั้นตอนของการแยกสลายเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ สามารถอธิบายแต่ละขั้นตอนการดำเนินการ ได้ดังนี้



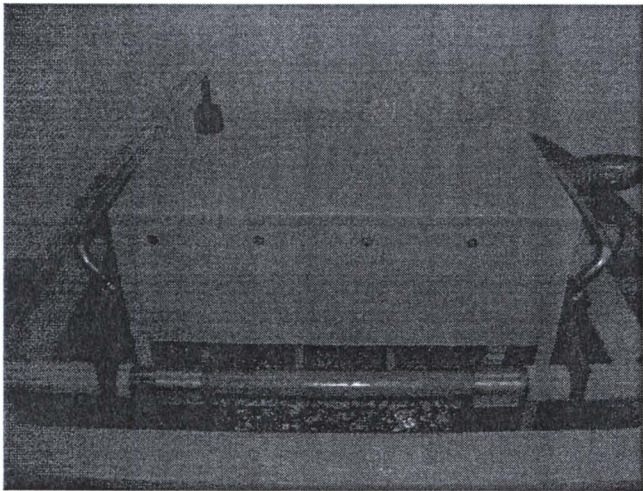
รูปที่ 3.121 เศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์

จากรูปที่ 3.121 เป็นการเตรียมเศษโลหะแผ่นมิด ทำการชั่งน้ำหนักให้ได้ 10 กิโลกรัม ตามที่กำหนดไว้เพื่อทำการแยกสลายต่อไป



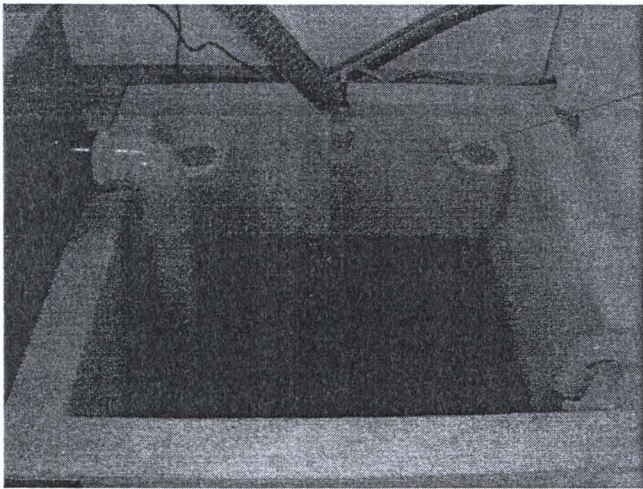
รูปที่ 3.122 การทำความสะอาดด้วยอิเล็กทอลไลต์

ทำความสะอาดเศษแผ่นมิดโดย การล้างด้วยแอลกอฮอล์บริสุทธิ์



รูปที่ 3.123 แสดงสถานะขณะเครื่องกำลังทำการแยกสลาย

นำเศษแผ่นมิดใช้งานแล้ว ใส่ลงในช่องบรรจุชิ้นงาน และทำการแยกสลายภายในถังบรรจุสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 1 N



เทอร์โมมิเตอร์

รูปที่ 3.124 ประกอบเทอร์โมมิเตอร์

เมื่อทำการเปิดเครื่องเพื่อทำการแยกสายแล้ว ให้ประกอบเทอร์โมมิเตอร์เข้ากับถังพักสารละลายเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิ



รูปที่ 3.125 สารละลายพักให้ตกตะกอน

จากรูปที่ 3.125 เมื่อทำการแยกสลายครบตามกำหนดเวลาแล้ว ให้ทำการระบายสาขายออกและนำมาพักให้ตกตะกอนภายในบีกเกอร์

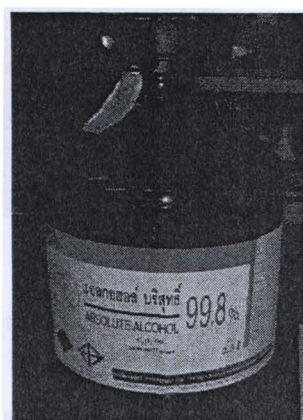
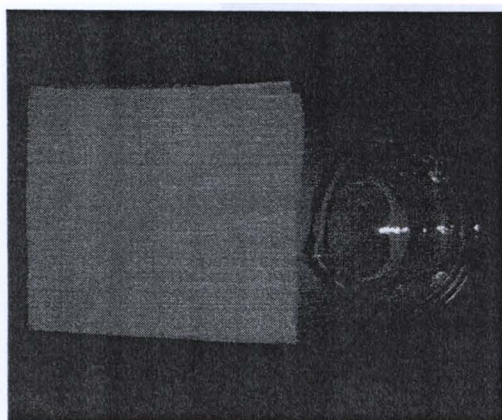


รูปที่ 3.126 ตะกอนโคลนที่ผ่านกระบวนการแยกสลาย

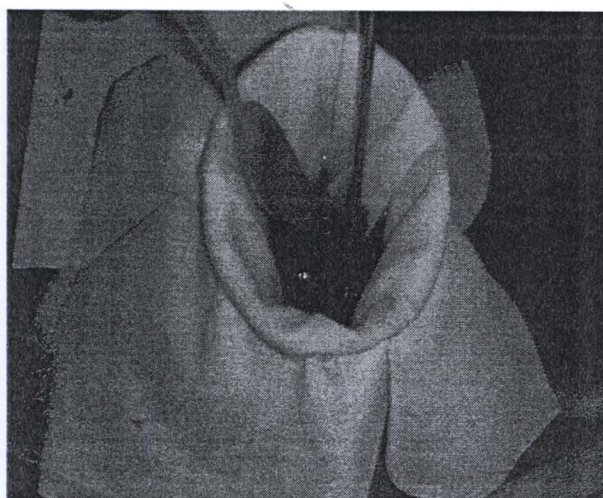
เมื่อสารละลายตกตะกอนแล้ว ให้นำตะกอนโคลนมาทำการล้างเพื่อเจือจางความเป็นกรด ด้วยการใช้น้ำ Ethanol บริสุทธิ์ 99.8% ล้าง 3-5 ครั้ง

2) ขั้นตอนการบดโลหะผง

เตรียมอุปกรณ์ในการกรองผงทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ก่อนนำไปบด ได้แก่ เตรียมผ้ากรอง ปีกเกอร์ และแอลกอฮอล์

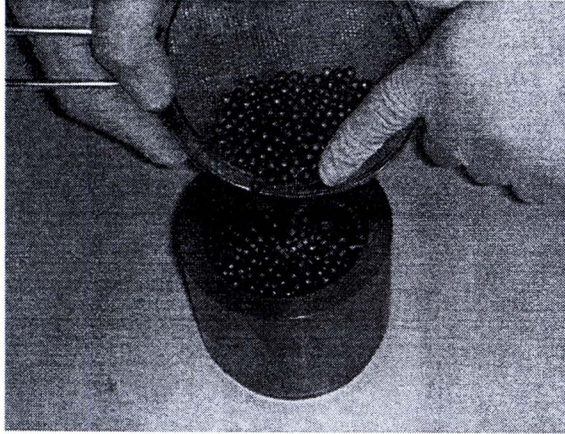


รูปที่ 3.127 อุปกรณ์ในการกรองโลหะผง



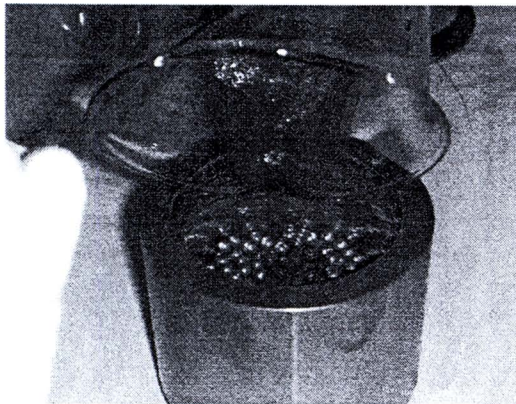
รูปที่ 3.128 การกรองโลหะผง

จากรูปที่ 3.128 เป็นขั้นตอนการกรองโลหะผง โดยกรองผ่านผ้าฝ้ายเพื่อให้ธาตุเจือปนอื่นๆ ถูกแยกออกเป็นการเพิ่มความบริสุทธิ์ให้กับโลหะผงจากกระบวนการรีไซเคิล



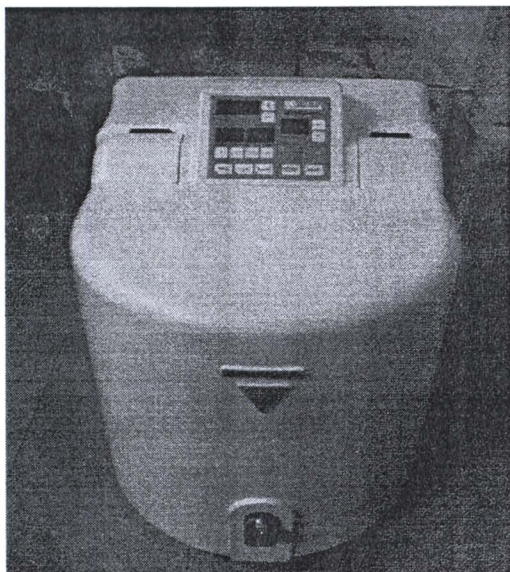
รูปที่ 3.129 การเตรียมลูกบด

จากรูปที่ 3.129 เมื่อทำการกรองโลหะผงเสร็จแล้ว ให้เตรียมลูกบด ชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนที่กำหนด เตรียมใส่ลงในหม้อบด



รูปที่ 3.130 เทตะกอนโคลนทั้งสเดนลงในหม้อบด

เมื่อเตรียมลูกบดเสร็จแล้วให้นำโลหะที่เตรียมไว้ เทลงในหม้อบดและเติมแอลกอฮอล์



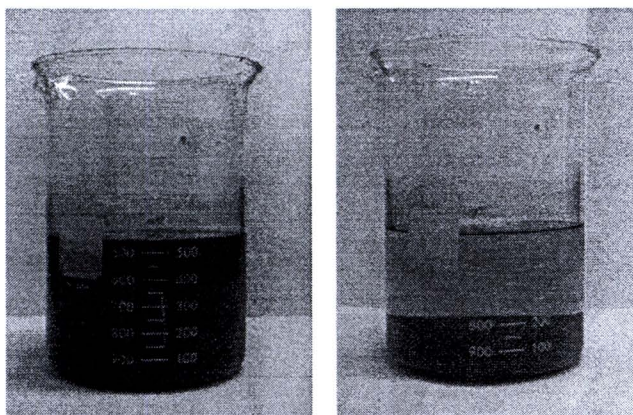
รูปที่ 3.131 เครื่องบดรุ่น Pulverisette 6

จากรูปที่ 3.131 นำหม้อบดที่อยู่ในบรรจุผงทดสอบคาร์ไบด์โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ยึดแน่นภายในเครื่องบด จากนั้นให้ทำการปรับชุดสมดุลน้ำหนัก พร้อมตั้งเงื่อนไขในการบด แล้ว เริ่มทำการบดตามเวลาในการบด ด้วยเครื่องบด Pulverisette 6



รูปที่ 3.132 การคัดแยกโลหะผงหลังการบด

เมื่อทำการบดครบตามระยะเวลาที่กำหนด ให้นำตะกอนโคลนโลหะผงภายในหม้อบด กรองผ่านตะแกรงสเตนเลสและล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นพักไว้ให้ตกตะกอน

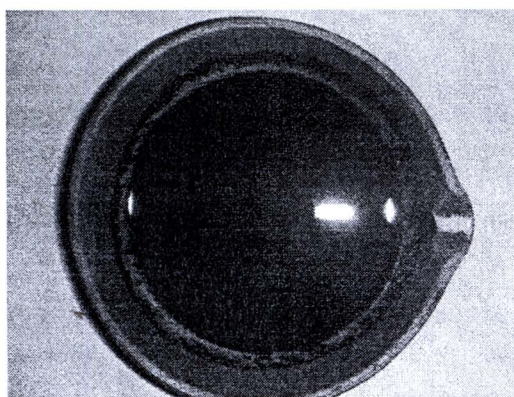


รูปที่ 3.133 แสดงการตกตะกอนของโลหะผง

จากรูปที่ 3.133 หลังจากที่พักตะกอนแล้ว เทสารละลายส่วนบนออกแล้วนำ ตะกอนโคลนไปทำการกรองตามขั้นตอนแรกจนครบ 3 ครั้ง แล้วนำไปใส่ในถ้วยเซรามิกส์เพื่อทำการ อบต่อไป

3) ขั้นตอนการอบโลหะผงที่ผ่านกระบวนการแยกสลาย

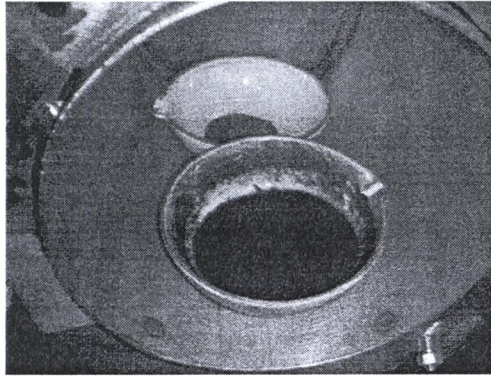
เมื่อเราได้โลหะผงจากกระบวนการแยกสลายแล้วขั้นตอนต่อไปก็นำมาทำการ อบไล่ความชื้นด้วยเตาอบระบบความคุมการเกิดออกไซด์ (Oxidation) สามารถอธิบายแต่ละขั้นตอน ได้ดังนี้



รูปที่ 3.134 ตะกอนโคลนก่อนอบ



จากรูปที่ 3.134 เมื่อทำการแยกโลหะพองจากสารละลายแล้ว นำมาใส่ในถ้วยเซรามิกส์เตรียม นำเข้าเตาอบเพื่ออบไล่ความชื้น



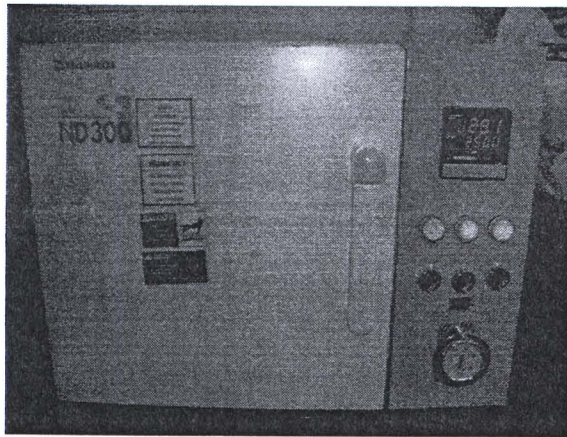
รูปที่ 3.135 การเตรียมตะกอนโคลนสำหรับอบแห้ง

นำตะกอนโคลนวางในถังอบที่บรรจุอยู่ในเตาอบระบบควบคุมการเกิดออกไซด์ (Oxidation)



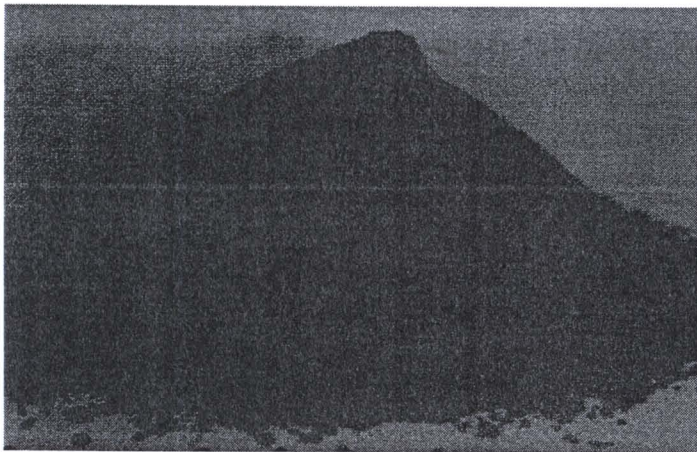
รูปที่ 3.136 การวางถังอบชิ้นงานภายในเตาอบ

ทำการปิดฝาถังอบชิ้นงานและต่อท่อสำหรับการดูดอากาศภายในถังอบ



รูปที่ 3.137 เตาอบขณะทำงาน

จากรูปที่ 3.137 เป็นการแสดงเตาอบระบบควบคุมการเกิดออกไซด์ (Oxidation) ขณะทำการใช้งาน ถูกออกแบบให้มีฟังก์ชันการทำงานโดยสวิตช์พร้อมไฟแสดงสถานะการทำงาน ได้แก่ ปุ่มเปิด-ปิด แสดงด้วยสัญญาณไฟสีเขียว อุณหภูมิ (Heather) แสดงสถานะการทำงานด้วยสัญญาณไฟสีแดง ปุ่ม Vacuums แสดงด้วยสัญญาณไฟสีส้มและปุ่มเพิ่ม

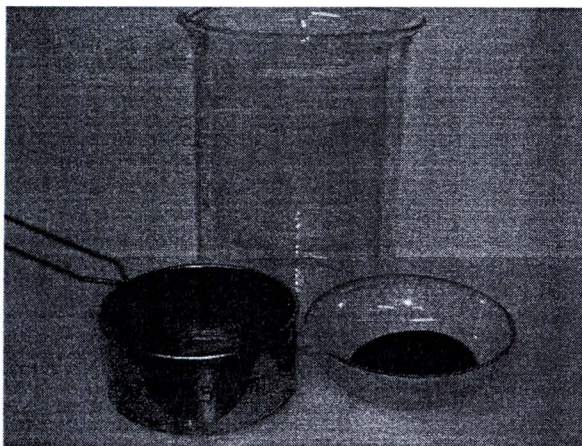


รูปที่ 3.138 โลหะผงหลังอบ

จากรูปที่ 3.138 เป็นลักษณะโลหะผงที่ผ่านกระบวนการแยกสลายและได้ทำการอบเพื่อไล่ความชื้น เตรียมที่จะนำไปผ่านกระบวนการถัดไป

4) ขั้นตอนการคัดขนาดและการผสม

การคัดขนาดและการผสมสามารถแสดงขั้นตอนการปฏิบัติงานได้ ดังต่อไปนี้



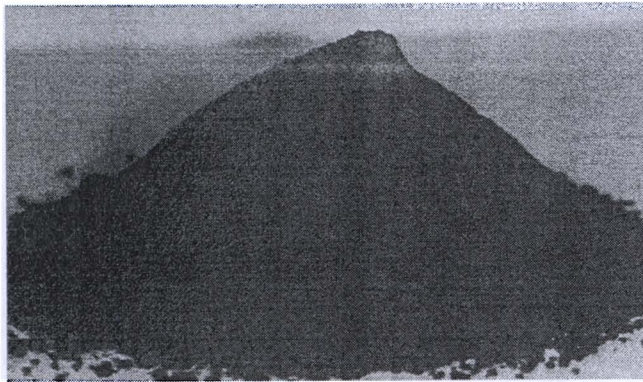
รูปที่ 3.139 เตรียมอุปกรณ์ในการคัดขนาด

จากรูปที่ 3.139 เป็นอุปกรณ์ในการคัดขนาดโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ประกอบด้วย บีกเกอร์ ตะแกรงคัดขนาดขนาดไม่เกิน 50 ไมครอน



รูปที่ 3.140 การคัดขนาดด้วยตะแกรงสแตนเลสขนาด $\leq 50 \mu\text{m}$

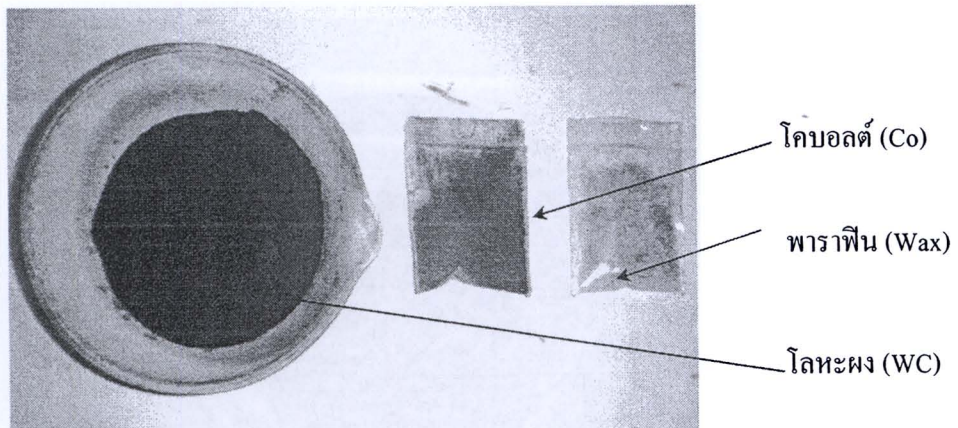
จากรูปที่ 3.140 เมื่อเตรียมอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วให้ทำการคัดขนาดโลหะผงผ่านตะแกรงคัดขนาด NO.250 คัดขนาดขนาดอนุภาคได้เล็กกว่าหรือเท่ากับ 51 ไมครอน



รูปที่ 3.141 โลหะผงจากกระบวนการคัดขนาด

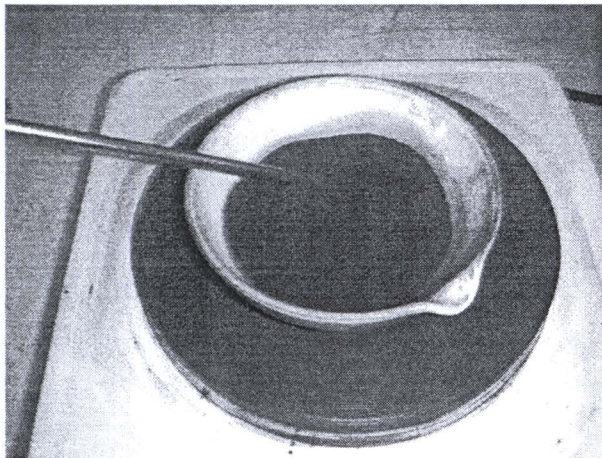
จากรูป 3.141 เป็นโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่มีขนาดอนุภาค $\leq 50 \mu\text{m}$ เมื่อผ่านกระบวนการคัดขนาดอนุภาคแล้ว ขั้นตอนต่อไปเตรียมสำหรับผสมโลหะประสานโคบอลต์

5) ขั้นตอนการผสมโลหะผงสำหรับอัดขึ้นรูป



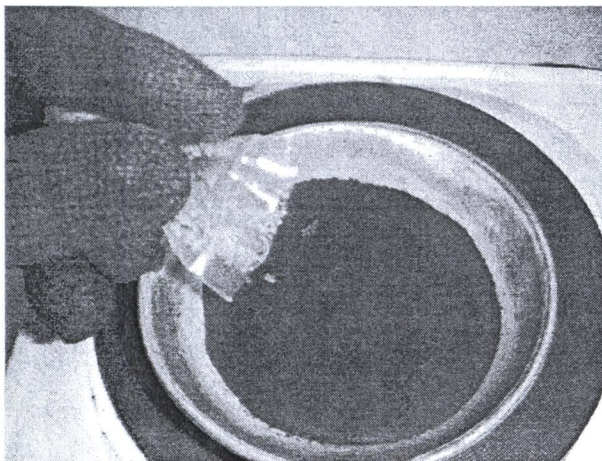
รูปที่ 3.142 การเตรียมส่วนผสม

จากรูปที่ 3.142 ทำการเตรียมส่วนผสมในการผสมโลหะผงสำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นมิด โดยให้ทำการชั่งน้ำหนักส่วนผสมแต่ละตัว ได้แก่ โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) โคบอลต์ (Co) และพาราฟิน (Wax) ตามปริมาณที่กำหนด



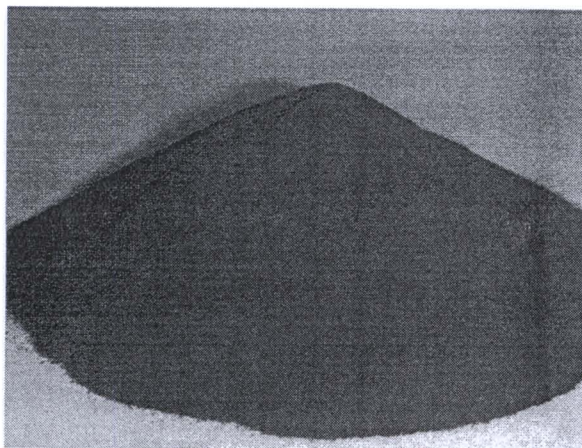
รูปที่ 3.143 การผสมโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

จากรูปที่ 3.143 เป็นการผสมโลหะประสาน โคบอลต์ เริ่มด้วย การให้ความร้อนโลหะผง 15-20 นาที จากนั้น ค่อยๆ เติมโคบอลต์ (Co) และใช้แท่งสแตนเลสคนให้ส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 3.144 การเติมพาราฟิน (Wax)

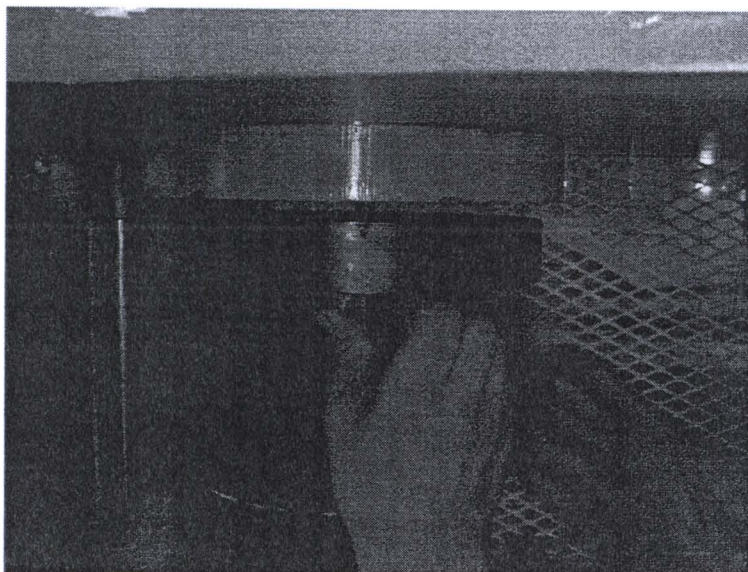
ขั้นตอนต่อมา รูปที่ 3.144 เป็นการผสมพาราฟิน (Wax) เมื่อผสมแล้วใช้แท่งสแตนเลสคนให้ส่วนผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว



รูปที่ 3.145 โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์พร้อมสำหรับการอัดขึ้นรูป

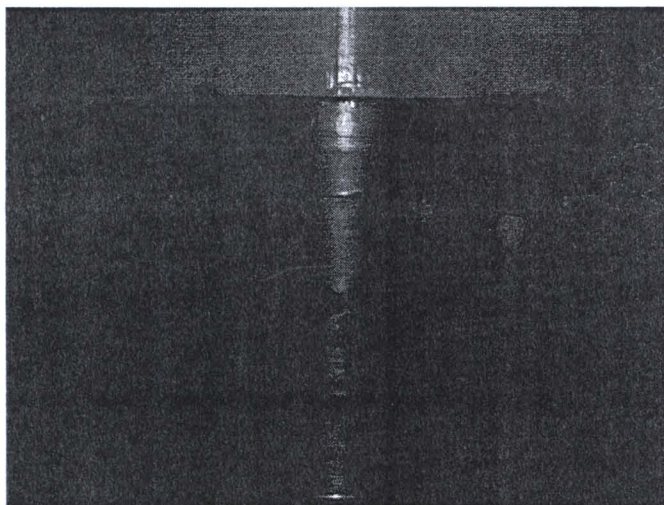
5) ขั้นตอนการอัดขึ้นรูป

ก) ทำการติดตั้งชุดแม่พิมพ์ Upper Punch และชุดแม่พิมพ์ Lower Punch ยึดติดกับเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกส์



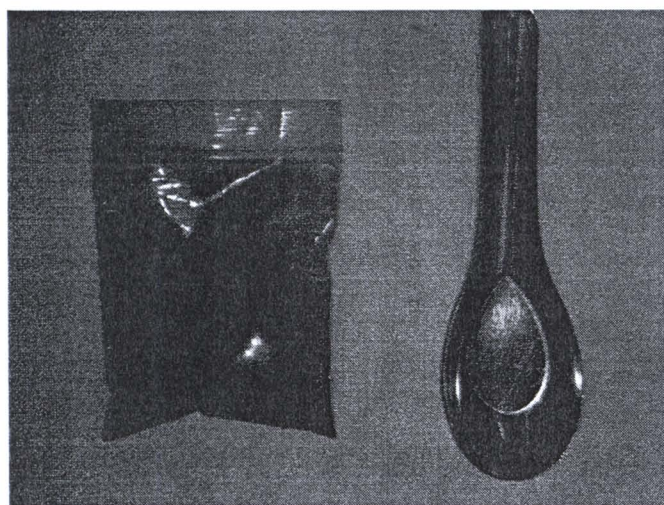
รูปที่ 3.146 การประกอบแม่พิมพ์ชุด Upper punch





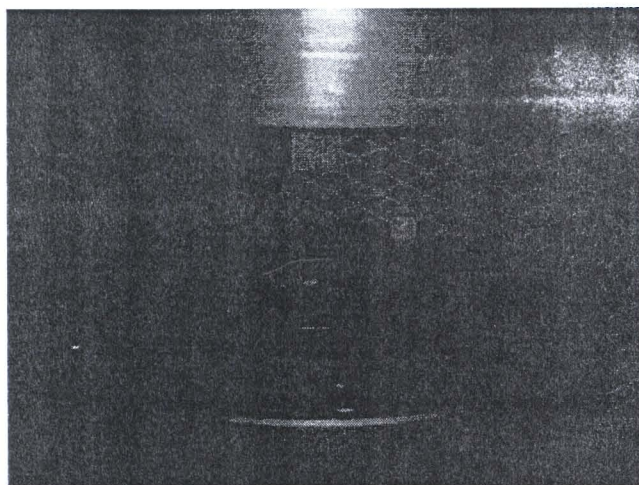
รูปที่ 3.147 แสดงการยัดสกรูชุดแม่พิมพ์

จากรูปที่ 3.146 - 3.147 แสดงการยัดสกรูเพื่อประกอบแม่พิมพ์ชุด Upper punch จากนั้นใช้
ประแจ L ขันยัดให้เรียบร้อย จากนั้นให้ทำการขันยัดแม่พิมพ์ Lower punch และทำความสะอาด
คราบน้ำมันเพื่อเตรียมสำหรับการอัดขึ้นรูป



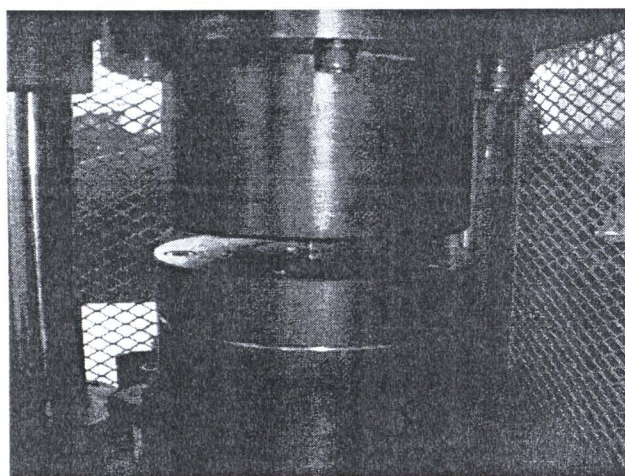
รูปที่ 3.148 โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ผสม 10%Co

เตรียมโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์และทำการชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนที่ต้องการ



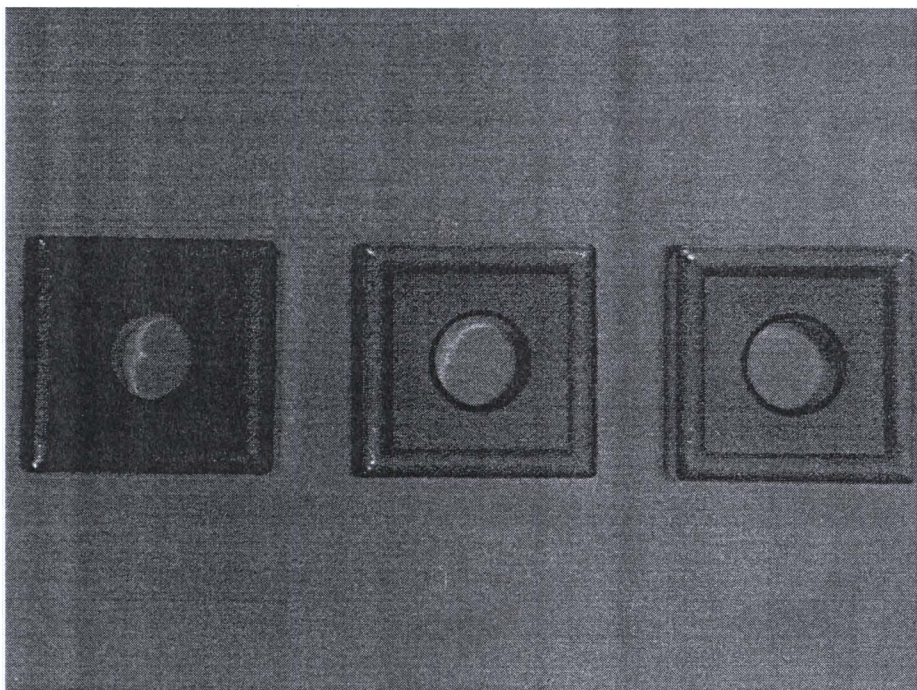
รูปที่ 3.149 แสดงการเตรียมโลหะผงใส่ลงในแม่พิมพ์

จากรูปที่ 3.149 เลื่อนชุดแม่พิมพ์ให้อยู่ในตำแหน่งเทโลหะผง และให้ทำการเทโลหะผงลงในช่องบรรจุผง แล้วใช้ไม้บรรทัดปาดผิวหน้าให้โลหะผงเรียบเสมอแม่พิมพ์



รูปที่ 3.150 แสดงตำแหน่งอัดชิ้นงาน

จากรูปที่ 3.150 แสดงตำแหน่งการอัดแน่น โดยให้ทำการเลื่อนแม่พิมพ์มาอยู่ที่ตำแหน่งอัด แล้วทำการอัดแน่นข้างไว้ประมาณ 2-3 วินาที ก่อนทำการเลื่อนแม่พิมพ์มาอยู่ในตำแหน่งปลดชิ้นงานเพื่อนำชิ้นงานออกมาและทำการตรวจสอบขนาดและชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล



รูปที่ 3.151 แสดงแผ่นมีดตัดซีเมนต์คาร์ไบด์หลังการอัดขึ้นรูป

3.12 สรุปผลการดำเนินงาน

การดำเนินการทดลองผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยเทคโนโลยีพื้นฐานสำหรับการผลิตโลหะผงประกอบด้วย เครื่องแยกสลายเศษโลหะแข็ง เครื่องบดละเอียดโลหะผง เตาอบไฟฟ้า ระบบควบคุมการเกิดออกไซด์ ตะแกรงคัดขนาดโลหะผง แม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูป และเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกส์ จากการดำเนินการติดตั้งและทดลองผลิตปรากฏว่า เทคโนโลยีที่สร้างขึ้นสามารถผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์และทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานโลหะแข็งได้แผ่นมีดขนาดประมาณ 15.72 x 15.73 x 6.21 มิลลิเมตร