บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 บทนำ

ผลจากการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์จากเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ ประกอบด้วย การพัฒนาเทคโนโลยีการสลายชิ้นงานโลหะแข็ง การอบให้ความร้อนโลหะผงที่ได้จากการผลิต การบดลดขนาด การคัดขนาดโลหะผง การพัฒนาแม่พิมพ์สำหรับผลิตเป็นชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ และพัฒนาเครื่องอัดไฮดรอลิกส์สำหรับผลิตชิ้นงาน ทำการวิจัยโดยวิเคราะห์กระบวนการผลิต ประกอบด้วยหลายส่วนผลิต ได้แก่ การสลาย การเตรียม การผลิตโลหะผง การกำหนดสมบัติโลหะผงและการประยุกต์ใช้งานซึ่งเป็นการวิจัยและพัฒนาขึ้นใหม่ (Process prototype)

ผลที่ได้จากกระบวนการใหม่ สามารถผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ให้มีความบริสุทธิ์มากกว่า 97% ผลิตโลหะผงขนาดไม่เกิน 50 μm เป็นโลหะผงมาตรฐาน ซึ่งมีรายละเอียดตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

4.2 การสร้างเครื่องแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์

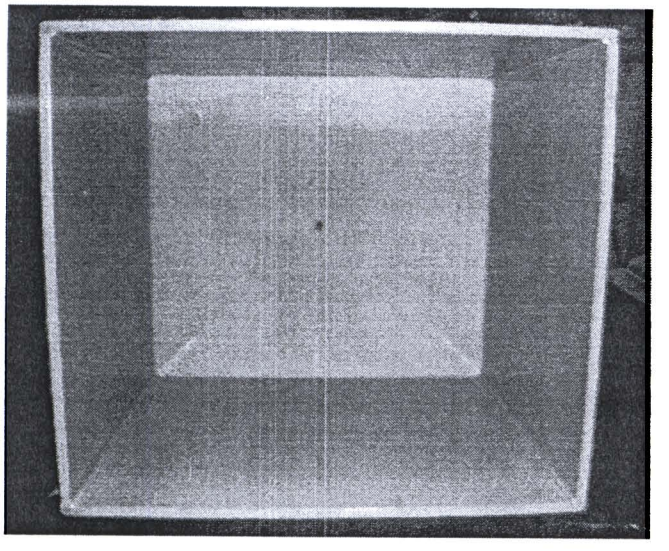
4.2.1 ขั้นตอนการผลิตถังบรรจุสารละลาย

การเตรียมวัสดุประกอบด้วย แผ่นพลาสติกโพลิโพรพิลีน (PP) ขนาด 443 x 580x15 mm. จำนวน 4 แผ่น แผ่นโพลิโพรพิลีน (PP) ขนาด 443x470x15 mm. จำนวน 4 แผ่น แผ่นโพลิโพรพิลีน (PP) ขนาด 182x580x10 mm. จำนวน 2 แผ่น แผ่นโพลิโพรพิลีน (PP) ขนาด 182x470x10 mm. จำนวน 2 แผ่น แผ่นโพลิโพรพิลีน (PP) ขนาด 91x470x10 mm. จำนวน 4 แผ่น

การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือประกอบด้วย เครื่องตัดพลาสติก มีด กระดาษทรายละเอียด เบอร์ 280 เครื่องเชื่อมพลาสติก ลวดเชื่อมพลาสติกแบบแบน C-clamp หลังจากการเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือได้ดำเนินการสร้างซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

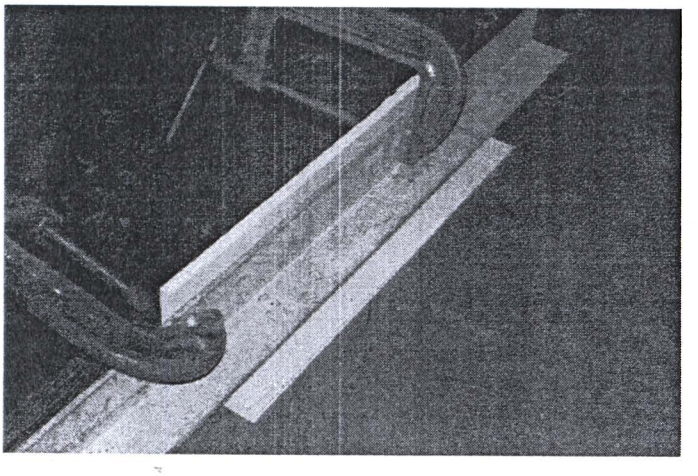
ขั้นตอนที่ 1 ทำการเชื่อมประกอบผนังถัง 4 ด้านของถังทำงานขนาด 443x580x15 mm. และถังพักสารละลายให้ได้ขนาด 443x480x10 mm.

ขั้นตอนที่ 2 เชื่อมประกอบแผ่นพลาสติก ขนาด 182x580x10 mm. และ แผ่นพลาสติก ขนาด 182x470x10 mm. สำหรับทำลาดเอียงมุมภายใน 112 องศา ของถังบรรจุสารละลาย ขนาด 443 x 580x15 mm. แล้ว เชื่อมแผ่นพลาสติก ขนาด 91x470x10 mm. สำหรับทำลาดเอียงมุมภายใน 128 องศา ของถังบรรจุสารละลาย ขนาด 443x470x15 mm.



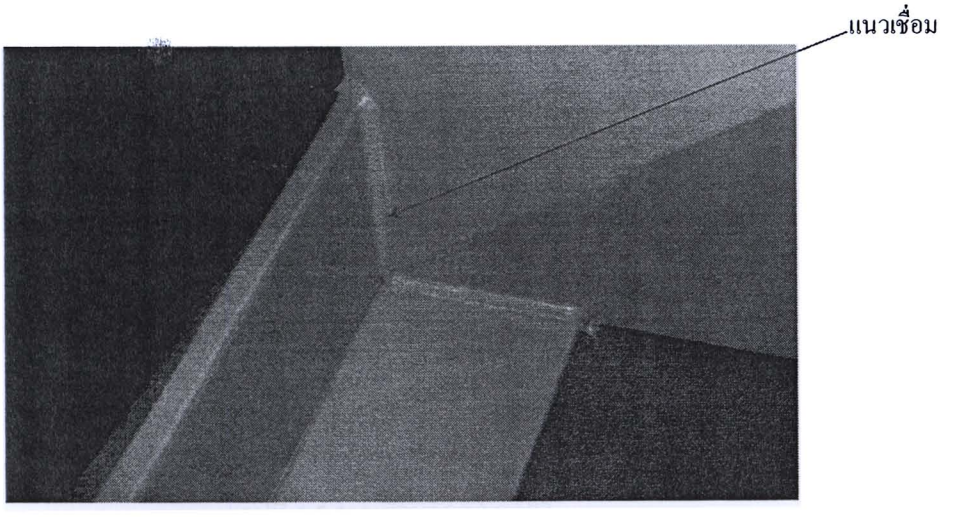
รูปที่ 4.1 ถังบรรจุสารละลายขนาด 470x580x15 mm.

ขั้นตอนที่ 3 ดัดขึ้นรูปขาตั้งสำหรับถังบรรจุสารละลาย โดยใช้เหล็กฉาก 2 ชิ้น ขนาด 2 นิ้ว ประกบกันแล้วหนีบเข้าหากันด้วย C-Clamp

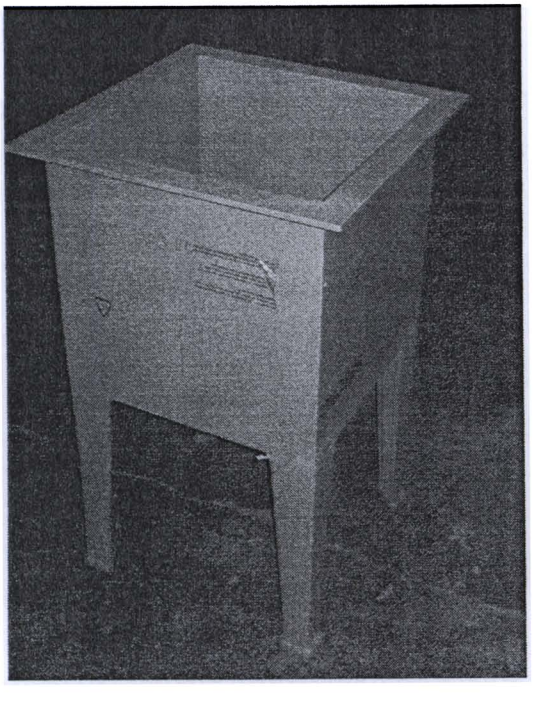


รูปที่ 4.2 การดัดขึ้นรูปขาตั้งของถังบรรจุสารละลาย

ขั้นตอนที่ 4 นำขาตั้งถังบรรจุสารละลายมาประกอบกับตัวถัง แล้วเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมพลาสติก

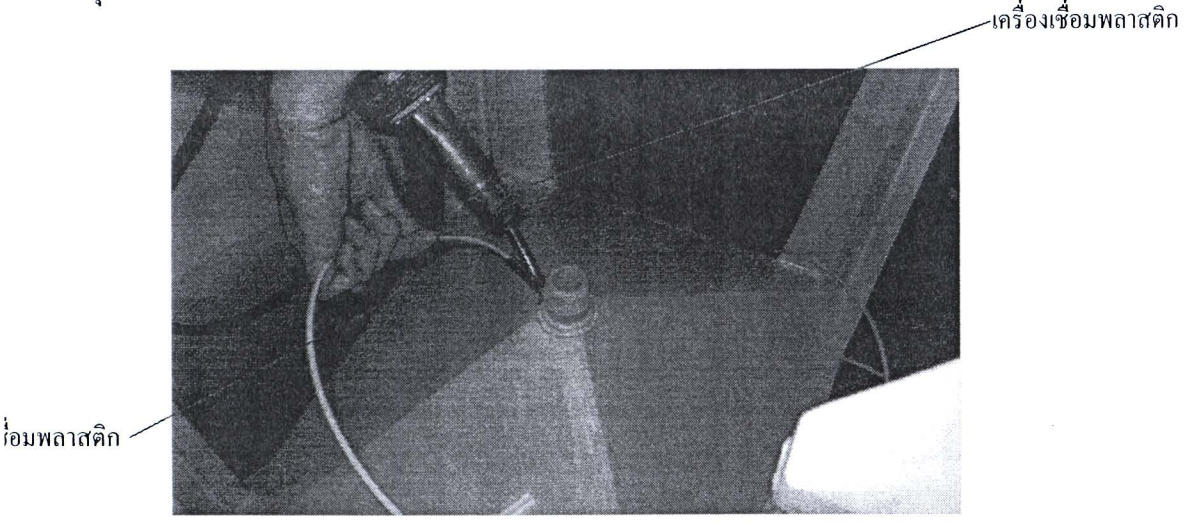


รูปที่ 4.3 การประกอบขาตั้งกับตัวถังบรรจุสารละลาย



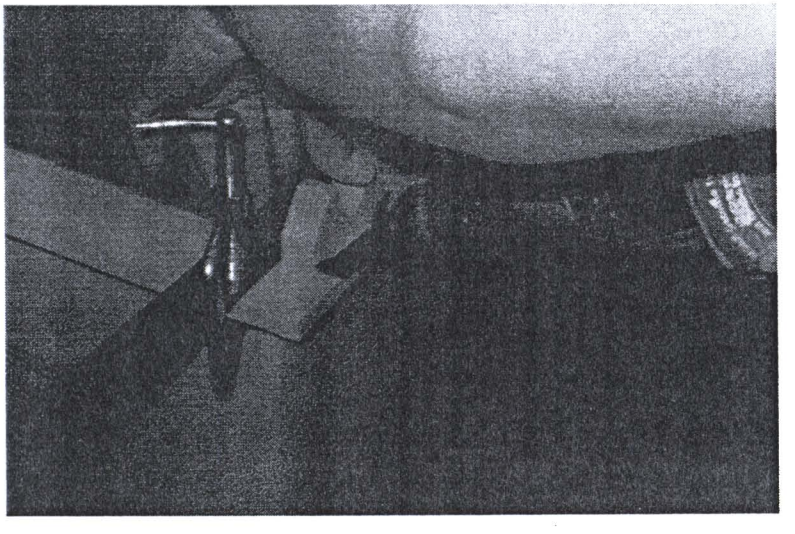
รูปที่ 4.4 ถังบรรจุสารละลายขนาด 443x470x15 mm.

ขั้นตอนที่ 5 ทำการประกอบข้อต่อเกลี่ยว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm. กับตัวถังบรรจุสารละลายแล้วเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อพลาสติก



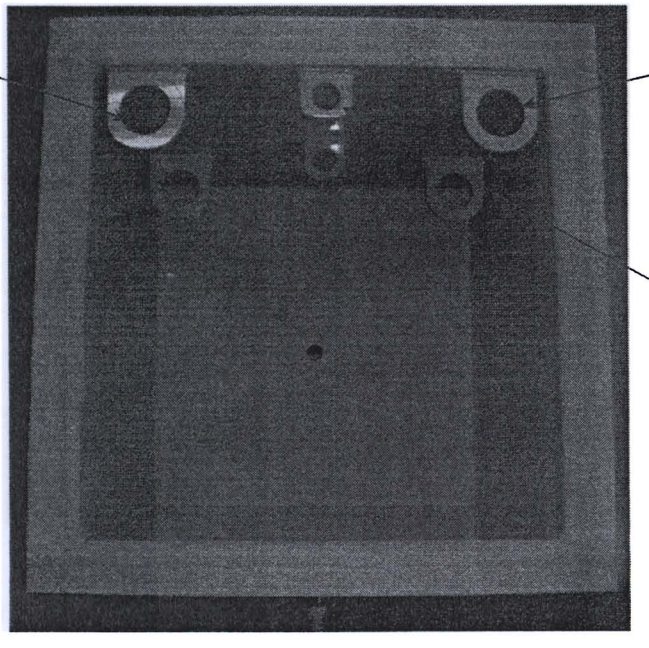
รูปที่ 4.5 การเชื่อมข้อต่อเกลียว

ขั้นตอนที่ 6 เตรียมชิ้นส่วนสำหรับรับเพลาทองแดง แล้วเชื่อมประกอบกับขอบถังบรรจุสารละลาย ขนาด 443 x 580x15 mm.

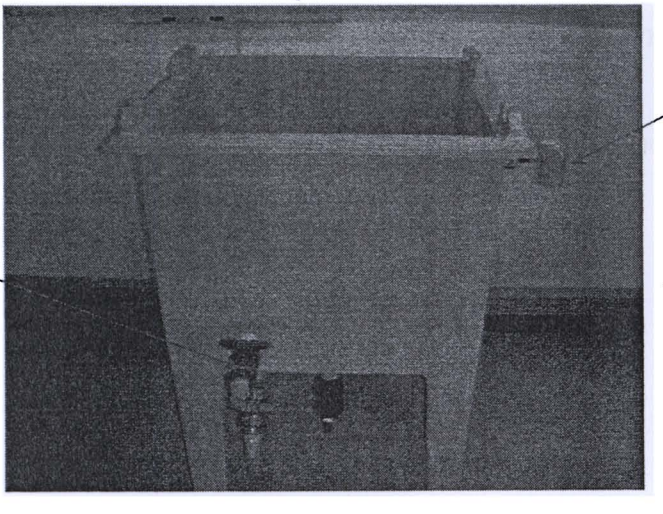


รูปที่ 4.6 การเชื่อมประกอบชิ้นส่วนรองรับเพลาทองแดงขนาด Ø 25.4 mm.

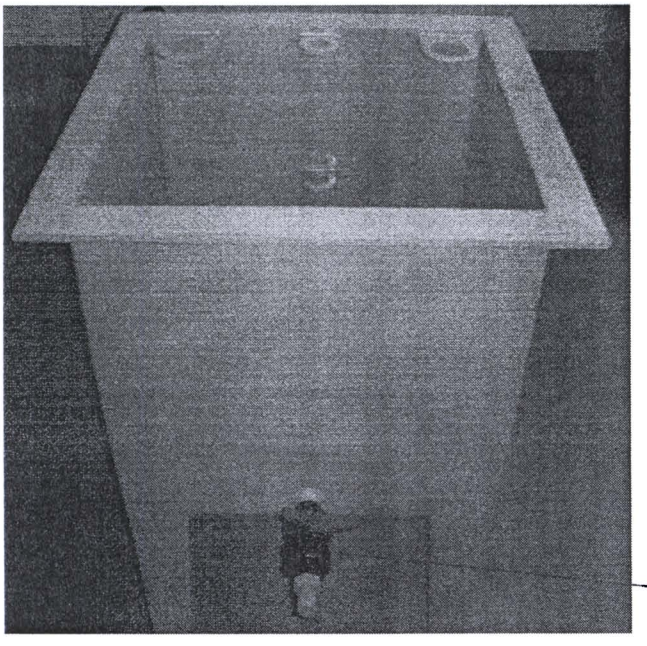
ขั้นตอนที่ 7 เตรียมชิ้นส่วนสำหรับจับยึดฮีตเตอร์และเทอร์โมมิเตอร์ พร้อมเชื่อมติดกับผนังด้านในของถังบรรจุสารละลาย ขนาด 443x470x15 mm.



รูปที่ 4.7 การประกอบชิ้นส่วนสำหรับจับยึดฮีตเตอร์และเทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 4.8 การประกอบยูเนี่ยนวาล์วและท่อน้ำล้น

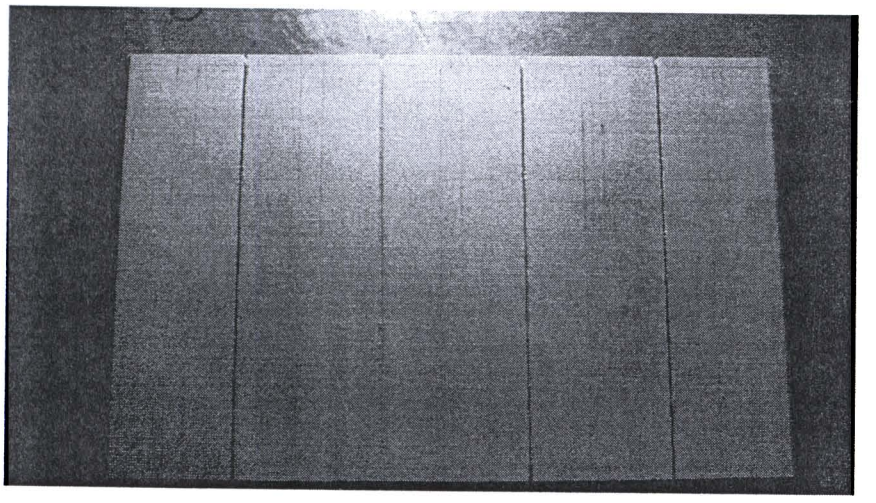


รูปที่ 4.9 การประกอบยูเนี่ยนวาล์วของถังบรรจุสารละลายขนาด 443x470x15 mm.

4.2.2 ขั้นตอนการสร้างถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)

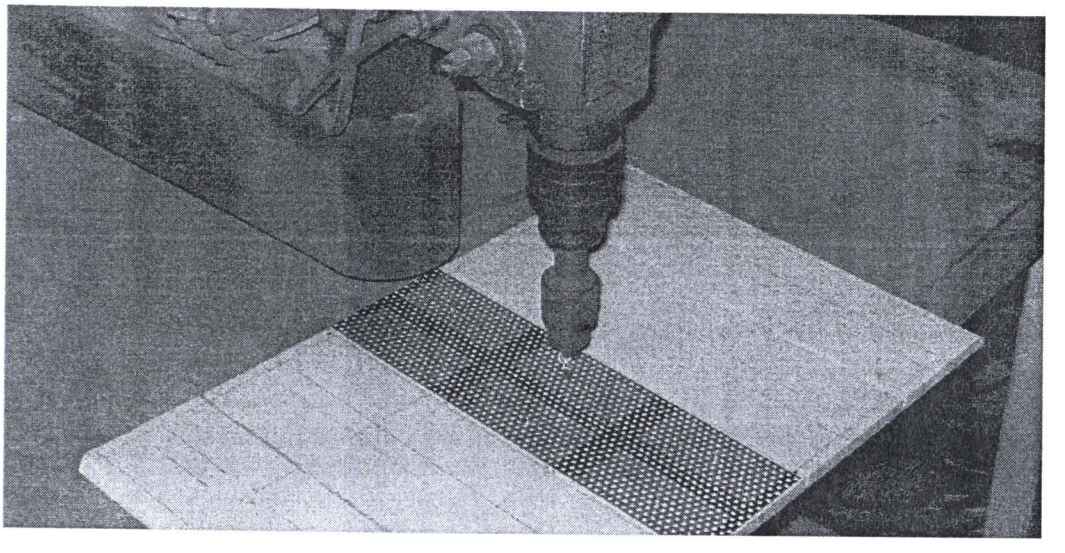
เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ ประกอบด้วย แผ่นโพลิโพรพิลีน (PP) ดอกสว่านสำหรับเจาะรู ขนาด 2 mm. มีด กระดาษทรายละเอียด เบอร์ 28 เครื่องเชื่อมพลาสติก C-clamp ลวดเชื่อมพลาสติก แบบแบน เครื่องเจียระไน

ขั้นตอนที่ 1 ตัดแผ่น pp ขนาด 300x480x10 mm. แล้วแบ่งออกเป็น 5 ช่องเท่าๆกัน จากนั้นให้ทำร่องมุม 60 องศา กว้าง 5 mm.



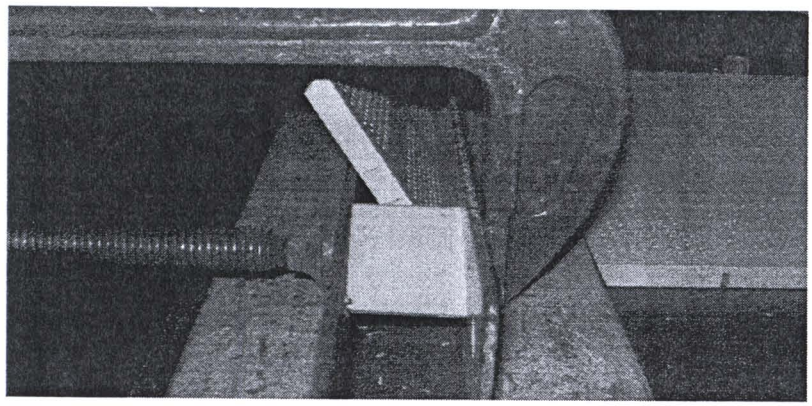
รูปที่ 4.10 การแบ่งช่องสำหรับเจาะรูระบายเศษโลหะ และทำร่องสำหรับพับขึ้นรูป

ขั้นตอนที่ 2 ติดบล็อกรูเจาะลงบนแผ่นชิ้นงาน แล้วทำการเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm.

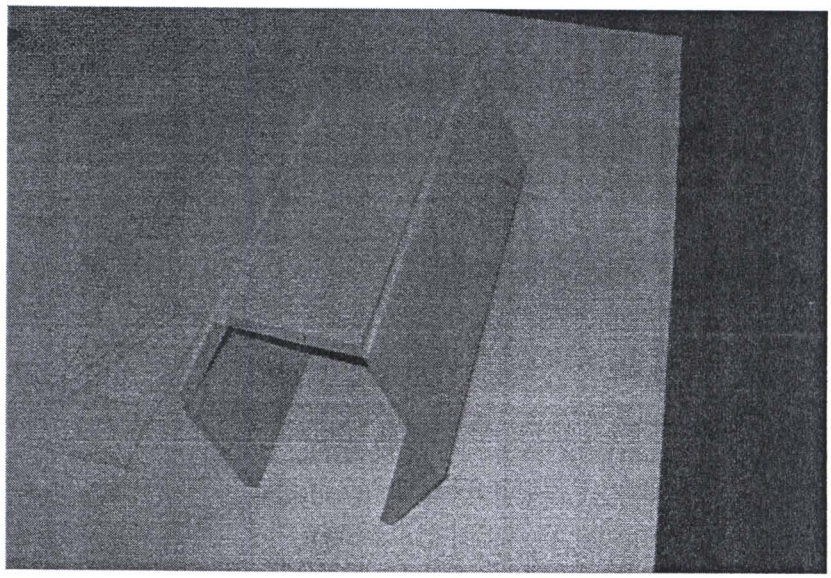


รูปที่ 4.11 การเจาะรูผนังถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)

ขั้นตอนที่ 3 ดัดขึ้นรูปขาผนังถังบรรจุสารละลาย โดยใช้เหล็กฉาก 2 ชิ้น ขนาด 2 นิ้ว ประกบกันแล้วหนีบเข้าหากันด้วย C-Clamp

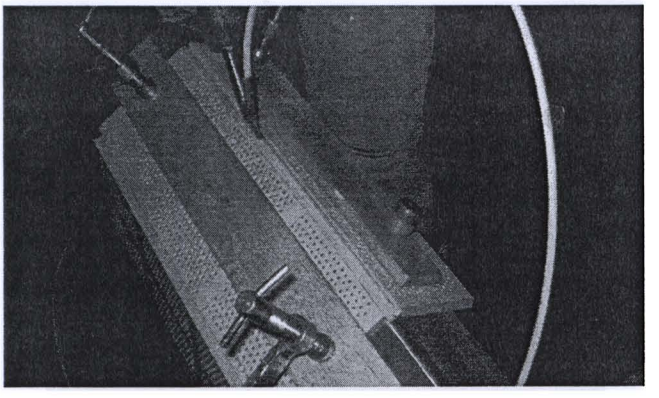


รูปที่ 4.12 การดัดขึ้นรูปผนังถังบรรจุชิ้นงาน



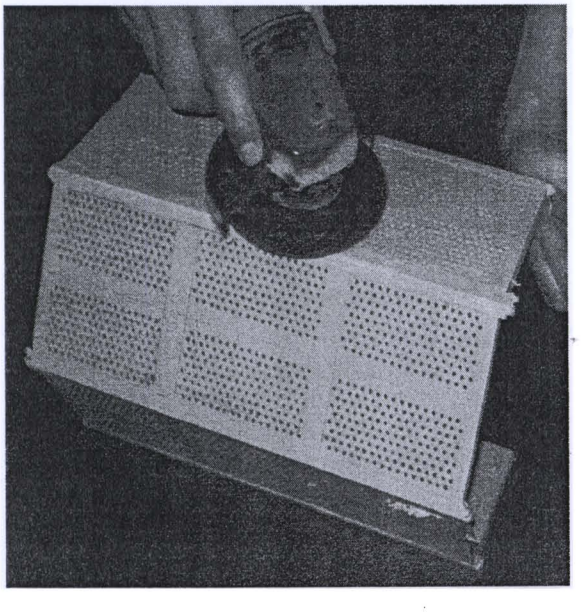
รูปที่ 4.13 ลักษณะถังบรรจุชิ้นงานหลังการพับตามช่องที่แบ่งไว้

ขั้นตอนที่ 4 ทำการเชื่อมเสริมความแข็งแรงของภาชนะบรรจุชิ้นงานเศษซีเมนต์คาร์ไบด์



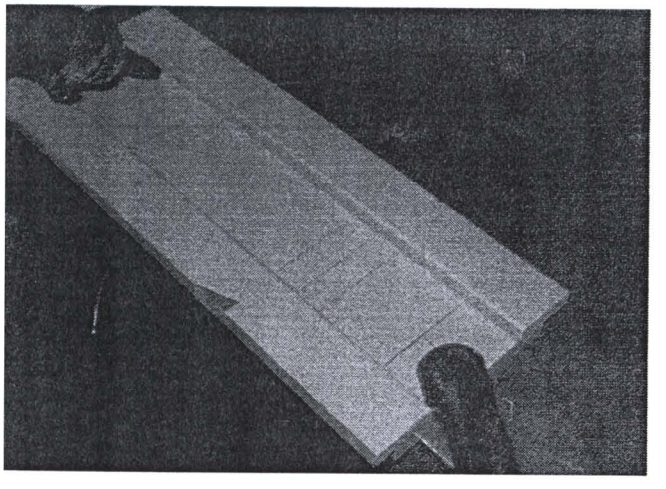
รูปที่ 4.14 การเชื่อมพลาสติกเสริมความแข็งแรงตามแนวตะเข็บของรอยพับ

ขั้นตอนที่ 5 การปรับแต่งรอยเชื่อมโดยใช้เครื่องเจียระไน แล้วใช้กระดาษทรายเบอร์ 280 ขัดปรับผิวตามรอยตะเข็บแนวเชื่อม



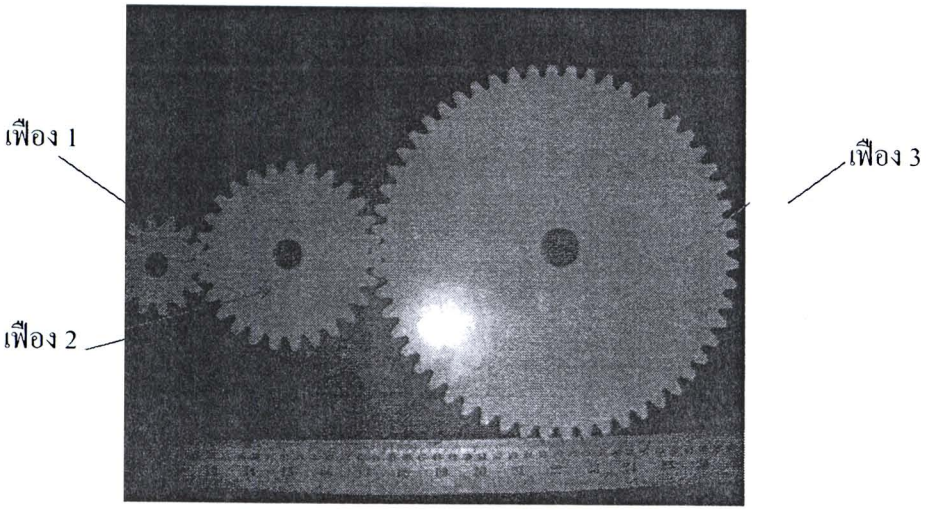
รูปที่ 4.15 การปรับแต่งรอยเชื่อมของถังบรรจุชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 6 ตัดแผ่นโพลิโพรพิลีน (PP) ขนาด 300x480x10 mm. ทำการเชื่อมประกอบตามแบบ แล้วทำการเจาะรูสำหรับประกอบสกรู



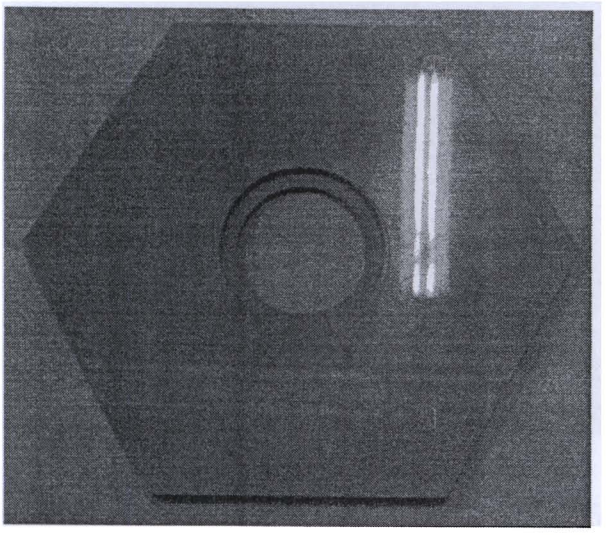
รูปที่ 4.16 การเชื่อมประกอบฝาปิดถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)

ขั้นตอนที่ 7 เตรียมเฟืองตรงสำหรับใช้ส่งกำลังให้ถังบรรจุชิ้นงานหมุน ประกอบด้วยเฟืองตัวที่ 1 ขนาด 6 DP 14 T เส้นผ่านศูนย์กลาง 67 mm. เฟืองตัวที่ 2 ขนาด 6 DP 27T เส้นผ่านศูนย์กลาง 122 mm. และเฟืองตัวที่ 3 ขนาด 6 DP 56 T เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 mm.



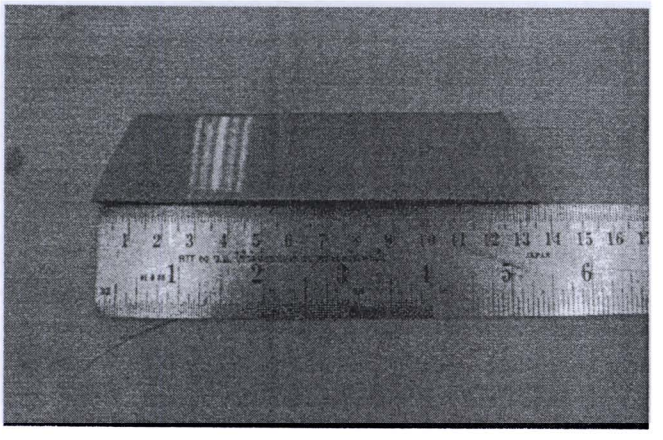
รูปที่ 4.17 ชุดเฟืองตรงสำหรับส่งกำลังเพื่อหมุนถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)

ขั้นตอนที่ 8 ตัดฝาประกบข้างถังหกเหลี่ยม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 260 mm. แล้วเจาะรู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 75 มิลิเมตร



รูปที่ 4.18 ฝาประกบข้างถังบรรจุชิ้นงานทรงหกเหลี่ยมด้านเท่า

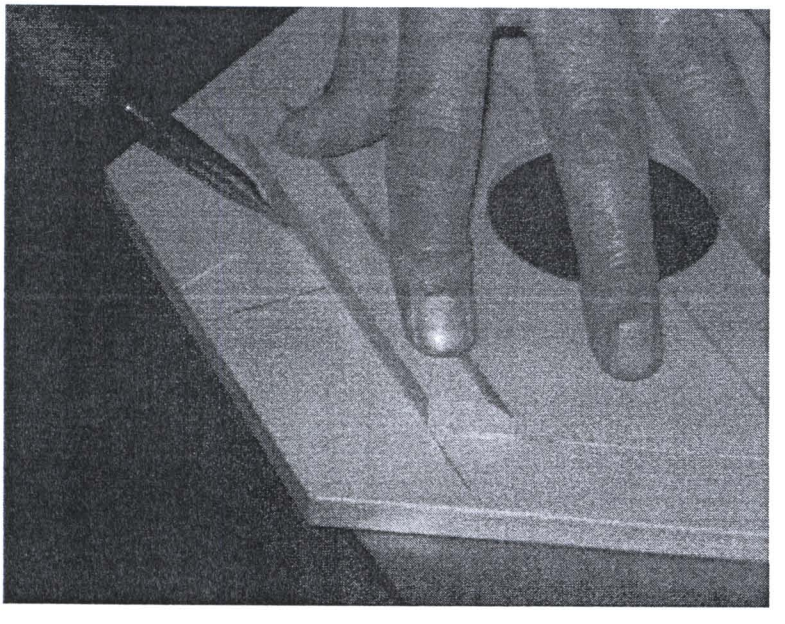
ขั้นตอนที่ 9 ตัดแผ่นโพลิโพรพิลีน (PP) ขนาด 25x140x15 mm. จำนวน 2 ชิ้น



รูปที่ 4.19 ชิ้นส่วนสำหรับยึดแน่นถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)

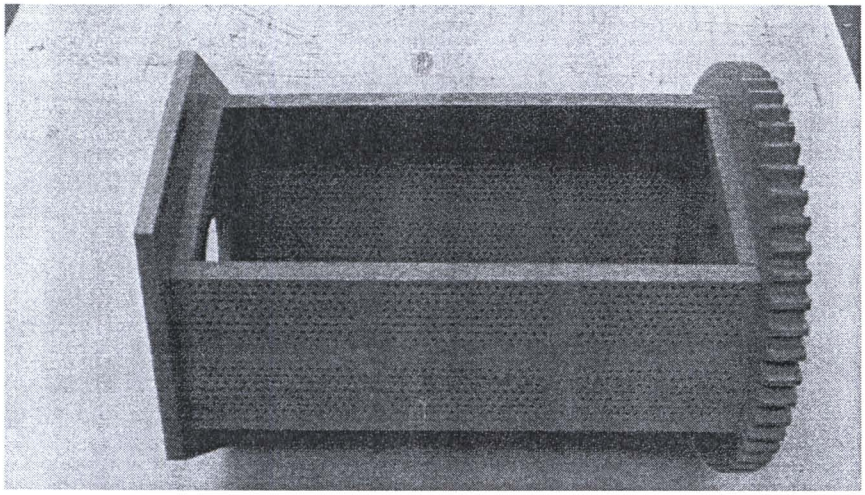
ขั้นตอนที่ 10 ทำการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนสำหรับยึดแน่นถังบรรจุชิ้นงานติดกับเฟือง 1

รูปที่ 4.20 การเชื่อมประกอบชิ้นส่วนสำหรับยึดแน่นถังหกเหลี่ยม



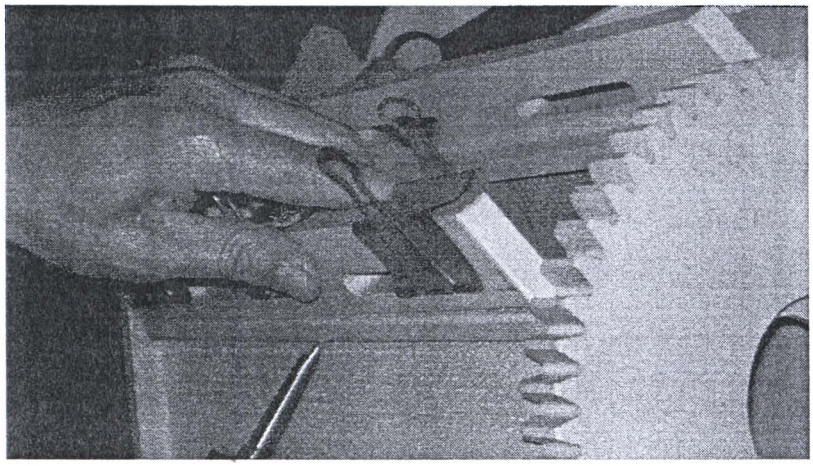
รูปที่ 4.21 การเชื่อมประกอบส่วนสำหรับฝาประกบข้างถังหกเหลี่ยม

ขั้นตอนที่ 11 นำเฟืองตรง 1 และ ฝาติดข้างมาประกอบเข้ากับถังบรรจุชิ้นงานแล้วทำการเชื่อมยึด

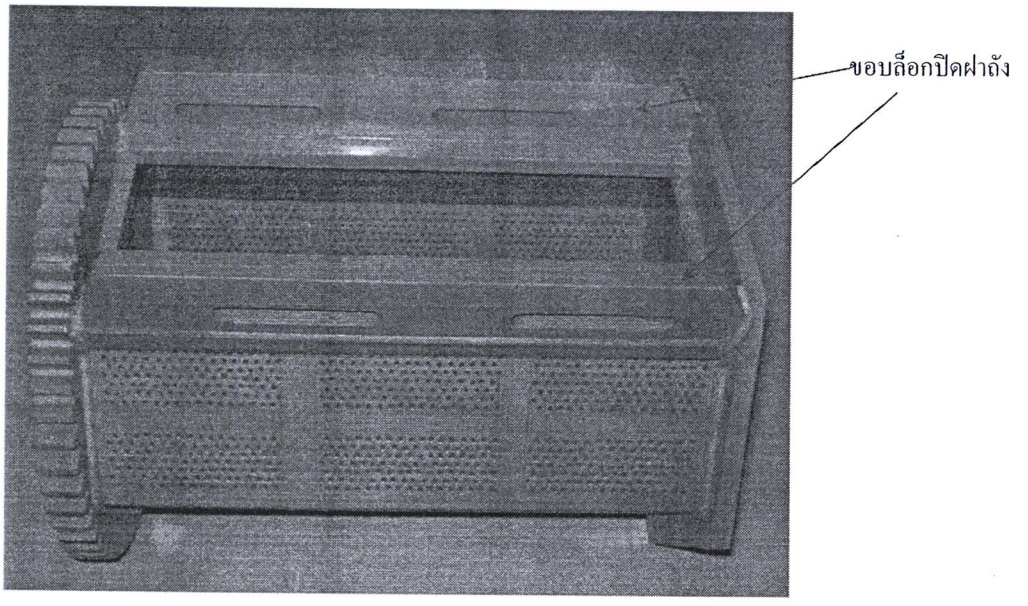


รูปที่ 4.22 ถังบรรจุชิ้นงานทรงหกเหลี่ยมที่เชื่อมยึดเฟืองพร้อมฝาประกบข้าง

ขั้นตอนที่ 12 ใช้ตัวหนีบยึดชิ้นส่วนขอบล็อกปิดฝาถังบรรจุชิ้นงาน ขนาด 40x300x10 mm.. ติดกับถังหกเหลี่ยมแล้วเชื่อมประกอบชิ้นงานสำหรับล็อกปิดฝาถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)

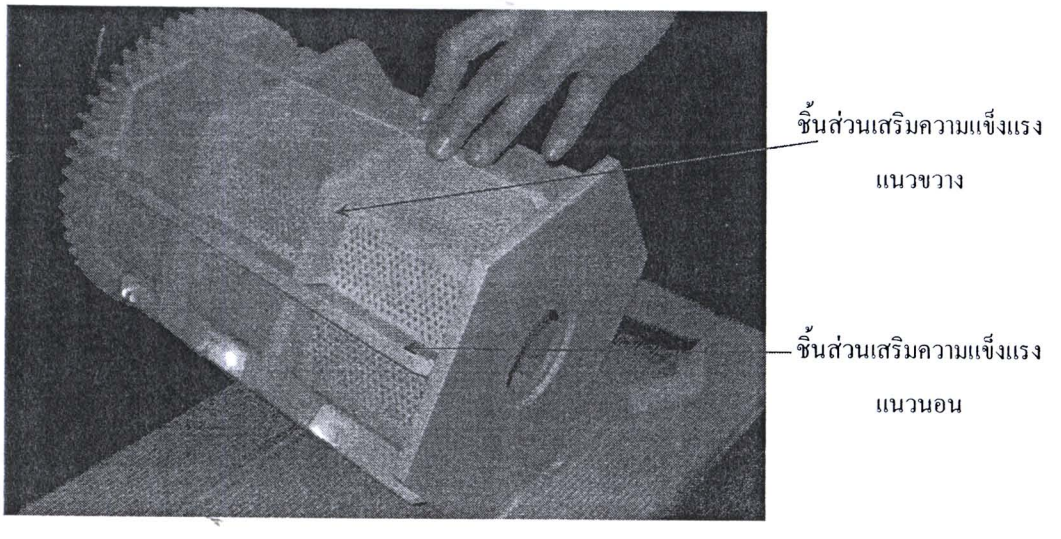


รูปที่ 4.23 การเชื่อมประกอบชิ้นส่วนขอบล็อกปิดฝาถังบรรจุชิ้นงาน



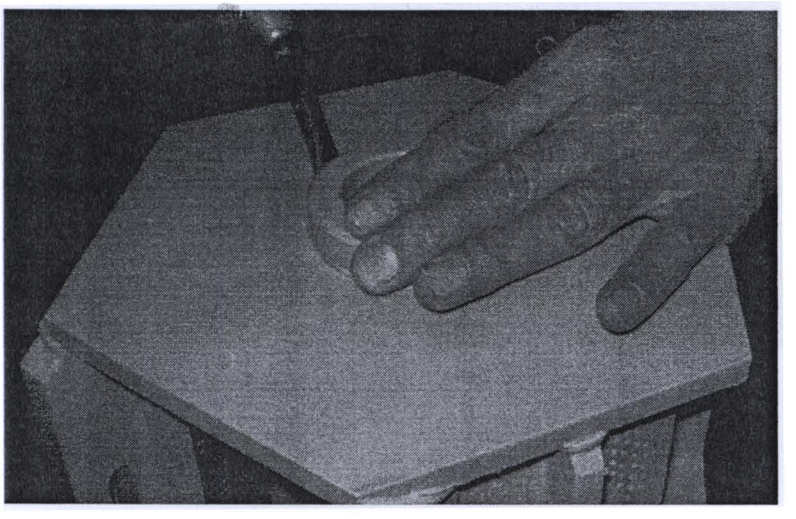
รูปที่ 4.24 ถังบรรจุชิ้นงานที่เชื่อมยึดขอบล็อกปิดฝาถัง

ขั้นตอนที่ 13 เชื่อมประกบชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงตามแนวขวางของถังบรรจุสารละลาย



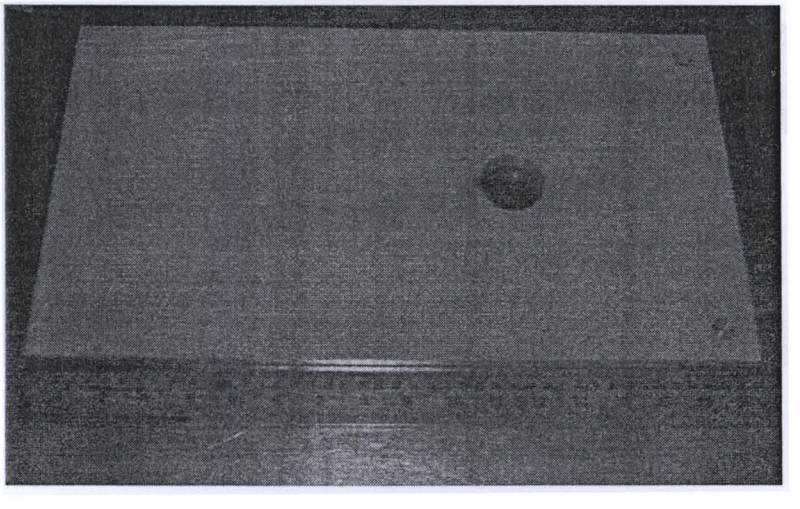
รูปที่ 4.25 ลักษณะการเสริมความแข็งแรงถังบรรจุชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 15 เชื่อมประกบแหวนรองถัง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm. ติดกับฝาปิดข้างถังถังบรรจุชิ้นงาน

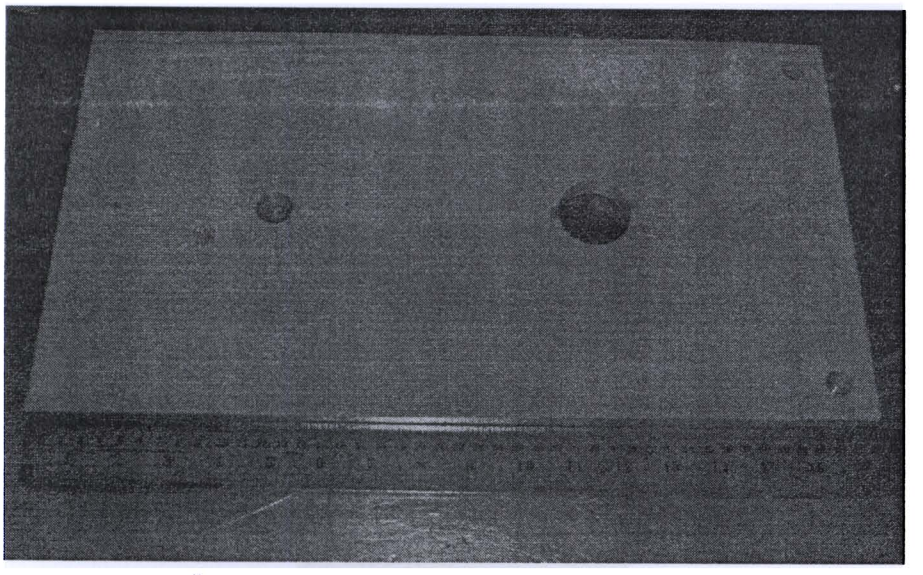


รูปที่ 4.26 การเชื่อมประกบแหวนรองถังติดกับฝาปิดข้างถังบรรจุชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 16 เตรียมแผ่นพลาสติกโพลิโพรพิลีน ทำผนังด้านซ้ายถังบรรจุชิ้นงาน ขนาด 240x440x10 mm. เจาะรูใส่บูชยึดถังขนาด Ø 40 mm. และเจาะรูยึกสลัก ขนาด Ø 25.4 mm.

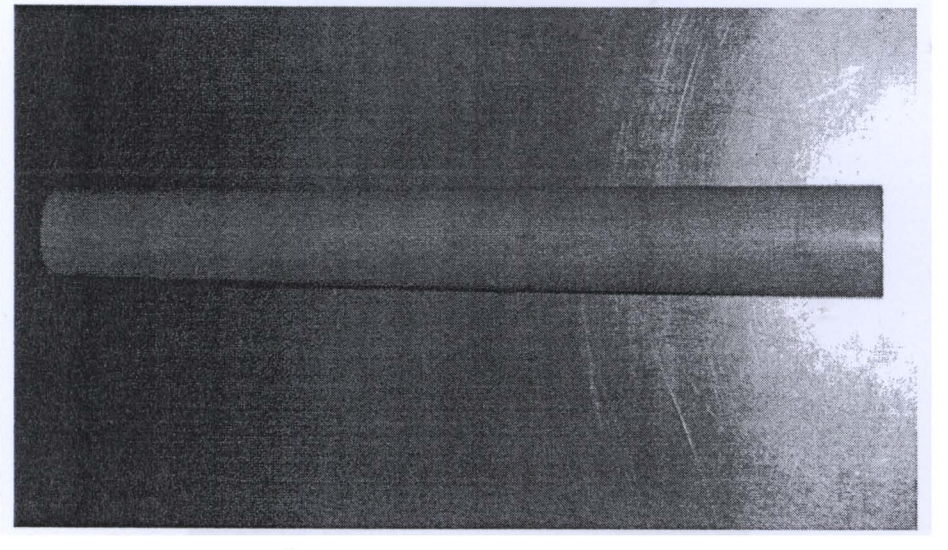


รูปที่ 4.27 ชิ้นส่วนผนังด้านซ้ายประกบฝาปิดข้างถังบรรจุชิ้นงาน



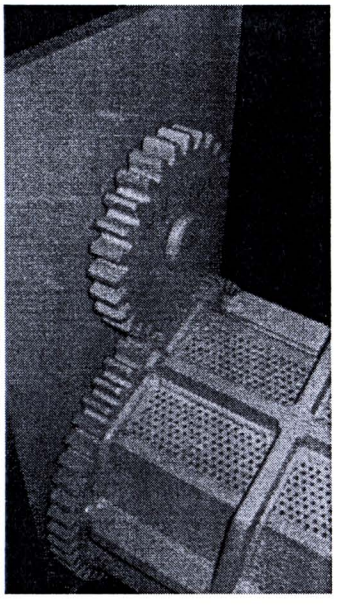
รูปที่ 4.28 ชิ้นส่วนผนังด้านขวาประกบเฟืองขับถังบรรจุชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 17 ตัดเพลาเส้นผ่านศูนย์กลางยึดถังบรรจุชิ้นงาน ขนาด 25.4x360 mm. จำนวน 4 ท่อน

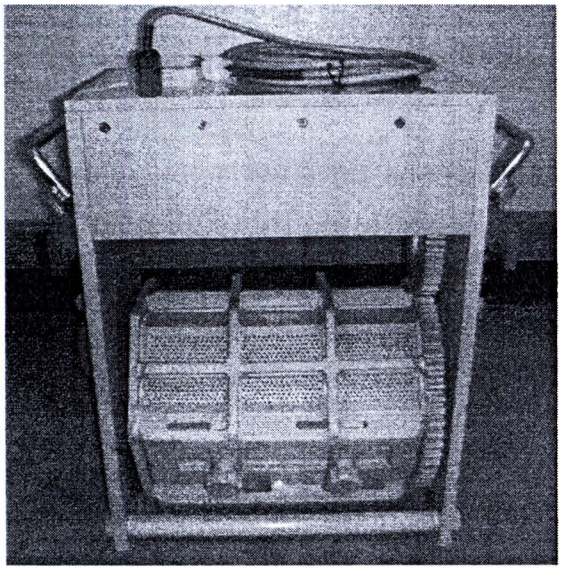


รูปที่ 4.29 เพลายึดผนังถังบรรจุชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 18 ประกอบผนังประกบซ้ายด้านฝาปิดข้าง และ ประกอบผนังประกบขวาพร้อมเฟืองด้านชุดเฟืองขับถังบรรจุชิ้นงาน แล้วประกอบกล่องมอเตอร์ และติดอุปกรณ์สำหรับจับยกถังบรรจุชิ้นงาน



รูปที่ 4.30 การประกอบเฟืองขับถังบรรจุชิ้นงาน



รูปที่ 4.31 ถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel)

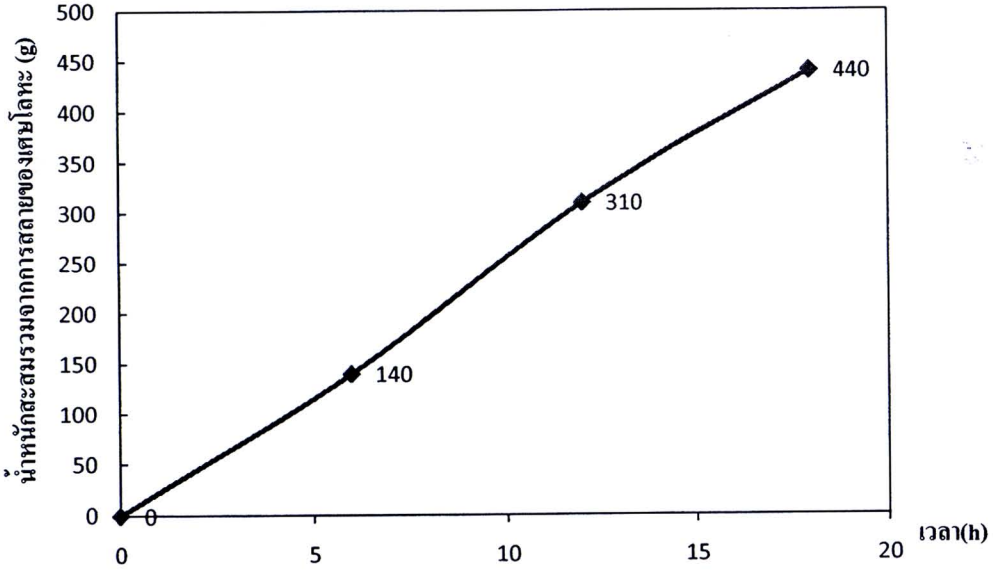
4.2.3 ผลการทดลองแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ด้วยเทคโนโลยีการสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์

4.2.3.1 ผลการทดลองแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลอง

แรงดัน (V)	เวลา (h)	อุณหภูมิ (°C)	กระแสไฟฟ้า (A)			ค่าไฟฟ้า (บาท)		น้ำหนักเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ (g)		ผงทังสเตน (g)	
			เฉลี่ยต่ำสุด	เฉลี่ยค่ากลาง	เฉลี่ยสูงสุด	kwh	จำนวนเงิน	น.น. ที่ลดลง	นน.สูญสลายในสารละลาย	ถังทำงาน	ถังพัก
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0	6	29.42	1.35	1.48	1.62	0.6		140			
1.0	12	30	1.59	1.71	1.83	1.2		170			
1.0	18	30	2.26	2.37	2.52	1.8		130			
Total		**29.81**				**3.6**	**8.87**	**440**	**143**	**180**	**117**

จากตาราง 4.1 แสดงผลทดลองแยกสลายเศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ ด้วยเทคโนโลยีเครื่องแยกสลายที่ออกแบบและสร้างขึ้น ในการทดลองบรรจุเศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ 10 kg. (ขนาดบรรจุจริงระหว่าง 0-30 kg) สามารถแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ได้ โดยสลายเศษซีเมนต์คารไบด์ได้ 440 กรัม ในเวลา 18 ชั่วโมง และน้ำหนักโลหะผงที่คัดกรองจากสารละลายคือ 297 กรัม

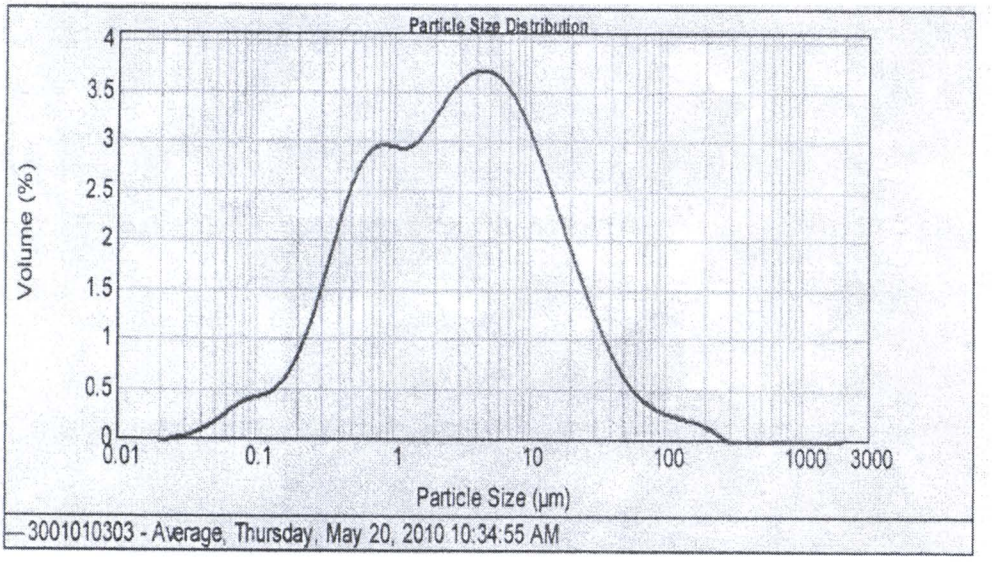


รูปที่ 4.32 แสดงน้ำหนักสะสมจากการสลายของเศษซีมเมนต์คาร์ไบด์โดยการแยกสลายด้วยแรงดันไฟฟ้า 1.0 V อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มข้นสารละลาย 1 N HCl

จากรูปที่ 4.32 แสดงน้ำหนักสะสมจากการสลายเศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ ในการทดลองแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์จำนวน 10 kg. โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 1.0 V ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มข้นสารละลาย 1 N HCl ใช้เวลาในการสลาย 0-18 ชั่วโมง น้ำหนักสะสมจากการสลายเศษโลหะโดยใช้เวลาแยกสลาย 6 ชั่วโมงคือ 140 กรัม ใช้เวลาในการแยกสลาย 12 ชั่วโมง คือ 310 กรัม และใช้เวลาในการแยกสลาย 18 ชั่วโมง น้ำหนักสะสมคือ 440 กรัม

4.2.3.2 ผลการทดสอบคุณลักษณะโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล

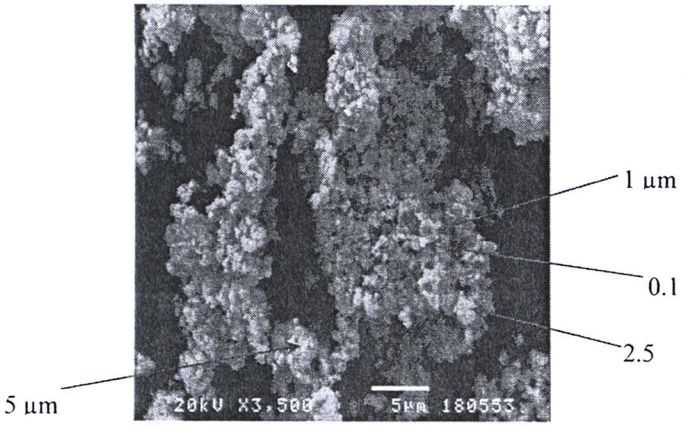
1) การวิเคราะห์การกระจายตัวของโลหะผง (Particle Size) เนื่องด้วยข้อจำกัดในการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Malnernin stument Master sizer 2000) ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้สามารถวัดการกระจายขนาดของอนุภาคในช่วงตั้งแต่ 0.1-2000 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.33 แสดงผลวิเคราะห์การกระจายตัวของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการรีไซเคิลจากเศษแผ่นมีดตัด

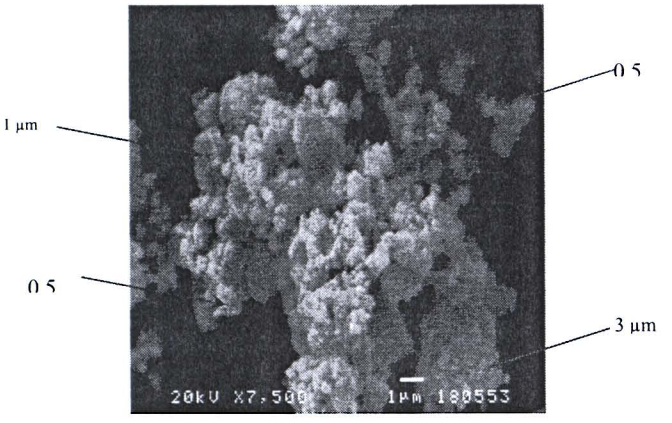
จากรูปที่ 4.33 ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของผงทังสเตนคาร์ไบท์ที่ผ่านการรีไซเคิลจากเศษแผ่นมีดตัดจากการพิจารณาปรากฏว่าอนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.025 µm ใหญ่สุดประมาณ 250 µm พิจารณาโดยรวมแล้วโลหะผงที่ผ่านกระบวนการแยกสลายอนุภาคเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4-15 µm

2) การตรวจสอบ SEM (Scanning Electron Microcrope)



รูปที่ 4.34 แสดงผล SEM ของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบท์ที่ผ่านรีไซเคิลที่กำลังขยาย 3,500 เท่า

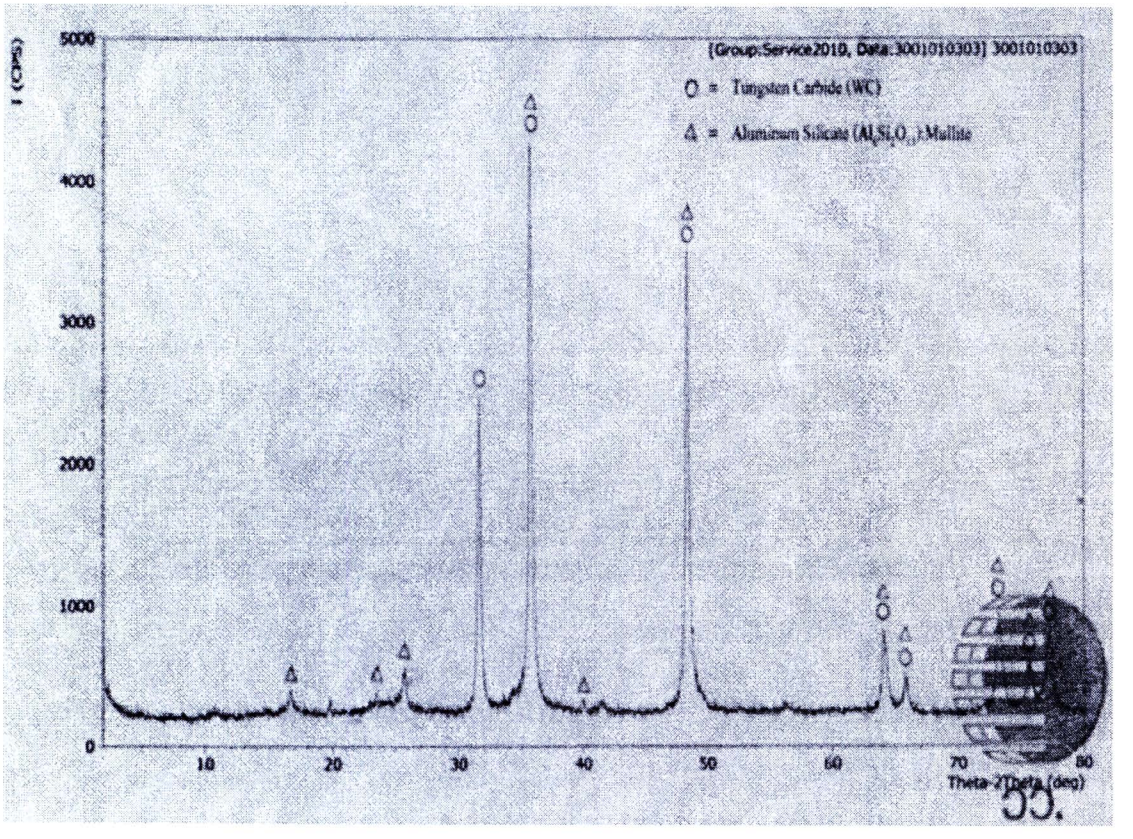
จากรูปที่ 4.34 แสดงผลการตรวจ SEM ของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า อนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.1 μm อนุภาคใหญ่สุดประมาณ 5 μm พิจารณาโดยรวมปรากฏว่าอนุภาคอยู่ระหว่าง 1-2.5 μm



รูปที่ 4.35 แสดงผล SEM ของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านรีไซเคิลที่กำลังขยาย 7,500 เท่า

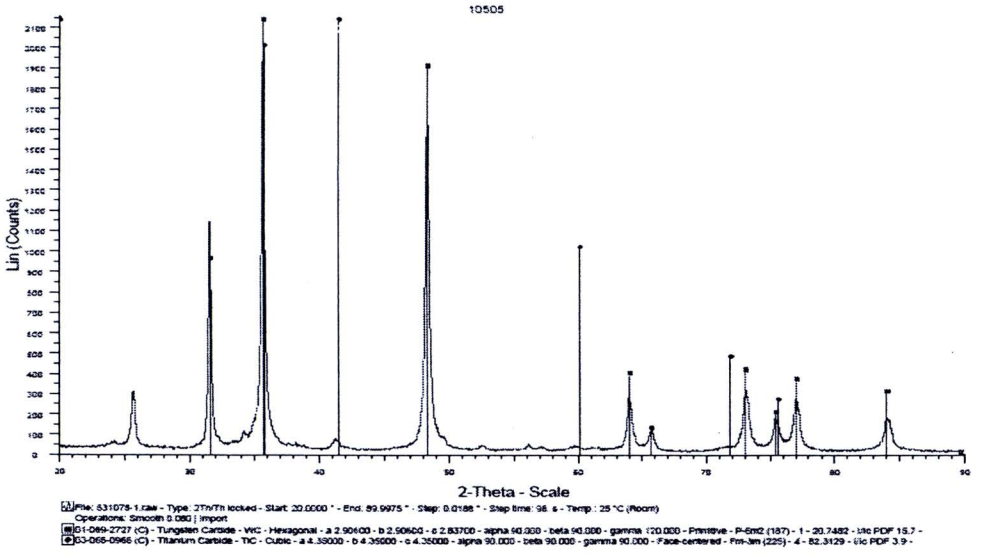
จากรูปที่ 4.35 แสดงผลการตรวจ SEM ของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า อนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.1 μm อนุภาคใหญ่สุดประมาณ 5 μm พิจารณาโดยรวมปรากฏว่าอนุภาคอยู่ระหว่าง 1-2.5 μm

3) การวิเคราะห์ส่วนประกอบของธาตุในโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลด้วยวิธีการตรวจสอบแบบ X-ray Diffraction (XRD)



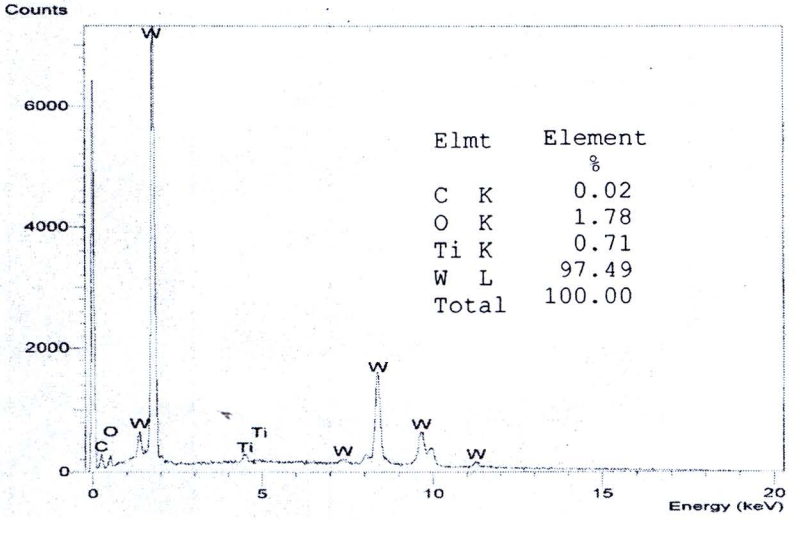
รูปที่ 4.36 การตรวจสอบ XRD ของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านกระบวนการริไซเคิล

จากรูปที่ 4.36 สรุปได้ว่าโลหะผงที่ผ่านกระบวนการแยกสลาย องค์ประกอบของธาตุที่ตรวจพบมีทังสเตนคาร์ไบด์ (WC)เป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ และมี ธาตุอื่นผสม คือ อลูมิเนียมซิลิเกต ($Al_6Si_2O_{13}$)



รูปที่ 4.37 แสดงองค์ประกอบของธาตุในโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านกระบวนการริไซเคิล

จากรูปที่ 3.375 แสดงผลการทดสอบหาองค์ประกอบของธาตุจากโลหะผงที่ผ่ารการรีไซเคิลพบว่า องค์ประกอบที่พบมีทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ผสมอยู่เล็กน้อย



รูปที่ 3.38 แสดงการตรวจสอบหาชนิดและปริมาณของธาตุจากโลหะผงที่ผ่านการรีไซเคิล

จากรูปที่ 3.38 แสดงปริมาณของธาตุจากโลหะผงที่ผ่านการรีไซเคิลพบว่า สารตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยเครื่องแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์จากการตรวจสอบพบ ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) 97.49% และเป็นธาตุอื่นๆ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) และไทเทเนียม (Ti)

4.2.4 สรุปขั้นตอนการสร้างเทคโนโลยีการสลายเศษโลหะซีเมนต์คาร์ไบด์

ถังบรรจุสารละลาย 2 ใบ ใช้วัสดุพลาสติกโพลีโพรพีลีนในการทำประกอบด้วย แผ่นพลาสติกโพลีโพรพีลีน ตัดขนาดตามแบบแล้วนำมาเชื่อมประกอบเข้ากับ โดยใช้ลมร้อนจากนั้นนำวาล์วมาสามประกอบเข้ากับท่อน้ำทิ้ง

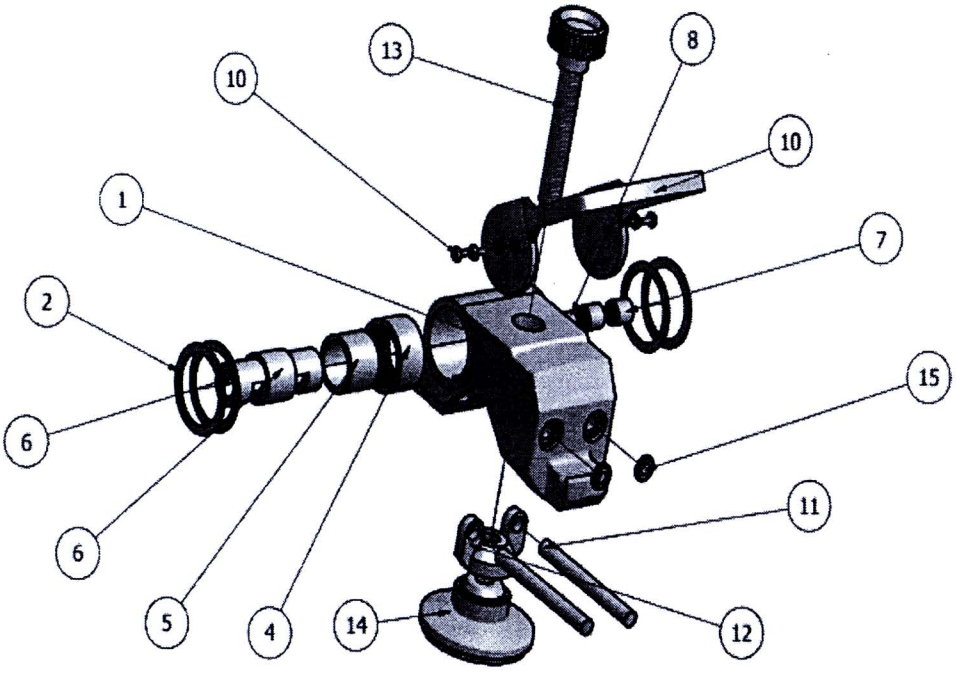
ถังบรรจุสารละลาย (Barrel) เลือกใช้พลาสติกโพลีโพรพีลีน (PP) ในการสร้างประกอบด้วย โครงยึดถังบรรจุชิ้นงาน เฟืองขับหมุนถังบรรจุชิ้นงาน กล่องมอเตอร์ เพลายึดถังบรรจุชิ้นงาน แผ่นทองแดงสำหรับให้กระแสไหลผ่าน อุปกรณ์สำหรับจับและยกถังบรรจุเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ ชิ้นส่วนต่างๆ นำมาประกอบเข้าด้วยกัน

การดำเนินการออกและสร้างได้ถังบรรจุสารละลายขนาด 450 × 560 × 1,040 mm. (ถังทำงาน) ถังพักสารละลายขนาด 450 × 450 × 867 mm. และชุดแยกสลายขนาด 370 x 383 x 496 mm. ถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel) ความจุอยู่ระหว่าง 0 - 10 kg. หมุนด้วยระบบเฟือง ความเร็วรอบอยู่ระหว่าง 0-25 รอบ/นาที

4.3 การดำเนินการออกแบบพัฒนาเครื่องบดโลหะผง

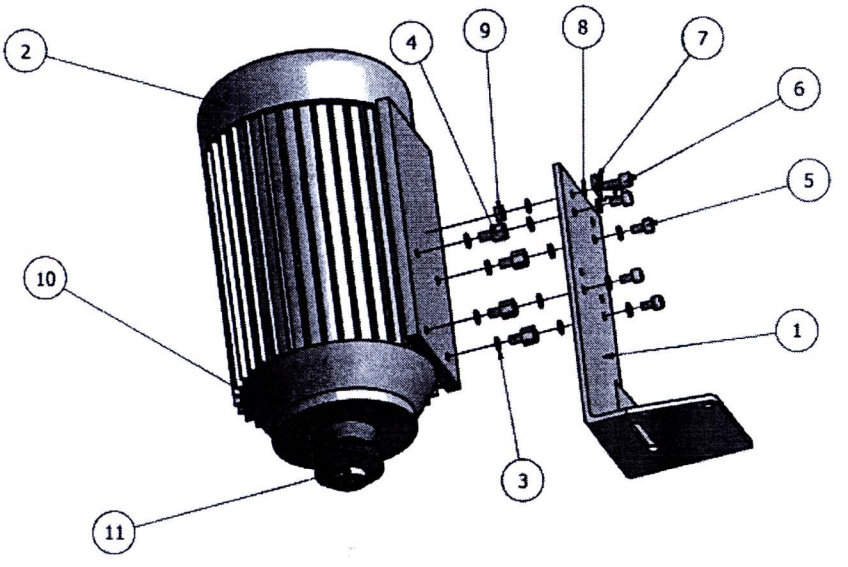
จากการออกแบบและกำหนดรายละเอียดส่วนประกอบของเครื่องบดโลหะผง ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้ ชุดปรับสมดุลน้ำหนัก (Ausgleichsmechanik montiert) โครงสร้างภายนอก จอแสดงฟังชั่น และระบบเปิด-ปิด (Bezeichnung) ฐานวางหม้อบด (Mahlbecherlter) ชุดฐานเครื่องและโครงสร้างภายใน (Mechanik) ระบบต้นกำลัง (Motor) ชุดล็อคหม้อบด (Safe Loke)

ขั้นตอนการสร้างและประกอบเครื่องบดโลหะผงมีขั้นตอนดังแสดงด้วยรูปที่ 4.39-4.44 ดังต่อไปนี้



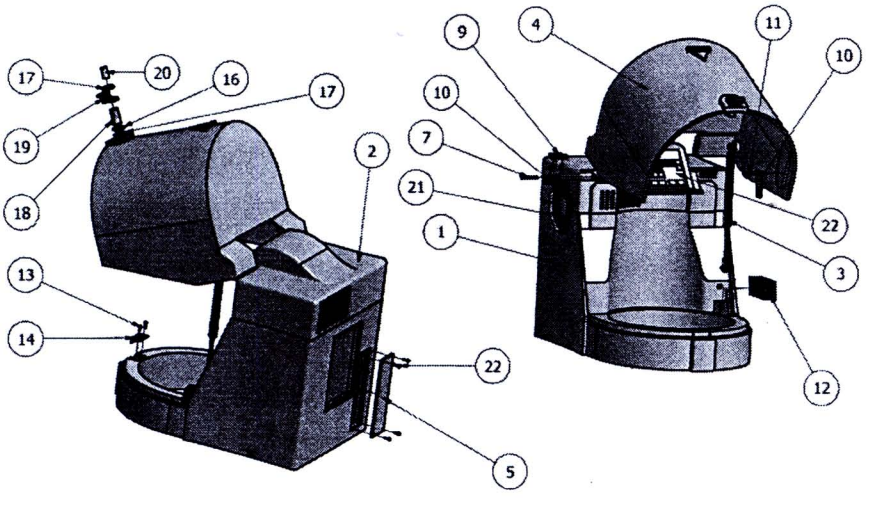
รูปที่ 4.39 ส่วนประกอบชุด Safe Loke

จากรูปที่ 4.39 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของชุดล็อคหม้อบด (Safe Loke) สำหรับยึดแน่นถ้วยบดให้ติดกับจานหมุนภายในเครื่องบดซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ หมายเลข 1 แกนล็อค (Bruecke) ทำหน้าที่แป็นแกนกลางในการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนอื่นๆ หมายเลข 2 แหวนรอง (Anlaufring) หมายเลข 13 สกรูยึดแน่น (Stellschraube) ทำหน้าที่เป็นสกรูสำหรับขันล็อกหม้อบด หมายเลข 14 จานยึดหม้อบด (Druckstueck) มีลักษณะคล้ายแผ่นจานดีส ทำหน้าที่เพิ่มเนื้อที่ในการขันแน่นหม้อบดเพื่อความปลอดภัยขณะทำงาน เป็นต้น เมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนต่างๆ แล้วให้ทำการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดและเตรียมไว้เพื่อประกอบเข้ากับเครื่องบดในขั้นตอนต่อไป



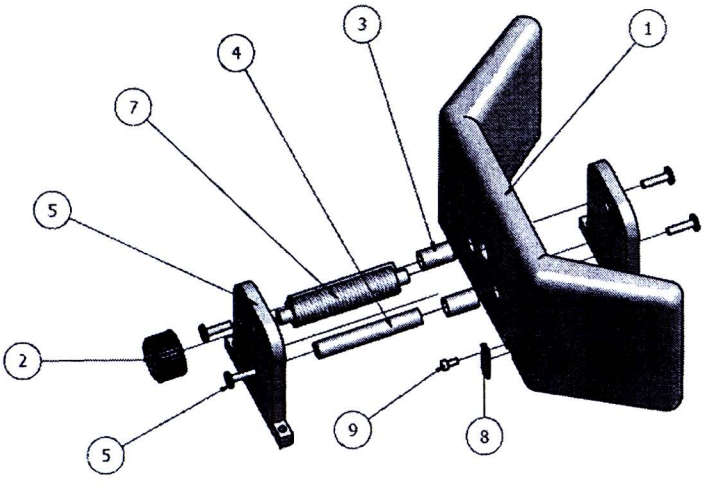
รูปที่ 4.40 ชุดต้นกำลัง Motor

จากรูปที่ 4.40 แสดงส่วนประกอบของชุดต้นกำลังในการหมุน ใช้มอเตอร์ขนาด 0.75 kw เป็นมอเตอร์มาตรฐาน ชิ้นส่วนที่มีการออกแบบเพิ่มคือ หมายเลข 1 ฉากยึดมอเตอร์ (Motorstaender) ทำหน้าที่ยึดมอเตอร์ไม่ให้เครื่อนที่เวลาทำงาน หมายเลข 10 มูเลย์ (Pulley) ทำหน้าที่ขับสายพานเพื่อส่งกำลังไปยัง ฐานยึดหม้อบด (Base plate)



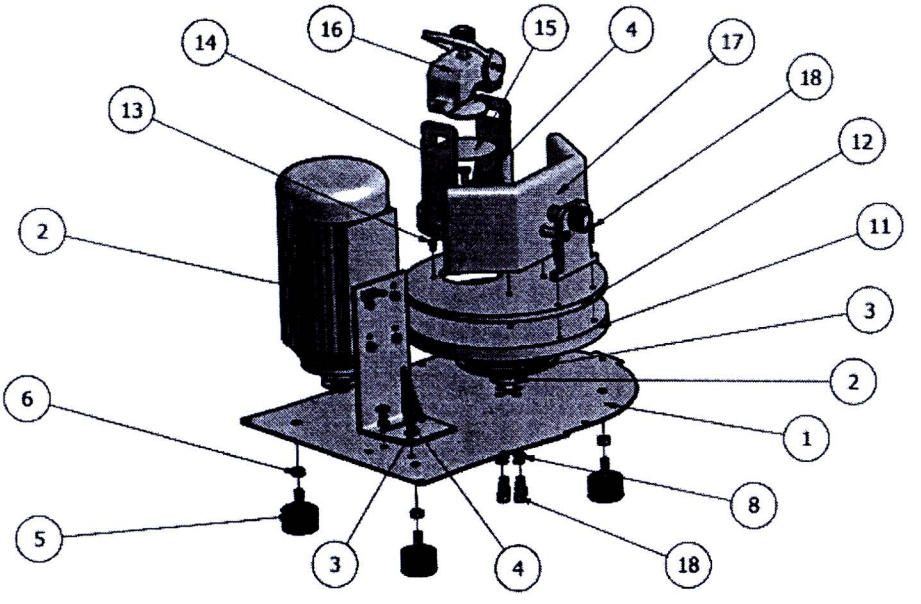
รูปที่ 4.41แสดงผนังฝาปิดและโครงสร้างภายนอกของเครื่องบด

จากรูปที่ 4.41 แสดงส่วนประกอบของเครื่องบดภายนอก มีขนาด 37x53x50 cm ผนังโครงสร้างทำด้วยพลาสติก ส่วนประกอบสำคัญได้แก่ หมายเลข 4 ฝาเครื่องบด (Haube) ทำหน้าที่ปิดครอบระหว่างการทำงานเพื่อความปลอดภัยขณะหมุน หมายเลข 1 ผนังเครื่องบด (Gehaeusemantel) ทำหน้าที่ครอบคลุมชิ้นส่วนต่างๆ ในระบบส่งกำลังและมีจอแสดงฟังชั่นการทำงานอยู่ด้านบด เป็นต้น



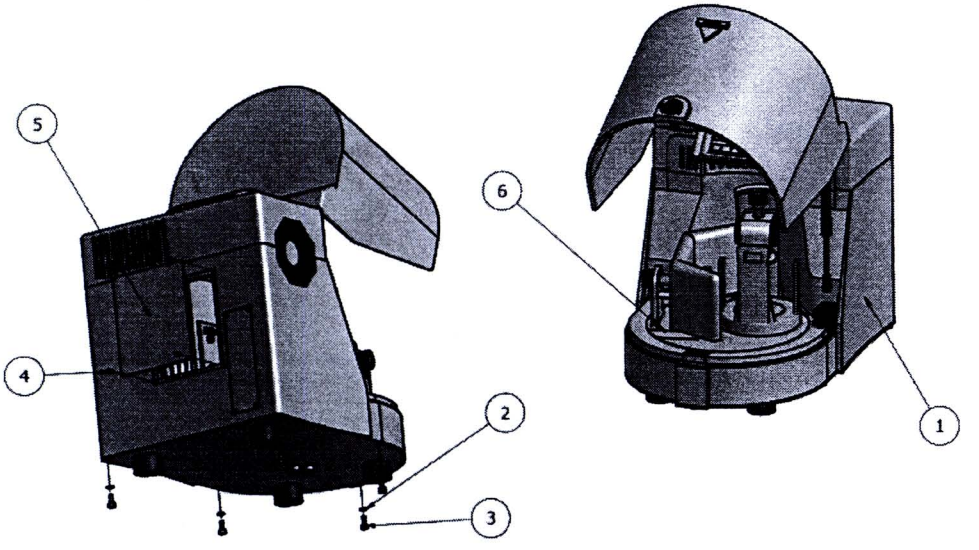
รูปที่ 4.42 ชุดปรับสมดุลน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.42 แสดงลักษณะของชุดปรับสมดุลน้ำหนักเพื่อให้เกิดความสมดุลขณะเกิดการเหวี่ยงหนีศูนย์ในเวลาทำงาน ส่วนประกอบสำคัญได้แก่ หมายเลข 1 ตุ้มถ่วงน้ำหนัก (Ausgleichsmechanik) ทำหน้าที่ถ่วงดุลน้ำหนักให้สมดุลขณะที่หม้อบดทำงานและเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หมายเลข 2 ตัวปรับน้ำหนัก (Drehknopf) ทำหน้าที่ปรับน้ำหนักเพื่อให้เกิดการสมดุลระหว่างน้ำหนักถ้วยบดและน้ำหนักถ่วง หมายเลข 5 หูยึดชุดถ่วงน้ำหนัก (Halter fuer Massenausgleich) ทำหน้าที่ยึดชุดถ่วงน้ำหนักไม่ให้เกิดการเลื่อนในขณะเครื่องบดทำงาน เป็นต้น



รูปที่ 4.43 ชุดฐานเครื่องและโครงสร้างภายในของเครื่องบด

จากรูปที่ 3.43 แสดงลักษณะภายในของเครื่องบดขณะประกอบชิ้นส่วนต่างๆ มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ หมายเลข 1 แผ่นฐานยึด (Grundplate) ทำหน้าที่เป็นฐานในการยึดส่วนประกอบต่างๆ ไม่ให้เคลื่อนที่ หมายเลข 11 จานหมุนหลัก (Getriebeblock) ทำหน้าที่หมุนทวนเข็มนาฬิกา เมื่อถูกขับโดยมอเตอร์ หมายเลข 12 จานหมุนรอง (Abdeckplatte) ทำห้าที่หมุนตามเข็มนาฬิกาเพื่อขับให้หม้อบดเกิดการหมุนจากนั้นภายในที่บรรจุลูกบดก็จะเกิดการเหวี่ยงและตกลงมากระแทกกับภาชนะใส่วัสดุในการบดหรือเกิดการกระทบกับเองของลูกบดทำให้เกิดการบดที่ละเอียดขึ้นนั่นเอง



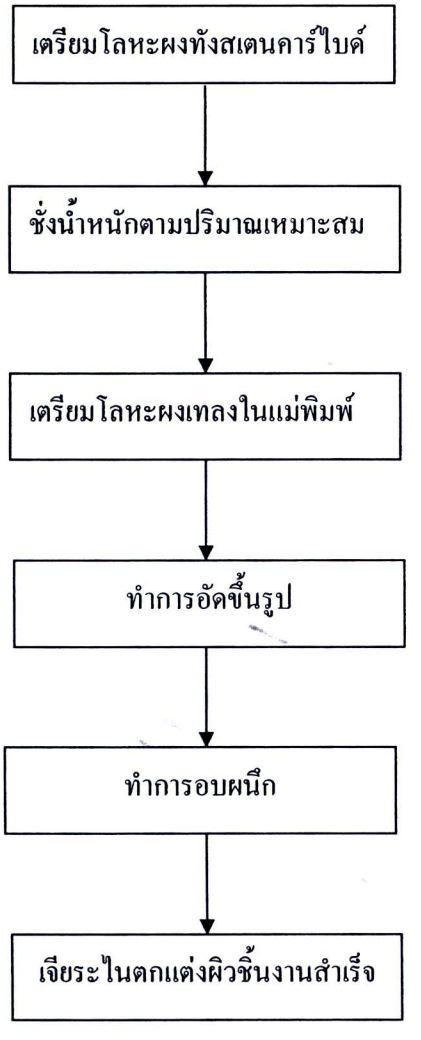
รูปที่ 4.44 เครื่องบดโลหะผงประกอบเสร็จพร้อมใช้งาน

จากรูปที่ 4.44 แสดงลักษณะของเครื่องบดโลหะผงที่พร้อมใช้งาน ในการประกอบและทำการผลิตชิ้นส่วนตามแบบที่กำหนดแล้วทำการประกอบชิ้นส่วนของแต่ละชุด เมื่อเสร็จแล้วจึงนำมาประกอบเข้ากับฐานเครื่องบดแล้วประกอบผนังแต่ละด้านรวมทั้งฝาครอบปิดเป็นขั้นตอนสุดท้าย

สรุปผลการออกแบบสร้างเครื่องบด เครื่องบด โลหะผงที่ได้นั้น มีขนาด 37x53x50 cm มีน้ำหนัก 53 kg สามารถบดด้วยความเร็วรอบตั้งแต่ 100 – 600 รอบ/นาที ปรับตั้งเวลาในการบดได้โดยปรับเครื่องหมาย + หรือเครื่องหมาย – ตั้งเวลาในการบดเป็นช่วงเวลาได้ 2 หน่วยเวลา คือ 0-99 ชั่วโมง และในหน่วยเวลา 0-60 นาที พร้อมฟังชั่นกำหนดจำนวนรอบในการบดและสามารถตั้งให้หมุนตาม-ทวนเข็มนาฬิกาได้ มีปุ่มไฟแสดงฟังชั่น ณ เวลาที่อยู่ระหว่างการทำงาน

4.3.1 การออกแบบสร้างหม้อบด

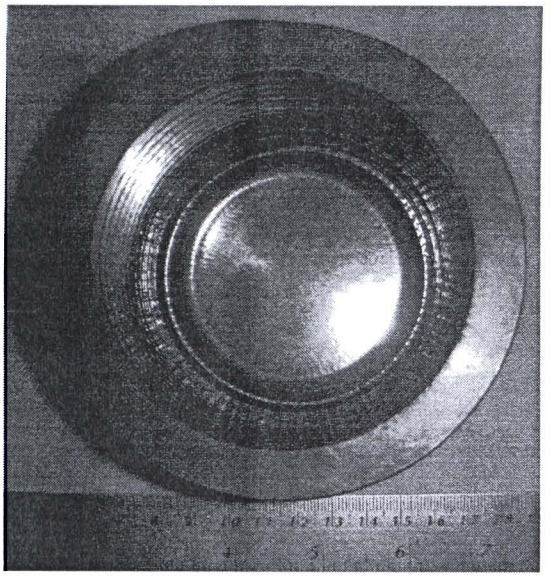
ในการดำเนินการสร้างหม้อบดทังสเตนคาร์ไบด์ ได้ออกแบบและดำเนินการตามขั้นตอน ซึ่งสามารถสรุปโดยสังเขป ดังต่อไปนี้



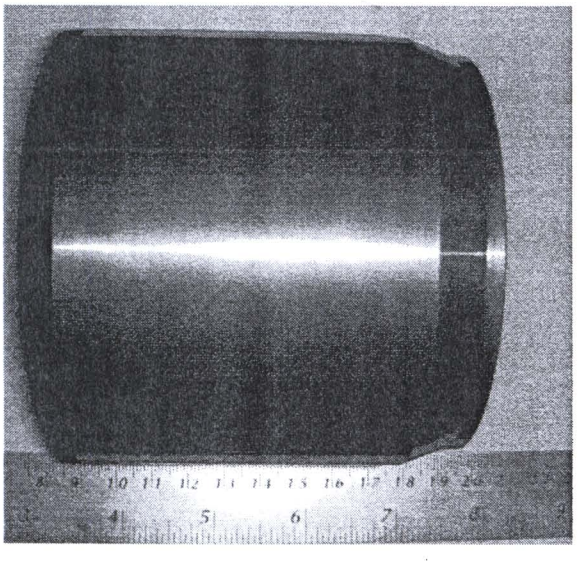
รูปที่ 4.45 ขั้นตอนการผลิตหม้อบดพร้อมฝา

จากรูปที่ 4.45 เป็นการแสดงขั้นตอนในการผลิตหม้อบดทังสเตนคาร์ไบด์สำหรับใช้ในการปรับลดขนาดโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิล ขั้นตอนในการผลิต

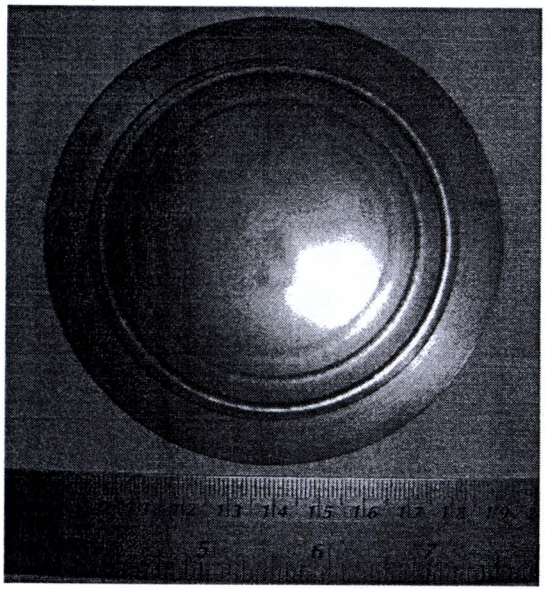
จะเริ่มต้นด้วย การเตรียมโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์มาตรฐาน ชั่งน้ำหนัก เทลงในแม่พิมพ์ อัดขึ้นรูป จากนั้น ทำการเจียระไนเพื่อตกแต่งผิวสำเร็จ



รูปที่ 4.46 หม้อบดทังสเตนคาร์ไบด์ด้านบน



รูปที่ 4.47 หม้อบดทังสเตนคาร์ไบด์ด้านข้าง

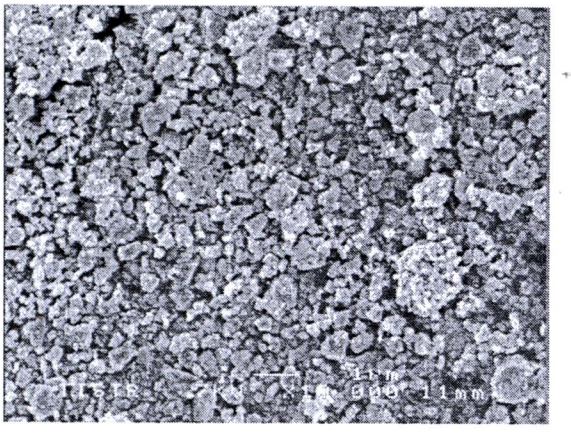


รูปที่ 4.48 ฝาหม้อบดทังสเตนคาร์ไบด์

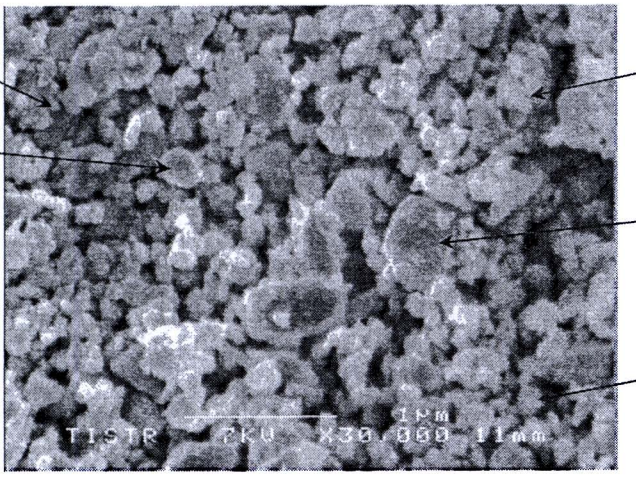
จากรูปที่ 4.46 - 4.48 แสดงลักษณะของหม้อบดทังสเตนคาร์ไบด์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75.5 mm. ผลิตด้วยโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์มีปริมาตร 21.6 cm^3 น้ำหนักรวม 5.6 kg.

4.3.2 ผลการตรวจสอบโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์จากกระบวนการบด

4.3.2.1 การตรวจสอบโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM)

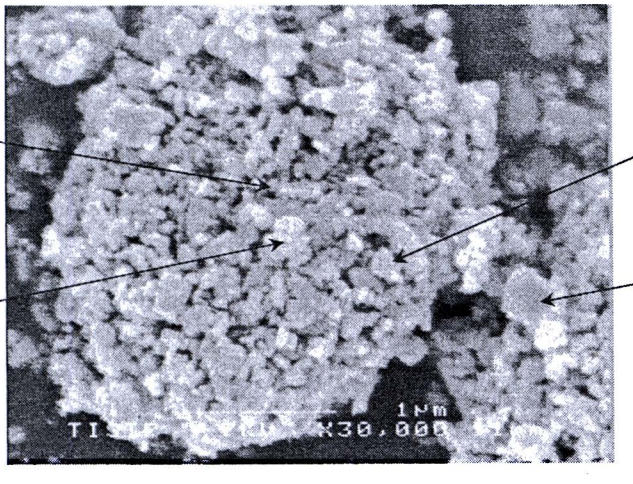


รูปที่ 4.49 แสดง SEM 10,000x ของผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC_A) บด 12 ชั่วโมง



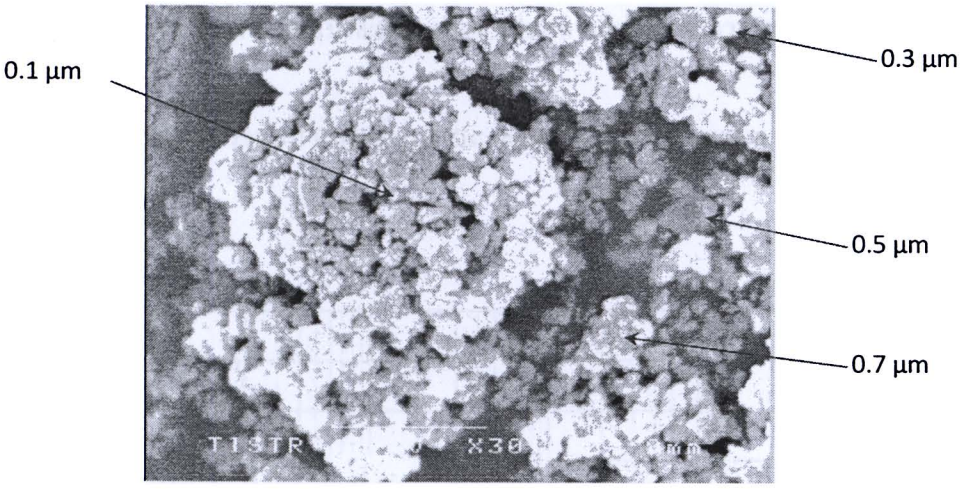
รูปที่ 4.50 แสดง SEM 30,000x ของผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC_A) บด 12 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.50 แสดงผลการตรวจ SEM โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ผ่านการบด 12 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า ปรากฏว่า โลหะผงมีขนาดเล็กสุดประมาณ 0.12 µm ขนาดใหญ่สุดประมาณ 0.7 µm พิจารณาโดยรวมแล้วโลหะผงมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.1-0.5 µm



รูปที่ 4.51 แสดง SEM 30,000x ของผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC_A) บด 24 ชั่วโมง

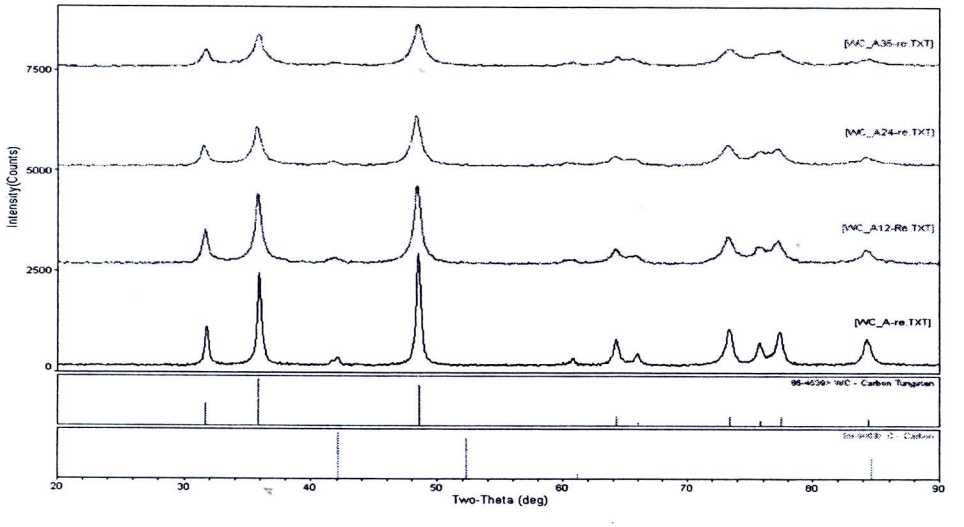
จากรูปที่ 4.51 แสดงผลการตรวจ SEM โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ผ่านการบด 24 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า ปรากฏว่า โลหะผงมีขนาดเล็กสุดประมาณ 0.1 µm ใหญ่สุดมีขนาดประมาณ 0.5 µm พิจารณาโดยรวมแล้วโลหะผงมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.3-0.4 µm



รูปที่ 4.52 แสดงกำลังขยาย 30,000x ของผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC_A) บด 36 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.52 แสดงผลการตรวจสอบ SEM โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ผ่านการบด 36 ชั่วโมง กำลังขยาย 30,000 เท่า พบว่าโลหะผงมีขนาดอนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.1 µm ใหญ่สุดประมาณ 0.7 µm พิจารณาโดยรวมแล้วปรากฏว่าโลหะผงส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.3-0.5 µm

4.3.2.2 การตรวจสอบ XED โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์จากกระบวนการบด

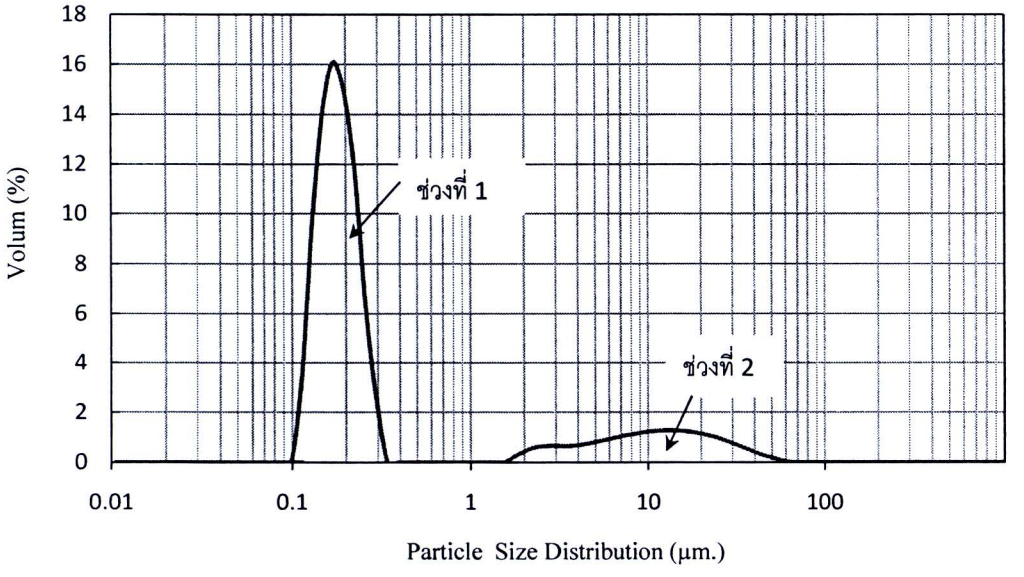


รูปที่ 4.53 การตรวจสอบ XRD โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ก่อนและหลังการบด

จากรูปที่ 4.53 แสดงผลการตรวจสอบ XRD โลหะทังสเตนคาร์ไบด์ WC_A ปรากฏว่าโลหะผงก่อนการบด (WC_A) ธาตุประกอบส่วนใหญ่เป็นทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) และมี

คาร์บอน (C) ผสมอยู่เล็กน้อย แต่จะมีปริมาณลดลงเรื่อย และสลายไปเมื่อผ่านเวลาบดที่ 24 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย

4.3.2.2 การตรวจสอบ Particle size distribution โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์จากกระบวนการบด

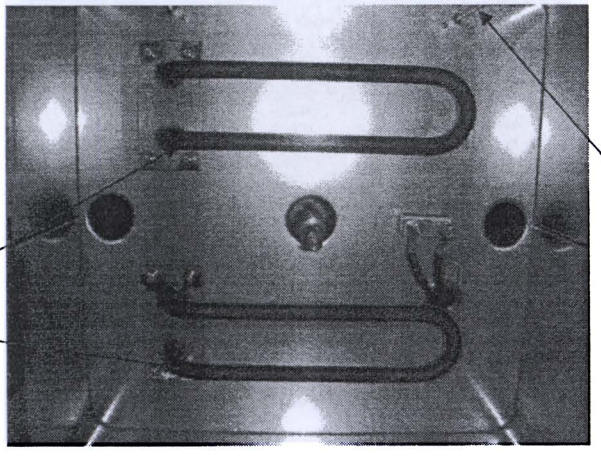


รูปที่ 4.54 แสดงผลการตรวจ Particle Size Distribution ที่ผ่านการบด 48 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.54 แสดงผลการตรวจสอบขนาดอนุภาคโลหะผงทังสเตน รหัส WC2A ที่ผ่านการบด 48 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโลหะผงปรากฏว่า ช่วงที่ 1 ขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 0.1 -0.32 μm อนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.1 μm ขนาดอนุภาคใหญ่สุดประมาณ 0.32 μm เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วพบว่า อนุภาคส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 0.15-0.25 μm ช่วงที่ 2 จากการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 2-50 μm อนุภาคเล็กสุดประมาณ 1.8 μm อนุภาคใหญ่สุดประมาณ 50 μm เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าอนุภาคโลหะผงส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 0.8-20 μm

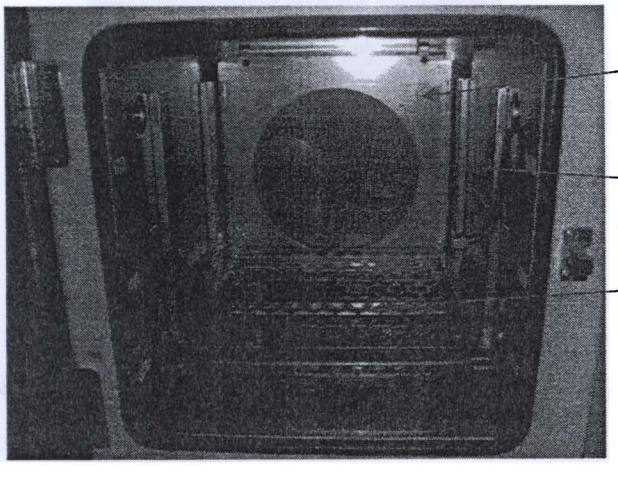
4.4 การดำเนินการสร้างเตาไฟฟ้าระบบควบคุมการเกิดออกไซด์

การดำเนินการสร้างเตาอบแห้งชิ้นงานแบบควบคุมการเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) จากการศึกษาส่วนประกอบของเตาอบไฟฟ้า สามารถกำหนดขนาดภายในได้ 300x300x300 mm. มีขั้นตอนการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 4.53-4.58



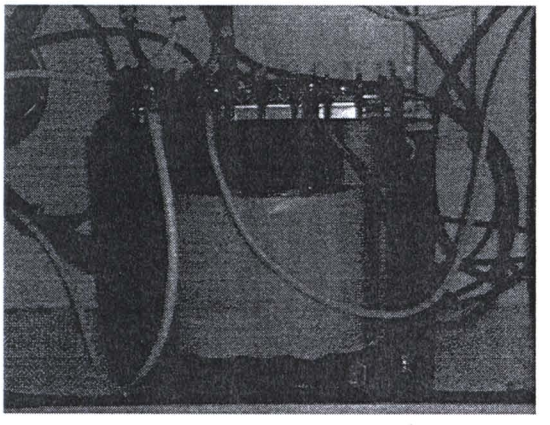
รูปที่ 4.55 แสดงลักษณะการประกอบฮีตเตอร์ให้ความร้อนและตัววัดอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.55 แสดงการประกอบฮีตเตอร์ ชนิด Tubular Heater พร้อมทั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิแบบ K 6 x150 mm. เข้ากับเตาอบที่เตรียมไว้ ซึ่งสามารถอบที่อุณหภูมิสูงสุดได้ 250 °C



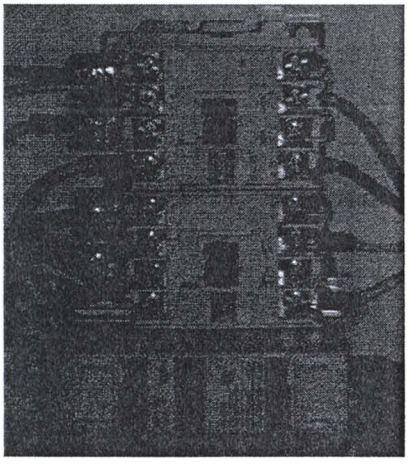
รูปที่ 4.56 แสดงลักษณะภายในเตาอบ

จากรูปที่ 4.56 แสดงการประกอบพัดลม ฝาครอบ พร้อมถาดสำหรับวางชิ้นงานในการอบไล่ความชื้น



รูปที่ 4.57 หม้อแปลงไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.57 แสดงการประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1.0 kw 50/50 Hz ใช้ในการแปลงไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านกระแสไฟฟ้าไปใช้งานให้กับอุปกรณ์ต่างๆ

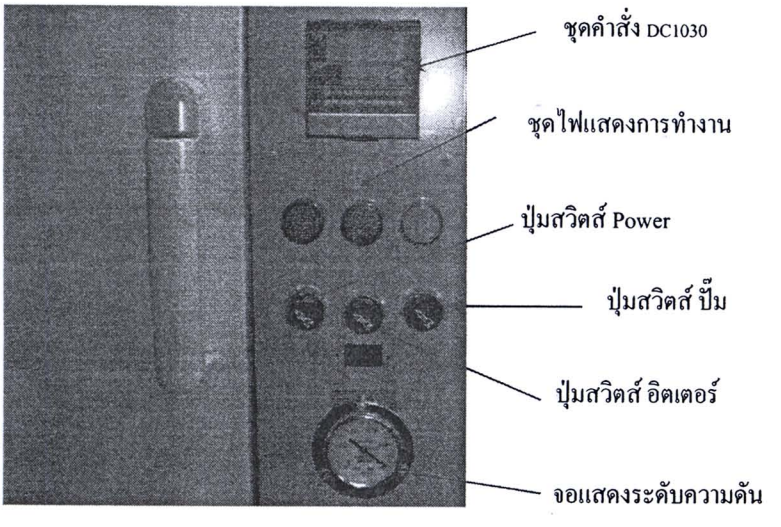


รูปที่ 4.58 แสดงลักษณะชุดควบคุมการจ่ายไฟฟ้า (Solid State Contactor)

จากรูปที่ 4.58 แสดงการประกอบชุดควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมระบบการทำงานต่างๆ

รูปที่ 4.59 ปั๊มดูดอากาศชนิด Mechanical pump

จากรูปที่ 4.59 แสดงการประกอบชุด Vacuum pump รุ่น DA 150D 35/37 W อัตราการ Vacuum 15 L/min พร้อมเดินท่อสำหรับเชื่อมต่อกับถังสำหรับ Vacuum



รูปที่ 4.60 แสดงลักษณะชุดควบคุมการทำงานและจอแสดงผล

จากรูปที่ 4.60 แสดงการประกอบชุดควบคุมการทำงานต่างๆ ประกอบด้วย ชุดควบคุมชนิดไม่ตั้งโปรแกรม Honeywell DC1030 ชุดไฟแสดงการทำงาน ชุดสวิตส์เปิด – ปิด การทำงานและจอแสดงผลภาวะความดันในการอบชิ้นงานที่สภาวะสุญญากาศ

4.4.1 ผลการตรวจสอบ X-Ray Fluorescence Spectrometry หรือ เทคนิค XRF เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่าง

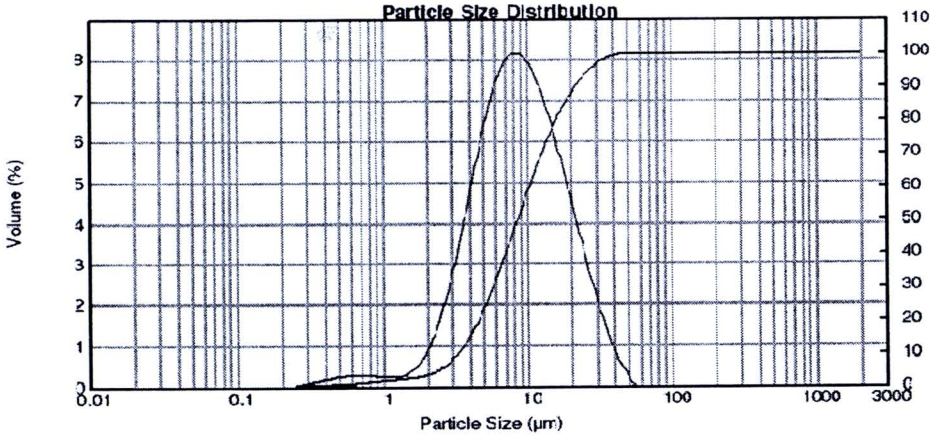
ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบหาชนิดและปริมาณของธาตุในทังสเตนคาร์ไบด์

สารตัวอย่าง / ธาตุที่พบ	A250	สารตัวอย่าง / ธาตุที่พบ	C250
	%		%
C	6.13%	C	6.13%
P		P	0.28%
Cl	0.07%	Cl	0.06%
Ti	5.99%	Ti	3.91%
Cr	0.04%		
Fe	0.05%	Fe	0.07%
Co	0.52%		
Nb	0.74%	Nb	1.25%
Mo	0.52%	Mo	0.21%
Ta	2.15%	Ta	3.08%
W	83.81%	W	85.02%
	100.00%		100.00%

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจสอบหาชนิดและปริมาณธาตุของสารตัวอย่างทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการอบด้วยเตาไฟฟ้าระบบควบคุมการเกิดออกไซด์ (Oxidation) จากการพิจารณาปรากฏว่าโลหะผงรหัส A250 มีองค์ประกอบทังสเตนประมาณ 83.81 % และมีธาตุอื่นปนอยู่เช่น คาร์บอน (C) 6.13 % ไทเทเนียม (Ti) 5.99 % แทนทาลัม (Ta) 2.15 % เป็นต้น ส่วนโลหะผงรหัส C250 องค์ประกอบที่เป็นไปได้คือมีทังสเตน 85.02 % และธาตุอื่นเช่น คาร์บอน (C) 6.13 % ไทเทเนียม (Ti) 3.91 % ไนโอเบียม (Nb) 1.25 % และ แทนทาลัม (Ta) 3.08 % นอกนั้นเป็นธาตุอื่น

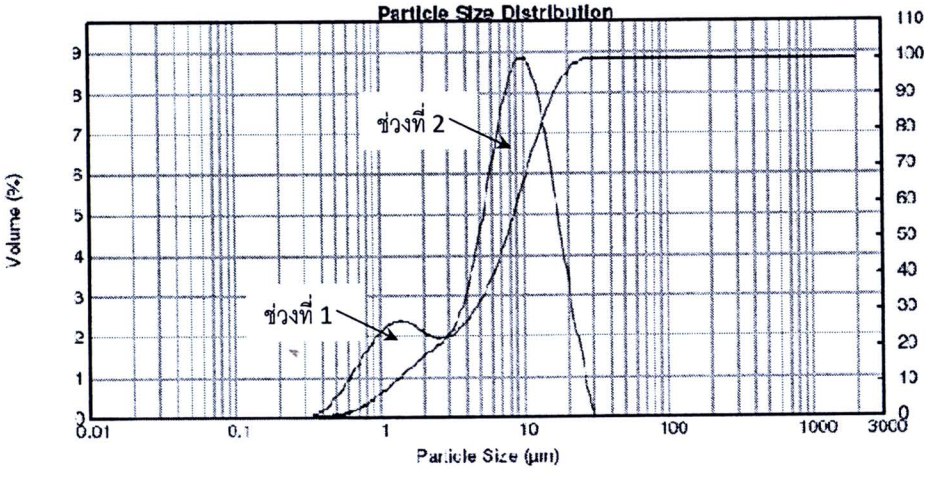
4.5 การตรวจสอบขนาดการกระจายของอนุภาคโลหะผง

4.4.1 การตรวจสอบขนาดการกระจายตัวของโลหะผงที่ผ่านกระบวนการคัดขนาด



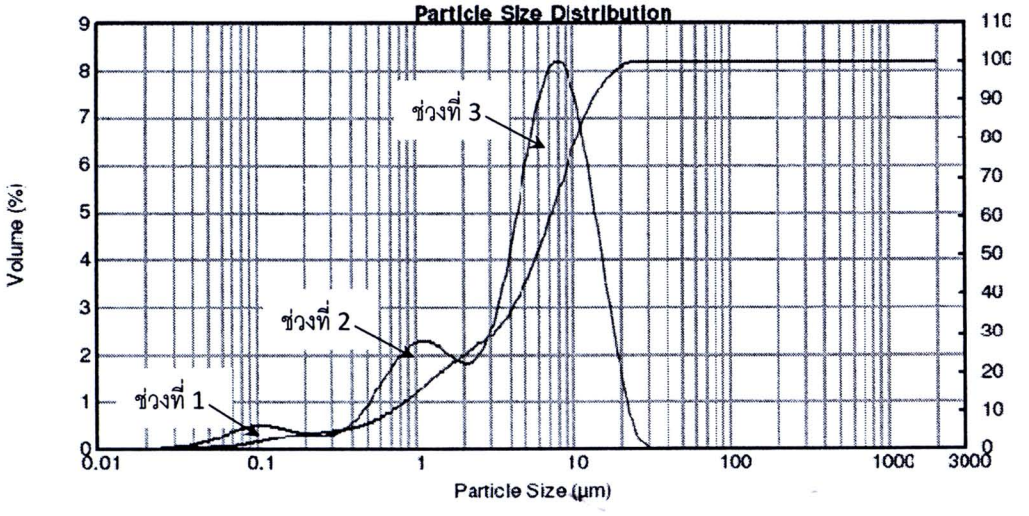
รูปที่ 4.61 การตรวจสอบขนาดการกระจายตัวโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) หลังบด 6 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.61 แสดงผลการตรวจสอบขนาดอนุภาคโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ จากการคัดขนาดผ่านตะแกรงขนาด 51 µm จากการวิเคราะห์อนุภาคโลหะผงอยู่ระหว่าง 0.3 -50 µm อนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.25 µm และอนุภาคใหญ่สุดประมาณ 50.5 µm เมื่อพิจารณาแล้วปรากฏว่าอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 4-15 µm



รูปที่ 4.62 การตรวจสอบขนาดการกระจายตัวโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) หลังบด 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.62 แสดงผลการตรวจสอบขนาดอนุภาคโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ จากการคัดขนาดผ่านตะแกรงขนาด 51 μm จากการวิเคราห์อนุภาคโลหะผงช่วงที่ 1 อนุภาคโลหะผงอยู่ระหว่าง 0.35 -2 μm อนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.35 μm และอนุภาคใหญ่สุดประมาณ 2 μm เมื่อพิจารณาแล้วปรากฏว่าอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 0.8-1.5 μm ช่วงที่ 2 อนุภาคโลหะผงอยู่ระหว่าง 2-30 μm อนุภาคเล็กสุดประมาณ 2 μm ใหญ่สุดประมาณ 30 μm และเมื่อพิจาณาแล้วปรากฏว่าอนุภาคโลหะผงอยู่ระหว่าง 6-15 μm



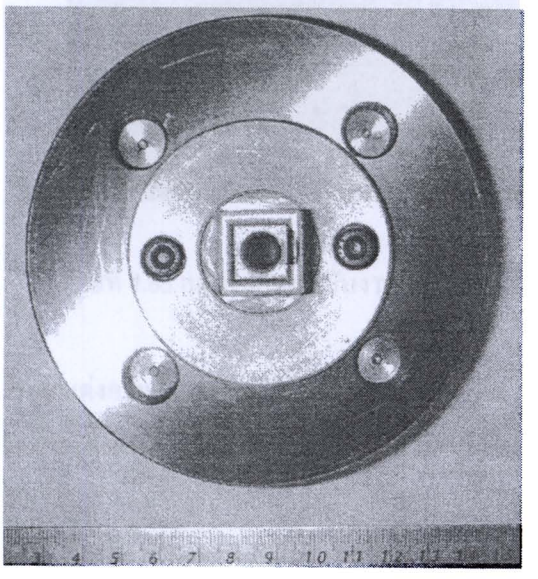
รูปที่ 4.63 การตรวจสอบขนาดการกระจายตัวโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) หลังบด 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.63 แสดงผลการตรวจสอบขนาดอนุภาคโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ จากการคัดขนาดผ่านตะแกรงขนาด 51 μm จากการวิเคราห์อนุภาคโลหะผงช่วงที่ 1 อนุภาคโลหะผงอยู่ระหว่าง 0.025-0.2 μm อนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.025 μm และอนุภาคใหญ่สุดประมาณ 0.2 μm เมื่อพิจารณาแล้วปรากฏว่าอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 0.08-0.15 μm ช่วงที่ 2 อนุภาคโลหะผงอยู่ระหว่าง 0.3-2 μm อนุภาคเล็กสุดประมาณ 0.3 μm ใหญ่สุดประมาณ 2.1 μm และเมื่อพิจาณาแล้วปรากฏว่าอนุภาคโลหะผงอยู่ระหว่าง 0.7-1.5 μm ช่วงที่ 3 อนุภาคโลหะผงอยู่ระหว่าง 0.025-30 μm ปรากฏว่าอนุภาคโลหะผงส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 6-15 μm

4.6 การสร้างแม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปแผ่นมีด

4.6.1 การสร้างชิ้นส่วน ชุด Lower punch

การผลิตแม่พิมพ์สำหรับใช้ในการขึ้นรูปโลหะผงมีขั้นตอนในการขึ้นรูปแต่ละชิ้นส่วนแตกต่างกันซึ่งมีขั้นตอนแสดงดังนี้



รูปที่ 4.64 ลักษณะชุด Lower punch

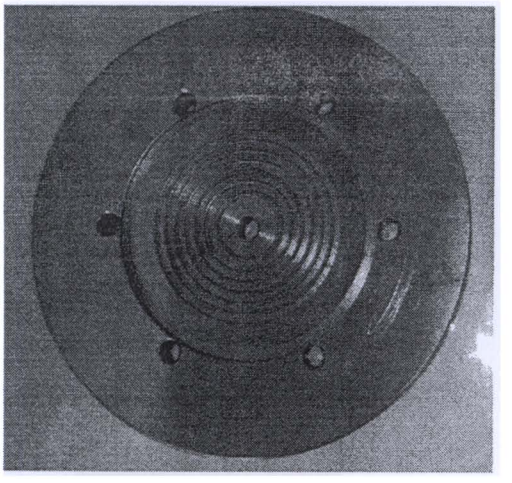
จากรูปที่ 4.64 แสดงชิ้นส่วนที่เรียกว่า Lower punch สามารถอธิบายลำดับขั้นตอนการสร้างและผลิตได้ดังนี้

1) ทำการกลึงชิ้นส่วนเหล็กเพลา SCM 4 ขนาด Ø 100 mm ยาว 85 mm ตามแบบที่กำหนด (ชิ้นส่วน Lower boos)

2) ทำการคว้านรูขนาด Ø 60 mm และเจาะรูเพื่อยึดสกรูชนิดหัวฝัง M10 จำนวน 6 รู

3) ทำการกลึงชิ้นส่วนเหล็ก SKH 51 ขนาด Ø 60 mm ยาว 57 mm ตามแบบที่กำหนด (ชิ้นส่วน Lower punch)

4) ทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนเหล็ก SCM 4 ขนาด Ø 220 mm หนา 35 mm และทำการเจาะรูขนาดต่างๆ ตามแบบที่กำหนด เช่น M10 (ชิ้นส่วน Support plate)

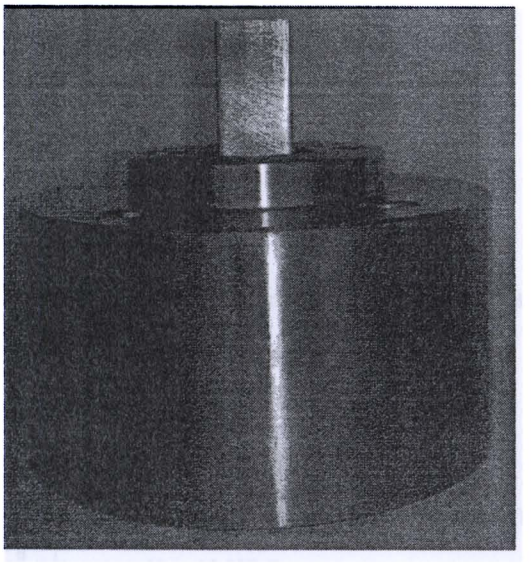


รูปที่ 4.65 แสดงลักษณะชิ้นงาน Support plate

5) ทำการเจียระไนตกแต่งควมเรียบผิวของชิ้นส่วนต่างๆ

6) นำชิ้นส่วน Lower punch ขึ้นรูปด้วยวิธีการสปาร์ค และนำไปทำการชุบผิวแข็ง 60-62 HRC ที่อุณหภูมิ 780 – 950 °C

7) นำชิ้นส่วนต่างๆ ที่เหลือทำการชุบแข็ง 50 HRC ที่อุณหภูมิ 780 - 950 °C แล้วนำไปประกอบขึ้นเป็นชุด Lower punch



รูปที่ 4.66 แสดงลักษณะชุด Lower punch ด้านหน้า

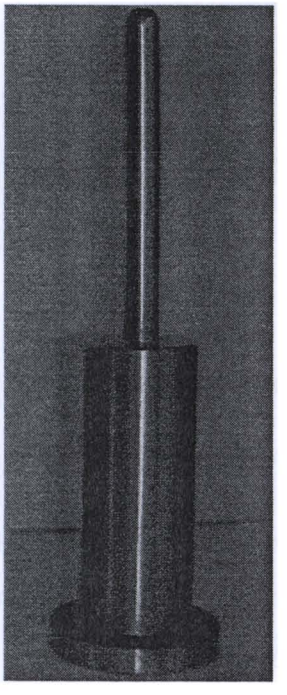
4.6.2 การสร้างชิ้นส่วน Core pin มีขั้นตอนในการสร้างดังนี้

1) เตรียมเหล็ก SKH 51 กลึงขึ้นรูปชิ้นส่วนตามแบบที่กำหนด

2) เจาะรูขนาด M6

3) เจียระไนตกแต่งความเรียบผิว

4) ทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 780 – 950 °C ความแข็งประมาณ 60 – 62 HRC



รูปที่ 4.67 ลักษณะชิ้นส่วน Core pin

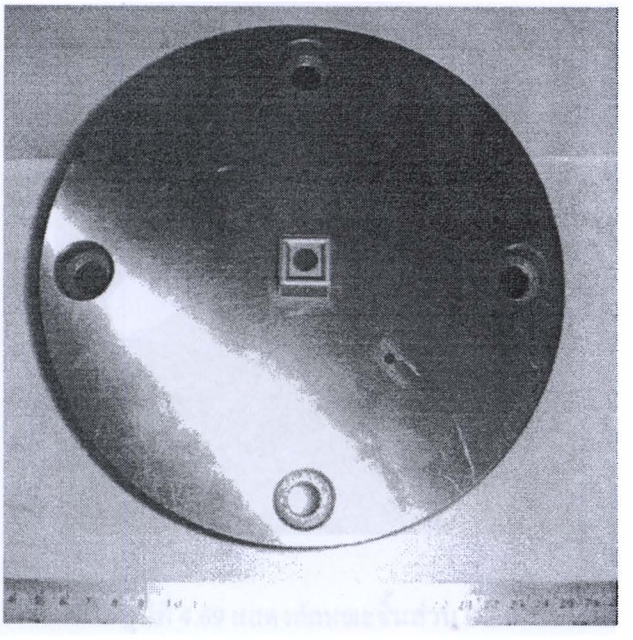
4.6.3 การสร้างชิ้นส่วน Upper punch

1) เตรียมเหล็ก SKH 51 ขนาด Ø 230 mm ทำการกลึงขึ้นรูปชิ้นส่วนต่างๆ ตามแบบที่กำนด

2) ทำการเจาะรู ตามขนาดที่กำหนด

3) จียนระไนตกแต่งความเรียบผิว

4) นำชิ้นส่วนไปทำการขึ้นรูปแผ่นมี ด้วยวิธีการสปาร์ค และทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 780 – 950 °C ความแข็งประมาณ 60 – 62 HRC



รูปที่ 4.68 แสดงลักษณะชิ้นส่วน Upper Punch

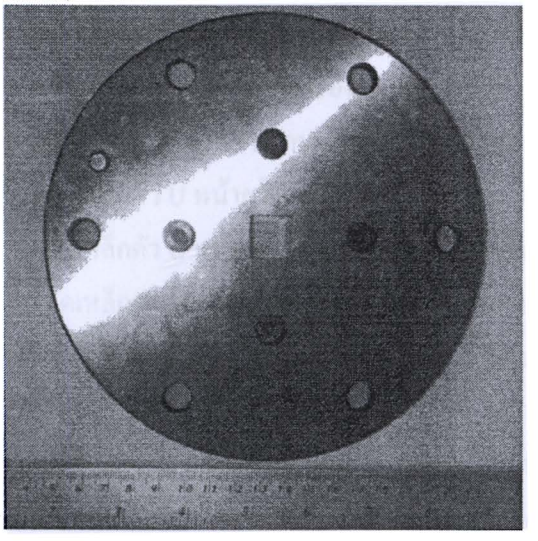
4.6.4 การสร้างชิ้นส่วน Die

1) เตรียมเหล็ก SKH 51 และทำการขึ้นรูปตามขนาดที่กำหนด

2) ทำการเจาะรูและเจียระไนปรับความเรียบผิว

3) ทำการสปาร์คขึ้นรูปเป็นร่อง สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 15.6 x 15.6 mm

4) นำชิ้นส่วน Die ไปทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 780 – 950 °C ความแข็งประมาณ 60 – 62 HRC



รูปที่ 4.69 แสดงลักษณะชิ้นส่วน Die

4.6.5 การประกอบชุดแม่พิมพ์

การดำเนินการออกแบบแม่พิมพ์ ซึ่งมีชิ้นส่วนหลัก เช่น Support plate, Lower die, Lower boss, Lower die holder, Core pin, Upper boss, upper die holder เป็นต้น เมื่อทำการสร้างชิ้นส่วยเสร็จแล้วจึงได้ทำการประกอบเพื่อใช้งานมีขั้นตอนดังนี้

1) ประกอบชิ้นส่วน Core pin เข้ากับชิ้นส่วน Support plate พร้อมขั้นสกรูยึด

2) นำชิ้นส่วน Lower die ประกอบเข้ากับชิ้นส่วน Lower boss พร้อมยึดสกรูให้ได้ตามแบบ

3) เตรียมชิ้นส่วน Lower die holder (ภายในบรรจุสปิง) ประกอบชิ้นส่วนในข้อ 1 และ 2 พร้อมยึดสกรู

4) เตรียมชิ้นส่วน Upper boss ประกอบสวมเข้ากับชิ้นส่วน Upper die

5) นำชิ้นส่วน Upper die holder สวมประกอบเข้ากับชิ้นส่วนในหัวข้อที่ 4 พร้อมขันสกรู

6) นำชุดแม่พิมพ์ Lower punch ประกอบเข้ากับเครื่องอัดไฮดรอลิกส์พร้อมขันแน่นยึดสกรูแล้วนำชุดแม่พิมพ์ Upper punch มาประกอบกับชุดแม่พิมพ์ Lower punch และเปิดสวิสต์ control

7) กดสวิสต์ control ดันชิ้นส่วนขึ้นในตำแหน่งอัดพร้อมกับทำการยึดสกรูและขันแน่นจากนั้นลดแม่พิมพ์มาที่ตำแหน่งปลดชิ้นส่วนและเตรียมไว้สำหรับการอัดขึ้นรูป

4.7 การดำเนินการสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Press)

4.7.1 การดำเนินการสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

4.7.1.1 การสร้างโครงสำหรับวางฐานเครื่องอัดและวางชุดควบคุม

1) ตัดเหล็กตัว U หน้ากว้าง 6 นิ้ว ยาว 1,460 mm. จำนวน 2 ชิ้น

2) ตัดเหล็กตัว U หน้าตัด 6 นิ้ว ยาว 660 mm.จำนวน 2 ชิ้น

3) ตัดเหล็กฉาก L 2 x 2 นิ้ว ยาว 1,000 mm. จำนวน 4 ชิ้น

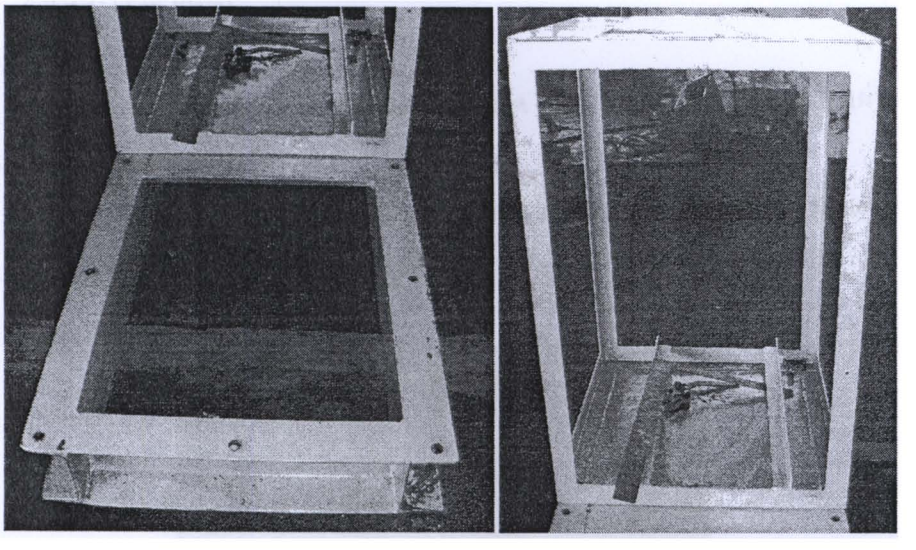
4) ตัดเหล็กฉาก L 2 x 2 นิ้ว ยาว 1,000 mm. จำนวน 10 ชิ้น

5) ตัดเหล็กแผ่น กว้าง 660 mm. ยาว 660 mm. หนา 6 mm. จำนวน 1 ชิ้น

6) ตัดเหล็กแผ่น กว้าง 520 mm. ยาว 920 mm. หนา 10 mm. จำนวน 1 ชิ้น

7) เชื่อมประกอบโครงสำหรับวางฐานกระบอกไฮดรอลิกส์และถังน้ำมันควบคุมความดันในระบบไฮดรอลิกส์

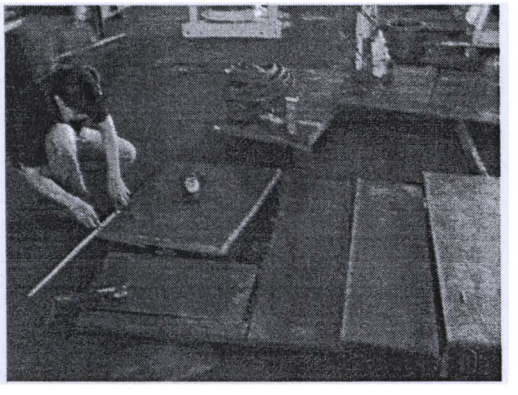
8) ทำการพ่นสีรองพื้นและสีจริง



รูปที่ 4.70 โครงสำหรับเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

4.7.1.2 การสร้างชิ้นส่วน ฐานกระบอกสูบ (Base Plate) และ ฐานด้านบน (Top Plate)

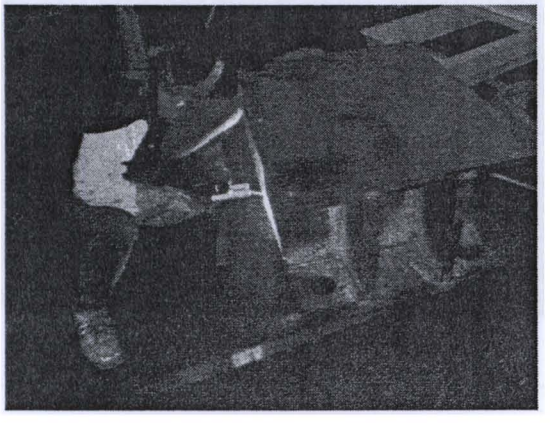
1) เตรียมเหล็กแผ่น SS400 ขนาด 4x8 ฟุต หนา 60 mm. และหนา 32 mm.



รูปที่ 4.71 การเตรียมชิ้นส่วนสำหรับสร้างฐานรองรับกระบอกสูบ (Base Plate) และ ฐานด้านบน (Top Plate)

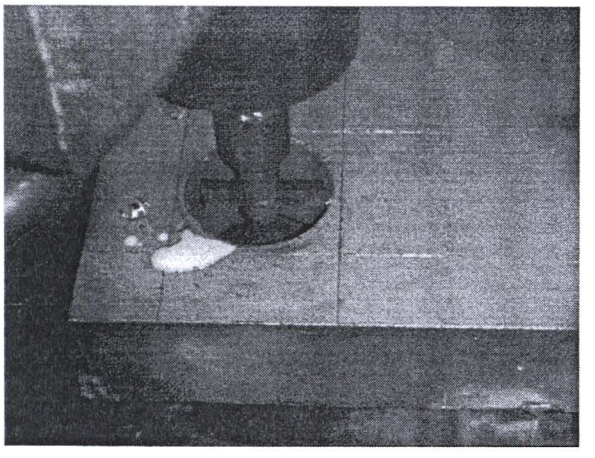
2) ร่างแบบและตัดชิ้นงานขนาด 600x750x60 mm. จำนวน 3 แผ่น และขนาด 660x800x32 mm. 1 แผ่น

3) เชื่อมประกอบชิ้นส่วนสำหรับใช้เป็นฐานวางเครื่องอัด (Base Plate) และชิ้นงาน (Top Plate)



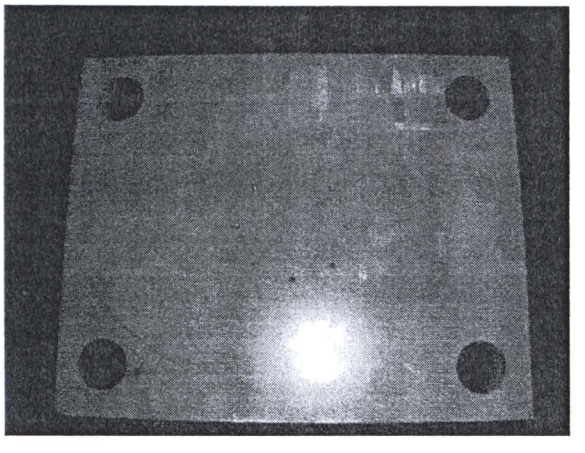
รูปที่ 4.72 การเชื่อมประกอบชิ้นส่วนฐานสำหรับรองรับกระบอกไฮดรอลิกส์

4) ทำการคว้านรูชิ้นส่วน Base Plate และ Top Plate สำหรับยึดเสาเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ขนาด Ø 80 mm.



รูปที่ 4.73 การคว้านรูปสำหรับประกอบเสา

5) ทำการปรับผิวหน้าและกลึงรอบตัวชิ้นส่วน Base Plate, Top Plate, และ Slide Plate ให้ได้ระนาบและได้ฉาก

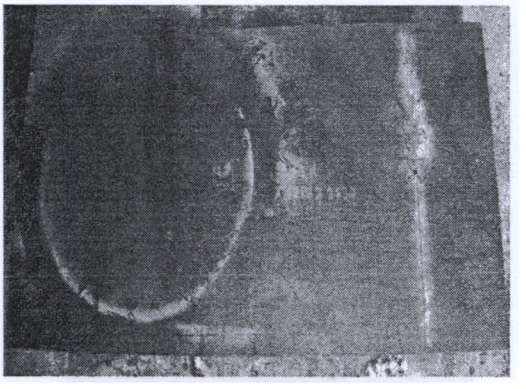


รูปที่ 4.74 ชิ้นส่วนที่ผ่านการคว้านรูประกอบเสา พร้อมปรับผิวหน้าและกลึงรอบตัวแล้ว

6) เจาะรูพร้อมทำเกลียวขนาด M10x1.5 และทาพ่นสีรองพื้นสำหรับป้องกันสนิม

4.7.1.3 การสร้างชิ้นส่วนชุดแท่นเลื่อน (Slide Plate)

1) เตรียมเหล็กแผ่น SS400 หนา 63 mm.



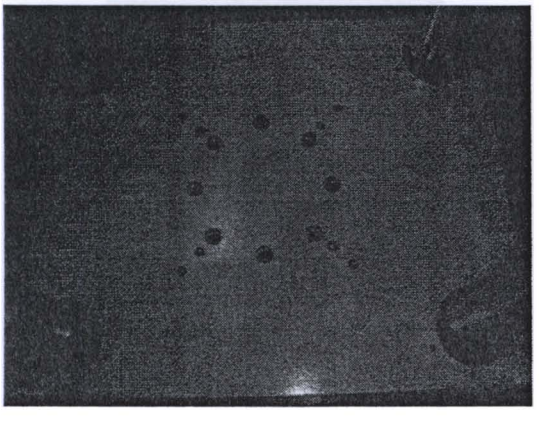
รูปที่ 4.75 เหล็กแผ่น SS400 สำหรับสร้างชิ้นส่วน ชุดแท่นเลื่อน (Slide Plate)

2) ทำการตัดเหล็กแผ่น SS400 ให้ได้ขนาด 600x750 mm. จำนวน 1 แผ่น สำหรับชิ้นงาน Slide Plate

3) ทำการคว้านรูสำหรับยึดเสา จำนวน 4 รู ขนาด Ø 80 mm.

4) เจาะรูทำเกลียวขนาด M10x1.50 จำนวน 24 รู สำหรับยึดปลอกเสา

5) ปาดผิวชิ้นงานรอบตัวให้ได้ขนาด 600 x750x60 mm.

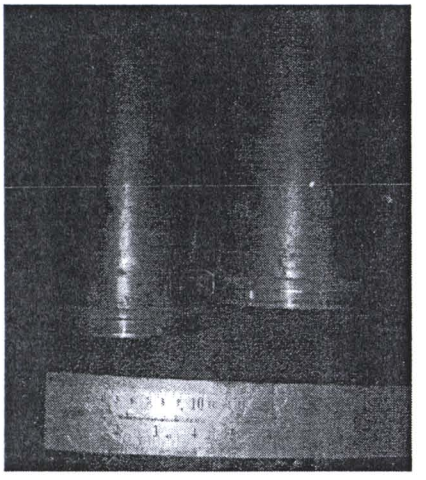


รูปที่ 4.76 ชิ้นส่วนชุดแท่นเลื่อน (Slide plate)

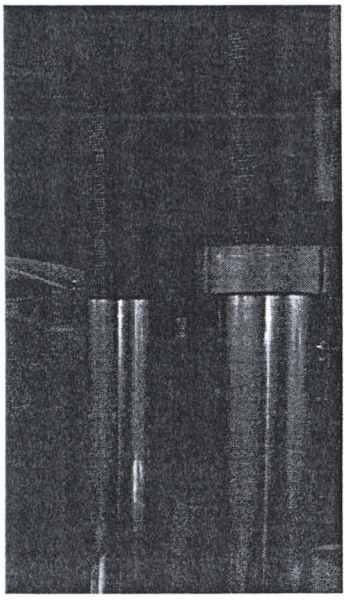
6) พ่นสีรองพื้นพร้อมกับพ่นสีจริงเพื่อความสวยงาม

4.7.1.4 การสร้างชิ้นงานเสาเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

1) เตรียมเหล็กกลม SCM 4 Ø 80 mm. ยาว 1,010 mm. จำนวน 4 ท่อน



รูปที่ 4.77 เหล็กเพลากลมสำหรับขึ้นรูปเสาเครื่องอัด



รูปที่ 4.78 เสาเครื่องอัดที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว

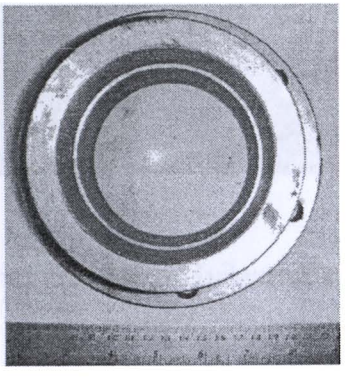
2) กลึงเกลียวปลายทั้งสองด้าน ขนาด Tr 80x5 mm. ยาว 330 mm. ทั้ง 4 ท่อน

4.7.1.5 การสร้างชิ้นส่วนยึดเสาเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

1) เตรียมเหล็กเพลา SS400 160x125 mm

2) ทำการกลึงปรับขนาดให้ได้ตามแบบที่กำหนด จำนวน 4 ชิ้น

3) นำชิ้นงานปอกเสา ขนาด Ø 158 mm. ยาว120 mm. ทำการคว้านรูและทำเกลียวขนาด Tr80x5 mm.

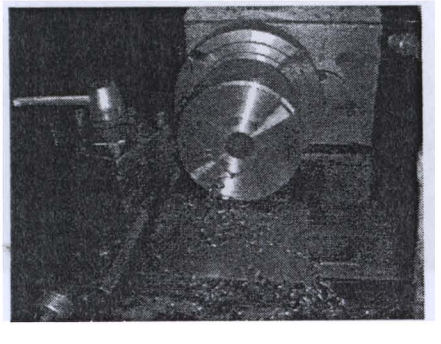


รูปที่ 4.79 ชิ้นส่วนยึดเสาเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

4.7.1.6 การสร้างชิ้นส่วนนัต (Nut) ของเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

1) เตรียมชิ้นเหล็กเพลา SS400 ขนาด Ø 125 mm.

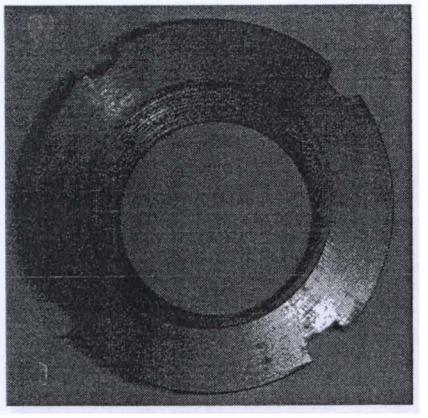
2) ทำการกลึงให้ได้ขนาด Ø 120 mm. ยาว 60 mm.



รูปที่ 4.80 การกลึงนัต (Nut) สำหรับเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

3) การกลึงเกลียวขนาด Tr80x5 mm.

4) แบ่งเป็น 4 ส่วน แล้วกลึงร่องขนาดกว้าง 10 mm.

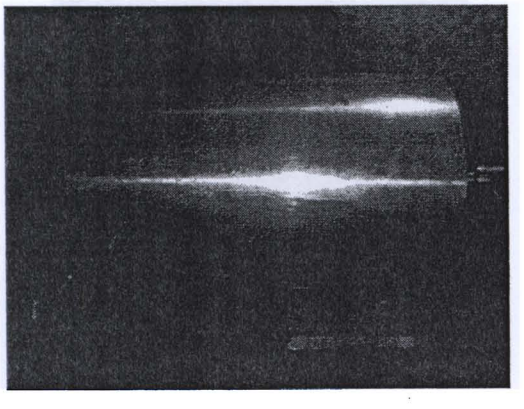


รูปที่ 4.81 ชิ้นส่วนนัต (Nut) สำหรับยึดเสาเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

4.7.1.7 การสร้างชิ้นส่วนก้านลูกสูบไฮดรอลิกส์

1) เตรียมเหล็กเพลาตัน Scm4 ขนาดขนาด Ø 250 mm. ยาว 280 mm.

2) การกลึงขึ้นรูปให้ได้ขนาดตามแบบ จากนั้นทำการนำไปชุบเคลือบผิววาว (ฮาร์ดโคม)



รูปที่ 4.82 ชิ้นส่วนก้านลูกสูบไฮดรอลิกส์

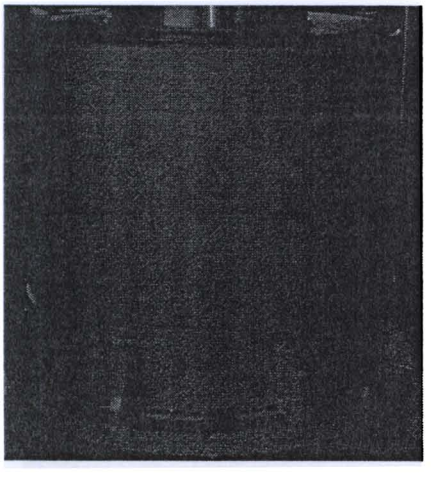
4.7.1.9 การสร้างชิ้นส่วนกระบอกไฮดรอลิกส์

1) เตรียมชิ้นงานเหล็ก SCM4 ขนาด Ø 485 mm.

2) เชื่อมประกอบชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงสำหรับยึดกระบอกสูบ และเจาะทำเกลียวขนาด M16 x1.5 จำนวน 8 รู

3) ทำการกลึงปรับผิวแล้วนำไปพ่นสี

รูปที่ 4.83 ชิ้นส่วนกระบอกไฮดรอลิกส์ก่อนการขึ้นรูป



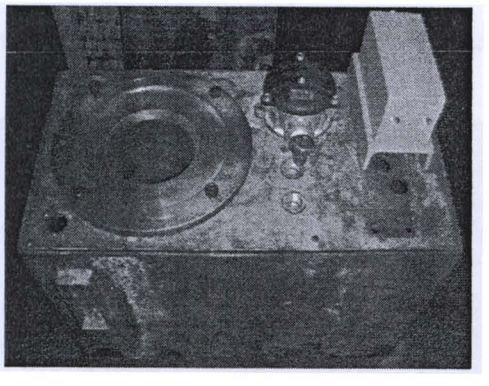
รูปที่ 4.84 ชิ้นส่วนกระบอกไฮดรอลิกส์หลังการขึ้นรูป

4.7.1.10 การสร้างถังน้ำมันไฮดรอลิกส์

การสร้างถังน้ำมันไฮดรอลิกส์นั้นสามารถอธิบายขั้นตอนการสร้างพอสังเขปได้ดังต่อไปนี้

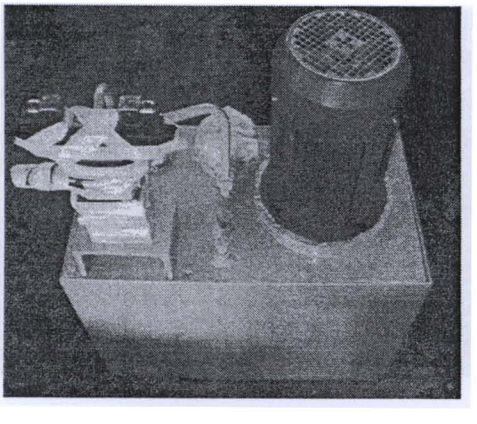
1) เตรียมถังน้ำมันใช้งานแล้วพร้อมทั้งชิ้นส่วนที่สร้างขึ้นและอุปกรณ์สำเร็จรูป ประกอบด้วย ฐานรองรับมอเตอร์เกียร์ขนาด 10 HP ชุดยึดวาล์วควบคุมการไหล เกจวัดความดัน ท่อน้ำมันพร้อมข้อต่อ เกจแสดงระดับน้ำมัน

2) ขัดปรับผิวถังน้ำมันรอบตัวและทำการพ่นสีป้องกันสนิมพร้อมสีจริง



รูปที่ 4.85 ถังน้ำมันใช้งานแล้วพร้อมอุปกรณ์สำเร็จรูป

3) ประกอบชุดมอเตอร์พร้อมอุปกรณ์ต่างๆ เติมน้ำมันไฮดรอลิกส์และเตรียมสำหรับติดตั้งเข้ากับเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ต่อไป



รูปที่ 4.86 ถังน้ำมันไฮดรอลิกส์

4.7.1.11 การสร้างชุดควบคุมการทำงาน

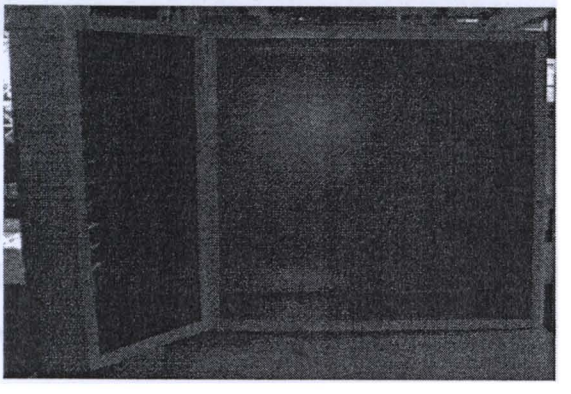
การสร้างชุดควบคุมการทำงานเครื่องอัดไฮดรอลิกส์นั้นสามารถอธิบายขั้นตอนการสร้างพอสังเขปได้ดังต่อไปนี้

1) ประกอบโครงสำหรับชุดไฟและชุดควบคุมการทำงานของเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

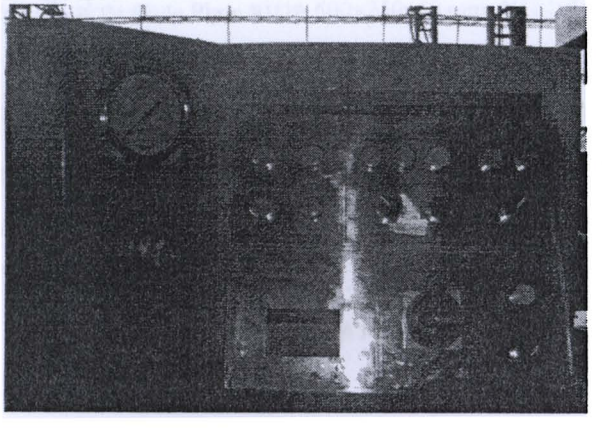
2) ส่งซื้ออุปกรณ์สำเร็จรูป เกจวัดแรงดัน ชุดไฟพร้อมปุ่มกด ชุดเบรกเกอร์พร้อมชุดควบคุม

3) ทำการประกอบอุปกรณ์สำเร็จรูปกลับโครงกล่องชุดควบคุมที่สร้างขึ้น

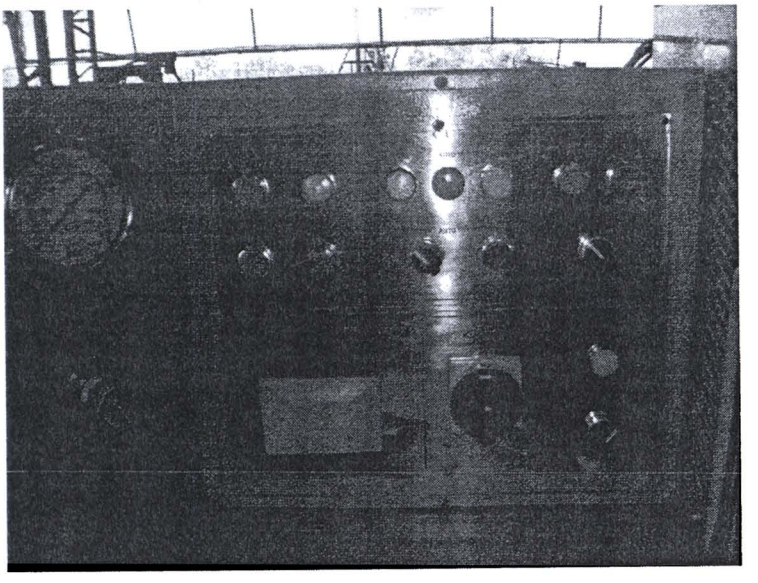
4) ทำการติดตั้งชุดควบคุมเข้ากับเครื่องอัดไฮดรอลิกส์



รูปที่ 4.87 โครงสำหรับชุดควบคุมการทำงานเครื่องอัดไฮดรอลิกส์



รูปที่ 4.88 ชุดควบคุมการทำงานเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ระหว่างการประกอบ



รูปที่ 4.89 ชุดควบคุมการทำงานเครื่องอัดไฮดรอลิกส์พร้อมเกจวัดความดัน

4.7.2 การประกอบเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

1) เตรียมโครงเหล็กตัว U หน้ากว้าง 6 นิ้ว สำหรับเป็นฐานของเครื่องอัด

2) ประกอบชิ้นส่วน Base Plate พร้อมยึดนัต (Nut) (เหล็กแผ่น SS400 ขนาด 660 x 800 mm.)

3) ประกอบตั้งเสา 4 ท่อนขึ้นพร้อมยึดนัต (Nut) และตรวจสอบให้ได้ฉาก

4) ประกอบชุดกระบอกไฮดรอลิกส์ พร้อมยึดนัต (Nut)

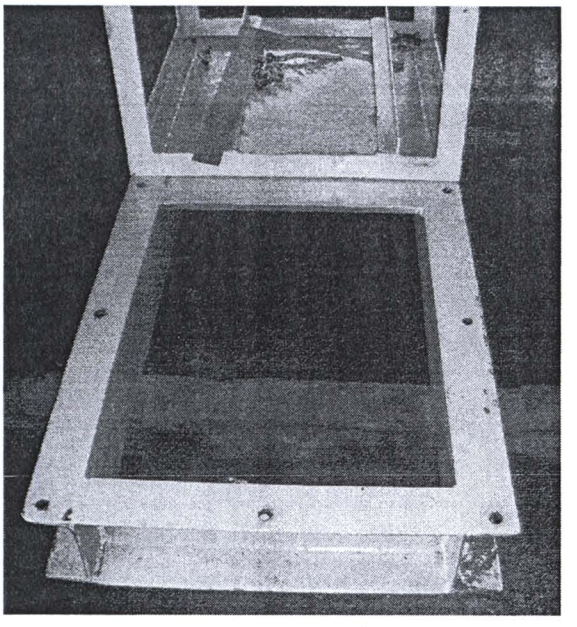
5) ประกอบชิ้นส่วน Slide Plate ขนาด 600x750x60 mm. พร้อมขันน็อตยึดเสาและยึดก้านลูกสูบ

6) ขันนัต (Nut)สำหรับรองรับชิ้นงาน Top Plate ขนาด 600x750x460 mm.

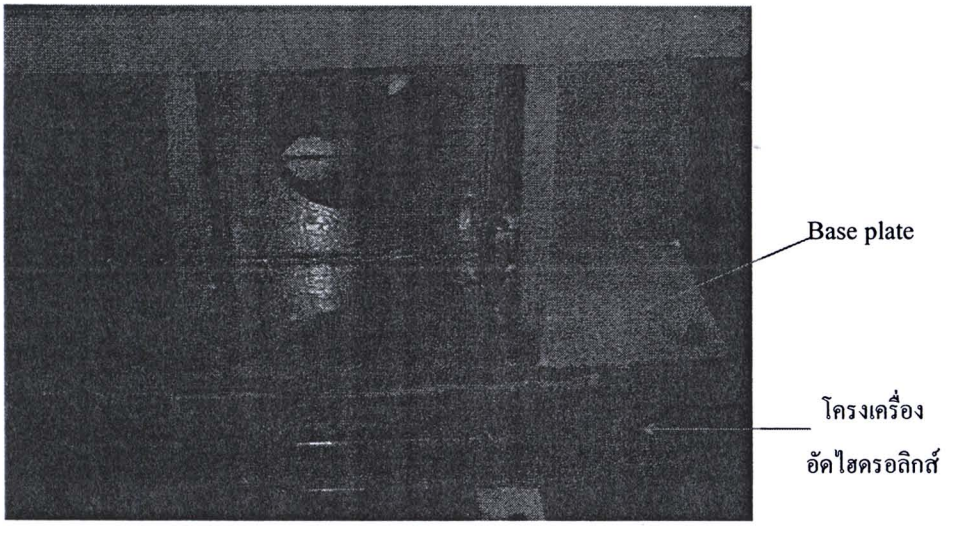
7) นำชิ้นงาน Top Plate มาประกอบพร้อมยึดนัต (Nut)ให้เรียบร้อย

8) ประกอบชุดถังน้ำมันพร้อมเดินสายน้ำมัน ตรวจสอบการรั่วซึมบริเวณข้อต่อวาล์วและของสายน้ำมันไฮดรอลิกส์

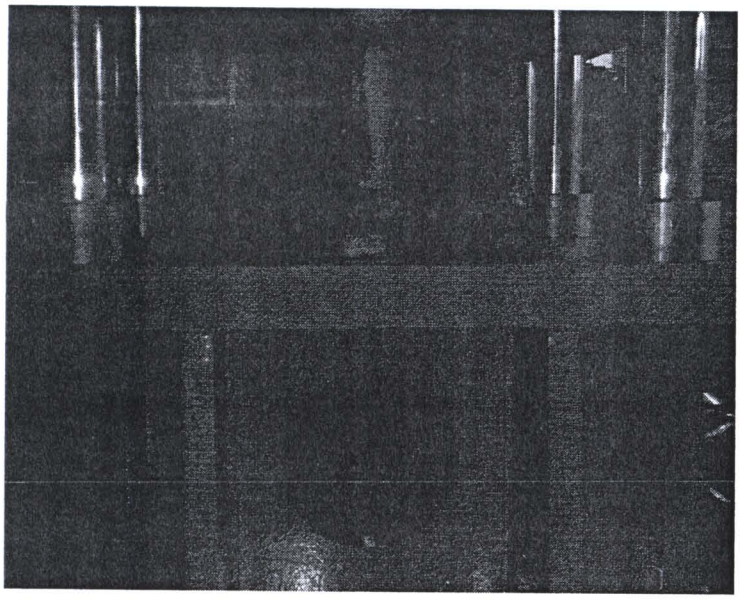
9) ติดตั้งชุดควบคุมพร้อมเดินสายไฟเพื่อควบคุมการทำงานเครื่องอัดไฮดรอลิกส์



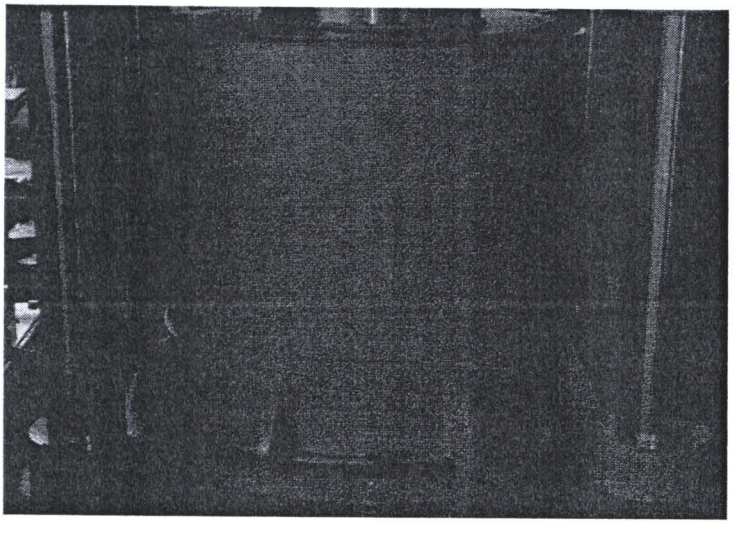
รูปที่ 4.90 โครงสำหรับเครื่องอัดไฮดรอลิกส์



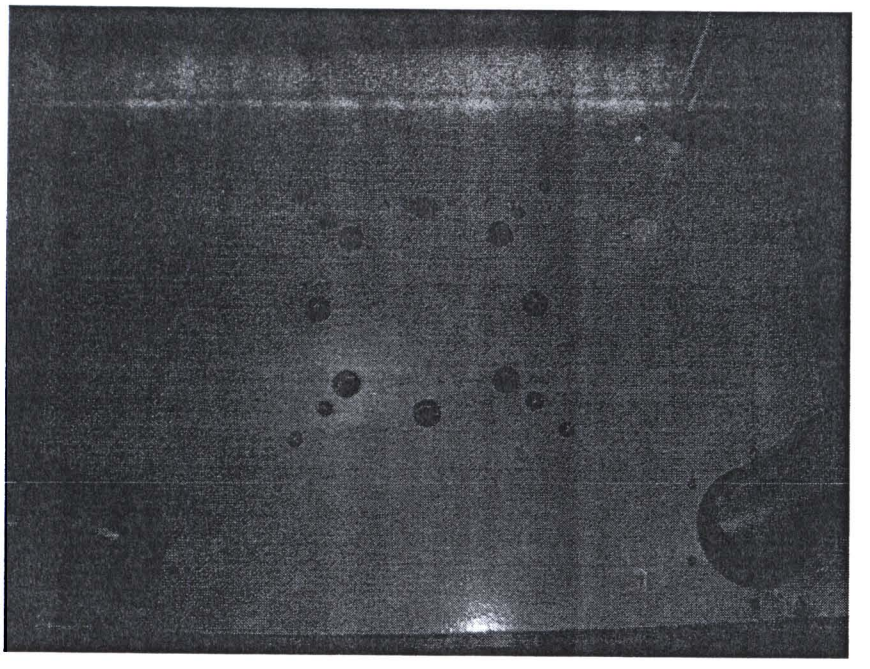
รูปที่ 4.91 แสดงการประกอบชิ้นส่วน Base Plateกับโครงเครื่องอัดไฮดรอลิกส์



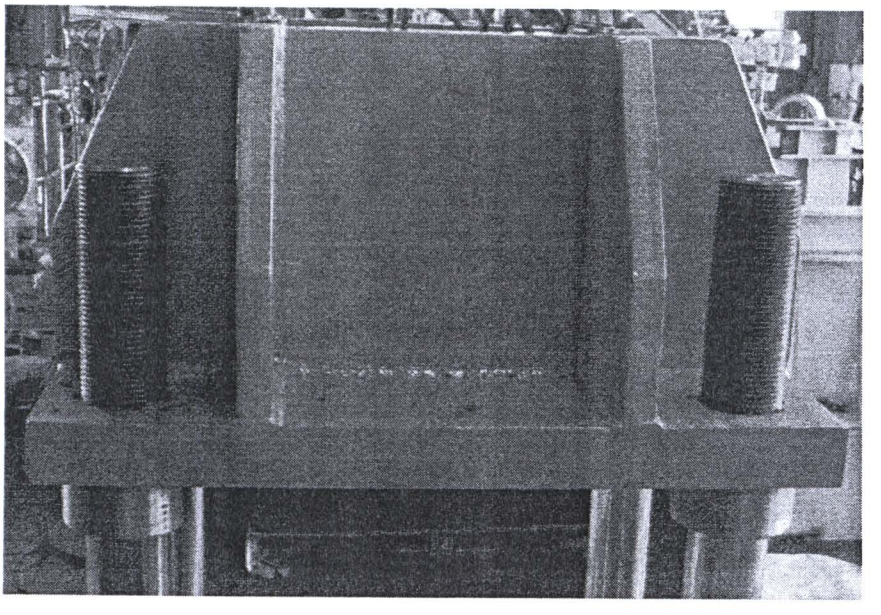
รูปที่ 4.92 แสดงการประกอบเสาเครื่องอัดไฮดรอลิกส์



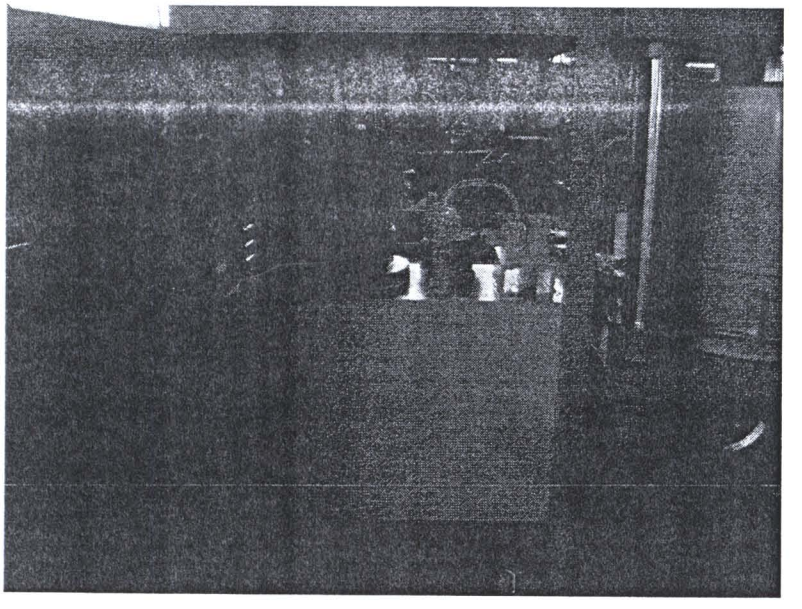
รูปที่ 4.93 แสดงการประกอบชุดกระบอกสูบ



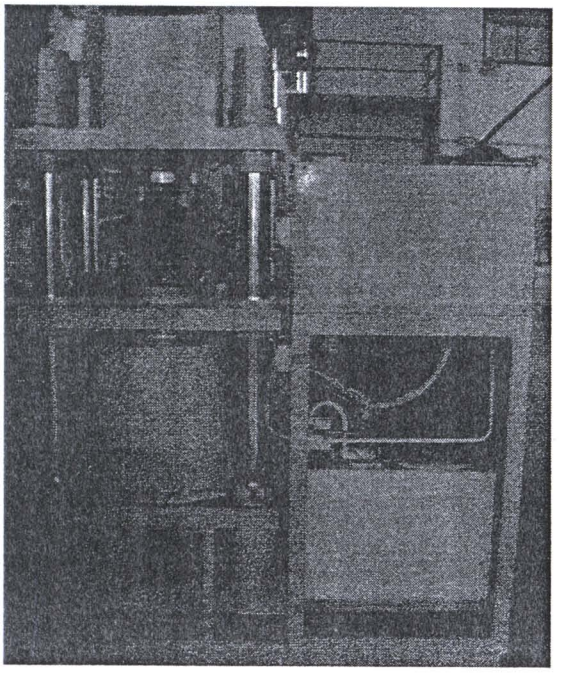
รูปที่ 4.94 แสดงการประกอบชิ้นส่วน Slide Plate



รูปที่ 4.95 แสดงการประกอบชิ้นส่วน Top Plate



รูปที่ 4.96 แสดงการประกอบชุดถังน้ำมันเข้ากับเครื่องอัดไฮดรอลิกส์



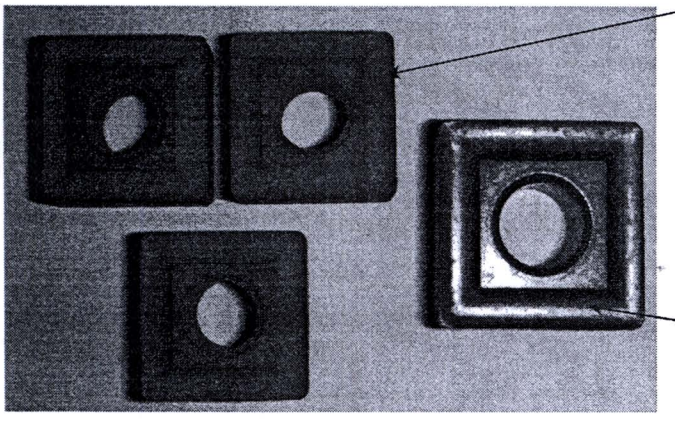
รูปที่ 4.97 แสดงเครื่องอัดไฮดรอลิกส์

4.7.3 ผลการทดสอบการอัดชิ้นงานแผ่นมีดตัดซีเมนต์คาร์ไบด์

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบสมบัติชิ้นงานแผ่นมีดตัดหลังการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

ส่วนผสม / รายการ	ทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผสม 10%Co			ค่าเฉลี่ย
	กำลังอัด ตัน, (T)			
	10 T	6 T	6 T	7.3 T
กว้าง (mm)	15.72	15.72	15.74	15.72
ยาว (mm)	15.74	15.72	15.74	15.73
หนา (mm)	5.34	6.10	7.20	6.21
Ø รูใน (mm)	6.38	6.41	6.38	6.39
น้ำหนัก (g)	7.4604	8.3243	10.0212	8.602
ความหนาแน่น (g/cm^3)	8.169	8.078	7.711	7.982

จากตารางที่ 4.3 เป็นผลการอัดขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นมีดตัด จากการตรวจสอบขนาดพบว่า ขนาดเฉลี่ยของชิ้นงานแผ่นมีดมีขนาด 15.72 x 15.73 x 6.21 mm. ความความหนาแน่น 7.98 g/cm^3



รูปที่ 4.98 ชิ้นงานแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจสอบสมบัติชิ้นงานแผ่นมีดตัดหลังการอบผนึก

ส่วนผสม / รายการ	ทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผสม 10%Co			ค่าเฉลี่ย
	กำลังอัด ตัน, (T)			
	10 T	6 T	6 T	7.3 T
กว้าง (mm)	13.12	12.87	12.99	12.993
ยาว (mm)	13.07	12.87	13.03	12.99
หนา (mm)	4.25	4.81	4.80	4.62
Ø รูใน (mm)	6.38	6.38	6.38	6.38
น้ำหนัก (g)	9.435	9.209	9.034	9.22
ความหนาแน่น (g/cm^3)	13.959	14.100	13.995	14.018

จากตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์หลังการอบผนึกพบว่า ชิ้นงานแผ่นมีดตัดที่ผ่านการอบแล้วมีขนาดเฉลี่ย 13 x 13 x 4.6 mm. ความหนาแน่น 14.018 g/cm^3

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบความแข็งชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์

STANDARD BLOCK (HV 10) 808 HV				
SAMPLE NO. STANDARD				
SAMPLE NO. 1 RE 10% Co	1	2	3	Average
d1	1.61	159	160.5	
d2	161	159	160.5	
$\bar{d}$	161	159	160.5	
HV 20	1431	1467	1449	1449

จากตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติด้านความแข็งของชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ส่วนผสม 10% Co ผ่านการอบผนึกที่อุณหภูมิ 1,450 °C พบว่าชิ้นงานแผ่นมีดตัดมีความแข็งเฉลี่ย 1449 HV

4.7.4 การอภิปรายผล

การดำเนินงานสร้างเครื่องสลายเศษโลหะซีเมนต์คาร์ไบด์ประสบความสำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์ สามารถบรรจุชิ้นงานได้ 10-30 กิโลกรัม โดยใช้แรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่า 0-15 V กระแสไฟฟ้าจาก 0.00 - 10 A ชุดตรวจวัดอุณหภูมิสามารถวัดได้ ระหว่าง -50 °C ถึง 150 °C ผลการทดลองแยกสลายเศษโลหะซีเมนต์คาร์ไบด์โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 1.0 V อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มข้นสารละลาย 1 N HCl ใช้เวลาสลายชิ้นงาน 18 ชั่วโมง ปรากฏว่าผลิตโลหะผงทังสเตนได้จำนวน 297 กรัม พบว่า ผงโลหะเป็นทังสเตนคาร์ไบด์ มีความความบริสุทธิ์ 85-97.49 % และมีธาตุอื่นผสม เช่น ไทเทนียม 0.71 % ออกซิเจน 1.78 % และ คาร์บอน 0.02 % การตรวจสอบขนาดการกระจายอนุภาคอยู่ระหว่าง 0.03 – 350 μm. อ้างอิง U.S. Patent 4,234,333 อธิบายว่าการกัดกร่อนการจะมีประสิทธิภาพต้องบรรจุวัสดุเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ $^1/_4$ ของถังบรรจุชิ้นงาน และจากการออกแบบถังบรรจุชิ้นงานนี้บรรจุได้ไม่เกิน 30 กิโลกรัม

ทำให้โลหะผงมีความบริสุทธิ์มากขึ้นโดยการบดที่ออกแบบภาชนะบรรจุสำหรับการบดละเอียดบรรจุวัตถุดิบได้ครั้งละเกิน 120 กรัม หากใช้วามเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปผ่านการกรองทำความสะอาดและล้างด้วยเอทานอล 99.8 % ทุก ๆ 8 ชั่วโมง ปรากฏว่าขนาดและการกระจายของโลหะผงลดลงมาอยู่ระหว่าง 0.03 – -30.00 μm และปรากฏว่าโลหะผงมีความบริสุทธ์ 99.50 %

ผลที่ได้รับดังกล่าวสืบเนื่องมาจาก การอบด้วยเตาสูญญากาศเพื่อควบคุมการเกิดออกซิเดชั่น ที่อุญหภูมิ 250 °C เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกริยาระหว่างโลหะผงและบรรยากาศภายนอก ต่อจากนั้นทำการผสมโลหะประสานโคบอลด์และอัดขึ้นรูปด้วยการใช้แม่พิมพ์เพื่อผลิตแผ่นมีดตัดขนาดประมาณ 15.76 x 17.76 x 6.26 mm โดยใช้กำลังไม่เกิน10 ตัน ปรากฏว่าชิ้นงานมีความหนาแประมาณ 14.018 g/cm^3 ความแข็งประมาณ 1,449 HV