

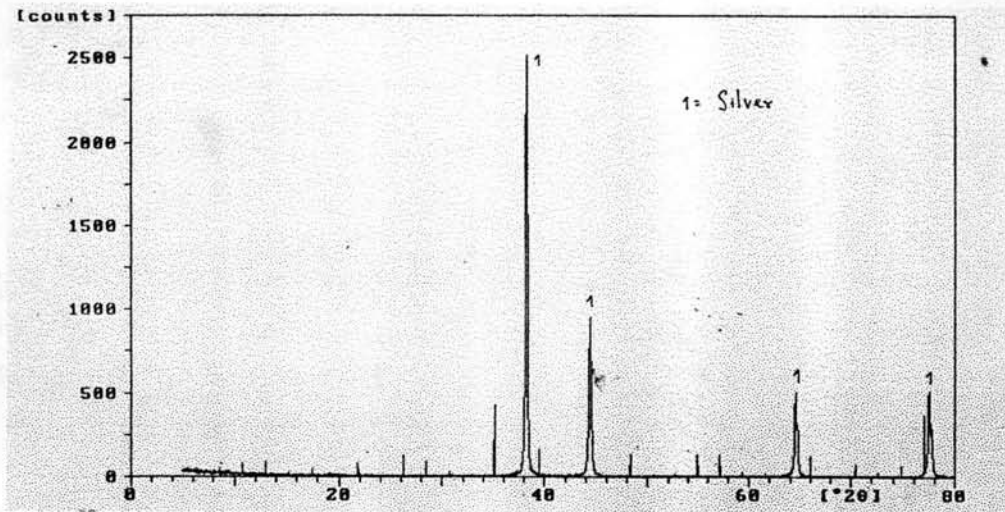
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการผลิตผงโลหะเงิน

ผงโลหะเงินได้จากการผลิตจะนำไปตรวจสอบ สลัก รูปร่าง ขนาด และความหนาแน่นดังรายละเอียดต่อไปนี้

##### 4.1.1 การตรวจสอบผงโลหะเงินด้วยเครื่อง XRD



รูปที่ 4.1 แสดงผลXRD ของผงโลหะเงิน

ผลการตรวจสอบผงโลหะเงินด้วยเครื่อง XRD แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่า พิกที่ที่ได้จากการตรวจสอบ เป็นของโลหะเงินเพียงชนิดเดียว ไม่มีธาตุ หรือ สิ่งเจือปนชนิดอื่น อยู่ในผงโลหะเงินที่ผลิตได้

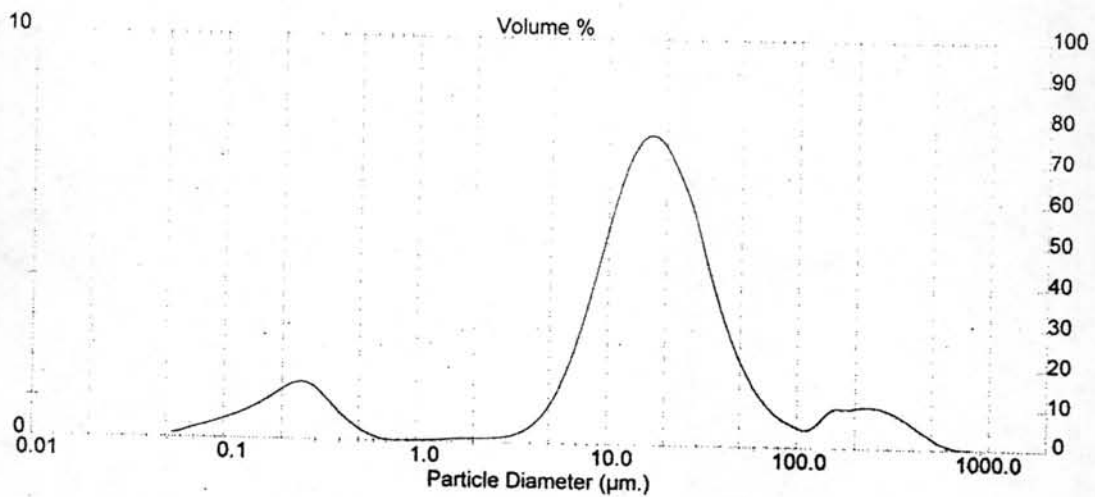
##### 4.1.2 ลักษณะและรูปร่างของผงโลหะเงิน

ภาพถ่ายของผงโลหะเงิน แสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่า เนื้อผงโลหะเงินมีรูพรุนสูง มีขนาดไม่สม่ำเสมอ และมีรูปร่างแบบ Granular [12]



รูปที่ 4.2 ลักษณะและรูปร่างของผงโลหะเงิน (a) 500 เท่า (b) 4,000 เท่า

#### 4.1.3 ขนาดเฉลี่ยและความหนาแน่นของผงโลหะเงิน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงขนาดเฉลี่ยของผงโลหะเงิน

จากการตรวจสอบขนาดของผงโลหะเงิน พบว่า ขนาดของผงโลหะเงินแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกมีขนาดประมาณ 0.5  $\mu\text{m}$  กลุ่มที่ 2 มีขนาดประมาณ 38  $\mu\text{m}$  และกลุ่มที่ 3 มีขนาดประมาณ 300  $\mu\text{m}$  โดยผงโลหะเงินส่วนใหญ่ที่ผลิตได้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 38  $\mu\text{m}$  และจากการวัดความหนาแน่นด้วยเครื่อง Ultrapycnometer พบว่าผงโลหะเงินมีความหนาแน่น 7.80 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

#### 4.2 การสลายตัวของตัวประสานในบรรยากาศอากาศ

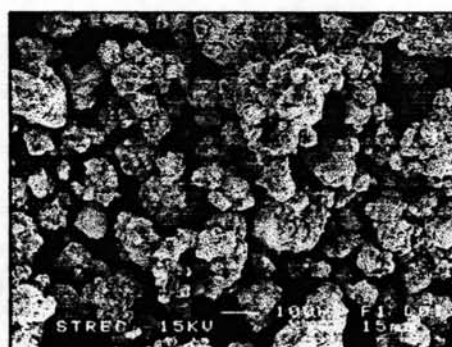
ผลการตรวจสอบการสลายตัวของตัวประสานแสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของตัวประสานทั้งหมดอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 180-550 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 ผลการสลายตัวของตัวประสานจากการตรวจสอบ STA ในบรรยากาศอากาศ

ตัวประสาน	อุณหภูมิเริ่มสลายตัว (°C)	ช่วงการสลายตัว อย่างรวดเร็ว (°C)	อุณหภูมิสิ้นสุด (°C)
PP	300	376.0-480.3	550
PW	240	308-393.2	540
CW	280	394.5-460.8	520
SA	180	288.6-344.8	500

#### 4.3 การผสมระหว่างผงโลหะเงินและตัวประสาน

ลักษณะของของผสมระหว่างผงโลหะเงินกับตัวประสานแสดงดังรูปที่ 4.4 เห็นได้ว่าผงโลหะเงินกับตัวประสาน ไม่รวมตัวกันเป็นเนื้อเดียว แต่มีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อน มีขนาดเล็กและขนาดใหญ่ปนกัน



(a)



(b)

รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะของผสม (a) 100 เท่า (b) 500 เท่า

#### 4.4 การอัดขึ้นรูป

ค่าความหนาแน่นและขนาดของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปแสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งชิ้นงานหลังการอัดขึ้นรูปมีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ  $6 \text{ g/cm}^3$  คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น เท่ากับ 57 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.2 แสดงความหนาแน่นและขนาดชิ้นงานหลังการอัดขึ้นรูป

ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )	ขนาดชิ้นงาน (mm)
$6 \pm 0.19$	$D = 11 \pm 0.03$
	$h = 3 \pm 0.05$

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง

h = ความหนา

#### 4.5 การกำจัดตัวประสาน

##### 4.5.1 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานหลังการกำจัดตัวประสาน

ตารางที่ 4.3 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานหลังการกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลาย

สถานะที่	ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน
1	ไม่พบความเสียหายใดๆ
2	ไม่พบความเสียหายใดๆ
3	มีรอยแตกเกิดขึ้น บริเวณด้านข้างของชิ้นงาน
4	ไม่พบความเสียหายใดๆ

ผลความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานหลังการกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลายแสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่า สถานะที่ 3 เป็นเพียงสถานะเดียวที่ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย ซึ่งเกิดเป็นรอยแตกขึ้น ที่บริเวณด้านข้างของชิ้นงาน

#### 4.5.2 เปรอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลาย

##### 4.5.2.1 เปรอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เวลา ( ชั่วโมง )	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
2	0 %	0 %	0 %
4	9.09 %	0 %	0 %
6	9.09 %	0 %	0 %
8	9.09 %	8.88 %	8.92 %
10	9.09 %	8.88 %	8.92 %

ผลการกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 40°C แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อเวลาการกำจัดตัวประสานผ่านไป 2 ชั่วโมง ทุกชั้นงานมีการละลายของตัวประสานน้อยมาก เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง ชั้นงานชั้นที่ 1 มีการละลายของตัวประสานเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานเท่ากับ 9.09 เปรอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชั้นงานชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 การละลายของตัวประสานยังน้อยมาก ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานยังมีค่าเท่าเดิม เมื่อเวลาการกำจัดตัวประสานเพิ่มเป็น 6 ชั่วโมง ชั้นงานชั้นที่ 1 มีการละลายเพิ่มขึ้นของตัวประสานน้อยมาก และไม่เพิ่มขึ้นอีกจนครบ 10 ชั่วโมง ส่วนชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 การละลายของตัวประสานยังไม่เพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานยังเท่าเดิม จนเวลาการกำจัดตัวประสานผ่านไป 8 ชั่วโมง อัตราการละลายของตัวประสานเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานมีค่าเท่ากับ 8.88 เปรอร์เซ็นต์ ของชั้นที่ 2 และ 8.92 เปรอร์เซ็นต์ ของชั้นที่ 3 เมื่อเวลาเพิ่มเป็น 10 ชั่วโมง อัตราการละลายของตัวประสานก็ไม่เพิ่มขึ้นอีก

##### 4.5.2.2 เปรอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เวลา ( ชั่วโมง )	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
2	0 %	8.93 %	0 %
4	8.92 %	17.86 %	8.93 %
6	8.92 %	17.86 %	17.86 %
8	17.84 %	17.86 %	17.86 %
10	17.84 %	17.86 %	17.86 %



ผลการกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลายที่ 50 °C แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อเวลาการกำจัดตัวประสานผ่านไป 2 ชั่วโมง ชั้นงานชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3 มีการละลายของตัวประสานน้อยมาก ขณะที่ชั้นงานชั้นที่ 2 มีการละลายของตัวประสานสูงกว่าชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3 เมื่อเวลาการกำจัดตัวประสานเพิ่มขึ้นเป็น 4 ชั่วโมง ชั้นงานทั้ง 3 ชั้น มีการละลายของตัวประสานเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาเพิ่มเป็น 6 ชั่วโมง ชั้นงานชั้นที่ 1 การละลายของตัวประสานไม่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับชั้นที่ 2 ขณะที่ชั้นที่ 3 มีการละลายของตัวประสานเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานเพิ่มขึ้นจาก 8.93 เปอร์เซ็นต์ เป็น 17.86 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาการกำจัดตัวประสานเพิ่มเป็น 8 ชั่วโมง ชั้นงานชั้นที่ 1 มีการละลายของตัวประสานเพิ่มขึ้น ส่วนชั้นที่ 2 และ ชั้นที่ 3 มีการละลายของตัวประสานลดลง และไม่เพิ่มขึ้นอีกจนครบ 10 ชั่วโมง เช่นเดียวกับ ชั้นที่ 1 เมื่อกำจัดตัวประสานครบ 10 ชั่วโมง พบว่าชั้นงานทั้ง 3 ชั้น มีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานใกล้เคียง และมีค่าสูงกว่า การกำจัดตัวประสานที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

#### 4.5.2.3 เปอร์เซนต์การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.6 แสดงเปอร์เซนต์การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา ( ชั่วโมง )	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
2	9.00 %	0 %	0 %
4	9.00 %	8.93 %	8.93 %
6	9.00 %	8.93 %	8.93 %
8	18.01 %	17.86 %	17.86 %
10	18.01 %	17.86 %	17.86 %

ผลการกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลายที่ 60 °C แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่า เมื่อเวลาการกำจัดตัวประสานผ่านไป 2 ชั่วโมง ชั้นงานชั้นที่ 1 มีการละลายของตัวประสานมากกว่าชั้นที่ 2 และ ชั้นที่ 3 เมื่อเวลาผ่านไปเป็น 4 ชั่วโมง ชั้นงานชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 มีการละลายของตัวประสานเพิ่มขึ้น ขณะที่ชั้นที่ 1 ไม่มีการละลายของตัวประสานเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาการกำจัดตัวประสานผ่านไป 8 ชั่วโมง พบว่าชั้นงานทั้ง 3 ชั้น มีการละลายของตัวประสานเพิ่มขึ้น โดยชั้นที่ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานเพิ่มจาก 9.00 เปอร์เซ็นต์เป็น 18.01 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชั้นที่ 2 ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานเพิ่มจาก 8.93 เปอร์เซ็นต์เป็น 17.86 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ ชั้นที่ 3 และไม่มีการละลายของตัวประสานเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเวลาการกำจัดตัวประสานครบ 10 ชั่วโมง

#### 4.5.2.4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำลายของสภาวะที่ 4

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำลายของสภาวะที่ 4

เวลา ( ชั่วโมง )	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
2	8.93 %	8.93 %	8.93 %
4	8.93 %	8.93 %	8.93 %
6	8.93 %	8.93 %	8.93 %
8	17.86 %	17.86 %	17.86 %
10	17.86 %	17.86 %	17.86 %

ผลการกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำลายของสภาวะที่ 4 แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่า เมื่อเวลาการกำจัดตัวประสานผ่านไป 2 ชั่วโมง ทุกชิ้นงานมีการละลายของตัวประสานในอัตราที่เท่ากัน และการละลายของตัวประสานเป็นไปอย่างช้าๆ จนเมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง ทุกชิ้นงานมีการละลายของตัวประสานเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานเพิ่มขึ้นจาก 8.93 เปอร์เซ็นต์เป็น 17.86 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากนั้น อัตราการละลายของตัวประสานลดลง และไม่เพิ่มขึ้นอีกจนครบ 10 ชั่วโมง

#### 4.5.3 การกำจัดตัวประสานด้วยความร้อน

##### 4.5.3.1 ผลการกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำลายและความร้อน ที่เวลา 11 ชั่วโมง

เมื่อชิ้นงานผ่านการกำจัดตัวประสานด้วยความร้อนเป็นเวลา 11 ชั่วโมงสามารถกำจัดตัวประสานออกไปจากชิ้นงานได้ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานเฉลี่ยอยู่ที่ 89.93 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความเสี่ยงเกิดขึ้นกับชิ้นงาน

##### 4.5.3.2 ผลการกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำลายและความร้อน ที่เวลา 14 ชั่วโมง

หลังจากชิ้นงานผ่านการกำจัดตัวประสานด้วยความร้อนเป็นเวลา 14 ชั่วโมง พบว่าสามารถกำจัดตัวประสานออกไปจากชิ้นงานได้เกิน 90 เปอร์เซ็นต์ทุกชิ้นงาน โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การกำจัดตัวประสานเท่ากับ 96.79 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความเสี่ยงเกิดขึ้นกับชิ้นงาน

การกำจัดตัวประสานด้วยความร้อนเป็นเวลา 14 ชั่วโมง สามารถกำจัดตัวประสานออกไปได้มากกว่าการกำจัดตัวประสานที่เวลา 11 ชั่วโมง เนื่องจากเวลา 14 ชั่วโมงตัวประสานมีเวลาในการ

แพร่จากภายในของชิ้นงานสู่ภายนอกชิ้นงานได้มากกว่า ดังนั้น เวลาที่เหมาะสมในการกำจัดตัว  
ประสานด้วยความร้อน คือ 14 ชั่วโมง

#### 4.6 การเผาผนึก

##### 4.6.1 การเผาผนึกขั้นตอนเดียว

##### 4.6.1.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาการเผาผนึกต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวและความ หนาแน่น ของชิ้นงาน

ตารางที่ 4.8 ความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิและเวลา	ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )	เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น	เปอร์เซ็นต์การหดตัว	
			D	h
800 °c 2 ชั่วโมง	7.20	68.57	D	3.63
			h	2.62
800 °c 3 ชั่วโมง	7.39	70.38	D	4.48
			h	3.05
800 °c 5 ชั่วโมง	7.46	71.05	D	4.24
			h	3.36
870 °c 2 ชั่วโมง	7.84	74.67	D	5.21
			h	6.18
870 °c 3 ชั่วโมง	7.88	75.05	D	6.63
			h	7.07
870 °c 5 ชั่วโมง	8.05	76.67	D	5.41
			h	7.28
900 °c 2 ชั่วโมง	7.91	75.33	D	7.70
			h	6.97
900 °c 3 ชั่วโมง	8.30	79.05	D	9.44
			h	9.66
900 °c 5 ชั่วโมง	8.25	78.57	D	8.35
			h	6.84

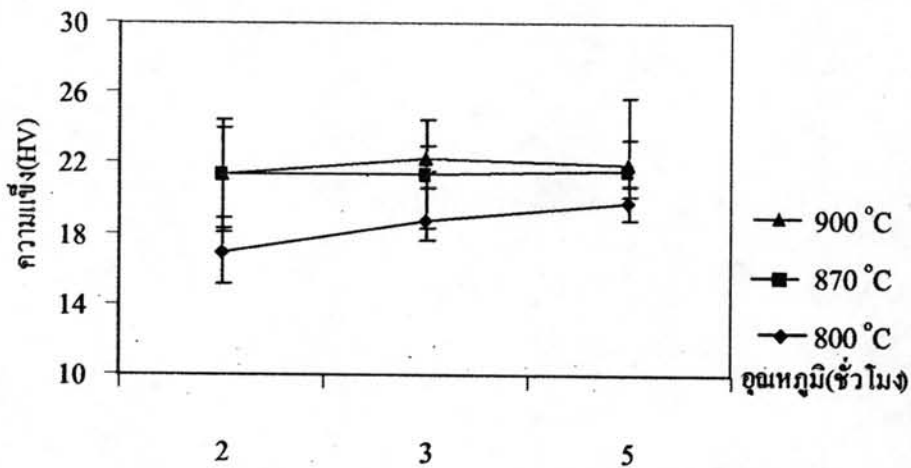
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง

h คือ ความสูง



ผลของความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การหดตัวแสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่า การเผาผลาญที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าการเผาผลาญที่อุณหภูมิ 800 และ 870 องศาเซลเซียส และการใช้เวลาการเผาผลาญ 5 ชั่วโมง ให้ค่าความหนาแน่นมากกว่า เวลาการเผาผลาญ 2 และ 3 ชั่วโมง ยกเว้นการเผาผลาญที่ 900 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง ที่ความหนาแน่นน้อยกว่า การเผาผลาญที่เวลา 3 ชั่วโมงเล็กน้อย เปอร์เซ็นต์การหดตัวพบว่า การเผาผลาญที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีการหดตัวมากกว่า การเผาผลาญที่อุณหภูมิ 800 และ 870 องศาเซลเซียส เวลาการเผาผลาญ 5 ชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์การหดตัว มากกว่าการเผาผลาญที่เวลา 2 และ 3 ชั่วโมง ยกเว้นการเผาผลาญที่ 900 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยกว่า การเผาผลาญที่เวลา 3 ชั่วโมงเล็กน้อย

#### 4.6.1.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาการเผาผลาญต่อความแข็งของชิ้นงาน

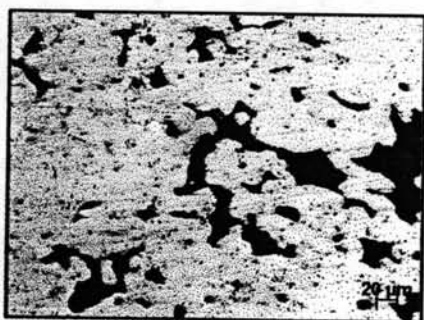


รูปที่ 4.5 ความแข็งของชิ้นงานหลังการเผาผลาญที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

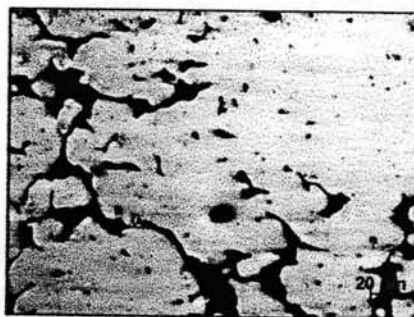
ผลของความแข็งแสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่า ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาการเผาผลาญเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง ที่ค่าความแข็งตกลงเล็กน้อย โดยที่อุณหภูมิ 870 และ 900 องศาเซลเซียส ค่าความแข็ง มีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ค่าความแข็งมีค่าน้อยที่สุด ทุกช่วงเวลาการเผาผลาญ

#### 4.6.1.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาการเผาผลาญต่อโครงสร้างของชิ้นงาน

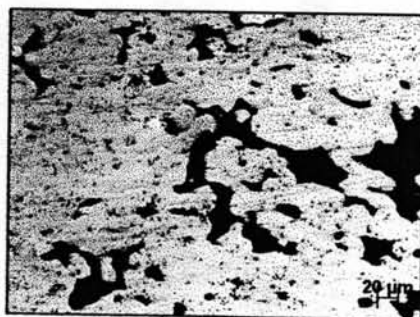
ภาพถ่ายรูปพรุนของชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.6 4.7 และ 4.8 พบว่า โครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเผาผลาญที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีปริมาณของรูปพรุนในชิ้นงานสูงกว่าการเผาผลาญที่อุณหภูมิ 870 และ 900 องศาเซลเซียส โดยมีลักษณะเป็นรูขนาดเล็กและขนาดใหญ่ปนกันและเป็นช่องทางเชื่อมต่อกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 870 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณของรูปพรุนลดน้อยลง รูปพรุนมีขนาดเล็ก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 900 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของรูปพรุนมีน้อยกว่าทั้ง 2 อุณหภูมิ เนื้อโลหะมีการประสานเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น สำหรับเวลาการเผาผลาญ พบว่า ปริมาณของรูปพรุนลดลงตามเวลาการเผาผลาญที่เพิ่มขึ้น เนื้อโลหะมีการประสานเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มสูงขึ้น เช่นที่อุณหภูมิ 870 องศาเซลเซียส ที่เวลา 2 ชั่วโมง ในชิ้นงานมีปริมาณรูปพรุนสูง เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 3 ชั่วโมง ปริมาณรูปพรุนลดน้อยลง และมีขนาดเล็ก และเมื่อเวลาการเผาผลาญเป็น 5 ชั่วโมง ในชิ้นงานมีรูปพรุนอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น



(a)

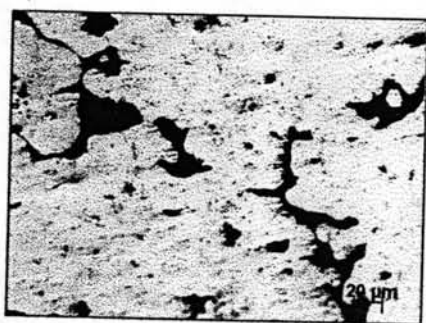


(b)

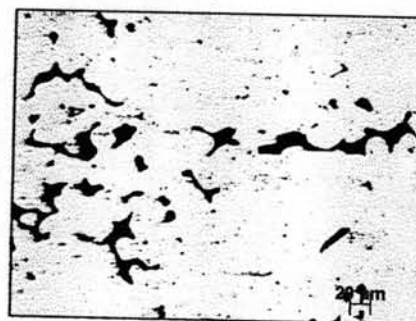


(c)

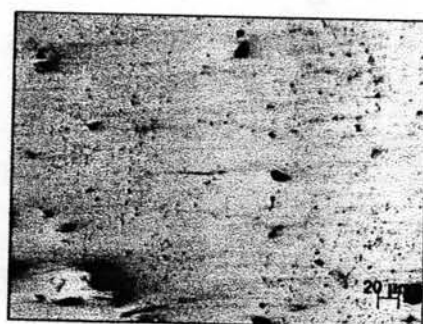
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายลักษณะรูปพรุนของชิ้นงานหลังผ่านการเผาผลาญที่ 800 °C (a) 2 (b) 3 และ (c) 5 ชั่วโมง



(a)

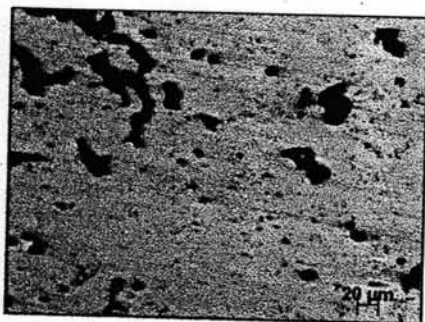


(b)

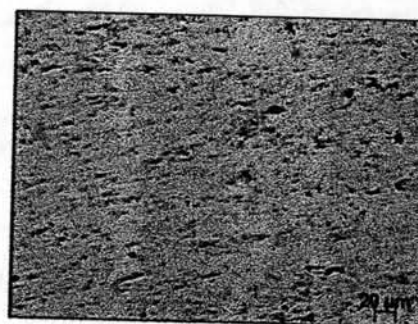


(c)

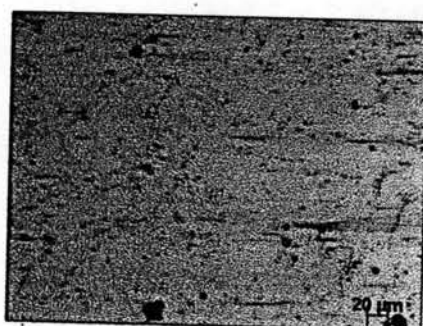
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของชิ้นงานหลังผ่านการเผาที่  $870^{\circ}\text{C}$  (a) 2 (b) 3 และ (c) 5 ชั่วโมง



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของชิ้นงานหลังผ่านการเผาที่  $900^{\circ}\text{C}$  (a) 2 (b) 3 และ 5 ชั่วโมง

#### 4.6.2 การเผาผนึกหลายขั้นตอน

##### 4.6.2.1 ผลของเวลาการเผาผนึกต่อความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงาน

ตารางที่ 4.9 ความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่เวลาการเผาผนึกต่างๆ

เวลา	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น	เปอร์เซ็นต์การหดตัว	
30 นาที	7.95	75.71	D	4.14
			h	3.32
60 นาที	8.30	79.05	D	8.51
			h	11.87
90 นาที	8.10	77.14	D	6.86
			h	9.33
120 นาที	8.13	77.43	D	8.90
			h	8.60

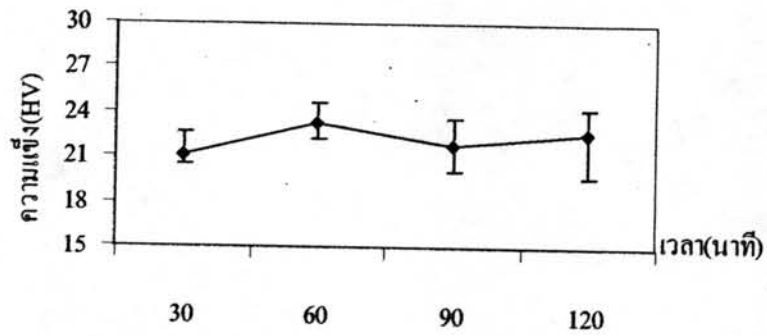
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง

h คือ ความหนา

ค่าความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การหดตัวแสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่า เวลาการเผาผนึก 60 นาที ให้ค่าความหนาแน่นมากที่สุด โดยมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 8.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ขณะที่เวลา 90 และ 120 นาทีให้ค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน ส่วนเวลาการเผาผนึก 30 นาที ให้ค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด เปอร์เซ็นต์การหดตัวจะขึ้นกับความหนาแน่นของชิ้นงาน กล่าวคือ ความหนาแน่นมาก การหดตัวก็จะมาก

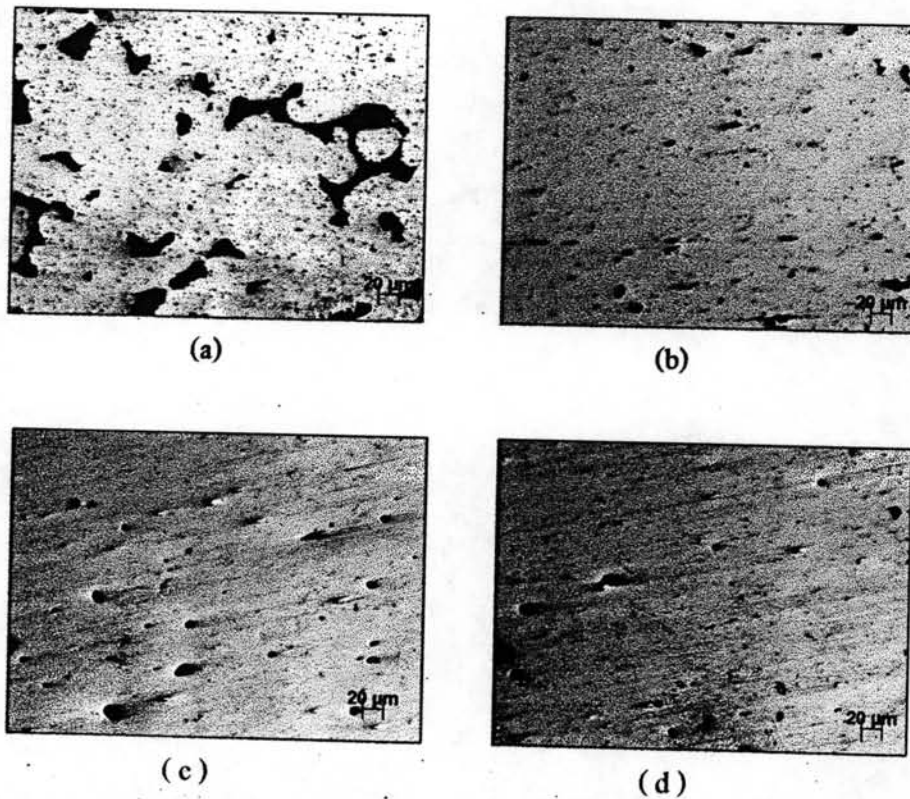
##### 4.6.2.2 ผลของเวลาการเผาผนึกต่อความแข็งของชิ้นงาน

ค่าความแข็งแสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่า เวลาการเผาผนึก 60 นาทีให้ค่าความแข็งของชิ้นงานสูงสุด การเผาผนึกที่เวลา 90 และ 120 นาที ให้ค่าความแข็งใกล้เคียงกัน การเผาผนึกที่เวลา 30 นาที ให้ค่าความแข็งน้อยที่สุด



รูปที่ 4.9 ความแข็งของซิงงานหลังการเผาผนึกที่เวลาต่างๆ

#### 4.6.2.3 ผลของเวลาการเผาผนึกต่อลักษณะโครงสร้างของซิงงาน



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของซิงงานหลังผ่านการเผาผนึกที่เวลาต่างๆ (a) 30 นาที (b) 60 นาที (c) 90 นาที และ (d) 120 นาที



จากภาพถ่ายลักษณะรูพรุนของชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 4.10 การเผาผนึกที่เวลา 30 นาที พบว่า ในชิ้นงานมีรูพรุนขนาดเล็กและขนาดใหญ่ อยู่ภายในชิ้นงาน รูพรุนขนาดใหญ่มีการเชื่อมต่อกันเป็นช่องทางเห็นได้ชัดเจน การเผาผนึกที่เวลา 60 90 และ 120 นาที ลักษณะโครงสร้างภายในมีลักษณะคล้ายๆกัน โดยมีรูพรุนอยู่เพียงเล็กน้อย และเป็นรูพรุนขนาดเล็ก เนื้อโลหะมีการประสานเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าการเผาผนึกที่เวลา 30 นาที

เมื่อพิจารณาความหนาแน่น ความแข็งและลักษณะโครงสร้างของชิ้นงานหลังการเผาผนึก พบว่า การเผาผนึกเป็นเวลา 30 นาที โครงสร้างยังมีรูพรุนขนาดเล็กและใหญ่ปนกัน ทำให้ชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นและความแข็งน้อยกว่า การเผาที่เวลา 60 90 และ 120 นาที ดังนั้นเวลาการเผาผนึกที่ 30 นาที จึงน้อยเกินไป ส่วนการเผาผนึกที่เวลา 90 และ 120 นาที ค่าความหนาแน่นและความแข็งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่น้อยกว่าการเผาผนึกที่เวลา 60 นาที และลักษณะโครงสร้างยังมีรูพรุน ขนาดเล็กที่เห็นได้ชัดเจน ขณะที่การเผาผนึกที่เวลา 60 นาที ลักษณะโครงสร้างมีรูพรุนขนาดเล็กกว่า เนื้อโลหะมีการประสานเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า ดังนั้น การเผาผนึกเป็นเวลา 60 นาทีเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าความหนาแน่น ความแข็งสูงสุด และลักษณะโครงสร้างที่ดี

จากผลการทดลอง การเผาผนึกชั้นตอนเดียว และหลายชั้นตอน พบว่าให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกัน มีค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากัน คือ 8.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความแข็งและลักษณะโครงสร้างใกล้เคียงกัน