สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ข
บทคัดย่อ	ฌ
Abstract	ญ
บทที่ 1 : บทนำ	1
1.1 ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับ	3
1.5 ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 : วิธีการวิจัย	32
2.1 วิธีดำเนินการ	32
2.2 ขั้นตอนการวิจัยและวัสดุอุปกรณ์	33
บทที่ 3 : ผลการวิจัยและบทวิจารณ์	38
3.1 ผลของเวลาการบดผสมผงโลหะนิกเกิลและไทเทเนียม	38
3.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาอบผนึกต่อการกิดเฟส NiTi	41
3.3 สมบัติการเปลี่ยนเฟสของวัสดุจำรูป NiTi ที่สังเคราะห์	48
3.4 ความแข็งแรงดึงของชิ้นงานที่อบผนึกที่อุณหภูมิสูง	52
3.5 การฝึกสอนวัสดุจำรูป	55
บทที่ 4 : สรุปและข้อเสนอแนะ	57
4.1 สรุป	57
4.2 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59
กิตติกรรมประกาศ	61
ภาคผนวก	62

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

บทที่

1.1 กลุ่มโลหะผสมจำรูปที่ค้นพบ 7

1.2 สมบัติเชิงกลของ NiTi 8

1.3 การจำแนกชิ้นส่วน P/M 22

บทที่

3.1 สรุปผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของเวลา อบผนึก ณ อุณหภูมิ 800 900 และ 1000 °C 45

3.2 ผลวิเคราะห์อุณหภูมิการเกิดโครงสร้างด้วย DSC ของเวลาบด 6ชั่วโมง อุณหภูมิ อบผนึก 900°C และ1000°C ณ เวลาอบผนึก 2 ชั่วโมง 48

3.3 สรุปผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของเวลาบด 3 , 6 และ10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิอบผนึก 1200 C ณ เวลาอบผนึก ต่างๆ 51

3.4 ผลวิเคราะห์อุณหภูมิการเกิดโครงสร้างด้วย DSC ของเวลาบด 6 ชั่วโมง อุณหภูมิ อบผนึก 52

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
บทที่ 1		
	1.1 Phase diagram ของ Ni-Ti	6
	1.2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลบอดี้เซ็นเตอร์คิวบิกหรือเตตระโกนอลในเฟสออสทิไนต์ (A) และโครงสร้างโมเลกุลเฟสเซ็นเตอร์เม็กซะโกนอลโคลสแฟ็ก ในเฟสมาร์เทนไซต์ (B) ของโลหะผสมนิเกิล-ไทเทเนียม	9
	1.3 ลักษณะโครงสร้างผลึกในเฟสออสเทไนต์(A) และเฟสมาร์เทนไซต์ (B) ของโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม	10
	1.4 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างโครงสร้างโดยรวมของโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียมในเฟสมาร์เทนไซต์ เมื่อรับแรงกระทำจากภายนอก (External force) ซึ่งสามารถคืนกลับสู่รูปร่างเดิมได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรเมื่อได้รับความร้อน	10
	1.5 การเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรในลักษณะลื่นไถลหรือเปลี่ยนตำแหน่งไปจากเดิมของอะตอมภายในโดยไม่สามารถคืนกลับสู่รูปร่างเดิมได้ของโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอก	11
	1.6 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสของโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม	12
	1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม	13
	1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรง (Load) กับระยะทาง (Deflection) ที่ลวดให้เปลี่ยนรูปร่างหรือมิติไปจากเดิม	14
	1.9 การประเมินสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวดของลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม	15
	1.10 ปรากฏการณ์จำรูปแบบทิศทางเดียว (One way) และสองทิศทาง (Two way)	16
	1.11 วิธีการฝึกสอนเพื่อให้เกิดการจำรูปแบบต่าง ๆ	18
	1.12 ชุดพันช์และแม่พิมพ์สำหรับการอัดแน่นแบบดั้งเดิม	20
	1 .13 ลำดับขั้นตอนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในวัฏจักรการอัดแน่นผง	20
	1.14 เครื่องมืออัดแบบทิศทางเดียว	21
	1.15 เครื่องมืออัดแน่นแบบสองทิศทาง	21

1. 16 เครื่องมืออัดแน่นแบบโฟททิงดาย 22
1.17 หลักการสมดุลของแรงในการอัดแน่นด้วยแม่พิมพ์ ความแตกต่างของความดันที่ให้กับความดันที่ส่งผ่านเป็นผลมาจากแรงเสียดทานที่ผนังของแม่พิมพ์ 23
1.18 แสดงความสัมพันธ์ของความดันที่ส่งผ่านในชิ้นงานอัดกับความหนาของชิ้นงาน 25
1.19 ความลาดของความดันที่ได้พันธ์ตัวบนในการอัดด้านเดียวในแม่พิมพ์ 25
1.20 ภาพถ่าย SEM แสดงการฟอร์มตัวของคอคอดเนื่องจากอบผนึก 27
1.21 การอบผนึกอนุภาคทรงกลมขนาดคอคอด X ขนาดอนุภาค D และเส้นรอบคอคอดมีรัศมี 28
1.22 ผลของเวลาในการอบผนึกต่ออัตราส่วนขนาดคอคอด พื้นที่ผิวลดลง การหดตัว และการแน่นตัว 29
1.23 แบบจำลองการอบผนึกอนุภาคทรงกลมสองอนุภาคที่พัฒนาพันธะระหว่างอนุภาคเริ่มต้นจากจุดสัมผัส การเพิ่มขนาดของคอคอดสร้างขอบเกรนที่รอยต่อระหว่างอนุภาค และในที่สุดรวมเป็นหนึ่งอนุภาคใหญ่ 30
1.24 ภาพแสดงการแน่นตัวและการโตของเกรนขณะอบผนึก และพื้นผิวแตกหักในภาพ d แสดงลักษณะที่ต้องการคือรูพรุนทรงกลมตามบริเวณขอบเกรนในขั้นตอนสุดท้ายของการอบผนึก 31

บทที่ 2

2.1 ขั้นตอนการวิจัย 32
2.2 หม้อบดเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) 33
2.3 (a , b , c) แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นงาน 34
2.4 รูปชิ้นงาน 35
2.5 แสดงภาพการอบผนึกด้วยเตาเผา 35
2.6 ระบบของอุปกรณ์ฝึกสอน 36
2.7 อุปกรณ์การฝึกสอน(ชุดควบคุมอุณหภูมิ) 37
2.8 อุปกรณ์การฝึกสอน(ชุดยึดจับชิ้นงาน) 37

บทที่ 3

3.1 ผลวิเคราะห์ XRD ของเวลาบด 0, 3, 6 และ 10 ชั่วโมง 38

3.2 ลักษณะรูปร่างของผงโลหะก่อนและหลังบด 39-41

3.3 การกระจายอนุภาคของผงโลหะ Ni-Ti ก่อนอบผนึก 42

3.4 ผลวิเคราะห์ XRD ของเวลาบด 0, 3, 6 และ 10 ชั่วโมง อุณหภูมิอบผนึก 800°C เวลาอบผนึก 1 ชั่วโมง 42

3.5 ผลวิเคราะห์ XRD ของเวลาบด 0, 3, 6 และ 10 ชั่วโมง อุณหภูมิอบผนึก 800°C เวลาอบผนึก 2 ชั่วโมง 43

3.6 ผลวิเคราะห์ XRD ของเวลาบด 0, 3, 6 และ 10 ชั่วโมง อุณหภูมิอบผนึก 900°C เวลาอบผนึก 1 ชั่วโมง 44

3.7 ผลวิเคราะห์ XRD ของเวลาบด 0, 3, 6 และ 10 ชั่วโมง อุณหภูมิอบผนึก 900°C เวลาอบผนึก 2 ชั่วโมง 44

3.8 ผลวิเคราะห์ด้วย XRDของเวลาบด 3ชั่วโมง อุณหภูมิอบผนึก 1200°C เป็นเวลาต่างๆ 46

3.9 ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของเวลาบด 6 ชั่วโมง อุณหภูมิอบผนึก 1200°C เป็นเวลาต่างๆ 46

3.10 ผลวิเคราะห์ XRD ของตัวอย่างที่บด 10 ชั่วโมงอบผนึกที่อุณหภูมิ 120ด C เป็นเวลาต่าง ๆ 47

3.11 ผลวิเคราะห์ XRD ของตัวอย่างที่บด 3, 6 และ 10 ชั่วโมงอบผนึกที่อุณหภูมิ 120ด C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง 47

3.12 ผลวิเคราะห์ DSC ของตัวอย่างที่บด 6 ชั่วโมง อบผนึกที่อุณหภูมิ 90ด C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 49

3.13 ผลวิเคราะห์ DSC ของตัวอย่างที่บด 6 ชั่วโมงอบผนึกที่อุณหภูมิ 100ด C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 50

3.14 ผลวิเคราะห์ DSC ของตัวอย่างที่บด 6 ชั่วโมง อบผนึกที่อุณหภูมิ 120ด C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง 51

3.15 ผลวิเคราะห์ DSC ของตัวอย่างที่เวลาบด 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ อบผนึก120ด C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และหลังการกระทำทางความร้อน 52

3.16 Stress-strain curve เวลาบด 6 ชั่วโมง อุณหภูมิอบผนึก 1200°C`ณ เวลา
อบผนึก 2.5 ชั่วโมง (1), 2 ชั่วโมง (2), 1.5 ชั่วโมง (3) และ 1ชั่วโมง (4) 53
3.17 ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของเวลาบด 6ชั่วโมง อุณหภูมิอบผนึก 1200°C เป็นเวลา
1.5 ชั่วโมง (After sintering) 54
3.18 Stress-strain curve เวลาบด 6 ชั่วโมง อุณหภูมิอบผนึก 1200°C`เป็นเวลา
1.5 ชั่วโมง (1) หลังการอบผนึก (2) หลังการกระทำทางความร้อน 54
3.19 ผลของ TWSME (Two way shape memory effect) ต่อจำนวนการฝึกสอน
(Number of cycles) 56
3.20 อัตราส่วนของ TWSME (Two way shape memory effect) หลังจากผ่านการฝึกสอน
(Number of cycles) 56