สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iii
สารบัญ	iv
รายการตาราง	v
รายการตารางภาคผนวก	vi
รายการรูป	vii
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาหัวข้อวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2. วิธีการวิจัย	31
2.1 วิธีดำเนินการวิจัย	31
2.2 ขั้นตอนการวิจัย	32
3. ผลการทดลองและการอภิปราย	41
3.1 การบดผสมผงโลหะ	41
3.2 อิทธิพลของความดันในการขึ้นรูปชิ้นงานกับอุณหภูมิในการอุ่น	41
3.3 อิทธิพลของความดันก๊าซอาร์กอน	56
3.4 กระบวนการทางความร้อน (Heat treatment)	59
3.5 สมบัติการเปลี่ยนเฟสของวัสดุจำรูปนิกเกิลไทเทเนียมที่สังเคราะห์ได้	61
4. สรุปและข้อแสนอแนะ	64
4.1 สรุป	64
4.2 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก	71

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ภาวะแตกต่างกัน	43
3.2	ปริมาณสารประกอบต่าง ๆที่เกิดขึ้นที่ภาวะแตกต่างกัน	47
3.3	ผลการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ภาวะแตกต่างกัน	49
3.4	ผลการวัดค่าความแข็งที่ภาวะแตกต่างกัน	51
3.5	ค่าความแข็งแรงกดและเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดสูงสุดที่ภาวะแตกต่างกัน	52
3.6	ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน เปอร์เซ็นต์ความพรุนเปิดที่ภาวะแตกต่างกัน	54
3.7	ค่าขนาดรูพรุนที่ภาวะแตกต่างกัน	55
3.8	ค่าเอนทาลปีเมื่อเพิ่มความดันก๊าซอาร์กอน	56
3.9	ปริมาณสารประกอบต่าง ๆที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 16MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa และอุณหภูมิในการอุ่น 250°C หลังผ่านกระบวนการทางความร้อน	61
3.10	การเปรียบเทียบอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสหลังจาก SHS และหลังจากกระบวนการทางความร้อน	62
4.1	การเปรียบเทียบอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสหลังจาก SHS และหลังจากกระบวนการทางความร้อน	65

รายการตารางภาคผนวก

ตารางที่		หน้า
ก-1	ค่าพลังงานกิ๊บส์ (Gibbs Energies) ของสารประกอบระหว่างโลหะ Ni-Ti และ Ti-O	72

รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ความเค้น-ความเครียดของปรากฏการณ์จำรูปในโลหะจำรูป	4
1.2	ความเค้น-ความเครียดของความยืดหยุ่นยิ่งยวดในโลหะจำรูป	4
1.3	การเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์ไปเป็นมาร์เทนไซต์โดยการเหนี่ยวนำทางความร้อน	6
1.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึก	7
1.5	เฟสไดอะเกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกในโลหะจำรูป	9
1.6	ความสัมพันธ์ของแรงที่ให้ยังลวดกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลวด	9
1.7	การเปลี่ยนเฟสของโลหะจำรูปที่ขึ้นกับอุณหภูมิ	11
1.8	ลักษณะการเกิดปฏิกิริยา SHS	14
1.9	การคำนวณหาอุณหภูมิอะเดียบาติก	15
1.10	ไดอะแกรม เอนทาลปี-อุณหภูมิของระบบ Ni-Ti	18
1.11	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการอุ่นและอุณหภูมิการเผาไหม้	19
1.12	ระบบการเกิดคลื่นความร้อนที่มีความต่อเนื่อง	20
1.13	ระบบการเกิดคลื่นความร้อนที่ไม่มีความต่อเนื่อง	22
1.14	การเกิดคลื่นความร้อนลักษณะต่างๆ	24
1.15	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมื่อเกิดปฏิกิริยา SHS	27
2.1	ขั้นตอนการวิจัย	28
2.2	แสดงรูปร่างลักษณะของผงนิกเกิล	30
2.3	แสดงรูปร่างลักษณะผงไทเทเนียม	30
2.4	แสดงการเกิดการเชื่อมเย็นของผงนิกเกิลและไทเทเนียมที่เวลาการบด 12 ชั่วโมง	30
2.5	ลักษณะแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน	31
2.6	การพันขดลวดทังสเตน	33
2.7	การติดตั้งชิ้นงานและเทอร์โมคัปเปิลในเครื่อง SHS	33
2.8	โครงฐานรองชิ้นงานของเครื่อง SHS	34
2.9	ระบบของเครื่อง SHS	34
2.10	แสดงอุปกรณ์ USB Data Acquisition ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์	35
2.11	แสดงอุปกรณ์ USB Data Acquisition	35
2.12	แสดงการเตรียมชิ้นงานสำหรับการวัดความแข็ง	37

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.13	แสดงชิ้นงานผ่าตามแนวดิ่ง	37
2.14	ลักษณะรูพรุนที่อยู่ในเนื้อชิ้นงาน	39
3.1	ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของผงโลหะผสมระหว่างนิกเกิลกับไทเทเนียมเมื่อผ่านการบดผสมเป็นเวลา 12 ชั่วโมง	41
3.2	การเปรียบเทียบภาพชิ้นงานตัดตามแนวดิ่งที่อุณหภูมิการอุ่น 250°C ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa และ 201 kPa แรงดันในการอัด	42
3.3	ภาพตัดตามแนวดิ่งของชิ้นงานที่ภาวะแตกต่างกัน	44
3.4	ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของตัวอย่างที่ความดันแตกต่างกัน อุณหภูมิการอุ่น 200°C ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa	45
3.5	ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของตัวอย่างที่ความดันแตกต่างกัน อุณหภูมิการอุ่น 250°C ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa	46
3.6	ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของตัวอย่างที่ความดันแตกต่างกัน อุณหภูมิการอุ่น 300°C ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa	46
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นกับอุณหภูมิการเผาไหม้ของปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลกับไทเทเนียมที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 8, 16 และ 64MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa	48
3.8	เฟสไดอะแกรมของระบบ Ni-Ti	49
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นกับความแข็งที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 8, 16 และ 64MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa	50
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่อความแข็งแรงกดและเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดสูงสุด ที่ความดัน 8MPa ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa	52
3.11	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุนและเปอร์เซ็นต์ความพรุนเปิด ที่ 8MPa ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa	53
3.12	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่อขนาดรูพรุนที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงานแตกต่างกัน	55
3.13	การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 8MPa ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa และ 201 kPa	57
3.14	การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่อค่าความแข็ง ที่ความดันความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 8MPa ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa และ 201 kPa	58

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.15	การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่อความแข็งแรงกดที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 8MPa และความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa และ 201 kPa	59
3.16	ผลวิเคราะห์ XRD ที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 16MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa และอุณหภูมิในการอุ่น 250°C หลังผ่านกระบวนการทางความร้อน	60
3.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับพลังงานกิ๊บ (Gibbs energies) ของการเกิดสารประกอบระหว่างนิกเกิลกับไทเทเนียม	61
3.18	ผลวิเคราะห์ด้วย DSC ของชิ้นงานหลัง SHS ที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 16MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa อุณหภูมิในการอุ่น 250°C	63
3.19	ผลวิเคราะห์ด้วย DSC ของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 16MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa อุณหภูมิในการอุ่น 250°C	63