สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการตารางภาคผนวก	(9)
รายการรูป	(10)
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	44
3.1 การบดผสมผงโลหะ	44
3.2 อิทธิพลของความดันในการขึ้นรูปชิ้นงานกับอุณหภูมิในการอุ่น	44
3.3 อิทธิพลของความดันก๊าซอาร์กอน	60
3.4 กระบวนการทางความร้อน (Heat treatment)	64
3.5 สมบัติการเปลี่ยนเฟสของวัสดุจำรูปนิกเกิลไทเทเนียมที่สังเคราะห์ได้	66
4. สรุปและข้อแสนอแนะ	69
4.1 สรุป	69
4.2 ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม	72
ภาคผนวก ก	76
ประวัติผู้เขียน	78

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ภาวะแตกต่างกัน	46
3.2	ปริมาณสารประกอบต่างๆที่เกิดขึ้นที่ภาวะแตกต่างกัน	50
3.3	ผลการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ภาวะแตกต่างกัน	53
3.4	ผลการวัดค่าความแข็งที่ภาวะแตกต่างกัน	54
3.5	ค่าความแข็งแรงกดและเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดสูงสุดที่ภาวะแตกต่างกัน	55
3.6	ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน เปอร์เซ็นต์ความพรุนเปิดที่ภาวะแตกต่างกัน	58
3.7	ค่าขนาดรูพรุนที่ภาวะแตกต่างกัน	59
3.8	ค่าเอนทาลปีเมื่อเพิ่มความดันก๊าซอาร์กอน	60
3.9	ปริมาณสารประกอบต่างๆที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 16MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa และอุณหภูมิในการอุ่น 250°C หลังผ่านกระบวนการทางความร้อน	66
3.10	การเปรียบเทียบอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสหลังจาก SHS และหลังจากกระบวนการทางความร้อน	67
4.1	การเปรียบเทียบอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสหลังจาก SHS และหลังจากกระบวนการทางความร้อน	70

รายการตารางภาคผนวก

ตารางที่		หน้า
ก-1	ค่าพลังงานกิ๊บส์ (Gibbs Energies) ของสารประกอบระหว่างโลหะ Ni-Ti และ Ti-O	77

รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ความเค้น-ความเครียดของปรากฏการณ์จำรูปในโลหะจำรูป	4
1.2	ความเค้น-ความเครียดของความยืดหยุ่นยิ่งยวดในโลหะจำรูป	4
1.3	การเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์ไปเป็นมาร์เทนไซต์โดยการเหนี่ยวนำทางความร้อน	6
1.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึก	8
1.5	เฟสไดอะเกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกในโลหะจำรูป	10
1.6	ความสัมพันธ์ของแรงที่ให้ยังลวดกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลวด	10
1.7	การเปลี่ยนเฟสของโลหะจำรูปที่ขึ้นกับอุณหภูมิ	12
1.8	ลักษณะการเกิดปฏิกิริยา SHS	15
1.9	การคำนวณหาอุณหภูมิอะเดียบาติก	17
1.10	ไดอะแกรม เอนทาลปี-อุณหภูมิของระบบ Ni-Ti	20
1.11	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการอุ่นและอุณหภูมิการเผาไหม้	21
1.12	ระบบการเกิดคลื่นความร้อนที่มีความต่อเนื่อง	22
1.13	ระบบการเกิดคลื่นความร้อนที่ไม่มีความต่อเนื่อง	25
1.14	การเกิดคลื่นความร้อนลักษณะต่างๆ	27
1.15	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมื่อเกิดปฏิกิริยา SHS	30
2.1	ขั้นตอนการวิจัย	31
2.2	แสดงรูปร่างลักษณะของผงนิกเกิล	33
2.3	แสดงรูปร่างลักษณะผงไทเทเนียม	33
2.4	แสดงการเกิดการเชื่อมเย็นของผงนิกเกิลและไทเทเนียมที่เวลาการบด 12 ชั่วโมง	33
2.5 a	แม่พิมพ์แต่ละส่วน	34
2.5 b	สัดส่วนของแม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch)	34
2.5 c	สัดส่วนของแม่พิมพ์ตัวเมีย (Die) และฐานรอง	35

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.6	การพันขดลวดทังสเตน	36
2.7	การติดตั้งชิ้นงานและเทอร์โมคัปเปิลในเครื่อง SHS	36
2.8	โครงฐานรองชิ้นงานของเครื่อง SHS	37
2.9	ระบบของเครื่อง SHS	37
2.10	แสดงอุปกรณ์ USB Data Acquisition ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์	38
2.11	แสดงอุปกรณ์ USB Data Acquisition	38
2.12	แสดงการเตรียมชิ้นงานสำหรับการวัดความแข็ง	40
2.13	แสดงชิ้นงานผ่าตามแนวดิ่ง	40
2.14	ลักษณะรูพรุนที่อยู่ในเนื้อชิ้นงาน	42
3.1	ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของผงโลหะผสมระหว่างนิกเกิลกับไทเทเนียมเมื่อผ่านการบดผสมเป็นเวลา 12 ชั่วโมง	44
3.2	การเปรียบเทียบภาพชิ้นงานตัดตามแนวดิ่งที่อุณหภูมิการอุ่น 250°C ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa และ 201 kPa แรงดันในการอัด	45
3.3	ภาพตัดตามแนวดิ่งของชิ้นงานที่ภาวะแตกต่างกัน	47
3.4	ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของตัวอย่างที่ความดันแตกต่างกัน อุณหภูมิการอุ่น 200°C ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa	49
3.5	ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของตัวอย่างที่ความดันแตกต่างกัน อุณหภูมิการอุ่น 250°C ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa	49
3.6	ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของตัวอย่างที่ความดันแตกต่างกัน อุณหภูมิการอุ่น 300°C ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa	50
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นกับอุณหภูมิการเผาไหม้ของปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลกับไทเทเนียมที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 8, 16 และ 64MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa	51
3.8	เฟสไดอะแกรมของระบบ Ni-Ti	52

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นกับความแข็งที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 8, 16 และ 64MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa	54
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่อความแข็งแรงกดและเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดสูงสุด ที่ความดัน 8MPa ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa	56
3.11	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุนและเปอร์เซ็นต์ความพรุนเปิด ที่ 8MPa ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa	57
3.12	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่อขนาดรูพรุนที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงานแตกต่างกัน	59
3.13	การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 8MPa ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa และ 201 kPa	61
3.14	การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่อค่าความแข็ง ที่ความดันความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 8MPa ความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa และ 201 kPa	62
3.15	การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการอุ่นที่มีผลต่อความแข็งแรงกดที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 8MPa และความดันก๊าซอาร์กอนที่ 138 kPa และ 201 kPa	63
3.16	ผลวิเคราะห์ XRD ที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 16MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa และอุณหภูมิในการอุ่น 250°C หลังผ่านกระบวนการทางความร้อน	65
3.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับพลังงานกิ๊บ (Gibbs energies) ของการเกิดสารประกอบระหว่างนิกเกิลกับไทเทเนียม	65
3.18	ผลวิเคราะห์ด้วย DSC ของชิ้นงานหลัง SHS ที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 16MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa อุณหภูมิในการอุ่น 250°C	67
3.19	ผลวิเคราะห์ด้วย DSC ของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ความดันในการขึ้นรูปชิ้นงาน 16MPa ความดันก๊าซอาร์กอน 138 kPa อุณหภูมิในการอุ่น 250°C	68