สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
รายการตาราง ซ
รายการรูปประกอบ ญ
ประมวลศัพท์และคำย่อ ฒ

บทที่

1. บทนำ **1**
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **4**
2.1 สมบัติโดยทั่วไปของไทเทเนียม 4
2.1.1 โครงสร้างผลึก 5
2.1.2 การแปรรูปถาวร 6
2.2 ประเภทของไทเทเนียมผสม 7
2.2.1 ธาตุผสมประเภททำให้เฟสแอลฟามีเสถียรภาพ 7
2.2.2 ธาตุผสมประเภททำให้เฟสบีตามีเสถียรภาพ 8
2.2.3 ธาตุผสมที่ไม่มีบทบาทในการขยายอาณาเขตเฟสแอลฟาและเฟสบีตา 11
2.3 สมบัติทางกลของโลหะไทเทเนียมผสม 13
2.4 โครงสร้างจุลภาคของไทเทเนียมผสม 15
2.5 การเปลี่ยนแปลงเฟส 17

หน้า

2.6 กลไกการเพิ่มความแข็งไทเทเนียม 20
2.6.1 การเพิ่มความแข็งของไทเทเนียมกลุ่มแอลฟาและกลุ่มแอลฟา+บีตา 20
2.6.2 การเพิ่มความแข็งของไทเทเนียมกลุ่มบีตา 21
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26
2.8 การทดสอบสมบัติทางกล 35
2.8.1 การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ 35
2.8.2 การทดสอบความแข็งของวัสดุ 39

3. การดำเนินงานวิจัย 41
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 41
3.2 การเตรียมอินกอตและการหลอม 42
3.3 การหลอมอินกอต 43
3.4 การวิเคราะห์ส่วนผสมด้วยเทคนิค Energy Dispersive Spectrometer 44
3.5 การรีดลดขนาด 45
3.6 การทำกรรมวิธีทางความร้อน 45
3.7 การเตรียมชิ้นงานเพื่อการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและทดสอบความแข็ง 47
3.8 การเตรียมชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างผลึก 50
3.9 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึง 50

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 52
4.1 ลักษณะอินกอตและผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี 52
4.2 โครงสร้างของอินกอตและความแข็งจุลภาค 54
4.2.1 โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง 54
4.2.2 โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน 56
4.2.3 โครงสร้างผลึกของอินกอต 61
4.2.4 ความแข็งจุลภาคของอินกอต 62
4.3 สมบัติทางกลของโลหะผสมหลังผ่านการรีดเย็น 65
4.4 การทำกรรมวิธีทางความร้อนโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb 67

หน้า

4.4.1 โครงสร้างจุลภาค โลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 67
4.4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกหลังอบบ่มโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb 75
4.4.3 สมบัติทางกลของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 76
4.5 การทำกรรมวิธีทางความร้อนโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb 78
4.5.1 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 78
4.5.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกหลังอบบ่มโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb 87
4.5.3 สมบัติทางกลของโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 89
4.6 การอภิปรายผลการทดลอง 90

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 96
5.1 สรุปผลการทดลอง 96
5.2 ข้อเสนอแนะ 97

เอกสารอ้างอิง 98

ภาคผนวก 102
ก. ผลการน้ำหนักวัตถุดิบก่อนและหลังหลอมอินกอต 102
ข. ผลการทดสอบความแข็ง 104
ค. กราฟจากการทดสอบแรงดึง 107

ประวัติผู้วิจัย 115

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางกลของโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์	4
2.2 ค่าพารามิเตอร์เฉพาะของโครงสร้างผลึก	6
2.3 สมบัติทางกลของโลหะไทเทเนียมผสมในกลุ่มต่างกัน	12
2.4 ปริมาณธาตุผสมของระบบสองธาตุของไทเทเนียมกับธาตุทรานสิชันที่มีผล ต่อการเปลี่ยนแปลงเฟส α'/α'' มาร์เทนไซต์	18
2.5 แสดงปริมาณของธาตุผสมที่ทำให้อุณหภูมิ M_s ลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง	19
2.6 เปรียบเทียบสมบัติทางกลของไทเทเนียมผสมที่นำมาใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์	27
2.7 เฟสและโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมบริสุทธิ์และไทเทเนียมผสมโมลิบดินัม	27
2.8 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของโลหะผสม Ti-Mo-xNb	28
2.9 สมบัติทางกลของไทเทเนียมผสมที่ใช้ในร่างกายมนุษย์	29
2.10 ค่ายังส์มอดูลัสของโลหะผสมไทเทเนียม	30
2.11 สมบัติทางกลของโลหะผสม Ti-8Nb-13Zr และโลหะผสม และโลหะผสม Ti-18Nb-13Zr หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน	32
2.12 สมบัติทางกลของโลหะผสม Ti-35.3Nb-7.1Zr-5.1Ta และ Ti-41.1Nb-7.1Zr	33
2.13 ชนิดของเฟสที่เกิดขึ้นในโลหะผสมไทเทเนียมหลังการอบละลายเฟส ที่อุณหภูมิละลายเฟส β (760 องศาเซลเซียส)	34
2.14 ชนิดของเฟสที่เกิดขึ้นในโลหะผสมไทเทเนียมหลังการอบละลายเฟส ที่อุณหภูมิอบละลายเฟส $\alpha+\beta$ (680 องศาเซลเซียส)	35
3.1 น้ำหนักของวัตถุดิบในแต่ละส่วนผสม	42
4.1 ผลวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค XRF ของอินกอตโลหะผสมไทเทเนียม	53
4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS ของอินกอต Ti-12.5Mo	56
4.3 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS ของอินกอต Ti-12.5Mo-5Nb	57
4.4 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS ของอินกอต Ti-12.5Mo-10Nb	58
4.5 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS ของอินกอต Ti-12.5Mo-15Nb	59
4.6 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS ของอินกอต Ti-12.5Mo-20Nb	60
4.7 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของโลหะผสม Ti-12.5Mo-nNb หลังผ่านการรีดเย็น	66
4.8 ผลวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS ของอินกอตโลหะผสมไทเทเนียมผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังอบบ่มเป็นเวลา 8 ชั่วโมง	74

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.9 สมบัติทางกลของ Ti-12.5Mo-5Nb หลังการอบบ่มในช่วงเวลา 2-8 ชั่วโมง	77
4.10 ผลวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS ของอินกอตโลหะผสมไทเทเนียมผสม Ti-12.5Mo-20Nb	86
4.11 สมบัติทางกลของ Ti-12.5Mo-20Nb หลังการอบบ่มในช่วงเวลา 2-8 ชั่วโมง	89
ก.1 น้ำหนักวัตถุดิบก่อนและหลังหลอมอินกอต	102
ข.1 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานหล่อโลหะผสม Ti-12.5Mo-nNb (เมื่อ n= 0, 5, 10, 15 และ 20)	104
ข.2 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการรีดเย็นโลหะผสม Ti-12.5Mo-nNb (เมื่อ n= 0, 5, 10, 15 และ20)	104
ข.3 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb	105
ข.4 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการอบบ่มโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb	105

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 โครงสร้างผลึก HCP และ BCC	5
2.2 อิทธิพลของธาตุที่เติมมีผลต่อเฟสสมดุลของไทเทเนียมผสม	7
2.3 แผนภาพสมดุลไทเทเนียม-ออกซิเจน	8
2.4 แผนภาพสมดุลไทเทเนียม-ไนโตรเจน	8
2.5 แผนภาพสมดุลของ ไทเทเนียม-ไฮโดรเจน	9
2.6 แผนภาพสมดุลของ ไทเทเนียม-แทนทาลัม	9
2.7 แผนภาพสมดุลของ ไทเทเนียม-โมลิบดินัม	10
2.8 แผนภาพสมดุลของ ไทเทเนียม-ไนโอเบียม	10
2.9 แผนภาพสมดุลของ ไทเทเนียม-เซอร์โคเนียม	11
2.10 วิธีการปรับปรุงสมบัติทางกลของไทเทเนียมผสม	14
2.11 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกมีผลต่อค่ามอดูลัสเมื่ออุณภูมิเปลี่ยนแปลง	14
2.12 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกที่มีต่อค่ามอดูลัส ของ Ti-6Al-4V	15
2.13 ลักษณะของโครงสร้างจุลภาคที่มีผลต่อสมบัติทางกล	16
2.14 การปรับปรุงสมบัติทางกลโดยอาศัยความร้อนของไทเทเนียมผสม	16
2.15 Acicular Martensite ของโลหะผสมไทเทเนียม Ti-6Al-4V หลังเย็นตัวอย่างรวดเร็ว	18
2.16 การเปลี่ยนแปลงเฟสบีตาไปเป็นเฟสโอเมกา ($\beta \rightarrow \omega$) ระนาบ (222) ในโครงสร้างผลึก BCC แบบจุด	19
2.17 เฟสกึ่งเสถียร ($\omega + \beta$) และ ($\beta' + \beta$) ในธาตุผสมเพิ่มเสถียรบีตาไอโซมอร์ฟัส	21
2.18 โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วย TEM แบบ Dark Field ของอนุภาคโอเมการูปร่างทรงรีของโลหะผสม Ti-16Mo หลังผ่านการอบบ่มที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	22
2.19 โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วย TEM แบบ Dark Field ของอนุภาคโอเมการูปร่างทรงเหลี่ยมของโลหะผสม Ti-8Fe หลังผ่านการอบบ่มที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	23
2.20 โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วย TEM ของอนุภาค β'_{can} ของโลหะผสม Ti-15Fe-20V หลังผ่านการอบบ่มที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	23
2.21 โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วย TEM ของ α Platelets ที่เกิดจากอนุภาคของ β' ในโลหะผสม Ti-15.6Mo-6.6Al หลังผ่านการอบบ่มที่ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 100 ชั่วโมง	24
2.22 ลักษณะการกระจัดตัวของ α Platelets ในโลหะผสมไทเทเนียมกลุ่มบีตาเกรดการค้า β-CEZ หลังผ่านการอบบ่มที่ 580 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	24

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
2.23	α Platelets ที่ยาวต่อเนื่องตามขอบเกรนบีตาโลหะไทเทเนียมผสมกลุ่มบีตา Ti-10-2-3	25
2.24	ผลจากการอบบ่มก่อนที่มีผลต่อการกระจายตัวแผ่นแอลฟาในโลหะผสมไทเทเนียม Beta C (ก) อบบ่ม 540 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง (ข) อบบ่ม 440 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมงและอบบ่ม 560 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง	26
2.25	ความหนาแน่นและความแข็งของไทเทเนียมผสม Ti-10Mo-xNb (x = 3, 7, 10)	28
2.26	ค่ามอดูลัสของโลหะไทเทเนียมผสม	31
2.27	โครงสร้างจุลภาคของ α'' Martensite ในโลหะผสม Ti-9.81V-1.78Fe-3.2Al หลังอบละลายเฟสที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสเย็นตัวในน้ำเย็น	33
2.28	ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบหาค่าร้อยละการยืดตัว	37
2.29	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ (ก) วัสดุเหนียว และ (ข) วัสดุเปราะ	37
2.30	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กกล้าละมุน	38
2.31	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กหล่อเทา	39
2.32	ลักษณะหัวกดและรอยกดจากหัวเพชรของ Vickers Hardness Test	40
3.1	แผนการดำเนินการทดลอง	41
3.2	ลักษณะวัตถุดิบที่ใช้	42
3.3	ลักษณะเบ้าหลอม	43
3.4	ไดอะแกรมของเตาหลอม	43
3.5	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดและชุดวิเคราะห์ธาตุ	44
3.6	เครื่องรีดลดขนาดชนิด 2 ลูกรีด	45
3.7	เตาอบอุณหภูมิสูง	46
3.8	แผนผังการทำกรรมวิธีทางความร้อน	46
3.9	Mounting Press Machine	47
3.10	กล้องจุลทรรศน์แบบแสง	48
3.11	กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกวาด	48
3.12	เครื่องทดสอบความแข็งแบบจุลภาค	49
3.13	แท่นวางชิ้นงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์	50

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.14	ชิ้นงานทดสอบแรงดึง	51
3.15	เครื่องทดสอบแรงดึง	51
4.1	ลักษณะอินกอตโลหะผสมที่ได้จากการหล่อ	52
4.2	ลักษณะของอินกอตที่ถูกตัด	53
4.3	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของอินกอต	55
4.4	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของอินกอต Ti-12.5Mo	56
4.5	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของอินกอต Ti-12.5Mo-5Nb	57
4.6	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของอินกอต Ti-12.5Mo-10Nb	58
4.7	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของอินกอต Ti-12.5Mo-15Nb	59
4.8	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของอินกอต Ti-12.5Mo-20Nb	60
4.9	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์บนอินกอต Ti-12.5Mo-nNb	61
4.10	ความแข็งของอินกอต Ti-12.5Mo-nNb ที่เติมไนโอเบียมปริมาณต่างกัน	62
4.11	ลักษณะการแตกของอินกอต Ti-12.5Mo ระหว่างรีดเย็น	63
4.12	ลักษณะชิ้นงานหลังผ่านการรีดเย็นของอินกอต Ti-12.5Mo-5Nb	63
4.13	โครงสร้างจุลภาคของงานรีดเย็นโลหะผสมของ Ti-12.5Mo-5Nb (ก) ด้านบน (ข) ด้านตัดขวาง และ Ti-12.5Mo-20Nb (ค) ด้านบน (ง) ด้านตัดขวาง	64
4.14	ความแข็งชิ้นงานรีดเย็นและอินกอต Ti-12.5Mo-nNb (เมื่อ n= 0, 5, 10, 15 และ 20)	65
4.15	ลักษณะชิ้นงานรีดเย็นของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังผ่านการทดสอบแรงดึง	65
4.16	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังการอบละลายเฟส ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมงแล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	68
4.17	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังการอบบ่ม ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	69

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.18	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังการอบบ่ม ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงแล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	70
4.19	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังการอบบ่ม ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	71
4.20	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังการอบบ่ม ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมงแล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	72
4.21	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดกำลังขยาย 3,000 เท่าของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังการอบบ่มที่อุณหภูมิ 600 องศา-เซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง	73
4.22	สเปกตรัมของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังผ่านการอบบ่มที่อุณหภูมิ 600 องศา-เซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง	74
4.23	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังผ่านการอบละลายเฟสที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1ชั่วโมงและอบบ่มที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 2-8 ชั่วโมง	76
4.24	สมบัติทางกลของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb หลังการอบบ่มที่เวลา 2-8 ชั่วโมง	78
4.25	โครงสร้างจุลภาค ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังการอบละลายเฟส ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมงแล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	80
4.26	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังอบบ่ม ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	81
4.27	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังอบบ่ม ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงแล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	82
4.28	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังอบบ่ม ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	83
4.29	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังการอบบ่ม ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	84

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.30	โครงสร้างจุลภาคถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดกำลังขยาย 1,000 เท่าของ โลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังการอบบ่ม ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมงแล้วจุ่มด้วยน้ำเย็น	85
4.31	สเปกตรัมของโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังผ่านการอบบ่มที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง	86
4.32	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังผ่านการอบละลาย เฟสอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและอบบ่มที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลา 2-8 ชั่วโมง	88
4.33	สมบัติทางกลของโลหะผสม Ti-12.5Mo-20Nb หลังการอบบ่มที่เวลา 2-8 ชั่วโมง	90
4.34	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ Ti-10Mo-nNb (n = 3, 7 และ 10)	91
4.35	การเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb, Ti-12.5Mo-20Nb, CP-Ti และ Ti-6Al-4V	92
4.36	แผนภาพเฟสสมดุลของไทเทเนียม –โมลิบดินัม	93
4.37	การเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงดึงของโลหะผสม Ti-12.5Mo-5Nb, Ti-12.5Mo-20Nb, CP-Ti และ Ti-6Al-4V	94
4.38	อัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงกับค่ามอดูลัสของโลหะผสมหลังการอบบ่มที่อุณหภูมิต่างกันเปรียบเทียบกับ CP-Ti และ Ti-6Al-4V	95

ประมวลศัพท์และคำย่อ

BCC	=	Body Center Cubic
E	=	Young's Modulus
EDS	=	Energy Dispersive Spectrometry
GPa	=	Giga Pascal
HCP	=	Hexagonal Closed Pack
HV	=	Vickers Hardness
MPa	=	Mega Pascal
OM	=	Optical Microscope
SEM	=	Scanning Electron Microscope
ST	=	Solution Treated
STA	=	Solution Treated and Aged
XRD	=	X-ray Diffraction
XRF	=	X-ray Fluorescence Spectrometry
^{o}C	=	Degree of Celsius
%wt	=	Percent by Weight
α	=	Alpha Phase
β	=	Beta Phase
α'	=	Hexagonal Martensite
ω	=	Omega Phase
α''	=	Orthorombic Martensite
ε	=	Strain
σ	=	Stress