

สารบัญ

หน้า

1. บทนำ	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
3. การทบทวนวรรณกรรม	4
4. การออกแบบการวิจัย	5
5. ขอบเขตงานวิจัย	6
6. ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)	6
6.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	6
6.1.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	6
6.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	7
6.2 ขั้นตอนของกรรมวิธีทางความร้อน	7
6.3 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค	12
6.3.1 ขั้นตอนการเตรียมผิวและกัดกรดสำหรับขึ้นทดสอบ	12
6.3.2 การประเมินผลของโครงสร้างจุลภาค	12
6.4 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)	14
6.4.1 การเตรียมชิ้นงานเพื่อดึงทดสอบ	14
6.4.2 ขั้นตอนการดึงทดสอบ	14
6.5 การทดสอบความแข็ง (Hardness Measurement)	14
6.6 การทดสอบอัตราการกัดกร่อนด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมีแบบ Potentiodynamic	15
7. ผลการวิจัย	17
7.1 โครงสร้างของชิ้นงานเริ่มต้น	17
7.2 โครงสร้างจุลภาคที่ได้จากกระบวนการกรรมวิธีทางความร้อน	17
7.2.1 โครงสร้าง Lamellar	17
7.2.2 โครงสร้าง Basket Weave	20
7.2.3 โครงสร้าง Martensite	23
7.2.4 โครงสร้าง Globular	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

7.3	อิทธิพลของลักษณะโครงสร้างจุลภาคต่อสมบัติทางกล	26
7.3.1	สมบัติทางกลของชิ้นงานที่มีโครงสร้าง Lamellar	26
7.3.2	สมบัติทางกลของโครงสร้าง Basket Weave	27
7.3.3	สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบโครงสร้าง Martensite	29
7.3.4	สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบโครงสร้าง Globular	30
7.4	ผลกระทบของลักษณะโครงสร้างจุลภาคต่อสมบัติทางการกัดกร่อน	32
7.4.1	สมบัติทางการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบโครงสร้าง Lamellar	32
7.4.2	สมบัติทางการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบโครงสร้าง Basket Weave	33
7.4.3	สมบัติทางการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบโครงสร้าง Martensite	33
7.4.4	สมบัติทางการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบโครงสร้าง Globular	34
7.5	ลักษณะการแตกหักของชิ้นงานที่ผ่านการดึงทดสอบ	35
7.6	เปรียบเทียบสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบแต่ละโครงสร้างจุลภาค	37
7.7	เปรียบเทียบสมบัติทางการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบแต่ละโครงสร้างจุลภาค	38
8.	สรุปผล	39
9.	ข้อเสนอแนะ	41
10.	บรรณานุกรม	42
11.	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก	43
	ภาคผนวก ข	98
	ภาคผนวก ค	107
	ภาคผนวก ง	132
	ประวัติผู้วิจัย	134

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	โครงสร้างจุลภาคของโลหะไททาเนียม [1]	1
2	เฟสไดอะแกรมของโลหะไททาเนียม TiAl6V4 [2]	2
3	ปริมาณการใช้งานของไททาเนียมอัลลอยด์ประเภทต่าง ๆ	3
6.1	แสดงขนาดชิ้นงานที่จะนำเข้ากระบวนการทางความร้อนเพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง	6
6.2	ภาพแสดงเงื่อนไข 25 รูปแบบของกรรมวิธีทางความร้อนของชิ้นทดสอบ	11
6.3	ตัวอย่างการใช้โปรแกรม Meesoft ทำการหาสัดส่วนของเฟส	12
6.4	รูปตัวอย่างการทำ Grain Size Measurement [1]	13
6.5	ลักษณะของชิ้นงานที่ต้องเตรียมตามมาตรฐาน ASTM E8 [1]	14
6.6	แสดงจุดวัดความแข็งบนหน้าตัดชิ้นงาน	14
6.7	แผนภาพการติดตั้งเซลล์ไฟฟ้า	15
6.8	แสดงการเดินสายสัญญาณเข้ากับขั้วต่าง ๆ	15
6.9	วิธีการหาค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อน (E_{corr}) และ ความหนาแน่นกระแสการกัดกร่อน (I_{corr}) โดยวิธีทาเฟล จากกราฟโพลาริเซชัน	16
7.1	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเริ่มต้น (As-Received) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	17
7.2	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่เกิดโครงสร้างแบบ Lamellar กำลังขยาย 200 เท่า	18
7.3	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นทดสอบที่เกิดโครงสร้างแบบ Lamellar กำลังขยาย 1000 เท่า	18
7.4	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบ Lamellar ที่ผ่านกรรมวิธี Aging ที่ 450°C (ซ้าย) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (ขวา) ระยะเวลา 8 ชั่วโมง	19
7.5	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบ Lamellar ที่ผ่านกรรมวิธี Aging ที่ 650°C (ซ้าย) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (ขวา) ระยะเวลา 8 ชั่วโมง	19
7.6	ลักษณะโครงสร้างแบบ Lamellar ที่ผ่านกรรมวิธี Aging ที่ 800°C (ซ้าย) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (ขวา) ระยะเวลา 8 ชั่วโมง	20
7.7	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบ Basket Weave ที่กำลังขยาย 500 เท่า	20
7.8	ลักษณะโครงสร้างแบบ Basket Weave ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	21
7.9	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบ Basket Weave ที่ผ่านกรรมวิธี Aging ที่ 650°C (ซ้าย) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (ขวา) ระยะเวลา 8 ชั่วโมง	21

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
7.10	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบ Basket Weave ที่ผ่านกรรมวิธี Aging ที่ 650°C (ซ้าย) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (ขวา) ระยะเวลา 8 ชั่วโมง	22
7.11	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคแบบ Basket Weave ที่ผ่านกรรมวิธี Aging ที่ 800°C (ซ้าย) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (ขวา) ระยะเวลา 8 ชั่วโมง	22
7.12	โครงสร้างจุลภาคแบบ Martensite ที่กำลังขยาย 100 เท่า	23
7.13	โครงสร้างจุลภาคแบบ Martensite พิจารณาที่กำลังขยาย 500 เท่า	23
7.14	โครงสร้างจุลภาคแบบ Martensite ที่ผ่านกรรมวิธี Aging ที่ 450°C (ซ้าย) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (ขวา) ระยะเวลา 8 ชั่วโมง	24
7.15	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบ Martensite ที่ผ่านกรรมวิธี Aging ที่ 800°C (ซ้าย) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (ขวา) ระยะเวลา 8 ชั่วโมง	24
7.16	โครงสร้างจุลภาคแบบ Globular ที่ผ่านการอบ 925°C (ซ้าย) ระยะเวลา 2 ชั่วโมง (ขวา) ระยะเวลา 4 ชั่วโมง	25
7.17	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบ Globular ที่ผ่านกรรมวิธี Aging ที่ 800°C (ซ้าย) ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (ขวา) ระยะเวลา 8 ชั่วโมง	26
7.18	ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานที่มีโครงสร้างแบบ Lamellar	26
7.19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกว้างของ Lamellar และค่า Ultimate Tensile Strength (UTS)	27
7.20	ค่า Ultimate Tensile Strength ของชิ้นงานที่มีโครงสร้างแบบ Basket Weave	28
7.21	ค่าความแข็งของชิ้นงานที่มีโครงสร้างแบบ Basket Weave	28
7.22	แผนภูมิแสดงค่าจากการทดสอบดึงขึ้นทดสอบโครงสร้างแบบ Martensite ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนในเงื่อนไขที่กำหนด	29
7.23	แผนภูมิแสดงค่าจากการทดสอบความแข็งขึ้นทดสอบโครงสร้างแบบ Martensite ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนในเงื่อนไขที่กำหนด	29
7.24	แผนภูมิแสดงค่าจากการทดสอบดึงขึ้นทดสอบโครงสร้างแบบ Globular ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนในเงื่อนไขที่กำหนด	30
7.25	แผนภูมิแสดงค่าจากการทดสอบความแข็งขึ้นทดสอบโครงสร้างแบบ Globular ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนในเงื่อนไขที่กำหนด	31
7.26	แสดงลักษณะของค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ขึ้นกับ Equivalent R ที่เหมาะสม	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.27	แผนภูมิแสดงค่าจากการทดสอบอัตราการกัดกร่อนขึ้นทดสอบโครงสร้างแบบ Lamellar ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนในเงื่อนไขที่กำหนด
7.28	แผนภูมิแสดงค่าจากการทดสอบอัตราการกัดกร่อนขึ้นทดสอบโครงสร้างแบบ BasketWeave ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนในเงื่อนไขที่กำหนด
7.29	แผนภูมิแสดงค่าจากการทดสอบอัตราการกัดกร่อนขึ้นทดสอบโครงสร้างแบบ Martensite ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนในเงื่อนไขที่กำหนด
7.30	แผนภูมิแสดงค่าจากการทดสอบอัตราการกัดกร่อนขึ้นทดสอบโครงสร้างแบบ Globular ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนในเงื่อนไขที่กำหนด
7.31	(บน) ชี้นงานขาดแบบเหนียว (ล่าง) ชี้นงานขาดแบบเปราะ
7.32	(ซ้าย) หน้าตัดชี้นงานขาดแบบเปราะ (ขวา) หน้าตัดชี้นงานขาดแบบเหนียว
7.33	กราฟจากการดึงทดสอบ (ซ้าย) ชี้นงานขาดแบบเปราะ (ขวา) ขาดแบบเหนียว
7.34	แสดงผลลัพธ์ของค่า Ultimate tensile stress ของขึ้นทดสอบทั้งหมดในงานวิจัย
7.35	แสดงผลลัพธ์ของค่าความสมดุลของความแข็งแรงและยืดหยุ่นของขึ้นทดสอบทั้งหมด
7.36	แสดงผลลัพธ์ของค่าอัตราการกัดกร่อนของขึ้นทดสอบทั้งหมด
8.1	แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับ % Phase faction of β ของโครงสร้างกลุ่ม Lamellar
8.2	แสดงค่าอัตราส่วนระหว่าง UTS กับ สัดส่วน%โครงสร้าง Basket Weave ต่อโครงสร้างอื่น
8.3	แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับ Phase ratio α / β ของโครงสร้างกลุ่ม Basket Weave

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.1 แสดงอัตราส่วนผสมทางเคมีของหินงาน As Received	6

ประมวลศัพท์และคำย่อ

FFC	=	Face center cubic
BCC	=	Body center cubic
HCP	=	Hexagonal close pack
h	=	Hour
mm	=	Milimetre
kg	=	Kilogram
N	=	Newton
m ²	=	Square meters
MPa	=	Mega Pascal
Temp.	=	Temperature
Sec.	=	Second
WE	=	Working electrode
CE	=	Calomel electrode
V	=	Volt
A	=	Ampare
RE	=	Reference electrode
FC	=	Furnace Cool (เย็นตัวในเตา)
AC	=	Air Cool (เย็นตัวในอากาศ)
WQ	=	Water Quench (เย็นตัวโดยการแช่น้ำ)