

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	เฟสไดอะแกรมของระบบ Al-Mg ₂ Si	5
2.2	ผลการทดลองจาก DSC สำหรับอะลูมิเนียม 6061	6
2.3	ภาพถ่ายจาก TEM ของอะลูมิเนียม 6061 ในช่วงการบ่มแข็ง (a) และ (b) 10 นาทีที่ 175 องศาเซลเซียส (c) 0.5 ชั่วโมงที่ 175 องศาเซลเซียส (d) 4 ชั่วโมงที่ 175 องศาเซลเซียส (e) 72 ชั่วโมงที่ 175 องศาเซลเซียส (f) 20 ชั่วโมงที่ 200 องศาเซลเซียส [3]	8
2.4	ความแข็งของอะลูมิเนียม 6061 ที่เปลี่ยนไปเมื่อเวลาในการบ่มแข็งเพิ่มขึ้น	8
2.5	ผลการวัดความแข็งของอะลูมิเนียมหล่อ 6063 ที่แปรผันตาม (a) เวลาที่ใช้ในการทำ solutioning (b) เวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง	9
2.6	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของอะลูมิเนียมหล่อ 6063 ที่เปลี่ยนไปเมื่อ (a) เปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำ solutioning (b) เปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง [5]	10
2.7	ปรากฏการณ์ซีเบ็ค โดยที่พลังงานที่ด้านร้อนสูงกว่าด้านเย็น จะช่วยผลักดันอิเล็กตรอนและโฮลให้ไปรวมกันที่ด้านเย็น	11
2.8	แผนผังอุปกรณ์สำหรับวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คแบบ dual-tipped probe	12
2.9	สัมประสิทธิ์ซีเบ็คของ Ti-6Al-4V ตามทิศทาง normal (สีดำ) และ transverse (สีเทา) ที่ผ่านการรีดเย็น (ด้านซ้าย) และผ่านการอบอ่อน (ด้านขวา) โดยใช้หัววัดที่ทำจาก (a) ทองคำ (b) ทองแดง และ (c) นิกเกิล	13
2.10	การเปลี่ยนแปลงของ TEP เทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	14
2.11	การเปลี่ยนแปลงของ TEP เมื่ออุณหภูมิขึ้นงานที่อุณหภูมิ 350°C และ 450°C ในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	15
2.12	การเปลี่ยนแปลงของ TEP เมื่ออุณหภูมิขึ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆ ในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	15

รูป (ต่อ)

หน้า

2.13	การเปลี่ยนแปลงของ TEP ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเมื่อ (a) อบที่อุณหภูมิ 650°C และทำให้เกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว (b) นำตัวอย่าง a มาบ่มแข็งเป็นเวลา 50 ชั่วโมง	16
2.14	การเปลี่ยนแปลงของ TEP ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเทียบกับเปอร์เซ็นต์การลดขนาดที่เปลี่ยนไปจากการรีดเย็น	16
2.15	การเปลี่ยนแปลงของค่า TEP ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมากเนื่องจากปรากฏการณ์ต่างๆ	17
2.16	ผลการวัด TEP ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมากหลังจากการรีดเย็นและอบที่อุณหภูมิต่างๆ	18
2.17	การเปลี่ยนแปลง TEP ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ถูกบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 70°C หลังจากผ่านการลดขนาด 50% ด้วยการรีดเย็น	18
2.18	การเปลี่ยนแปลง TEP ของ Ti-Ni หลังจากการอบตัวอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ	19
2.19	การเปลี่ยนแปลง TEP ของ Ti-Ni ในทิศทาง rolling หลังจากตัวอย่างผ่านการรีดเย็นที่ %cold work ต่างๆ	20
2.20	(a) การเปลี่ยนแปลงของ TEP ของเหล็กกล้าไร้สนิมที่อุณหภูมิต่างๆ (b) สัดส่วนปริมาตรของคาร์ไบด์ (c) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนออสติไนท์ (d) สัดส่วนปริมาตรของเฟส retained ออสติไนท์	20
2.21	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คหลังจากการอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมากที่อุณหภูมิต่างๆ	21
2.22	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของเหล็กกล้า Interstitial-free เมื่อเวลาบ่มแข็งเพิ่มขึ้น	22
2.23	การเปลี่ยนแปลงของความแข็งของเหล็กกล้า Interstitial-free เมื่อเวลาบ่มแข็งเพิ่มขึ้น จะสังเกตได้ว่าที่เวลาบ่มแข็ง 4-8 ชั่วโมง ค่า TEP มีค่าคงที่ในขณะที่ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น	22
2.24	ค่า TEP และความแข็งวิกเกอร์ที่เปลี่ยนแปลงขณะทำการบ่มแข็งอะลูมิเนียม 6013	23
2.25	ผลการทดสอบอะลูมิเนียม 6013 ด้วย DSC	24
2.26	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คจากการบ่มแข็งอะลูมิเนียม	25

ผสมเกรด 6061 ที่ช่วงอุณหภูมิ 350-500 องศาเซลเซียส

รูป (ต่อ)	หน้า
2.27 การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คจากการบ่มแข็งอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ที่ช่วงอุณหภูมิ 225-325 องศาเซลเซียส	25
2.28 การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในอะลูมิเนียมผสม 6061 และโลหะผสม A ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	26
3.1 เครื่องวัดเย็น	29
3.2 Nanovoltmeter ของ Keithley รุ่น 2182A	29
3.3 DAQ NI9211 เชื่อมต่อกับ Hi-Speed USB Carrier รุ่น NI-USB 9162	30
3.4 อุปกรณ์สำหรับวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวตั้ง	32
3.5 อุปกรณ์สำหรับวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวนอน	32
3.6 แผนผังการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	34
3.7 แผนผังการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คสัมพัทธ์ระหว่างอะลูมิเนียมและนิกเกิล	35
3.8 แผนผังการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คสัมพัทธ์ของอุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวตั้ง (ซ้าย) และในแนวนอน (ขวา)	36
3.9 ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่เกิดจากการวัดเย็นครั้งที่ 1 ด้วยเครื่องวัดแนวตั้ง	37
3.10 ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่เกิดจากการวัดเย็นครั้งที่ 2 ด้วยเครื่องวัดแนวตั้ง	38
3.11 ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่เกิดจากการบ่มแข็งด้วยเครื่องวัดแนวตั้ง	39
3.12 ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่เกิดจากการวัดเย็นด้วยเครื่องวัดแนวนอน	41
3.13 ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของตัวอย่างขนาดเล็กที่ผ่านการบ่มแข็ง	43
3.14 ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาผลของขนาดชิ้นงานต่อค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค	44
3.15 ขนาดของชิ้นงานคัมเบลสำหรับการทดสอบความแข็งแรงแรงดึง	45
3.16 ขั้นตอนการศึกษาผลของขนาดชิ้นงานต่อค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค	45
3.17 ชิ้นงานสำหรับทำการศึกษาผลของการขัดผิวตัวอย่างที่มีต่อการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค	47

รูป (ต่อ)	หน้า
3.18 การวางตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาผลของการขัดผิวตัวอย่างที่มีต่อการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค	47
3.19 ขั้นตอนการศึกษาผลของการขัดผิวตัวอย่างที่มีต่อการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค	48
3.20 ขั้นตอนการศึกษาผลของการบ่มแข็งที่ระยะเวลานานที่มีต่อการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค	50
4.1 การวางตัวอย่างในทิศทาง ก) normal และ ข) transverse	52
4.2 ผลการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คด้วยเครื่องวัดแนวดิ่งในทิศทางต่างๆของอะลูมิเนียม 6063 ที่ผ่านการรีดเย็นในทิศทางต่างๆ	53
4.3 ผลการวัดความแข็งแรงดึงของอะลูมิเนียม 5052 ที่มีความหนา 1.6 มิลลิเมตรในทิศทาง rolling และ transverse โดยที่ a) commercial grade b) Lab-processed grade	54
4.4 ผลการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คด้วยเครื่องวัดแนวดิ่งในทิศทาง transverse ของอะลูมิเนียม 6063 ที่ผ่านการรีดเย็น	55
4.5 ผลการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในอะลูมิเนียม 6063 ที่ผ่านการบ่มแข็งด้วยเครื่องวัดแนวดิ่ง	56
4.6 ผลการวัดความแข็งแรงร็อกเวลล์สเกล H ของอะลูมิเนียม 6063 ที่ผ่านการบ่มแข็ง	57
4.7 การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของอะลูมิเนียม 6063 ที่มีขนาดต่างกันโดยผ่านการรีดเย็นและไม่ผ่านการรีดเย็น การวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของตัวอย่างที่ผ่านการรีดเย็นกระทำในแนว rolling	59
4.8 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในตัวอย่างในขณะที่ทำการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค	60
4.9 ผลการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของอะลูมิเนียม 6063 ที่ผ่านการรีดเย็นในแนว rolling และ transverse	61
4.10 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าของอะลูมิเนียม 6063 ที่ผ่านการรีดเย็นไม่ผ่านการรีดเย็น	62
4.11 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าสัมผัสของโลหะผสม	63

Al-2.5Mg ที่ผ่านการรีดเย็นและผ่านการอบที่อุณหภูมิต่างๆ

รูป (ต่อ)

หน้า

4.12	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ขนาด $1.9 \times 1.9 \times 5.0$ ลูกบาศก์เซนติเมตรที่เกิดจากการบ่มแข็ง	64
4.13	การเปลี่ยนแปลงความแข็งวิกเกอร์ของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ขนาดเล็กที่เกิดจากการบ่มแข็ง ภายหลังการอบ solutioning ที่ 520 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง	65
4.14	การเปลี่ยนแปลงของความแข็งร็อกเวลล์สเกล H ของชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ขนาดเล็กที่เกิดจากการบ่มแข็ง	66
4.15	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่เกิดจากการบ่มแข็งในชิ้นงานขนาดใหญ่	66
4.16	การเปลี่ยนแปลงของความแข็งร็อกเวลล์สเกล H ของชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ขนาดใหญ่ที่เกิดจากการบ่มแข็ง	67
4.17	การเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงแรงดึง (ultimate tensile strength) ของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่เกิดจากการบ่มแข็ง	68
4.18	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่เกิดจากการบ่มแข็งโดยไม่ทำการขัดผิวก่อนการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คเปรียบเทียบค่าที่ได้ในการวัด 2 ครั้ง	70
4.19	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่เกิดจากการบ่มแข็ง การวัดกระทำหลังจากการขัดผิวชิ้นงานทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร หน้า 1 เซนติเมตร	71
4.20	ผลการทดสอบอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่ผ่านการอบ solutioning 6 ชั่วโมงด้วย DSC	72
4.21	XRD peaks จากอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่ผ่านการบ่มแข็งที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0-11 ชั่วโมง	74
4.22	ค่า d-spacing จาก XRD peaks ของ plane (111), (200), (311) ที่เวลาบ่มแข็งต่างๆ	75
4.23	การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่เกิดจากการบ่มแข็งโดยเพิ่มเวลาการบ่มแข็งจนถึง 21 ชั่วโมง	76

รูป (ต่อ)

หน้า

4.24	การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่เกิดจากการบ่มแข็ง	77
4.25	โครงสร้างจุลภาคจากเครื่อง TEM ของอะลูมิเนียม 6063 ที่ผ่านการทำ solutioning ที่ 520 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บ่มแข็งเป็นเวลา 9 ชั่วโมง	77
4.26	โครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียม 6022 ในทิศทาง $[001]_{Al}$ บ่มแข็งที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1000 นาที (16.7 ชั่วโมง) จุดสีดำคือ เฟส β'' แนวเส้นตรงในแนวตั้งและแนวนอนคือ strain field	78
4.27	การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่เกิดจากการบ่มแข็ง	79
4.28	การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของอะลูมิเนียมผสมเกรด 611 ที่เกิดจากการบ่มแข็ง โดยเริ่มจากบ่มแข็งธรรมชาติ (NA, natural aging) ก่อนทำการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส	79