รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1	คุณสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของโลหะผสม MAB	5
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสม MAB ที่ใช้ในงานวิจัย	37
3.2	คุณสมบัติของเครื่องไดลาโตมิเตอร์รุ่น 805A/D	39
4.1	ค่าคงที่ต่างๆ ของฟังก์ชั่นระหว่างพารามิเตอร์ n_2, β, α, Q และ ln A และ ความเครียดที่หาโดยวิธี fitting ด้วยพหุนามลำดับที่ 3 ของโลหะผสม MAB ที่ศึกษา	51
5.1	จากสมการที่เกี่ยวข้องกับอัตราความเครียดแข็งและอัตราการอ่อนตัวคำนวณที่ อัตราความเครียด 0.01 ต่อวินาที	72
5.2	จากสมการที่เกี่ยวข้องกับอัตราความเครียดแข็งและอัตราการอ่อนตัวคำนวณที่ อัตราความเครียด 0.1 ต่อวินาที	72
5.3	จากสมการที่เกี่ยวข้องกับอัตราความเครียดแข็งและอัตราการอ่อนตัวคำนวณที่ อัตราความเครียด 1 ต่อวินาที	73
5.4	จากสมการที่เกี่ยวข้องกับอัตราความเครียดแข็งและอัตราการอ่อนตัวคำนวณที่ อัตราความเครียด 10 ต่อวินาที	73
5.5	ค่าคงที่ C ที่หาได้สำหรับสมการซิงกาล่าที่อุณหภูมิและอัตราความเครียดต่างๆ	75
5.6	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติ (R) เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	82
5.7	สรุปขอบเขตของแต่ละเกณฑ์เสถียรภาพในทุกช่วงอุณหภูมิและอัตราความเครียด ในการวิเคราะห์เสถียรภาพการกดขึ้นรูปร้อนของโลหะผสม MAB	88

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

2.1 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของโลหะผสม MAB 4

2.2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำด้วยวัสดุโลหะผสมเกรด C95800 6

2.3 ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำด้วยวัสดุโลหะผสมเกรด C95400 6

2.4 ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำด้วยวัสดุโลหะผสมเกรด C95800 7

2.5 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการผลิตด้วยการทุบขึ้นรูปร้อน 9

2.6 การทุบขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เปิด 9

2.7 กรรมวิธีการทุบขึ้นรูปร้อน 10

2.8 บริเวณต่างๆของการเปลี่ยนรูปของวัสดุในการตีย่นขึ้นรูป 10

2.9 พฤติกรรมความเค้น-ความเครียดในการเปลี่ยนรูปของวัสดุ 11

2.10 การหาค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น 12

2.11 ลักษณะการหาอัตราส่วนปัวส์ซอง 13

2.12 ลักษณะความเค้นแรงดึง 14

2.13 ลักษณะความเค้นแรงเฉือน 15

2.14 ลักษณะความเค้นแรงอัด 15

2.15 ลักษณะความเครียดแรงดึง 16

2.16 ลักษณะความเครียดแรงเฉือน 17

2.17 การเปรียบเทียบกราฟความเค้น-ความเครียดกับความเค้น-ความเครียดจริง 18

2.18 ลักษณะพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นของวัสดุ 20

2.19 อิทธิพลของการคืนตัว การเกิดผลึกใหม่ และการเติบโตของผลึก 22

2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริงของวัสดุโลหะผสมอลูมิเนียม 7075 ที่อัตราความเครียดและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (ก) ที่อัตราความเครียด 0.01 ต่อวินาที (ข) ที่อัตราความเครียด 0.1 ต่อวินาที (ค) ที่อัตราความเครียด 1 ต่อวินาที (ง) ที่อัตราความเครียด 10 ต่อวินาที 23

รูป **หน้า**

2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริงของวัสดุโลหะผสมแมกนีเซียม AZ80 ที่อัตราความเครียดและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (ก) ที่อัตราความเครียด 0.01 ต่อวินาที (ข) ที่อัตราความเครียด 0.1 ต่อวินาที (ค) ที่อัตราความเครียด 1 ต่อวินาที (ง) ที่อัตราความเครียด 10 ต่อวินาที 24

2.22 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการขึ้นรูปโลหะก้อน 31

2.23 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ 32

2.24 แบบจำลองของชิ้นงาน 32

2.25 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ 33

2.26 กำหนดให้การเคลื่อนที่ในแกน Z เท่ากับ 0 33

2.27 การแสดงผลของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ 34

3.1 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม MAB ตั้งต้นที่ผลิตด้วยการหล่อถ่ายด้วย (ก) กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (ข) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดโหมด BSE 38

3.2 เครื่องไดลาโตมิเตอร์ 40

3.3 ระบบให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ 41

3.4 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกดขึ้นรูปร้อนด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ 41

3.5 ขนาดชิ้นงานที่ได้เตรียมบ่าทั้งสองข้างเพื่อใส่สารหล่อลื่น 42

3.6 กระบวนการทดสอบการเปลี่ยนรูปร้อน 42

4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริงของชิ้นงานทดสอบโลหะผสม MAB เมื่อถูกกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราความเครียด 0.01, 0.1, 1 และ 10 ต่อวินาที 44

4.2 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม MABที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนเซชั่น ที่ถ่ายด้วย (ก) กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (ข) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด โหมด BSE 45

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) $\ln\dot{\varepsilon}$ และ $\ln\sigma$ (ข) $\ln\dot{\varepsilon}$ และ σ สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ n_1 และ β 47

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) $\ln\dot{\varepsilon}$ และ $\ln [\sinh(\alpha\sigma)]$ (ข) $\ln [\sinh(\alpha\sigma)]$ และ $(1000/T)$ สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ n_2 และ Q 48

รูป **หน้า**

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln Z$ และ $\ln[\sinh(\alpha\sigma)]$ 49

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (ก) n_2 (ข) β (ค) α (ง) Q (จ) $\ln A$ และความเครียดจริงของชิ้นงานทดสอบโลหะผสม MAB ที่ผ่านการกดขึ้นรูปร้อน 50

4.7 การเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริงที่อุณหภูมิ 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราความเครียด 0.01, 0.1, 1 และ 10 ต่อวินาทีที่ได้จากการทำนายด้วยสมการซีเนอร์โฮโลมอนด์และผลการทดลองของโลหะผสม MAB 53

4.8 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองและการทำนายโดยสมการซีเนอร์โฮโลมอนด์ 54

4.9 การกระจายค่าความเครียดบนชิ้นงานที่ผ่านการกดขึ้นรูปร้อนที่ค่าการลดลงของความสูงแตกต่างกัน 56

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะกดของการกดขึ้นรูปร้อนของโลหะผสม MAB ที่ได้จากการทดลอง 57

4.11 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทางที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วย FEM โดยใช้สมบัติวัสดุที่ได้จากการทดลองจริงของโลหะผสม MAB 58

4.12 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทางที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วย FEM โดยใช้สมบัติวัสดุที่มาจากแบบจำลองที่ใช้ค่าคงที่ของทุกๆ ความเครียดอแบ่งเป็นช่วงๆ ละ 0.05 ระหว่าง 0.05-0.8 ของโลหะผสม MAB 59

4.13 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทางที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วย FEM ที่ใช้สมบัติวัสดุที่พิจารณาจากค่ามาจากแบบจำลองความเค้นสูงสุดของโลหะผสม MAB 60

4.14 การเปรียบเทียบของเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างผลการทดลองกับ FEM ที่ใช้สมบัติวัสดุที่มาจากกราฟความเค้น-ความเครียดจริง 61

4.15 การเปรียบเทียบของเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างผลการทดลองกับ FEM ที่ใช้สมบัติวัสดุที่มาจากกราฟความเค้น-ความเครียดจริงโดยใช้ค่าคงที่ของทุกๆความเครียด แบ่งเป็นช่วงๆละ 0.05 ระหว่าง 0.05-0.8 63

รูป **หน้า**

4.16 การเปรียบเทียบของเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างผลการทดลองกับ FEM ที่ใช้สมบัติวัสดุที่มาจากกราฟความเค้น-ความเครียดจริงโดยใช้ค่าคงที่ของความเค้นสูงสุด 65

5.1 การเปลี่ยนความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริงเทียบกับค่าความเค้น 68

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเครียดแข็งกับความเค้นจริงที่อุณหภูมิ 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียสและอัตราความเครียด 0.01, 0.1, 1 และ 10 ต่อวินาทีของการกดขึ้นรูปร้อนของโลหะผสม MAB 69

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอ่อนตัว ($\theta = d\sigma/d\varepsilon$) กับความเครียด ($\sigma$) ที่ 750 องศาเซลเซียส และอัตราความเครียด 0.1 ต่อวินาทีของโลหะผสม MAB ที่ผ่านการทุบขึ้นรูปร้อน 70

5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอ่อนตัวกับความเค้นจริงที่อุณหภูมิ 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียสและอัตราความเครียด 0.01, 0.1, 1 และ 10 ต่อวินาทีของการกดขึ้นรูปร้อนของโลหะผสม MAB 71

5.5 พล็อตหาค่าคงที่ C ของสมการซิงกาล่าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยอัตราความเครียด 1 ต่อวินาที 74

5.6 การเปรียบเทียบกราฟความเค้น-ความเครียดจริงที่ได้จากการทำนายด้วยสมการซิงกาล่าและผลการทดลองที่อุณหภูมิ 700, 750, 800 และ 850 องสาเซลเซียสและอัตราความเครียด 0.01, 0.1, 1 และ 10 ต่อวินาที 75

5.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln[\ln(1/(1-X_d)]$ และ $\ln[(\varepsilon-\varepsilon_c)/\varepsilon_p]$ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
77
อัตราความเครียด 0.01 ต่อวินาทีของการกดขึ้นรูปร้อนของโลหะผสม MAB

5.8 สัดส่วนปริมาณของการเกิดผลึกใหม่แบบพลศาสตร์ที่ อุณหภูมิ 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราความเครียด 0.01, 0.1, 1 และ 10 ต่อวินาที ที่ทำนายด้วยสมการอาลามี่ 77

รูป **หน้า**

5.9 โครงสร้างทางจุลภาคที่อัตราความเครียด 1 ต่อวินาที (ก) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส (ข) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 80

5.10 การเปรียบเทียบกราฟความเค้น-ความเครียดที่ได้การทำนายโดยใช้สมการซิงกาล่าสมการอาลามี่และผลการทดลองของชิ้นงานทดสอบ MAB ที่กดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราความเครียด 0.01, 0.1, 1 และ 10 ต่อวินาที 81

5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดลองและการทำนายโดยสมการซิงกาล่ากับสมการอาลามี่ 82

5.12 กราฟระหว่าง $\log \sigma_p$ เทียบกับ $\log \dot{\varepsilon}$ สำหรับคำนวณค่า m 84

5.13 กราฟระหว่าง $\log \sigma$ เทียบกับ 1/T สำหรับคำนวณค่า S 85

5.14 กราฟระหว่าง m เทียบกับ $\log \dot{\varepsilon}$ ที่แต่ละอุณหภูมิ 86

5.15 กราฟระหว่าง s เทียบกับ $\log \dot{\varepsilon}$ ที่แต่ละอุณหภูมิ 87