

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๑๑
สารบัญ	๑๒
รายการตาราง	๑๓
รายการรูปประกอบ	๑๔
รายการสัญลักษณ์	๑๕
ประมวลศัพท์และคำย่อ	๑๖

บทที่

1. บทนำ

1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2	วัตถุประสงค์	1
1.3	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4	ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.5	การดำเนินงาน	3

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1	แมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์	4
2.1.1	ตัวอย่างการใช้งานโลหะผสม MAB เกรดต่างๆ	5
2.2	กระบวนการขึ้นรูปวัสดุก่อนที่อุณหภูมิสูง	7
2.2.1	ประเภทการทอบขึ้นรูปแบ่งตามอุณหภูมิการขึ้นรูป	8
2.2.2	ประเภทการทอบขึ้นรูปแบ่งตามลักษณะของแม่พิมพ์	9
2.3	พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของวัสดุ	11

2.3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรม	14
2.3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริง	17
2.4	การคืนตัวและการเกิดผลึกใหม่	20
2.4.1	การคืนตัว	20
2.4.2	การเกิดผลึกใหม่	21
2.4.3	การโตของเกรน	22
2.5	การทำแบบจำลองวัสดุภายใต้สภาวะการขึ้นรูปร้อน	25
2.5.1	การทำนายพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของวัสดุโดยใช้ สมการซีเนอร์โฮโลมอนด์	25
2.5.2	การทำนายพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของวัสดุโดยใช้สมการซิงกาล่า	27
2.5.3	การทำนายพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของวัสดุโดยใช้สมการอาลามี่	27
2.5.4	การหาค่าความเค้นสูงสุดและค่าความเค้นวิกฤต	28
2.6	ความเสถียรภาพการขึ้นรูป	29
2.7	แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการขึ้นรูปโลหะก่อน	30
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
2.8.1	งานวิจัยเกี่ยวกับสมการแบบจำลองของวัสดุ	34
2.8.1.1	สมการซีเนอร์โฮโลมอนด์	34
2.8.1.2	สมการซิงกาล่าและสมการอาลามี่	35
2.8.2	งานวิจัยที่ใช้ในแบบจำลองทางพลศาสตร์ของวัสดุ	36
3.	การดำเนินงานวิธีวิจัย	37
3.1	วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	37
3.1.1	วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	37
3.1.2	เครื่องไดลาโตมิเตอร์	38
3.2	การเตรียมชิ้นงานทดสอบ	41
3.3	ขั้นตอนการทดสอบการกดขึ้นรูปร้อน	41

4. ผลการดำเนินงานวิจัย	43
4.1 พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของวัสดุในการทดสอบกดขึ้นรูปร้อน	43
4.1.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริง	43
4.1.2 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม MAB แบบหล่อที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนเซชัน	45
4.2 ทำนายพฤติกรรมการไหลของวัสดุที่อุณหภูมิสูง	45
4.2.1 การสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายพฤติกรรมการไหลของวัสดุโดยใช้สมการซีเนอร์โฮโลมอนด์	45
4.3 การเปรียบเทียบระหว่างกราฟความเค้น-ความเครียดจริงของผลการทดลองและการทำนายด้วยสมการซีเนอร์โฮโลมอนด์	52
4.4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม DEFORM 3D	56
4.4.1 ผลจากการทดสอบที่ได้จากการทดสอบด้วยไดลาโตมิเตอร์	57
4.5 ผลการจำลองพฤติกรรมวัสดุในการกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง	58
4.5.1 การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบกับผลของแบบจำลองเส้นโค้งไหล	58
4.5.2 การเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลองโดยใช้ค่าคงที่ของทุกๆความเครียดแบ่งเป็นช่วงๆ ละ 0.05 ระหว่าง 0.05-0.8	59
4.5.3 การเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลองโดยใช้ค่าคงที่ของความเค้นสูงสุด	60
4.6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับผลการจำลองโดยใช้วิธีความผิดพลาดสัมพัทธ์เฉลี่ย	60
4.6.1 ผลเปรียบเทียบค่า ARE ที่ได้จากการทดสอบกับ FEM ที่ใช้สมบัติวัสดุที่มาจากกราฟความเค้น-ความเครียดจริง	61
4.6.2 ผลเปรียบเทียบค่า ARE ที่ได้จากการทดสอบกับ FEM ที่ใช้สมบัติวัสดุที่มาจากกราฟความเค้น-ความเครียดจริงโดยใช้ค่าคงที่ของทุกๆความเครียด แบ่งเป็นช่วงๆ ละ 0.05 ระหว่าง 0.05-0.8	63
4.6.3 ผลเปรียบเทียบค่า ARE ที่ได้จากการทดสอบกับ FEM ที่ใช้สมบัติวัสดุที่มาจากกราฟความเค้น-ความเครียดจริงโดยใช้ค่าคงที่ของความเค้นสูงสุด	65

5. ผลการทำแบบจำลองวัสดุในสภาวะการกดขึ้นรูปร้อน	68
5.1 ผลการสร้างแบบจำลองทำนายพฤติกรรมการไหลโดยใช้สมการซิงกาล่า	68
5.1.1 อัตราความเครียดแข็ง	68
5.1.2 อัตราการอ่อนตัว	70
5.1.3 สมการซิงกาล่า	74
5.2 ผลการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายพฤติกรรมของการไหลของวัสดุโดยใช้สมการอาลามี่	76
5.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและสัดส่วนปริมาตรของการเกิดผลึกใหม่แบบพลศาสตร์	79
5.4 การเปรียบเทียบกราฟความเค้น-ความเครียดจริงจากผลการทดลองและการทำนายของสมการซิงกาล่าและสมการอาลามี่	80
5.5 ผลการทำนายเสถียรภาพการขึ้นรูปของโลหะผสม MAB ในระหว่างการกดขึ้นรูปร้อน	83
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	89
6.1 สรุปผลการทำนายพฤติกรรมการไหลที่อุณหภูมิสูง	89
6.2 สรุปผลการจำลองการตีขึ้นเทียบกับการทดสอบที่อุณหภูมิสูงด้วยโปรแกรมDEFORM 3D	90
6.3 ข้อเสนอแนะ	91
เอกสารอ้างอิง	92
ภาคผนวก	
ก โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	101
ข ผลการสร้างแบบจำลองทำนายพฤติกรรมของการไหลของวัสดุโดยใช้สมการซิงกาล่า	108

ประวัติผู้วิจัย