บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทำนายพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปที่อุณหภูมิสูง

ในการศึกษางานวิจัยนี้ การทดสอบการกดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียสและอัตราความเครียดที่ 0.01, 0.1, 1 และ 10 ต่อวินาที ของโลหะผสม MAB โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริงได้รับการพิจารณาและสามารถอธิบายโดยการใช้สมการคอนสทิทิวทีพขึ้นอยู่กับสมการซีเนอร์โฮโลมอนด์ สมการซิงกาล่า สมการอาลามี่และแบบจำลอง DMM จากผลการศึกษาจะสรุปได้ดังนี้

- กราฟความเค้น-ความเครียดจริงของโลหะผสม MAB ที่อุณหภูมิสูงแสดงให้เห็นค่าความเค้นสูงสุดเพียงจุดเดียวภายใต้อุณหภูมิและอัตราความเครียดที่พิจารณา หลังจากความเค้นสูงสุดนั้นความเค้นจะค่อยๆลดลงจนถึงสภาวะคงที่ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

- ค่าคงที่ของวัสดุ n_1, n_2, β, α, Q และ A ของสมการคอนสทิทิวทีพขึ้นอยู่กับสมการซีเนอร์โฮโลมอนด์ ซึ่งได้พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริงที่ได้จากการทดลอง มีพลังงานกระตุ้น (Q) ของโลหะผสม MAB คือ 194 กิโลจูลต่อโมล

- ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลองโดยใช้ค่าคงที่ของทุกๆ ความเครียด แบ่งเป็นช่วงๆ ละ 0.05 ระหว่าง 0.05-0.8 ผลที่ได้จากการทดลองกับผลการคำนวณที่ได้รับการประเมินโดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (AARE) ของพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปโดยที่ใช้สมการคอนสทิทิวทีพขึ้นอยู่กับสมการซีเนอร์โฮโลมอนด์ สมการซิงกาล่าและสมการอาลามี่ ภายใต้อุณหภูมิและอัตราความเครียดของการกดขึ้นรูปร้อน ค่าของ R และ AARE ที่ได้จากการเปลี่ยนรูปคือ 0.5434 และ 22.46 %, 0.8636 และ 13.04 % ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า สมการซิงกาล่าและสมการอาลามี่มีความแม่นยำและมีน่าเชื่อถือ

- สัดส่วนปริมาณของการคืนตัวแบบพลศาสตร์และการเกิดผลึกใหม่แบบพลศาสตร์ของโลหะผสม MAB จากการสังเกตโครงสร้างจุลภาคที่ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 750 และ 800 องศาเซลเซียสและอัตราความเครียด 1 ต่อวินาที ซึ่งที่อัตราความเครียดเดียวกันอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสแสดงการคืน

ตัวแบบพลศาสตร์ และอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสแสดงการเกิดผลึกใหม่แบบพลศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายทางโครงสร้างจุลภาค

- การวิเคราะห์เสถียรภาพการเปลี่ยนรูปของวัสดุ MAB จากแบบจำลอง DMM พบว่าเกณฑ์ความสามารถในการตอบสนองต่ออัตราความเครียด เกณฑ์อัตราการเปลี่ยนแปลงของ m เทียบกับ $\log \dot{\varepsilon}$ และเกณฑ์ความสามารถในการตอบสนองต่ออุณหภูมิ มีเสถียรภาพในทุกอุณหภูมิและอัตราความเครียดที่ทดสอบ เกณฑ์ที่สำคัญคืออัตราความเปลี่ยนแปลงของ s เทียบกับ $\log \dot{\varepsilon}$ พบว่าโลหะผสม MAB มีเสถียรภาพการเสียรูปในช่วงอัตราความเครียด 0.1-1 ต่อวินาทีกับในช่วงอุณหภูมิ 700-850 องศาเซลเซียส

6.2 สรุปผลการจำลองการกดขึ้นรูปเทียบกับการทดสอบที่อุณหภูมิสูงด้วยโปรแกรม DEFORM 3D

ในการศึกษานี้ การทดสอบการกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิและอัตราความเครียดที่แตกต่างกันที่ได้ดำเนินการสำหรับโลหะผสม MAB ที่ได้ผลิตขึ้นจากการหล่อ การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการ ทดสอบการกดขึ้นรูปร้อนสำหรับผลการทดลองที่ได้จากเส้นโค้งไหลและตัวแปรของซีเนอร์โฮโลมอนด์ที่กำหนดสำหรับอธิบายพฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปถาวร ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทางที่กำหนดจากการทดลองและแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาเปรียบเทียบกันสรุปได้ดังนี้

- ค่าคงที่ของวัสดุของแบบจำลองซีเนอร์โฮโลมอนด์สามารถคำนวณได้โดยตรงจากเส้นโค้งไหลที่ได้จากการทดลอง
- ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างผลที่ได้จากทดลองกับผลของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จะพิจารณาโดยใช้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมพัทธ์เฉลี่ย (ARE) โดย ผลจากแบบจำลองเส้นโค้งไหล (Flow curve) ผลของแบบจำลองโดยใช้ค่าคงที่ของความเค้นสูงสุด และผลของแบบจำลองโดยใช้ค่าคงที่ของทุกๆ ความเครียด แบ่งเป็นช่วงๆ ละ 0.05 ระหว่าง 0.05-0.8 ซึ่ง % ARE ต่ำสุดหรือมีความแม่นยำมากที่สุดคือ 2.34 %, 5.3 % และ 5.66 % ตามลำดับ ที่ผลจากแบบจำลองเส้นโค้งไหล (Flow curve) มีความแม่นยำมากที่สุดคือ 2.34 %

- การคำนวณกราฟแรงและระยะทางของโลหะผสม MAB ภายใต้การกดขึ้นรูปร้อนผลสรุปคือผลจากแบบจำลองเส้นโค้งไหลโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์มีความแม่นยำใกล้เคียงกับผลการทดลองดีกว่าที่ได้จากการใช้ค่าคงที่ของวัสดุจากโปรแกรม DEFORM 3D
- จากผลการทดสอบ รวมทั้งการทำแบบจำลองจากโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงให้เห็นว่าถึงการเปรียบเทียบของเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างผลการทดลองกับ FEM ที่ใช้สมบัติวัสดุที่มาจากกราฟความเค้น-ความเครียดจริงจากรูปที่ 4.17 จะให้ความเค้นไหลใกล้เคียงกับงานทดสอบ ซึ่งแตกต่างจากการทดสอบ ARE ประมาณไม่เกิน 10 %

6.3 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาพฤติกรรมการขึ้นรูปของโลหะผสม MAB ในสภาวะการกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง ที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริง โดยได้ทำการทดสอบกับชิ้นงานจริงโดยใช้เครื่องไดลาโตมิเตอร์เปรียบเทียบด้วยสมการซีเนอร์โฮโลมอนด์ สมการซิงกาล่า สมการอาลามี่ และ ความเสถียรภาพของการขึ้นรูป แต่ในการศึกษาไม่ได้นำการทดสอบการดึงขึ้นรูปจริงและวิเคราะห์กับชิ้นงานจริงในอุตสาหกรรม ดังนั้นในการศึกษาและงานวิจัยดังกล่าวต่อไปในอนาคตควรที่จะทำการทดสอบและวิเคราะห์กับชิ้นงานจริง เพื่อที่จะสามารถพิสูจน์ความถูกต้องและความแม่นยำของแบบจำลองทางวิศวกรรมที่ได้ศึกษาว่ามีความถูกต้องและแม่นยำมากน้อยเพียงใดและรวมถึงความเป็นจริงที่จะนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป