บทที่ 4

บทสรุป

4.1 สรุปผล

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการคืบของโลหะอะลูมิเนียมผสมความแข็งแรงสูง เกรด 7075-T651 ได้ทำการทดสอบการคืบโดยใช้แรงดึงคงที่ (Constant Load Creep) ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 100-250°C และช่วงความเค้นการคืบ (Creep Stress) ระหว่าง 40-440 MPa ภายใต้บรรยากาศปกติ (Ambient Air) ผลการศึกษาสรุปได้ ดังนี้

1. พฤติกรรมการคืบของโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T651 ในช่วงอุณหภูมิและความเค้นการคืบที่ทำการทดสอบ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการการคืบแบบกฎยกกำลัง (Power-Law Creep Equation) ซึ่งกลไกการคืบเกิดจากการไถลและควบคุมโดยการปีนของดิส-โลเคชัน (Dislocation Glide and Climb Controlled Mechanism) มีค่ายกกำลังของความเค้น (Stress Exponent, n) เท่ากับ 4.4 และค่าพลังงานกระตุ้นสำหรับการคืบ (Activation Energy for Creep, Q_c) เท่ากับ 129 kJ mol^{-1} พฤติกรรมการคืบนี้เหมือนกับที่พบในโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสมชนิด M (Class M Alloys)

2. พฤติกรรมการคืบที่อุณหภูมิ 100 และ 150°C ในช่วงความเค้น 80-440 MPa ปรากฏกลไกการคืบ เป็น 2 ช่วง คือ Power-Law Creep และ Power-Law Breakdown ความเค้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนจากกลไกลการคืบแบบ Power-Law Creep ไปสู่ Power-Law Breakdown (Transitional Stress) มีค่าเท่ากับ 400 และ 300 MPa ตามลำดับ

3. พฤติกรรมการคืบที่อุณหภูมิ 200 และ 250°C ในช่วงความเค้น 80-200 MPa ปรากฏกลไกการคืบแบบ Power-Law Creep เพียงแบบเดียวเท่านั้น ความเค้นที่ใช้ทดสอบยังไม่สูงพอที่จะทำให้เกิด Power-Law Breakdown

4. ค่ายกกำลังของความเค้น (Stress Exponent, n) ในช่วงอุณหภูมิ 150-250 °C มีค่าค่อนข้างคงที่ $n \approx 4.6$ และค่า n มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง โดยที่อุณหภูมิ 100 °C n มีค่าเท่ากับ 3.6

5. ค่าพลังงานกระตุ้นสำหรับการคืบ (Activation Energy for Creep, Q_c) มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าความเค้นการคืบเพิ่มสูงขึ้น ในช่วงความเค้น 80-120 MPa พลังงานกระตุ้นสำหรับ

การคืบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 129 kJ mol^{-1} ซึ่งใกล้เคียงกับพลังงานกระตุ้นของการแพร่ในแลต- ทิซของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ (Activation Energy for Lattice Diffusion in Pure Aluminum, Q_o)

6. โครงสร้างจุลภาคของโลหะอะลูมิเนียมผสมจากการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ก่อนการทดสอบการคืบมีลักษณะเกรนเป็นแนวยาวตามแนวการรีด ขอบเกรนมองเห็นได้ชัดเจน และมีอนุภาคเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วภายในเกรน ภายหลังการทดสอบการคืบที่อุณหภูมิสูง ลักษณะขอบเกรนจะเลือนหายไป มองเห็นได้ไม่ชัดเจน

7. ขอบเขตความเค้นการคืบ (Creep Stress Limit) เมื่ออะลูมิเนียมผสมชนิดนี้ถูกนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง มีค่าดังนี้ คือ หากใช้งานที่อุณหภูมิ 100, 150, 200 และ 250°C ควรใช้ที่ความเค้นไม่เกิน 200, 100, 80 และ 40 MPa ตามลำดับ

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องทดสอบทางกลที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT Model H 100 ks Serial No. 0068 ใช้ทดสอบทั้งแรงดึงและการทดสอบการคืบ มีหลักการทำงานโดยการเคลื่อนที่ของ Crosshead โดยการหมุนของ Ballscrew ส่งกำลังมาจาก DC Servo Motor สามารถกำหนดความเร็วของ Crosshead ช่วงระหว่าง 0.001-250 มม/นาที ใช้ Load Cell ขนาด 100 KN ดังนั้นการ ควบคุมแรงดึงในขณะทำการทดสอบจะมีค่าไม่คงที่แต่จะอยู่ในช่วง ±10 MPa และขณะทำการทดลองโปรแกรม QMat ที่ควบคุมเครื่องทดสอบจะกำหนดค่าตัวเองให้หยุดการทำงานประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วเครื่องทดสอบก็จะหยุดการทำงาน ดังนั้นทำให้ไม่สามารถทดลองช่วงระยะเวลานานมากกว่านี้ได้ ข้อเสนอแนะในการทดสอบให้ทำการทดสอบด้วยการแขวนน้ำหนักโดยตรงกับชิ้นงานทดสอบจะดีกว่าเพื่อลดปัญหาการไม่คงที่ของภาระแรงหรือจัดสร้างเครื่องทดสอบชนิดแขนอัตราทด 1:20 จะทำให้ชิ้นทดสอบรับน้ำหนักโดยตรงเช่นกัน และสามารถทดสอบการคืบได้ระยะเวลานานๆ ได้

2. เตา (Chamber) ที่ทำการทดสอบสามารถทดสอบได้ช่วงอุณหภูมิระหว่าง -70 ถึง 300°C ดังรายละเอียดของเครื่อง ขณะเดียวกันอุณหภูมิสูงสุดที่ทำการทดลองประมาณ 250°C แต่หากต้องการทำการทดสอบการคืบที่อุณหภูมิสูงมากกว่านี้ ก็ไม่สามารถทำได้ดังนั้นอาจจะต้องมีการจัดทำเตาใหม่หรือจัดซื้อใหม่

3. Power Supply สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ LVDT ควรปรับแต่งความละเอียดได้เนื่องจากที่ใช้อยู่ต้องใช้อย่างระมัดระวังขณะปรับแต่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้กับ LVDT หรืออาจใช้ Power Supply ที่ให้ค่าความดันไฟฟ้าคงที่ (Fixed Voltage) โดยไม่ต้องปรับแต่ง

4. จัดจัดทำอุปกรณ์ขยายสัญญาณให้กับเทอร์โมคับเปิ้ลเนื่องจากขณะทำการทดลองสัญญาณที่ออกจากเทอร์โมคับเปิ้ลมีหน่วยเป็น mV ซึ่งอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลสามารถปรับค่าที่ได้เป็นช่วงโวลต์ดังนั้นจึงทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่แม่นยำ

5. การควบคุมอุณหภูมิ ขณะทำการทดสอบทำได้อยาก ไม่ควรที่จะเปิดปิดห้องทดลองบ่อยซึ่งจะทำให้มีผลกระทบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้องขณะทำการทดลองโดยเฉพาะชิ้นงานที่มีความเค้นการคืบและอุณหภูมิการคืบต่ำมากๆ

6. จากผลการทดลองค่าของ *n* ที่อุณหภูมิ 100 และ150°C แสดงค่า *n* สองช่วงซึ่งเป็นที่น่าสนใจที่จะให้มีการทดลองที่ความเค้นการคืบต่ำ และที่ความเค้นการคืบสูงเพิ่มเติมที่อุณหภูมิ 200 และ 250°C เช่นเดียวกัน เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงกลไกการคืบในช่วงความเค้นต่างๆ

7. จากการทำโครงการวิจัยนี้ยังมีรายละเอียดอื่นๆ อีกควรศึกษาเพิ่มเติม เช่น การศึกษาขนาดของเกรน การตรวจโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (TEM) ของโครงสร้างจุลภาคก่อน และภายหลังการทดสอบการคืบเพื่อที่จะสามารถตรวจสอบถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคได้ละเอียดกว่าการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงซึ่งมีกำลังขยายที่จำกัด

8. ควรมีระบบจ่ายไฟฟ้าสำรอง อย่างเพียงพอขณะทำการทดลองเพื่อป้องกันไฟฟ้าดับอย่างกะทันหันหรือเพิ่มระบบป้องกันไฟฟ้าตกซึ่งช่วยทำให้การเก็บข้อมูลการคืบเมื่อใช้ระยะเวลาในการทดสอบนานๆได้ผลดียิ่งขึ้น