บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษารูปแบบการอบโฮโมจีไนซ์ที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดผลึกใหม่ของแท่งอะลูมิเนียมอัลลอย 3003 อัดรีดขึ้นรูป สรุปได้ดังนี้

1. โครงสร้างจุลภาคของแท่งอะลูมิเนียมอัลลอย 3003 เมื่อผ่านกระบวนการอบโฮโมจีไนซ์จะปรากฏตะกอนที่ก่อตัวขึ้นเป็นอนุภาคเฟสที่สองเกิดขึ้นให้เห็นใน 2 ลักษณะ คือ ตะกอนที่มีลักษณะเป็นอินเตอร์เมทัลลิกเฟสขนาดใหญ่ (constituent) ที่อยู่ตามบริเวณขอบเกรนซึ่งมีแนวโน้มของการตกตะกอนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง และอนุภาคตะกอนขนาดเล็ก (dispersoids) ที่กระจายอยู่บนโครงสร้างพื้นซึ่งมีแนวโน้มของการตกตะกอนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิโฮโมจีไนซ์ต่ำ
2. เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบโฮโมจีไนซ์สูงขึ้นและเวลาที่ใช้ในการอบแช่นานขึ้น ตะกอนของอินเตอร์เมทัลลิกเฟสจะมีแนวโน้มของขนาดที่โตขึ้นและมีลักษณะรูปร่างที่กลมมนมากขึ้น
3. อุณหภูมิ เวลา และอัตราการเย็นตัวที่ใช้ในการอบโฮโมจีไนซ์ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคตะกอนขนาดเล็กๆ (dispersoids) ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างพื้น การอบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ 480°C นาน 8 ชั่วโมง ส่งผลให้มีการตกตะกอนขนาดเล็กออกมาในปริมาณที่มีความหนาแน่นสูงแต่อาจมีลักษณะของการแพร่กระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ การอบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิสูง 615°C นาน 4-8 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆในเตาอบและอบต่อเนื่องที่อุณหภูมิต่ำ 480°C ด้วยระยะเวลาการอบแช่ที่สั้นกว่า 4 ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณตะกอนขนาดเล็กที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างพื้นมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่า ส่วนการอบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิสูง 585-615°C นาน 4-8 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นตัวในอากาศซึ่งมีอัตราการเย็นตัวลงที่รวดเร็ว จะส่งผลให้ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสองกรณีแรก
4. ปริมาณความหนาแน่นและการกระจายตัวของอนุภาคตะกอนขนาดเล็ก (dispersoids) ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างของแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเกิดผลึกใหม่และขนาดเกรนที่ได้ของชิ้นงานท่อหลังผ่านกระบวนการอัดรีดร้อนตามกลไก Pining effect หรือ Zener drag [21] แท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่ผ่านการอบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ 480°C นาน 8 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคตะกอนขนาดเล็กสูงมาก แต่อาจมีการแพร่กระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ จะส่งผลให้มีการเกิดผลึกใหม่ขึ้นแค่เป็นบางส่วน (partial recrystallize) ส่งผลให้ชิ้นงานท่อมีโครงสร้าง

เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือโครงสร้างที่มีลักษณะที่เป็นไฟเบอร์ (fibrous structure) จากการเสียรูปของเกรนเดิมโดยไม่มีการเกิดผลึกใหม่ และบริเวณโครงสร้างที่มีการเกิดผลึกใหม่ที่ให้ขนาดเกรนที่ใหญ่และไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่แท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่อบโฮโมจีไนซ์ในรูปแบบอื่นๆที่มีปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคตะกอนขนาดเล็กที่ต่ำกว่า จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของอนุภาคขนาดเล็กกับโครงสร้างพื้นและบริเวณขอบเกรนมีค่าที่ต่ำลง ทำให้มีการเกิดผลึกใหม่ขึ้นอย่างสมบูรณ์ (full recrystallize) แต่ผลึกใหม่ที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถขยายตัวให้มีขนาดที่ใหญ่ได้ เพราะจะยังคงถูกขัดขวางและจำกัดการเคลื่อนที่จากอนุภาคตะกอนขนาดเล็กที่ตรึงพื้นที่อยู่ จึงส่งผลให้เกรนที่ได้มีขนาดที่เล็กลงแปรผันตามปริมาณความหนาแน่นของตะกอนที่เกิดขึ้น

5. ระดับความหยาบผิวของชิ้นงานท่อหลังผ่านการดึงขึ้นรูปเย็นมีความสัมพันธ์กับขนาดเกรนที่ได้ของชิ้นงานท่อหลังผ่านกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปร้อน ชิ้นงานท่อที่อัดรีดจากแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่ไม่ผ่านการอบโฮโมจีไนซ์และที่ผ่านการอบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ 480^{o}C นาน 8 ชั่วโมงซึ่งมีขนาดของเกรนหยาบจะส่งผลให้เกิดปัญหาผิวเปลือกส้ม (orange peel) ที่รุนแรงสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเมื่อผ่านการดึงขึ้นรูปเย็น ส่วนชิ้นงานท่อที่อัดรีดจากแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่อบโฮโมจีไนซ์ในรูปแบบอื่นๆซึ่งมีขนาดของเกรนที่เล็กและละเอียด เมื่อนำไปดึงขึ้นรูปเย็นจะมีความหยาบผิวเปลือกส้มเกิดขึ้นน้อยมาก
6. สมบัติเชิงกลของชิ้นงานท่อหลังผ่านกระการบวนการอัดรีดร้อนให้ผลโดยรวมที่มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นในกรณีของชิ้นงานท่อที่อัดรีดจากแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่ไม่ผ่านการอบโฮโมจีไนซ์ที่มีค่าสมบัติเชิงกลสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกลไกสารละลายของแข็ง (solid solution strengthening) ของอะตอมธาตุแมงกานีสจำนวนมากที่ละลายแทรกตัวเข้าไปอยู่ในโครงสร้างพื้น ส่วนชิ้นงานท่อที่อัดรีดจากแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่อบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ 480^{o}C นาน 8 ชั่วโมง ซึ่งมีสมบัติเชิงกลที่สูงนั้น อาจได้รับผลมาจากโครงสร้างบางส่วนที่มีลักษณะเป็นไฟเบอร์ (fibrous structure) ที่มีความเครียดสูงจากการสะสมตัวของดิสโลเคชั่น [1]
7. รูปแบบการอบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 615^{o}C นาน 4 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในเตาอบและอบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 480^{o}C นาน 4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นทางเลือกที่อาจนำมากำหนดเป็นมาตรฐานในการผลิตแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทอัลลอยหมายเลข 3003 ขึ้นใช้เองภายในบริษัทฯ เนื่องจากผลขนาดเกรนที่ได้ของชิ้นงานท่อหลังกระบวนการอัดรีดร้อน และลักษณะของผิวเปลือกส้มที่เกิดขึ้นหลังการแปรรูปเย็นอยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่ดี และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานท่อที่อัดรีดจากแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่นำเข้าจากต่างประเทศแล้วถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่า ซึ่งการผลิตแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทอัลลอยหมายเลข 3003 ขึ้นมาใช้เองภายใต้รูปแบบการอบโฮโมจีไนซ์ข้างต้นนี้จะทำให้มีต้นทุนที่ลดลงประมาณ 30% เมื่อเทียบกับการนำเข้าแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทจากต่างประเทศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคนั้น ควรจะมีการศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope,TEM) เพิ่มเติม เพื่อยืนยันว่าอินเตอร์เมทัลลิกเฟสและอนุภาคตะกอนขนาดเล็ก (dispersiods) ที่พบมีโครงสร้างแบบใด มีการจัดเรียงตัวของระนาบอะตอมแบบไหน ซึ่งคาดว่าจะทำให้เกิดความเข้าใจในรายละเอียดที่ลึกลงไปได้มากยิ่งขึ้น
2. การวิเคราะห์ปริมาณความหนาแน่น การกระจายตัว และขนาดของอนุภาคตะกอนขนาดเล็กๆ (dispersiods) รวมถึงตะกอนอินเตอร์เมทัลลิกเฟสขนาดใหญ่ (constituent) ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้าง ควรมีการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่สามารถวัดค่าออกมาในเชิงปริมาณได้ ควบคู่ไปกับการเปรียบเทียบในเชิงคุณภาพ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณในเชิงตัวเลขและใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ในเชิงลึกได้มากยิ่งขึ้น
3. สำหรับผู้ที่สนใจจะศึกษาค้นคว้ารายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ ควรจะมีการพิจารณาถึงตัวแปรเกี่ยวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทและลักษณะรูปร่างหน้าตัดของชิ้นงานที่จะนำมาใช้ในการทดลองอัดรีด เพราะตัวแปรนี้จะส่งผลให้อัตราสัดส่วนพื้นที่หน้าตัดของแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทต่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (extrusion ratio) มีค่าที่เปลี่ยนไป ซึ่งอาจจะส่งผลให้อัตราความเครียดและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการอัดรีดเปลี่ยนไป ทำให้พฤติกรรมการเกิดผลึกใหม่หรือขนาดเกรนที่ได้อาจแตกต่างไปจากงานวิจัยนี้