บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ โดยให้ความร้อนแก่ชิ้นงานไปที่อุณหภูมิระหว่าง 750-1,000°C และปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการอบทางความร้อนที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและความแข็งของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ และได้ทำการทดสอบการกดขึ้นรูปร้อนโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษาคืออุณหภูมิการกดขึ้นรูปร้อน 800, 870, 900 และ 950°C และอัตราการเย็นตัวหลังการขึ้นรูปที่ 40 และ 100°C/s เพื่ออิทธิพลของอุณหภูมิและอัตราการเย็นตัวในการกดขึ้นรูปร้อนที่มีต่อความเค้นในการขึ้นรูป โครงสร้างจุลภาค และความแข็งของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ และสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้มาใช้ประโยชน์ในการกำหนดอุณหภูมิและอัตราการเย็นตัวที่เหมาะสมในการทุบขึ้นรูปร้อนของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ โดยผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้เป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

5.1 อิทธิพลของอุณหภูมิการอบทางความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์

การทดสอบอบทางความร้อนโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า อุณหภูมิส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบสูงขึ้น ทำให้เฟส α ลดลงและเฟส β' เพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ความแข็งเพิ่มมากขึ้นด้วย การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. หลังการอบที่อุณหภูมิ 750°C และ 800°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ประกอบด้วยเฟส α เป็นโครงสร้างหลัก และเฟส β', κ_{ii} และ κ_{iv}

2. หลังการอบที่อุณหภูมิ 870°C และ 900°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ประกอบด้วยเฟส β' เป็นโครงสร้างหลัก เฟส α และκ_{ii}

3. หลังการอบที่อุณหภูมิ 950°C และ 1,000°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ประกอบด้วยเฟส Widmanstatten αและ β' และไม่ปรากฏเฟส κ

5.2 อิทธิพลของอุณหภูมิกดขึ้นรูปร้อนและอัตราการเย็นตัวหลังการขึ้นรูปที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและความแข็งของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์

การทดสอบการกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคืออุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปและอัตราการเย็นตัวหลังการขึ้นรูป พบว่าอุณหภูมิการกดขึ้นรูปร้อนมีผลต่อความเค้นในการขึ้นรูป กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิการกดขึ้นรูปชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น จะทำให้ความเค้นในการขึ้นรูปมีค่าลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิและอัตราการเย็นตัวส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานภายหลังการขึ้นรูป โดยอัตราการเย็นตัวหลังการขึ้นรูปร้อนสูงขึ้น ทำให้โครงสร้างมีความละเอียดมากขึ้น และเกิดโครงสร้าง β' มากขึ้นด้วย ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างจุลภาคหลังการขึ้นรูปได้ดังนี้

1. การกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 800°C ทำให้ได้โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟส αเป็นโครงสร้างหลัก เฟส β', κ_{ii} และ κ_{iv} และการกดขึ้นรูปส่งผลให้โลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์เกิดการเปลี่ยนเฟสจากเฟส αเป็นเฟส βมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ที่ไม่มีการกดขึ้นรูป

2. การกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 870°C และ 900°C ทำให้ได้โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟส α, β'และ κ_{ii} ขนาดเล็ก และการกดขึ้นรูปส่งผลให้โลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์เกิดเฟส α มากกว่าโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ที่ไม่มีการกดขึ้นรูป

3. การกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 950°C ทำให้ได้โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟส α, Widmanstatten α และ β' โดยอัตราการเย็นตัวที่ 100°C/s ส่งผลให้โลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์มีปริมาณเฟส β' น้อยกว่าอัตราการเย็นตัวที่ 40°C/s เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงและอัตราการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดโครงสร้าง Widmanstatten α มากขึ้น ซึ่งโครงสร้าง Widmanstatten α มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์อย่างมาก โครงสร้าง Widmanstatten α แบบละเอียด จะส่งผลให้โลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์มีค่าความแข็งสูงมากขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการขึ้นรูปร้อนและอัตราการเย็นตัวหลังการขึ้นรูปของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์พบว่ายังคงเกิดเฟส β' ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่ต้องการ เพราะทำให้เกิดการกัดกร่อนอันเนื่องจากการสูญเสียธาตุอะลูมินั่มได้ง่าย [12] ดังนั้นหลังการทุบขึ้นรูปร้อนจึงควรควบคุมอัตราการเย็นตัวเพื่อลดการเกิดเฟส β' ทำให้โลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์มีสมบัติต้านทานการกัดกร่อนได้ดียิ่งขึ้น และสามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการอบที่อุณหภูมิ 675°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM B148-97 [17] นอกจากนี้ยังควรทำการศึกษาการกัดกร่อนของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์ภายใต้โครงสร้างจุลภาคหลังการขึ้นรูปร้อนที่แตกต่างกัน เพื่อทราบความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของโลหะผสมนิกเกิลอะลูมินั่มบรอนซ์สำหรับการนำไปใช้งานจริงทางทะเลมากยิ่งขึ้น