บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนรูปภายใต้กระบวนการกดขึ้นรูปร้อน การเตรียมชิ้นงานและขั้นตอนของการทดสอบ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

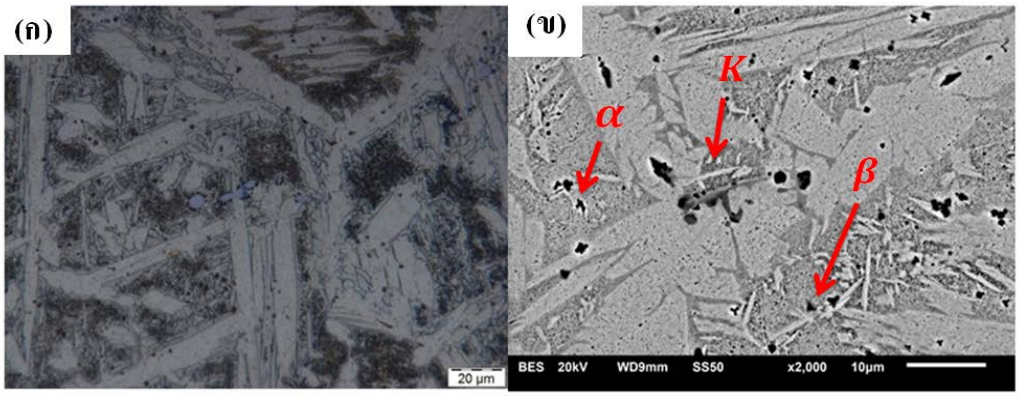
3.1.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

โลหะผสม MAB ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์มาจากกรมอู่ทหารเรือในรูปแบบชิ้นงานหล่อมีลักษณะเป็นก้อน (Ingot) ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 80 กิโลกรัม หลังจากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและปล่อยในเย็นตัวในอากาศ เพื่อที่จะให้ได้โครงสร้างจุลภาคที่เป็นเนื้อเดียวกัน องค์ประกอบทางเคมีของโลหะผสม MAB ที่ศึกษาได้ถูกตรวจสอบด้วยเครื่องออฟติคอลอีมิสชั่นสเปกโตมิเตอร์ (OES) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสม MAB ที่ใช้ในงานวิจัย

องค์ประกอบทางเคมีของโลหะผสม MAB คิดเป็น % โดยน้ำหนัก						
Cu	**Al**	**Mn**	**Fe**	**Ni**	**Si**	**Pb**
balanced	8.160	7.540	2.560	2.360	0.038	0.150

รูปที่ 3.1 (ก) แสดงภาพโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม MAB ตั้งต้นที่อยู่ในรูปของ ingot ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และรูปที่ 3.1 (ข) แสดงภาพโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม MAB ตั้งต้นที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด โหมด BSE ซึ่งจะเห็นรายละเอียดของโครงสร้างจุลภาคได้ชัดขึ้น



รูปที่ 3.1 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม MAB ตั้งต้นที่ผลิตด้วยการหล่อถ่ายด้วย (ก) กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (ข) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดโหมด BSE

3.1.2 เครื่อง ไดลาโตมิเตอร์ (Deformation Dilatometer) [48]

ดังรูปที่ 3.2 เครื่องไดลาโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษากระบวนการเสียรูปร้อนโดยมีฟังก์ชันที่สามารถให้ความร้อนแก่ชิ้นตัวอย่างในสภาพบรรยากาศควบคุม หรือสูญญากาศ และสามารถทำการกดเปลี่ยนรูปร้อนชิ้นตัวอย่าง ตลอดจนควบคุมอัตราการเย็นตัวเมื่อเสร็จสิ้นการขึ้นรูป จึงสะดวกในการจำลองสภาวะที่ใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตจริงโดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างในปริมาณน้อย นอกจากนี้ยังสามารถนำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบไปศึกษาสมบัติต่างๆของวัสดุ เช่น ปริมาณเฟส (Phase constituent) ลักษณะและขนาดเกรน ตะกอนของธาตุผสม (Precipitate) และความแข็ง (Hardness) เป็นต้น

นอกจากนี้เครื่องไดลาโตมิเตอร์ยังสามารถใช้ศึกษาพฤติกรรมอื่นๆ ของโลหะได้อีกด้วย เช่น ความต้านทานการเสียรูป (Deformation load) ที่อุณหภูมิ และอัตราการเสียรูปที่แตกต่างกัน การเกิดผลึกใหม่แบบพลศาสตร์ของโลหะระหว่างการเสียรูปหรือหลังการเกิดผลึกใหม่แบบพลศาสตร์ (Dynamic Recrystallization or Static Recrystallization) เฟสของโลหะที่ผ่านการอบชุบความร้อนที่อุณหภูมิ เวลา และอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกัน โดยแสดงผลเป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดที่อัตราการเย็นตัวต่างๆของชิ้นงานทดสอบซึ่งสามารถนำมาสร้างกราฟ Time Temperature Transformation (TTT) Diagram และ Continuous Cooling Transformation (CCT) Diagramได้ นอกจากนี้ยังสามารถจำลองลักษณะโครงสร้างจุลภาคของโลหะที่ศึกษาก่อนทำการเย็นตัวได้ด้วย เช่น ขนาดเกรนตั้งต้นของเฟสออสเตนไนต์ ปริมาณความเครียดที่โลหะได้รับก่อนการเย็นตัว

เครื่องไดลาโตมิเตอร์สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวของวัสดุเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ทำให้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน และอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสได้ นอกจากนี้เมื่อ

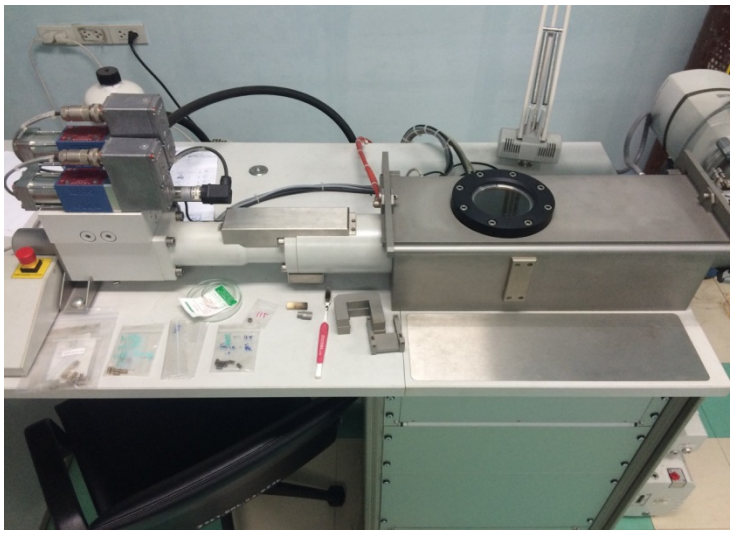
ประกอบกับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ เช่น ภาพถ่ายจากกล้อง Microscope ก็จะสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการตกตะกอน (Precipitation) ที่สภาวะ Heat Treatment Conditions ต่างๆได้ สำหรับเครื่องไดลาโตมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นรุ่น 805A/D โดยที่คุณสมบัติของเครื่องไดลาโตมิเตอร์จะแสดงในตารางที่ 3.2 จะสามารถให้ความร้อนแก่ชิ้นตัวอย่างด้วยอัตราสูงถึง 100 เคลวินต่อวินาที โดยขดลวดเหนี่ยวนำ และให้ความร้อนได้สูงสุดได้ที่อุณหภูมิถึง 1500 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 3.3 ในบรรยากาศควบคุม หรือ สูญญากาศ (ระดับ 10^{-6} บาร์) สำหรับแรงการขึ้นรูปสูงสุดคือ 20 กิโลนิวตัน โดยสามารถทำการกดขึ้นรูปด้วยความเครียดจริง (True strain) สูงสุดถึง 1.2 และสามารถทำการขึ้นรูปได้หลายครั้งแบบต่อเนื่อง (Multi-step) เมื่อเสร็จสิ้นการเสียรูป สามารถทำให้ชิ้นตัวอย่างเย็นตัวลงโดยก๊าซอาร์กอน หรือ ฮีเลียมด้วยอัตราการเย็นตัวสูงสุดถึง 100 เคลวินต่อวินาที ลักษณะชิ้นงานสำหรับการทดสอบเครื่องไดลาโตมิเตอร์เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร

ลักษณะการใช้งาน จึงมักจะเป็นการนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของวัสดุชนิดต่างๆ (แผนภาพการเย็นตัวอย่างต่อเนื่อง) และข้อมูลสมบัติทางกลของวัสดุที่อุณหภูมิสูง (กราฟความเค้น-ความเครียดที่อุณหภูมิและอัตราความเครียดต่างๆ) มาใช้ในการออกแบบกระบวนการผลิต การปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิต การกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตให้เหมาะสม (เช่น การกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนรูป อัตราการเปลี่ยนรูป อุณหภูมิ อัตราการเย็นตัว ฯลฯ) ตลอดจนการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ๆ

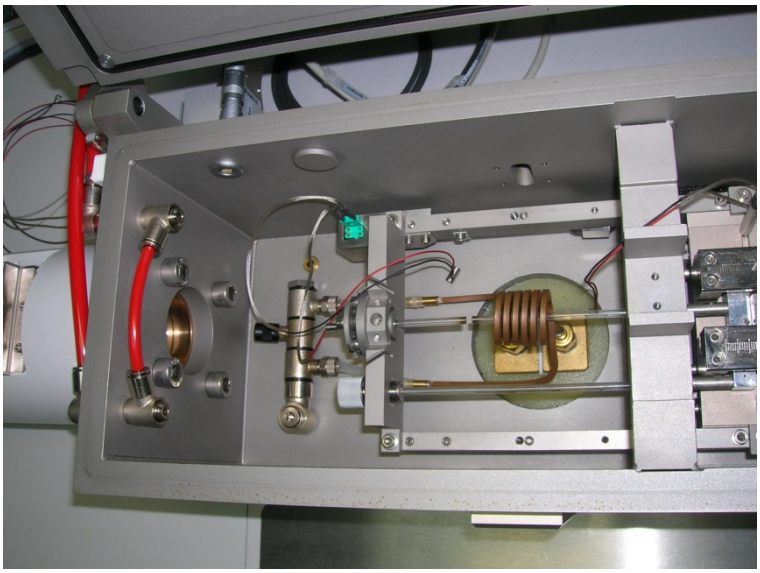
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของเครื่องไดลาโตมิเตอร์รุ่น 805A/D (Specification)

เกณฑ์ตัวดำเนินการ	คุณสมบัติของเครื่องไดลาโตมิเตอร์
อุณหภูมิใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะการทดสอบ - การทดสอบการเย็นตัว (Quenching) - การทดสอบเสียรูปทางกล (Deformation &Quenching)	 20-1500 และ-150-1000 องศาเซลเซียส 20-1500 องศาเซลเซียส
ลักษณะการให้ความร้อน	ขดลวดความร้อน (Inductive)
ลักษณะของชิ้นงานทดสอบ	Electro-Conductive Solid
บรรยากาศที่ใช้ในการทดสอบ	อากาศ สุญญากาศและปกคลุมด้วยแก๊สเฉื่อย
ความละเอียดในการวัด	0.05 μm/ 0.05 องศาเซลเซียส

เกณฑ์ตัวดำเนินการ	คุณสมบัติของเครื่องไดลาโตมิเตอร์	
	การทดสอบการเย็นตัว	การทดสอบเสียรูปทางกล
ลักษณะกายภาพของชิ้นทดสอบ	ทรงกระบอกตัน ทรงกระบอกกลวง เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 mm. ยาว 10 mm.	ทรงกระบอกตัน เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm. ยาว 10 mm.
อัตราการให้ความร้อนสูงสุด	4000 Ks^{-1}	100 Ks^{-1}
อัตราการเย็นตัวสูงสุด	2500 Ks^{-1}	100 Ks^{-1}
แรงที่ใช้ในการทำให้เสียรูป		สูงสุด 25 kN
ความเร็วที่ใช้ในการทำให้เสียรูป		0.01-125 mm s^{-1}
อัตราความเครียด		0.001-12.5 s^{-1}
ความเครียดจริง		0.05-1.2



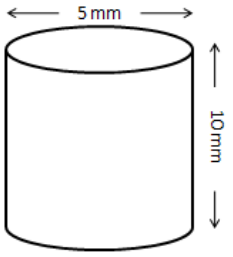
รูปที่ 3.2 เครื่องไดลาโตมิเตอร์



รูปที่ 3.3 ระบบให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ทำโดยการตัดแบ่งชิ้นงานเพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตรจากชิ้นงาน ingot ตั้งต้นดังแสดงในรูปที่ 3.4

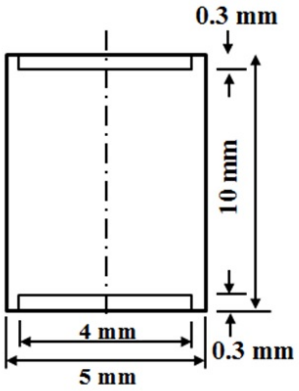


รูปที่ 3.4 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกดขึ้นรูปร้อนด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์

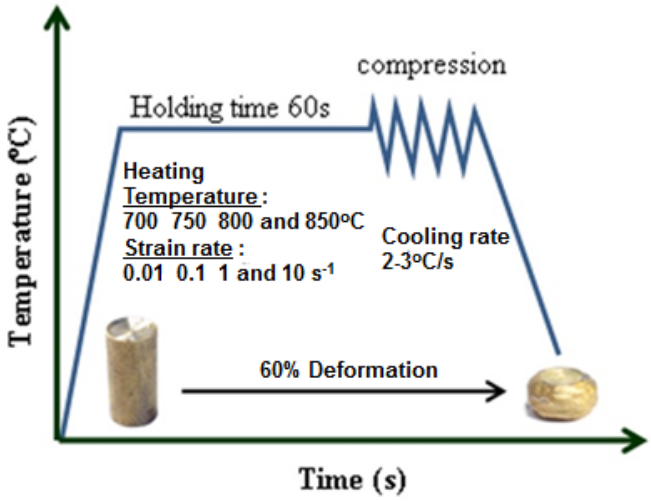
3.3 ขั้นตอนการทดสอบการกดขึ้นรูปร้อน

สำหรับการทดสอบการกดขึ้นรูปร้อน ชิ้นงานตั้งต้นเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และมีความสูง 10 มิลลิเมตร ตัวอย่างในแต่ละชิ้นงานที่ได้ทำการทดสอบจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตรและมีความสูง 0.3 มิลลิเมตรที่ปลายทั้งสองด้านของชิ้นงานจะทำเป็นที่กักเก็บสารหล่อลื่นซึ่งใช้เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างการทดสอบดังรูปที่ 3.5 จะเริ่มต้นโดยให้อุณหภูมิกับชิ้นงานด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที จนถึงอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

และให้อุณหภูมิกับชิ้นงานคงที่ต่อไปเป็นเวลานาน 1 นาที หลังจากนั้นจึงทำการเย็นตัวชิ้นงานลงถึงอุณหภูมิที่ต้องการการกดขึ้นรูปซึ่งในที่นี้ได้ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 700 750 800 และ 850 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วจะเริ่มทำการกดด้วยความเร็ว 0.01 0.1 1 และ 10 ต่อวินาที เพื่อทำการเปลี่ยนรูปวัสดุโดยจะหยุดการกดขึ้นรูปเมื่อชิ้นงานมีความสูงเป็น 4 มิลลิเมตร (60 % ของความเครียด) จากนั้นจึงทำการเย็นตัวชิ้นงานลงอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ขนาดชิ้นงานที่ได้เตรียมบ่าทั้งสองข้างเพื่อใส่สารหล่อลื่น



รูปที่ 3.6 กระบวนการทดสอบการเปลี่ยนรูปร้อน