

## เอกสารประกอบการปฏิบัติการทางโลหะวิทยา วิชา PTE 453 (Metallurgy Lab.II)

### เรื่อง การอบชุบเหล็ก (Heat Treatment of steels)

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อเข้าใจถึงหลักการ กรรมวิธีและขั้นตอนการอบชุบโลหะ
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอบชุบ
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งกับกรรมวิธีในการอบชุบ

#### บทนำ

หลักการอบชุบความร้อน มีความมุ่งหมายโดยทั่วไปเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเหล็ก ด้วยการเผาให้ร้อน และปล่อยให้เย็นตัวในอัตราที่ต่างกัน (Cooling rate) โดยอาศัยคุณสมบัติของเหล็กที่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบผลึก (Allotropy) ได้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ทำให้เราสามารถควบคุมสมบัติของเหล็กให้เปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุประสงค์ที่เราต้องการได้ การทดลองการอบชุบโลหะในปฏิบัติการนี้ จะนำชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน AISI เกรด 1040 และ 4140 ไปทำการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากนั้นนำไปชุบในตัวกลาง (Quenching media) ที่ต่างกัน หลังจากนั้นนำไปทำการวัดความแข็งเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งที่ได้ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดทักษะและเข้าใจถึงขั้นตอนของการอบชุบเหล็กที่พบในท้องตลาดทั่วไป

#### เอกสารที่ใช้อ่านประกอบการทดลอง

1. วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก, ศ.มนัส สติธิจินดา
2. Handbook of HEAT TREATMENT OF STEELS, Tata McGraw-Hill

#### ทฤษฎี

การอบชุบเหล็กนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กที่ผ่านการผลิตต่างๆ มา เช่น การขึ้นรูปร้อน (Forging, Hot rolling) การขึ้นรูปเย็น (Cold rolling, Drawing) การเชื่อม (Welding) เป็นต้น ซึ่งเหล็กที่ผ่านขั้นตอนดังกล่าว จะมีคุณสมบัติไม่ดีหลายประการ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงโครงสร้างภายในของเหล็กและเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ จึงได้มีการพัฒนากรรมวิธีการอบชุบเหล็ก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### การชุบแข็ง (Hardening)

เป็นการอบชุบความร้อนเพื่อต้องการให้เหล็กภายหลังการชุบมีความแข็งเพิ่มขึ้น เพื่อทนต่อการเสียดสีในขณะใช้งาน การชุบแข็งเป็นวิธีที่จะให้โครงสร้างของเหล็กสุดท้ายเป็นมาร์เทนไซต์ (Martensite) หรือเบนไนท์ (Benite) ขึ้นอยู่ค่าความแข็งสุดท้ายที่เราต้องการ การที่จะทำได้ ค่าความแข็งสูงภายหลังการอบชุบนั้น มีองค์ประกอบที่สำคัญอย่างน้อย 3 ประการ คือ

1. ปริมาณคาร์บอน
2. อุณหภูมิก่อนการชุบ
3. อัตราการเย็นตัว

โดยวิธีการชุบแข็งนั้น จะทำการให้ความร้อนกับเหล็กหรือชิ้นงาน จนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ  $800^{\circ}\text{C}$ - $900^{\circ}\text{C}$  ขึ้นกับชนิดของเหล็ก โดยปกติแล้วอุณหภูมิในการชุบจะสูงกว่าเส้น  $A_{c_3}$  ประมาณ  $30$ - $50^{\circ}\text{C}$  สำหรับเหล็ก Hypoeutectoid steel

เมื่ออบเหล็กได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้ว จะปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิดังกล่าวตามความหนาของชิ้นงาน คือ ประมาณ 1 ชั่วโมง ต่อความหนา 1 นิ้ว เพื่อให้มั่นใจว่า ชิ้นงานมีอุณหภูมิเท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน จากนั้นนำไปจุ่มในตัวกลาง (Quenching media) เช่น น้ำ, น้ำมัน, หรืออากาศ เพื่อให้ได้ความแข็งและโครงสร้างที่เราต้องการนำไปใช้งาน ในเหล็กเครื่องมือบางชนิด ค่าความแข็งสูงสุดจะไม่ได้มาจากการอบชุบเพียงครั้งเดียว เนื่องจากมีโครงสร้างอสเตนไนท์เหลือค้าง (Retained austenite) เหลืออยู่ในโครงสร้าง ซึ่งจะทำให้ขาดคุณสมบัติทางด้านความเหนียว จากกรรมวิธีการอบชุบที่กล่าวมา จะต้องนำมาทำการอบชุบอีกครั้งหรือเรียกว่า การอบคืนตัว (Tempering) เพื่อให้ได้ค่าความแข็ง ความเหนียว และคุณสมบัติทางกลอื่น ๆ ที่เราต้องการ

#### การอบอ่อนอย่างสมบูรณ์ (Full annealing)

มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เหล็กมีความอ่อนตัวสูงเพื่อให้ง่ายต่อการกลึง ใสได้ง่าย เพื่อทำให้เหล็กมีคุณสมบัติด้านไฟฟ้า และแม่เหล็กที่สม่ำเสมอ โดยทำการอบเหล็กให้มีอุณหภูมิสูงกว่าเส้น  $A_{c_3}$  ประมาณ  $30^{\circ}\text{C}$ - $50^{\circ}\text{C}$  สำหรับเหล็ก Hypoeutectoid และสูงกว่าเส้น  $A_{c_1}$  สำหรับเหล็ก Hypereutectoid ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงต่อความหนา 1 นิ้ว แล้วจึงปล่อยให้เย็นตัวอย่างช้า ๆ ภายในเตา โครงสร้างที่ได้จะใกล้เคียงกับแผนภูมิสมดุลคือ เฟอไรต์ (Ferrite,  $\alpha$ ) และคาร์ไบด์ (Carbide) ทำให้ความแข็งลดลงอย่างมาก

#### การอบอ่อนอย่างไม่สมบูรณ์ (Incomplete annealing)

อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การทำ Process annealing เป็นการอบอ่อนที่กระทำที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น  $A_{c_1}$  เพื่อเป็นการทำลายความเครียดที่เหลืออยู่ (Stress-relief) เนื่องมาจากการขึ้นรูปเย็นที่ช้าๆ เป็นเวลานาน เหล็กจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแล้วจึงปล่อยให้เหล็กเย็นตัวอย่างช้าๆ

#### การอบปกติ (Normalising)

มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงความเหนียว และขนาดเกรนของเหล็กให้มีความละเอียดมากขึ้น (Grain refinement) เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่สม่ำเสมอ โดยทำการอบเหล็กจนกระทั่งเหล็กมีโครงสร้างทั้งหมดเป็นออสเตนไนท์ (Austenite,  $\gamma$ ) ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงต่อความหนา 1 นิ้ว จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวภายในอากาศ การอบโดยวิธีนี้จะได้ความแข็งแรงสูงกว่าการอบอ่อนอย่างสมบูรณ์

### การอบคืนตัว (Tempering)

เหล็กที่ได้ภายหลังจากชุบแข็งจะมีโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วย มาร์เทนไซต์ (Martensite,  $\alpha'$ ) และออสเตนไนท์เหลือค้าง (Residual austenite) ถ้าเป็นเหล็กคาร์บอนสูง จะมี Proeutectoid cementite กระจุกกระจายอยู่ทั่วไปซึ่งจะเกิดความเครียดขึ้นภายใน เนื่องจากมีอัตราการเย็นตัวเร็วจากอุณหภูมิสูง คุณสมบัติที่ได้จะมีความแข็งแรงสูง แต่ขาดความเหนียวไม่ทนต่อแรงกระแทก ซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานบิดงอ หรือเกิดการแตกร้าวได้ในขณะใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการอบคืนตัว เพื่อคลายความเครียดภายในให้หมดไปหรือให้เหลืออยู่น้อยที่สุด และในขณะเดียวกันจะทำให้มาร์เทนไซต์แตกตัวให้โครงสร้างกิ่งสมดุล (Tempered martensite) ซึ่งจะมีสมบัติที่ดีขึ้นคือ มีความเหนียวลดลงเล็กน้อย แต่ความเหนียวจะสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิของการอบคืนตัวและเวลาที่ใช้

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชิ้นงานทดสอบ เหล็กเกรด 1040 และ 4140
2. เตาอบชุบชิ้นงานอุณหภูมิสูง
3. คีมคีบชิ้นงานออกจากเตา
4. เครื่องทดสอบความแข็งแรงระบบ Rockwell Scale C
5. อ่างสำหรับใส่ Quenching media
6. เครื่องวัดกระดาศทราย
7. Optical microscope

### วิธีการทดลอง

1. นำเหล็กเกรดต่าง ๆ เข้าเตาอบเพื่อให้ได้อุณหภูมิลบตามมาตรฐาน ( $840^{\circ}$ - $880^{\circ}$ C)
2. เมื่ออบถึงอุณหภูมิที่กำหนดให้แช่ชิ้นงานไว้ตามขนาดความหนาของชิ้นงาน
3. นำชิ้นงานออกจากเตาแล้วชุบลงในตัวกลาง (Quenching media) ที่กำหนดไว้ ส่วนชิ้นงานที่ต้องเย็นตัวในอากาศ ให้วางไว้ในที่มีลมถ่ายเทได้สะดวก

4. ชิ้นงานที่ต้องทำการอบคืนไฟ ให้นำเอากลับเข้าเตาเพื่อทำการอบอีกครั้งตามอุณหภูมิที่กำหนด ( $\sim 160^{\circ}\text{C}$ ) แล้วปล่อยให้วัสดุที่อุณหภูมิดังกล่าวตามความหนาของชิ้นงาน ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ
5. นำชิ้นงานมาทำการขัด เพื่อเอาส่วนที่เป็นออกไซด์สเกลออก
6. ตรวจสอบและเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของเหล็กแต่ละเกรด
7. วัดค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง ประเภท Rockwell scale C
8. บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

เหล็กเกรด					
อบที่ อุณหภูมิ					
ชุบใน	Hardness (HRc)				
	1	2	3	4	5
อบคืนตัวที่อุณหภูมิ					

เหล็กเกรด					
อบที่ อุณหภูมิ					
ชุบใน	Hardness (HRc)				
	1	2	3	4	5
อบคืนตัวที่อุณหภูมิ					

