

บทที่ 3

การอบชุบความร้อน

การอบชุบความร้อนที่ทำกับเหล็กกล้า จุดมุ่งหมายโดยทั่วไปเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กให้ดีขึ้นด้วยการใช้ความร้อนเปลี่ยนโครงสร้างของเหล็กที่ผ่านความร้อน และปล่อยให้เย็นตัวลงในของเหลวที่ช่วงเวลาสั้นๆ โดยอาศัยคุณสมบัติของเหล็กที่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบผลึกได้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ทำให้เราสามารถควบคุมคุณสมบัติของเหล็กให้เปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุประสงค์เช่น ต้องการให้เหล็กมีความอ่อนสูง เพื่อความมุ่งหมายในการขึ้นรูปได้สะดวก ให้เหล็กมีความแข็งแรงสูงเพื่อทนต่อการเสียดสี และต้องการให้เหล็กมีความเหนียวเพื่อใช้งานที่มีแรงกระแทกและแรงบิดตัวได้สูงได้ทนทาน คุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงด้วยการอบชุบความร้อนซึ่งมีอยู่หลายๆกรรมวิธี

การอบชุบความร้อนเหล็กกล้า

วัตถุประสงค์ของการชุบแข็ง เพื่อต้องการความแข็งแรงสูงขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอและเพิ่มคุณสมบัติทนแรงดึงให้สูงขึ้น เหล็กกล้าจะถูกให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิชุบแข็งด้วยความร้อนสูง มากกว่า 727°C เหล็กที่มีจำนวนโมเลกุลของคาร์บอนมาก จะถูกเปลี่ยนรูปร่างคุณสมบัติโดยกลายเป็นสารละลายของแข็ง และคงอุณหภูมินี้ไว้จนกระทั่งความร้อนกระจายทั่วชิ้นงาน โครงสร้างถูกเปลี่ยนเป็นออสเตไนต์ และหลังจากนั้นทำการจุ่มเหล็กกล้าที่มีอุณหภูมิสูง (อุณหภูมิระดับออสเตไนต์) ลงในของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งอาจจะเป็นน้ำ, น้ำมันหรืออากาศ คือทำให้เหล็กนั้นแข็งขึ้น เหล็กนั้นจะได้สถานะของแข็งที่มีอนุภาคของคาร์บอนที่แพร่เข้าไปในเนื้อของโครงสร้างเหล็ก โครงสร้างที่มีลักษณะเช่นนี้เรียกว่า “ มาร์เทนไซต์ ” โดยมีโครงสร้างที่แข็ง วัตถุประสงค์ของการชุบแข็งคือเพื่อให้ได้มาซึ่งโครงสร้างที่มีเป็นมาร์เทนไซต์นั่นเอง การอบชุบที่ถูกต้องตามหลักวิชาการเป็นแฟคเตอร์ที่มีความสำคัญมากต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องมือที่ทำจากเหล็กกล้า

การชุบแข็งจะเริ่มจากการเผาเหล็กให้มีอุณหภูมิสูงจนเหล็กมีโครงสร้างเปลี่ยนไปเป็นออสเตไนต์ ในช่วงอุณหภูมิ 760 – 840 °C เรียกการเผาในขั้นตอนนี้ว่า “ออสเตไนต์” แต่การเผาจะกระทำเป็นขั้น โดยมีการเพิ่มอุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มเป็น 2 ขั้นตอน โดยที่อุณหภูมิประมาณ 650 °C และหยุดแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้ขณะหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานที่ทำการชุบแข็ง เมื่อผ่านขั้นตอน Pre-heat แล้วจะเผาเหล็กจนถึงอุณหภูมิชุบแข็งที่ 760 – 840 °C เพื่อความแน่นอนให้โครงสร้างได้เปลี่ยนไปเป็นออสเตไนต์ระยะเวลาหนึ่งขึ้นอยู่กับความหนา

ภายหลังการทำออสเตไนต์ผ่าน ไป จะนำเหล็กออกจากเตา ชุบในสารชุบที่เป็นน้ำหรือน้ำเกลือ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มอัตราการเย็นตัว อาจใช้น้ำแข็งผสมเกลือ ถ้าเป็นชิ้นงานขนาดเล็กอาจชุบในน้ำมันแทนได้ หลังจากนั้นต้องทำการลดปริมาณของออสเตไนต์เหลือค้างให้น้อยที่สุดหรือหมดไป ซึ่งจะต้องใช้วิธีการชุบที่ต่ำกว่า 0 °C หรือบางที่เรียก Stabilization จะกระทำโดยการจุ่มลงในอากาศเหลว หรือในสารทำความเย็น ที่อุณหภูมิระหว่าง -79 °C ถึง -196 °C โดยการใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นตัวดึงความร้อนจากสารชุบ จากนั้นนำเข้าอบคืนตัวที่อุณหภูมิประมาณ 200 °C – 250 °C ขึ้นอยู่กับความแข็งสุดท้ายที่ต้องการ

3.1 ขั้นตอนที่ 3 ในการชุบแข็ง

การชุบแข็งจะเริ่มจากการเผาชิ้นงาน(เหล็ก) ให้มีอุณหภูมิสูงจนเหล็กมีโครงสร้างเปลี่ยนไปเป็นออสเตไนต์ในช่วงอุณหภูมิ 760°C -840 °C เรียกการเผาในขั้นนี้ว่า ออสเตไนต์ แต่การเผาจะกระทำเป็นขั้น โดยมีการทำ Pre-heat ที่อุณหภูมิประมาณ 680 °C และหยุดแช่ไว้ที่อุณหภูมินี้ โดยใช้เวลานี้ขึ้นอยู่กับรูปลักษณะของชิ้นงานที่ทำการชุบแข็ง เมื่อผ่านขั้นตอน Pre-heat แล้วจะเผาเหล็กจนถึงอุณหภูมิชุบแข็งที่ 760°C -840 °C เพื่อความแน่นอนให้โครงสร้างได้เปลี่ยนไปเป็นออสเตไนต์โดยสมบูรณ์จะทิ้งไว้ที่อุณหภูมิออสเตไนต์ระยะเวลาหนึ่งขึ้นอยู่กับความหนา โดยอาศัยแผนภูมิเวลา- ความหนา ซึ่งใช้ในทางปฏิบัติในการอบชุบเหล็กกล้า

ภายหลังการทำออสเตไนต์ ผ่านไป จะนำเหล็กออกจากเตา ชุบในสารชุบที่เป็นน้ำหรือน้ำเกลือ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มอัตราการเย็นตัว อาจใช้น้ำแข็งผสมน้ำเกลือ ถ้าเป็นชิ้นงานขนาดเล็กอาจชุบในน้ำมันแทน

การชุบแข็งแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ

3.1.1 การให้ความร้อน

3.1.1.1 ช่วงเริ่มให้ความร้อน

เป็นช่วงเร่งอุณหภูมิ เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างผิวภายนอกและภายในเนื้อชิ้นงานมากเกินไป หากไม่มีขั้นตอน ของการเร่งอุณหภูมิ อาจเป็นสาเหตุทำให้ชิ้นงานบิดหรือคดงอได้ เวลาของการให้ความร้อน หมายถึงช่วงเวลาที่เริ่มให้ความร้อนกับผิวชิ้นงานจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

3.1.1.2 ช่วงให้อุณหภูมิสูงสุด

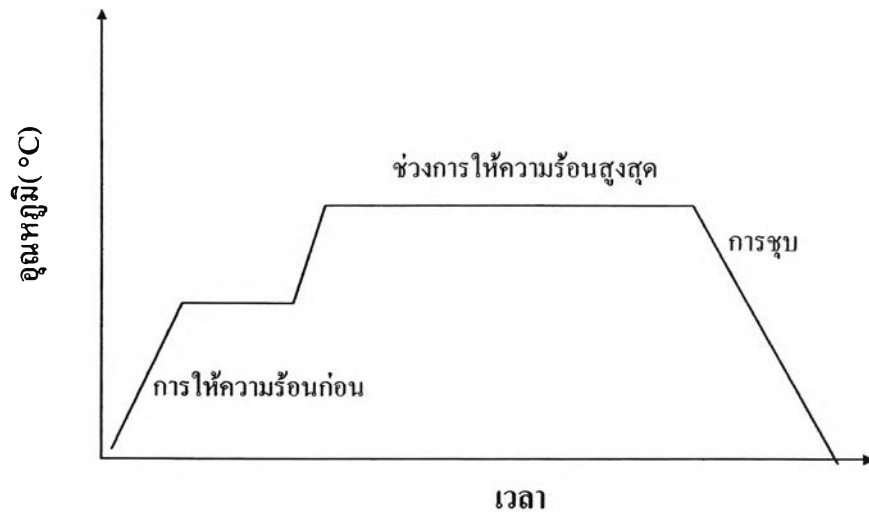
เป็นอุณหภูมิสูงสุดของการอบชุบความแข็ง ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ในระยะเวลาที่กำหนด เพื่อให้เวลากับโมเลกุลในการจัดเรียงตัวภายในให้สมบูรณ์ที่สุด หรือเพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ ที่ต้องการ และเพื่อให้โครงสร้างคงสภาพ จึงจำเป็นต้องลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น ขั้นตอนของการให้ความร้อน และการชุบ จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเกิดความแข็งของชิ้นงาน

3.1.2 การชุบแข็งเหล็กกล้าด้วยการชุบในตัวยาง

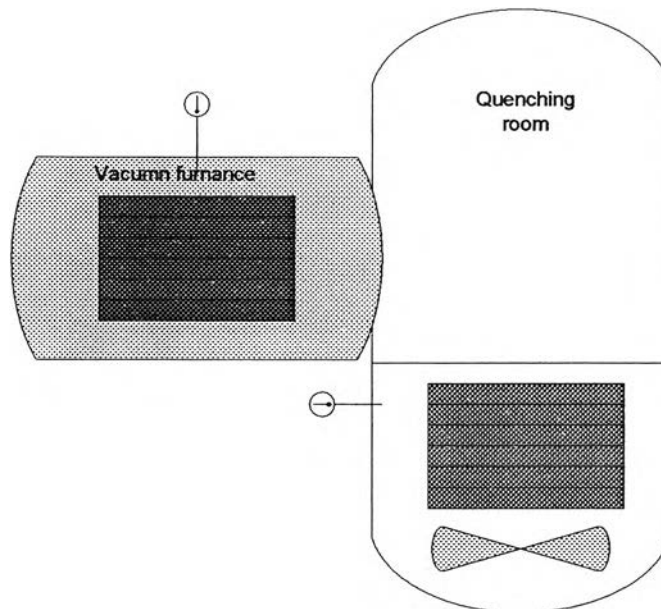
การชุบแข็งเหล็กกล้าในที่นี้หมายถึง การทำให้เหล็กกล้ามีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยเป็นขั้นตอนต่อจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน โดยชิ้นงานจะถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วโดยเหล็กกล้าจะถูกทำให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิชุบแข็ง และคงอุณหภูมินี้ไว้จนกระทั่งความร้อนกระจายทั่วชิ้นงาน เกร็นเปลี่ยนเป็นออสเทนไนท์ จากนั้นจึงนำชิ้นงานชุบลงในตัวยาง ซึ่งอาจจะเป็น น้ำมัน หรือ อากาศ ถ้าการเย็นตัวของเหล็กกล้าขณะชุบสูงกว่าความเร็วเย็นตัววิกฤตของเหล็กนั้น ก็จะทำให้โครงสร้างของเหล็กนั้นสามารถเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ได้

สำหรับการเลือกใช้อุณหภูมิชุบแข็งนั้น ขึ้นอยู่กับประเภทของเหล็กกล้า เช่นเหล็กกล้าไฮโปยูเทคทอยด์อุณหภูมิชุบแข็งจะอยู่เหนือ AC_3 ประมาณ $30^{\circ}C$ ส่วนเหล็กกล้าผสมนั้นจะมีอุณหภูมิชุบแข็งสูงกว่านี้ ซึ่งผู้ผลิตเหล็กจะเป็นผู้แนะนำอุณหภูมิชุบแข็งที่เหมาะสมให้

การเลือกชนิดของตัวยางในการชุบแข็งนั้น ก็ขึ้นอยู่กับประเภทของเหล็กกล้าเช่นกัน เพราะเหล็กกล้าแต่ละชนิด มีค่าความเร็วเย็นตัววิกฤตแตกต่างกัน



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการอบชุบ



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของเตาเผาและห้องอบชุบชิ้นงาน

3.1.3 การระบายความร้อนภายหลังการชุบ

เป็นขั้นตอนต่อจากการชุบ เมื่อชิ้นงานผ่านการอบชุบความร้อนแล้วจะต้องทำการระบายความร้อนด้วยพัดลมจนถึงอุณหภูมิห้อง

3.1.4 การอบชุบที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศา

จากการแสดงขั้นตอนการชุบแข็งของเหล็กกล้า จะมีขั้นตอนของการชุบที่ต่ำกว่าศูนย์องศาหรือบางทีจะใช้คำว่าสเตบิลไอเซอร์ ซึ่งมีความหมายถึงการทำให้เหล็กคงรูป และขนาดที่แน่นอนมีการเปลี่ยนแปลงขนาดน้อยมาก โดยการทำให้ออสเตไนท์เหลือค้างให้น้อยที่สุดหรือหมดไป โดยเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ให้มากที่สุด ซึ่งจะต้องใช้วิธีการชุบที่ต่ำกว่า 0°C และทำการอบคืนตัวต่อไป

การชุบต่ำกว่า 0°C จะกระทำโดยการจุ่มลงในอากาศเหลวหรือในสารรีฟริจิแรนต์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -79°C ถึง -196°C โดยการใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นตัวดึงความร้อนจากสารชุบซึ่งเป็นสารละลายออร์แกนิก (Organic Liquid)

โดยหลักการทั่วไปแล้วเราไม่ต้องการให้มีออสเตไนท์เหลือค้างภายหลังการชุบแข็ง โดยเหตุผล 2 ประการที่สำคัญคือ

1. ออสเตไนท์ เป็น โครงสร้างที่มีความแข็งต่ำ ถ้าภายหลังการชุบแข็งมีออสเตไนท์เหลือค้างปริมาณสูงความแข็งของเหล็กก็จะยิ่งน้อยกว่าที่ควรจะเป็น
2. ออสเตไนท์เหลือค้าง มีโอกาสเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ เมื่อถูกแรงกดหรือดึงในขณะใช้งาน ซึ่ง โดยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของออสเตไนท์จะมีปริมาตรจำเพาะ ต่ำกว่ามาร์เทนไซต์ ดังนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงย่อมจะมีผลโดยตรงกับขนาดของชิ้นงาน กล่าวคือ มีการขยายตัวซึ่งแน่นอนในสภาพของแข็งและที่อุณหภูมิห้องจะก่อให้เกิดความเครียดขึ้นกับเหล็ก อันเป็นผลทำให้เกิดการแตกร้าว เกิดความเสียหายเพราะอายุของการ ใช้งานของเครื่องมือจะสั้นลง

3.1.5 การอบคืนตัว

เหล็กภายหลังการอบชุบแข็งจะมีโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยมาร์เทนไซต์และออสเตไนท์เหลือค้าง ถ้าเป็นเหล็กคาร์บอนสูง จะมีโปรยูต์คตอยด์ซีเมนต์ไคต์กระจายอยู่ทั่วไป นอกจากนี้เหล็กที่ผ่านการชุบแข็งจะเกิดความเครียดภายใน อันเนื่องมาจากอัตราการเย็นตัวที่เร็วจากอุณหภูมิสูง คุณสมบัติของเหล็กตามลักษณะที่กล่าวจะมีความแข็งสูง แต่จะขาดคุณสมบัติด้านความเหนียวไม่ทนต่อแรงกระแทกและความเครียดภายในที่เกิดขึ้นจะมีส่วนทำให้ชิ้นงานบิดงอหรืออาจเกิดการแตกร้าวในขณะใช้งานได้ ดังนั้นเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งก่อนนำไปใช้งานควรจะต้องนำมาทำการอบคืนตัว เพื่อคลายความเครียดภายในให้หมดไป หรือเหลืออยู่น้อยที่สุด และในขณะเดียวกันจะทำให้มาร์เทนไซต์แตกตัวให้โครงสร้างกึ่งสมดุล ซึ่งจะมีผลอย่างกว้างขวางต่อ

คุณสมบัติของเหล็ก ดังเช่น ความแข็งแรงจะลดลงแต่ความเหนียวจะกลับสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิของการอบคืนตัวและเวลาที่ใช้

การอบคืนตัวเป็นวิธีการเผาเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A1 และจะปล่อยให้เย็นตัวลงช้าๆ ภายในเตา การเปลี่ยนแปลงของมาร์เทนไซต์และออสเทนไนต์เหลือค้างไปสู่โครงสร้างที่สมดุลจะเกิดขึ้นในอุณหภูมิต่างๆดังนี้

ในทางปฏิบัติแบ่งช่วงอุณหภูมิสำหรับการอบคืนตัวออกเป็น 3 ช่วงคือ

การอบคืนตัวที่อุณหภูมิต่ำ ($150^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเครียดภายใน และปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านความเหนียว โดยพยายามรักษาระดับความแข็งแรงไว้ในระดับใกล้เคียงกับความแข็งที่ได้ภายหลังจากการอบชุบแข็ง เวลาที่ใช้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง โครงสร้างของเหล็กจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

การอบคืนตัวที่อุณหภูมิปานกลาง ($350^{\circ}\text{C} - 450^{\circ}\text{C}$) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เหล็กมีความเหนียวสูง และมีคุณสมบัติทางด้านการยึดหยุ่นสูง ส่วนใหญ่ใช้สำหรับเหล็กทำหมอบสปริง

การอบคืนตัวที่อุณหภูมิสูง ($500^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$) จะกระทำเมื่อต้องการทำลายความเคียดภายในให้หมดไปและเพื่อให้เหล็กมีคุณสมบัติทางด้านความเหนียวสูง โดยมีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์สูงด้วย

3.2 อัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะสม

การกำหนดอัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายประการเช่น ส่วนผสมของเหล็ก โครงสร้างเดิม ความเครียดเหลือค้าง รูปร่างและขนาดของชิ้นงานที่จะทำการชุบแข็ง

ปกติเหล็กเมื่อบรรจุเข้าเตาเผา ความร้อนที่เหล็กได้รับที่ผิวกับใจกลางจะไม่เท่ากันในตอนแรก เพราะกว่าความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเหล็กเข้ามาถึงใจกลางย่อมต้องใช้เวลาการเผาในอัตราสูง ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวกับใจกลางมีค่ามาก การบิดงอมีมากซึ่งจะทำให้แตกร้าวได้ง่าย โดยทั่วไปเราแบ่งอัตราการเผาไว้ 3 อัตรา ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเตา

อัตราการเผาช้า เป็นวิธีที่เริ่มต้นโดยบรรจุเหล็กเข้าเตาพร้อมๆกับการให้ความร้อนแก่เตาเผาพร้อมๆกันอุณหภูมิทั้งของเตาและชิ้นงานจะร้อนขึ้นในอัตราใกล้เคียงกันในลักษณะเช่นนี้ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวกับใจกลางของเหล็กมีน้อย การเผาในลักษณะเช่นนี้เหมาะสำหรับเหล็ก

ที่มีคาร์บอนสูงมีความเครียดเหลือค้างมาจากการขึ้นรูป รูปร่างซับซ้อนและมีพื้นที่หนาบางต่างกันมาก

อัตราการผลิตสูง วิธีนี้จะเผาเตาให้มีอุณหภูมิเท่าที่ต้องการ จากนั้นจึงบรรจุเหล็กเข้าเตา ภายหลัง หรือเป็นในกรณีที่เตากำลังใช้งานอยู่ เมื่อนำเอาเหล็กออกไปชุบหมดแล้ว ก็เริ่มบรรจุเหล็กชุดต่อไปใหม่ ลักษณะเช่นนี้อัตราการผลิตจะสูงอุณหภูมิระหว่างผิวกับใจกลางจะแตกต่างกันมากในตอนเริ่มต้น แต่จะไปเท่ากันในระยะเวลาที่สั้นกว่าวิธีแรก การเผาในอัตราสูงเหมาะสำหรับงานชิ้นเล็กๆ รูปร่างไม่ซับซ้อน

สำหรับช่วงเวลาที่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิที่ต้องการ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ออสเตไนท์ที่สม่ำเสมอและให้อุณหภูมิทั้งบริเวณผิวและใจกลางเท่ากัน ไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัวขึ้นอยู่กับหลักในการปฏิบัติ และการใช้งานและค่าความแข็งที่ต้องการ

3.3 ของเหลวสำหรับการชุบแข็ง

ของเหลวที่ใช้สำหรับการชุบแข็งที่ดี โดยหลักเกณฑ์ทั่วไปจะต้องให้อัตราการเย็นตัวที่สูงกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤติ ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ออสเตไนท์แตกตัวไปเป็นเฟอไรต์ หรือโครงสร้างอื่นๆที่ไม่ใช่มาร์เทนไซต์ และที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือควรจะให้อัตราการเย็นตัวที่ช้าลงในช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงจากออสเตไนท์ไปเป็นมาร์เทนไซต์ ซึ่งจะเป็ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 200 – 400 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเครียดภายในกับชิ้นเหล็กมากนัก มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการบิดงอ หรือแตกร้าวขึ้นได้ ของเหลวสำหรับการชุบแข็งที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ น้ำ, น้ำเกลือ, น้ำด่าง, น้ำมัน, เกลือละลาย และอากาศ

การถ่ายเทความร้อนของของเหลว สามารถแยกออกเป็น 3 ลักษณะที่ต่างกันเมื่อสัมผัสกับเหล็กร้อน

ขั้นแรก เมื่อจุ่มชิ้นเหล็กลงไป ของเหลวจะสัมผัสกับเหล็กที่ร้อนจัด ของเหลวรอบๆจะได้รับความร้อนสูงจนกลายเป็นไอหุ้มแท่งเหล็กไว้ ในลักษณะฟิล์มบางๆ การถ่ายเทความร้อนในช่วงนี้จะช้า เพราะความร้อนต้องผ่านฟิล์มบางๆ ซึ่งมีสภาพเป็นตัวนำความร้อนต่ำ แต่จะเป็นอยู่ในระยะสั้นๆ เมื่อไอของของเหลวรวมตัวกันมากก็จะลอยขึ้นหรืออาจจะแตกออก

ขั้นที่สอง เมื่อฟิล์มบางๆ ของไอที่หุ้มเหล็กแตกออก ของเหลวที่อยู่รอบนอกจะเข้าสัมผัสแท่งเหล็กในช่วงนี้ ของเหลวรอบๆ ซึ่งได้รับความร้อนอยู่แล้วในขั้นแรก เมื่อเข้าสัมผัสก็จะรับความร้อนจำนวนมาก จะเกิดการเดือดและกลายเป็นไอ แต่ไม่มีโอกาสหุ้มแท่งเหล็กเหมือนในครั้งแรก ทั้งนี้เพราะของเหลวอยู่ในสภาพเกิดการเดือด และกลายเป็นไอทำให้มีลักษณะเหมือนกับการ

กวน ของเหลวมีโอกาสสัมผัสกับแท่งเหล็กตลอดเวลา และถ่ายเทความร้อนได้ปริมาณมาก ยิ่งการเกิดเป็นไอเกิดขึ้นได้มาก ความร้อนจากแท่งเหล็กยิ่งถูกถ่ายเทออกมาได้มากเพราะของเหลวทั่วไปมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเปลี่ยนเป็นไอสูง ในขั้นนี้อัตราการเย็นตัวจะสูงมาก

ขั้นที่สามเป็นขั้นที่มีอัตราการเย็นตัวช้าลง เมื่อความร้อนจากแท่งเหล็กลดลง อุณหภูมิของของเหลวเริ่มต่ำลงกว่าจุดเดือด ความร้อนจะถูกถ่ายเทออกไปโดยการพาตัวของเหลวเพียงอย่างเดียว จึงทำให้อัตราการเย็นตัวลดต่ำลง จนถึงจุดที่อุณหภูมิเท่ากันทั้งแท่งเหล็กและของเหลว

น้ำมันจืดว่าเป็นของเหลวที่ให้คุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนต่ำให้อัตราการเย็นตัวสูงสุดประมาณ 200 องศาเซลเซียสต่อวินาที ซึ่งไม่สูงพอสำหรับการชุบ เพื่อให้ได้มาร์เทนไซต์สำหรับเหล็กคาร์บอน หรือเหล็กผสมต่ำยังเป็นงานชิ้นโตโอกาสได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์เป็นไปได้ยาก น้ำมันจึงเหมาะสำหรับการชุบแข็งเหล็กที่มีส่วนผสมสูง ออสเทนไนต์มีเสถียรภาพสูง และมีอัตราการเย็นตัววิกฤตช้ากว่าเกณฑ์ปกติ น้ำมันมีข้อคืออยู่ตรงที่ให้อัตราการเย็นตัวสม่ำเสมอ ไม่ทำให้เกิดความเครียดมากนัก การที่จะเพิ่มคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำมันสามารถทำได้โดยการเผาให้ร้อนประมาณ 50-80 องศาเซลเซียส น้ำมันจะช่วยทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น น้ำมันที่ใช้สำหรับการชุบแข็งจะต้องเป็นน้ำมันที่ได้จากปิโตรเลียมและมีจุดติดไฟสูงประมาณ 160-170 องศาเซลเซียส

3.3.1 การควบคุมคุณภาพน้ำมันผ่านความร้อน

จากการที่ผ่านการใช้งานชุบความร้อนหลายครั้ง น้ำมันที่ผ่านความร้อนจะมีการเสื่อมสภาพ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติภายในตัวของน้ำมัน สารโพลีเมอร์เกิดการออกซิไดซ์ การแตกตัวด้วยความร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนหรืออัตราการเย็นตัวลดลง ด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้ ค่าความหนืดเกิดการเปลี่ยนแปลง การเกิดตะกอน และการรวมตัวของตะกอนที่ก่อตัวขึ้นมากเกินไปจะทำให้เกิดคราบบนผิวของวัตถุที่เป็นเหล็กในระหว่างทำการชุบแข็ง และเป็นสาเหตุของการเกิดจุดอ่อนตัว เพื่อป้องกันสิ่งเหล่านี้ล่วงหน้า จำเป็นจะต้องควบคุมคุณภาพของน้ำมันผ่านความร้อนขณะใช้งาน โดยมีการตรวจสอบคุณภาพเป็นระยะ โดยมีหัวข้อการทดสอบและมาตรฐานการควบคุมคุณภาพของน้ำมันผ่านความร้อน ดังนี้

3.3.1.1 ความหนืด ($\text{mm}^2 / \text{วินาที}$) ที่อุณหภูมิ 40 และ 100 องศาเซลเซียส)

ค่าที่แสดงความหนืดของน้ำมัน ค่ายิ่งมากความหนืดยิ่งมากขึ้น การสัมผัสกับอากาศ น้ำมันผ่านความร้อนจะเกิดการออกซิไดซ์ของโพลีเมอร์ และเมื่อโพลีเมอร์ก่อตัวกัน จะทำให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม จากการที่น้ำมันผ่านความร้อนต้องสัมผัสกับเหล็กที่

มีความร้อนสูง น้ำมันผ่านความร้อนจะเกิดการแตกตัวเนื่องมาจากความร้อนซึ่งจะส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันลดลง

ภายใต้สภาพการใช้งานทั่วไป น้ำมันผ่านความร้อนทั้งแบบที่โพลีเมอร์เกิดการออกซิเดชัน และเกิดการแตกตัวด้วยความร้อน จะเกิดตามกันอย่างต่อเนื่องในเวลาเดียวกัน และในสภาพที่โพลีเมอร์เกิดการออกซิเดชันที่รุนแรงกว่า ความหนืดจะเพิ่มขึ้น และสภาพที่เกิดการแตกตัวด้วยความร้อน ความหนืดจะลดลง ในกรณีที่ค่าความหนืดมีค่าต่ำเกินไปไปจะมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ

ในกรณีสภาพการใช้งานที่ใช้ระบบปิด ซึ่งน้ำมันจะไม่สัมผัสอากาศ ดังนั้นการเกิดออกซิเดชันของโพลีเมอร์จะน้อยมาก แต่จะเกิดการแตกตัวเนื่องจากความร้อนรุนแรงมากกว่า ดังนั้นในกรณีความหนืดของน้ำมันจึงมีแนวโน้มที่ลดต่ำลง

หากความหนืดของน้ำมันเบี่ยงเบนจากมาตรฐานอย่างรุนแรงอาจจะเกิดผลกระทบต่อค่าความแข็งและความบิดเบี้ยวของวัสดุที่ทำการชุบ ในกรณีนี้จะต้องทำการปรับค่าความหนืดของน้ำมัน โดยการเติมน้ำมันใหม่หรือเปลี่ยนถ่ายน้ำมันทั้งหมด

3.3.1.2 จุควาไฟฟ้า

เป็นอุณหภูมิค่าสุดที่สามารถทำให้สารแปรสภาพเป็นไอบริเวณผิวหน้าของสาร ซึ่งมากพอที่จะผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมถึงจุดที่มีค่าค่าสุดถึงค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิงที่ถูกไหม้เป็นไฟวบขึ้นเท่านั้น

จุควาไฟฟ้าของน้ำมันผ่านความร้อนจะมีค่าต่ำลงในกรณีที่น้ำมันมีการเสื่อมสภาพ ด้วยปริมาณของน้ำมันที่แตกตัวไปแล้ว หรือมีการปนเปื้อนโดยน้ำมันชนิดอื่นๆ หรือน้ำ ในกรณีนี้เป็นการยากที่จะปรับค่าจุควาไฟฟ้าของน้ำมันที่เคยมีค่าค่าสุดไปแล้ว ให้สูงขึ้นอีก กรณีจึงต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันทั้งหมด

3.3.1.3 กากคาร์บอน (อัตราร้อยละของมวล)

สิ่งตกค้างจากการที่เกิดคาร์บอนขึ้นเมื่อน้ำมันตัวอย่างเกิดการระเหยไปและเกิดการแตกตัวด้วยความร้อน

โดยทั่วไปกากคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นตามการเสื่อมสภาพของน้ำมัน อย่างไรก็ตาม ยังมีน้ำมันอีกหลายชนิดที่มีส่วนผสมของสารเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายความร้อน ความเสถียรของน้ำมัน และความใสของน้ำมัน แต่พบว่าสารผสมเหล่านี้บางชนิดมีกากคาร์บอนในปริมาณที่สูง ดังนั้นจึงเป็นการยากแก่การหาระดับของการเสื่อมสภาพด้วยปริมาณของกากคาร์บอนเท่านั้น การ

เพิ่มปริมาณของกาบคาร์บอน การเพิ่มปริมาณของตะกอนและความหนืดที่สูงขึ้นของน้ำมันเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาในเวลาเดียวกัน

3.3.1.4 ปริมาณน้ำ (อัตราร้อยละของปริมาณ)

ปริมาณของน้ำขณะที่น้ำมันผ่านความร้อนดูดซับน้ำจากบรรยากาศตามธรรมชาติจะมีประมาณ 0.03 ~ 0.05 % และน้ำส่วนที่เกินจากนั้นสามารถถือได้ว่าเป็นน้ำที่ดูดซับเข้ามาหรือรั่วซึมมาจากแหล่งอื่นๆ

ด้วยปริมาณน้ำส่วนเกินที่ผสมอยู่ในน้ำมัน เป็นผลทำให้ให้น้ำมันเกิดรอยแตกร้าวและการบิดเบี้ยวของชิ้นงานมากขึ้น พร้อมทั้งลดความใสหรือมันวาวของวัตถุที่นำมาชุบ

เนื่องจากหากมีปริมาณน้ำปนอยู่ในปริมาณสูงจะมีความเสี่ยงในการเกิดอันตรายจากอ็อกซิเดชัน ดังนั้นให้หยุดใช้แล้วเปลี่ยนมาใช้น้ำมันใหม่ทั้งหมดหรือให้ใช้น้ำมันที่มีปริมาณน้ำลดลงแล้ว

3.3.1.5 ตะกอน (อัตราร้อยละของมวล)

ตะกอนคือสารที่ไม่ละลายในเฮกเซน ที่อยู่ในรูปของการออกซิเดชันและการเสื่อมสภาพของน้ำมัน ค่ายิ่งมากขึ้นตะกอนที่ผสมอยู่ก็ยังมีปริมาณมาก

ตามปกติตะกอนจะสะสมมากขึ้นตามอายุของน้ำมัน (โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดการออกซิเดชัน) และถ้ามีส่วนผสมเกินกว่า 0.1 ~ 0.2 % จะมีผลกระทบกับความแข็งของการชุบแข็งและความสคิสอยู่บ้าง และจะกลายเป็นสาเหตุการอ่อนตัวบนวัตถุที่นำมาชุบชิ้น อีกทั้งจะต้องระวังด้วยว่าจะมาเกาะรวมตัวกับน้ำ

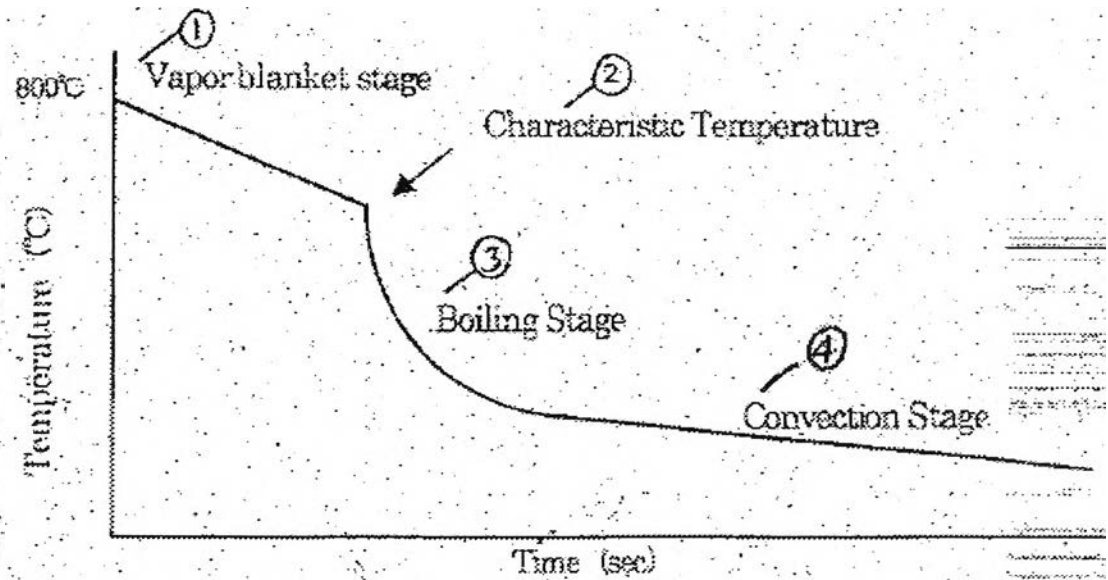
หากปริมาณของตะกอนมีเกิน 0.2% ให้กำจัดออกด้วยการกรองแบบหมุนเหวี่ยง มิฉะนั้นก็ทำการเปลี่ยนน้ำมันใหม่ทั้งหมด

3.3.1.6 ความสคิส

การประเมินค่าความสคิสโดยการสังเกตผิวของวัตถุที่ทำการชุบแข็งแล้ว โดยทั่วไปความสคิสจะลดลงพร้อมกับอายุของน้ำมันผ่านความร้อนแต่ก็มีสารอื่นอื่นอยู่ด้วย (คลอรีน ซัลเฟอร์ ฯลฯ) ที่ขัดขวางความสคิสหากสิ่งเหล่านี้ถูกผสมลงไปน้ำมัน พร้อมกับวัสดุที่จัดเตรียมมีความสะอาดไม่เพียงพอ รวมทั้งการปนเปื้อนของน้ำมันชนิดอื่นๆ เป็นสาเหตุทำให้ความใสลดลง

3.3.1.7 เส้นกราฟแสดงการระบายความร้อน

การประเมินค่าของประสิทธิภาพการระบายความร้อนของน้ำมันผ่านความร้อนตามรูปที่ 3.2



หมายเลข 1 หมายถึง ช่วงของการกลายเป็นไอน้ำ (Vapour blanket stage)

หมายเลข 2 หมายถึง อุณหภูมิที่เป็นลักษณะเฉพาะ (Characteristic temperature)

หมายเลข 3 หมายถึง ระยะเดือด (Boiling stage)

หมายเลข 4 หมายถึง ระยะการพาความร้อน (Convection stage)

รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการระบายความร้อน

3.4 ความรุนแรงของการซุบ

ความรุนแรงของการซุบเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางวิกฤต D มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ดังตัวอย่างเช่นการซุบน้ำกับการซุบน้ำมันหรือการซุบในของเหลวอยู่นิ่งกับของเหลวที่มีการกวนให้เคลื่อนไหว ค่า D จะมีผลเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นการศึกษาเรื่องของความรุนแรงในการซุบจึงเป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่ง

ตามความหมายของคำว่าความรุนแรงของการซุบ นั้นหมายถึงความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนจากภายในใจกลางของแท่งเหล็กออกมาบริเวณผิวกับปริมาณความร้อนที่ของเหลว

สำหรับซูป จะพาออกไปยังบรรยากาศรอบๆ ได้ Grossman ได้กำหนดค่าของความรุนแรงของการซูป (H) ได้ดังนี้

$$H = \alpha / 2\lambda$$

เมื่อ α = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างแท่งโลหะกับสารซูป

λ = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสารซูป

จากการทดลองวัดค่า H ของสารซูปในลักษณะต่างๆ ปรากฏได้ค่าแสดงในตาราง

ตารางที่ 3.1 ค่าความรุนแรงของการซูปในลักษณะการกวนต่างๆกัน

ลักษณะของการกวน	อากาศ	น้ำมัน	น้ำ	น้ำเกลือ
ไม่มีการเคลื่อนไหวของแท่งเหล็กและการซูป	0.02	0.25 ~ 0.30	0.9 ~ 1.0	2.0
เคลื่อนไหวล็กน้อย	.....	0.30 ~ 0.35	1.0 ~ 0.1	2.0 ~ 2.2
เคลื่อนไหวปานกลาง	.....	0.35 ~ 0.40	1.2 ~ 1.3	.....
เคลื่อนไหวมาก	.....	0.40 ~ 0.50	1.4 ~ 1.5	.....
เคลื่อนไหวแรง	0.05	0.50 ~ 0.80	1.6 ~ 2.0	.....
เคลื่อนไหวรุนแรง	.....	0.80 ~ 1.10	4.0	5.0

ค่า H เท่ากับอินฟินิตี้ (Infinity) สำหรับการซูปที่เป็น Ideal quench หมายถึงการซูปที่จะทำให้อุณหภูมิของผิวแท่งเหล็กลดลงเท่ากับอุณหภูมิของสารซูปในทันทีทันใดเมื่อแท่งเหล็กสัมผัสกับสารซูป ซึ่งไม่มีทางเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ จากตารางที่ 1 จะปรากฏว่าค่า H สูงที่สุดเท่ากับ 5 สำหรับการซูปในน้ำเกลือที่มีการกวนให้สารซูปเคลื่อนไหว หรือแกว่งแท่งเหล็กในขณะที่ทำการซูปอย่างรุนแรงที่สุด

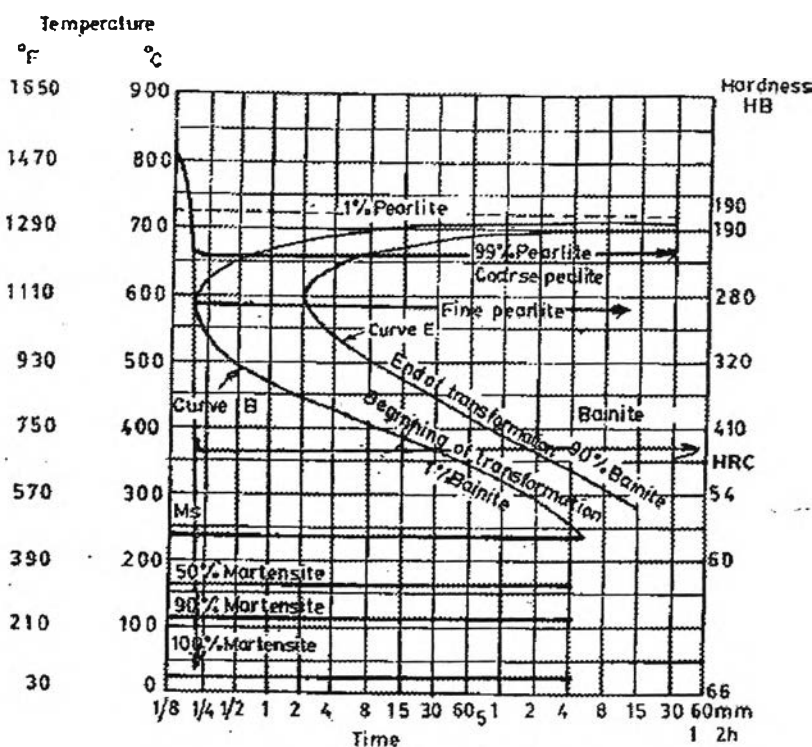
จากผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการซูปน้ำ กับการซูปน้ำมันเป็นการทดลองเพื่อหาค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤติ (D) ปรากฏว่าค่า D ที่ได้จากการซูปน้ำจะมีค่ามากกว่าค่า D ที่ได้จากการซูปน้ำมัน แสดงว่าค่า H ของน้ำจะสูงกว่าน้ำมันมาก

3.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กในขณะได้รับความร้อน

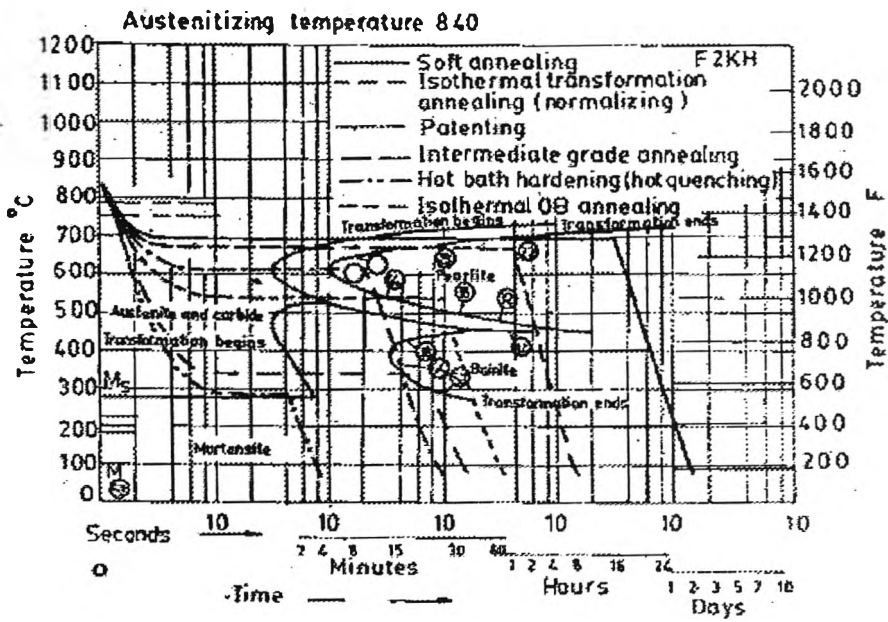
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเฟอร์ไรต์ไปเป็นออสเตไนต์ ($\alpha \rightarrow \gamma$)

ในการอบชุบความร้อน เหล็กจะต้องถูกเผาให้ความร้อนจากอุณหภูมิปกติจนถึงอุณหภูมิสูง ในช่วงของออสเตไนต์ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในขณะเหล็กถูกความร้อนเป็นเรื่องที่ต้องเข้าใจ กลไกของการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะจากโครงสร้างเดิมซึ่งประกอบด้วยเฟอร์ไรต์และซีเมนไตต์ จนเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นอย่างสมบูรณ์ได้โครงสร้างออสเตไนต์ การศึกษาโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงนี้จะช่วยให้เกิดความเข้าใจและสามารถควบคุมคุณภาพของเหล็กภายหลังการอบชุบ ได้ดี ในการศึกษาจำเป็นต้องอาศัยแผนภูมิสมดุลของเหล็ก-ซีเมนไตต์

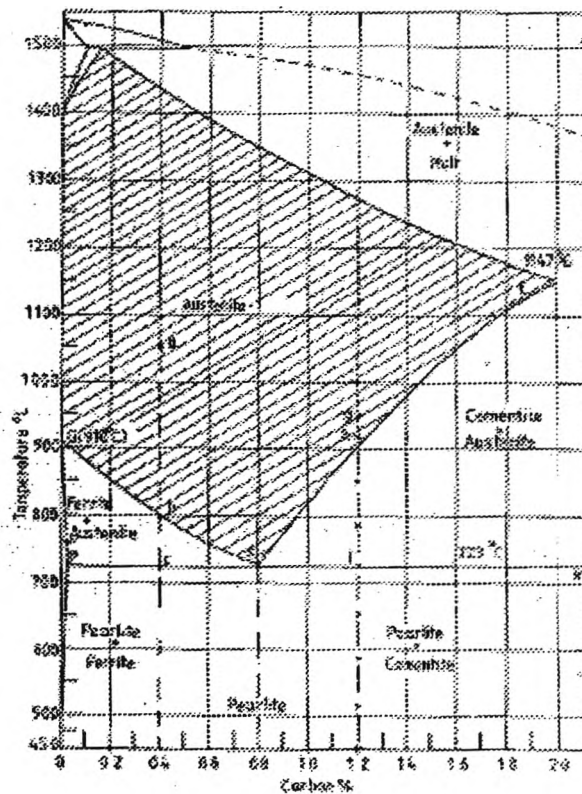
สำหรับเหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคคอยด์ ($0.77\% \leq C \leq 2.11\%$) ระหว่างอุณหภูมิ $20^\circ - 727^\circ\text{C}$ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ชัดเจน ส่วนที่อุณหภูมิ 727°C เกิดปฏิกิริยารวมตัวระหว่างเฟอร์ไรต์และซีเมนไตต์ให้เฟสออสเตไนต์ และที่อุณหภูมิเหนือ 727°C จะปรากฏมีเฟสออสเตไนต์กับโปรยูเทคคอยด์ซีเมนไตต์ซึ่งจะค่อยๆ สลายตัวลดปริมาณลง ในขณะที่เดียวกัน ออสเตไนต์จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นด้วยและจะเกิดเป็น โครงสร้างมาร์เทนไซต์เมื่อลดอุณหภูมิของ ชิ้นงานภายในระยะเวลาที่กำหนดดังรูปที่ 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงการปริมาณ โครงสร้างเหล็กกล้าคาร์บอน 1% ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็ก



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบชุบแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอน

3.6 การอบอ่อน

มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กที่ผ่านการผลิต เช่นการขึ้นรูปร้อน การขึ้นรูปเย็น การเชื่อมหรือผ่านการหล่อ ซึ่งเหล็กที่ผ่านขั้นตอนการผลิตดังกล่าว จะมีคุณสมบัติที่ไม่ดีหลายประการ เช่น

เหล็กที่การขึ้นรูปร้อน จะมีคุณสมบัติที่ไม่สม่ำเสมอตามส่วนที่มีมุมแหลม ซึ่งอัตราการเย็นตัวสูงจะมีความแข็งแรงมากกว่าส่วนอื่นๆ โครงสร้างเหล็กบริเวณผิวจะมีโครงสร้างที่ประกอบด้วนเกรนขนาดเล็กเพราะถูกแรงกระแทกหรืออัดมากกว่าเนื้อเหล็กภายใน ทำให้มีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอถึงภายในเช่นเดียวกัน

เหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น มักมีความเครียดที่เกิดจากการถูกแรงอัดหรือบีบเหล็กดังอยู่มีส่วนทำให้มีความแข็งแรงไม่สม่ำเสมอ สูญเสียความเหนียว

เหล็กที่ผ่านงานเชื่อม เช่นเดียวกัน การเชื่อมเป็นการทำให้เหล็กร้อนเป็นบางจุด การขยายตัวเมื่อถูกความร้อนและการหดตัวเมื่อถูกปล่อยให้เย็นย่อมเป็นการยากที่จะทำให้ได้ทั่วถึง มักจะเกิดความเครียดเหลือค้าง และ โครงสร้างของเนื้อเหล็กบริเวณจุดที่ทำการเชื่อมจึงต่างกับเนื้อเหล็กในส่วนอื่นๆ ที่ไม่ถูกความร้อนจากการเชื่อม คุณสมบัติของเหล็กจะขาดความสม่ำเสมอ

จากที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า การที่จะนำเอาเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปต่างๆ ไปใช้งานหรือนำไป ตัด เจาะ กลึง ย่อมจะทำให้เกิดอุปสรรคในลักษณะต่างๆ ที่พอจะมองเห็นได้ชัดเจนเช่นการกลึง ถ้าเหล็กมีความแข็งไม่เท่ากันทุกส่วน การปรับมุมของมีดกลึง หรือตั้งความเร็วในการกลึงหรือตัดจะเกิดปัญหามากมาย และผลงานที่ได้รับก็ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นเหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปมาก่อนจะนำไปใช้งาน หรือฟอร์มรูปร่างในขั้นตอนต่อไป จำเป็นจะต้องผ่านการอบให้อ่อนตัว ซึ่งลักษณะการทำงานมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์สุดท้าย

3.7 การควบคุมบรรยากาศภายในเตา

ในการอบชุบความร้อนที่กระทำต่อเหล็กกล้าบางชนิด โดยเฉพาะเหล็กกล้าชิ้นส่วนของเครื่องมือที่ต้องการผิวเหล็กที่สะอาดปราศจากออกไซด์และต้องการความแข็งที่ผิวแน่นอน การอบชุบความร้อนจะต้องกระทำภายในเตาที่สามารถควบคุมบรรยากาศ เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียคาร์บอน หรือธาตุบางตัวตามบริเวณผิวขณะเผาในเตา หรือเพื่อไม่ให้เกิดการเป็น ออกไซด์ตามผิว ซึ่งจะทำให้ขนาดของชิ้นงานภายหลังการอบชุบความร้อนเปลี่ยนแปลง หรือมีจะนั้นอาจจะเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการทำความสะอาดผิวด้วยการใช้เม็ดทรายหรือหินมาขัดผิว หรือการทำความสะอาด

สะเก็ดผิวอื่นๆ ดังนั้นการอบชุบความร้อนในเตาที่ควบคุมบรรยากาศจะทำให้ผิวภายหลังการอบชุบสะเก็ด

จุดมุ่งหมายที่สำคัญของการควบคุมบรรยากาศภายในเตามี 3 ประการดังนี้คือ

- 3.7.1 ป้องกันการสูญเสียคาร์บอนและธาตุอื่นๆที่สำคัญขณะทำการเผาในระยะเวลา
- 3.7.2 ป้องกันการเกิดออกไซด์ตามบริเวณผิวทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดภายหลัง
- 3.7.3 ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงความแข็งบริเวณผิวชิ้นงานให้สูงขึ้นสามารถทำได้โดยการควบคุมบรรยากาศภายในเตา

ความสำคัญอีกประการหนึ่งของการควบคุมบรรยากาศในเตาอบชุบก็คือ การอบชุบเหล็กที่ ต้องกระทำที่อุณหภูมิสูงซึ่งต้องเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ $1280^{\circ}\text{C} - 1300^{\circ}\text{C}$ การป้องกันไม่ให้เกิดออกไซด์มีความจำเป็นมาก เพราะออกไซด์ที่เกิดขึ้นและอยู่ในช่วงอุณหภูมินี้จะมีแนวโน้ม หลอมเหลวจับติดแน่นกับชิ้นเหล็ก และภายใต้ผิวของออกไซด์นี้จะเกิดการลดปริมาณคาร์บอนในเหล็กลงอีก ทำให้ความแข็งของเหล็กภายหลังการอบชุบได้ค่าต่ำ และการกำจัดฟิล์มออกไซด์ที่จับแน่นกระทำได้ยาก เป็นการสูญเสียที่จะแก้ไขภายหลังไม่ได้เลย

บรรยากาศสุญญากาศ

การควบคุมบรรยากาศภายในเตาอบชุบที่เป็นสุญญากาศ จัดเป็นบรรยากาศของการอบชุบ โลหะที่ดีที่สุด ผลของการอบชุบจะปลอดจากออกไซด์และการสูญเสียคาร์บอน กล่าวได้ว่าผิวของ เหล็กก่อนการอบชุบและหลังการอบชุบแทบจะไม่มีข้อแตกต่างเลย ข้อเสียของการควบคุมบรรยากาศ ให้เป็นสุญญากาศมีอยู่ประการเดียวคือ อุปกรณ์ของเตา และการควบคุมตลอดจนค่าใช้จ่ายในการ ทำงานจะสูงมากเมื่อเทียบกับบรรยากาศชนิดอื่นๆ ดังนั้นการอบชุบด้วยสุญญากาศจึงมีความ เหมาะสมสำหรับเหล็กกล้าที่ใช้ทำเครื่องมือที่ต้องการความเที่ยงตรงแม่นยำในขนาดมากๆ ส่วนใหญ่ เตาอบชุบสุญญากาศจะมีราคาแพง และมีขนาดไม่ใหญ่โตมาก

3.8 ความแข็งและการทดสอบความแข็ง

ความแข็ง เป็นการวัดความต่อต้าน ของโลหะที่จะต้องเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร การทดสอบ ความแข็งของวัสดุนั้นใช้วิธีกดวัสดุที่มีความแข็งกว่าเช่นเหล็กแข็ง ทั้งสแตน เพชรเป็นต้น โดยทำเป็น

รูปร่างต่างๆกัน เช่น ทำเป็นรูปกลม พีระมิด โคนหรือกรวย เมื่อกดตัวกดลงไปในวัตถุที่ทดสอบเป็นมุม 90° ลงไปอย่างช้าๆแล้ววัดรอยเว้าที่เกิดขึ้น ก็จะสามารหหาความแข็งได้ สำหรับชนิดของหัวกดในการทดสอบความแข็งที่ใช้กันมี 4 แบบคือ Brinell Vickers Knoop และ Rockwell และขึ้นอยู่กับรูปร่างหัวกดและน้ำหนักที่ใช้ ความแข็งของโลหะจะมีค่าเท่าไรขึ้นอยู่กับความยากง่ายของการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรของวัสดุนั้น

3.9 บทบาทของธาตุผสมที่สำคัญ

เหล็กกล้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนใหญ่จะผสมธาตุหลายตัวร่วมกันเพื่อให้ผสมผสานกันในส่วนที่จะก่อให้เกิดผลต่อเหล็กกล้าไปในทิศทางที่ต้องการในที่นี้จะกล่าวถึงบทบาทที่เด่นชัดของธาตุผสมแต่ละธาตุ

3.9.1 แมงกานีส

แมงกานีสจัดเป็นธาตุผสมที่ทำหน้าที่หลายประการรวมกันโดยเริ่มตั้งแต่ทำหน้าที่เป็นตัวกำจัดแก๊สในเหล็กกล้า คึงกำมะถันที่อยู่ในเหล็กมารวมตัวกันเป็นแมงกานีสซัลไฟด์ เพื่อไม่ให้กำมะถันไปรวมตัวกับเหล็ก จะทำให้เหล็กเสียคุณสมบัติทางด้านความเหนียว ส่วนแมงกานีสส่วนที่เหลือจากการทำหน้าที่ดังกล่าวแล้วจะไปละลายในเฟอร์ไรต์ มีผลทางด้านเสริมความแข็งแรง รวมตัวกับคาร์บอนให้แมงกานีสคาร์ไบด์ ซึ่งอาจจะมีเหล็กเข้ามามีบทบาทร่วมด้วยในรูปของ $(FeMn)_3C$ แมงกานีสมีบทบาทเพิ่มคุณสมบัติทางด้านความสามารถในการชุบแข็ง เมื่อผสมร่วมกับโครเมียมและโมลิบดีนัมจะช่วยให้เหล็กมีความสามารถในการชุบแข็ง ได้มากยิ่งขึ้น

3.9.2 ซิลิกอน

ซิลิกอนเป็นธาตุที่พบในเหล็กกล้าทุกประเภทประมาณ 0.2 ~ 0.3% เพราะในการหลอมเหล็กก่อนจะเทลงแบบหล่อจะต้องทำการไล่แก๊สออกซิเจน โดยซิลิกอนทำหน้าที่เป็น Deoxidizer เหล็กกล้าที่ต้องการคุณสมบัติแม่เหล็ก (Magnetic permeability) เพื่อใช้ในงานด้านแม่เหล็กไฟฟ้าจะผสมซิลิกอนสูง

ซิลิกอนจัดเป็นธาตุที่มีบทบาทเสริมคุณสมบัติความสามารถในการชุบแข็ง แต่ถ้าผสมซิลิกอนในปริมาณที่สูงจะมีแนวโน้มลดความเหนียว เหล็กผสมโมลิบดีนัมจำเป็นต้องผสมซิลิกอนด้วยเพื่อเป็นการเพิ่มความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันให้กับเหล็ก เพราะ โมลิบดีนัมขาดความต้านทานในด้านนี้

ซิลิกอนเป็นธาตุที่ไม่รวมตัวกับคาร์บอนเมื่อผสมอยู่ในเหล็กกล้า แต่จะมีบทบาทช่วยให้คาร์บอนรวมตัวกับการไฟต์

3.9.3 โครเมียม

โครเมียมเป็นธาตุที่พบในเหล็กกล้าที่ผสมในปริมาณตั้งแต่ 0.5 ~ 17% เป็นธาตุที่มีบทบาทเพิ่มเสถียรภาพให้กับโครงสร้างเฟอร์ไรต์มีผลต่อการเพิ่มคุณสมบัติการชุบแข็ง โครเมียมสามารถรวมกับคาร์บอน และให้คาร์ไบด์ได้หลายรูปแบบ เช่น คาร์ไบด์ M7C3, M23C6, และ M3C ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและโครเมียม

โครเมียมมีผลต่อการขยายตัวของเกรนที่อุณหภูมิสูง เมื่อคาร์ไบด์สลายตัวหมดแล้ว ดังนั้นจึงมักผสมวาเนเดียมในเหล็ก เพื่อเป็นการชะลอการขยายตัวของเกรน ในขณะที่ทำการเผาที่อุณหภูมิสูงเหล็กกล้าที่ผสมโครเมียมโดยลำพังจะต้องพยายามหลีกเลี่ยงการเผาที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน

โครเมียม มีส่วนในการต้านทานการเป็นอ็อกไซด์ขณะอยู่ที่อุณหภูมิสูง และคงความแข็งแรงไว้ได้ดี นอกจากนี้โครเมียมยังมีบทบาทต้านทานการกัดกร่อนได้ดี

3.9.4 นิกเกิล

นิกเกิลมีคุณสมบัติในการเพิ่มเสถียรภาพให้กับออสเตไนต์ทำให้มีออสเตไนต์เหลือค้างในปริมาณสูงภายหลังการชุบแข็ง และนอกจากนี้นิกเกิลไม่มีบทบาทที่จะคงความแข็งแรงไว้ได้ในขณะอบคืนตัว

3.9.5 กำมะถันและฟอสฟอรัส

ธาตุทั้งสองตัวนี้ไม่มีผลทางด้านดีกับเหล็กกล้าโดยเฉพาะฟอสฟอรัส ไม่ช่วยให้เหล็กกล้ามีคุณสมบัติดีขึ้น ดังนั้นจึงต้องกำหนดให้มีปริมาณที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ (0.015 – 0.03 %) สำหรับกำมะถันมีบทบาทอยู่ในเหล็กกล้าเพียงด้านเดียวคือ ช่วยให้เหล็กกล้ามีความสามารถในการกลึง-ไส-ตัด หรือเจาะให้ดีขึ้นเท่านั้น ซึ่งสามารถผสมกำมะถันในปริมาณสูงไม่เกิน 0.1%

3.9.6 โมลิบดีนัม

เป็นธาตุที่สามารถละลายได้ในเฟอร์ไรต์ อยู่ในกลุ่มเพิ่มเสถียรภาพให้กับเฟอร์ไรต์ และโมลิบดีนัมส่วนหนึ่งสามารถรวมกับคาร์บอนให้คาร์ไบด์เชิงซ้อนหลายรูปแบบ โมลิบดีนัมมีบทบาท

ค่อนข้างรุนแรงในการลดปริมาณคาร์บอนที่จุลยูเต็คคอยด์ และเพิ่มอุณหภูมิยูเต็คคอยด์ให้สูงขึ้น จึงมีผลทำให้ความสามารถในการชุบแข็งมีแนวโน้มลดลง ถ้าผสมในปริมาณที่สูงเกินกว่า 1% จะมีคาร์ไบด์หลงเหลืออยู่ภายหลังจากชุบแข็ง

โมลิบดีนัมไม่มีผลทางด้านทำให้มีออสเตไนท์เหลือค้างภายหลังจากชุบ และสามารถคงความแข็งของมาร์เทนไซต์ได้จนถึงอุณหภูมิ 500°C สิ่งที่ไม่ดีของโมลิบดีนัมคือเหล็กจะเป็นอ็อกไซด์ได้มาก เมื่ออยู่ในช่วงอุณหภูมิ $1000^{\circ}\text{C} - 1100^{\circ}\text{C}$ และมีแนวโน้มก่อให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนตามบริเวณผิวได้ง่าย

3.10 สาเหตุของการบิดเบี้ยวตัวของชิ้นงาน

3.10.1 วัตถุประสงค์

3.10.1.1 รูปร่างของวัตถุประสงค์ที่นำมาผลิต

มีลักษณะเป็นท่อ, แผ่นเหล็ก รวมทั้งขนาดของวัตถุประสงค์หรือชิ้นงานที่นำมาอบชุบ

3.10.1.2 การผสมตัวของโลหะ

คือสารประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในวัตถุประสงค์ ซึ่งได้แก่สารมลทินหรือสารตกค้าง ในการหลอมโลหะส่วนใหญ่จะปรากฏมีสารมลทินรวมอยู่ด้วยและสารมลทินเหล่านี้จะเกิดการแยกตัวในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสถานะ ทำให้สารมลทินเหล่านี้ไปรวมตัวกันอยู่บริเวณใจกลางของแท่งโลหะ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการแข็งตัวสุดท้าย ลักษณะเช่นนี้จะเรียก Major segregation เมื่อเกิดอยู่ตรงกลาง และถ้าเกิดในส่วนที่อยู่ใกล้ผิวด้านนอกจะเรียกว่า Inverse segregation (เกิดกับโลหะช่วงที่มีช่วงการแข็งตัวยาว) และในกรณีที่สารมลทินรวมกันอยู่ตามขอบเกรนจะเรียกว่า Minor segregation เกิดจากสารมลทินที่ละลายอยู่ในโลหะหลอมเหลวเมื่อโลหะเริ่มแข็งตัวและเกิดการขยายตัวของนิวเคลียส ธาตุที่เป็นสารมลทินจะถูกผลักให้ออกมาอยู่บริเวณรอบๆผลึกที่กำลังขยายตัว และเมื่ออาณาเขตของผลึกไปชนกับผลึกข้างเคียง จะทำให้สารมลทินไปรวมกันอยู่ตามขอบเกรน ดังแสดงในภาพ

สิ่งที่มักพบในโครงสร้างของโลหะโดยทั่วไปอีกอย่างหนึ่งคือ อินคลูชัน (Inclusion) ซึ่งเป็นลักษณะของสารมลทินที่มากับโลหะหรือมาจากวัสดุที่ทำเตาหลอมโลหะ มาจับกลุ่มรวมกันเป็นสารประกอบหรือเป็นอ็อกไซด์ของโลหะ และลอยกระจายอยู่ในโลหะหลอมเหลว ถ้าลอยขึ้นสู่ผิวของโลหะหลอมเหลวจะกลายเป็นตะกรัน แต่ถ้ามีขนาดเล็กลอยขึ้นสู่ผิวไม่ทัน เมื่อโลหะแข็งตัว

จะปรากฏอินคลูชันจับตัวกัน และอยู่ตามส่วนต่างๆภายในโครงสร้าง เช่นอยู่ตามขอบเกรนซึ่งไม่เป็นผลดีต่อคุณสมบัติความเหนียวของโลหะ ความแข็งของชิ้นงาน

3.10.1.3 โครงสร้างของโลหะที่รวมกันอยู่เป็นผลึกหรือขนาดเกรน

โลหะโดยทั่วไปภายหลังจากการเย็นตัวจะประกอบด้วยเกรนหรือผลึกจำนวนมาก ซึ่งการเกิดเกรนของโลหะจำนวนมากจะเกิดขณะมีการเปลี่ยนสถานะจากหลอมละลายมาเป็นโลหะแข็ง ตามทฤษฎีของโลหะกายภาพ การเปลี่ยนสถานะจะเริ่มที่อุณหภูมิแข็งตัว (Solidification temperature) โดยให้การกำเนิดนิวเคลียส อะตอมที่ถ่ายเทพลังงานอิสระไปสู่บรรยากาศรอบๆที่เรียกว่านิวเคลียส เมื่ออุณหภูมิลดลง อะตอมที่ถ่ายเทพลังงานออกสู่บรรยากาศรอบๆ จะค่อยๆเข้ามารวมตัวกับนิวเคลียสทำให้มีการขยายตัวกลายเป็นผลึกเล็กๆและโตขึ้นกลายเป็นผลึกใหญ่ ซึ่งจะเรียกว่าเกรน การขยายตัวจะสิ้นสุดลงเมื่อปริมาณของโลหะหลอมเหลวหมดไปหรือไม่ก็เกรนที่ขยายตัว ไปชนกับเกรนข้างเคียง

ขนาดของผลึกหรือเกรนที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคสัมพันธ์ กับอัตราการเย็นตัวของโลหะหลอมเหลว โดยเฉพาะในช่วงเกิดการแข็งตัว จะพบว่า ถ้าการเย็นตัวสูงจะปรากฏนิวเคลียสเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก และการขยายตัวของแต่ละเกรนจะมีอัตราต่ำเพราะแต่ละเกรนจะแย่งอะตอมของโลหะให้มาจับตัวรวมกับนิวเคลียส ซึ่งมีจำนวนมากทำให้ได้โลหะเกรนละเอียด ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราการเย็นตัวช้า ปริมาณนิวเคลียสที่เกิดขึ้นจะมีน้อยการขยายตัวของนิวเคลียสจะมีมากทำให้ได้โลหะเกรนโต

ความแข็งแรงของโลหะขึ้นอยู่กับขนาดของเกรน และตรงบริเวณขอบเกรนซึ่งตรงบริเวณขอบเกรนของโลหะเป็นจุดที่อ่อนที่สุด ดังนั้นในการผลิตโลหะจึงต้องทำให้โลหะนั้นอยู่ในลักษณะที่มีขนาดของเกรนเล็ก

3.10.2 สาเหตุมาจากการทั้งจากการเผา และในขณะที่ทำการชุบ

3.10.2.1 ในขณะที่เผาถ้ากระทำในอัตราสูงมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวกับภายในมีมาก เหล็กจะขยายตัวที่ผิวไม่สัมพันธ์กับภายใน ย่อมจะเกิดการบิดงอได้มาก เกิดจากการที่เหล็กถูกเปลี่ยนโครงสร้างจากเฟอร์ไรต์และคาร์ไบด์ไปเป็นมาร์เทนไซต์จะเกิดการขยายตัวของชิ้นงาน

ของชิ้นงาน

3.10.2.2 ขั้นตอนการชุบเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการทำให้เกิดการบิดเบี้ยว

1. ระยะเวลาที่ทำการชุบชิ้นงานจะถูกทำให้เย็นตัวลงโดยกระจายตัวของอุณหภูมิไม่ทั่วถึง
2. อัตราความเร็วในการชุบแข็ง
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการชุบแข็ง
4. ตำแหน่งในการอบชุบแข็ง
5. ของเหลวที่ใช้ในการชุบแข็ง