บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

กรรมวิธีทางความร้อน เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการปรับปรุง พัฒนา และควบคุมโครงสร้างของโลหะ โดยเฉพาะโลหะคาร์บอนต่ำ เช่น เหล็กเพลาขาว และโลหะคาร์บอนสูง เช่น เหล็กเพลาแดง รวมทั้ง โลหะพวกอะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กหล่อ เนื่องด้วยกรรมวิธีทางความร้อนมีวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก และโลหะที่ผ่านกรรมวิธีนี้จะไม่เสียรูป

กรรมวิธีทางความร้อน เป็นวิธีการนำโลหะที่ต้องการปรับปรุง พัฒนาโครงสร้าง ไปอบให้ร้อนในระดับความร้อนต่างๆ กัน หลังจากนั้นก็นำโลหะที่อบจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วไปทำให้เกิดการเย็นตัวด้วยตัวกลางที่ให้อัตราการเย็นตัว แตกต่างกันตามความต้องการ

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ หรือเรียกว่า เหล็กกล้าประเภทไฮโปยูเต็กตอยด์ คือเหล็กที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเนื้อเหล็กต่ำ คือตั้งแต่ 0.001 – 0.83 % มีคุณสมบัติอ่อน เหนียว มีความแข็งน้อยมาก โครงสร้างภายในคือเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์

เหล็กกล้าคาร์บอนสูง หรือเรียกว่า เหล็กกล้าประเภทไฮเปอร์ยูเต็กตอยด์ คือเหล็กที่มีเปอร์เซ็นคาร์บอนผสมอยู่ตั้งแต่ 0.83 – 2.0 % และมีโครงสร้างภายในเนื้อเหล็ก เป็นเพิร์ลไลต์และซีเมนไทต์ มีคุณสมบัติแข็งเหมาะนำมาใช้งานด้านเครื่องมือตัด เช่น ใช้ทำสกัด ใช้ทำใบเลื่อย ใช้ทำดอกสว่าน เป็นต้น

จุดประสงค์ในการทำกรรมวิธีทางความร้อน มี 2 ประการด้วยกัน ดังนี้

1. ต้องการปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานให้ดีขึ้น
2. เพื่อที่จะศึกษาสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำกรรมวิธีทางความร้อน

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีทางความร้อน

แผนภูมิสมดุลเหล็ก กับเหล็กคาร์ไบด์ (Iron – Iron Carbide Diagram)

2.1 แผนภูมิสมดุลเหล็ก กับเหล็กคาร์ไบด์ (Iron – Iron Carbide Diagram)

ในการทำกรรมวิธีทางความร้อนนั้นเราจำเป็นต้องศึกษา ด้านโครงสร้างจุลภาคต่างๆ ที่มีอยู่ ในแผนภูมิสมดุล

2.2 กรรมวิธีทางความร้อน

2.2.1 การอบอ่อน (Annealing)

คือ การปล่อยให้โลหะเย็นตัวอย่างช้าๆ โดยปล่อยให้เย็นตัวในเตา (Furnace cooling) ซึ่งกว่าจะเย็นได้อย่างสนิทต้องใช้เวลานานถึง 1 – 2 วัน ก็เป็นไปได้ แต่ในการทำชุบแข็ง ต้องทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยการจุ่มชิ้นงานลงในน้ำมัน ลงในน้ำ ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความแข็ง แต่มักจะเกิดรอยแตกร้าว บิดเบี้ยว เสียรูปทรงได้เสมอ ซึ่งช่วงทำให้ชิ้นงานเย็นตัวต้องระวังเป็นอย่างสูง

2.2.2 การชุบแข็ง (Hardening)

คือ การทำให้ชิ้นงานที่มีความร้อนเกินกว่าอุณหภูมิเส่น A_3 และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว จะได้โครงสร้างมาเทนไซด์ที่มีความแข็ง มีจุดที่ต้องคำนึงถึงคือช่วงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

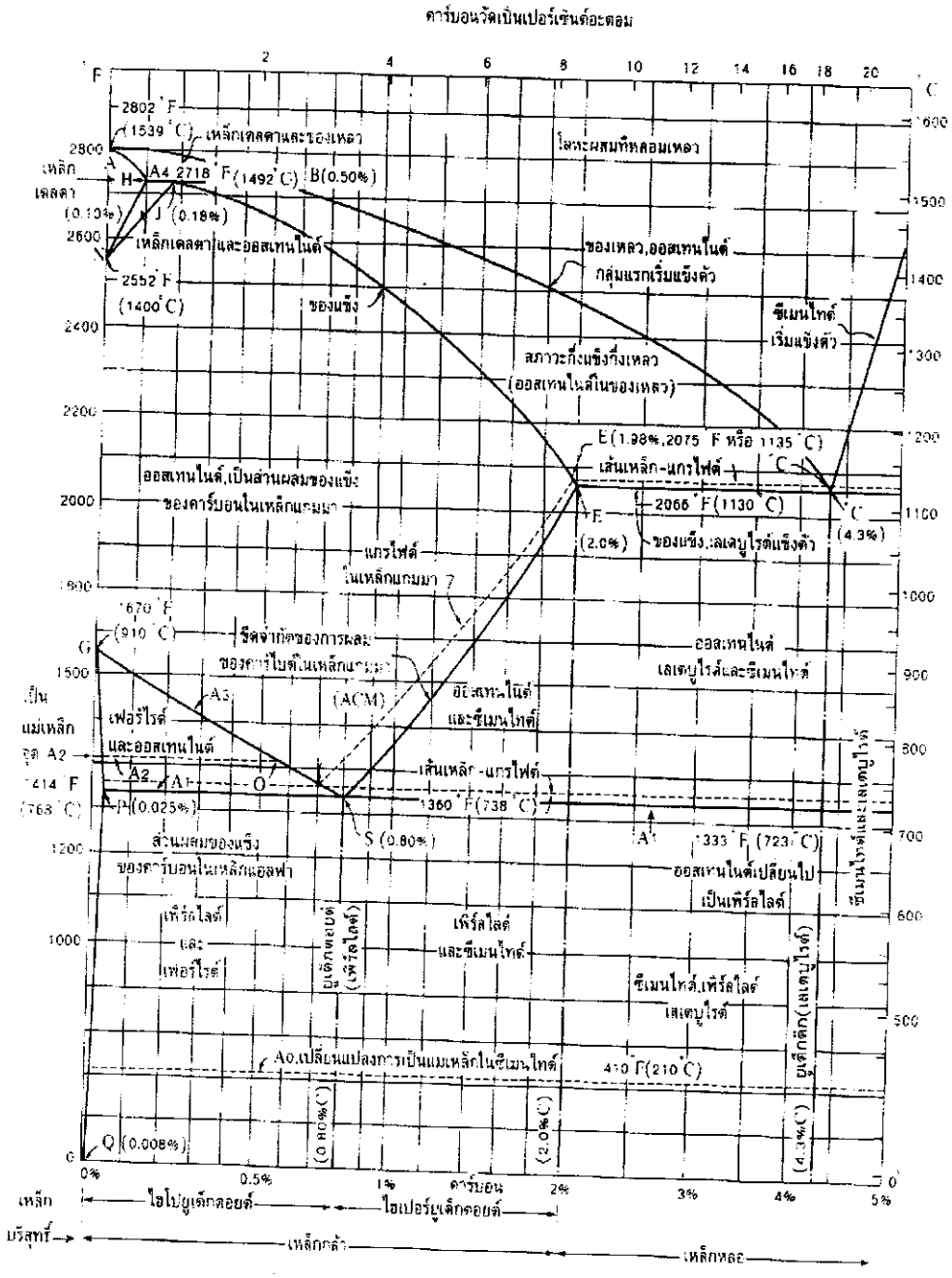
เส้น A_3 คือ อุณหภูมิตั้งแต่ 723 – 910 องศาเซลเซียส

2.2.3 การทำออสเทนไนต์เซชั่น (Austennization)

เป็นวิธีการให้ความร้อนเกินกว่าเส้น A_1 และ A_3 ประมาณ 50 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน จะใช้อุณหภูมิประมาณ 800–850 องศาเซลเซียสก็จะได้โครงสร้างออสเทนไนต์ สำหรับเตาที่ให้ความร้อน อาจจะเป็นเตาน้ำมัน หรือเตาไฟฟ้า แต่ปัจจุบันนิยมใช้เตาสุญญากาศ (Vacuum Furnace) ซึ่งสามารถขจัดปัญหาคราบสเกลที่ปิดหน้าของชิ้นงาน และระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที ต่อความหนา 1 นิ้ว ส่วนโลหะที่ใช้ทำแบบพิมพ์หรือเหล็กกล้าความเร็วสูง (High speed steel) จะใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและความหมาย

การศึกษาโครงสร้างจุลภาค และความหมายซึ่งอยู่ในแผนภูมิสมดุลเหล็กและคาร์บอน



รูปที่ 2.1 แผนภูมิสมดุลเหล็กกับเหล็กคาร์บอน

อธิบายแผนภูมิสมดุลเหล็กและคาร์บอน

A_1 คือ เส้นที่แสดงการเปลี่ยนแปลงเฟสแบบยูเทกตอยด์ เปลี่ยนจากเฟสโครงสร้างเฟอร์ไรต์กับซีเมนไทต์ไปเป็นออสเทนไนต์ อยู่ที่ระดับอุณหภูมิ 723 องศาเซลเซียส และ 730 องศาเซลเซียส เรียกเส้นนี้ว่า เส้นอุณหภูมิวิกฤต

A_2 คือ เส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะแม่เหล็กของเฟอร์ไรต์ ซึ่งอุณหภูมิประมาณ 768 องศาเซลเซียส อยู่เหนือเส้นอุณหภูมิวิกฤต เส้น A_2 นี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส และเมื่อร้อนเกินกว่าอุณหภูมินี้ แม่เหล็กจะดูดไม่ติด

A_3 คือเส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเฟอร์ไรต์ เปลี่ยนเฟสไปเป็นออสเทนไนต์ จุดนี้คือเฟอร์ไรต์ เริ่มออกจากออสเทนไนต์เมที่อปล่อยให้เย็นอยู่ที่ระดับอุณหภูมิ 723 – 910 องศาเซลเซียส

A_4 คือเส้นอุณหภูมิ 1492 องศาเซลเซียส เฟอร์ไรต์ที่อุณหภูมิสูงจะเปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์ มีระบบผลึกเป็น BCC (เหล็กเดลต้า ⟷ ออสเทนไนต์ 1495 องศาเซลเซียส

Acm คือเส้นแสดงการละลายอิ่มตัวของคาร์บอนเหนือส่วนผสมยูเทกตอยด์ เมื่อเหล็กกล้ามีเฟสเป็นออสเทนไนต์ ถ้าเหล็กกล้าเย็นตัวลงผ่านเส้นนี้ ซีเมนไทต์จะตกผลึกออกมาอยู่ในระดับอุณหภูมิระหว่าง 723 – 1147 องศาเซลเซียส ซึ่งมีคาร์บอนอยู่มากกว่า 0.80%

2.2.4 **การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในกรรมวิธีทางความร้อน** (ที่มา: จากหนังสือคู่มือโลหะวิทยาและการอบชุบโลหะ โดยสุวิทย์ แจ่มทวีกุล และบัณฑิต ใจชื่น)

เหล็ก AISI 1008 และ1010 ใช้อุณหภูมิอบที่ 1300 °F (704 °C) เกรนสีขาวคือเฟอร์ไรท์เม็ดกลมขนาดเล็กตามขอบเกรนคือซีเมมไทร์ บริเวณที่เป็นสีดำตามขอบเกรนคือเพิร์ลไรท์

อลูมิเนียม อบที่ 920 °F (493 °C) และชุบในน้ำเย็นดัดตามแนวขวาง อุณหภาคที่ได้ส่วนสีดำคือ $CuMgAl_2$,$Cu_2Mn_3Al_{20}$ และ Cu_2FeAl บริเวณส่วนสีขาวจัดว่าเป็นแอลฟาล์ บริเวณส่วนสีดำเป็นเบตาร์

ทองเหลือง อบที่ 500 – 650 °C ทองเหลืองมีลักษณะโครงสร้างเป็น non-Ferrous Microstructure Cu – Zn เป็นส่วนประกอบของทองเหลือง

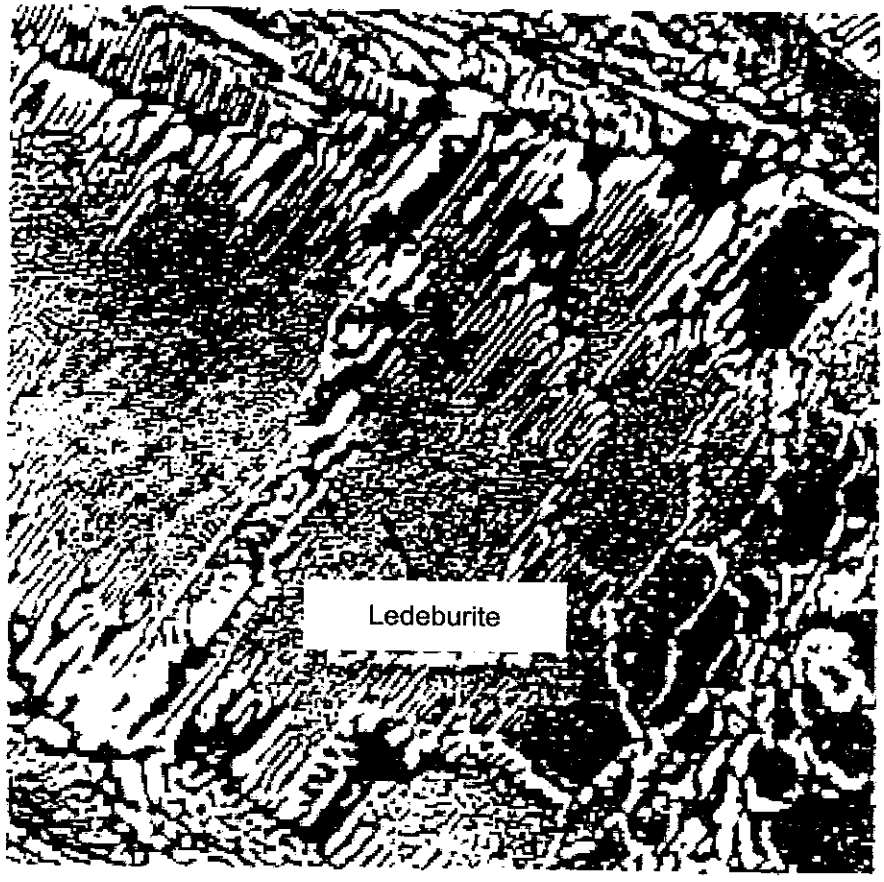
2.3 การศึกษาโครงสร้างจากแผนภูมิสมดุลเหล็กกับเหล็กคาร์บอน

2.3.1 เหล็กเดลต้า (Delta Iron) สัญลักษณ์คือ δ

เกิดขึ้นที่ช่วงอุณหภูมิ 1400 – 1539 องศาเซลเซียส เหล็กเดลต้า โดยมีปริมาณคาร์บอนสูงสุด 0.50 โดยจะรวมอยู่กับเหล็กหลอมเหลว ส่วนเหล็กเดลต้าที่มีคาร์บอนผสมอยู่ร้อยละ 0.18 นั้น จะอยู่ร่วมกับโครงสร้างออสเทนไนต์ และสุดท้ายเป็นเหล็กเดลต้าที่มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ร้อยละ 0.10 ในพื้นที่สามเหลี่ยม 3 รูป บนซ้ายมือของแผนภูมิสมดุล ในพื้นที่นี้จะมีเหล็กเดลต้าอยู่เพียงโครงสร้างเดียวเท่านั้น เหล็กเดลต้ามีระบบผลึกเป็นแบบ BCC นอกจากนั้นก็ปล่อยให้อุณหภูมิต่ำลง ก็จะเปลี่ยนเป็นโครงสร้างออสเทนไนต์ ที่มีระผลึกเป็น FCC

2.3.2 เลเดบูไรต์ (Ledeburite)

โครงสร้างนี้จะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยายูเทคติคของเหล็กหล่อ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อโลหะหลอมเหลวถูกลดอุณหภูมิให้ต่ำลงจนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็น ความแข็ง 2 เฟส เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิสมดุลเหล็กกับเหล็กคาร์บอน จะพบว่าโครงสร้างเลเดบูไรต์ เกิดขึ้นระหว่างเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 2 – 4.3 ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า โครงสร้างเลเดบูไรต์ จะเกิดขึ้นกับเหล็กที่มีปริมารคาร์บอนสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กหล่อ แต่จะไม่พบโครงสร้างเลเดบูไรต์ในเหล็กกล้า

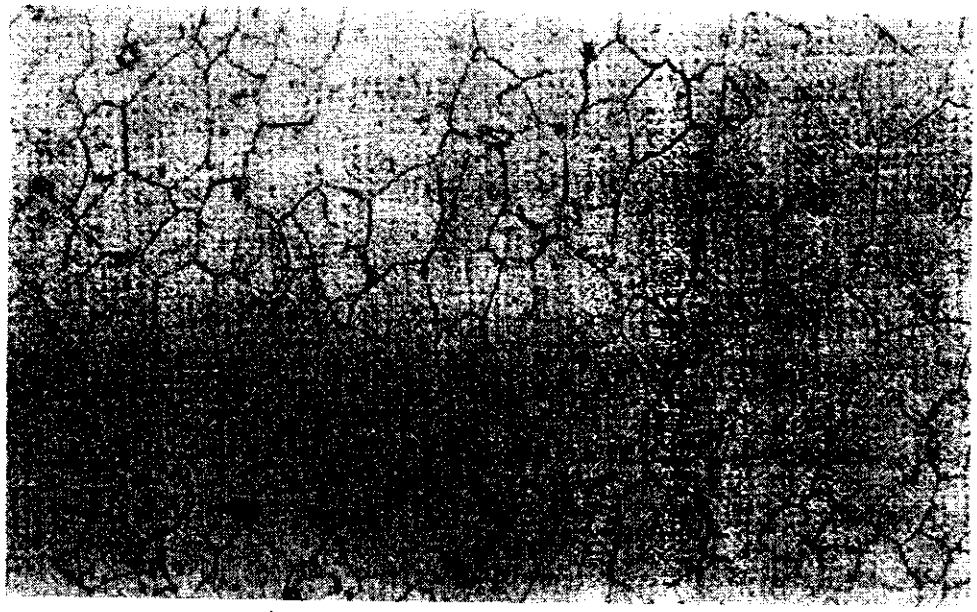


รูปที่ 2.2 โครงสร้างเลเดบบูไรต์

(Pollack. 1988 :140)

2.3.3 โครงสร้างแบบเฟอร์ไรต์

เฟอร์ไรต์คือ สารละลายในสภาพของของแข็งของเหล็กกับคาร์บอน ซึ่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 723 องศาเซลเซียส ซึ่งคาร์บอนละลายในเหล็กได้มากที่สุด 0.025 % ซึ่งบางครั้งเราเรียกโครงสร้างเฟอร์ไรต์ว่าเหล็กแอลฟา (α-iron) เป็นโครงสร้างของเหล็กบริสุทธิ์ มีการวางตัวของอะตอมแบบ BCC (Body Centered Cubic) มีคุณสมบัติคือ อ่อน เหนียว และไม่แข็ง

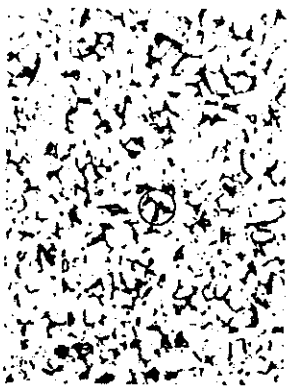


รูปที่ 2.3 โครงสร้างจุลภาคแบบเฟอร์ไรต์

จากการศึกษา

- จะสังเกตว่าบริเวณพื้นสีขาวๆ คือเฟอร์ไรต์ และเส้นเล็กๆ สีดำเป็นทางยาวคือขอบเกรน (grain boundary) จุดดำๆ เกิดจากเม็ดของกระดาษทรายที่ใช้ในการขัดผิวหน้าชิ้นงาน ฝังเข้าไปในเนื้อชิ้นงาน เนื่องจากการขัด
- ใช้กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ 200 เท่า
- ในการกัดกรด ใช้เวลาประมาณ 11 – 12 วินาที โดยใช้ 3 เปอร์เซ็นต์ไนตอล (nital) เป็นของเหลวในการกัดกรด
- วิธีการทำคือ ใช้อบในเตาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส นำชิ้นงานไปแช่ในเตา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ เรียกว่า (normalizing)
- จากการทดสอบความแข็งได้ค่าประมาณ 40 – 70 HB (ความแข็งบริเนลล์)
- จากการทดสอบความเค้นของแรงดึง ได้ค่าประมาณ 22 – 32 kgf/mm^2
- ค่าอัตราการยืดตัว (Modulus of young) 40% – 50%

2.3.4 โครงสร้างแบบเพิร์ลไลต์



× 100 คาร์บอน
0.02 เปอร์เซ็นต์
กำลังขยาย × 100
สีขาวคือโครงสร้างเฟอร์ไรท์ สีดำเป็นพื้นคือเพิร์ลไลต์

× 1300 คาร์บอน
0.02 เปอร์เซ็นต์
กำลังขยาย × 1300
รูปขยายโครงสร้างเพิร์ลไลต์ (เฟอร์ไรต์กับซีเมนไทต์)

รูปที่ 2.4 โครงสร้างจุลสร้างแบบเพิร์ลไลต์

เพิร์ลไลต์คือ โครงสร้างเหล็กกล้าคาร์บอนยูเต็กตอยด์ เกิดจากการรวมตัวสลับกันระหว่าง 2 เฟส คือเฟอร์ไรต์กับซีเมนไทต์ โดยมีคาร์บอนผสมอยู่ 0.8 %C เกิดจากปฏิกิริยาของยูเต็กตอยด์ ที่สภาวะอุณหภูมิ 723 องศาเซลเซียส จัดเป็นสภาวะสมดุล ซึ่งมีเฟอร์ไรต์ 0.02 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับซีเมนไทต์ 6.67 %C การส่องเกรนของเหล็กกล้าที่มีเปอร์เซ็นคาร์บอนมากกว่า 0.2 จากกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง

จากการศึกษา

- โครงสร้างเพิร์ลไลต์ประกอบขึ้นจากการเรียกตัว ของตัวเฟอร์ไรต์ กับซีเมนไทต์สลับกัน สีดำคือซีเมนไทต์ สีขาวคือเฟอร์ไรต์
- ใช้กำลังขยายของกล้อง 200 เท่า
- การกัดกรด 3 เปอร์เซ็นต์ไนตอลใช้เวลาในการกัด 6 – 9 วินาที
- วิธีทำใช้อบในเตาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส แช่ไว้ในเตา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตา
- จากการทดสอบความแข็ง ได้ค่าเท่ากับ 180 – 200 HB (ความแข็งบริเนลล์)

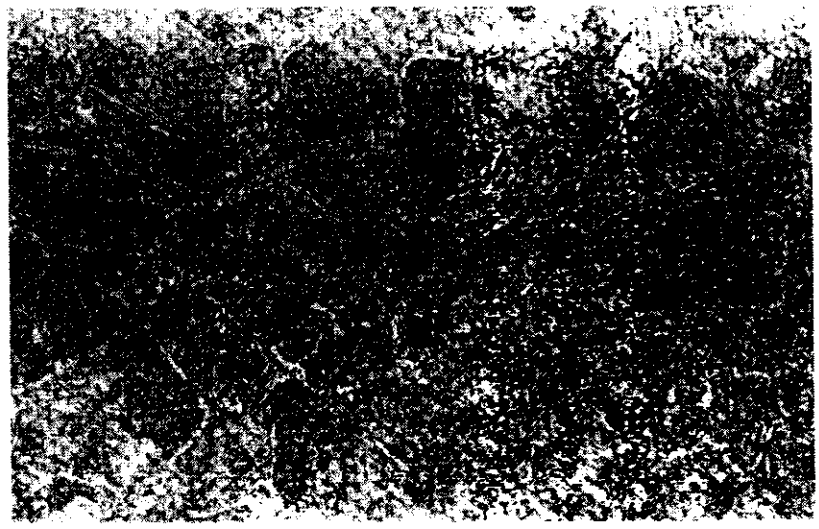
หมายเหตุ ระยะเวลาในการอบชุบ ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน ถ้ากว้างและยาว ด้านละ 2.5 cm ใช้เวลาในการอบแช่ในเตาเพียง 1 ชั่วโมง

2.3.5 โครงสร้างจุลภาคแบบซีเมนไทต์ หรือไอออนคาร์ไบด์ สัญลักษณ์คือ CM

ซีเมนไทต์เป็นสารประกอบระหว่างเหล็กกับคาร์บอน ซึ่งมีคุณสมบัติแข็ง ทนต่อการเสียดสีได้ดี เช่น ในกรณีที่เหล็กกล้าผ่านการอบชุบคาร์ไบด์ จะแทรกตัวในพื้นที่โครางสร้างพื้นฐาน ในกรณีที่เป็นโลหะผสม จะปนอยู่ในเนื้อเหล็ก เช่น ทังสเตนคาร์ไบด์ หรือโครเมียมคาร์ไบด์ ให้คุณสมบัติทนต่อการเสียดสีได้สูง

ซีเมนไทต์ไม่เพียงแต่จะเกิดขึ้นในเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่มากเท่านั้น ในเหล็กคาร์บอนต่ำก็อาจเกิดคาร์ไบด์ ในพื้นที่ของเฟอร์ไรต์ได้เช่นกัน

ซีเมนไทต์เป็นโครงสร้างแบบร่างตาข่าย เกิดได้โดยนำเอาเหล็กกล้าคาร์บอนประเภทไฮเปอร์ยูเต็กตอยด์ ซึ่งมีคาร์บอนมากกว่า 0.8 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เป็นโครงสร้างออสเทนไนต์ และทำให้เย็น ซีเมนไทต์ก็จะแยกตัวออกเป็นตาข่าย และออสเทนไนต์บางส่วนก็จะเป็นเพิร์ลไลต์ ค่าความแข็งและค่าความเค้นแรงดึงจะเพิ่มขึ้น แต่อัตราการยืดตัว และทนต่อแรงกระแทกจะลดลง ซึ่งเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้าซีเมนไทต์แบบตาข่ายจะเกิดที่ 0.9 – 1.1 %C



รูปที่ 2.5 โครงสร้างจุลภาคแบบซีเมนไทต์แบบตาข่าย

จากการศึกษา

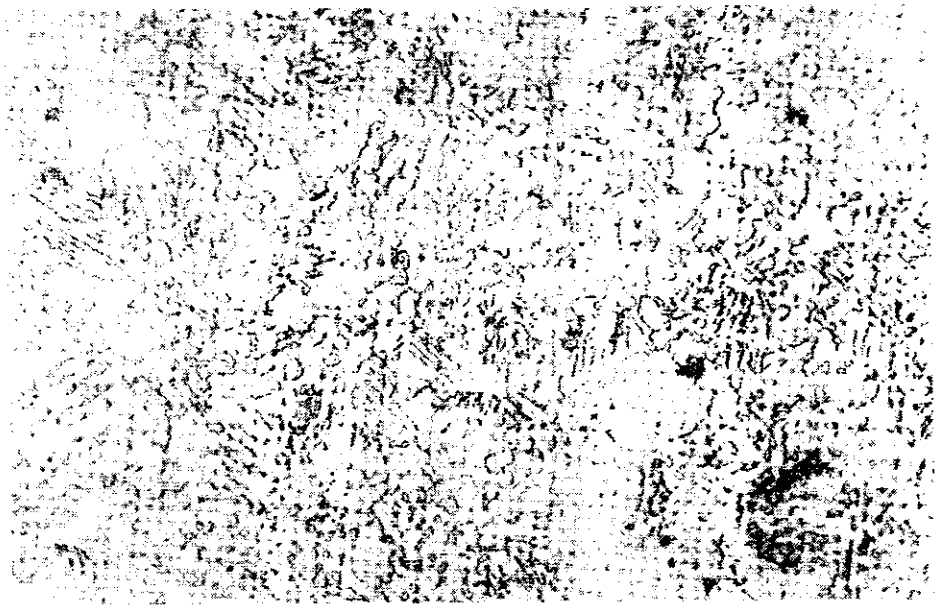
- พื้นที่สีดำล้อมรอบโครงสร้างพื้นฐานคือ เพิร์ลไลต์ เส้นสีขาวที่ขอบเกรนเป็นโครงสร้างของซีเมนไทต์แบบตาข่าย
- กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ 250 เท่า
- การกัดกรดใช้ 3 เปอร์เซ็นต์ไนตอล ใช้เวลาในการกัด 9 – 11 วินาที
- ส่วนผสมคาร์บอน 1.16% ซิลิคอน 0.24% แมงกานิส 0.46% ฟอสฟอรัส 0.01% กำมะถัน 0.02%
- วิธีทำนำไปอบในเตาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เวลาในการแช่ชิ้นงานในเตา 2 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้เย็นในเตา
- ค่าความแข็งที่วัดได้ 220 – 250 HB (ความแข็งบริเนลล์)
- ค่าความเค้นแรงดึง 75 – 110 kgf/mm^2
- อัตราการยืดตัว 6 – 16 %

2.3.6 **ซีเมนไทต์แบบก้อนกลม**

คือ การทำให้รูปร่างของซีเมนไทต์ที่ได้ให้เป็นรูปก้อนกลม เพื่อให้อัตราการยืดตัวได้ดีขึ้น ทนแรงกระแทกได้ดี มีความแข็งสูง และทนความเค้นแรงดึงได้ดี

วิธีการ คือนำเอาเหล็ก ที่มีโครงสร้างของเหล็กกล้าประเภทไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ ที่มีคาร์บอนมากกว่า 0.77% ซึ่งมีโครงสร้างจุลภาคเป็นเพิร์ลไลต์ ที่ล้อมรอบด้วยซีเมนไทต์แบบตาข่าย เอามาลดความเปราะ แต่เพิ่มความเหนียว โดยการนำเอาเตาอบอุณหภูมิสูง ประมาณ 788องศาเซลเซียส (หรือสูงกว่าเส้น A_1 อยู่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส โดยเส้น A_1 เท่ากับ 738 องศาเซลเซียส) เผาแช่ไว้ระยะเวลาหนึ่ง ซีเมนไทต์บางส่วนละลายเข้าในออสเทนไนต์ ส่วนที่เหลือจะแยกออกเป็นรูปร่างกลม และขนาดเล็ก

ข้อควรระวัง อย่าอบชิ้นงานไว้เหนือเส้นA_1 นานเกินไปจะทำให้ซีเมนไทต์ที่เป็นก้อนกลมมีขนาดใหญ่ ทำให้โครงสร้างไม่แข็ง และเปราะง่าย



รูปที่ 2.6 โครงสร้างจุลภาคแบบซีเมนไทต์ก้อนกลม

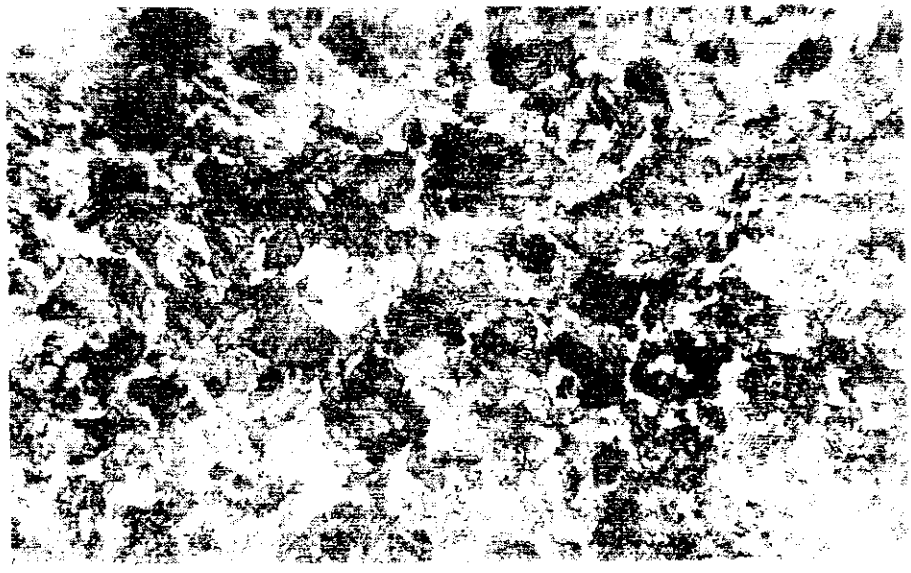
จากการศึกษา

- เม็ดกลมๆ สีขาวเป็นซีเมนไทต์ และล้อมรอบด้วยโครงสร้างพื้นฐานคือเฟอร์ไรต์
- ใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 200 เท่าส่องดูโครงสร้าง
- การกัดกรด เลือกใช้ 3เปอร์เซ็นต์ไนตอลใช้เวลาการกัด 7 – 9 วินาที

- ส่วนผสม คาร์บอน 1.15% ซิลิคอน 0.24% แมงกานิส 0.46% ฟอสโฟรัส 0.013% กำมะถัน 0.02%
- วิธีการทำ ใช้อบในเตาอุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียส เวลาในการแช่ชิ้นงานในเตา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในเตาจนถึงอุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้อุณหภูมินี้ ประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตาจนถึงอุณหภูมิห้อง
- ค่าความแข็งที่วัดได้ 160 – 210 HB (ความแข็งบริเนลล์)
- ค่าวามเค้นแรงดึง 60 – 75 kgf/mm^2

2.3.7 เฟอร์ไรต์ และเพิร์ลไลต์

คือเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนผสมอยู่ 0.10% และมีโครงสร้างจุลภาค เป็นเพิร์ลไลต์และเฟอร์ไรต์ เมื่อส่องดูจากกล้องจุลทรรศน์ หลังจากผ่านการกัดกรดแล้ว กรดจะกัดผิวหน้าของเพิร์ลไลต์ให้เป็นแอ่งลึก ทำให้มองเห็นโครงสร้างจุลภาคเป็นชั้นๆ พื้นสีดำถ้าเพิ่มปริมาณคาร์บอน ทำให้มีความแข็ง และความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันจะยืดตัวและทนแรงกระแทกได้น้อย เหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 0.3% จะเหมาะกับการใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โดยการผ่านการชุบแข็ง และการอบคลายก่อนนำไปใช้งาน ส่วนเหล็กกว้าที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 0.3% จะชุบแข็งได้ยาก จากรูปที่ 1.5 โครงสร้างจุลภาคที่มองเห็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์ ที่เป็นพื้นสีขาว และโครงสร้างของเพิร์ลไลต์เป็นพื้นที่ชั้นสีดำได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 2.7 โครงสร้างจุลภาคแบบเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์

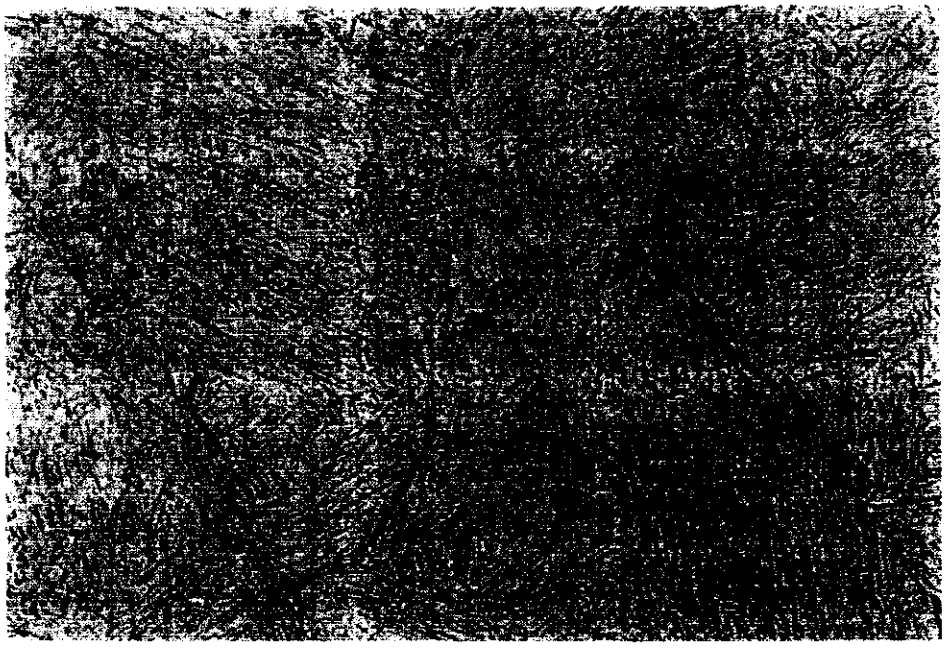
จากการศึกษา

- พื้นที่ว่างสีขาวคือเฟอร์ไรต์ ส่วนสีดำเป็นผืนชั้นๆ คือเพิร์ลไลต์
- ใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 100 เท่า
- การกัดกรด 3 เปอร์เซ็นต์ไนตอล ใช้เวลาในการกัดกรด 9 – 10 วินาที
- วิธีทำ ใช้อบในเตาอุณหภูมิ 930 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการแช่ 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศปกติคือการทำ normalizing
- การทดสอบค่าความแข็งได้ค่า 150 – 200 HB (ความแข็งบริเนลล์)
- ความเค้นแรงดึงมีค่าเท่ากับ 55 kgf/mm^2
- อัตราการยืดตัว 22%

2.3.8 มาเทนไซต์

คือโครงสร้างจุลภาคได้รับการเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อโลหะ เนื่องมาจากความร้อน ซึ่งโครงสร้างนี้มีลักษณะดีคือ มีความแข็งแรงมาก มีขั้นตอนในการทำโครงสร้างมาเทนไซต์ดังนี้

นำเอาชิ้นงานที่ได้จะเป็นเหล็กกล้าไฮโปยูเต็กตอยด์ ซึ่งมีโครงสร้างภายในเป็น เฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์ มาอบเผาแช่ไว้ในอุณหภูมิสูงเกินกว่าเส้น A_1 จนถึงเส้น A_3 (A_1คือ 723 และ 730 องศาเซลเซียส A_3 คือ 723 - 910 องศาเซลเซียส) และบวกเพิ่มอีกประมาณ 30 – 50 องศาเซลเซียส โครงสร้างภายในเนื้อโลหะ จะเปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์ นำเอาชิ้นงานออกมาจากเตา ทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยการจุ่มน้ำ น้ำมัน แต่ที่นิยมมากก็คือการจุ่มลงน้ำ โครงสร้างจะเปลี่ยนเป็นมาเทนไซต์ได้ตามที่ต้องการ และนำไปทำการอบคลายเทมเปอร์ เพื่อลดความเปราะก่อนนำไปใช้งาน



รูปที่ 2.8 โครงสร้างจุลภาคแบบมาเทนไซต์

จากการศึกษา

- โครงสร้างนี้เรียกว่า โครงสร้างมาเทนไซต์ ซึ่งมีรูปร่างเหมือนเข็ม
- ใช้กล้องกำลังขยาย 100 เท่าในการส่องดูโครงสร้าง
- การกัดกรด ใช้ 3 เปอร์เซ็นต์ไนตอล ใช้เวลากัดประมาณ 10 – 15 วินาที
- วิธีการทำ อบในความร้อน ที่มีอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้โครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ หลังจากนั้น นำออกมาทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยการจุ่มน้ำ ได้โครงสร้างใหม่ เป็นมาเทนไซต์
- ค่าความแข็งที่วัดได้ เท่ากับ 60 HRC (ร็อกเวลล์สเกล C)

หมายเหตุ หลังจากที่ได้โครงสร้างมาเทนไซต์แล้ว ต้องทำการอบคลายหรือการอบคืนตัว โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 100 – 200 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

2.3.9 เบนไนต์แบบขนนก

คือโครงสร้างที่แตกตัวออกมาจากโครงสร้างออสเทนไนต์ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เกิดการผสมระหว่างเฟอร์ไรต์และคาร์ไบด์ ต่างจากโครงสร้างเพิร์ลไลต์ ซึ่งเพิร์ลไลต์คือโครงสร้างเฟอร์ไรต์กับซีเมนไทต์เรียงสลับกัน คล้ายกับแบบเบนไนต์แบบเข็ม ต่างกันตรงใช้อุณหภูมิในการเผาแช่ ในช่วงการทำให้เย็นสูงกว่าแบบเข็ม คือประมาณ 400 องศาเซลเซียส และในการทำให้เย็นตัว ต้องนำมาชุบในเตาเกลือและแช่ไว้ในระยะเวลานั้นนานพอสมควร โดยรักษาอุณหภูมิในเตาเกลือไว้ให้ได้ 400 องศาเซลเซียส และถ้าอุณหภูมิในเตาเกลือยิ่งต่ำ จะทำให้ความแข็งที่ได้สูงมากด้วย.

รูปที่ 2.9 โครงสร้างจุลภาคเบนไนต์แบบขนนก

จากการศึกษา

- พื้นสีขาวโครงสร้างพื้นฐานคือมาเทนไซต์ และสีดำคือโครงสร้างเพิร์ลไลต์
- ใช้กล้องกำลังขยาย 300 เท่าส่องเพื่อดูโครงสร้าง
- การกัดกรด 3 เปอร์เซ็นต์ไนตอลใช้เวลาในการกัด 5 – 8 วินาที
- วิธีการทำ ใช้อบให้ความร้อน ในเตาอุณหภูมิ 930 องศาเซลเซียส เวลาในการเผาแช่ 20 นาที ต่อจากนั้นนำเอาไปชุบในอ่างเกลืออุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 50 นาที แล้วทำให้เย็นตัวในน้ำ
- ค่าความแข็งที่วัดได้ 51 – 55 HRC (ความแข็งร็อกเวลล์สเกล C)

2.3.10 เบนไนต์แบบเข็ม

คือโครงสร้างที่ได้แตกตัวมาจาก โครงสร้างออสเทนไนต์ ซึ่งตั้งชื่อตามผู้พบเป็นคนแรกคือ อี.ซี.เบน (E.C.Bain) เมื่อปี พ.ศ. 2473 ซึ่งเป็นผลมาจากการแตกตัวของโครงสร้างออสเทนไนต์ ประกอบด้วยเฟอร์ไรต์ และคาร์ไบด์ซีเมนไทต์ ถ้าเรามองตามกราฟแบบ S จะพบว่าการเกิดเบนไนต์แบบเข็มจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าแบบขนนก คืออยู่ในช่วง 300 องศาเซลเซียส

วิธีการคือ นำเอาชิ้นงาน 0.87%C คือเหล็กกล้าคาร์บอนยูเต็กตอยด์นั่นเอง มีโครงสร้างภายในเนื้อโลหะเป็นเพิร์ลไลต์ทั้งหมด นำมาเผาแช่ไว้ในเตาอบ ที่มีอุณหภูมิสูงเกินกว่าเส้น A_1 ได้โครงสร้างออสเทนไนต์ แล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว จนถึงอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ก็จะได้โครงสร้างเบนไนต์เป็นแบบเข็ม ข้อแตกต่างระหว่างเบนไนต์และมาเทนไซต์ต่างกันตรงที่ เมื่อนำมากัดกรด พื้นผิวจะถูกกัดได้ง่ายกว่ามาเทนไซต์ เพราะว่าความแข็งน้อยกว่า แต่จะให้ค่าความเหนียวมากกว่ามาเทนไซต์ ทนต่อแรงกระแทก และมีอีตราการยืดตัวที่ดีกว่า

รูปที่ 2.10 โครงสร้างจุลภาคของเบนไนต์แบบเข็มหรือ โลเวอร์เบนไนต์

จากการศึกษา

- ส่วนที่เป็นสีดำมีรูปร่างคล้ายเข็ม คือโลเวอร์เบนไนต์ และสีขาวที่แทรกคือมาเทนไซต์ และมีออสเทนไนต์ตกค้าง
- ใช้กล้องที่มีกำลังขยาย 200 เท่าส่องดูโครงสร้าง

- การกัดกรด ใช้ 3 เปอร์เซ็นต์ไนตอล ใช้เวลาในการกัด 5 – 10 วินาที
- วิธีการทำ ใช้อบให้ความร้อน ในเตาอุณหภูมิ 880 – 890 องศาเซลเซียสในระยะเวลาในการเผาแช่ 30 นาที ต่อจากนั้น เอาออกมาชุบในน้ำเหลือที่มีอุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 10 – 15 นาที แล้วดึงออกมาจุ่มลงในน้ำ
- ค่าความแข็งเท่ากับ 50 – 55 HRC (ความแข็งร็อกเวลล์สเกล C)

2.3.11 ออสเทนไนต์ สัญลักษณ์คือ γ

คือโครงสร้างที่ได้มาจากการนำเหล็กกล้าคาร์บอนประเภทไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ มาเข้าในเตาอบที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า เส้น A_1 โครงสร้างภายในก็จะเปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์ ผู้ที่ค้นพบเป็นคนแรก คือ โรเบิร์ต มาติน (Robert Martin) จากโครงสร้างออสเทนไนต์ เรานำมาชุบแข็งโดยการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยการจุ่มน้ำเหรือน้ำมัน โครงสร้างก็จะเป็นมาเทนไซต์ แต่มีส่วนหนึ่งยังเป็นออสเทนไนต์อยู่เรียกว่า ออสเทนไนต์ตกค้าง ปริมาณของออสเทนไนต์ที่ตกค้างจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่ผสมในเหล็ก อุณหภูมิชุบแข็งและวิธีการทำให้เย็น เราสามารถทำให้ออสเทนไนต์ตกค้างหมดไป ได้โดยการทำการอบคืนตัว หรือทำการเทมเปอริ่งโดยอุณหภูมิเป็นตัวกำหนดในการทำแล้วแต่โลหะแต่ละชิ้น เช่น เหล็กกล้าที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ใช้อุณหภูมิในการทำเทมเปอริ่งประมาณ 550 – 600 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างผลึกแบบ FCC

รูปที่ 2.11 โครงสร้างจุลภาคแบบมาเทนไซต์และออสเทนไนต์ตกค้าง (สีขาว) และส่วนที่เป็นเส้นสีดำคือมาเทนไซต์แบบเข็ม

จากการศึกษา

- โครงสร้างพื้นฐานสีขาวคือ ออสเทนไนต์ตกค้าง(สีขาว) และส่วนที่เป็นเส้นสีดำๆ คือ มาเทนไซต์แบบเข็ม
- ใช้กล้องกำลังขยาย 400 เท่าเพื่อส่องดูโครงสร้าง
- การกัดกรด ใช้ 3 เปอร์เซ็นต์ไนตอล ใช้เวลาการกัด 10 – 11 วินาที
- วิธีการทำ ใช้อบในเตา อุณหภูมิ 1030 องศาเซลเซียส แล้วจุ่มลงในน้ำมัน
- ค่าความแข็งที่วัดได้ 60 HRC (ค่าความแข็งร็อกเวลล์สเกล C)

2.4 คุณสมบัติเชิงกล

คือ การศึกษาคุณสมบัติของชิ้นงานแต่ละชนิด เพื่อดูคุณสมบัติของชิ้นงานก่อนการทำกรรมวิธีทางความร้อน ว่ามีคุณสมเป็นอย่างไร และหลังผ่านการทำกรรมวิธีทางความร้อนแล้วได้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

2.4.1 **การทดสอบความแข็ง** (Hardness)

การวัดหาความแข็งเป็นการทดสอบที่ง่าย และผู้ทดสอบไม่ต้องมีความชำนาญมากนัก เพราะเครื่องที่ใช้ทดสอบความแข็งจะช่วยได้มากและจะทราบผลได้อย่างรวดเร็ว

การวัดค่าความแข็งมีหลายวิธี ได้แก่ เครื่องทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell tester), แบบร็อกเวลล์ (Rockwell), แบบวิกเกอร์ (Vicker) และแบบชอร์ (Shore) แต่ในที่นี้จะขอกล่าวโดยละเอียดเฉพาะเครื่องทดสอบแบบบริเนลล์

ชนิดของการทดสอบความแข็ง

ชนิดของการทดสอบความแข็งจะมีความหมายในทางวิศวกรรมคือ เป็นความแข็งของวัสดุต่างๆ ที่จะนำมาวัดหาความแข็งได้โดยความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือความต้านทานต่อการขีดข่วน ความต้านทานต่อการเกิดการเสียดสี

หลักในการปฏิบัติ เราสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ชนิดที่ใช้น้ำหนักกดลงคงที่และใช้หัวกด (indenter) เป็นตัวกดเพื่อหาความแข็ง ได้แก่ แบบบริเนลล์, แบบร็อกเวลล์, และแบบวิกเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีการวัดเพื่อหารอยบุ๋ม หาความลึกบนผิวหน้าของชิ้นงาน

2. ชนิดที่ใช้น้ำหนักกดลงที่ไม่คงที่ เช่น เครื่องทดสอบความแข็งแบบมาร์เทนส์ (Martens haardness)

3. ชนิดที่ใช้แรงเคลื่อนที่โดยใช้แรงกระแทกชิ้นงานทดสอบ เช่นแบบชอร์

3.1 การทดสอบโดยการใช้ลูกตุ้มแกว่ง เมื่อไปกระทบชิ้นงานให้แตกหักแล้วสะท้อนกลับมา และวัดเป็นมุม (องศา) ได้แก่ การทดสอบแบบเจอโรสโคป (Juro scope-hardness), แบบชาร์ปี และแบบไอซอต

3.2 ชนิดที่ใช้วิธีขีดข่วนลงบนชิ้นงานคือ แบบสแครตช์ (Scratch hardness) แบบมาร์เทนส์สแครตช์ (Martens Scratch hardness)

2.4.1.1 การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์

เมื่อปี พ.ศ. 2443 เจ. เอ. บริเนลล์ (J.A. Brinell) ได้กำหนดวิธีการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ขึ้น และเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

หลักการหาค่าความแข็ง และการวัดความแข็งแบบบริเนลล์

การหาค่าความแข็งแบบบริเนลล์โดยการคำนวณ จะใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$HB = \frac{\text{น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ (kg)}}{\text{พื้นที่ผิวหน้ารอยบุ๋ม}}$$

$$= \frac{P}{(\P D / 2)[D - (D^2 - d^2)}$$

$$= \frac{2P}{\P D [D - (D^2 - d^2)} \quad \ldots (2.1)$$

กำหนดให้ ¶ = 22/7 (หรือ 3.1416)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกด (mm)

P = น้ำหนักกดที่กระทำต่อวัตถุ (kg)

d = ความโตของรอยบุ๋ม (mm)

ในการคำนวณค่าความแข็งแบบบริเนลล์ ถ้าค่าที่ได้ออกมามีจุดทศนิยมให้ตัดจุดทศนิยมนั้นออก เช่น ค่าความแข็งบริเนลล์ 53.5 ให้เขียนเป็น ค่าความแข็งบริเนลล์ 53 เท่านั้น

และถ้าค่าความแข็งที่ได้ออกมามีจุดทศนิยมมากกว่า 2 ตัว ให้ตัดออก 1 ตัวคงไว้เพียง 1 ตัวเท่านั้น เช่น ได้ค่าความแข็ง 35.645 ให้ตอบเป็นค่าความแข็งแบบบริเนลล์ 35.6 เท่านั้น

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหัวกดกับน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ (load) และความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางหัวกด

เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกด (mm)	**น้ำหนักที่ใช้** (kg)	**โลหะที่ใช้**	**สัญลักษณ์**
5	750	วัสดุทดสอบแข็งมาก	(5/750)
10	500	อลูมิเนียม แมกนีเซียม	(10/500)
10	1000	โลหะผสมทองแดงผสม	(10/1000)
10	3000	เหล็กกล้าที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม	(10/3000)

ข้อควรระวังในการทดสอบ

1. ผิวหน้าของชิ้นงานทดสอบต้องเรียบสม่ำเสมอ
2. หลังจากที่กดชิ้นงานให้เป็นรอยบุ๋มแล้ว เวลาที่จะวัดความโตของรอยบุ๋มจะต้องใช้กล้องขยายส่องดู ด้านในของกล้องจะมีสเกล เอาสเกลด้านใดด้านหนึ่งให้อยู่ที่ 0 แล้วทำการวัดหาค่าความโตทั้งทางด้านแนวนอนและแนวตั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
3. ความหนาของชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบ ต้องมีพื้นที่มากกว่าความลึกรอยกดประมาณ 10 เท่า
4. พื้นที่ความกว้างและความยาวของชิ้นงานทดสอบจะต้องโตและยาวประมาณ 2 เท่าของความโตของหัวกด

หมายเหตุ เมื่อทำการกดหาความแข็งเป็นรอยบุ๋มแล้วและต้องการทดสอบอีกครั้งใกล้ๆ จุดเดิมต้องให้ห่างกว่าจุดแรงมากกว่า 4 เท่า ของความโตหัวกด และต้องห่างจากจุดแรกมากกว่า 2.5 เท่าของความโตหัวกด

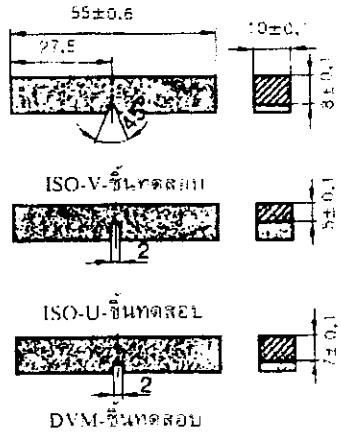
2.4.2 **ความทนต่อแรงกระแทก** (Impact Strength)

ค่าความเหนียว (Toughness) ของวัสดุสามารถหาได้จากการทดสอบแรงกระแทก และการทดสอบแรงกระแทกนี้ เป็นการทดสอบแบบ Dynamic Test ซึ่งทดสอบโดยการปล่อยให้ตุ้มน้ำหนักตกลงมากระทบเหล็กตัวอย่างที่ทดสอบจนเกิดการบิดงอเสียหาย การปล่อยให้ตุ้มน้ำหนักตกลงมาเองจะก่อให้เกิดแรงกระทบซึ่งสามารถคำนวณเป็นพลังงานออกมาได้

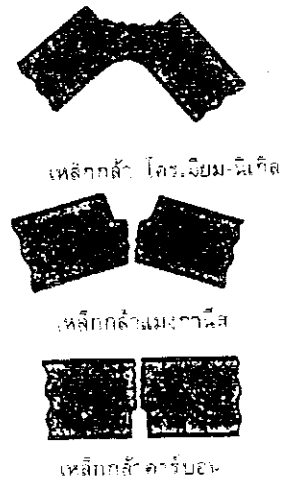
ค่าพลังงานของการกระทบจะทำให้เหล็กตัวอย่างเสียหายจะมีค่าเท่ากับผลต่างของพลังงานที่ได้จากลูกตุ้มก่อนการกระทบและหลังการกระทบ และค่าพลังงานนี้จะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วของการแกว่งของลูกตุ้ม

2.4.2.1 **การทดสอบด้วยการตีหักแบบชาร์ปี้** (Charpy Impact Test) **ตาม** DIN 50115

เป็นการทดสอบเพื่อต้องการทราบว่าเหล็กกล้า เหล็กกล้าหล่อ มีความเหนียวและการเปลี่ยนรูป โดยใช้หัวค้อนปล่อยลงมาให้กระแทกกับชิ้นงานทดสอบ (specimen) ที่มีขนาดมาตรฐานต่างกันด้วยความเร็วหัวค้อนประมาณ 5-5.5 m/s เครื่องทดสอบนี้มีขนาดมาตรฐานตั้งแต่ 50-300 J สำหรับชิ้นทดสอบขนาดเล็กจะใช้กับเครื่องทดสอบขนาด 7.5-50 J โดยใช้ความเร็วหัวค้อน 3.6-4 m/s



รูปที่ 2.12 ลักษณะรูปร่างของชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างประเภทของรอยแตกหักของชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าชนิดต่างๆ

TN
675
.3
ก232ก
2548

4940026

13 ส.ค. 2549

สำนักหอสมุด

1. **การจะประเมินค่าหรือเปรียบเทียบค่าจากการทดสอบจะต้องมีข้อมูลดังต่อไปนี้**

ก) งานที่ใช้ในการตี

ข) ลักษณะรูปร่างของชิ้นงานทดสอบ

ค) อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ (กรณีที่ไม่ได้บอกมาให้ทดสอบที่ 20 °C ± 2 °C)

ง) ทิศทางการตีชิ้นงานทดสอบที่ถูกรีดตามแนวขวางหรือตามแนวยาว

จ) งานทั้งหมดที่หัวค้อนใช้ทั้งหมดในการทดสอบ

ความแตกต่างระหว่างวัสดุที่เหนียว คือ เหล็กล้าโครเมียม-นิกเกิล กับวัสดุที่เปราะ คือ เหล็กกล้าคาร์บอน จะเห็นได้ตามรูปตัวอย่างของรอยแตกหักของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบแบบไดนามิกส์

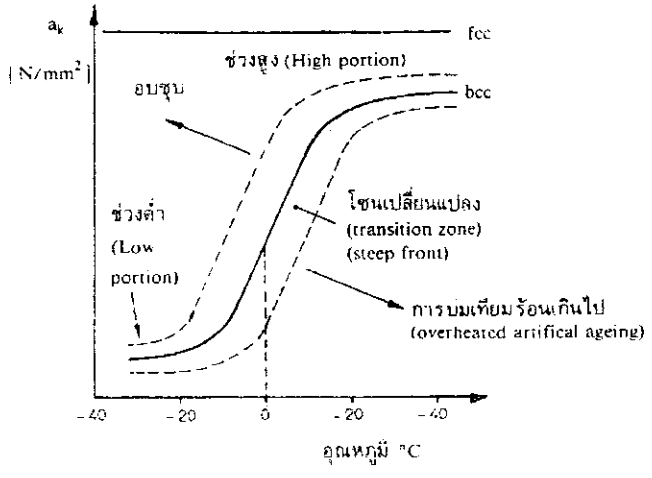
2 องค์ประกอบที่มีผลต่อแรงกระแทก คือ

ก) รอยบาก (notch) รูปตัว V จะแตกหักได้ง่ายกว่ารอยบากรูปตัว U

ข) ถ้าอุณหภูมิยิ่งของวัสดุยิ่งต่ำจุเกิดการแตกหักแบบเปราะได้ง่าย

ในการทดสอบแบบตีกระแทกนี้กับการหาความเหนียวของเหล็กกล้า เหล็กเหนียวหล่อ การบ่ม (Ageing) ความเปราะจากความร้อน ความเปราะจากความเย็น และการตรวจสอบวัสดุที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment)

ดังนั้น จึงมีการทดสอบชิ้นงานทดสอบหลายชิ้นที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิต่างๆ กัน ตามรูปที่ 2.2.3 แสดงความแตกต่างกันของวัสดุเหล็ก ระหว่าง face centered cubic (fcc) และ body centered cubic (bcc)



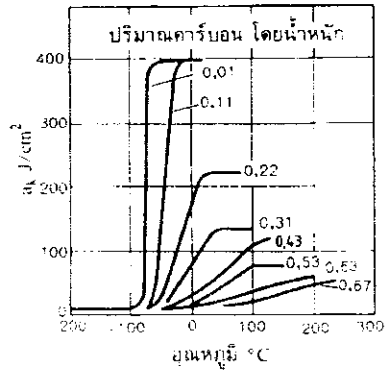
รูปที่ 2.14 แผนภาพความต้านแรงกระแทก

วัสดุโครงสร้าง BCC เป็นวัสดุเนื้อเดียวกัน (homogeneous) จะมีค่าคงที่ตลอด (ระหว่าง - 40 องศาเซลเซียส ถึง +40 องศาเซลเซียส) และคงความเหนียว ซึ่งได้แก่วัสดุเหล็กกล้าออสเตนไนต์ นิกเกิล ทองแดง อะลูมิเนียม

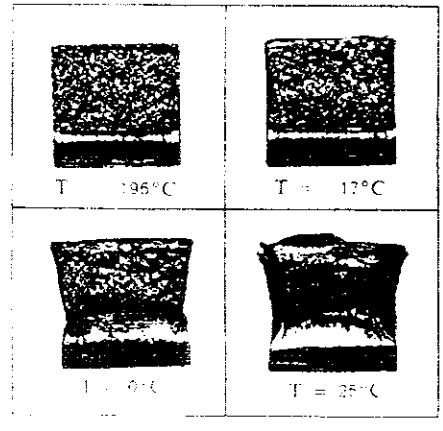
วัสดุโครงสร้าง BCC เช่น เหล็กกล้าไม่เจือหรือเจือต่ำทุกชนิด จะมีค่าความเหนียวดีที่อุณหภูมิสูง (high portion) แต่จะเปราะ (ค่าความเหนียวต่ำ) ที่อุณหภูมิต่ำ ค่าความเหนียวที่อยู่ระหว่าโซนของการเปลี่ยนแปลง (transition zone) (ประมาณ –10 0C - +10) ค่าความเหนียวจะไม่คงที่ (เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ค่าความเหนียวเปลี่ยน) วัสดุที่มีเส้นโค้งในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุซึ่งได้แก่ เหล็กกล้าเฟอร์ไรต์

วัสดุที่มีเกรนละเอียด จะมีความเหนียวที่ช่วงต่ำ (Low portion) มากกว่าวัสดุที่มีเกรนหยาบ

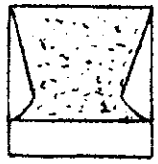
ความเหนียว ความเปราะของวัสดุสามารถดูได้จากรูปร่างรอยแตกดังต่อไปนี้ (พิจารณารูปที่ 2.2.4 ประกอบ)



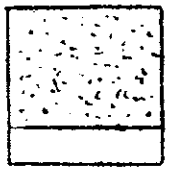
รูปที่ 2.15 เส้นโค้ง ak-T ของเหล็กกล้าไม่เจือ



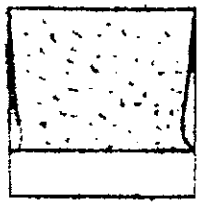
รูปที่ 2.16 รอยแตกจากการตีกระแทกที่อุณหภูมิต่างกัน วัสดุ St 37



a. รอยแตกแบบเหนียว (ductile fracture) จะเกิดที่ช่วงสูง (High portion)

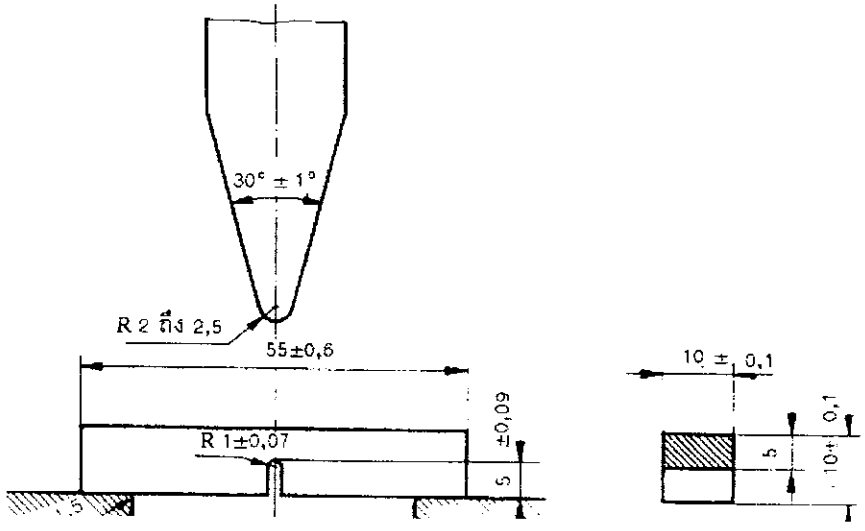


b. รอยแตกแบบเปราะ (brittle fracture) จะเกิดที่ช่วงต่ำ (Low portion)

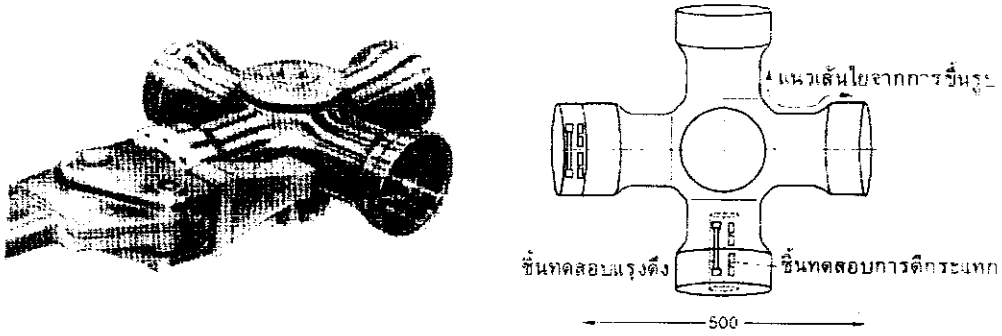


c. รอยแตกแบบรวม (combination fracture) มีผิวมัน เกิดที่ช่วงเปลี่ยน แปลง (transition zone)

รูปที่ 2.17 แสดงแบบต่างๆ ของรอยแตกหัก



รูปที่ 2.18 ขนาดมาตรฐานในการทดสอบชิ้นงาน ทดสอบแบบชาร์ปี้ ตาม ISO 83 – 1976 (E)



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการนำชิ้นงานทดสอบด้วยการกระแทก และแรงดึงจากหัวโรเตอร์ เฮลิคอปเตอร์

3. การกำหนดสัญลักษณ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย

เนื่องจากพลังงานที่ใช้ตีมีขนาดต่างกัน ชิ้นงานทดสอบมีลักษณะรอยบากและขนาดต่างกัน ดังนั้น ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย จึงควรใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีลักษณะรอยบากเป็นตัว U ลึก 5mm ขนาด 10 x 10 x 55 mm แต่ถ้าความลึกของรอยบากรูปตัว U เป็นขนาดอื่น ก็เขียนสัญลักษณ์ได้ดังนี้ เช่น

KCU 15/3 แสดงถึงการใช้พลังงานในการกระแทก 15 kgm/mm^2 และใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีรอยบากลึก 3 mm

KCU 30/3 แสดงถึงการใช้พลังงานในการกระแทกตามปกติคือ 30 kgm/mm^2 และใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีรอยบากลึก 3 mm

4. วิธีการทดสอบ

ก) ประกอบเครื่องทดสอบเพื่อทำการทดสอบแบบชาร์ปี้

ข) ตรวจสอบขนาดของชิ้นงานทดสอบและวัดพื้นที่หน้าตัดด้วย

ค) ยกค้อนตีขึ้นเล็กน้อยเพื่อที่จะวางชิ้นงานทดสอบให้ตั้งฉากกับฐานรองรับ โดยให้รอยบากอยู่ตรงที่จุดกึ่งกลางระหว่างฐานรองรับ และอยู่ตรงกันข้ามกับค้อนที่ตี

ง) ยกค้อนขึ้นจนกระทั่งเข็ม main pointer อยู่ตรงขีดตำแหน่งตี ซึ่งค้อนจะอยู่สูงโดยทำมุม 160 องศา 25' 22"

จ) ตั้งเข็ม idle pointer ให้อยู่ตรงขีดตำแหน่งตีด้วย

ฉ) ดึงล็อกปล่อยตอนลงตี

ช) ควบคุมค้อนที่ตี ซึ่งแกว่งเลยไปทางด้านหลังให้หยุดนิ่ง

ซ) บันทึกอุณหภูมิทดสอบขณะนั้นด้วย

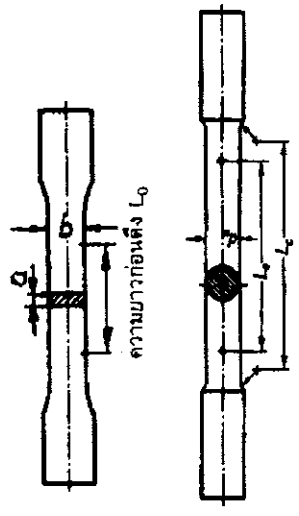
ฌ) ถ้าชิ้นทดสอบไม่หักขาดออกจากกัน ค่าของการกระแทกจะไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงควรบันทึกไว้ว่าชิ้นงานทดสอบไม่หักขาดออกจากกันด้วยค่ากระแทกเท่าใด

2.4.3 การทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile test)

การทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile test) ซึ่งมีความสำคัญที่สุดในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าชนิดเดียวกันว่าสามารถรับภาระได้สูงกว่าแท่งเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่าได้เท่าไร ในการหาความเค้นจึงจำเป็นต้องมีแท่งทดสอบ (specimen) ที่มีสัดส่วนที่มาตรฐานจะมีความยาวก่อนการดึง L_0 ที่มีขนาดมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ (d_0) เอง 5 ถึง 10 เท่า และความยาวที่ใช้ทดสอบ $L_c = L_0 + d_0$ ชิ้นทดสอบที่มีสัดส่วนที่เท่ากันจะมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบได้ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมก็ได้

จุดประสงค์การทดสอบด้วยแรงดึง

1. เพื่อหาความต้านทานแรงดึง (Tensile test)
2. เพื่อหาความเค้นคราก (Yield stress)
3. เพื่อหาขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit)
4. เพื่อหาความยืด (Elongation)



รูปที่ 2.20 ชิ้นทดสอบความต้านแรงดึง

2.4.3.1 **กฎของฮุก** (Hook's law)

ค่าความต้านแรงดึงจะเป็นสัดส่วนกับความเครียดจะได้

$$\frac{\text{ความต้านแรงดึง}}{\text{ความเครียด}} = \text{ค่าคงที่} \qquad \ldots (2.1)$$

ค่าโมดูลัสของยัง (Young's modulus) เมื่อความต้านแรงดึงอยู่ ณ จุดใดจะใช้สูตร ความต้านแรงดึง (N/mm^2)

$$\sigma = F/S_0 \qquad \ldots(2.2)$$

$$A = (L - L_0) \times 100 / L_0 \qquad \ldots(2.3)$$

$$E = (\sigma \times 100)/\varepsilon \qquad \ldots(2.4)$$

เมื่อ F = แรงดึง

S_0 = พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง

L_0 = ความยาวก่อนดึง

L = ความยาวหลังดึง

A = ความยืด...%

ε = ระยะยืด %

E = โมดูลัสยืดหยุ่น (N/mm^2)

2.4.3.2 **การหาค่าอัตราการยืดตัว (ε) 0.2 %**

อัตราการยืดตัว (ε) 0.2 % หมายถึง ความเค้นที่ทำให้เกิดการยืดตัวของชิ้นทดสอบ มีค่า 0.2 % (เมื่อลดแรงดึงลงเหลือศูนย์) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

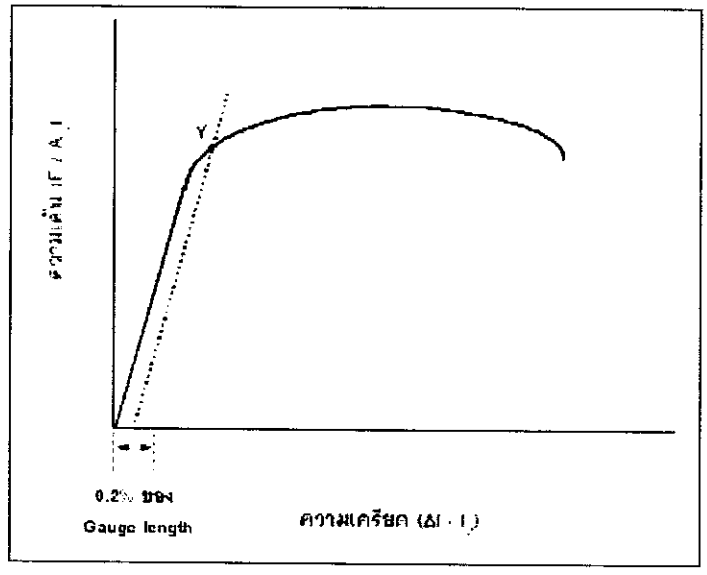
$$R_{p0.2} = F_{0.2} / S_0 \qquad \ldots(2.5)$$

เมื่อ $R_{p0.2}$ = ค่าความเค้นที่ทำให้เกิดอัตรายืดตัว 0.2 % (N/mm^2)

$F_{0.2}$ = แรงที่ใช้ดึงให้ชิ้นทดสอบยืดตัว 0.2 % (N) (เมื่อลดแรงลงหมด)

S_0 = พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง (mm^2)

ในการที่จะใช้ดึงให้ได้ค่า $R_{p0.2}$ เพื่อให้เกิดอัตราการยืดตัว (ε) 0.2 % พอดีเท่านั้น จะต้องใช้เครื่องมือวัดละเอียด จะวัดค่าอัตราการยืดตัวได้ถึง 0.05% ในการดึงชิ้นทดสอบดังรูป ด้วยการแรงดึงจากจุด A ถึงค่า $F_{0.2}$ ถึงจุด B ด้วยความเร็วไม่เกิน 10 N/mm^2 ในแต่ละวินาที ในขณะนี้ชิ้นทดสอบจะมีค่าอัตราการยืดตัว = ระยะ AD)



รูปที่ 2.21 เส้นโค้งของแรงดึงอัตราการยืดตัวในช่วง 0.2%

เมื่อลดแรงดึงลงเหลือศูนย์(สังเกตเส้นลดแรงดึงลูกศรลงเอียงซ้าย) ชิ้นทดสอบจะหดตัว ระยะจาก ADมาเหลือระยะ ACที่มีค่าอัตรายืดตัว = 0.2% พอดี

ค่า $R_{p0.2}$ จะมีค่าเท่ากับความเค้นจุดคราก(R_e) ในการหาค่า $R_{p0.2}$ ก็เพื่อต้องการทราบค่าความเค้นจุดครากของวัสดุที่ไม่มีความเค้นจุดครากให้เห็นอย่างเด่นชัด (เหมือนเหล็กกล้าละมุน St 34)

ค่า R_e หรือ $R_{p0.2}$ นี้ จะนำมาใช้เป็นข้อมูลในการหาค่าความเค้นอนุญาตได้ดังนี้

$$\sigma_{all} = R_{p0.2} / v \text{ หรือ } \sigma_{all} = R_e/v \qquad \ldots(2.6)$$

เมื่อ σ_{all} = ความเค้นอนุญาต (allowance stress)

v = ค่าความปลอดภัย (safety factor)

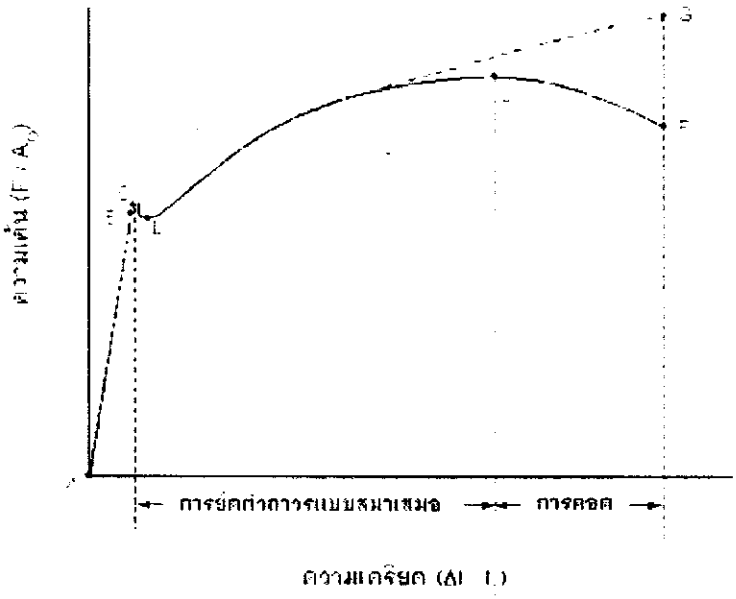
ค่าการลดทอนพื้นที่ชิ้นส่วนที่ถูกดึงจนขาด จะมีการคิดหาเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่บริเวณรอยขาด ต่อพื้นที่เดิมก่อนการดึง

$$Z = (S_0 - S_1) \times 100 / S_0 \qquad \ldots(2.7)$$

เมื่อ Z = การลดทอนพื้นที่หลังการขาด (%)

S_0 = พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง (mm^2)

S_1 = พื้นที่หน้าตัดหลังดึง (mm^2)



รูปที่ 2.22 แผนภาพความต้านแรงดึง – ความยืด

2.4.3.3 ช่วงต่างๆ ของกราฟความเค้น-ความเครียดที่น่าสนใจได้แก่

ช่วง AB เป็นช่วงที่วัสดุเริ่มยืดตัว โดยที่ระยะยืดตัวจะมีความสัมพันธ์กับแรงที่มาดึงเป็นแนวเส้นตรง เราเรียกช่วงนี้ของกราฟว่า Proportional limit หรือ Limit of Proportionality โดยความชันของเส้นตรงดังกล่าวจะเรียกว่า Young's Modulus of Elasticity

เมื่อวัสดุยืดตัวอีกเล็กน้อยจะถึงจุด C ซึ่งเป็นจุดที่เริ่มที่จะมีการแปรรูปแบบถาวร (Plastic deformation) โดยวัสดุที่ได้รับแรงดึงในช่วง AC เมื่อทำการหยุดดึงชิ้นงานจะหดกลับไปยังความยาวเริ่มแรกของวัสดุนั้น เราเรียกการแปรรูปในช่วง AC ว่า Elastic deformation ในทางปฏิบัติจุด B และ C จะอยู่ใกล้กันมากจนสามารถถือได้ว่าเป็นจุดเดียวกัน สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนเมื่อทำการแปรรูปต่อจากจุด C ความเค้นจะลดลงและคงที่โดยวัสดุสามารถยืดตัวออกไปได้เองโดยไม่ต้องเพิ่มความเค้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เราเรียกค่าความเค้นที่จุด D ว่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) เมื่อดึงวัสดุต่อจากจุด D ไป

เรื่อย ค่าความเค้นจะค่อยเพิ่มขึ้นเมื่อระยะยืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุด E ซึ่งเป็นจุดที่ความเค้นสูงสุดของกราฟที่เป็นเส้นเต็ม เราเรียกค่าความเค้นสูงสุดนี้ว่า ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ซึ่งถ้าวัสดุถูกดึงออกจากจุด D พื้นที่หน้าตัดบางส่วนของชิ้นงานจะเริ่มเกิดการคอด (Non-uniform deformation) และทำให้รับแรงได้น้อยลงอย่างมาก เมื่อดึงวัสดุต่อจนถึงจุด F วัสดุจะขาดในที่สุด ซึ่งเราสามารถหาค่าความยาวที่วัสดุยืดตัวออกโดยการนำเอาชิ้นงานที่ขาดมาต่อกัน แล้วหาความยาวของวัสดุหลังการดึง (Initial gauge length) ลบด้วยความยาวของวัสดุก่อนดึง (Initial gauge length) และทำการคำนวณหาค่าความยืดตัวร้อยละ (Percentage elongation) ได้ (ความยืดร้อยละ (%Elongation) = (Gauge length หลังดึง- Gauge length ก่อนดึง) X 100)

2.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microscope)

การศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microscope) โดยการทำชิ้นงานทดสอบไปขัดกับกระดาษทรายและสารขัดละเอียดจนให้ผิวเป็นมัน จากนั้นจะมีการกัดด้วยสารเคมีทำให้เกิดโครงสร้างที่ขอบเม็ดเกรนขึ้น หรือกัดให้ผิวของแต่ละผลึกให้สามารถมองเห็นด้วยกล่องโดยการส่องแสงไฟฟ้าไปกระทบผิวชิ้นงานทดสอบ และสะท้อนออกมาแตกต่างกัน การมองตรวจสอบนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ โครงสร้างของเม็ดเกร็น เช่น เกร็นหยาบ หรือละเอียด การเกิดระนาบคู่ รูปเข็ม กาแผ่กระจาย และการเรียงตัวของเม็ดเกร็น เป็นต้น

2.5.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค

2.5.1.1 **การเลือก และตัดชิ้นทดสอบ เป็นการเลือกชิ้นงานทดสอบที่เหมาะสม** และตัดเตรียมตามจำนวนที่ต้องการ แต่ถ้าชิ้นงานทดสอบมีขนาดเล็กมากก็ควรหุ้มชิ้นงานทดสอบด้วยเรซินโดยที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบอยู่ภายนอกของเรซิน และขนาดของเรซินควรมีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นทดสอบ

2.5.1.2 **การขัดผิวชิ้นงานทดสอบ** ควรขัดด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 180 240 320 400 600 800 1,000 ตามลำดับ ควรขัดด้วยการวางกระดาษทรายลงบนกระจกหนาเรียบขัดด้วยมือ หรือใช้เครื่องขัดแบบจานหมุนแล้วจับชิ้นงานทดสอบด้วยมือ หรือขัดอัตโนมัติ ในขณะขัดนั้นจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรก ซึ่งได้แก่ ผงโลหะ และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไปควรขัดชิ้นงานทดสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิม ทำเช่นนี้ถึงกระดาษแผ่นสุดท้าย

การขัดผิวชิ้นงานทดสอบควรใช้แรงพอประมาณไม่ควรออกแรงมากจนเกินไป ทั้งนี้จะส่งผลให้โครงสร้างของชิ้นงานทดสอบเกิดความบกพร่องจนทำให้เกิดการตรวจสอบโครงสร้างเกิดการผิดพลาดได้

2.5.1.3 **การขัดด้วยผงขัด** (Polishing)

การขัดผิวในขั้นตอนนี้เป็นการขัดผิวมันของชิ้นงานทดสอบด้วยผงขัดที่ทำจากผงอลูมินา (Alumina Oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium Oxide) หรืออาจจะใช้กากเพชรขัดผิวของชิ้นงานทดสอบที่มีความแข็งสูงมาก โดยผงขัดเหล่านี้จะมีขนาดตั้งแต่ 0.05-0.3 ไมครอน

การขัดด้วยผงขัดนี้จะต้องขัดบนจานหมุนที่ห่อหุ้มด้วยผ้าสักหลาดโดยขัดผงขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาด แล้วขัดผิวจนเป็นมัน

2.5.1.4 **การกัดด้วยน้ำยา** (Etching)

ชิ้นงานทดสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วนั้นจะต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์จากนั้นจะถูกนำไปกัดด้วยน้ำยา จะเป็นน้ำยาอะไรนั้นต้องขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ต้องการตรวจสอบ เช่น ถ้าเป็นเหล็กก็จะใช้กรดไนตริกร้อยละ 2-4 ผสมกับแอลกอฮอล์

ตารางที่ 2.2 แสดงวิธีการกัดผิวงาน

วิธีการ	คำบรรยาย
Immersion etching	จุ่มผิวงานที่จะตรวจสอบลงในน้ำยา
Drop etching	หยดน้ำยาลงบนผิวงาน(หงายผิวงานขึ้น)
Wash etching	ใช้น้ำยาเทลาดลงบนผิวงาน ใช้กับงานขนาดใหญ่ หรือน้ำยาที่เกิดเป็นแก๊สได้ง่าย
Alternative immersing etching	จุ่มงานลงในน้ำยา 2 ชนิดแรกโดยชนิดที่สองใช้ละลายที่เกิดจากน้ำยาชนิดแรก
Swab etching	ใช้ผ้า สำลีหรือแปรงขนสัตว์จุ่มน้ำยาแล้วทาบนผิวงานช่วยขจัดเยื้อที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา
Etch polishing	กรรมวิธีคล้ายกับการขัดมัน แต่ใช้น้ำยาแทนผงซักฟอกป้องกันไม่ให้เกิดเยื้อบนชิ้นงาน
Tempering-etching	เผางานในอากาศ และสังเกตดูสีที่ปรากฏขึ้นบนผิวงานเพราะโครงสร้างแต่ละชนิดจะให้สีไม่เหมือนกัน
Warm-etching	ใช้น้ำยาอุณหภูมิสูง อาจทำคล้ายกับกรณี Tempering etching (แต่ใช้น้ำยา หรือสารตัวกลางต่างกัน) หรือใช้วิธีจุ่มลงในน้ำยาร้อน
Double multi-etching	ใช้น้ำยาสองชนิดขึ้นไปแล้วแต่ว่าต้องการตรวจสอบเฟสอะไร
Identification etching	ใช้น้ำยาเฉพาะอย่าง ละกัดเฉพาะเฟสที่ต้องการตรวจสอบ
Electrolytic (anodic) etching	กัดในอิเลคโตรไลท์ โดยใช้ชิ้นงานเป็นขั้วบวก
Potentiostanic etching	เป็นวิธี anodic etching โดยใช้ความต่างศักย์คงที่
Quantitative etching	เป็นวิธี anodic etching โดยการละลายขั้วบวก (งาน) ตามจำนวนที่ต้องการ เมื่อใช้กระแสความหนาแน่นของกระแสและเวลาตามกำหนด

ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดของน้ำยากัดชิ้นงานทดสอบที่เป็นโลหะ

น้ำยากัดผิวทดสอบ	ส่วนผสม	โลหะที่ตรวจสอบ	การใช้งาน
กรดไนตริกและไฮโดรคลอริก	กรดไนตริก 3 มิลลิลิตร ไฮโดรคลอริก 10มิลลิลิตร และเมทิลแอลกอฮอล์ 100มิลลิลิตร	เหล็กเครื่องมือ เหล็กกล้าคาร์บอน	จุ่มชิ้นทดสอบ นาน 10-30 วินาที
เฟอร์ริกคลอไรด์และกรดไนตริก	ผสมเฟอร์ริกคลอไรด์ในกรดไฮโดรคลอริกและใส่กรดไนตริกเล็กน้อย	เหล็กกล้าไร้สนิม	จุ่มแช่หรือเช็ดด้วยสำลี นาน 5-120 วินาที
ผสมกรดในเอทิลแอลกอฮอล์	เฟอร์ริกคลอไรด์ 2.5 มิลลิลิตร, กรดพิคริค 5 มิลลิลิตร , กรดไฮโดรคลอริก 2 มิลลิลิตร , เอทิลแอลกอฮอล์ 90 มิลลิลิตร	เหล็กหล่อ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	จุ่มแช่นาน ประมาณ 5-20 วินาที
ไนตริกและอะเซติก	ไนตริกแอซิด 30 มิลลิลิตร ผสมกรดน้ำส้ม อะเซติกซิด 20 มิลลิลิตร	เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีส่วนของนิกเกิลและโคบอลต์เป็นจำนวนมาก	เช็ดด้วยสำลีชุบกรด นาน 10-30 วินาที
โซเดียมเมตาบิส-ซัลไฟต์	โซเดียมเมตาบิสซัลไฟต์ 15 มิลลิลิตร ผสมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร	เหล็กเครื่องมือรอบสูง	กัดด้วยกรดในเวลา 10-60 วินาที
ไนตัล	ไนตริกแอซิด 1 มิลลิลิตร ผสมเอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร	เหล็กชุบแข็งผิวและเหล็กทั่วไป	กัดด้วยกรดนาน 10-15 วินาที
กรดไฮโดรคลอริก	กรดไฮโดรคลอริก 50 มิลลิลิตร ผสมเอทิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร	เหล็กกล้าที่ผสมของโครเมียมและนิกเกิล	กัดด้วยกรดนาน 10-30 วินาที

แสดงรายละเอียดของน้ำยากัดชิ้นงานทดสอบที่เป็นอลูมิเนียม และทองเหลือง

น้ำยากัดผิวทดสอบ	ส่วนผสม	โลหะที่ตรวจสอบ	การใช้งาน
NaOH, น้ำกลั่น	NaOH 10 กรัม + น้ำกลั่น 70 mol	อลูมิเนียม	จุ่มชิ้นทดสอบ นาน 32-35 วินาที
เฟอร์ริกคลอไรด์, กรดไฮโดรคลอริก และน้ำกลั่น	ผสมเฟอร์ริกคลอไรด์ 10 กรัม + กรดไฮโดรคลอริก 30 mol + น้ำกลั่น 120 mol	ทองเหลือง	จุ่มแช่หรือเช็ดด้วยสำลี นาน 17-19 วินาที

2.5.1.5 **จุลโครงสร้างของโลหะ** (Microstructure)

โลหะโดยทั่วไปหลังการเย็นตัวจะประกอบด้วยเกรน หรือผลึกจำนวนมากซึ่งเกิดจากเกรนของโลหะจำนวนมากจะเกิดขณะมีการเปลี่ยนแปลงจากการหลอมละลายมาเป็นโลหะแข็ง การเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิแข็งตัว โดยการให้กำเนิดนิวเคลียส อะตอมที่ถ่ายเทเพลังงานอิสระไปสู่บรรยากาศรอบ ๆ ทำให้การเคลื่อนที่น้อยลง เมื่อมารวมกันเป็นจุดของโลหะเล็ก ๆ ที่เรียกว่านิวเคลียส เมื่ออุณหภูมิลดลงนิวเคลียสมีการขยายตัวกลายเป็นผลึก ซึ่งเรียกว่า เกรน การขยายตัวจะสิ้นสุดเมื่อปริมาณของโลหะหลอมเหลวหมดไป หรือไม่ก็เกรนที่ขยายตัว ไปชนกับเกรนข้างเคียง เราเรียกว่า โครงสร้างนี้ว่า Dendrite

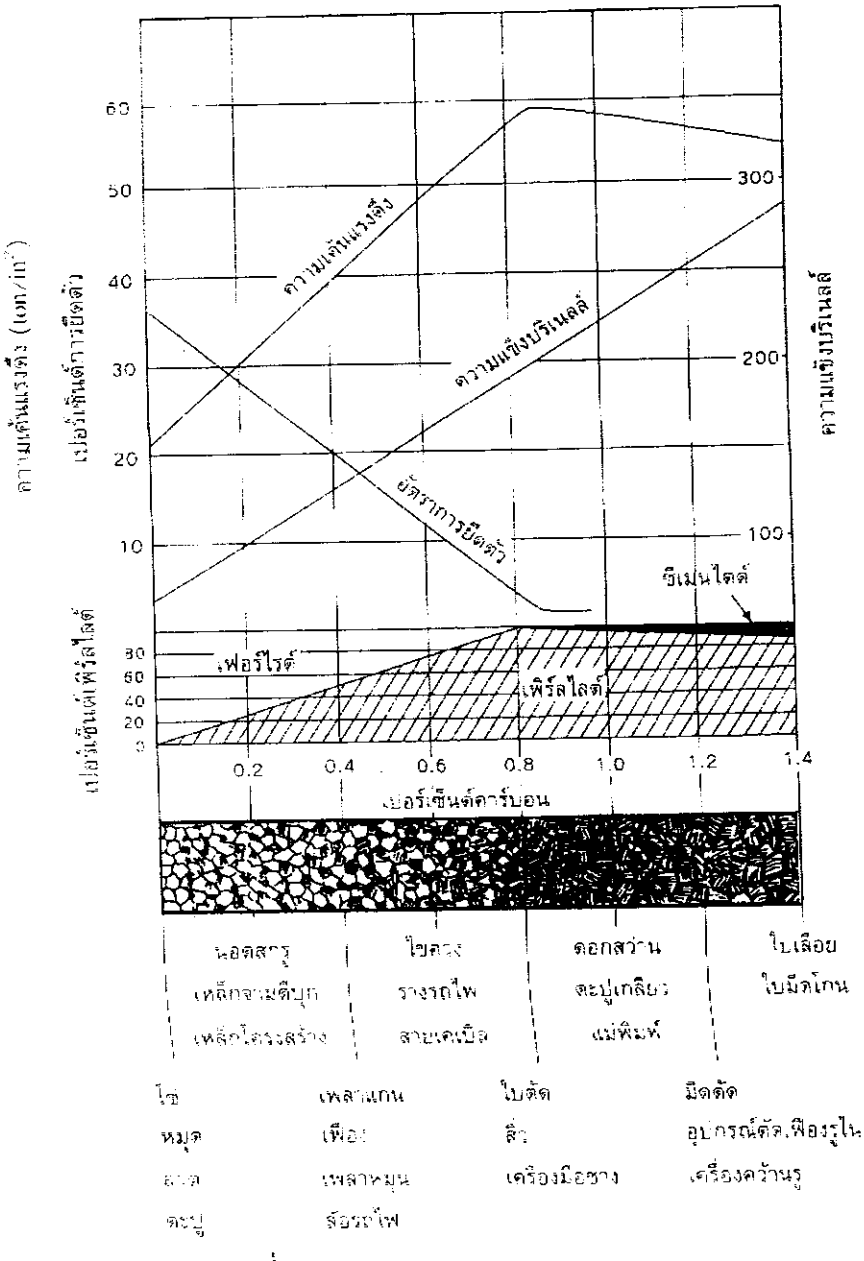
ขนาดของผลึก หรือเกรนที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคสัมพันธ์กับการเย็นตัวของโลหะหลอมเหลวโดยเฉพาะในช่วงที่เกิดการแข็งตัว จะพบว่าอัตราเย็นตัวมีอัตราสูงจะปรากฏนิวเคลียสเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก และการขยายตัวของแต่ละเกรนจะมีอัตราต่ำ เพราะแต่ละเกรนจะแย่งอะตอมของโลหะให้มาจับรวมตัวกับนิวเคลียสซึ่งมีจำนวนมากทำให้ได้โลหะที่มีเกรนขนาดเล็กละเอียด

ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราการเย็นตัวช้า ปริมาณนิวเคลียสที่เกิดขึ้นจะน้อย การขยายตัวของนิวเคลียสจะมีมากทำให้ได้โลหะที่มีเกรนใหญ่

ขนาดความโตของเม็ดเกรนมีผลต่อคุณสมบัติทางกลของวัสดุโลหะ เช่นความแข็ง ความเค้นจุดรากตัว และความต้านแรงดึง ด้วยเหตุนี้ความรู้เกี่ยวกับขนาด และการกระจายของเม็ดเกรนจงสามารถบ่งบอกคุณสมบัติของวัสดุในทางปฏิบัติได้เป็นอย่างมาก

การประมาณของเม็ดเกรนทำได้โดยการตรวจสอบทางกล้องไมโครสโคป (Microscopic examination) หรืออาจประมาณอย่างหยาบ ๆ โดยการทดสอบการหัก เฟอร์ไรท์จะแยกตัวจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเมื่อทำให้มีการเย็นตัวอย่างช้า ๆ ขอบของเกรนเหล่านี้สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนโดยการขัด และการกัดผิวงาน เพราะการเย็นตัวอย่างช้า ๆ ทำให้เกิดเฟอร์ไรท์ขั้นแรก ซึ่งจะทำให้หาขนาดของเกรนได้ ดังนั้นการเย็นตัวของโลหะมีผลต่อการหาขนาดของเกรนด้วย

กราฟแสดงความสัมพันธ์ เปอร์เซ็นคาร์บอนกับการนำไปใช้งาน



ความสัมพันธ์ของค่าความเค้นแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นการยืดตัว ค่าความแข็งบริเนลล์

2.5.1.6 การกำหนดสัญลักษณ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย

เนื่องจากพลังงานที่ใช้ตีมีขนาดต่างกัน จึงทำให้ชิ้นงานทดสอบมีลักษณะรอยบากและขนาดต่างกัน ดังนั้น ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย จึงควรใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีลักษณะรอยบากเป็นตัว U ลึก 5mm ขนาด 10 x 10 x 55 mm แต่ถ้าความลึกของรอยบากรูปตัว U เป็นขนาดอื่น ก็เขียนสัญลักษณ์ได้ดังนี้ เช่น

KCU 15/3 แสดงถึงการใช้พลังงานในการกระแทก 15 kgm/mm^2 และใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีรอยบากลึก 3 mm

KCU 30/3 แสดงถึงการใช้พลังงานในการกระแทกตามปกติคือ 30 kgm/mm^2 และใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีรอยบากลึก 3 mm

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 อิทธิพลของอุณหภูมิอบชุบที่มีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของเหล็ก AISI 4140

ดำเนินงานวิจัยโดย นาย วทัญญู อรรถาเวช , นาย สมศักดิ์ โพธิสุวรรณ และ นางสางสุภัค จำรัสทอง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา อุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิอบชุบที่มีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของเหล็ก AISI 1010 โดยทำการทดสอบวัสดุ และวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบชุบ และอัตราการเย็นตัวของสารชุบที่มีผลต่อความแข็ง ความทนต่อแรงกระแทก ความทนต่อแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น เปอร์เซนต์ความยืดหยุ่น รวมทั้งศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเหล็กที่ผ่านกระบวนการอบชุบ

ผลลัพธ์ของการศึกษาพบว่าความแข็งจะแปรผันตรงกับอัตราการเย็นตัว และแปรผกผันกับอุณหภูมิอบชุบ และอุณหภูมิการอบคืนไฟ ความทนต่อแรงกระแทกจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิอบชุบ อุณหภูมิการอบคืนไฟ และอัตราเย็นตัวของสารอบชุบ ความทนต่อแรงดึงจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิอบชุบ อุณหภูมิการอบคืนไฟ และอัตราเย็นตัวของสารอบชุบ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิอบชุบ อุณหภูมิการอบคืนไฟ และอัตราเย็นตัวของสารอบชุบ เปอร์เซ็นความยืดหยุ่นจะไม่มีผลต่ออุณหภูมิการอบชุบ แต่จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิการอบคืนไฟ และแปรผกผันกับอัตราการเย็นตัวของสารชุบ โครงสร้างจุลภาคจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิอบชุบ อุณหภูมิการอบคืนไฟ และอัตราเย็นตัวของสารอบชุบ

2.6.2 **การศึกษาตัวแปรในการอบชุบที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาค**

ดำเนินงานวิจัยโดย นางสาวทิพวรรณ แม้นเจริญ และนายศักดิ์ชัย เด่นนิติรัตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา อุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ได้ศึกษาตัวแปรในการชุบแข็งที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค โดยทำการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการคำนวณทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็ง และความทนต่อแรงกระแทก กับตัวกลางที่ใช้ในการชุบแข็ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบชุบ รวมทั้งศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งในสภาวะต่าง ๆ

ผลลัพธ์ของการศึกษาพบว่า อุณหภูมิและการเย็นตัวมีผลกระทบต่อความแข็ง ความทนต่อแรงกระแทก และโครงสร้างจุลภาค โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบชุบแปรผกผันกับความแข็ง แต่แปรผกผันกับความทนต่อแรงกระแทก และขนาดของเม็ดเกรน ยกเว้นการชุบแข็งในน้ำมัน อุณหภูมิไม่มีผลต่อความทนต่อแรงกระแทก โดยความทนต่อแรงกระแทกที่ได้จากการชุบแข็งในน้ำมันจะใกล้เคียงกับความทนต่อแรงกระแทกก่อนการชุบแข็ง