บทที่ 2

คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเส้นที่มีผลมาจากโครงสร้าง

ตามทฤษฎีจากบทที่ 1 ซึ่งเราทราบแล้วว่าโครงสร้างของเหล็กคาร์บอนต่ำจะมีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรท์ (Ferrite) และเพียร์ไลท์ (Pearlite) แนะนำโดย Rolfe, (1937) โดยที่สัดส่วนของโครงสร้างนี้มีผลกระทบโดยตรงต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็ก สามารถคำนวณหาคุณสมบัติเชิงกลได้จากสัดส่วนโครงสร้างเหล่านี้ด้วยวิธีการของ Rolfe, (1937) และ Underwood, (1970) ประกอบกันในการคำนวณ ซึ่งสิ่งแรกที่จะต้องทำคือถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาค (Micro Structure) ของเหล็กคาร์บอนต่ำ (เหล็กข้ออ้อยที่นำมาวิจัยในครั้งนี้) เพื่อหาสัดส่วนโครงสร้างของเหล็กนี้

2.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของเหล็กคาร์บอนต่ำ

จากการศึกษาเบื้องต้นจะพบว่าโครงสร้างของโลหะมีลักษณะเป็นผลึกซึ่งหมายถึงอะตอมของโลหะรวมตัวกันอย่างมีรูปแบบที่แน่นอน ในโลหะที่เป็นผลึกแบบเดี่ยว ๆ (Single crystal) รูปแบบของโครงสร้างนี้จะเป็นแบบเดียวกันตลอดทั้งชิ้นของวัสดุชิ้นนั้น โครงสร้างแบบนี้ในแร่ต่าง ๆ ง่ายต่อการจดจำเพราะรูปแบบของมันเป็นแบบธรรมดา มันจะเกาะยึดกันโดยผิวหน้ามีลักษณะแบนและเกาะยึดต่อกันเป็นรูปทรงหลายหน้า ผลึกโครงสร้างของโลหะตามธรรมดาโดยทั่ว ๆ ไปจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็วและจำนวนมาก ๆ ดังนั้นโครงสร้างของโลหะที่มีลักษณะเดี่ยว ๆ (Single crystals) ตามปกติต้องวิเคราะห์ด้วยการดูรูปแบบของสัดส่วนโครงสร้างด้วยเอ๊กเรย์ หรือด้วยการวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical etching) การปรากฏของโครงสร้างเดี่ยว ๆ ตามธรรมชาติในโลหะส่วนมากจะเกาะยึดกันจำนวนมาก ๆ เกิดเป็นผลึกโครงสร้างและผลึกโครงสร้างของโลหะจะประกอบรวมกันด้วยเกรนจำนวนมาก ๆ โดยที่ทุก ๆ เกรนมีลักษณะของโครงสร้างของตัวมันเองเป็นผลึกเดี่ยว ๆ (Single crystal) เกรนแต่ละเกรนจะยึดเหนี่ยวกันด้วยขอบของเกรน (Grain boundary) และการเรียงตัวยึดเหนี่ยวกันของเกรนต่าง ๆ ทั้งหมดเป็นไปแบบสุ่ม

(Random) เส้นเกรนของวัสดุต่าง ๆ จะมีลักษณะบางมากเป็นแนวที่ยืดเหนี่ยวกันระหว่างเกรนของโลหะแต่ละเกรน ในวัสดุที่ไม่ใช่โลหะบางชนิดจะมีลักษณะการยืดเหนี่ยวแบบนี้ แต่ในโลหะจะพบว่าเส้นแบ่งเกรน (Grain Boundary) จะเด่นชัดกว่าและแบ่งออกเป็นเกรนเดี่ยว ๆ อย่างชัดเจน

การศึกษาหรือพิจารณาวัสดุที่มีเส้นแบ่งเกรนจำนวนมาก ๆ สิ่งแรกที่ต้องรู้คือ รูปร่างของผลึกของโครงสร้างและลักษณะการกระจายของเกรน ในตัวอย่างที่จะนำมาพิจารณาบางครั้งเกรนในโลหะมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแต่ส่วนใหญ่แล้วต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในการดูโครงสร้างซึ่งจะสามารถดูได้แม้กระทั่งเกรนที่ละเอียดมาก ๆ แต่ถ้าโลหะที่มีเกรนขนาดเล็กมาก ๆ จำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ระบบอิเล็คส์ตรอน การศึกษาโครงสร้างของโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์จะทำให้เห็นรูปร่างของผลึกโลหะและสามารถถ่ายภาพโครงสร้างเพื่อนำมาศึกษาได้อย่างสะดวกและสามารถดูโครงสร้างที่ละเอียดมาก ๆ ได้โดยใช้แสงผ่านจากกล้องจุลทรรศน์

2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบโครงสร้าง

เพื่อให้สามารถมองเห็นเกรนของโครงสร้างของโลหะจะต้องเตรียมชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ซึ่งชิ้นงานทดสอบจะต้องทำให้มีผิวแบนเรียบและมีผิวที่เป็นเงาคล้ายกระจก ดังนั้นสิ่งแรกที่ต้องทำคือการขัดมันผิวของโลหะ การเตรียมผิวของโลหะนี้สำคัญมากดังนั้นวิธีการต่าง ๆ ในการเตรียมผิวของโลหะต้องทำอย่างรอบคอบกับทุก ๆ ส่วนของโครงสร้าง การขัดเงาชิ้นทดสอบต้องใช้ความละเอียดและรู้จักสังเกตุความเรียบของผิวหน้าของชิ้นทดสอบให้มีความเงาคล้ายกับกระจกเงา การเตรียมผิวทำได้โดยการเริ่มขัดชิ้นทดสอบด้วยกระดาษทรายที่มีความหยาบจนถึงละเอียดตามลำดับ ทิศทางของการขัดควรมีการเปลี่ยนทิศทางทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนการใช้กระดาษทรายที่มีความละเอียดกว่า เพื่อปรับลบรอยขัดที่เกิดจากกระดาษทรายที่หยาบกว่าและเป็นการตรวจสอบระดับของผิวหน้าชิ้นทดสอบไปด้วย การทำเช่นนี้จะทำให้รอยขัดตื้นขึ้นด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียดกว่า กระดาษทรายที่ใช้จะเปลี่ยนเบอร์ไปเรื่อย ๆ จากเบอร์หยาบไปจนถึงเบอร์ละเอียด (ตามมาตรฐานจะใช้จากเบอร์ 0, 00 และ 000) ต่อจากนั้นจะทำการขัดมันโดยใช้จานขัดด้วยผ้าพิเศษ ซึ่งจานขัดจะทำหน้าที่ขัดรอยต่าง ๆ ที่เหลือจากการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์สุดท้ายให้หมดไป จานขัดจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดแรกจะขัดหยาบและชนิดสุดท้ายจะ

ขัดละเอียด ในการขัดขั้นสุดท้ายนี้แรงกดที่ใช้ในการขัดสำคัญมากเพราะว่าแรงกดที่ใช้น้อยเกินไปจะทำให้การขัดมันชิ้นทดสอบนั้นเสร็จช้าและอาจทำให้เกิดรอยขีดหรือความโค้งนูนของผิวหน้าชิ้นทดสอบ แต่แรงกดที่มากเกินไปจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ความร้อนที่ผิวหน้าชิ้นทดสอบมากเกินไปอาจทำให้โครงสร้างเปลี่ยนรูปไปรวมทั้งทำให้ผิวหน้าเกิดรอยขีดที่ลึกได้ ดังนั้นการใช้แรงกดควรจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของโลหะที่แตกต่างกันโดยการพิจารณาจากวัสดุชิ้นทดสอบที่นำมาทำการทดสอบ จะทำให้ได้ผิวงานทดสอบที่สมบูรณ์ตามที่ต้องการ

อย่างไรก็ตามผิวที่ขัดมันแล้วต้องทำการกัดด้วยกรด (Etched) เสียก่อนจึงจะทำให้ได้รายละเอียดต่าง ๆ ของโครงสร้างปรากฏชัดเจนอย่างเด่นชัดเนื่องจากส่วนผสมของโลหะที่แตกต่างกันจะทำให้โครงสร้างของโลหะมีความแข็งหรืออ่อนแตกต่างกันตามชนิดของส่วนผสม ดังนั้นการเลือกใช้กรดหรือสารเคมีที่ใช้ (Etchant or Etching Solution) จะต้องเป็นไปอย่างเหมาะสมกับส่วนประกอบทางเคมีเพื่อให้การปรากฏรายละเอียดต่าง ๆ ของโครงสร้างอย่างชัดเจน นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการกัดกรดหรือความลึกของการกัด (Depth of etching) จะต้องเหมาะสมกับธรรมชาติของส่วนผสมของวัสดุนั้น ๆ และสิ่งที่สำคัญยิ่งอีกอย่างหนึ่งคือกำลังขยายที่จะใช้ในการทดสอบจะต้องเหมาะสมกับธรรมชาติของโลหะนั้น ๆ ถ้าหากใช้กำลังขยายที่น้อยกว่า 25 เท่า จะเป็นการศึกษาทางโครงสร้างมหภาค (macroscopic examination) การกัดชิ้นทดสอบจะต้องให้มีความลึกมากกว่าการกัดเพื่อศึกษาทางโครงสร้างจุลภาค โครงสร้างที่ต้องการศึกษาด้วยกำลังขยายที่สูงกว่า 25 เท่าเรียกว่า โครงสร้างจุลภาค (micrographs) ถ้ากำลังขยายอยู่ระหว่าง 50 - 100 เท่า ชิ้นทดสอบที่กัดกรดจะต้องทำให้รอยกัดมีความลึกที่พอเหมาะเพื่อให้เกิดความแตกต่างของโครงสร้าง วัสดุที่มีโครงสร้างละเอียดมาก ๆ ต้องใช้กำลังขยาย 500 ถึง 1,000 เท่า อย่างไรก็ตามชิ้นทดสอบทุก ๆ ชิ้นต้องทำการกัดกรด (etching) เพื่อให้สามารถมองเห็นรายละเอียดต่าง ๆ ของชิ้นทดสอบ เวลาที่ใช้ในการกัดกรดจะสัมพันธ์กันกับชนิดของวัสดุกำลังขยายหรือรายละเอียดที่ต้องการพิจารณาและชนิดของกรดที่จะใช้ทั้งหมดนี้เป็นองค์ประกอบที่ต้องมีความสัมพันธ์กันจึงจะทำให้เราได้รายละเอียดของโครงสร้างที่ต้องการศึกษาอย่างครบถ้วนและถูกต้อง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาค

ชิ้นงานทดสอบที่เตรียมเสร็จแล้วโดยมีการเตรียมมาอย่างดีและกัดกรดมาเรียบร้อยแล้ว ผิวหน้าของชิ้นทดสอบจะต้องไม่โค้งนูน ก่อนทำการถ่ายภาพโครงสร้างจะต้องตั้งข้อกำหนดในการถ่ายภาพเพื่อไม่ให้เกิดการลำเอียงด้วยการเลือกถ่ายภาพโครงสร้างในชิ้นทดสอบ ให้การทดสอบเป็นไปแบบสุ่มจริง ๆ โดยกำหนดดังต่อไปนี้

1. กำหนดตำแหน่งที่จะถ่ายภาพโครงสร้างให้เป็นตำแหน่งที่เหมือนๆกันในทุก ๆ ชิ้นของตัวอย่างเช่น กำหนดไว้ที่จุดศูนย์กลางของชิ้นทดสอบทุก ๆ ชิ้นโดยประมาณ

2. กำหนดกำลังขยายในการถ่ายภาพให้เท่า ๆ กันในทุก ๆ ครั้งของการถ่ายภาพโครงสร้าง

3. ผู้ที่ทำการถ่ายภาพต้องเป็นคน ๆ เดียวกันตลอดจนกระทั่งเสร็จสิ้นทุก ๆ ชิ้นตัวอย่างในการวิจัยครั้งนั้น ๆ

4. การให้แสงในการอัดภาพต้องเป็นปริมาณเดียวกันทุกๆภาพของการวิจัยครั้งนั้น ๆ

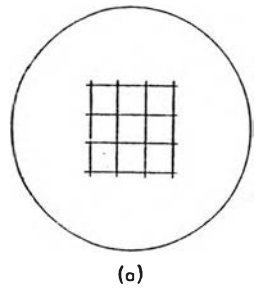
5. ขนาดกำลังขยายในการอัดภาพต้องใช้ขนาดขยายที่เท่า ๆ กันในทุก ๆ ภาพของการวิจัย

จากข้อกำหนดเหล่านี้จะทำให้ความลำเอียงหรือความคลาดเคลื่อนจากการถ่ายภาพน้อยลง ผลที่ได้จะทำให้การตรวจสอบมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

2.4 การตรวจนับสัดส่วนของโครงสร้างตามวิธีของ Underwood

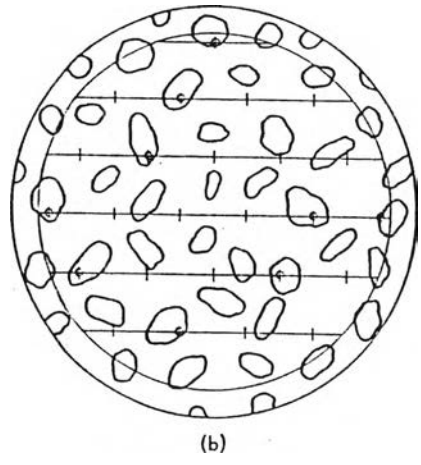
หลังจากที่เราได้ทำการถ่ายภาพโครงสร้างเรียบร้อยแล้วตามกำหนดใน ข้อ 2.3 ภาพทุกภาพที่ได้จะมีขนาดเท่ากัน ซึ่งตามปกติจะใช้ขนาดของภาพเป็นขนาด postcard ตามวิธีการของ Underwood,(1970) ซึ่งเขาได้กล่าวถึงวิธีการนับโดยทั่ว ๆ ไปมีหลายวิธีด้วยกัน ขั้นตอนพื้นฐานเหล่านี้เป็นการกระทำกับหน้าตัดที่มี 2 มิติ การวัดอาจกระทำด้วยการวัดแบบจุด แบบเส้น และแบบพื้นที่ วิธีการนับต่าง ๆ เหล่านี้โดยมากมักจะใช้การนับด้วยการใช้เครื่องนับอัตโนมัติโดยใช้กล้องจุลทรรศน์

วิธีการนับด้วยจุด (Point counting) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของวิธีต่าง ๆ ในหลาย ๆ วิธีที่แนะนำโดย Underwood,(1970) ซึ่งเป็นวิธีการตรวจหาสัดส่วนของโครงสร้างในเหล็ก จุดที่อ้างถึงนี้หมายถึงจุดที่เราจะนับสัดส่วนของโครงสร้างเมื่อเทียบกับจุดที่เราสร้างขึ้น (P_T) เพื่อการตรวจหาสัดส่วน ตัวอย่างเช่น จุดที่ตัดกันของเส้นที่เราสร้างขึ้น ตัดกันเหมือนเส้นตะแกรง หรือจุดที่ปลายของเส้นทดสอบสั้น ๆ ในการนับจะนับเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ของโครงสร้างที่เราสนใจบนหน้าตัดนั้น ๆ ด้วยวิธีการนี้จุดตัดลักษณะตาข่ายที่เราสร้างขึ้นจะวางทาบบนพื้นที่ของโครงสร้างจุลภาคที่เราจะตรวจสอบ จำนวนจุดตัดจากตาข่ายที่ใช้ตรวจสอบที่ทาบอยู่เหนือพื้นที่ที่เราสนใจจะถูกนับและบันทึกไว้จนกระทั่งนับตลอดทั่วในพื้นที่ ที่เราต้องการตรวจสอบหรือจนกระทั่งการตรวจสอบนั้น ๆ เสร็จสิ้นไป จำนวนของจุดที่นับได้ (P_L) จะต้องหารด้วยจำนวนจุดทั้งหมดจากตาข่ายที่เราสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบ (P_T) เพื่อจะให้ได้สัดส่วนของ P_L/P_T ซึ่งสัดส่วนของโครงสร้างนี้จะใช้แทนด้วย P_P นอกจากนี้นายHilliard,(1970) ได้แนะนำอีกว่าถ้าจุดตัดของตารางตกลงทาบที่เขตแดนของเกรน (Grain boundary) อาจจะนับเป็นครึ่งหนึ่ง (1/2) การทำเช่นนี้จะเป็นแนวทางต่อผู้ทำการตรวจสอบเพื่อขจัดความคลาดเคลื่อนของการทดลองชนิดต่าง ๆ ของตารางที่ใช้ในการนับด้วยวิธีการใช้จุดนับ แสดงไว้ในรูปที่ 6

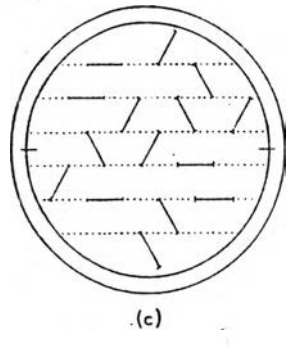


(a)

(a) ตารางหรือจุดนับชนิด 16 จุด



(b) ตารางหรือจุดนับแบบ 25 จุด



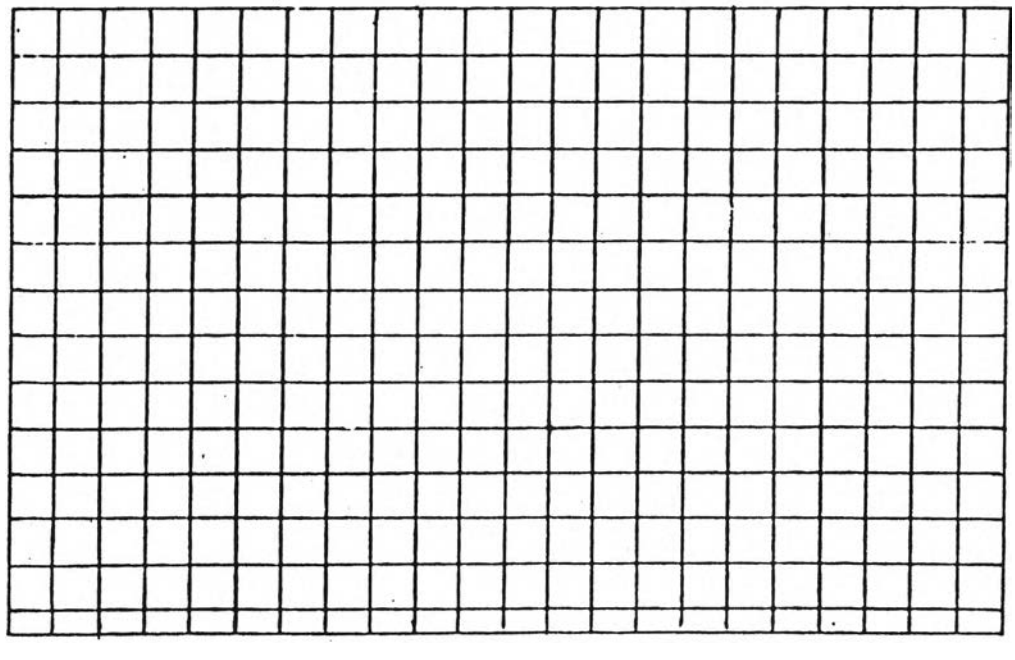
(c) ตารางนับแบบจุดด้วยปลายของเส้นสั้น ๆ

รูปที่ 6 แบบต่าง ๆ ของตารางที่ใช้ในการตรวจนับ

ในการนับอาจใช้วิธีการวางตารางหรือจุดตัดไว้ที่เลนส์กระบอกตาของกล้องถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาค (eyepiece) ที่ใช้ในการตรวจสอบ ในการนับแบบนี้เป็นการนับจากชิ้นทดสอบโดยตรงและการเคลื่อนเพื่อที่จะนับจะกระทำโดยการเลื่อนชิ้นทดสอบที่วางบนที่จับงานบนกล้องจุลทรรศน์ การนับแบบนี้เป็นการนับโดยใช้เครื่องนับอย่างอัตโนมัติ (automatic click-stop) เลื่อนนับชิ้นทดสอบภายใต้เส้นตัดของกล้องจุลทรรศน์ (cross hair of the microscope)

แต่การนับด้วยการใช้รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แทนการนับโดยตรงจากชิ้นทดสอบเราก็จะใช้วิธีทำตารางหรือจุดตัดบนแผ่นพลาสติกใสหรือบนภาพโครงสร้างโดยตรง และรูปภาพที่จะนำมาทำการตรวจสอบสิ่งที่ต้องระวังเป็นสิ่งแรกในการนับคือตำแหน่งที่จะนับต้องเป็นตำแหน่งที่สุ่มจริง ๆ ซึ่งมักพบเสมอว่ามีการนำรูปที่มีจุดที่น่าสนใจมานับบ่อย ๆ จะทำให้การนับไม่เป็นการสุ่มจริง

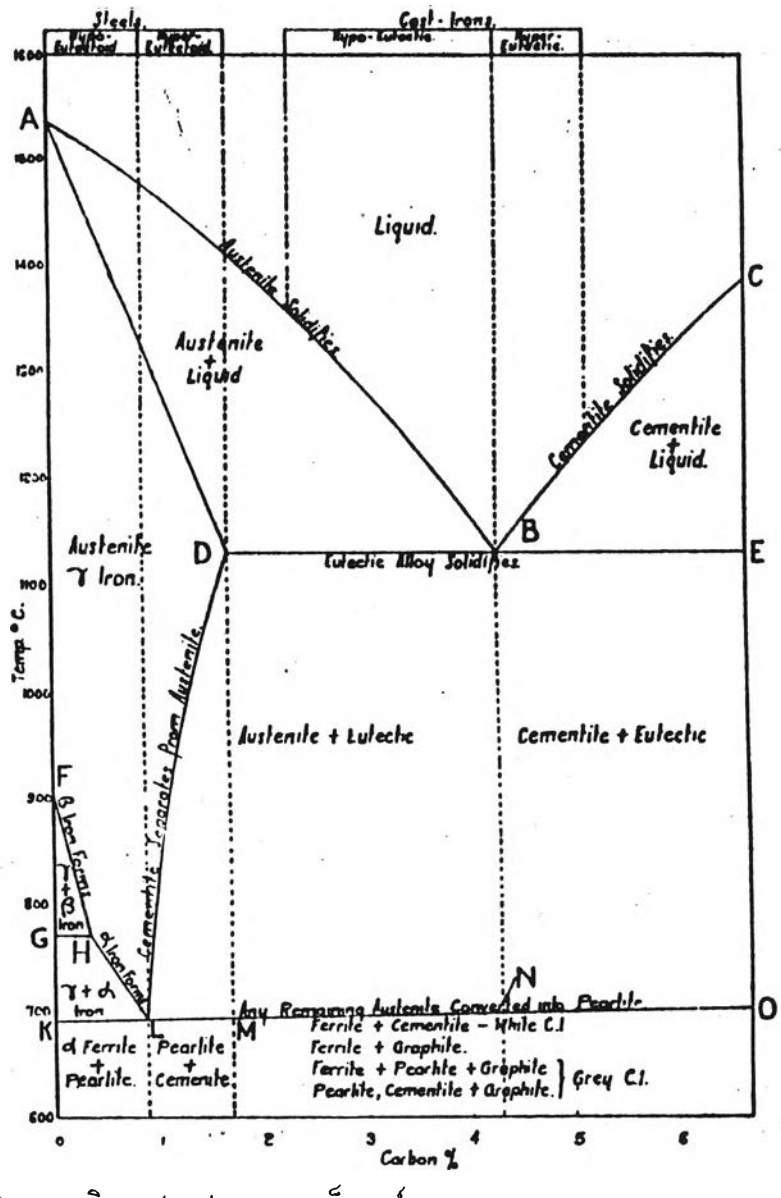
ในการถ่ายภาพงานวิจัยครั้งนี้จะกระทำตามข้อกำหนดที่เราตั้งไว้ในเบื้องต้นเพื่อลดความลำเอียง ภาพทุกภาพจะอัดขยายด้วยอัตรากำลังขยายที่เท่ากันคือเท่ากับขนาดโปสการ์ด การนับโครงสร้างจะกระทำโดยการใช้วิธีสร้างตารางตาข่าย (Cross grid) บนแผ่นพลาสติคใสกำหนดขนาดตารางทั้งหมดที่จะนับเท่ากับขนาดของภาพโปสการ์ด ตารางนี้จะใช้ในการนับภาพโครงสร้างทุก ๆ ภาพที่จะทำการวิจัยในครั้งนี้เพราะจะได้เป็นการเปรียบเทียบสัดส่วนเดียวกัน การนับจะกระทำตามข้อกำหนดที่ตั้งขึ้นก่อนที่จะนับ การกระทำเช่นนี้จะขจัดความลำเอียงของการตรวจนับสัดส่วนโครงสร้าง ตารางที่ใช้นับเพื่อตรวจนับสัดส่วนโครงสร้างแสดงไว้ในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตารางที่ใช้ในการตรวจนับสัดส่วนโครงสร้าง

2.5 การแปลงสัดส่วนของโครงสร้างเป็นเปอร์เซ็นต์คาร์บอนตามวิธีการของ Rolfe

Rolfe,(1937) ได้รายงานถึงผลกระทบของส่วนผสมที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กว่า คุณสมบัติเชิงกลจะแปรเปลี่ยนไปตามส่วนผสมของธาตุที่มีอยู่ ผลกระทบจะแตกต่างกันออกไปตามอิทธิพลของธาตุแต่ละชนิดและในส่วนผสมของเหล็กจะมีธาตุหนึ่งที่มีอิทธิพลมากที่สุดคือ คาร์บอน ในสภาวะที่หลอมเหลวคาร์บอนจะละลายรวมตัวกับเหล็กอย่างสมบูรณ์ การรวมตัวนี้จะอยู่ในรูปคาร์ไบด์ของเหล็ก (Fe_3C) หรือที่เรารู้จักกันในชื่อของ ซีเมนไตท์ (Cementite) การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นกับเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ทั้งในสภาวะที่จะแข็งตัวและในสภาพการเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิปกติ การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเขียนแทนได้ด้วยแผนภูมิสารประกอบเหล็กคาร์บอน ดังในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนภูมิของสารประกอบเหล็กคาร์บอน

จากแผนภูมิรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าในปริมาณคาร์บอนที่แตกต่างกันเมื่อมีการเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิปกติเหล็กคาร์บอนต่ำจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน เช่น เหล็กที่มีเปอร์เซนต์คาร์บอนจาก 0-0.8 % จะมีโครงสร้างเป็น เฟอร์ไรท์และเพียร์ไลท์ ซึ่งสัดส่วนของโครงสร้างทั้งสองนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็ก แต่เหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 0.8-1.7% จะมีโครงสร้างเป็นเพียร์ไลท์ และซีเมนไตท์ ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกับเหล็กคาร์บอนต่ำ ดังนั้นโครงสร้างของเหล็กที่ทำการวิจัยจึงมีโครงสร้างเป็น เฟอร์ไรท์ และ เพียร์ไลท์ ปริมาณของสัดส่วนโครงสร้างนี้สามารถหาได้ด้วยวิธีการของ Underwood,(1970) เมื่อได้ปริมาณของสัดส่วนโครงสร้างเฟอร์ไรท์และเพียร์ไลท์แล้วจะใช้วิธีการของ Rolfe,(1937) ซึ่งนาย Rolfe ได้รายงานว่าในโครงสร้างเพียร์ไลท์จะประกอบด้วยซีเมนไตท์ 1 ส่วนและเฟอร์ไรท์อีก 7 ส่วนโดยน้ำหนัก และมีน้ำหนักของโมเลกุล (Molecular weight) เท่ากับ 180 ขณะที่น้ำหนักของอะตอม (Atomic weight) ของคาร์บอนที่รวมตัวอยู่เท่ากับ 12 ดังนั้นปริมาณของซีเมนไตท์ในเหล็กทั่ว ๆ ไปจะมีปริมาณที่แน่นอนคือ 15 เท่าของคาร์บอนที่ผสมอยู่ (180/12) นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เป็นเฟอร์ไรท์อิสระจะมีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ 0.025 % ดังนั้นการหาเปอร์เซนต์คาร์บอนจะหาได้จากการเอา % หรือสัดส่วนของเพียร์ไลท์ที่หาได้จากวิธีการของ Underwood หารด้วย 8 จะได้ปริมาณของซีเมนไตท์ที่ผสมอยู่ในเพียร์ไลท์แล้วเอา 15 หารปริมาณซีเมนไตท์ที่ได้นี้จะได้เปอร์เซนต์คาร์บอนที่ผสมอยู่ในเพียร์ไลท์แล้วนำมารวมกับค่าเปอร์เซนต์คาร์บอนที่หาได้จากเฟอร์ไรท์อิสระซึ่งตามปกติจะมีคาร์บอนรวมตัวอยู่ในอัตรา 0.025 % ดังนั้นอาจสรุปเป็นสูตรเพื่อคำนวณหาเปอร์เซนต์คาร์บอนได้ดังนี้

<u>สูตร</u> % C ในโครงสร้างเหล็กคาร์บอนต่ำ

$$\%C = \{\%\text{เพียร์ไลท์} * 1/8 * 1/15\} + \{(\%\text{เฟอร์ไรท์} * 0.025)/100\} \quad \text{-----} \quad (4)$$

2.6 <u>อิทธิพลของคาร์บอนที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็ก</u>

ธาตุคาร์บอนเป็นธาตุที่สำคัญที่สุดในเหล็กมีอิทธิพลทำให้เหล็กเปลี่ยนคุณสมบัติเชิงกลเพราะทำให้เหล็กเกิดโครงสร้างแตกต่างกันออกไปตามปริมาณของคาร์บอนที่ผสมอยู่ (ดังในรูปที่ 8)

จะเห็นได้ว่าในอัตราที่มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปและโครงสร้างแบบต่าง ๆ นี้จะเป็นตัวที่ทำให้คุณสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน โครงสร้างแบบต่าง ๆ จะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ นาย Brick,M., Gordon,B.และ Phillips.,1965) ได้แนะนำไว้ดังนี้

1. ปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 0.007 ถึง 0.025 % จะมีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรท์และคาร์ไบด์รวมตัวอยู่เล็กน้อยซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์หรือแว่นขยาย

2. ปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 0.025 ถึง 0.8% จะมีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรท์กับเพียร์ไลท์

3. ปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 0.8 ถึง 2.06% จะมีโครงสร้างเป็นเพียร์ไลท์ และ คาร์ไบด์จากออสเตนไนท์

4. ปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 2.06 ถึง 4.2 % จะมีโครงสร้างเป็นเพียร์ไลท์ในลักษณะผลึกคาร์ไบด์จากออสเตนไนท์และ ลีดีบูไรท์ (Ledeburite)

5. ปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 4.2 ถึง 6.7% จะมีโครงสร้างเป็นคาร์ไบด์และลีดีบูไรท์ (Ledeburite)

จะเห็นได้ว่าโครงสร้างต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลจากคาร์บอนทั้งสิ้นซึ่งโครงสร้างเหล่านี้จะมีคุณสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน ดังนั้นการนำไปใช้จะต้องมีวิธีการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานที่เราทำอยู่และวิธีการทำงานที่เราใช้เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบอื่น ๆ ที่จะมีต่อคุณสมบัติเชิงกล เช่น สภาพในการใช้งาน ความร้อนที่เกิดขึ้น วิธีการประกอบ เป็นต้น