เอกสารปฏิบัติการประกอบรายวิชา
02206381 ปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ I

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์
(Metallurgical Microscope)

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายวิชา 02206381 ปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ I

ปฏิบัติการทดลองที่ 1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Metallurgical Microscope Test)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นิสิตเข้าใจหลักการและวิธีการของการเตรียมโครงสร้างทางโลหะวิทยา
2. เพื่อให้นิสิตเข้าใจหลักการและวิธีการตรวจโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์
3. สามารถใช้เครื่องมือในการเตรียมโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสามารถใช้กล้องจุลทรรศน์ในการตรวจโครงสร้างได้อย่างถูกต้อง

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 โครงสร้างจุลภาคของโลหะ

โครงสร้างจุลภาคของโลหะ คือ ลักษณะโครงสร้างหรือองค์ประกอบของเนื้อโลหะที่มีขนาดในระดับ 1 มิลลิเมตร หรือเล็กกว่าจนต้องใช้กล้องอุปกรณ์ เช่น กล้องจุลทรรศน์ ในการตรวจสอบดูลักษณะของโครงสร้างนั้นๆ โดยใช้กำลังขยายตั้งแต่ 25 เท่าขึ้นไป

1.1.1 การศึกษาโครงสร้างจุลภาค

การศึกษาโครงสร้างจุลภาค เป็นการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะด้วยกล้องกำลังขยายสูง เพื่อตรวจสอบ เกรนของเหล็กกล้า ขนาดเกรนเฉลี่ย รูปร่างของเกรน เส้นขอบเกรน เฟสที่เกิดขึ้น รวมถึงสิ่งเจือปนเหลือค้างอยู่ในเนื้อเหล็ก

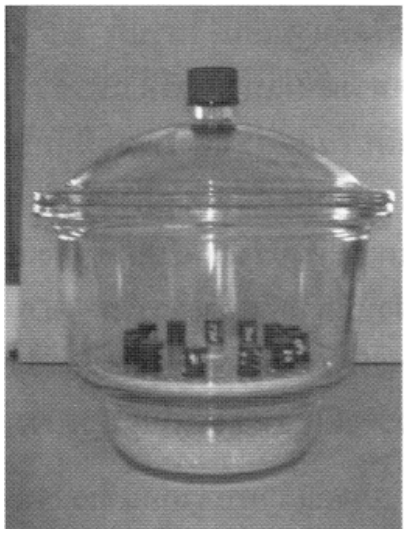
1.1.2 วิธีตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

กระบวนการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะ เป็นกระบวนการที่ผ่านการศึกษามาแล้วอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนที่ค่อนข้างแน่นอนตายตัว กล่าวคือ ต้องมีการเตรียมผิวหน้าของชิ้นงานที่จะศึกษาดูโครงสร้างก่อน จากนั้นจึงใช้อุปกรณ์ช่วย ซึ่งได้แก่กล้องจุลทรรศน์ มาส่องดูโครงสร้างจุลภาคนั้นๆ ขั้นตอนในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค มีดังนี้

1.2 การเตรียมชิ้นงานทางโลหะวิทยา (Metallurgical Specimen Preparation)

1.2.1 การเก็บรักษาชิ้นงานและการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนตัด

การเก็บรักษาชิ้นงานที่ถูกวิธีจะช่วยให้ชิ้นงานอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์รอเวลาที่จะได้นำมาตรวจสอบต่อไป ถ้าชิ้นงานเป็นโลหะที่สามารถเกิดออกไซด์หรือสนิมได้ง่ายก็ควรเก็บในภาชนะที่มีสารดูดความชื้น (Desiccators) ดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับสารดูดความชื้นที่นิยมใช้ คือ ซิลิกาเจล (Silicagel) เมื่อใช้งานไปซักระยะซิลิกาเจลจะดูดความชื้นในถาชนะและจะเปลี่ยนจากสีใสเป็นสีน้ำเงิน เมื่อเม็ดซิลิกาเจลเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินประสิทธิภาพในการดูดความชื้นจะหมดไป จะต้องนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 100 - 150 $^{\circ}$C เพื่อให้ความชื้นระบายออก จนซิลิกาเปลี่ยนเป็นสีใสจึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้



<u>รูปที่ 1</u> ภาชนะที่มีสารดูดความชื้น

ในกรณีที่ชิ้นงานมีขนาดใหญ่กว่าภาชนะอาจใช้แลคเกอร์พ่นผิวหน้าชิ้นงานเพื่อป้องกันไม่ให้ผิวหน้าชิ้นงานสัมผัสอากาศได้ และเมื่อถึงเวลาที่ต้องใช้ชิ้นงานให้ล้างแลคเกอร์ออกโดยสารละลาย เช่น อะซิโตนล้างชิ้นงาน

1.2.2 การตัดชิ้นงานเพื่อเตรียมตัวอย่าง (Sectioning)

เครื่องมือที่ใช้ คือ เครื่องตัดละเอียดที่ใช้ใบตัดกลมชนิดสารขัดถู (Abrasive Cut-off Wheel) ซึ่งนิยมใช้กันทั่วไปสำหรับการตัดชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา การตัดด้วยเครื่องตัดชนิดนี้ใช้สำหรับตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดและระนาบที่ต้องการโดยที่โครงสร้างต้องเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ทำได้โดยใช้น้ำหล่อเย็นในระหว่างการตัด เพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากบริเวณชิ้นงานที่ถูกตัด ทั้งนี้จะต้องเลือกใบตัดให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น การตัดเหล็กกล้าและเหล็กหล่อควรใช้ใบตัดกลมชนิดที่สารขัดถูเป็นอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) หรือเรียกว่าใบตัดอ่อน (Soft wheels) ในขณะที่โลหะนอกกลุ่มเหล็ก เช่น โลหะผสมอลูมิเนียม โลหะผสมทองแดง ควรใช้ใบตัดชนิดที่สารขัดถูเป็นซิลิคอนคาร์ไบด์หรือเรียกว่าใบตัดแข็ง (Hard wheels)

1.2.3 การฝังชิ้นงานในพลาสติก (Mounting)

หลังจากตัดชิ้นงานให้มีขนาดเล็กลงเหมาะที่จะทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแล้ว ชิ้นงานที่ถูกตัดบางครั้งอาจจะสามารถทำการขัดด้วยกระดาษทรายได้เลย เนื่องจากมีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมกับการจับขัดด้วยมือหรือสามารถจับยึดด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติได้ อย่างไรก็ตามบางครั้งต้องฝังชิ้นงานลงในวัสดุจับยึด เช่น พลาสติก เพื่อให้ชิ้นงานมีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมกับการขัด เช่น โลหะที่เป็นแผ่นบาง ลวดโลหะ

ชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่สมมาตร นอกจากนี้การฝังชิ้นงานในพลาสติกจะช่วยรักษาสภาพขอบมุมผิวหน้าชิ้นงานไว้ได้อย่างสมบูรณ์ การฝังชิ้นงานในพลาสติกสามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือ

1) การฝังชิ้นงานในพลาสติกโดยใช้ความร้อน-ความดัน (Hot mounting)

พลาสติกที่ใช้สำหรับวิธีการนี้มีอยู่ 2 กลุ่ม คือ Thermosetting compound และ Thermoplastic compound หลักการ คือ ให้ความร้อนเพื่อให้พลาสติกเกิดการหลอมเหลวภายในแบบหล่อรูปร่างทรงกระบอกที่มีชิ้นงานวางอยู่ และใช้ความดันสูง ทำให้พลาสติกหลอมเหลวเกิดการอัดตัวแน่น พลาสติกหลอมเหลวมีความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น จากนั้นลดอุณหภูมิลงเพื่อให้พลาสติกหลอมเกิดการแข็งตัวและยึดเกาะชิ้นงานไว้ เมื่อพลาสติกแข็งตัวและอุณหภูมิภายในทรงกระบอกลดลงแล้วจึงเอาชิ้นงานออกจากแบบ การทำ Hot mounting เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่เปลี่ยนโครงสร้างที่อุณหภูมิ 150°C

2) การฝังชิ้นงานในอีพอกซี (Cold Mounting)

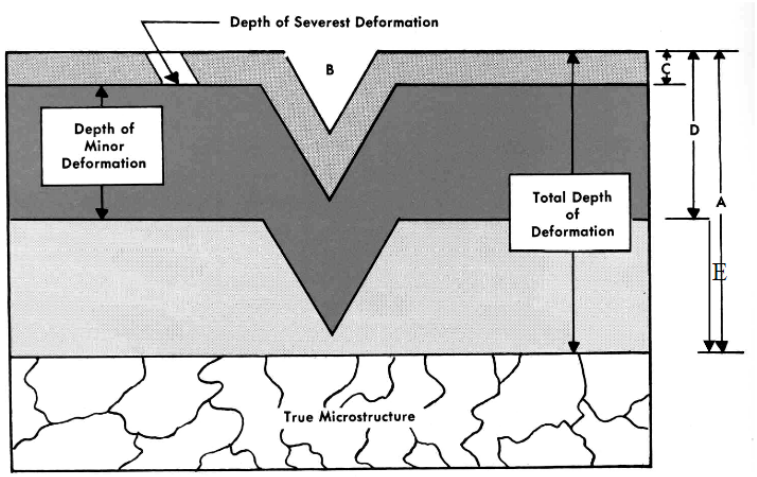
วิธีการนี้ทำโดยใช้เรซินผสมกับสารเร่งการแข็งตัวเทลงในแบบหล่อให้ท่วมชิ้นงานที่วางอยู่ ทิ้งไว้จนอีพอกซีแข็งตัวใช้เวลาประมาณ 16 – 24 ชั่วโมง แล้วจึงแกะออกจากแบบ ในขณะที่อีพอกซีเกิดการแข็งตัวจะคายความร้อนออกมาเล็กน้อย การทำ Cold mounting เหมาะกับชิ้นงานที่มีความอ่อนมากๆ และชิ้นงานที่ไม่ทนต่อความร้อนและแรงดัน

การฝังชิ้นงานในอีพอกซีมีข้อเสีย คือ อิพอกซีใช้เวลาแข็งตัวค่อนข้างนาน ส่วนชนิดที่แข็งตัวเร็วก็จะมีราคาแพง ข้อดี คือ สามารถรักษาสภาพความสมบูรณ์ของชิ้นงานไม่ว่าจะว่าจะเป็น มุม ผิวเคลือบ รูพรุนไว้ได้

1.2.4 การเตรียมผิวเชิงกล (Mechanical preparation)

1) การขัดระนาบ (Fine Grinding)

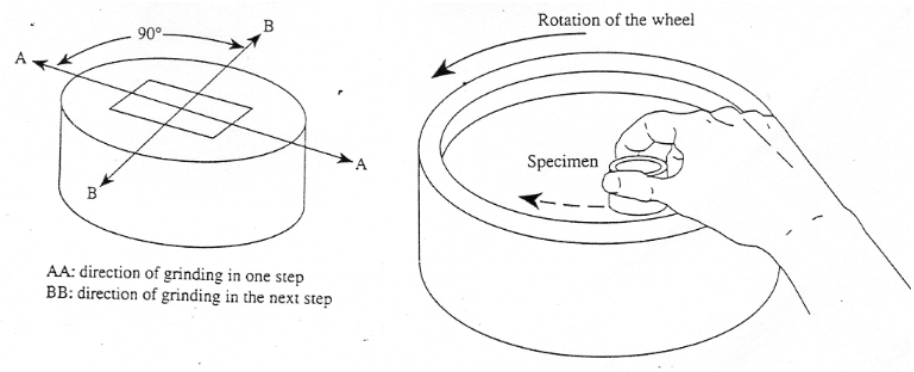
เป็นการขจัดผิวชิ้นงานที่อาจเกิดการเปลี่ยนรูป (Deformation) จากการตัด อุณหภูมิ และการขัดหยาบ และเป็นการขัดเพื่อให้มีระนาบเรียบที่สุดจากรูปที่ 2 ผิวหน้าที่ต้องกำจัดออกมีความลึกเท่ากับระยะ A (Total Depth of Deformation) B คือ รอยขัดที่เกิดจากการขัดละเอียดซึ่งจะมีระยะที่เกิดการเปลี่ยนรูป มีความลึก C ส่วน D คือความลึกของผิวที่เกิดการเสียรูปเล็กน้อย



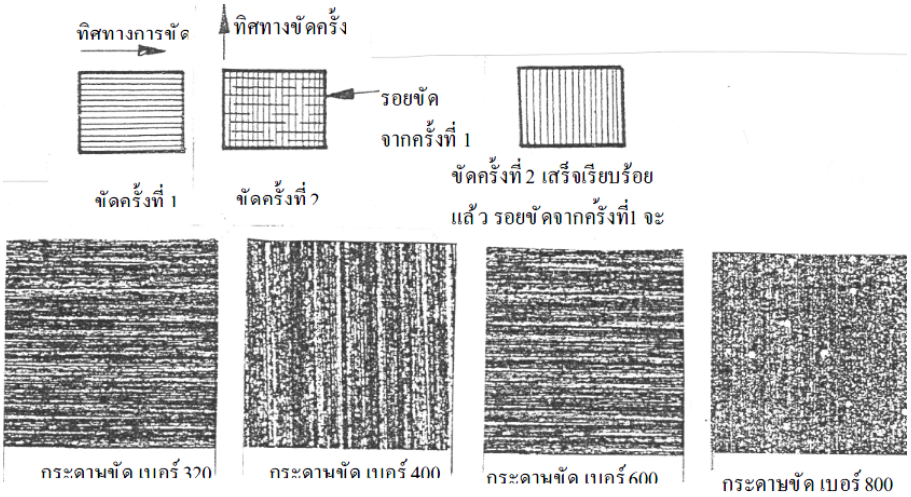
รูปที่ 2 แสดงชั้นของผิวหน้าชิ้นงานที่ต้องทำการกำจัดโดยการขัดหยาบ และขัดเงา

เพื่อป้องกันการเกิดการเปลี่ยนรูปของผิวชิ้นงานใหม่จะต้องทำการขัดอย่างระมัดระวัง วัสดุที่ใช้ขัดระนาบละเอียด คือ แผ่นกระดาษที่ด้านบนจะมีชั้นของสารขัดถูโดยมากใช้ซิลิคอนคาร์ไบด์มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบที่ฝังด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์เรียกชื่อสามัญว่ากระดาษทราย และแบบที่ฝังอะลูมิเนียมออกไซด์ อนุภาคของสารขัดถูจะยึดกันโดยใช้ซีเมนต์โดยกระบวนการผลิตจะทำให้สารขัดถูเรียงตัวตั้งฉากกับแผ่นกระดาษ สำหรับแผ่นกระดาษนั้นจะเป็นกระดาษทนน้ำและซีเมนต์ที่ใช้ก็เป็นชนิดที่ทนน้ำด้วยเช่นกัน

การขัดต้องมีน้ำเป็นตัวหล่อลื่นบริเวณผิวหน้าชิ้นงานและกระดาษขัดตลอดเวลาที่ทำการขัด โดยการขัดต้องขัดให้เกิดรอยกระดาษทรายในทิศทางเดียวตลอดผิวงาน แล้วหมุนชิ้นงานไป 90° ขัดจนรอยเดิมหายไป ดังรูปที่ 3 และ 4 การขัดจะขัดโดยเรียงลำดับเบอร์ของกระดาษขัดตั้งแต่ขนาดเม็ดทรายหยาบไปหาขนาดเม็ดทรายละเอียด (Grit number เรียงจากมากไปน้อย) เริ่มขัดตั่งแต่เบอร์ 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ ตามมาตรฐาน ANSI (American National Standards Institute) โดยก่อนที่จะเปลี่ยนกระดาษขัดต้องล้างผิวงานให้สะอาดเพื่อกำจัดผงขัดหยาบที่ติดมากับผิวทุกครั้ง



รูปที่ 3 ทิศทางการขัดที่เหมาะสม



รูปที่ 4 ตัวอย่างผิวงานขัดชิ้นงาน Aluminium alloy ที่ผ่านการขัดด้วยกระดาษขัดเบอร์ต่างๆ

หมายเลขของผงขัดที่สัมพันธ์กับขนาดของเม็ดผงขัด และความลึกของการขัดแสดงดังตาราง ที่ 1

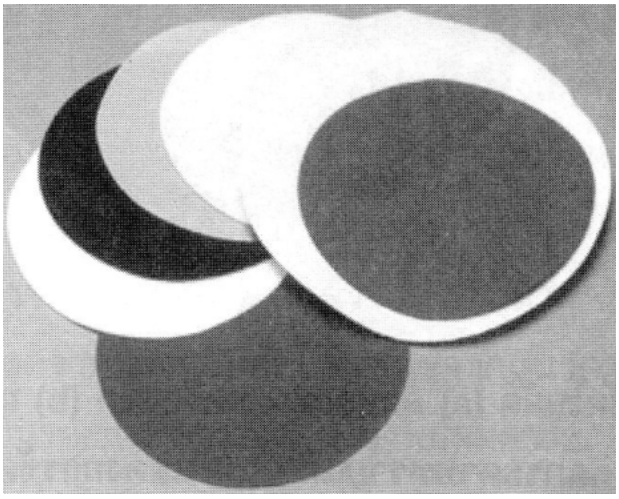
ตารางที่ 1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบขนาดของ Grit Number และขนาดของอนุภาคสารขัดถูตามมาตรฐาน ยุโรปและสหรัฐอเมริกา

FEPA (EUROPE)		ANSI/CAMI (USA)	
Grit Number	Size (μm)	Grit Number	Size (μm)
P60	269.0	60	268.0
P80	201.0	80	188.0
P100	162.0	100	148.0
P120	127.0	120	116.0
P180	78.0	180	78.0
P240	58.5	220	66.0
P280	52.2	240	51.8
P320	46.2		
P360	40.5	280	42.3
P400	35.0	320	34.3
P500	30.2	360	27.3
P600	25.8		
P800	21.8	400	22.1
P1000	18.3	500	18.2
P1200	15.3	600	14.5
P1500	12.6	800	12.2
P2000	10.3	1000	9.2
P2500	8.4	1200	6.5
P4000	5.0		

2) การขัดละเอียดหรือการขัดเงาโลหะ

การขัดเงาโลหะเป็นขัดตอนสุดท้ายกก่อนที่จะนำชิ้นงานไปทำการกัดลาย (Etching) หลักการและอุปกรณ์และอุปกรณ์ของการขัดเงานั้นคล้ายคลึงกับการขัดหยาบ โดยใช้จานหมุดอัตโนมัติ เพียงแต่ขนาดอนุภาคของสารขัดถูจะเล็กกว่า อุปกรณ์พื้นฐานในการขัดเงาก็คือผ้าขัดและสารขัดถูที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น ครีม แขวนลอยในน้ำ แขวนลอยในน้ำมัน และแบบที่เป็นผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ฝังอนุภาคสารขัดถูมาแล้ว

2.1) ผ้าขัด โดยผ้าขัดชนิดที่ใช้กับการขัดเงาเป็นผ้าโพลีเอสเตอร์มีลักษณะคล้ายผ้ากำมะหยี่ขนสั้นมีทั้งชนิดที่ติดกาวสำเร็จรูปด้านหลัง และชนิดไม่ติดกาวเวลาใช้งานจะแต้มด้วยผงขัดชนิดที่เป็นครีมหรือฉีดด้วยผงขัดที่แขวนลอยในน้ำ แขวนลอยในน้ำมัน ดังแสดงตัวอย่างผ้าขัดชนิดที่มีกาวอยู่ด้านหลังในรูปที่ 5 เป็นชนิดที่ใช้กับผงขัดเพชร



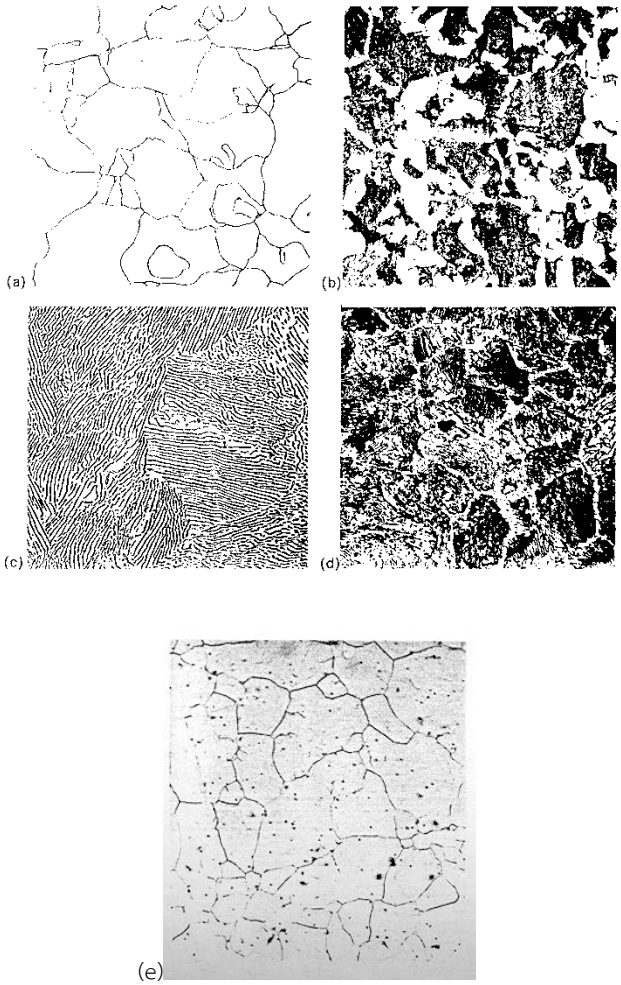
รูปที่ 5 ผ้าขัดโพลีเอสเตอร์ชนิดที่ใช้กับผงขัดเพชร

2.2) สารขัดเงา มีทั้งที่เป็นผลขัดเพชร อะลูมิน่าความละเอียดตั้งแต่ 6 ไมโครเมตรไปจนถึง 0.25 ไมโครเมตร เวลาแต้มผงขัดหรือฉีดผงขัดลงบนผ้าควรที่จะฉีดเป็นจุดตามตำแหน่ง 3 6 9 12 นาฬิกาบนแนวเส้นรอบวงของการหมุดเดียวกัน ถ้าเป็นชนิดที่ขัดแห้ง คือ การขัดโดยไม่ต้องใช้น้ำมันหรือสารหล่อลื่น ส่วนการขัดเปียก คือ การใช้น้ำช่วยหล่อลื่นหรือใช้น้ำมันในกรณีที่ใช้สารขัดเงาแบบที่แขวนลอยในน้ำมัน แสดงตัวอย่างสารขัดเงาอะลูมิน่า และผงขัดเพชรไว้ในรูปที่ 6

รูปที่ 6 สารขัดเงาอะลูมิเนียมออกไซด์และผงขัดเพชร

1.2.5 การกัดผิวโลหะด้วยสารเคมี (Etching)

ผิวโลหะที่ผ่านการขัดละเอียดแล้วจะมีลักษณะเป็นมันวาว สะท้อนแสงได้ดีทำให้การตรวจสอบโครงสร้างทั้งที่เป็นการตรวจสอบด้วยกล้องโทรทัศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) และกล้องสเตอริโอจึงไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างเฟสต่างๆ ได้เนื่องจากแสงที่ตกกระทบสะท้อนออกหมด เพื่อที่จะเกิดระนาบที่ต่างกันของเฟสแต่ละเฟสจึงต้องนำชิ้นงานที่ขัดละเอียดแล้วไปทำการตัดหรือให้เกิดการกัดกร่อนของแต่ละเฟสด้วยการใช้สารเคมีหรือเรียกว่า Etching นั่นเอง



รูปที่ 7 ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนต่าง ๆ
(a) เฟอร์ไรท์ 0.0%C, 500x (b) เฟอร์ไรท์ + เพิร์ลไลท์ 0.40%C, 500x
(c) เพิร์ลไลท์ 0.77%C, 1000x (d) เพิร์ลไลท์ + ซีเมนไตท์ที่ขอบเกรน 1.4%C, 500x
(e) ออสเตนไนท์, 500x (ที่มา: ASM Handbook Vol.9: Metallography and Microstructures, ASM International, Ohio, USA, 1985)

โครงสร้างของโลหะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ โครงสร้างมหภาค (Macrostructure) และโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตัวอย่างโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคของโลหะ

โครงสร้าง	ตัวอย่าง
โครงสร้างมหภาค (Macrostructure)	- ขนาดเกรน การไหลตัวของเนื้อโลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น โครงสร้าง คอลัมน่า (Columnar structure) เดนไดร์ทที่พบในงานหล่อ - การกระจายตัวของธาตุเจือ - รูพรุน ช่องว่าง รอยแตก - การซึมลึกของรอยเชื่อมโลหะ รูพรุนและการแตกที่บริเวรรอยเชื่อมและบริเวณ Heat affected zone (HAZ) - คุณภาพของผิวเคลือบ
โครงสร้างจุลภาค (Microstructure)	- เกรนเริ่มต้นของออสเตนไนท์ก่อนการชุบแข็งเหล็กกล้า - ปริมาณเพริลไลท์ เฟอร์ไรท์ในเหล็กกล้า - คาร์ไบด์ การกระจายตัวและขนาดของคาร์ไบในเหล็กกล้าเครื่องมือ - เฟสต่างๆ ในเหล็กกล้าไร้สนิม - เฟสต่างๆ ในเหล็กกล้า โลหะผสมเหล็กกล้าที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

ชิ้นงานที่ผ่านการขัดละเอียดจนมีผิวหน้าเป็นมันวาวแล้วสามารถที่จะนำมากัดกรดด้วยสารเคมีได้เลย วิธีการ คือ ผู้ปฏิบัติงานสวมถุงมือยางแล้วใช้คีมคีบชิ้นงานในลักษณะที่สามารถคว่ำผิวหน้าชิ้นงานได้ถนัดมือ เมื่อเทสารเคมีที่ผสมแล้วลงในภาชนะให้มีปริมาณสารพอสมควรแก่การทำงานได้สะดวก ใช้คีมคีบชิ้นงานคว่ำหน้าลงให้สัมผัสกับสารเคมีทั่วทุกจุดสม่ำเสมอกัน โดยทั่วไปจะใช้เวลาในการกัดผิวหน้าโลหะด้วยสารเคมีประมาณ 10-15 วินาที เวลานั้นจะขึ้นกับสารเคมีที่ใช้ ชนิดของโลหะเป็นสำคัญ หากเป็นชิ้นงานโลหะที่ไม่ทราบเวลาที่เหมาะสมในการจุ่มกัดด้วยสารเคมีก็ควรจะจุ่มโดยใช้เวลาน้อยๆ ก่อน หากยังไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างได้ค่อยนำมาจัดด้วยสารเคมีโดยเพิ่มเวลาไปเรื่อยๆ ไม่ต้องทำการขัดละเอียดใหม่ เนื่องจากว่าในการกัดผิวหน้าโลหะด้วยสารเคมีสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าการขัดละเอียดใหม่ หากการกัดผิวหน้าโลหะด้วยสารเคมีใช้เวลานานเกินไปจนชิ้นงานไหม้ก็จะต้องทำการขัดละเอียดใหม่ก่อนแล้วจึงจะนำไปขัดด้วยสารเคมีอีกที

เมื่อครบเวลาในการจุ่มชิ้นงานในสารเคมีแล้วจะต้องล้างชิ้นงานให้สะอาดเพื่อให้สารเคมีส่วนเกินหลุดไปจากผิวหน้าโลหะ การล้างผิวหน้าโลหะที่ผ่านการกัดด้วยสารเคมีแล้วจะใช้การฉีดหรือเปิดน้ำกลั่น (ต้องเป็นน้ำที่ไหล) เพื่อล่างสารเคมีตกค้างออกให้หมดแล้วจึงฉีดแอลกอฮอล์ไล่คราบน้ำกลั่นที่ผิวหน้าโลหะแล้วใช้ไดร์เป่าลมร้อนให้แอลกอฮอล์ระเหยออกจากชิ้นงาน

ตารางที่ 2 การเลือกใช้สารละลายในการกัดผิวหน้าโลหะผสมกลุ่มเหล็กเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

โลหะผสม	ส่วนผสม	วิธีการ
- เหล็กกล้าคาร์บอน - โลหะผสมเหล็กกล้า - เหล็กกล้าเครื่องมือ - เหล็กหล่อ	*ไนทรัล (nitral)* - กรดไนทริก (HNO_3) 2 มิลลิลิตร - เอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร	- กรดไนทริก (HNO_3) 2 ml - เอทิลแอลกอฮอล์ 100 ml
- โลหะผสมเหล็กกล้า - เหล็กกล้าเครื่องมือ	*พิครัล (picral)* - กรดพิคริก 4 กรัม - เอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร	
- เหล็กกล้า - เหล็กกล้าเครื่องมือ	*วิลิลล่า (Vilella's reagent)* - กรดพิคริก 4 กรัม - กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 5 มิลลิลิตร	
- โลหะผสมเหล็ก-โครเมียม - เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก - เหล็กกล้าไร้สนิมที่มี ปริมาณโครเมียมสูงและมีปริมาณนิเกิลสูง	- กรดไนทริก - กรดไฮโดรคลอริก	

ตารางที่ 3 ตัวอย่างสารละลายที่ใช้ในการกัดผิวหน้าโลหะเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

โลหะผสม	ส่วนผสม	วิธีการ
เหล็กกล้าคาร์บอนและโลหะผสมเหล็กกล้า เช่น เหล็กกล้าเครื่องมือ เหล็กกล้าไร้สนิม	- ไฮโดรคลอริก (HCl) 50 มิลลิลิตร - น้ำ 50 มิลลิลิตร	- จุ่มลงในสารละลายอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 15-30 นาที - ใช้สำหรับดูโครงสร้างทั่วไป
โลหะผสมเหล็กกล้าธาตุผสมสูง	- ไฮโดรคลอลิก (HCl) 50 มิลลิลิตร - ไนทริก (HNO_3) 25 มิลลิลิตร - น้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร	- จุ่มชิ้นงานในสารละลายเป็นเวลา 10-15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ล้างด้วยน้ำอุ่นแล้วเป่าด้วยลมร้อนให้แห้ง

1.3 การตรวจโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์

อุปกรณ์ที่ใช้ คือ กล้องจุลทรรศน์ลำแสง (Light microscope) แยกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

ชนิดที่แสงส่องทะลุผ่านชิ้นงาน

กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะมีแหล่งกำเนิดแสงอยู่ฝั่งตรงข้ามกับเลนส์วัตถุโดยมีชิ้นงานอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและเลนส์ ชิ้นงานที่ใช้กล้องชนิดนี้ตรวจสอบจึงต้องเป็นวัตถุที่โปร่งแสงเพื่อให้แสงส่องผ่านทะลุชิ้นงานได้ เช่น แร่ หรือเซรามิกส์โปร่งแสงที่ขัดจนบางพอให้แสงผ่านได้

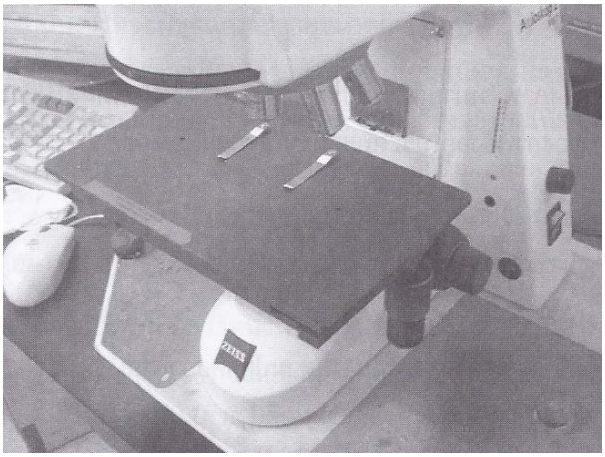
ชนิดแสงตกกระทบแล้วสะท้อนจากผิวชิ้นงาน

กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้อาศัยแสงจากแหล่งกำเนิดสะท้อนผ่านเลนส์วัตถุและตกกระทบลงบนผิวหน้าของชิ้นงานจะสะท้อนและผ่านกลับเข้าไปในเลนส์วัตถุและผ่านเข้าสู่ช่องมองภาพ หลักการทำงานของกล้องชนิดนี้จึงเป็นที่มาของชื่อกล้องจุลทรรศน์แสงสะท้อน (Reflected light microscope) หรือบางครั้งเรียกว่ากล้องจุลทรรศน์ทางโลหะวิทยา (Metallographic microscope)

1.3.1 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง

1) แท่นวางชิ้นงาน (Stage)

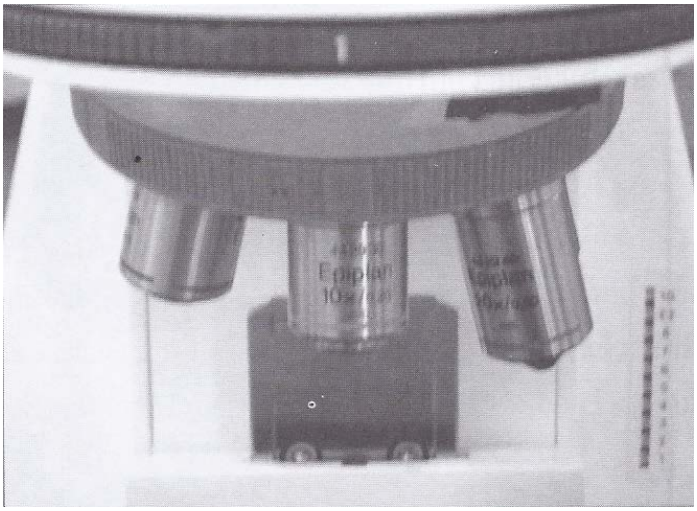
แท่นวางชิ้นงานเป็นแท่นที่ปรับระนาบได้ฉากพอดีกับแนวที่แสงจะส่องผ่านเลนส์วัตถุและตกกระทบกับชิ้นงาน แท่นวางชิ้นงานส่วนใหญ่จะมีแขนขนาดเล็กติดอยู่กับแท่นสำหรับกดกระจกสไลด์ไม่ให้ขยับเขยื้อน ตามปกติแล้วจะมีปุ่มหมุนสำหรับปรับเลื่อนชิ้นงานได้ในแนวซ้าย – ขวา (แกน x) และแนว เข้า-ออก (แกน y) เพื่อความสะดวกในการเลื่อนตำแหน่งที่ต้องการมองในชิ้นงาน โดยไม่ต้องใช้มือจับชิ้นงานเลื่อนไป - มา



รูปที่ 8 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ (1) แท่นวางชิ้นงาน (2) เลนส์วัตถุ (3) ชุดปรับความเข้มแสง (4) ปุ่มปรับโฟกัส

2) เลนส์วัตถุ (Objective Lens)

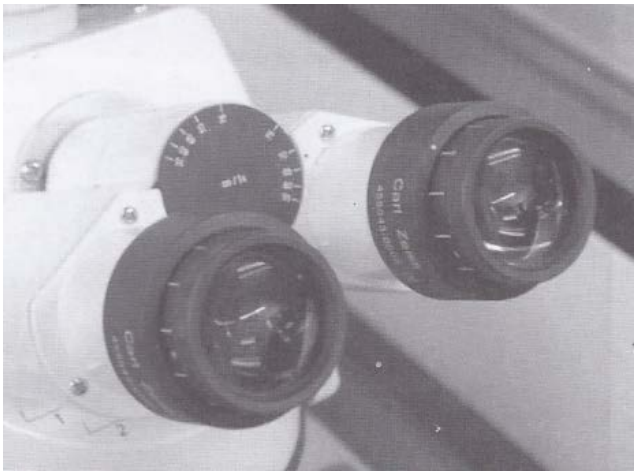
เลนส์วัตถุทำหน้าที่ส่งผ่านแสงจากแหล่งกำเนิดลงสู่ผิวชิ้นงาน และรับแสงที่สะท้อนจากชิ้นงานไปยังช่องมองภาพหรือเลนส์ใกล้ตา เลนส์วัตถุจะยึดอยู่กับแท่นหมุน สำหรับการเลือกกำลังขยายที่ต้องการโดยที่บนแท่นหมุนจะมีเลนส์วัตถุกำลังขยายต่างๆ กันอยู่ 5 ถึง 6 ตัว เลนส์วัตถุยึดอยู่กับแท่นหมุนโดยอาศัยเกลียวดังนั้นจึงสามารถหมุนถอดเข้า- ออกได้ ตัวเลขสำคัญของเลนส์วัตถุ ได้แก่ กำลังขยายของเลนส์ ตัวเลขค่าช่องรับแสง (Numerical aperture; NA)



<u>รูปที่ 9</u> เลนส์วัตถุของกล้องจุลทรรศน์ ตัวเลขชุดแรก (10X) ระบุกำลังขยายของเลนส์ ตัวเลขชุดที่ 2 (0.3) ระบุตัวเลขของช่องเปิดหรือ numerical aperture (NA)

3) เลนส์ใกล้ตา (Eyepieces หรือ Ocular Lens)

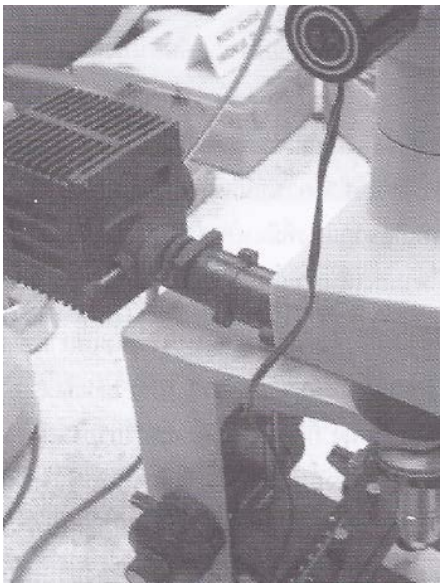
เลนส์ใกล้ตา คือ เลนส์สองตัวที่ติดตั้งอยู่บนกระบอกมองภาพสำหรับการมองภาพตามปกติ บนขอบเลนส์ใกล้ตาจะมีขีดสเกลเอาไว้ให้สามารถปรับแก้โฟกัส (โดยการหมุน) ตามปกติแล้วเลนส์ใกล้ตาจะมีกำลังขยาย 10X ซึ่งหากต้องการกำลังขยายในขณะที่มองภาพอยู่จะใช้กำลังขยายนี้คูณเข้ากับกำลังขยายของเลนส์วัตถุ



รูปที่ 10 ส่วนประกอบหลักของกล้องจุลทรรศน์แสดงเลนส์ใกล้ตา

4) หลอดไฟ (Lamp)

หลอดไฟเป็นแหล่งกำเนิดแสงในกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง หลอดไฟสำหรับกล้องจุลทรรศน์โดยมากจะทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ หรือ 12 โวลต์ (กระแสตรง) และมีให้เลือกในแบบ 50 วัตต์และ 100 วัตต์ หลอดไฟที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ หลอดทังสเตน – เฮโลเจน ซึ่งมีไส้หลอดทำจากทังสเตนและมีแก๊สเฮโลเจนปกคลุมอยู่ภายในแก้วหลอด หลอดชนิดนี้จะให้แสงที่มีอุณหภูมิของสีอยู่ที่ 3,200 K (มีบางหลอดที่ให้ความเข็มแสงสูงและมีอุณหภูมิของสีอยู่ที่ 3,400 K)



รูปที่ 11 ส่วนประกอบหลักของกล้องจุลทรรศน์แสดงหลอดไฟและช่องนำแสง

5) ชุดปรับความเข็มแสง

กล้องแต่ละชนิดจะมีตำแหน่งของชุดปรับความเข็มแสงแตกต่างกัน ซึ่งชุดปรับความเข็มแสง คือ หม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดไฟเพื่อควบคุมความสว่างของภาพ ในระหว่างการทำงานผู้ปฏิบัติงานอาจต้องปรับความสว่างของภาพตามกำลังขยายของเลนส์วัตถุที่ใช้ ที่กำลังขยายสูงอาจต้องปรับความเข็มแสงเพื่อให้ภาพที่มองเห็นหรือภาพถ่ายที่ได้มีความสว่างในระดับปกติ

6) ปุ่มปรับโฟกัส (Focusing Knob)

ปุ่มปรับโฟกัสเป็นปุ่มหมุนเพื่อเลื่อนปรับระยะห่างระหว่างผิวหน้าของเลนส์วัตถุกับผิวหน้าของชิ้นงานให้อยู่ในระยะโฟกัสของเลนส์ เมื่อปรับระยะโฟกัสได้ถูกต้องแล้วภาพที่มองเห็นจะมีความชัดดีที่สุดในทุกๆ ตำแหน่งของระนาบนั้น ปุ่มปรับโฟกัสจะมีสองปุ่มร่วมแกนกันอยู่โดยปุ่มที่หนึ่งจะเป็นปุ่มปรับหยาบและอีกปุ่มหนึ่งจะเป็นปุ่มปรับละเอียด

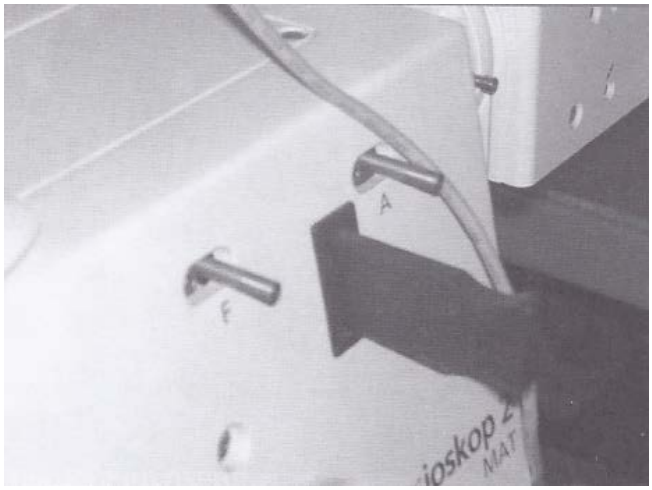
7) ช่องใส่ฟิลเตอร์ (Filter)

ฟิลเตอร์ คือ ฟิล์มกรองแสงที่กั้นทางเดินของแสงระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับชิ้นงาน ฟิลเตอร์จะดูดกลืนคลื่นแสงในบางช่วงความยาวคลื่น และปล่อยให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงอื่นผ่านทะลุฟิลเตอร์ออกมาได้ เช่น ฟิลเตอร์ที่มีสีฟ้าจะปล่อยให้แสงในความยาวคลื่นที่สั้น (สีฟ้า) ผ่านออกมาได้และดูดกลืนคลื่นแสงในความยาวคลื่นที่ยาวกว่า ดังนั้นแสงขาวที่ผ่านฟิลเตอร์ชนิดนี้จึงมีความเข็มแสงในช่วงความยาวคลื่นสีฟ้าเข็มกว่า ทำให้ตามองเห็นว่าฟิลเตอร์นี้เป็นสีฟ้า

วัตถุประสงค์หนึ่งที่มีการให้ฟิลเตอร์กล้องจุลทรรศน์ก็เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแสงให้เหมาะสม เม็ดสีบนฟิมล์ถ่ายภาพแบบเนกาตีฟจะตอบสนองต่อสีขาว ซึ่งมีอุณหภูมิของสีจากแหล่งกำเนิดที่พบเห็นในชีวิตประจำวันซึ่งก็ คือ ดวงอาทิตย์ แสงจากแหล่งกำเนิดที่มีอุณหภูมิของสีแตกต่างกันจะมีสเปคตรัมการกระจายความเข็มแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ผิดแผกแตกต่างกันออกไปตาอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดดังกล่าว การใช้ฟิล์มถ่ายภาพชนิดที่ออกมาให้ใช้กับแสงจากดวงอาทิตย์ (Daylight film) มาถ่ายภาพที่เกิดจากแสงที่มีแหล่งกำเนิดเป็นไส้หหลอดทังสเตนจะทำให้ได้ภาพที่มีสีผิดเพี้ยนไปจากความจริง วิธีแก้อาจทำได้ 2 วิธี คือ 1) เปลี่ยนไปใช้ฟิล์มเนกาตีฟ ที่ออกแบบให้ใช้กับอุณหภูมิสีที่ตรงกับแหล่งกำเนิดที่ใช้ 2) การใช้ฟิลเตอร์กรองแสงจากแหล่งกำเนิดนั้นเพื่อให้แสงที่ผ่านฟิลเตอร์ออกมามีคุณภาพใกล้เคียงกับแสงขาว

8) ปุ่มปรับม่านช่องแสง (Diaphragm)

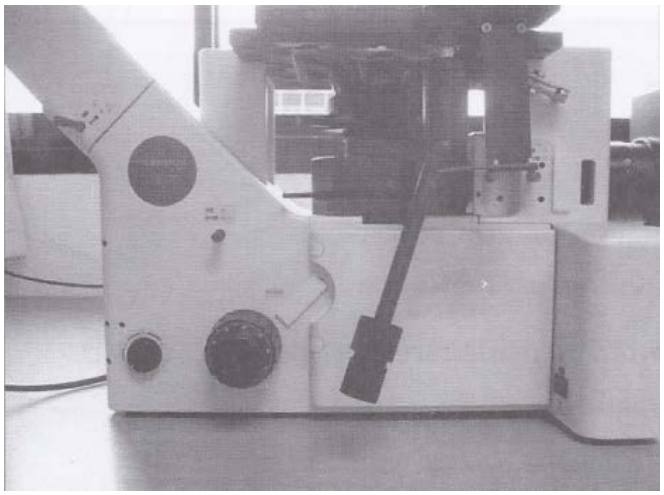
ม่านช่องแสงในกล้องจุลทรรศน์มีอยู่ 2 ตำแหน่ง คือ 1) ม่าน Field diaphragm (FD) ซึ่งอยู่ในตำแหน่งทางเดินของแสงระหว่างแหล่งกำเนิดกับเลนส์วัตถุ โดยจะอยู่ค่อนไปทางแหล่งกำเนิดแสง 2) ม่าน Aperture diaphragm (AD) จะอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดกับเลนส์วัตถุเช่นกัน แต่จะอยู่ค่อนไปทางเลนส์วัตถุ



รูปที่ 12 ส่วนประกอบหลักของกล้องจุลทรรศน์แสดง (1) ช่องใส่ฟิลเตอร์ (2) ปุ่มปรับม่านแสง FD และ AD

9) ปุ่มปรับกระจกสะท้อนแสงสำหรับกล้องถ่ายภาพ

กล้องจุลทรรศน์ที่มีข้อต่อสำหรับติดตั้งกล้องถ่ายภาพจะมีกระจกและชุดแยกแสงติดตั้งอยู่ภายในเพื่อจ่ายแสงไปยังเลนส์ใกล้ตาและกล้องถ่ายภาพ ปุ่มปรับกระจกสะท้อนภาพนี้ตามปกติจะมีด้วยกันสามตำแหน่งควบคุมโดยการชักเลื่อนปุ่มปรับเข้า-ออก ตำแหน่งแรกจะทำให้แสงทั้งหมดเข้าสู่เลนส์ใกล้ตาเพียงอย่างเดียว ตำแหน่งที่สองชุดแยกแสงจะแยกแสงออกเป็นสองส่วนเพื่อผ่านให้กับเลนส์ใกล้ตา และกล้องถ่ายภาพพร้อมๆ กัน ความสว่างของภาพจะลดลงเนื่องจากแสงถูกจ่ายออกเป็นสองทาง ตำแหน่งที่สามเป็นตำแหน่งที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพ กระจกสะท้อนจะหักเหแสงทั้งหมดส่งให้กับกล้องถ่ายภาพ



รูปที่ 13 ส่วนประกอบหลักของกล้องจุลทรรศน์แสดงปุ่มปรับโฟกัสและชุดเลนส์วัตถุ

1.4 ตัวอย่างการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค: การวัดขนาดเกรน (Grain Size Measurement)

การตรวจวัดจำนวนเกรนบนเส้นตรงเริ่มต้นโดยการถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคที่ทราบกำลังขยายจริงของภาพนั้น ขั้นตอนต่อไป คือ การลากเส้นตรงอย่างสุ่ม 1 เส้นบนภาพนั้น และนับจำนวนเกรนที่เส้นตรงนี้ตัดผ่าน สามารถคำนวณหาค่าจำนวนเกรนต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นทดสอบ (N_L) ได้จาก

$$N_L = \frac{\text{จำนวนเกรนบนเส้นทดสอบ}}{\text{ความยาวจริงของเส้นทดสอบ}}$$

โดยที่ความยาวจริงของเส้นทดสอบคำนวณได้จากความยาวของเส้นทดสอบที่ลากบนภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคหารด้วยกำลังขยายจริงของภาพนั้น

ด้วยสมมติฐานทางเรขาคณิตที่ว่าเกรนทุกเกรนมีขนาดเท่ากันและใกล้ทรงกลมมากที่สุด ดังนั้น สามารถคำนวณหาขนาดเฉลี่ยของเกรน (เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหรือ D) ได้จาก

$$D = \frac{3}{2N_L}$$

อีกเทคนิคหนึ่ง คือ การนับจำนวนเกรนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะทำโดยการกำหนดพื้นที่ที่จะทดสอบบนภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค จากนั้นจะนับจำนวนเกรนทั้งหมดที่อยู่ภายในพื้นที่ทดสอบนี้และคำนวณหาเกรนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (N_A) จากสูตร

$$N_A = \frac{\text{จำนวนเกรนทั้งหมดภายในพื้นที่ทดสอบ}}{\text{ขนาดจริงของพื้นที่ทดสอบ}}$$

โดยที่ขนาดจริงของพื้นที่ทดสอบเท่ากับผลคูณของความกว้างจริงและความยาวจริง ซึ่งระยะทั้งสองจะคำนวณจากระยะบนภาพถ่ายหารด้วยกำลังขยายจริงของภาพนั้น จากสมมติฐานทางเรขาคณิตเช่นเดียวกัน ขนาดเฉลี่ยของเกรนคำนวณได้จากสูตร

$$D = \sqrt{\frac{6}{\pi N_A}}$$

นอกจากการายงานขนาดของเกรนโดยใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยแล้ว ยังมีระบบอีกระบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับโลหะในกลุ่มเหล็กกล้า ระบบนี้ คือ การบอกขนาดเกรนโดยเลขขนาด

เกรน (Grain-size number) หรือ G ตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุของอเมริกา (ASTM) เลขขนาดเกรนจะเป็นเลขจำนวนเต็มที่คำนวณจากสูตร

$$G = -2.9542 + 1.4427 In\, n_A$$

โดย n_A คือ จำนวนเกรนต่อพื้นที่หนึ่งตารางมิลลิเมตร (พื้นที่จริง) ในทางปฏิบัตินั้นอาจใช้ตารางค่า G เทียบกับจำนวนเกรนต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร หรือเทียบกับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยได้

นอกจากเทคนิคการวัดขนาดเกรนทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้แล้วผู้ปฏิบัติงานยังสามารถตรวจวัดขนาดเกรนได้จากการเปรียบเทียบภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของโลหะที่ต้องการตรวจวัดกับชุดภาพมาตรฐานที่เป็นภาพเกรนจำลองที่ขนาดเกรนต่างๆ กัน ชุดภาพมาตรฐานนี้สามารถหาได้จากมาตรฐานการทดสอบวัสดุและมาตรฐานอุตสาหกรรมหลักๆ แทบทุกมาตรฐาน การปฏิบัติงานด้วยวิธีนี้ค่อนข้างสะดวกและรวดเร็วจึงเหมาะกับการตรวจสอบผลิตภัณฑ์จำนวนมาก ข้อควรระวังของการตรวจวัดแบบนี้อยู่ที่กำลังขยายของภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคที่จะต้องตรงกับที่ระบุไว้ในชุดภาพมาตรฐาน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ทดสอบ

.....

.....

.....

.....

2.2 กล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการตรวจโครงสร้างจุลภาค คือ กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงรุ่น.....

.....

2.3 ลักษณะผิวชิ้นงานก่อนทำการขัดเตรียมผิวเพื่อส่องโครงสร้างทางจุลภาค

2.4 วิธีการทดลองตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

2.3.1 อาจารย์ประจำกลุ่มแนะนำห้องปฏิบัติการและวิธีการใช้เครื่องมือ

2.3.2 ตัดชิ้นงานโดยใช้เครื่องตัดละเอียดที่ใช้ใบตัดกลมชนิดสารขัดถู (Abrasive Cut-off Wheel) และต้องใช้สารหล่อเย็นทุกครั้ง

2.3.3 ทำความสะอาดชิ้นทดสอบ ลบรอยหยาบที่เกิดจากการตัด แล้วนำชิ้นงานไปขัดหยาบและขัดละเอียด

2.3.4 ทำการกัดผิวชิ้นทดลอบด้วยสารเคมี (Etching) ด้วยสารละลายไนทรัล (nitral) เป็นเวลา 5-10 วินาที สเกตโครงสร้างที่ปรากฏที่กำลังขยาย 20X และ 50X ในใบบันทึกการทดลอง

2.3.5 บันทึกรายละเอียดของโครงสร้างที่ได้จากการกล้องถ่ายภาพ เช่น รูปร่างเกรน ขอบเกรน สิ่งปลอมปนพร้อมทั้งระบุรายละเอียดต่างๆ ลงในใบบันทึกผลการทดลอง ในหัวข้อที่ 3

2.3.6 ทำหมายเลขชิ้นงานและเก็บไว้ใน โถแก้วสุญญากาศ เพื่อใช้ในการปฏิบัติการถัดไป

3. ใบบันทึกผลการทดลอง

ปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์

ชื่อ.....รหัสนิสิต..... กลุ่ม.....วัน/เดือน/ปี.....

ชนิดของชิ้นทดสอบ.....

รายละเอียดการเตรียมผิวชิ้นทดสอบ

1. การตัดชิ้นทดสอบ.....

.....

2. การฝังชิ้นงานในพลาสติก (ถ้ามี).....

.....

3. การเตรียมผิวเชิงกล

3.1 การขัดระนาบ.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.2 การขัดเงาโลหะ.....

.....

.....

.....

4. การกัดผิวโลหะด้วยสารเคมี

รายละเอียดการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์รุ่น.....

ขั้นตอน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาพโครงสร้างจุลภาค

กำลังขยาย.....เท่า

กำลังขยาย.....เท่า

4. คำถามท้ายการทดลอง

5.1 จงคำนวณหาค่าจำนวนเกรนต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นทดสอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5.2 คำนวณหาขนาดเฉลี่ยของเกรน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5.3 คำนวณหาเกรนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5.4 ตำหนิที่ปรากฏและการแก้ไข

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารอ้างอิง :

1. อรจีรา เดี่ยววณิชย์. **การเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหวิทยา.** สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. อิทธิพล เดี่ยววณิชย์. **กล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสงสำหรับการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโลหะ.** สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร. สุขอังคณา ลี. **เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชาปฏิบัติการโลหะวิทยาวิศวกรรม**. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
4. รศ.แม้น อมรสิทธิ์ และ ดร.สมชัย อัครทิวา. วัสดุวิศวกรรม, สำนักพิมพ์ท้อป, กรุงเทพฯ.
5. เอกสารประกอบการบรรยายวิชาวัสดุศาสตร์สำหรับวิศวกร
6. Smith, W.F. and J. Hashemi. 2006. Foundations of Materials Science and Engineering. 4th ed., McGraw Hill, Inc., New York.