

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) [5]

เหล็กกล้าคาร์บอน คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลัก และมีปริมาณธาตุผสมอื่นๆ อยู่ในปริมาณน้อย ตามนิยามของมาตรฐาน AISI (American Iron and Steel Institute) จำกัดปริมาณธาตุผสมไว้ดังนี้ แมงกานีสไม่เกิน 1.65% ซิลิคอนไม่เกิน 0.60% ทองแดงไม่เกิน 0.60% และปริมาณของฟอสฟอรัสรวมกับกำมะถันไม่เกิน 0.05% เราถือได้ว่า เฉพาะธาตุคาร์บอนเท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของเหล็กกล้าชนิดนี้ ธาตุผสมในเหล็กกล้าประเภทนี้ นอกจากคาร์บอนแล้วจะมี ซิลิคอนและแมงกานีสส่วนกำมะถัน และฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปของสารมลทิน

การจำแนกชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนบางครั้งอาศัยปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่เป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ได้แก่

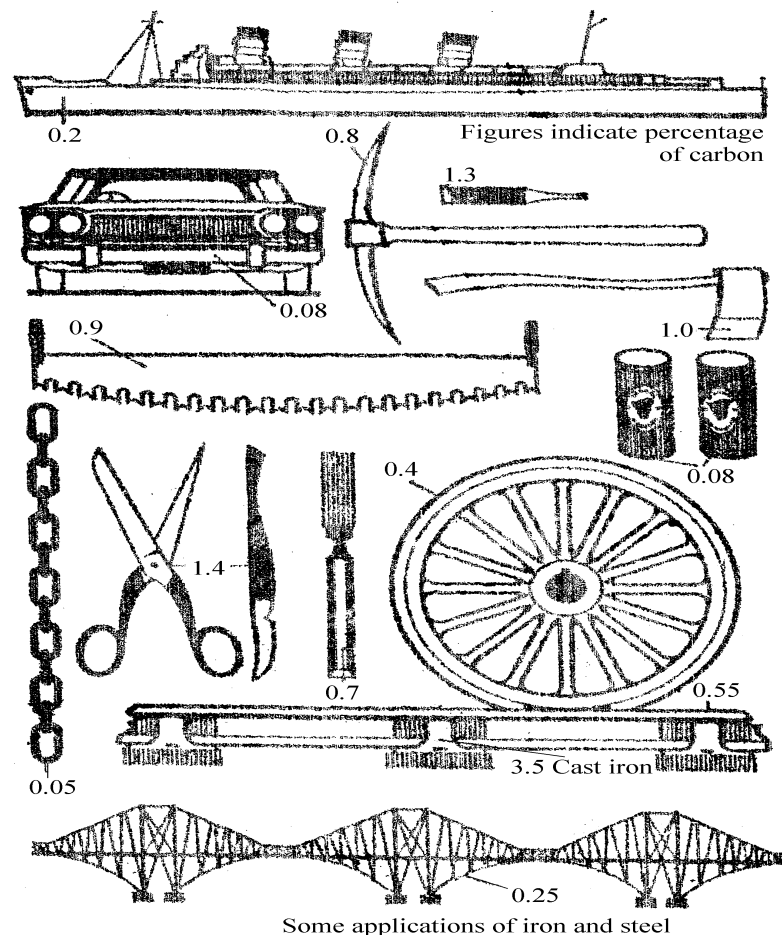
- เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีคาร์บอนต่ำกว่า 0.20% เป็นกลุ่มที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวางมาก เช่น อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ จะใช้ทำชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กแผ่นบางต่างๆ หรือเหล็กแผ่นขนาดใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป เหล็กกล้าชนิดนี้มีความแข็งแรงน้อย เหนียว และแปรรูปได้ง่าย ใช้กับงานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงสูง

- เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง มีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.50% เป็นกลุ่มที่มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น เพลาข้อเหวี่ยง และชิ้นส่วนข้อต่อต่างๆ

- เหล็กกล้าคาร์บอนสูง มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 0.5% มีความแข็งแรง แข็งแกร่ง และความแข็งสูง ใช้ทำสปริงและเครื่องมือคมตัดต่างๆ [6]

สมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าคาร์บอนจะขึ้นตรงกับประเภทและปริมาณของโครงสร้างจุลภาคภายในเนื้อเหล็กนั้นๆ เพอร์ไรท์มีกำลังวัสดุและความแข็งไม่สูงนักแต่มีความเหนียว ซีเมนไตท์มีความแข็งสูงแต่เปราะ เฟอร์ไรท์มีกำลังวัสดุสูงและสามารถยืดตัวได้ดีภายใต้แรงดึง และท้ายสุดออสเทนไนท์มีกำลังวัสดุนุ่ม สามารถรีดให้เข้ารูปได้ง่าย เป็นต้น ส่วนประเภทและปริมาณของโครงสร้างจุลภาคจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนนั้นๆ โดยรูปที่ 2.1 จะแสดงตัวอย่างการใช้งานของโลหะประเภทเหล็ก โดยระบุเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนจากเหล็กที่นำไปใช้ทำชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ [5]

ลักษณะทั่วไปเหล็กคาร์บอน (Carbon steel) เป็นวัสดุช่างประเภทเดียวที่มีคุณสมบัติทางความแข็งแรง (Strength) และความอ่อนตัวจากที่ทราบว่าเป็นธาตุคาร์บอนเป็นธาตุที่อยู่ได้ในเหล็กกล้าสองลักษณะคือ ในสภาพสารละลายของแข็ง (Solid solution) และธาตุคาร์บอนอ่อนตัว (Ductility) ที่เปลี่ยนแปลงได้กว้างมากตามปริมาณของคาร์บอนที่มีอยู่ในเหล็ก ทำให้เหมาะที่จะเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของลักษณะงาน ดังตัวอย่างเช่นในเหล็กคาร์บอน ถ้ามีปริมาณของคาร์บอนต่างกันเพียงเล็กน้อยจะทำการชุบแข็งด้วยวิธีแตกต่างกันหรือทำการขึ้นรูป (Mechanical forming) แตกต่างกันอีก อาจจะทำให้เหล็กมีความแข็งแรงแตกต่างกันได้อย่างมากมาย คืออาจจะแปรค่าความแข็งแรงได้ถึงจำนวน 10 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร อัตราการยืดตัว (Elongation) ก็อาจจะแตกต่างกันได้ตั้งแต่ 50% ถึง 0.1% [7]



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโลหะในกลุ่มเหล็ก โดยตัวเลขระบุถึงเปอร์เซ็นต์คาร์บอนของเหล็ก [5]

2.2 อะลูมิเนียม (Aluminium) [8]

อะลูมิเนียม เป็นโลหะที่ได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะ ทั้งนี้เพราะ อะลูมิเนียมมีสมบัติ ที่ดีหลายประการ ดังนี้

- มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อน้ำหนักสูง
- มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย และรุนแรง โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก
- จุดหลอมเหลวต่ำ หลอมง่าย และมีอัตราการไหลตัวสูง
- ค่าการนำไฟฟ้า คิดเป็น 64.94% ตามมาตรฐานของ IACS (International Association of Classification Societies) ซึ่งไม่สูงนัก แต่เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงใช้เป็น ตัวนำไฟฟ้า ในกรณี ที่คำนึงถึง เรื่องน้ำหนักเป็นสำคัญ
- เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย และไม่มีค่าการนำความร้อนสูง
- ผิวหน้าของ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ มีดัชนีการสะท้อนแสงสูงมาก จึงใช้ทำแผ่นสะท้อนในแพลตฟอร์ม ถ่ายรูป จานสะท้อนแสงในโคมไฟ และไฟหน้ารถยนต์
- ทนทานต่อการเกิดเป็นสนิม และการผุกร่อน ในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไปได้ดีมาก แต่ไม่ทนทาน ต่อการกัดกร่อนของกรดแก่ และด่างทั่วไป

- ซื้อหาได้ง่าย ในท้องตลาด และราคาไม่แพงนัก
- เป็นโลหะที่ยังมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง

การผสมโลหะอื่น เช่น เหล็ก (Iron) ซิลิกอน (Silicon) สังกะสี (Zinc) ทองแดง (Copper) แมกนีเซียม (Magnesium) ดีบุก (Tin) ไททาเนียม (Titanium) ลิเทียม (Lithium) โครเมียม (Chromium) ทังสเตน (Tungsten) แมงกานีส (Manganese) นิกเกิล (Nickel) เซอร์โคเนียม (Zirconium) และ โบรอน (Boron) เป็นต้น เพียงเล็กน้อยทำให้อะลูมิเนียมมีสมบัติเฉพาะที่สามารถนำไปใช้กับงานประเภทต่างๆได้ดียิ่งขึ้น [8]

สมบัติอะลูมิเนียม 1100 คืออะลูมิเนียมบริสุทธิ์ในทางการค้า เป็นอะลูมิเนียม ที่มีปริมาณอะลูมิเนียมต่ำสุด 99.3% ถึง 99.7% เหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน เช่น ตัวนำไฟฟ้า และแผ่นสะท้อนแสง เป็นต้น โดยเพิ่มธาตุเหล็ก และทองแดงเข้าไป จะทำให้มีความยืดหยุ่น ความอ่อนตัว และคุณสมบัติการเชื่อมดี อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ทางการค้าจะถูกนำไปใช้งาน ทางด้านเครื่องตกแต่ง นำไปขึ้นรูป หรือทำเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ [8]

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียม AA 1100 [7]

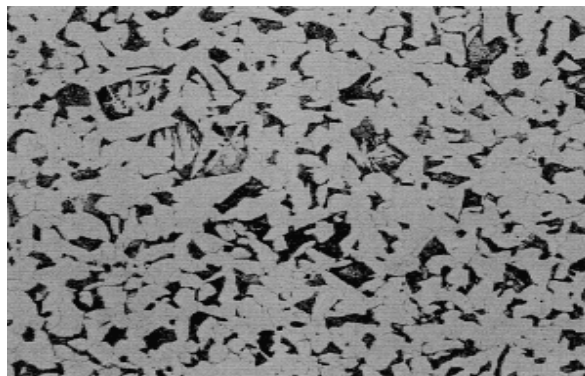
ธาตุผสม	ปริมาณ	ธาตุผสม	ปริมาณ
อะลูมิเนียม (Al)	99.50	แมงกานีส (Mn)	0.05
ซิลิกอน (Si)	0.10	สังกะสี (Zn)	0.10
เหล็ก (Fe)	0.10	ทองแดง (Cu)	0.05-0.02
อื่นๆ	0.1		

2.3 การกัดกร่อน (Corrosion) [7]

การกัดกร่อน คือ การเสื่อมสภาพของโลหะที่ทำให้สมบัติของโลหะ เปลี่ยนไปในทางเลวลง โดยโลหะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบของโลหะหรือที่เรียกว่าสนิม ซึ่งเป็นผลผลิตของการกัดกร่อนเป็นเหตุให้โลหะเกิดความเสียหาย ในแต่ละปีโลกมีค่าใช้จ่าย จากปัญหาการกัดกร่อนมากมาย ทั้งที่เป็นการซ่อมแซม บำรุงรักษา หรือการรีไซเคิลใหม่ทดแทน ส่วนที่ خسอร์ตเสียหายจนไม่อาจใช้การได้อีกต่อไป บางครั้งก็เป็นค่าใช้จ่ายที่มากเกินไปเกินควร เช่น การออกแบบเพื่อ ใช้โลหะหนาเกินความจำเป็น นอกจากนั้นยังมีค่าใช้จ่ายของการค้นคว้าวิจัย เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนาให้มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงสามารถใช้ได้แม้ในสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อน หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่ง การกัดกร่อน คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ของโลหะซึ่งเป็นปฏิกิริยาให้อิเล็กตรอน โดยที่โลหะประกอบด้วยอะตอมโลหะเกาะเกี่ยวกันตลอดเนื้อโลหะด้วยพันธะโลหะซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ ที่มีคู่อิเล็กตรอนที่พันธะเป็นชนิดไม่ประจำ โลหะจึงมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนย้ายได้ ที่ยึดเหนี่ยวทั้งหมดเข้า ด้วยกัน โลหะจึงมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อโลหะเกิดการกัดกร่อน อิเล็กตรอนที่พันธะจะหลุดออก ทำให้อะตอมโลหะเปลี่ยนเป็น อีออนโลหะประจุบวก เมื่อมีการให้และรับอิเล็กตรอนครบเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เรียกว่า เซลล์การกัดกร่อน โลหะที่ให้อิเล็กตรอนเป็นขั้วแอโนด (Anode) อิเล็กตรอนเดินทางไปตามเนื้อโลหะ สิ่งแวดล้อมที่รับอิเล็กตรอนเป็นขั้วแคโทด (Cathode) และความ ชื้นหรือสารละลายที่ผิวโลหะเป็นอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ให้อีออนเดินทางให้ครบเซลล์

ดังนั้น การกัดกร่อนจึงสามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไป อาจกล่าวได้ว่า โลหะเกือบทุกชนิดเกิดการกัดกร่อนได้เสมอ ต่างกันที่ความยากง่ายของการเกิดการกัดกร่อน และอัตราการกัดกร่อนเร็วหรือช้า สาเหตุของการเกิดการกัดกร่อนจึง มาจากทั้งโลหะและสิ่งแวดล้อม และสามารถแบ่งแยกการกัดกร่อนออกเป็นประเภทดังนี้ [7]

2.3.1 การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า (General or Uniform Corrosion) [7]



รูปที่ 2.2 การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ [9]

การกัดกร่อนแบบนี้เห็นอยู่ทั่วไป โลหะจะถูกกัดกร่อนอย่างสม่ำเสมอทั่วผิวของโลหะนั้น โดยปกติจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า การกัดกร่อนเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอบนผิวหรือเป็นบริเวณกว้าง มีผลให้โลหะบางเรื่อยๆ หรือมีน้ำหนักร่นหายไป คือ เบาลงเรื่อยๆ การกัดกร่อนประเภทนี้ในแง่ของเทคนิคไม่ค่อยเป็นปัญหาและไม่ก่อให้เกิด อันตรายรุนแรงเท่าใดนัก เนื่องจากสามารถหาอัตรา การกัดกร่อนและออกแบบเผื่อ พร้อมทั้งทำนายอายุการใช้งานของชิ้นส่วนที่เกิดการกัดกร่อนแบบนี้ได้ และเปลี่ยนใหม่เมื่อถึงเวลาอันควร ลักษณะการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ แสดงในรูปที่ 2.2

การกัดกร่อนในรูปแบบอื่นส่วนมาก เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายในและยากต่อการประเมินสภาพ การกัดกร่อน นอกจากนี้อาจเกิดขึ้นในพื้นที่เฉพาะของชิ้นส่วนหรือโครงสร้าง ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดความเสียหายที่ไม่คาดคิดหรือความเสียหายก่อนกำหนดของเครื่องมือหรือเครื่องจักร

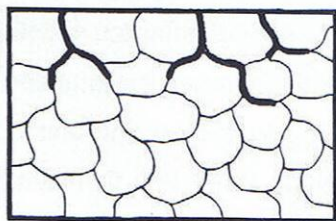
2.3.2 การกัดกร่อนสม่ำเสมอที่หยุดในเวลาสั้นหรือเวลายาวโดยสมบูรณ์ [10]

โดยผลจากการกัดกร่อนจะเป็นชั้นผิว (ไม่มีรูพรุนอากาศ) ที่จับบนผิววัสดุที่ถูกกัดกร่อน ชั้นผิวนี้จึงทำหน้าที่ป้องกันสารกัดกร่อนได้เฉพาะอย่าง จึงเรียกว่า ความต้านการกัดกร่อน (Corrosion Strength) ของโลหะ

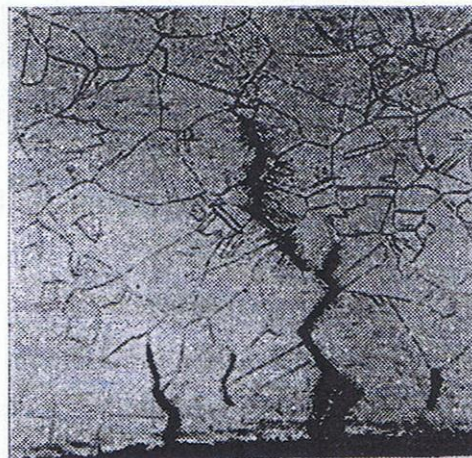
ตัวอย่างเช่น การเกิดสนิมของทองแดงหรือบรอนซ์ที่เรียกว่า พาตินา (Patina) ทำให้โลหะนี้ทนต่อการกัดกร่อนจากบรรยากาศ ลักษณะนี้จะเกิดกับอะลูมิเนียม ตะกั่ว โครเมียม สังกะสี ดีบุก นิกเกิลและอื่นๆ ที่ทนต่อการกัดกร่อนของบรรยากาศ เพราะมีชั้นผิวออกไซด์หรือคาร์บอนेट ชั้นผิวเหล่านี้จะสังเกตได้จากการเกิดผิวมัน ย่อมสีผิวโลหะ เช่น รอยตัดของตะกั่วจะเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเทาอย่างรวดเร็ว

2.3.3 การกัดกร่อนภายในผลึก (Intercrystalline Corrosion) [10]

การกัดกร่อนภายในผลึกจะเกิดตามขอบเม็ดเกรนภายในผลึกโลหะ ทั้งนี้เนื่องจากที่ผิวเม็ดเกรนยึดเหนี่ยวกันไม่ดี (หลวม) และค่าความเค้นลดต่ำลง ปรากฏการณ์เช่นนี้เป็นอันตรายมากเพราะไม่สามารถสังเกตจากภายนอกได้ ดังรูปที่ 2.3



(ก) ภาพจำลอง



(ข) ภาพโครงสร้างจริง (จุลภาค)

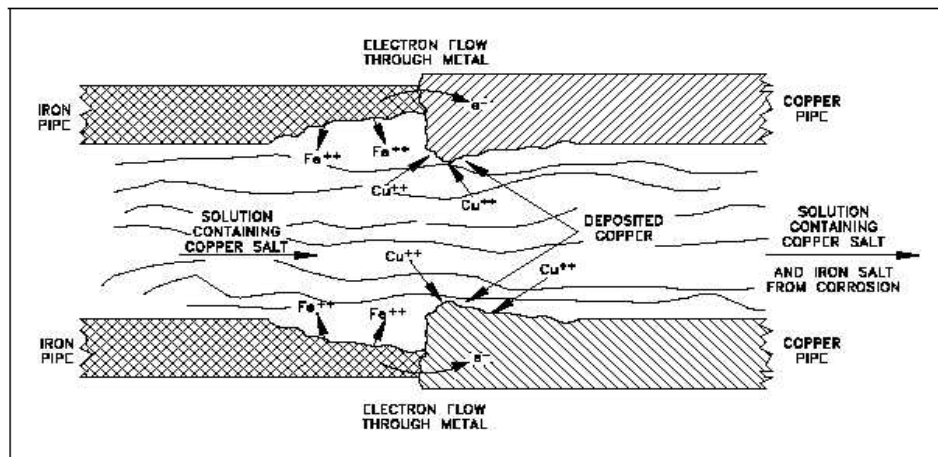
รูปที่ 2.3 การกัดกร่อนภายในผลึก [10]

2.3.4 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion) [7]

โลหะแต่ละชนิดจะมีค่าศักย์เฉพาะตัว ดังนั้นถ้าหากมีโลหะ 2 ชนิด สัมผัสกันอยู่และมี สารละลายอิเล็กโทรไลต์และส่วนโลหะเชื่อมต่อกันนำไฟฟ้า หรือต่อกันอย่างครบวงจรไฟฟ้าเคมี เมื่อเวลาผ่านไป โลหะที่มีศักย์ต่ำกว่าจะเกิดการกัดกร่อนก็คือ อานอด ขณะที่โลหะที่มีศักย์สูงกว่าจะไม่กัดกร่อนก็คือ คาโธด ความต่างศักย์ของโลหะทั้งสอง ยิ่งมากเท่าไรความรุนแรงก็มากขึ้นเท่านั้น

ความต่างศักย์จะทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนระหว่างวัสดุทั้งสอง ทำให้เพิ่มอัตราการกัดกร่อนของโลหะ ที่มีค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อนน้อย และจะลดอัตราการกัดกร่อนของโลหะที่มีค่าความต้านทานมากกว่า โดยปกติโลหะที่มีค่าความต่างศักย์มากจะมีการกัดกร่อนค่อนข้างน้อยหรือแทบจะไม่เกิดเลย เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าและความแตกต่างของโลหะ จึงมีการเรียกการกัดกร่อนแบบนี้ว่าการกัดกร่อนแบบกัลวานิกหรือการกัดกร่อนแบบโลหะสองชนิดปริมาณกระแสและการกัดกร่อนขึ้นกับความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะทั้งสอง

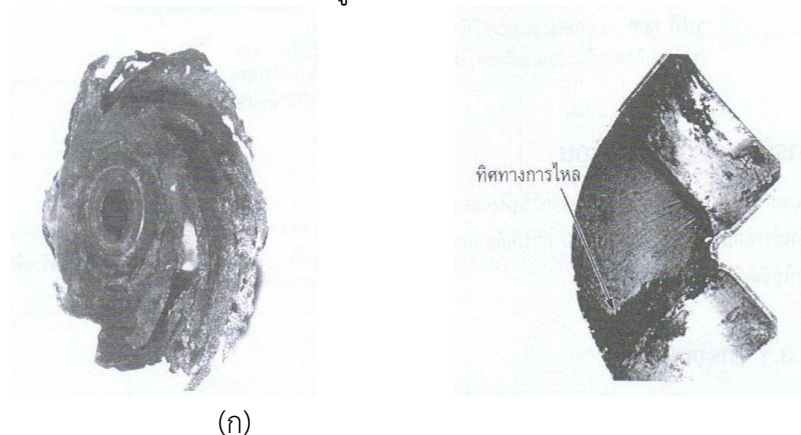
วิศวกรรมการออกแบบจะต้องทราบถึงความเป็นไปได้ของการกัดกร่อนแบบกัลวานิกตั้งแต่การระบุรายละเอียดของวัสดุที่จะนำไปใช้ในเครื่องจักร บางครั้งเพื่อเป็นการประหยัด อาจใช้วัสดุต่างชนิดกันมาเชื่อมกันโดยเฉพาะโลหะที่มีค่าความต่างศักย์กันมากควรระมัดระวังให้ดี ความต่างศักย์ที่เกิดจากกัลวานิกเซลล์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลา เนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน ที่สะสมอยู่ที่ขั้วคาโธดหรืออานอดจะทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง ลักษณะการกัดกร่อนแบบกัลวานิก แสดงในรูปที่ 2.4 [7]



รูปที่ 2.4 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก [9]

2.3.5 การกัดกร่อนแบบเซาะลึก (Erosion Corrosion) [6]

เป็นการกัดกร่อนของโลหะเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสารละลายกัดกร่อนผ่านผิวโลหะอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการกัดเซาะร่วมด้วย ทำให้ร่องรอยของการกัดกร่อนมีลักษณะเป็นคลื่น เป็นร่อง หรือเป็นแอ่ง อาจกล่าวอย่างสรุปได้ว่า การกัดกร่อนแบบนี้เกิดเนื่องจากการไหล และเป็นผลรวมของการทำลายทางเคมีและการขัดสีทางกลแสดงดังรูปที่ 2.5



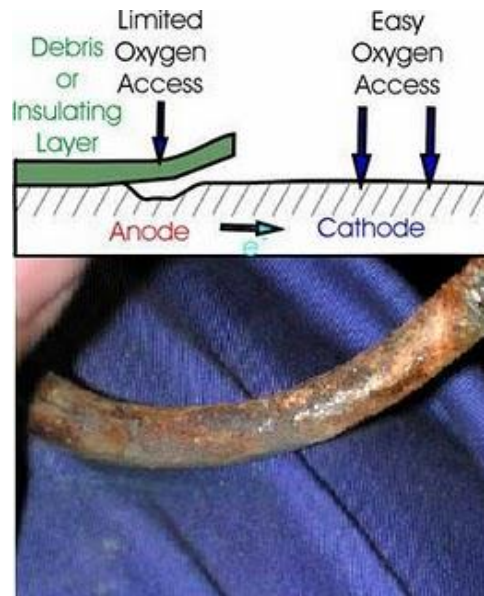
(ก)

(ข)

รูปที่ 2.5 การกัดกร่อนแบบเซาะลึก (ก) เกิดขึ้นกับใบพัดปั๊มแรงดัน (ข) เกิดขึ้นกับข้อต่อโครง [6]

2.3.6 การกัดกร่อนในที่อับ (Crevice Corrosion) [7]

การกัดกร่อนในที่อับคือการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่อับบนผิวโลหะที่สัมผัสโดยตรงกับสารกัดกร่อน การกัดกร่อนประเภทนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณของสารละลายที่ค้างอยู่ตามพื้นที่ที่เป็นหลุมหรือพื้นที่ที่เป็นซอก บริเวณแคบๆ ที่มีสารละลายเข้าไปขังอยู่ได้เป็นเวลานานโดยไม่มีการถ่ายเท ทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจน ในน้ำหรือสารละลายภายในซอกไม่เท่ากับภายนอก ทำให้เกิดการคริบเซล การกัดกร่อนชนิดเซลล์ความเข้มข้น โดยบริเวณในซอกจะเกิดเป็นขั้วแอโนดคือการสูญเสียเนื้อโลหะ การสัมผัสระหว่างผิวโลหะและผิวที่ไม่ใช่โลหะ สามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนในที่อับได้ เช่น ปะเก็นรอยต่อระหว่างยางกับเหล็กกล้าไร้สนิมที่จุ่มอยู่ในน้ำทะเล

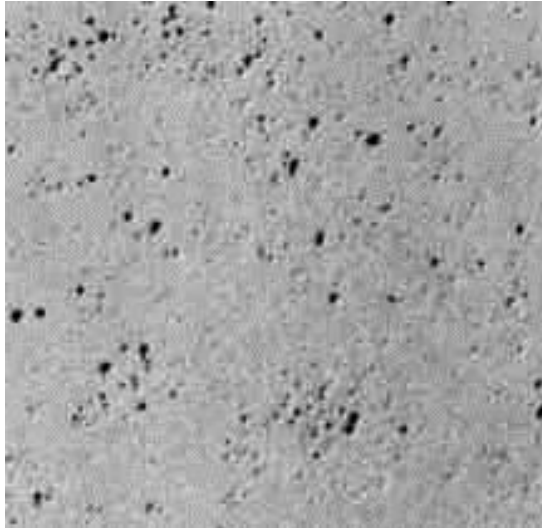


รูปที่ 2.6 การกัดกร่อนในมุมอับ [9]

เนื่องจากสารละลายที่ขังอยู่มีปริมาณจำกัดและหยุดนิ่ง ออกซิเจนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแคโทดจึงลดจำนวนลดลงเรื่อยๆ จนหมด แต่ปฏิกิริยาอโนดิกยังดำเนินอยู่ จึงทำให้ความเข้มข้นของประจุบวกสูง ดังนั้นเพื่อรักษาสมดุลของประจุไว้ ถ้ามีสารเจือปนโดยเฉพาะคลอรีน ประจุลบของคลอรีนจะเคลื่อนที่เข้ามาในรอยแตก และทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เป็นโลหะ ไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก กรดนี้จะกัดผิวของโลหะออกมาทีละน้อย ส่งผลให้รอยแตกและรอยร้าวขยายตัวไปเรื่อยๆ ลักษณะการกัดกร่อนในที่อับ แสดงในรูปที่ 2.6 [7]

2.3.6 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) [7]

การกัดกร่อนแบบรูเข็ม เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมากโดยเฉพาะกับโลหะที่ได้พัฒนาให้มีฟิล์มป้องกันการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้าได้แล้ว แต่เมื่อฟิล์มบางแตกแยกออกเฉพาะบางที่ ก็จะทำให้เกิดการกัดกร่อนเฉพาะที่กัดกร่อนลึกลงไปเรื่อยๆ ทำให้สังเกตเห็นได้ยากเนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนได้ปกคลุมเอาไว้ การกัดกร่อน แบบนี้ทำให้ทำนายได้ยาก โดยทั่วไปมักจะเกิดทิศทางเดียวกันกับแรงโน้มถ่วงของโลกการเกิดการกัดกร่อนในแนวอื่นก็เกิดได้แต่น้อย การกัดกร่อนแบบรูเข็มเป็นลักษณะที่ทำให้เป็นรูหรือหลุมในเนื้อโลหะ รูเหล่านี้อาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ได้ แต่โดยส่วนมากจะมีขนาดเล็ก บางครั้งจะเห็นรูกระจายอยู่ห่างกัน หรืออาจอยู่ใกล้กันจนดูคล้ายผิวโลหะที่ขรุขระ

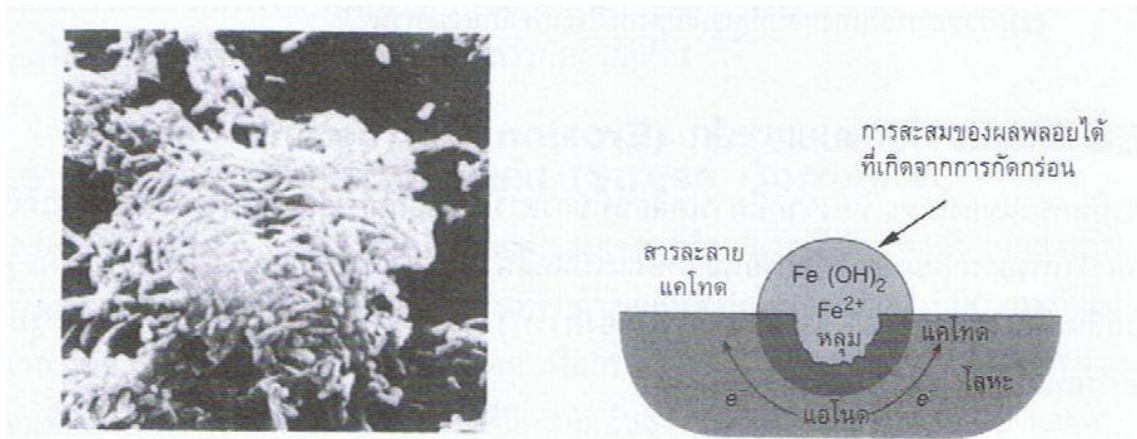


รูปที่ 2.7 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม [9]

การกัดกร่อนแบบรูเข็มเป็นการกัดกร่อนที่ก่อให้เกิดความเสียหายและรุนแรงที่สุด ซึ่งทำให้อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือชิ้นส่วนต่างๆ เกิดความเสียหายเนื่องจากการเจาะลึกด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมดที่น้อย ลักษณะยากที่จะตรวจสอบพบเพราะมีขนาดเล็ก นอกจากนั้นยังยากที่จะตรวจวัดเชิงปริมาณและ ตรวจวัดการขยายตัวของสภาพการกัดกร่อนของแบบรูเข็มได้ เพราะความลึกและจำนวนของรูที่เปลี่ยนแปลง ภายใต้สภาวะเฉพาะสภาวะใดสภาวะหนึ่ง การเกิดการกัดกร่อนของแบบรูเข็มยังยากที่จะทำนายได้จากการทดสอบในห้องทดลองอีกด้วย บางครั้งอาจใช้เวลานานจึงปรากฏสภาพของการกัดกร่อน การเกิดการกัดกร่อนของแบบรูเข็มเป็นการเกิดเฉพาะที่และ เป็นรูปแบบการกัดกร่อนที่รุนแรง ความเสียหายที่เกิดขึ้นมักจะเกิดอย่างฉับพลัน ลักษณะการกัดกร่อนแบบรูเข็มแสดงในรูปที่ 2.7 [7]

2.3.7 การกัดกร่อนเนื่องจากจุลินทรีย์ (Microbial Corrosion) [6]

จุลินทรีย์หลายชนิด เช่น เชื้อราหรือแบคทีเรีย จะทำให้เกิดสภาวะสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเกิดการกัดกร่อนแบบเคมีไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นและมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเจริญเติบโตบนผิวของโลหะ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กนี้จะเติบโตอยู่ในบริเวณหรือขอบเขตที่จำกัดและก่อให้เกิดผลพลอยได้ที่ทำให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปและเอื้อต่อการกัดกร่อน เช่น แบคทีเรียบางชนิดจะทำให้ซัลเฟตในสภาวะแวดล้อมลดลง และผลิตกรดซัลฟูริกขึ้นมาแทน และเป็นตัวที่ทำการกัดกร่อนโลหะ ตัวอย่างของการกัดกร่อนแบบนี้ได้แก่ ถังเชื้อเพลิงของเครื่องบินที่ทำจากอะลูมิเนียม ซึ่งเมื่อสัมผัสกับความชื้นและมีแบคทีเรียอยู่ แบคทีเรียจะเจริญเติบโตและผลิตกรดขึ้นมา และเมื่อกรดสัมผัสกับอะลูมิเนียม ก็จะกัดกร่อนอะลูมิเนียมและทำให้ถังเชื้อเพลิงรั่วได้

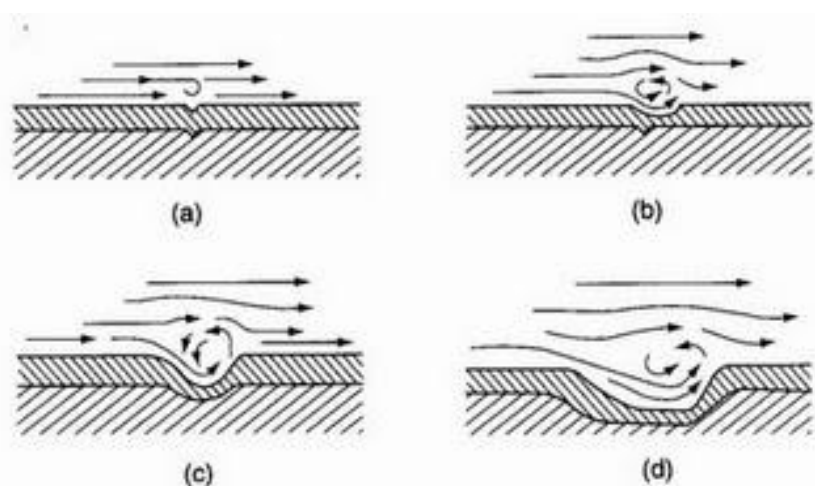


รูปที่ 2.8 การกัดกร่อนเนื่องจากจุลินทรีย์ (ก)ลักษณะของแบคทีเรียที่เกิดบนผิวโลหะ (x2700)
(ข) การเกิดการกัดกร่อนบนพื้นผิวของโลหะที่มีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กปกคลุมอยู่ [6]

การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กบนผิวโลหะทำให้เกิดเซลล์ออกซิเจนเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8 พื้นที่ปกคลุมโดยมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจะมีสภาวะแอโนด และบริเวณที่ไม่ถูกปกคลุมจะมีสภาพเป็นแคโทด ในขนาดเดียวกันสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจะลดอัตราการแพร่ของออกซิเจนที่จะเข้าสู่พื้นที่ที่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กปกคลุมอยู่ ก็จะถูกเผาผลาญโดยสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น และทำให้เกิดเซลล์ออกซิเจนเข้มข้นขึ้น และเกิดการกัดกร่อนแบบจุดขึ้นที่ผิวโลหะที่ถูกปกคลุมโดยสิ่งมีชีวิตดังกล่าว

2.3.8 การกัดกร่อนแบบสึกกร่อน (Erosion Corrosion) [7]

เมื่อมีการเสียดสีและการสึกกร่อนต่อโลหะในสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้ด้วย นั้น จะมีผลรวมของการกระทำต่อโลหะ อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เชิงกล และเชิงเคมีซึ่งส่งผลให้เกิดการการทำลายและการเสื่อมสภาพของโลหะอย่างรวดเร็ว อธิบายดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การกัดกร่อนแบบสึกกร่อน [9]

การกัดกร่อนประเภทนี้เริ่มจากการกัดกร่อนที่มีของไหล ไหลผ่านโลหะและมักไหลด้วยความเร็วสูง หากของไหลนี้มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง เมื่อโลหะเริ่มสึกจะทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายขึ้น หากโลหะ

นั้นมีฟิล์มปกคลุมผิวได้ การไหลของของไหล อาจทำให้ฟิล์มถูกทำลายไปบางส่วน ถ้าฟิล์มนี้สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้อย่างง่ายและรวดเร็ว การกัดกร่อนก็จะไม่รุนแรงนัก แต่ถ้าฟิล์มใหม่เกิดขึ้นได้ช้าก็จะทำให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นรุนแรง และรวดเร็ว [7]

2.3.9 การกัดกร่อนแบบญครูด (Fretting Corrosion) [7]

เป็นการกัดกร่อนที่เกิดในสภาวะบรรยากาศปกติ บริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโลหะ เมื่อโลหะนั้นกำลังถูกแรงกระทำดังรูปที่ 2.10

1) ปัจจัยพื้นฐานของการเกิดการกัดกร่อนแบบญครูด

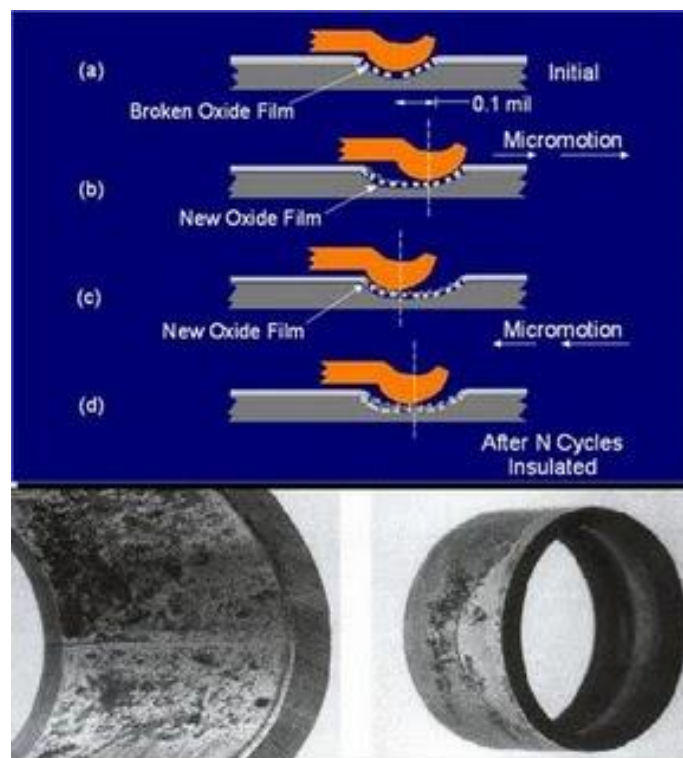
- โลหะที่หันหน้าเข้าหากันนั้น กำลังถูกแรงกระทำ
- มีการสัมผัสของบริเวณผิวหน้าสัมผัส ผิวด้านหนึ่งตีกระทบหรืออยู่อยู่อีกผิวหน้าหนึ่ง
- ระหว่างผิวหน้าโลหะทั้งสองมีการลื่นไถล

2) ผลที่เกิดจากการกัดกร่อนแบบญครูด

- สูญเสียเนื้อโลหะบริเวณพื้นผิวสัมผัสเป็นโลหะออกไซด์ เกิดกับเหล็ก เหล็กกล้า
- ทำให้ขนาดของพิภักความเผื่อ (Size tolerance) ผิดพลาด จากที่เคยเข้ากันได้ดีก็

จะหลวม

- การกัดกร่อนแบบญครูดทำให้เกิดการหลวมแล้วก็จะเกิดความเครียดที่มากเกินไป (Excessive strain) นำไปสู่การเกิดรื่องซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของร่อยร้าว และจะเกิดการแตกหักจากความล้า (Fatigue fracture) ในที่สุด



รูปที่ 2.10 การกัดกร่อนแบบญครูด [9]

3) กลไกการเกิดการกัดกร่อนแบบญครูด 2 แนวคิด

- เนื้อโลหะเป็นอนุภาคเล็กๆ ของผิวโลหะที่สัมผัสกัน
- เกิดเป็นออกไซด์แล้วหลุดออกมา

ความชื้นลดความเสียหายจากการกัดกร่อนแบบถูครูดความชื้นเป็นสารหล่อลื่นเพราะว่าสนิมกับน้ำ จะก่อให้เกิดความเสียหายจากการเสียดสีน้อยกว่าออกไซด์ที่มีสภาพแห้ง และบริเวณที่ขาดออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจนจะทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบถูครูดน้อยลง การถูครูดจะเกิดมากขึ้นเมื่อน้ำหนักหรือความเค้นมากระทำมากขึ้นและถ้าอากาศดึงเอาอนุภาคของโลหะเข้ามาร่วมด้วยแสดงว่ามี การดึง (Tension) ความเค้นเฉือน (Shear stress) รวมด้วย ดังรูปที่ 2.10 [7]

2.3.10 การกัดกร่อนแบบรูพรุน (Cavitation Corrosion) [7]

เป็นรูปแบบหนึ่งของการกัดกร่อนเฉพาะที่ ซึ่งเกิดจากผลรวมของความเสียหายบนผิวโลหะเป็นแห่งๆ อันเนื่องมาจากฟองอากาศที่มาจับตัวกันแล้วฉีกแล้ว หรือเนื่องมาจากการกัดเซาะทางเคมีต่อพื้นที่ที่ถูกทำลาย การกัดกร่อนแบบนี้อาจพบได้ในสภาพไหลปั่นป่วน (Turbulent flow) ของของเหลว เช่น ไกล่ๆ ใบพัดเรือและในปั๊มน้ำ

การเกิดและการแตกของฟองก๊าซแล้วฉีกแล้วอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันในบางบริเวณซึ่งลดต่ำกว่าหรือ เพิ่มสูงกว่าความดันไอของของเหลว การสับต่ออย่างรวดเร็วของการเกิดและการแตกของฟองอากาศนี้ทำให้เกิดการสั่นที่ทรงพลังซึ่งสามารถทำลายผิวโลหะหรือวัสดุได้เป็นจุดๆ ถ้ามีผิวออกไซด์บางบนโลหะเคลื่อนการสั่นก็จะไปฉีกเอาฟิล์มป้องกัน (Protective film) ออก ทำให้โลหะเปลือยและว่องไวต่อการกัดกร่อน โดยโลหะเปลือยจะสัมผัสกับอิเล็กโตรไลต์ในบางจุด พื้นผิวตรงนั้นอาจปรากฏให้เห็นลักษณะรูพรุนๆ คล้ายฟองน้ำ ลักษณะการเสียหายจะคล้ายกับการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) แสดงดังรูปที่ 2.11 [7]



รูปที่ 2.11 การกัดกร่อนแบบรูพรุน [9]

1) กลไกการเกิดการกัดกร่อนแบบรูพรุน

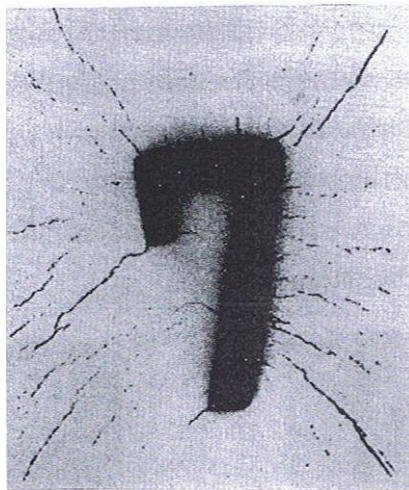
- การเกิดฟองบนฟิล์มป้องกัน
- ฟองก๊าซแตกสลายและทำลายฟิล์มป้องกัน
- เนื้อโลหะใต้ฟิล์มป้องกันถูกทำลายเกิดการกัดกร่อนต่อมาเกิด ฟิล์มป้องกันขึ้นใหม่

- ต่อมาฟองก๊าซฟองใหม่มาสัมผัสตำแหน่งเดิมอีก
 - ฟองก๊าซใหม่แตกสลายทำลายฟิล์มป้องกันอีก
 - เนื้อโลหะบริเวณที่ฟิล์มถูกทำลายกัดกร่อนต่อไปอีก ต่อมาเกิดฟิล์มป้องกันขึ้นใหม่
- อีก
- กระบวนการกัดกร่อนเกิดซ้ำซาก จนรอยกัดกร่อนเป็นรูลึก
- การกัดกร่อนแบบบูรพุนที่เกิดส่วนใหญ่ มีสาเหตุร่วมกันกับการกัดกร่อนและแรงกระทำทางกล ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะปลดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมสูงขึ้น

2.3.11 การกัดกร่อนจากความเค้นรอยร้าว (Stress Corrosion Cracking) [10]

สาเหตุการกัดกร่อนประเภทนี้เกิดจาก

- วัสดุที่ไวต่อความเค้นรอยร้าว (Stress Cracking)
- สารเคมี (ของเหลว ก๊าซ) ที่กัดทำลายวัสดุนี้
- ความเค้นที่เกิดจากภายนอกและภายในชิ้นงาน
- การแปรรูปขณะเย็นหรือภาระที่กระทำต่อภายนอกจะมีผลทำให้เกิดความเค้นใน
- โครงสร้างอะตอมทำให้ช่วงบริเวณที่มีความเค้น เกิดสภาวะไม่คงทน (Base) เมื่ออยู่ติดกับบริเวณที่ไม่ได้รับความเค้นจะเกิดรอยร้าวที่ขยายลึกเข้าไปข้างใน รอยร้าวจะเกิดในลักษณะภายในผลึก (Intercrystalline) หรือผ่านผลึก (Transcrystalline)



รูปที่ 2.12 การกัดกร่อนจากความเค้นรอยร้าวบนผิวโลหะ CuZn 20 Al บริเวณรอยตอกหมายเลขที่อยู่
ในบรรยากาศแอมโมเนียเจือปน [10]

ความเค้นรอยร้าวมักจะเกิดกับเหล็กกล้าโครเมียม-นิกเกิล ที่อยู่ในสารละลายที่มีคลอไรด์เจือ สำหรับส่วนผสมทองแดง-สังกะสีจะเกิดในบรรยากาศที่มีแอมโมเนียเจือปน ส่วนผสมอะลูมิเนียมที่เจือแมกนีเซียมเกินกว่า 5% จะเกิดขึ้นในอากาศดังรูปที่ 2.12

2.4 น้ำทะเล [11]

น้ำทะเลประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ปะปนอยู่ในรูปของสารละลาย ในน้ำทะเล 1 ลิตร มีเกลืออยู่ 35 กรัม ในบริเวณที่น้ำทะเลอุณหภูมิสูง เช่น ใจกลางมหาสมุทรบริเวณเส้นศูนย์สูตร แสงแดดมีความเข้มสูง ทำให้น้ำในมหาสมุทรระเหยเป็นไอน้ำ ทั้งแร่ธาตุที่ตกค้างไว้ในจนน้ำทะเลมีความเข้มข้นของเกลือมาก แต่ในที่หนาวเย็นที่บริเวณขั้วโลก แสงแดดตกกระทบบนพื้นผิวโลกเป็นมุมเฉียง พลังงานที่ตกกระทบน้อย ปริมาณการระเหยของน้ำทะเลน้อยตามไปด้วย ความเข้มข้นของเกลือจึงไม่มาก ในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ ความเข้มข้นของเกลือจะน้อยเนื่องจาก อิทธิพลของน้ำจืดจากแม่น้ำลำคลอง ทำให้น้ำทะเลเจือจาง

เกลือในทะเลและมหาสมุทรมีกำเนิดมาจากแร่ธาตุบนพื้นโลก น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี น้ำฝนละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศทำให้มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ น้ำที่อยู่บนพื้นโลกละลายแร่ธาตุในหินและดิน และไหลรวมกันเป็นแม่น้ำลำธาร ไปสะสมกันในมหาสมุทร สารละลายเกลือเหล่านี้อยู่ในแร่ธาตุที่สำคัญได้แก่ โซเดียม (Na) และคลอไรด์ (Cl) เมื่อน้ำระเหยออกไป ธาตุเหล่านี้จึงรวมตัวกันเป็นสารประกอบ ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) คลอไรด์เป็นไอออนที่กัดกร่อนที่สุดตัวหนึ่งพบได้ทั้งใน น้ำทะเล น้ำบาดาล น้ำประปา หรือจากการเผาพลาสติกที่มีคลอรีน เช่น พีวีซี (Polyvinyl chloride) คลอไรด์ไอออนในน้ำจะกัดกร่อนเหล็กกล้า และเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากคลอไรด์จะทำให้การนำไฟฟ้าของน้ำสูงขึ้น หรือทำลายออกไซด์ฟิล์มที่ปกป้องผิวเหล็กอยู่ เป็นต้น คลอไรด์ อาจเป็นต้นเหตุของการเกิดการกัดกร่อนเป็นที่ทราบกันดีว่าเหล็กกล้าคาร์บอนและอะลูมิเนียมเมื่ออยู่ในน้ำทะเลนั้นจะถูกกัดกร่อน แต่เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนเป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คือปริมาณคลอไรด์ ปริมาณออกซิเจน ความเป็นกรดต่าง (pH) อุณหภูมิ อัตราไหล ปริมาณและชนิดของไอออนลบ สารเคมีอื่นๆ รวมไปถึงอายุของเหล็กกล้าคาร์บอนและอะลูมิเนียมที่อยู่ในน้ำนั้นๆ เหล็กเมื่อสัมผัสกับน้ำในช่วงแรกอัตราการกัดกร่อนจะสูง แต่เมื่อเกิดมีสนิมขึ้นมาหุ้มการกัดกร่อนจะลดลง ดังรูปที่ 2.13 แสดงถึงผลของความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำที่สัมผัสกับอากาศ ที่มีต่ออัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าที่อุณหภูมิห้อง อัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 3% และเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นอีก อัตราการกัดกร่อนจะลดลงเนื่องจากปริมาณของออกซิเจนในน้ำต่ำลง นอกจากนี้จะเห็นว่าโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) กัดกร่อนรุนแรงกว่าโซเดียมคลอไรด์และลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) กัดกร่อนเหล็กน้อยที่สุด [12]

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเกลือในน้ำทะเล [11]

ส่วนประกอบของเกลือในน้ำทะเล	
คลอไรด์ (Cl)	54.3%
โซเดียม (Na)	30.2%
ซัลเฟต (SO ₄)	7.6%
แมกนีเซียม (Mg)	3.7 %
แคลเซียม (Ca)	1.2%
โพแทสเซียม (K)	1.1%
ธาตุอื่นๆ	1.9%

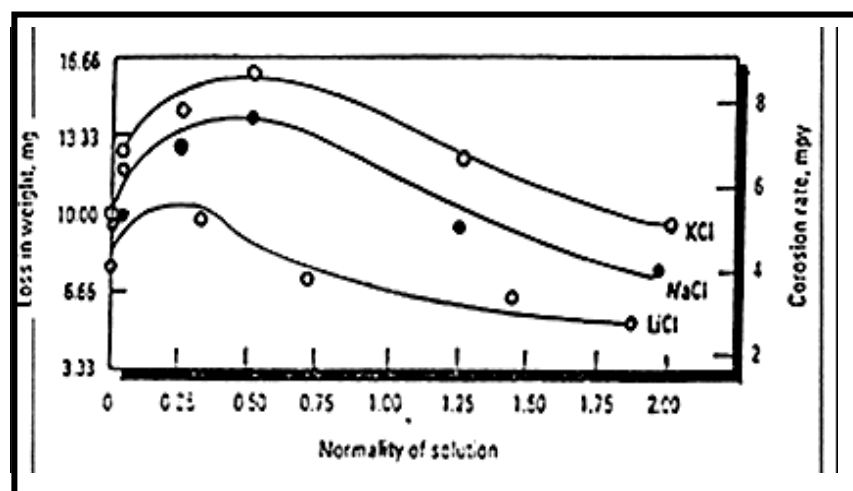
ในน้ำทะเลสงบจะมีปริมาณคลอไรด์ 3.15% ซึ่งเป็นเกลือคลอไรด์ของ โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ถ้าเหล็กจมในน้ำทะเลสงบอัตราการกัดกร่อนแบบทั่วไปประมาณ 3 - 12 มิลต่อปี (หน่วย : mpy = mil per year, 1 mil = 0.001 นิ้ว) หรือ 76 - 305 ไมครอนต่อปี ถ้าเหล็กจมในน้ำทะเลที่มีคลื่น อัตราการกัดกร่อนแบบทั่วไป ประมาณ 15 มิลต่อปี อัตราการกัดกร่อนแบบหลุม ประมาณ 45 มิลต่อปี ทั้งนี้เนื่องจากทะเลที่มีคลื่นซึ่งจะเป็นการเติมออกซิเจนตลอดเวลา ดังนั้นออกซิเจนในน้ำมากอัตราการกัดกร่อนสูงขึ้น

น้ำทะเลมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ประมาณ 7.8 - 8.1 แต่ถ้าในอ่าวหรือท่าเทียบเรือน้ำทะเลจะมีค่าความเป็นกรดต่างลดลงเหลือประมาณ 7 เนื่องจากบริเวณนี้มักมีสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ ซึ่งส่งผลให้การกัดกร่อนสูงขึ้น

น้ำทะเลที่มีเกลือละลายอยู่อย่างอิ่มตัวจะกัดกร่อนน้อย เนื่องจากออกซิเจนจะละลายในน้ำทะเลนั้นได้น้อยลง ตัวอย่างเช่น ท่อเหล็กกล้าที่มีน้ำทะเลไหลอยู่ภายในมีอายุการใช้งานนาน 19 ปี อัตราการกัดกร่อน 1 มิลต่อปี หรือ 25 ไมครอนต่อปี แต่ภายนอกท่อมีไอน้ำมาควบแน่น และมีฉนวนพันท่อคอยอุ้มน้ำเอาไว้ไม่ให้ระเหยไปได้ จึงมีการกัดกร่อนมากกว่า คือ ปริมาณ 4 มิลต่อปี หรือ 100 ไมครอนต่อปี [12]

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน

2.5.1 อัตราการไหล [12]



รูปที่ 2.13 แสดงถึงผลของอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้ารีดเย็น 0.06% คาร์บอน ในสารละลายคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส [12]

น้ำทะเลที่หยุดนิ่งหรือไหลอย่างช้าๆ อัตราการไหลน้อยกว่า 1.5 เมตรต่อวินาที จะก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนมากกว่าน้ำทะเลที่ไหล อาจเกิดการกัดกร่อนแบบหลุม การกัดกร่อน เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณออกซิเจน (Oxygen concentration cells) และการกัดกร่อน เนื่องจากแบคทีเรีย (Microbiologically influenced corrosion, MIC) แต่ถ้าอัตราการไหลสูงกว่า 2.4 เมตรต่อวินาที สนิมหรือออกไซด์ที่ผิวเหล็ก ซึ่งเป็นตัวช่วยชะลอให้การกัดกร่อนช้าลง จะถูกทำลายเป็นผลให้เกิดการกัดกร่อนแบบสึกกร่อน (Erosion corrosion) อัตราการกัดกร่อนประมาณ 30 - 50 มิลต่อปี [10]

2.5.2 อุณหภูมิ [12]

- น้ำทะเลที่มีปริมาณคลอไรด์ต่ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ออกซิเจนจะละลายในน้ำทะเลได้น้อยลงทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง
- น้ำทะเลที่มีปริมาณคลอไรด์สูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการกัดกร่อนไม่ลดลง แม้ ออกซิเจนในน้ำทะเลนั้นจะลดลงก็ตาม

2.5.3 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) [12]

สารละลายคลอไรด์ที่มีค่าความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 4 หรือมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น หรือมีค่าความเป็นกรดต่างยิ่งต่ำ อัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

- ที่ค่าความเป็นกรดต่างมากกว่า 4 ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้น คือ รีดักชันของออกซิเจน (Reduction of Oxygen) ความเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเร็วของการแพร่ของออกซิเจน ซึ่งเป็นไปอย่างช้าๆ

- ที่ค่าความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 4 ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้น คือ รีดักชันของไฮโดรเจนไอออน (Reduction of Hydrogen Ion) ผลของปฏิกิริยา คือ ก๊าซไฮโดรเจน ไฮโดรเจนไอออนมีอยู่มากเนื่องจากเป็นกรด ดังนั้นปฏิกิริยาการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

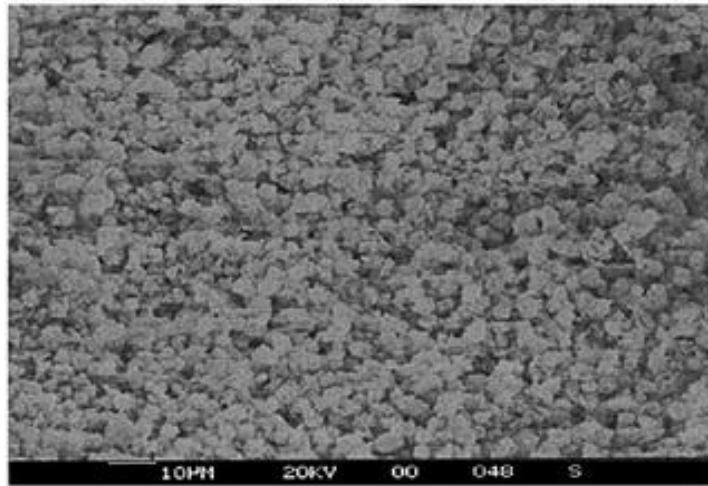
- ที่ค่าความเป็นกรดต่างมากกว่า 9 ปฏิกิริยาการกัดกร่อนจะช้าลงมาก เนื่องจากมีฟิล์มไฮดรอกไซด์ที่ผิวเหล็กการใช้สารยับยั้งในการควบคุมการกัดกร่อนนั้น มักจะให้ผลดีก็ต่อเมื่อปริมาณคลอไรด์ไม่เกินขอบเขตที่จำกัดค่าหนึ่งเท่านั้น [12]

2.5.4 สารเคมีอื่นๆ [12]

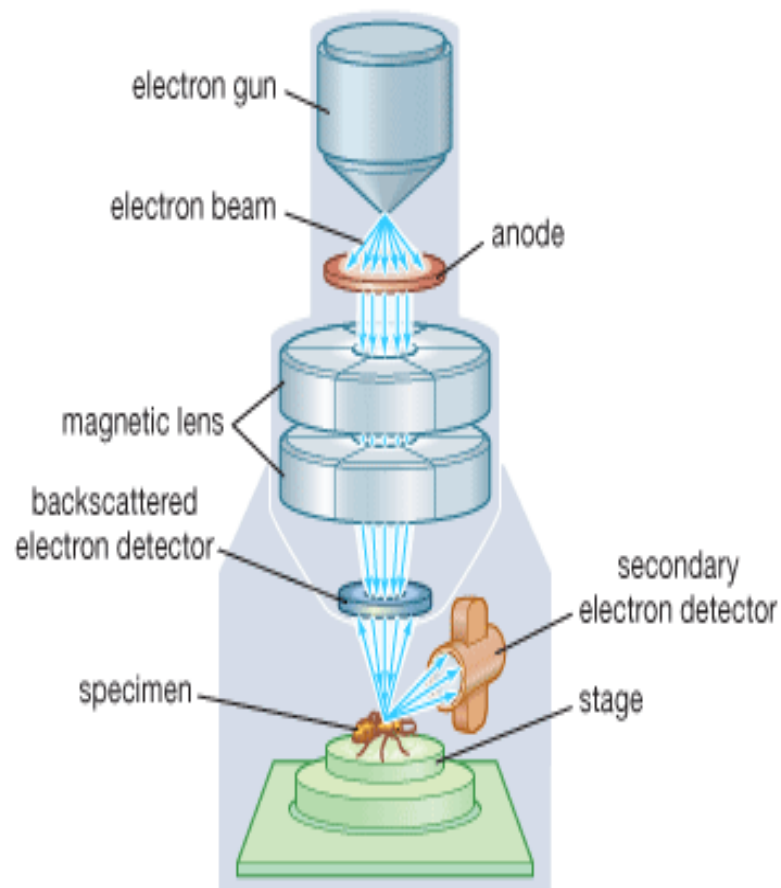
หากในน้ำทะเลมีคลอไรด์อยู่อย่างเดียว การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นไม่ซับซ้อนนัก แต่ถ้ามีสารเคมีอื่นๆอยู่ด้วย การกัดกร่อนจะซับซ้อนมากขึ้น เช่น ภาชนะความดันที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 316 แคลด (Clad) บนเหล็กกล้าภายในบรรจุเอสเทอร์ที่มีคลอไรด์ค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 4.5 มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ ในระบบด้วยภาชนะใบนี้อายุการใช้งาน 18 ปี โดยไม่เกิดการกัดกร่อนเนื่องจากความเค็ม มีเพียงหลุมตื้นๆ ไม่กี่หลุม ทั้งนี้เนื่องจากในภาชนะนี้มี แอมีน (Amine) และโซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate) ซึ่งเป็นสารยับยั้งปนอยู่ด้วย [12]

2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด [13]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) เป็นเทคนิคเฉพาะทางที่ได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ศึกษาโครงสร้างและสมบัติบางประการของสารที่มีอำนาจแยกแยะเชิงระยะ (Spatial resolution) สูงกว่ากล้องจุลทรรศน์แสง ทั้งนี้เป็นเพราะ SEM จะใช้สมบัติคลื่นของอิเล็กตรอน ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นกว่า ทำให้ SEM มีอำนาจแยกแยะได้ถึง 0.2 นาโนเมตร และด้วยความสามารถในการบีบลำอิเล็กตรอนให้เป็นมุมแคบๆ ได้ทำให้ภาพมีความชัดลึกสูงแสดงดังรูปที่ 2.14 นอกจากนี้ SEM ยังสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เช่น การวิเคราะห์การกระจายตัวรังสีเอ็กซ์ (Energy Dispersive Spectrometry, EDS) และเวฟเล็งดิสเพอร์ซีฟสเปกโทรเมตรี (Wavelength Dispersive Spectrometry, WDS) เพื่อให้ข้อมูลในเชิงเคมีด้วย



รูปที่ 2.14 ภาพแสดงอำนาจแยกแยะของ SEM [14]



© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

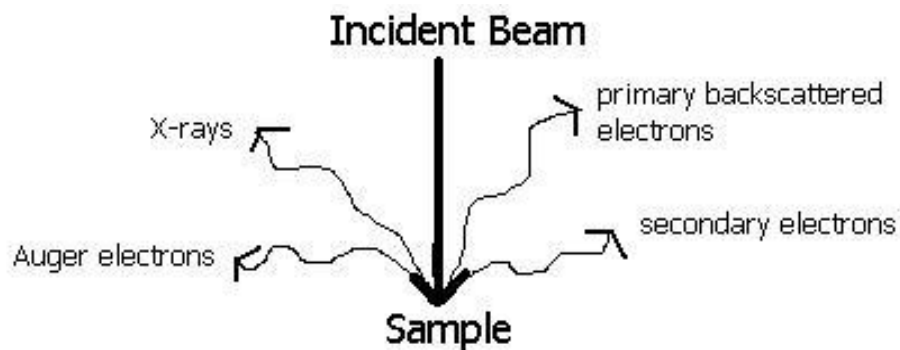
รูปที่ 2.15 แผนภาพแสดงการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด [14]

ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่อง SEM ในส่วนบนสุดจะเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron source) หรือ ปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) ซึ่งนับได้ว่าเป็นหัวใจของ SEM อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ซึ่งภายในมีสภาพสุญญากาศด้วยความต่างศักย์ในช่วง 0-30 kV (บางครั้งเครื่องอาจทำได้สูงถึง 50 kV) โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะควบคุมด้วยเลนส์แม่

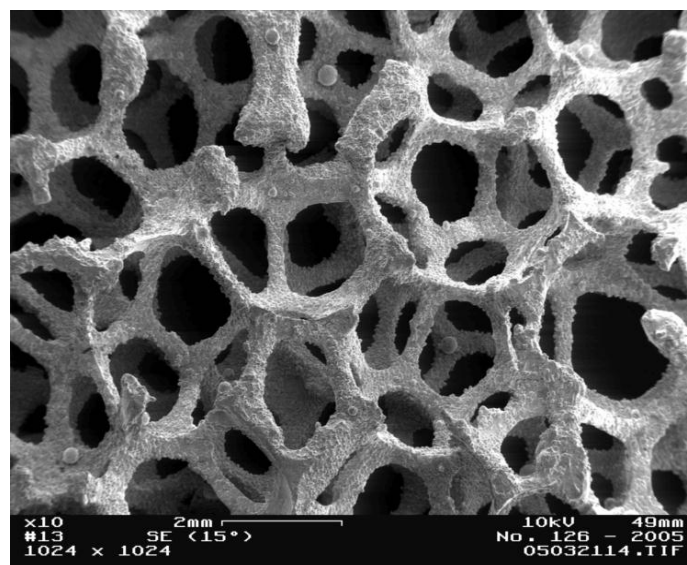
เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens) 2 ชุดหรือมากกว่า และปริมาณของอิเล็กตรอนจะควบคุมโดย แอมเพอร์เจอร์ (Aperture) หรือช่องเปิด ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กันตามลักษณะการใช้งาน เลนส์คอนเดนเซอร์อันแรก (First condenser lens) อาจนับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสูงสุดต่อการควบคุมทัศนศาสตร์ของอิเล็กตรอน (Electron optics) เนื่องจากเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบลำอิเล็กตรอนที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง (Demagnification) ส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์อันสุดท้ายนั้น ทำหน้าที่โฟกัสอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิวของวัตถุเป้าหมายโดยคอยกราดภาพ (Scan coil) ทำหน้าที่กราดอิเล็กตรอนบนผิววัตถุในกรอบสี่เหลี่ยม คล้ายกับการกราดภาพบนจอโทรทัศน์ดังรูปที่ 2.15

2.6.1 สัญญาณต่าง ๆ (Various types of signal)

สัญญาณแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับสสาร และอันตรกิริยาอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นตามมา แสดงดังรูปที่ 2.16



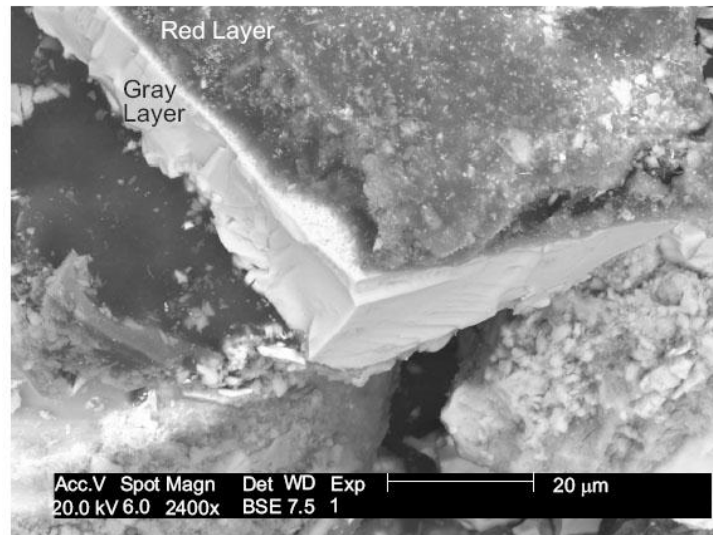
รูปที่ 2.16 แผนภาพแสดงสัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับสสาร [14]



รูปที่ 2.17 ภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ [14]

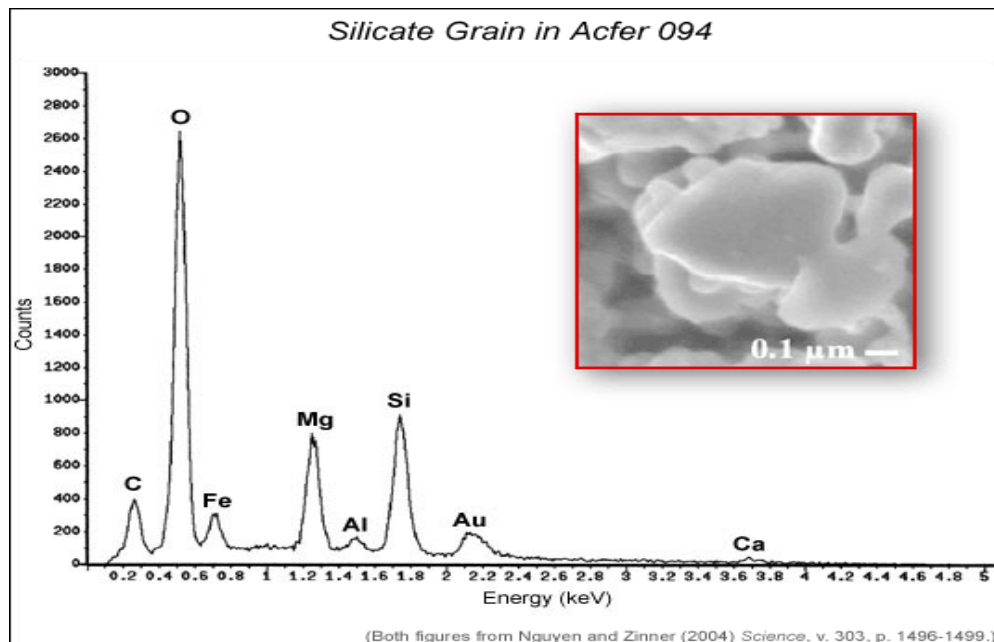
1) สัญญาณแบบอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron, SE) ให้ข้อมูลลักษณะพื้นผิว และเป็นสัญญาณที่เรานำมาสร้างภาพมากที่สุด อิเล็กตรอนทุติยภูมียังมีแบบย่อย ๆ อีกหลายแบบตามกลไกและแหล่งกำเนิด

2) สัญญาณแบบอิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับ (Back Scattered Electron, BSE) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสมทางเคมี และลักษณะโทโพกราฟฟีของพื้นผิว



รูปที่ 2.18 ภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ [14]

3) สัญญาณแบบเอ็กซ์เรย์ (X-ray) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของธาตุองค์ประกอบ เป็นสัญญาณที่ใช้เทคนิค EDS และ WDS



รูปที่ 2.19 สเปกตรัมของเทคนิคเอเนอร์จีดีสเพอร์ซีฟสเปกโทรเมตรี (EDS) [15]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 Almeida และ Morcillo [16] ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อเกลของวัสดุเหล็กกล้าอัลลอยไทเทเนียม หรือเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีด้วยวิธีการทางไฟฟ้า โดยการทดสอบในสภาวะพ่นน้ำเกลือ (Salt-spray) และทำการศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อเกลหลังจากทำการพ่นน้ำเกลือเป็นระยะเวลาที่สั้น พบว่าคลอไรด์ไอออนจากภายนอกถูกดึงเข้าไปในรอยต่อเกลบริเวณที่ไม่มีออกซิเจนเพื่อทำให้เกิดความสมดุลภายในพื้นที่แคบ และก่อให้เกิดการกัดกร่อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดกรดไฮโดรคลอริกภายในพื้นที่แคบๆ

2.7.2 Almeida และ Morcillo [17] ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อเกลของวัสดุเหล็กกล้าไทเทเนียม หรือเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี โดยการทดสอบในสภาวะพ่นน้ำเกลือ และทำการศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อเกลระหว่างเหล็กกล้าไทเทเนียม หลังจากทำการพ่นน้ำเกลือเป็นระยะเวลาที่สั้น พบว่ากลไกการเกิดการกัดกร่อนมีลักษณะเดียวกันกับรอยต่อเกลระหว่างเหล็กกล้าอัลลอยไทเทเนียม ภายในพื้นที่แคบๆ พบสังกะสีออกไซด์ก่อตัวขึ้น และพบการก่อตัวของกรดไฮโดรคลอริกเช่นเดียวกับรอยต่อเกลระหว่างเหล็กกล้าอัลลอยไทเทเนียม อย่างไรก็ตามอัตราการเกิดการกัดกร่อนมีค่าน้อยกว่ารอยต่อเกลระหว่างเหล็กกล้าอัลลอยไทเทเนียม

2.7.3 Almeida และ Morcillo [18] ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อเกลระหว่างวัสดุเหล็กกล้าอัลลอยไทเทเนียมและเหล็กกล้าไทเทเนียมโดยการทดสอบในสภาวะพ่นน้ำเกลือ และทำการศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อเกลระหว่างวัสดุเหล็กกล้าอัลลอยไทเทเนียมและเหล็กกล้าไทเทเนียมหลังจากทำการพ่นน้ำเกลือเป็นระยะเวลาที่สั้น พบว่าการเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อเกลระหว่างวัสดุเหล็กกล้าอัลลอยไทเทเนียมและเหล็กกล้าไทเทเนียมมีค่าที่แตกต่างกัน อัตราการกัดกร่อนมีค่าลดลงในด้านเหล็กกล้าไทเทเนียมและเพิ่มขึ้นในด้านของเหล็กกล้าอัลลอยไทเทเนียม ปริมาณสังกะสีด้านเหล็กกล้าอัลลอยไทเทเนียมมีการถูกใช้ที่มากกว่าเนื่องจากความแตกต่างกันของอนุกรมกัลวานิก

2.7.4 Chico และคณะ [19] ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อเกลที่ใช้ในงานก่อสร้างระหว่างเหล็กกล้าเคลือบผิว เช่น เหล็กที่ผ่านการทาสี การจุ่มชุบเคลือบผิวสังกะสี โดยการทดสอบในสภาวะพ่นน้ำเกลือในรอยต่อเกล พบการกัดกร่อนที่มีความแตกต่างกัน พบว่าในรอยต่อเกลของเหล็กกล้าเคลือบผิวด้วย 55%Al-Zn การกัดกร่อนเกิดในบริเวณที่มีปริมาณของสังกะสีมากจนกระทั่งผิวของเหล็กกล้าขณะที่บริเวณที่มีอะลูมิเนียมไม่เกิดการกัดกร่อน ขณะที่ในรอยต่อเกลที่เคลือบด้วยผิวเคลือบผสมระหว่างโลหะและสารอินทรีย์ให้ค่าอัตราการกัดกร่อนปานกลางในสภาวะปกติ อย่างไรก็ตามในสภาวะที่มีการเร่งการทดลอง การกัดกร่อนเริ่มเกิดในรอยต่อเกลและขยายไปที่พื้นที่ที่ไม่ใช่รอยต่อเกลภายใต้ผิวเคลือบ