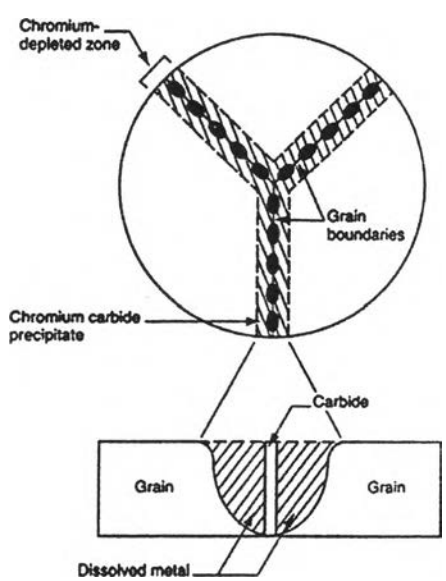
# บทที่ 2
# การกัดกร่อนเนื่องจากผลของความเค้นบริเวณขอบเกรน

## 2.1 คำนำ

การแตกร้าวอันเนื่องมากจากการกัดกร่อนด้วยผลของความเค้นที่บริเวณขอบเกรน (Intergranular Stress Corrosion Cracking: IGSCC) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาโดยตลอดในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาลักษณะ และพฤติกรรมของ IGSCC รวมไปถึงกรรมวิธีในการป้องกันก็จะถูกนำมากล่าวถึงในบทนี้

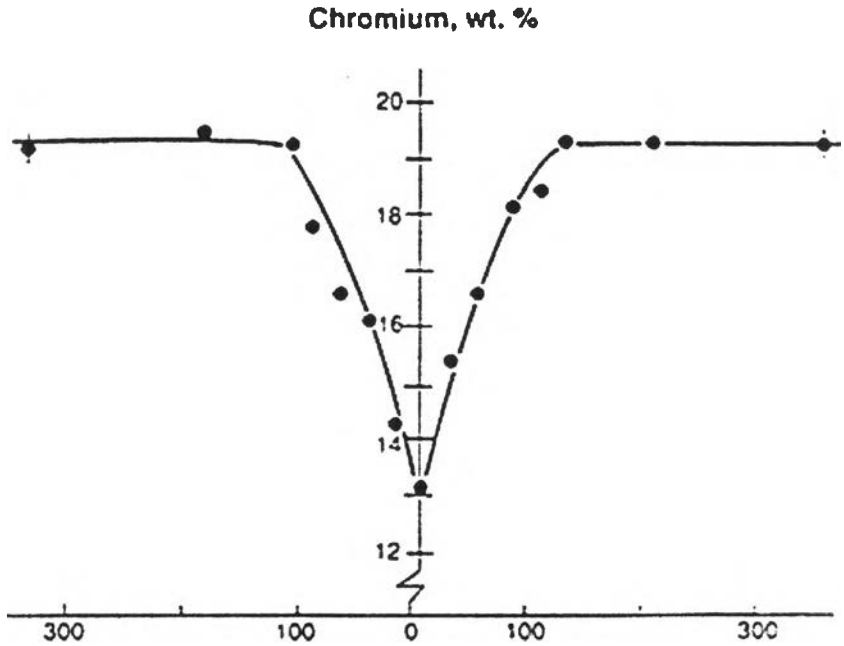
## 2.2 เซนซิไทเซชัน

เหล็กกล้าไร้สนิม 304 เมื่อถูกนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 450$^0$C ถึง 850$^0$C ในระยะเวลาที่นานพอจะทำให้เกิดการแพร่ของคาร์บอนไปยังขอบเกรน และเกิดการจับตัวกับโครเมียมเกิดเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ เมื่อปริมาณของคาร์ไบด์มากขึ้นจะทำให้ปริมาณของโครเมียมที่ขอบเกรนลดลง เป็นผลให้โครเมียมที่ใช้ในการผลิตออกไซด์ฟิล์มเพื่อป้องกันการกัดกร่อนลดลงไป (Chromium depleted zone) ดังรูปที่ 2.1 จึงเป็นสาเหตุให้เหล็กกล้าไร้สนิม 304 เกิดความไวต่อการผุกร่อนที่ขอบเกรน เราเรียกกระบวนการที่ทำให้เกิดการสูญเสียโครเมียมแล้วทำให้เกิดความไวต่อการผุกร่อนนี้ว่า "เซนซิไทเซชัน (sensitization)"



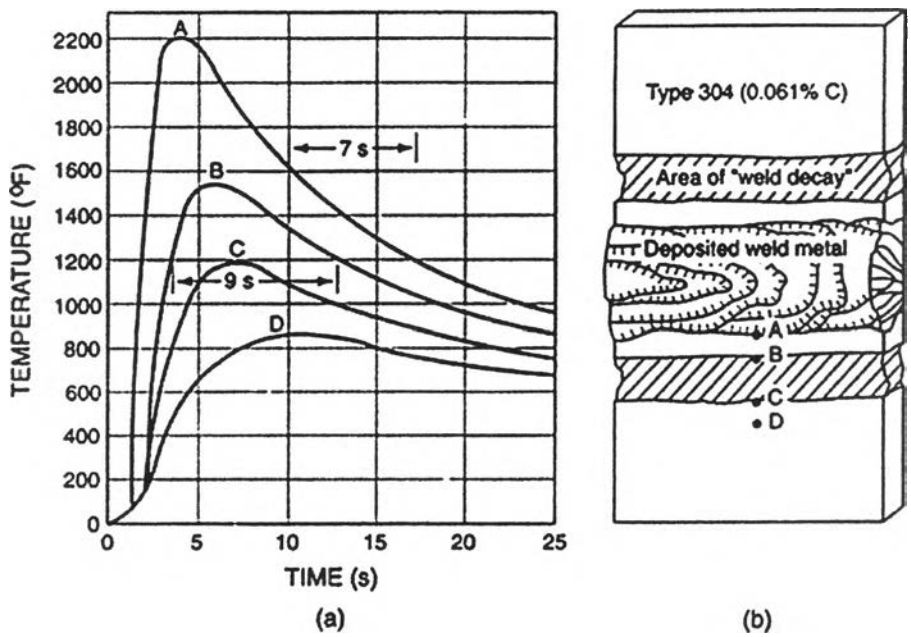

รูปที่ 2.1 การตกตะกอนของคาร์ไบด์ที่บริเวณขอบเกรน [1]

จากงานวิจัยของ Stawstrom และ Hillert [13] ได้แสดงให้เห็นว่า ถ้าปริมาณโครเมียมที่บริเวณขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ลดน้อยลงไปกว่า 13% อันเนื่องมาจากเซนซิไทเซชัน จะมีผลทำให้ขอบเกรนเริ่มมีความไวต่อการกัดกร่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.2

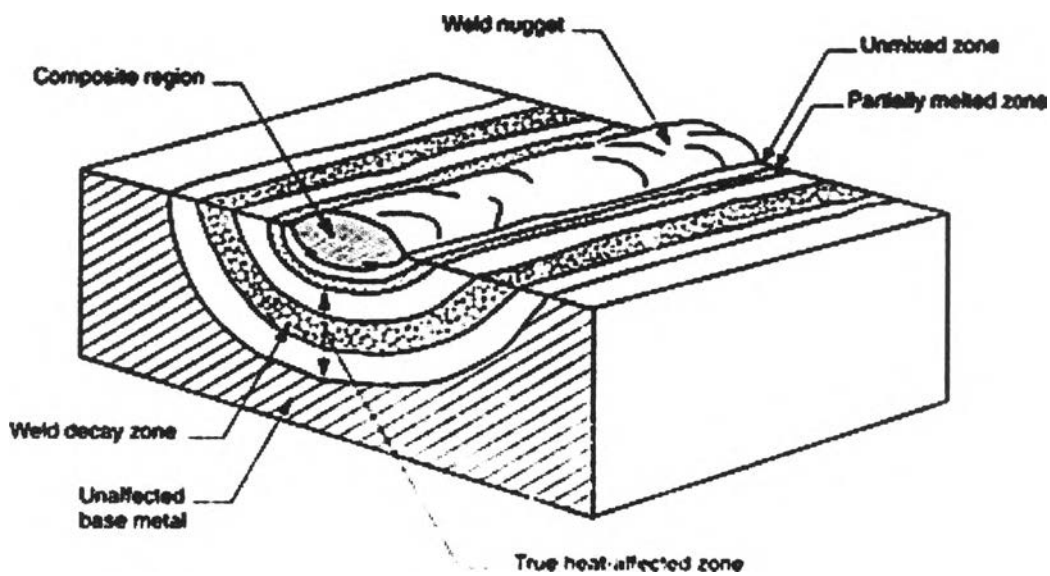



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแสดงการลดลงของโครเมียมที่บริเวณขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ถูกเซนซิไทซ์ที่ 700$^{0}$C นาน 10 ชั่วโมง [14]

การแตกร้าวอันเนื่องมาจากการผุกร่อนด้วยผลของความเค้นบริเวณขอบเกรน (Intergranular Stress Corrosion Cracking: IGSCC) ในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ถูกพบบ่อยครั้งที่บริเวณใกล้รอยต่อของการเชื่อม (weldjoint) ที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในระหว่างการเชื่อม (Heat Affected Zone: HAZ) ดังแสดงตัวอย่างไว้ในรูปที่ 1.1 IGSCC ที่เกิดขึ้นใน HAZ เป็นผลมาจากการเกิดเซนซิไทเซชันด้วยช่วงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม เช่นที่ตำแหน่ง B ในรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลา กับตำแหน่งที่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อม (weld decay) ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง A ได้รับความร้อนในช่วงอุณหภูมิที่สูงพอ แต่เวลาที่ได้รับความร้อนไม่เพียงพอ ส่วนที่ตำแหน่ง C และ D นั้น วัสดุได้รับความร้อนไม่สูงพอที่จะเกิดเซนซิไทเซชันได้ โดยรายละเอียดของลักษณะของรอยเชื่อม และบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อมแสดงไว้ดังรูปที่ 2.4 [15]




รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดง weld decay ที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม
(a) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลา (b) ตำแหน่งต่างๆในบริเวณที่เกิด weld decay



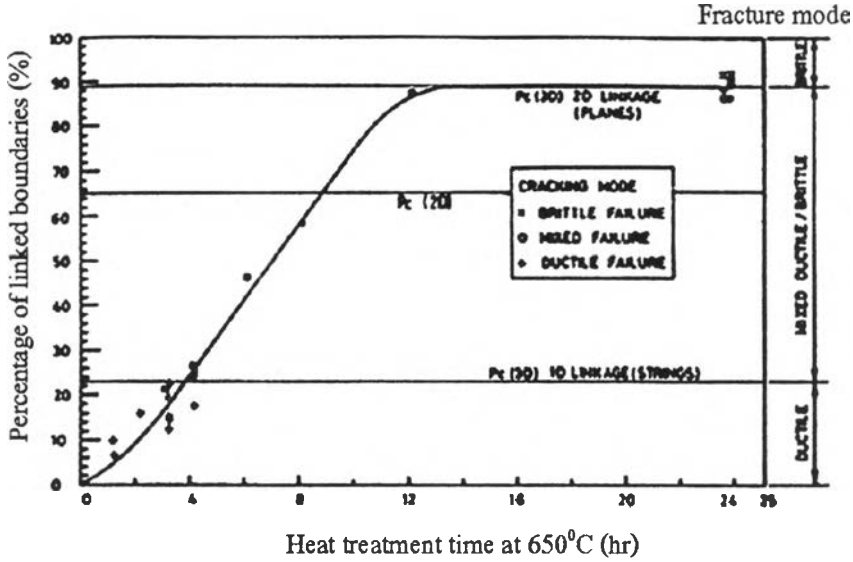

รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของรอยเชื่อม และบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อม
ในเหล็กกล้าไร้สนิม [1]

## 2.3 การกัดกร่อนด้วยผลของความเค้นบริเวณขอบเกรน

สภาวะที่สำคัญต่อการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการกัดกร่อนด้วยผลของความเค้นบริเวณขอบเกรน (IGSCC) ในเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ คือ 1) ในสภาวะงานที่มีความเค้น 2) สภาวะที่โครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุมีความไวต่อการกัดกร่อน และ 3) ในสภาวะของสิ่งแวดล้อมที่เอื้ออำนวยให้เกิดการกัดกร่อนดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยที่ IGSCC จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากขาดสภาวะใดสภาวะหนึ่งไป

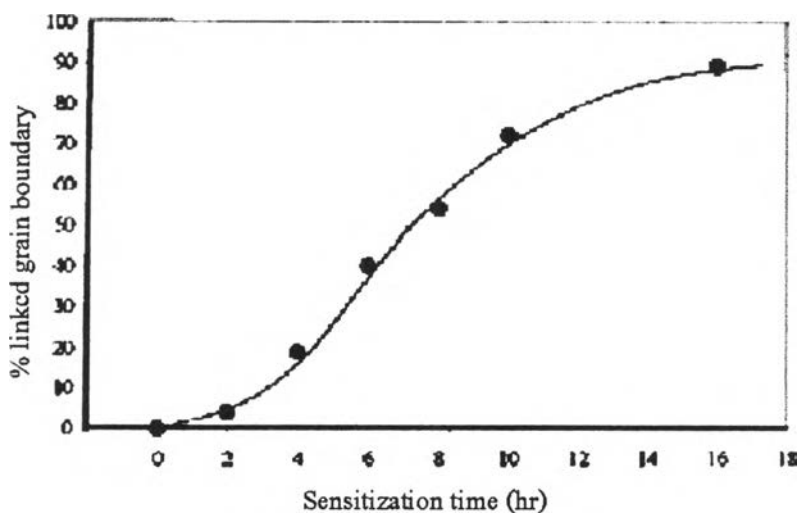
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดง 3 องค์ประกอบที่สำคัญต่อการเกิด IGSCC

เหล็กกล้าไร้สนิม 304 เมื่อถูกเซนซิไทซ์จะเกิดตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ขึ้นที่บริเวณขอบเกรน เป็นผลให้เกิดความไวต่อการผุกร่อน ซึ่งลักษณะของคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นรวมไปถึงปริมาณของขอบเกรนที่ถูกตกตะกอน หรือขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์นั้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิดการแตกร้าวที่ขอบเกรน โดยในงานวิจัยของ D. B. Well และคณะ [12] ได้นำเสนอทฤษฎี และแบบจำลอง percolation เพื่อใช้ทำนายโอกาสของการเกิด IGSCC ในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ว่า IGSCC จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมกันอย่างต่อเนื่องระดับหนึ่งของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์ ซึ่งจากผลการจำลองโอกาสที่เกิด IGSCC ด้วยโมเดลคอมพิวเตอร์พบว่า วัสดุที่มีการเชื่อมต่อของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์น้อยกว่า 23% ของขอบเกรนทั้งหมดวัสดุจะไม่แตกร้าวด้วย IGSCC แต่ถ้าอยู่ระหว่าง 23% กับ 89% วัสดุจะมีลักษณะของรอยแตกที่ผสมระหว่าง IGSCC กับ ductile overload และถ้ามากกว่า 89% วัสดุจะแตกร้าวด้วยผลของ IGSCC ในทันที ความสัมพันธ์ระหว่างการเชื่อมต่อกันของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์กับเวลาในเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงดังรูปที่ 2.6



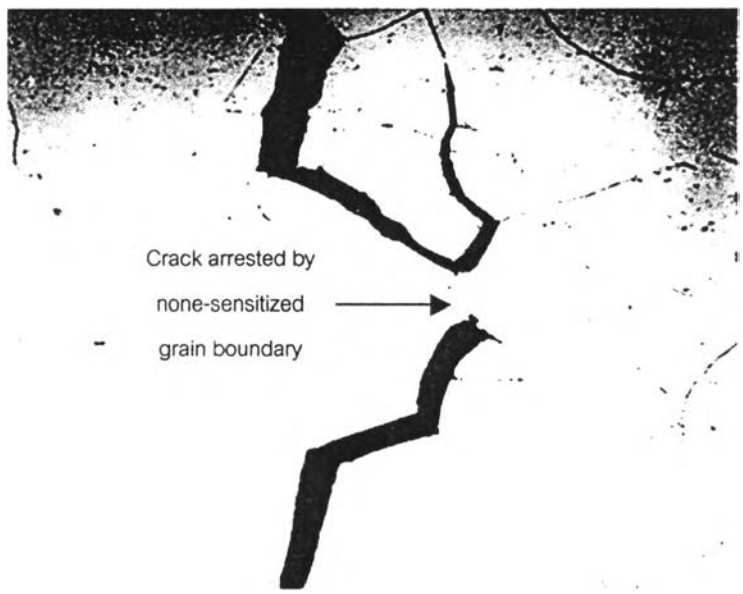

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์การเชื่อมต่อกันของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์ที่ 650°C กับเวลาในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 (ข้อมูลจากการทำนายด้วยทฤษฎี Percolation [12])

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าถ้าใช้เวลาในการเซนซิไทซ์น้อยกว่า 12 ชั่วโมง การแตกร้าวที่ขอบเกรนก็จะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากระดับการเชื่อมต่อกันของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์ไม่ถึง 89% ของขอบเกรนทั้งหมด ซึ่งถูกสนับสนุนด้วยงานวิจัยของ K. Talerngsuk [11] ที่ได้ทำการตรวจสอบการเชื่อมต่อกันของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์ที่ 650°C ในระยะเวลาที่ต่างกันของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 พบว่าได้ผลใกล้เคียงกันดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับของการเชื่อมต่อของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 90% เมื่อใช้เวลาในการเซนซิไทซ์นานกว่า 16 ชั่วโมง




รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์การเชื่อมต่อกันของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์ที่ 650°C กับเวลาในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 (ข้อมูลจากการการทดสอบด้วยสารเคมี [11])

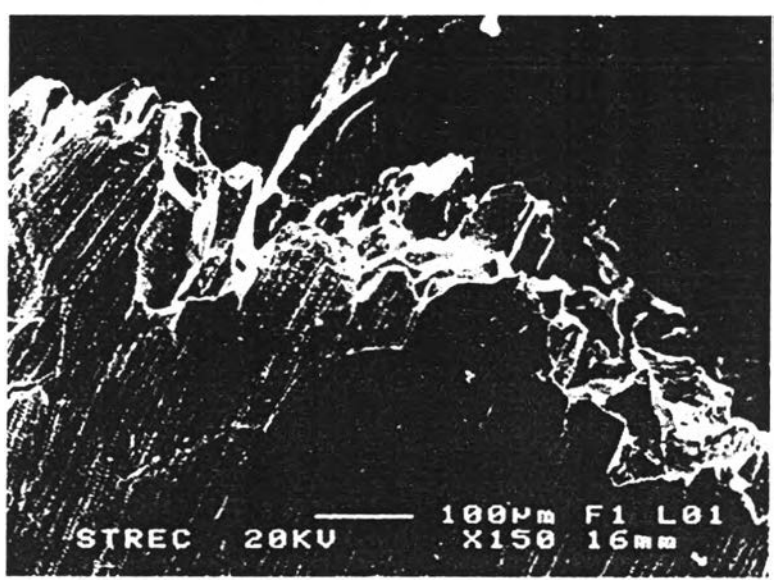
จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าระดับของการเซนซิไทซ์สามารถบ่งบอกถึงโอกาสของการเกิด IGSCC กล่าวคือถ้าเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ถูกเซนซิไทซ์ในระดับต่ำ หรือใช้เวลาในการเซนซิไทซ์ไม่เพียงพอ IGSCC ก็จะไม่เกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก IGSCC จะถูกยับยั้งด้วยขอบเกรนที่ไม่ได้ถูกเซนซิไทซ์ หรือถูกเซนซิไทซ์ไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8




รูปที่ 2.8 ไมโครกราฟแสดงการยับยั้งการขยายตัวของรอยแตกด้วยขอบเกรนที่ไม่ได้ถูกเซนซิไทซ์ (ทดสอบในสารละลายไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 10-ppm [12])

จากงานวิจัยของ H. S. Isaac [2] พบว่า การเซนซิไทซ์ในสารละลายไทโอซัลเฟตเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ถูกเซนซิไทซ์จะก่อให้เกิดความไวต่อ IGSCC สูง ซึ่งสารละลายไทโอซัลเฟตเป็นสารประกอบซัลเฟตที่เกิดจากผลผลิตทางชีววิทยาที่ถูกพบในน้ำที่ปล่อยออกมาจากครัวเรือน, โรงงานอุตสาหกรรม และโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม โดยเฉพาะน้ำที่ปล่อยออกมาจากโรงกลั่นน้ำมันที่เกิดจากกระบวนการทางปิโตรเคมีนั้นจะมีกรดโพลีไทโอนิก ($H_2S_nO_6$, n = 2 ถึง 5) ที่เกิดจากปฏิกิริยาของซัลไฟด์ที่ผิวโลหะกับออกซิเจนและความชื้น โดยสารประกอบซัลเฟอร์นี้จะเกิดขึ้นที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมของเตาหลอมโลหะ และท่อส่งน้ำมัน เป็นผลให้เกิด IGSCC ขึ้นอย่างรวดเร็วในบริเวณรอยต่อที่เกิดจากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าด้วยกัน ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เพียง 0.1-ppm สามารถทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมเกิดความเสียหายด้วยผลของ IGSCC ดังเช่นในรูปที่ 2.9 ที่แสดงไมโครกราฟพื้นผิวรอยแตกของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ทดสอบใน 0.9% $Na_2S_2O_3$ [11] ดังนั้นไทโอซัลเฟตเพียงระดับหนึ่งในล้านส่วนก็สามารถก่อให้เกิด IGSCC ได้

นอกจากนั้นสารประกอบซัลเฟตที่ถูกตรวจพบใน primary water ในส่วนของ stream generator และ auxiliary safety cooling system ในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์แบบความดัน (Pressurized Water Reactor: PWR) นำพาไปสู่การแตกร้าวด้วยผลของ IGSCC ซึ่งแสดงให้เห็นในตัวอย่างของความเสียหายที่เกิดขึ้นและเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์แบบ PWR ที่ Three Mile Island รัฐเพนซิลวาเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี 1983 ความเสียหายเกิดขึ้นเนื่องจากรอยแตกภายในตัวท่อของ stream generator ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ปี 1981 และรอยแตกได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นความเสียหายขึ้นในปี 1983 กรรมวิธี lower pressure ได้ถูกนำมาตรวจสอบหาสาเหตุการรั่วของท่อใน stream generator พบว่าในเดือนกันยายน ปี 1981 มีรอยรั่วเกิดขึ้นในท่อจำนวน 134 ท่อ จากทั้งหมด 31,000 ท่อ และอีกประมาณ 8,000 ถึง 10,000 ท่อ ได้เกิดการรั่วในอีกสามเดือนต่อมา และจากการสำรวจ heat exchange tubing ที่ทำมาจาก alloy 600 ซึ่งถูกเซนซิไทซ์ในระหว่างกระบวนการผลิตพบว่ามีการตรวจพบซัลเฟอร์ที่รอยแตกบนพื้นผิวของ reactor tubes และตรวจพบไทโอซัลเฟตระดับ 0.7-ppm ใน primary water ซึ่งนำไปสู่การรั่วใน auxiliary safety cooling system ดังนั้นจึงพอที่จะสรุปได้ว่า สารประกอบซัลเฟตนำพาไปสู่การแตกร้าวด้วยผลของ IGSCC [16]




รูปที่ 2.9 พื้นผิวรอยแตกของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ซึ่งถูกทดสอบใน 0.9% $Na_2S_2O_3$ [11]

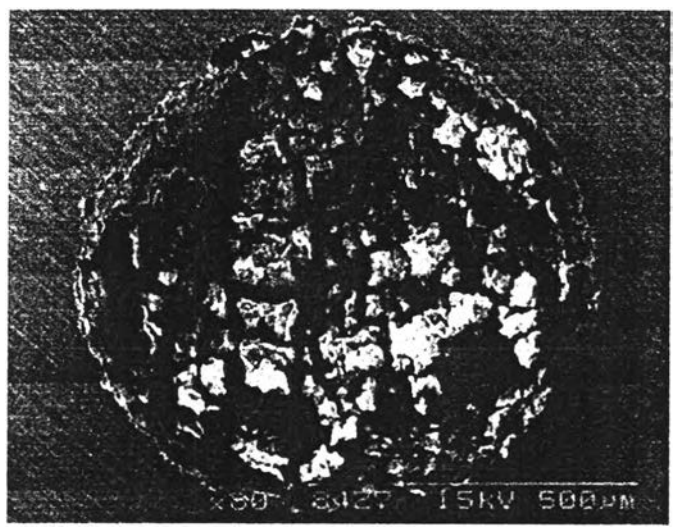
นอกจากสิ่งแวดล้อมที่มีสารประกอบซัลเฟตแล้วคลอไรด์ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิด IGSCC ได้เช่นกัน เนื่องจากคลอไรด์สามารถสร้างรูพรุนเล็กๆบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่เราเรียกกันทั่วไปว่า การกัดกร่อนแบบตามด (pitting corrosion) ซึ่งสามารถพบเห็นได้บ่อยครั้งในงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับน้ำทะเล เช่นใน cooling water piping ของ BWR เป็นต้น ซึ่งการกัดกร่อนแบบตามดสามารถก่อให้เกิด IGSCC ขึ้นภายในรอยแตกเล็กๆ และจาก

การสำรวจพบว่า IGSCC สามารถเกิดขึ้นได้ในสิ่งแวดล้อมที่มีคลอไรด์อยู่เพียงแค่ระดับหนึ่งในล้านส่วน หรือน้อยกว่านั้น โดยที่ความไหวตัวต่อการเกิด IGSCC เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ผลการทดสอบด้วยเครื่องให้อัตราความเครียดช้าพบว่า อุณหภูมิต่ำสุดที่ IGSCC จะเกิดขึ้นได้ในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ไม่ได้ถูกเซนซิไทซ์คือที่ $50^{0}$C แต่สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ถูกเซนซิไทซ์จะมีอุณหภูมิต่ำสุดได้เท่ากับอุณหภูมิห้อง [17] รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการกัดกร่อนแบบตามดในเหล็กกล้าไร้สนิม 304

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการกัดกร่อนแบบตามดในเหล็กกล้าไร้สนิม 304

N. J. Laycock [18] ได้นำเสนอว่า การกัดกร่อนแบบตามดไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในสิ่งแวดล้อมที่มีคลอไรด์เพียงอย่างเดียว แต่จะสามารถเกิดขึ้นได้ในทันทีถ้ามีสารประกอบของซัลเฟอร์อยู่ด้วย เนื่องจากสารประกอบของซัลเฟอร์กระตุ้นกระบวนการ anodic dissolution บนผิวของวัสดุตรงบริเวณที่จะเกิดรูพรุนอันเนื่องมาจากการกัดกร่อนแบบตามด โดยอนุภาคของสารประกอบซัลเฟอร์นั้นไม่สามารถที่จะทำลายชั้นฟิล์ม (passive film) ที่อยู่บนผิวเพื่อให้เกิดรูพรุนได้ แต่สามารถทำให้พันธะโลหะอ่อนแอลง ซึ่งนำไปสู่การลดลงของ activation energy ในการเกิด anodic dissolution เป็นผลให้คลอไรด์สามารถเข้าไปกัดกร่อนให้เกิดรูพรุนบนพื้นผิวได้ Duret-Thaul และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อนแบบตามดในเหล็กกล้าไร้สนิมในสิ่งแวดล้อมของคลอไรด์และไทโอซัลเฟตพบว่า ไทโอซัลเฟตไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการกัดกร่อน ณ บริเวณผิวของฟิล์ม แต่จะถูกนำไปใช้อย่างมากภายในรอยแตกที่คลอไรด์ได้กัดกร่อนไว้แล้ว ซึ่ง Newman และคณะ [20] เป็นคนกลุ่มแรกที่นำเสนอข้อมูลนี้ แต่อย่างไรก็ตาม Thomas และคณะ [21] ได้รายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้ว่า ไทโอซัลเฟตจะถูกดูดซับ และสะสมอยู่ภายนอกของชั้นฟิล์ม

เช่นเดียวกันกับภายในชั้นฟิล์ม แต่อัตราการสะสมที่ภายนอกจะน้อยกว่าภายในชั้นฟิล์ม ข้อมูลทั้งหมดข้างต้นถูกสนับสนุนด้วยงานวิจัยของ T. Laitinen [10] ซึ่งทำการศึกษาการกัดกร่อนแบบตามดในเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304L ในสารละลายที่ผสมระหว่างโซเดียมคลอไรด์, ไทโอซัลเฟต และกรดซัลฟิวริก พบว่าไทโอซัลเฟตเพียงลำพังไม่สามารถก่อให้เกิดการกัดกร่อนแบบตามด แต่สามารถลดประสิทธิภาพของออกไซด์ฟิล์มได้ เมื่อรวมเข้ากับคลอไรด์ที่มีประสิทธิภาพในการกัดกร่อนแบบตามด ไทโอซัลเฟตจะทำหน้าที่กัดกร่อนส่วนที่คลอไรด์ได้กัดกร่อนไว้แล้ว อีกทั้ง ณ บริเวณที่ถูกกัดกร่อนมีการตรวจพบโครเมียม และซัลเฟอร์กระจัดกระจายอยู่ ในขณะที่ปริมาณของเนื้อเหล็กลดลงไป กลไกของการกัดกร่อนภายในถูกพบว่าไม่แตกต่างไปจากที่พื้นผิวของ 304L ตัวอย่างของการเกิด IGSCC ภายในรอยแตกที่เกิดจากการกัดกร่อนแบบตามดแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 IGSCC ที่เกิดขึ้นภายในรอยแตกที่เกิดจากการกัดกร่อนแบบตามด [10]

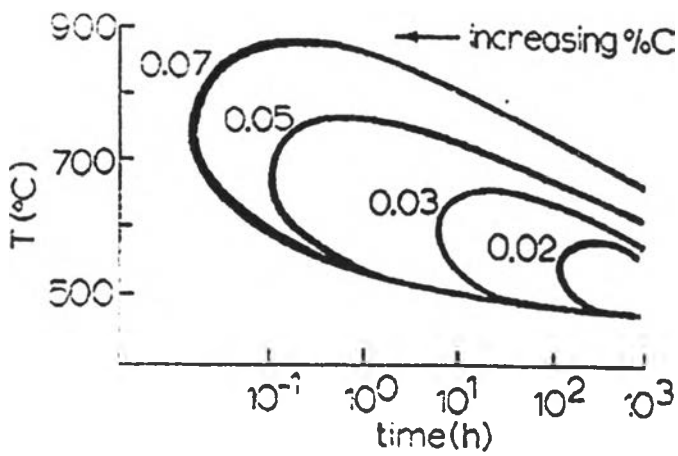
## 2.4 การป้องกัน

เหล็กกล้าไร้สนิม 304 นิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากทนต่อสภาวะงานที่อุณหภูมิ และการกัดกร่อนสูงได้ดี แต่ถึงกระนั้นก็ยังมีความเสียหายอันเนื่องมาจาก IGSCC เกิดขึ้น เป็นผลให้มีความพยายามที่จะลดอัตราการกัดกร่อนลง ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

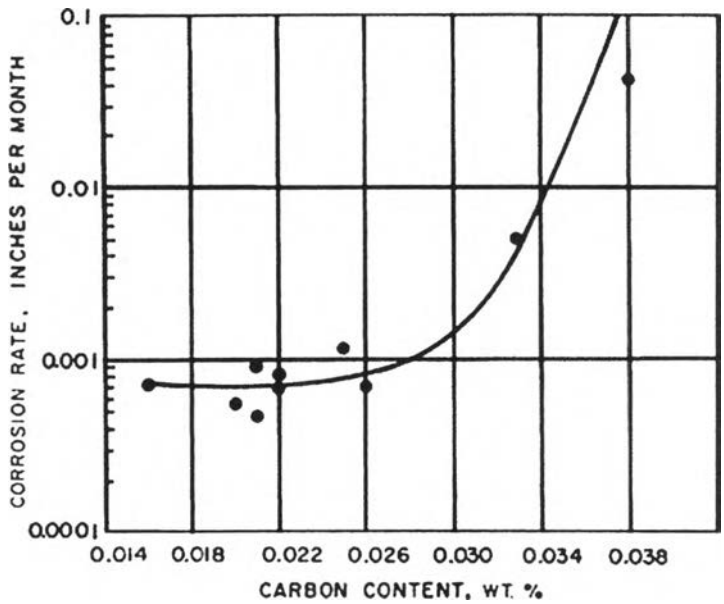
1) การอบอ่อน คือกรรมวิธีการอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 850$^{o}$C ในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เกิดการละลายของตะกอนโครเมียมคาร์ไบด์ที่บริเวณขอบเกรน ทำให้อัตราความไหวตัวต่อ IGSCC ลดลง ซึ่งถ้าเราสามารถหาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการอบอ่อนได้ เราก็จะได้กระบวนการทางความร้อนที่มีประสิทธิภาพในการละลายโครเมียมคาร์ไบด์สูงสุดที่ทำให้ขอบเกรนไม่มีความไวต่อ IGSCC

2) การปรับเปลี่ยนชนิด และปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เช่น การเพิ่มธาตุโมลิบดีนัม (เกรด 316) ทำให้ความต้านทานต่อการเกิดการกัดกร่อนแบบตามด (Pitting corrosion) เพิ่มสูงขึ้น หรือ เพิ่มธาตุที่มีความเสถียรภาพต่อการจับตัวกับคาร์บอนมากกว่าโครเมียมซึ่งได้แก่ ไนโอเบียม และ ไทเทเนียม เมื่อเติมลงไปในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 แล้วจะเปลี่ยนเป็นเกรด 347 และ 321 ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองเกรดนี้ถูกนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง ธาตุทั้งสองจะรวมตัวกับคาร์บอนได้เร็วกว่าโครเมียม และเกิดเป็นตะกอนของคาร์ไบด์ขึ้นที่ขอบเกรน ทำให้ปริมาณของคาร์บอนไม่เพียงพอที่จะจับกับโครเมียมได้ ดังนั้นเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองเกรดนี้เหมาะกับการนำไปใช้ในงานเชื่อมที่อุณหภูมิสูงมากกว่าเกรด 304

3) การลดปริมาณคาร์บอนในเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถลดอัตราการเกิดเซนซิไทเซชันได้ดังแสดงในแผนภาพ TTS (Time-Temperature-Sensitization curve) ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ในรูปที่ 2.12 [22] ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการเกิดเซนซิไทเซชันก็จะลดต่ำลง เป็นผลให้ความไหวตัวต่อการกัดกร่อนที่บริเวณขอบเกรนเพิ่มสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.13 [23] ดังนั้นการลดปริมาณคาร์บอนจะช่วยลดโอกาสที่จะเกิด IGSCC ได้ ดังเช่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304L และ 306L ที่มีการลดปริมาณคาร์บอนในเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 ให้ต่ำกว่า 0.03% เป็นต้น




รูปที่ 2.12 แผนภาพ TTS ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่แปรผันตามปริมาณคาร์บอน [22]




รูปที่ 2.13 ผลของปริมาณคาร์บอนต่ออัตราการเกิดการกัดกร่อนในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านการเซนซิไทซ์ที่ 650$^{0}$C นาน 2 ชั่วโมง [1]

ถึงแม้ว่าจะที่มีการปรับลดปริมาณของธาตุคาร์บอน หรือมีการปรับเปลี่ยนชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ให้ทนต่อการกัดกร่อนสูง และทำให้มีอายุการใช้งานมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปัญหาของการเกิดเซนซิไทเซชันยังคงปรากฏให้เห็นอยู่ เนื่องจากไม่สามารถกำจัดปริมาณคาร์บอนให้ออกจากวัสดุได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงมีความพยายามในการคิดค้นกระบวนการทางความร้อนขึ้นเพื่อที่จะปรับเปลี่ยนคุณสมบัติโครงสร้างบริเวณขอบเกรนให้ทนต่อการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์อันนำไปสู่เซนซิไทเซชันให้สูงขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำกระบวนการทางความร้อนในลักษณะเชิงกลมาประยุกต์ใช้ในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ซึ่งจะถูกกล่าวถึงในบทต่อไป