บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรมที่ต้องการวัสดุที่ทนอุณหภูมิสูง และทนต่อการถูกกัดกร่อนได้ดี รวมไปถึงการนำไปใช้ในส่วนประกอบต่างๆของโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 1.1 เนื่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถสร้างออกไซด์ฟิล์มขึ้นมาเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ดังนั้นจึงทนต่อการใช้งานในสภาวะที่ถูกกัดกร่อน หรือในสภาวะงานที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าโลหะประเภทอื่น แต่ถึงกระนั้นก็ยังมีความเสียหายที่มีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการแตกร้าวด้วยผลของความเค้นบริเวณขอบเกรน (Intergranular Stress Corrosion Cracking: IGSCC) ซึ่งความเสียหายนี้จะก่อให้เกิดความสิ้นเปลืองทางเศรษฐกิจ และที่สำคัญมากไปกว่านั้นคือ ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย เมื่อนำวัสดุนี้ไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือใช้งานในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ IGSCC จะเกิดขึ้นบ่อยครั้งที่บริเวณใกล้รอยต่อของแนวเชื่อมโลหะซึ่งถูกเรียกว่า "Heat Affected Zone (HAZ)" ดังแสดงในรูปที่ 1.1 [1] โดยสาเหตุของ IGSCC เกิดจากการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ที่บริเวณขอบเกรน เป็นผลให้เกิดการสูญเสียปริมาณโครเมียมที่บริเวณดังกล่าวไป ทำให้โครเมียมที่ใช้ในการสร้างออกไซด์ฟิล์มมีจำนวนลดลง จึงเป็นสาเหตุให้เหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีความไวต่อการกัดกร่อนที่บริเวณขอบเกรน ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ถูกเรียกว่า เซนซิไทเซชัน (sensitization) โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 450°C ถึง 850°C และจากงานวิจัยของ H. S. Isaac [2] พบว่าการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ถูกเซนซิไทซ์ในสารละลายไทโอซัลเฟตจะก่อให้เกิดความไวต่อ IGSCC สูง โดยจะเกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อที่เกิดจากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าด้วยกัน ปริมาณของโซเดียมไทโอซัลเฟตเพียงแค่ 0.1-ppm ก็สามารถทำให้เหล็กกล้าไร้สนิม 304 เกิดความเสียหายด้วยผลของ IGSCC [3]

มีความพยายามที่จะป้องกันและเพิ่มความต้านทานการเกิดเซนซิไทเซชันในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ด้วยวิธีดังต่อไปนี้ 1) นำวัสดุไปอบอ่อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 850°C ในเวลาที่เหมาะสม เพื่อละลายโครเมียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบริเวณขอบเกรน 2) ปรับเปลี่ยนปริมาณ หรือชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เช่น การเพิ่มธาตุโมลิบดีนัม (เกรด 316) ทำให้ความต้านทานต่อการเกิดการกัดกร่อนแบบตามด (pitting corrosion) เพิ่มสูงขึ้น หรือ เพิ่มธาตุไนโอเบียม (เกรด 321) หรือ ไทเทเนียม (เกรด 347) ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานที่

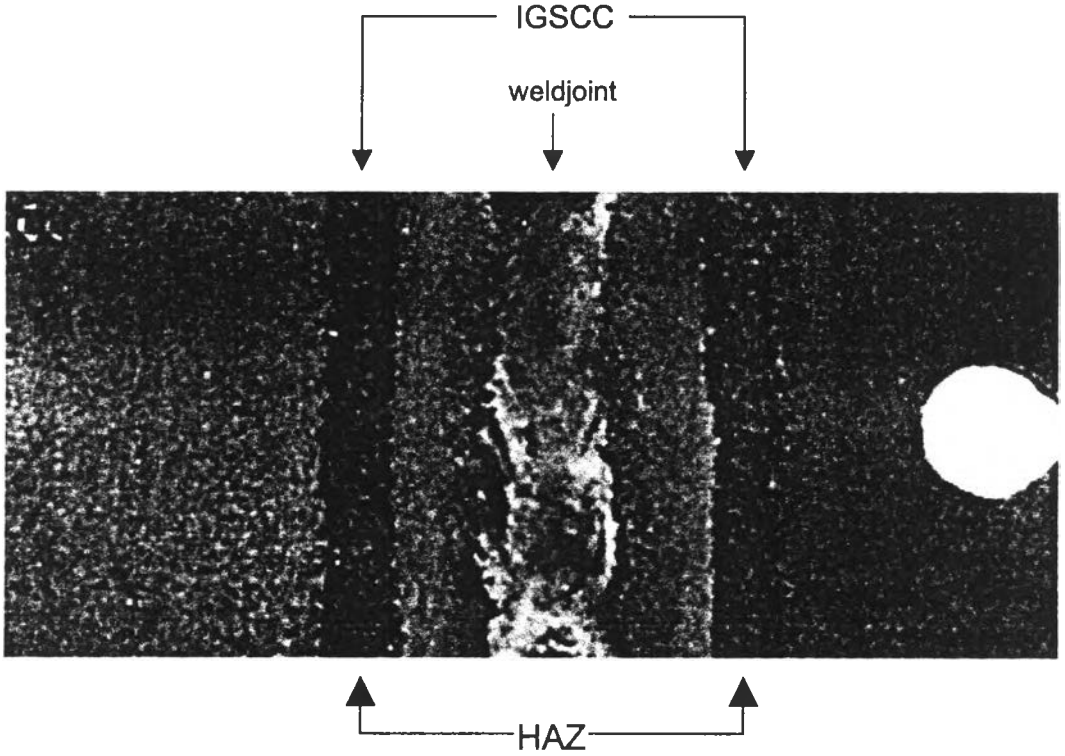
อุณหภูมิสูง และเหมาะกับการนำไปในใช้งานเชื่อม เป็นต้น และ 3) ลดปริมาณคาร์บอนให้ต่ำกว่า 0.03% (เกรด 304L และ 306L) [4] แต่ถึงอย่างไรความเสียหายที่เกิดจากผลของ IGSCC ยังคงปรากฏให้เห็น ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการปรับปรุงแล้วนั้นยังคงมีปริมาณคาร์บอนที่สามารถรวมตัวกับโครเมียมเกิดเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ตกตะกอนอยู่บนขอบเกรน เป็นผลให้เกิดความไวต่อ IGSCC ที่บริเวณขอบเกรน ซึ่งมีตัวอย่างให้เห็นคือการผุกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม 321 และ 347 ที่ใช้เป็นงานท่อ และ core shroud ในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์แบบน้ำเดือด (BWR) ของประเทศเยอรมัน จากการสำรวจพบว่าการผุกร่อนดังกล่าวมีสาเหตุมาจาก IGSCC อันเนื่องมาจากการเชื่อม [5]

ตารางที่ 1.1 เหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ถูกนำมาใช้ในส่วนประกอบต่างๆของโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

Component	Material	Reactor Type
Fuel Cladding	304 SS	BWR,PWR
Neutron Source Holder	304 SS	BWR
Instrument Dry tubes	304 SS	BWR
Fuel Bundle Cap Screws	304 SS	BWR
Control Rod tube	304 SS	BWR
Control Blade Sheath	304 SS	BWR
Control Blade	304 SS	PWR

T. Watanabe [6] เป็นผู้เริ่มต้นแนวความคิดที่จะควบคุม และออกแบบลักษณะของขอบเกรน (Grain boundary design and control) โดยได้ศึกษาลักษณะการกระจายชนิดของขอบเกรน (Grain Boundary Characteristic Distribution: GBCD) ในวัสดุ และพบว่าชนิด และสัดส่วนของขอบเกรนสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งสนับสนุนด้วยงานวิจัยของ Adam, J. Schwartz และ Wayne, E. King [7] ที่ทำการศึกษา GBCD ของทองแดงบริสุทธิ์ 99.99% ที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล พบว่าสัดส่วนจำนวน special grain boundary ซึ่งเป็นขอบเกรนประเภท Coincidence Site Lattice Boundary (CSLB) เพิ่มขึ้นจากเดิม 15% เป็น 70% เป็นผลให้

ทองแดงมีความต้านทานต่อการเกิด IGSCC สูงขึ้น อีกทั้งในงานวิจัยของ P. Sinsrok [8] แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนจำนวน CSLB ในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 สามารถเพิ่มมากขึ้นได้ถึง 54% ด้วยผลของกระบวนการความร้อนเชิงกล



รูปที่ 1.1 การผุกร่อนในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) ที่เกิดจากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าด้วยกัน

จากงานวิจัยของ O. V. Mishin และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลแบบ statically recrystallized state (SRS) ด้วยการอบให้ความร้อนที่ 1173 K เป็นเวลา 30 นาที และ dynamic recrystallized state (DRS) ด้วยการอบให้ความร้อนที่ 1273 K ไปพร้อมๆกับการให้ความเครียดกับชิ้นงาน พบว่า SRS ทำให้สัดส่วนของ CSLB ที่เป็นชนิด $\Sigma 3$ เพิ่มขึ้น ส่วน DRS ได้เพิ่มสัดส่วนของ Low Angle Boundary (LAB) ให้สูงขึ้น ทั้ง DRS และ SRS เพิ่มประสิทธิภาพความต้านทานต่อการเกิด IGSCC ในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ซึ่งจากความแตกต่างกันของชนิดของขอบเกรนระหว่าง DRS และ SRS นั้นทำให้คุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานทั้งสองชนิดแตกต่างกันด้วย

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่ากระบวนการความร้อนเชิงกลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิด IGSCC ในวัสดุ เป็นผลให้คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเปลี่ยนไป ดังนั้นคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุสามารถบ่งบอกความไวต่อการเกิด IGSCC ได้โดยประเมินจากการทดสอบด้วยเครื่องมือให้อัตราความเครียดช้า (Slow Strain Rate Tensile: SSRT) ในสภาวะจำลองการกัดกร่อนด้วยสารละลาย ด้วยเหตุผลที่ว่าวัสดุที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลจะมีลักษณะของขอบเกรนโดยทั่วไปแตกต่างไปจากวัสดุที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ ซึ่งลักษณะของขอบเกรนที่ต่างกันนี้ แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของขอบเกรน หรือคุณสมบัติเชิงกลที่ต่างกันด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลด้วยวิธี SSRT พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ปริมาณของคาร์ไบด์ที่ตกตะกอนบริเวณขอบเกรนตามมาตรฐานของ ASTM A262-98 practice A (Oxalic Etch) ทั้งนี้เพื่อสร้างความสัมพันธ์ถึงผลกระทบของชนิดของขอบเกรนที่ยอมให้เกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ต่อคุณสมบัติของขอบเกรนในระดับมหภาคของเหล็กกล้าไร้สนิม 304

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อทดสอบผลของกระบวนการความร้อนเชิงกลต่อการแตกร้าวด้วยผลของความเค้นบริเวณขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ในสิ่งแวดล้อมที่เอื้ออำนวยให้เกิดการกัดกร่อน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ปรับปรุงความต้านทานต่อการผุกร่อนที่ขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยเทคนิคทางกระบวนการความร้อนเชิงกล

2. จำลองโครงสร้างทางจุลภาคที่ไวต่อการผุกร่อนบริเวณขอบเกรน ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลด้วยการเซนซิไทซ์ที่เวลาต่างๆกัน

3. ตรวจสอบและเปรียบเทียบลักษณะการตกตะกอนของคาร์ไบด์บริเวณขอบเกรนเมื่อมีการเซนซิไทซ์ที่เวลาต่างๆกันในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลด้วยวิธี Oxalic etch (ASTM A262-98 practice A)

4. ตรวจสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลในสภาวะที่ถูกเซนซิไทซ์ด้วย SSRT

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมา

2. ประยุกต์เครื่อง SSRT ให้สามารถใช้ทดสอบวัสดุในสภาวะจำลองการกัดกร่อนที่มีการหมุนเวียนของสารละลายอยู่ตลอด

3. พัฒนา และออกแบบระบบเก็บข้อมูลผลการทดสอบด้วยเครื่อง SSRT ด้วยโปรแกรม LabVIEW

4. ทดสอบการตกตะกอนของคาร์ไบด์บริเวณขอบเกรนเมื่อมีการเซนซิไทซ์ที่เวลาต่างๆกันในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลด้วยวิธี Oxalic etch (ASTM A262-98 practice A)

5. ตรวจสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลในสภาวะที่ถูกเซนซิไทซ์ด้วย SSRT

6. สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ประยุกต์กระบวนการความร้อนเชิงกลสู่เหล็กกล้าไร้สนิม 304 ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการต้านทานต่อ IGSCC เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้อายุการใช้งานนานขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดความสิ้นเปลืองทางเศรษฐกิจเมื่อนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี 2542 T. Laitinen [10] ทำการศึกษาวิจัยพฤติกรรมของการกัดกร่อนแบบ localized ในเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304L ในสารละลายคลอไรด์, ซัลเฟต และไทโอซัลเฟต ด้วยวิธี cyclic polarization scans, scratch tests และ เทคนิค Contact Electric Resistance (CER) พบว่าไทโอซัลเฟตเพียงลำพังสามารถลดประสิทธิภาพของออกไซด์ฟิล์ม แต่เมื่อรวมเข้ากับคลอไรด์ที่มีประสิทธิภาพในการกัดกร่อนแบบตามด ไทโอซัลเฟตจะทำหน้าที่กัดกร่อนส่วนที่คลอไรด์ได้กัดกร่อนไว้แล้ว ณ บริเวณที่ถูกกัดกร่อนมีการตรวจพบโครเมียม และซัลเฟอร์กระจัดกระจายอยู่ ในขณะที่ปริมาณของเนื้อเหล็กลดลงไป กลไกของการกัดกร่อนภายในถูกพบว่าไม่แตกต่างไปจากที่พื้นผิวของ 304L

2. ปี 2542 กุลวัฒน์ เถลิงสุข [11] แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ ความไหวตัวต่อการกัดกร่อนระหว่างเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยการทดสอบด้วย SSRT และดอปเปอร์บรอดเดนส์โพสิตรอนแอนนิฮิเลชั่น (Dropper Broaden Positron Annihilation spectroscopy: DBPA) พบว่าวัสดุมีความไหวตัวต่อการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรนมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการเซนซิไทซ์ อีกทั้งค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุก็จะลดลงด้วย

3. ปี 2532 D. B. Wells และคณะ [12] ได้นำทฤษฎี percolation มาประยุกต์ใช้กับเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เพื่อทำนายโอกาสของการเกิด IGSCC พบว่า IGSCC จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกันอย่างต่อเนื่องระดับหนึ่งของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์ ผลการทำนายการเกิด IGSCC ด้วยโมเดลคอมพิวเตอร์ พบว่าวัสดุที่มีการเชื่อมต่อของขอบเกรนที่ถูกเซนซิไทซ์น้อยกว่า 23% ของขอบเกรนทั้งหมด วัสดุจะไม่แตกร้าวด้วย IGSCC และถ้าอยู่ระหว่าง 23% กับ 89% วัสดุจะมีลักษณะของรอยแตกที่ผสมระหว่าง IGSCC และ ductile overload แต่ถ้ามากกว่า 89% วัสดุจะแตกด้วยผลของ IGSCC ในทันที