บทที่ 1

บทนำ

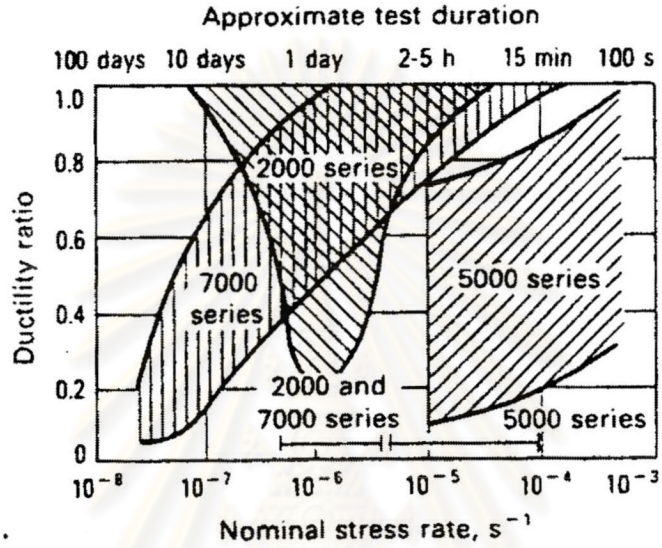
1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะผสม (alloy) ที่ประกอบด้วยธาตุหลักคือ เหล็ก นิกเกิลและโครเมียมรวมกับธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อยเช่นคาร์บอนประมาณ 0.08% ขึ้นกับชนิดของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยทั่วไปเหล็กกล้าไร้สนิมจะประกอบด้วยโครเมียมไม่น้อยกว่า 11%[1] มีคุณสมบัติเด่นในการต้านทานการกัดกร่อนได้ดีจากการที่มีโครเมียมเป็นองค์ประกอบหลัก โดยที่โครเมียมจะสร้างออกไซด์ฟิล์มบางๆ ปกคลุมที่บริเวณผิววัสดุ อย่างไรก็ตามยังคงพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมได้รับความเสียหายจากการกัดกร่อนและความเค้น ทำให้เกิดความเสียหายจากการแตกร้าวด้วยผลของความเค้น (Stress Corrosion Cracking; SCC) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่ได้รับความร้อนจากการเชื่อมวัสดุ (Heat Affected Zone; HAZ) ซึ่งพบว่าที่บริเวณ HAZ วัสดุจะมีปริมาณโครเมียมลดลงมากกว่าปกติ โดยเฉพาะบริเวณขอบเกรนจากกระบวนการที่เรียกว่า "เซนซิไทเซชัน" มีผลให้เกิดโครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$) ตกตะกอนที่บริเวณขอบเกรน ทำให้ขอบเกรนภายในบริเวณ HAZ มีความไวต่อการเกิด SCC ความเสียหายที่เกิดขึ้นจาก SCC นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการเกิดขึ้นพร้อมกันของความเค้นวิกฤต (critical stress), สภาวะแวดล้อมที่เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง (an aggressive environment) และโครงสร้างวัสดุที่ไวต่อการเกิด SCC (SCC susceptible microstructure) ดังนั้นการป้องกันกรณีใดกรณีหนึ่งไม่ให้เกิดขึ้นก็เท่ากับเป็นการป้องกันการเกิด SCC ไม่ให้เกิดขึ้นด้วย

ในการที่จะศึกษากลไกของวัสดุต่อการเกิด SCC โดยวิธีเร่งให้เกิด SCC (Accelerated Stress Corrosion Cracking) นั้นสามารถจะทดสอบได้ทั้งวิธี Static Loading เช่น Bend-beam specimens หรือ Dynamic Loading เช่น Slow Strain Rate Testing (SSRT) ซึ่งแตกต่างกันออกไป สำหรับการทดสอบความไวของวัสดุต่อการเกิด SCC โดยวิธี SSRT นั้นสามารถที่จะจำลองสภาวะที่เกิดขึ้นกับวัสดุได้ใกล้เคียงกับสภาวะที่สนใจ ซึ่งกลไกสำคัญที่ใช้ศึกษาก็คืออัตราความเครียดช้าที่เกิดขึ้นกับวัสดุ การทดสอบโดยวิธี SSRT สิ่งที่สนใจมักเกี่ยวกับการเกิดและการแพร่ขยายของรอยแตก โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปไม่สามารถที่จะแยกเป็นขั้นตอนได้อย่างชัดเจน ซึ่งการแพร่ขยายของรอยแตกถูกมองว่าเป็นการเกิดแบบซ้ำไปซ้ำมา และมีการเกิดอย่างเป็นลำดับ

สำหรับอัตราความเครียดช้าซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดนั้นมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับการเกิด SCC ในวัสดุเนื่องจากอัตราความเครียดช้าจะทำให้เกิด plastic micro strain และ film rupture

ขึ้นบนผิววัสดุซึ่งอัตราความเครียดช้าที่สูงเกินไปจะทำให้วัสดุเกิดความเสียหายแบบ ductile fracture ก่อนที่จะมีปฏิกิริยาการกัดกร่อนจากสภาวะที่จำลองขึ้น ดังนั้นระดับอัตราความเครียดช้าที่ใช้ในการทดลองควรสัมพันธ์กับวัสดุและสภาวะที่ใช้ในการทดลอง และถ้าระดับอัตราความเครียดช้าที่ใช้ต่ำเกินไปปฏิกิริยาที่ต้องการให้เกิดขึ้นระหว่างผิววัสดุบริเวณที่ปราศจากฟิล์มปกคลุมกับสภาวะที่ใช้ทดลองในการที่จะเกิด SCC นั้นจะถูกยับยั้งด้วยการเกิดขึ้นใหม่ของฟิล์ม



รูปที่ 1.1 กราฟแสดงผลของอัตราความเครียดที่มีต่อการเกิด SCC ในอะลูมิเนียมแต่ละชนิด

ในการทดสอบ SSRT เพื่อศึกษาผลกระทบและกลไกของอัตราการให้ความเครียดในการต้านทานการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากความเค้นที่ขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 นั้น คุณลักษณะสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งที่ทำให้การทดลองเกิด SCC คือ อัตราความเครียดวิกฤต (critical strain rate) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของอัตราความเครียดช้าที่เกิดขึ้น ณ บริเวณที่มีการเกิดและเพิ่มขนาดขึ้นของรอยแตกในวัสดุ สำหรับการทดลองในสภาวะที่มีการใช้อัตราความเครียดคงที่ค่าหนึ่งนั้น การที่ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองไม่มีการเกิดรอยแตกไม่ได้หมายความว่าชิ้นงานที่ใช้ทดลองนั้นมีความทนทานต่อการเกิด SCC ในระบบที่ใช้ทดลอง ตราบใดที่ยังไม่ได้มีการเปลี่ยนอัตราความเครียดที่ใช้ในการทดลองให้มีอัตราที่สูงขึ้นหรือต่ำลงกว่าเดิม[2] จากการศึกษาแบบจำลองการเสียหายจากอัตราความเครียด Gerber and Garud [3-4] ที่กล่าวไว้ว่า อัตราความเครียดเป็นสิ่งที่คอยเป็นแรงผลักดันให้เกิด SCC และจาก Strain-Rate Damage Model for Alloy 600 in Primary Water [5] ที่กล่าวไว้ว่า อัตราความเครียดจะมีผลอย่างมากต่ออัตราการเกิดการผิดรูปที่บริเวณขอบเกรนหรือบริเวณข้างเคียงที่เอื้อให้เกิดการดำเนินไปของกระบวนการ SCC ดังนั้นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการเกิด SCC ในการทดสอบ SSRT คือระดับของอัตราความเครียดช้าดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงผลของอัตราความเครียดช้าที่มีต่อการเกิด SCC ในอะลูมิเนียมชนิดต่างๆในการทดสอบ SSRT จากรูป

แสดงให้เห็นว่าที่อัตราความเครียดวิกฤต (critical strain rate) วัสดุจะมีเปอร์เซ็นต์ reduction in area ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการที่วัสดุเกิดความเสียหายโดยมีค่า ductility ต่ำจะเป็นการแสดงถึงคุณสมบัติของการเกิด SCC

จากที่กล่าวมาข้างต้นชี้ให้เห็นว่าอัตราความเครียดที่ใช้มีผลต่อการเกิด SCC กับชิ้นงานทดสอบ และการใช้อัตราความเครียดเพียงค่าเดียวหรือระดับเดียวในการทดสอบไม่สามารถบอกถึงคุณสมบัติในการทนต่อการเกิด SCC ที่สภาวะทดสอบนั้นได้ ดังนั้นในการทำความเข้าใจผลกระทบและกลไกของอัตราการให้ความเครียดในการต้านทานการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรนเนื่องจากความเค้นที่ขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 สามารถทำได้โดยการทดสอบ SSRT ที่มีการเปลี่ยนอัตราความเครียดอยู่ระหว่าง 10^{-7} ถึง 10^{-4} วินาที $^{-1}$ ในการทดลองแต่ละครั้งจะทำการบันทึกค่า load/time และ extension/time ข้อมูลที่บันทึกจะทำให้ทราบถึงค่า time to failure , strain at failure และ % reduction in area เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวาดกราฟระหว่างค่าที่บันทึกสัมพันธ์กับระดับอัตราความเครียดจะทำให้ทราบว่าอัตราความเครียดนั้นมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุอย่างไร กราฟที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงระดับของอัตราความเครียดช้าที่น่าสนใจซึ่งเป็นช่วงที่ค่าคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุมีค่าลดลง แสดงถึงว่าในช่วงดังกล่าวมีการเกิด environment induce cracking ร่วมกับ mechanical failure และเป็นช่วงสำคัญในการบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอัตราความเครียดต่อการเกิด SCC ในวัสดุ ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองจะแสดงถึงกลไกการเกิดการแตกหักเนื่องจากอัตราความเครียดในเหล็กกล้าไร้สนิม 304

ในปัจจุบันด้วยการออกแบบและการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีทำให้มีความต้องการวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูง ทนต่อการใช้งานในสภาวะที่ประกอบด้วย stress , temperature และ corrosion สำหรับวัสดุที่มีความแข็งแรงและมีความสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีนั้นบางชนิดถูกพบว่ามีความไวต่อการเกิด environmentally induced cracking เป็นผลให้การเกิด SCC ในวัสดุยังคงเป็นปัญหาสำคัญในอุตสาหกรรม ดังนั้นการทดสอบ SSRT ที่มีการเปลี่ยนระดับอัตราความเครียดช้าจึงน่าจะเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้เราสามารถที่จะเข้าใจผลกระทบและกลไกของอัตราการให้ความเครียดช้า ที่มีผลต่อการต้านทานการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรนอันเนื่องมาจากความเค้นที่ขอบเกรน เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ทนทานต่อการกัดกร่อน และสามารถป้องกันการเกิดรอยแตกอันเนื่องมาจากผลของสภาวะกัดกร่อน(environmentally induced cracking) ได้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบและกลไกของอัตราการให้ความเครียดในการต้านทานการกัดกร่อนที่บริเวณขอบเกรนอันเนื่องมาจากความเค้นที่ขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ทำการออกแบบปรับปรุงเครื่องดึงอัตราความเครียดช้าที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราความเครียดช้าได้ระหว่าง 10^{-7} - 10^{-4} วินาที $^{-1}$
2. ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากผลของอัตราความเครียดช้า
3. ทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนโดยผลของความเค้นด้วยเครื่องดึงอัตราความเครียดช้าในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรดอ่อนที่อุณหภูมิห้อง
4. ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและกลไกการแตกหักเนื่องมาจากอัตราความเครียดช้า

1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบปรับปรุงเครื่องดึงอัตราความเครียดช้าที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราเร็วได้
3. หาอัตราความเครียดช้าและสารละลายที่วิกฤตเพื่อศึกษากลไกของการเกิดรอยแตกบริเวณขอบเกรนในการทดลองที่อุณหภูมิห้อง
4. ทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนโดยผลของความเค้นด้วยเครื่องดึงอัตราความเครียดช้าในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรดอ่อนที่อุณหภูมิห้อง
5. สรุปและวิเคราะห์งานวิจัยรวมทั้งเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

1. อธิบายกลไกของการเกิดรอยแตกอันเนื่องมาจากความเค้นบริเวณขอบเกรน
2. แสดงให้เห็นถึงผลของอัตราการให้ความเค้นที่มีต่อความต้านทานการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304
3. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงและพัฒนาคุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม 304

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Westinghouse Electric Corporation [5] ได้ทำการวิจัยเรื่อง Strain-Rate Damage Model for Alloy 600 in Primary Water. ซึ่งทำการศึกษาผลของอัตราความเครียด (strain rate) ในการทำให้เกิด environment assisted cracking ใน Alloy 600 tubing โดยทำการทดสอบ tensile test ที่ strain rate ต่างๆใน Primary Water เพื่อหาข้อมูลคุณสมบัติเชิงกลของ Alloy 600 ที่อุณหภูมิระหว่าง 75 – 750 °F เพื่อเปรียบเทียบกับการทดลองอื่น เช่น constant loading test สำหรับข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาสร้างเป็น strain rate damage model ของ Alloy 600 tubing ซึ่งจาก model ดังกล่าวจะทำให้ได้ค่า critical strain rate damage parameters จากนั้นทำการทดสอบ stress corrosion cracking test ที่ critical strain rate จะได้ข้อมูลที่เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณช่วงเวลาที่เกิด stress corrosion cracking ของ Alloy 600 ใน primary water ที่ทำการทดสอบ และขั้นต่อไปจะใช้ในการคำนวณอายุการใช้งานเปรียบเทียบกันระหว่างการทำนายผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่เกิดจากการใช้งานจริง

2. Y. S. Garud and A. R. McILREE [6] ได้ทำการวิจัยเรื่อง Intergranular Stress Corrosion Cracking Damage Model: An Approach and its Development for Alloy 600 in High-Purity Water โดยทำการศึกษาการเกิด Intergranular Stress Corrosion Cracking (IGSCC) ใน NiCrFe Alloy 600 ที่อยู่ในสภาวะ high-purity water โดยการสร้างแบบจำลองที่เกี่ยวกับการเกิดขึ้นของ IGSCC ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวทำการสร้างขึ้นโดยอาศัยข้อมูลบางส่วนจากการทดลองและบางส่วนจากการศึกษาค้นคว้า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยวิธี tensile stress นั้นจะมี strain rate เป็นตัวแปรที่สำคัญในการทำให้เกิด IGSCC โดยที่แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะอธิบายกลไกการเกิด IGSCC ในลักษณะของ film rupture mechanism of the corrosion process ซึ่งจาก power law relation ที่สร้างขึ้นจากแบบจำลองจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่าง strain rate กับ IGSCC ที่เกิดขึ้นในการทดลอง โดยแสดงให้เห็นถึงสนับสนุนกันของข้อมูลทั้งสอง

3. Z. Fang, Y. Wu, R. Zhu, B. Cao, and F. Xiao [7] ได้ทำการวิจัยเรื่อง Stress Corrosion Cracking of Austenitic Type 304 Stainless Steel in Solutions of Hydrochioric Acid + Sodium Chloride at Ambient Temperature โดยได้ทำการศึกษาการเกิด Stress Corrosion Cracking (SCC) ของ Austenitic Type 304 Stainless Steel ในสารละลาย hydrochloric Acid และ Sodium Chloride ที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีการเกิดขึ้นของชั้นฟิล์มที่ประกอบด้วยโครเมียมและนิกเกิลเกิดขึ้นบนพื้นผิวของโลหะที่อยู่ในสารละลาย โดยที่ชั้นฟิล์มที่ถูกสร้างขึ้นจะเป็นสิ่งที่คอยป้องกันผิวของโลหะจากการเกิดการกัดกร่อน ขณะเดียวกันก็พบว่า SCC นั้นเป็นการเชื่อมโยงกันระหว่างการเกิดขึ้นของฟิล์มและคลอไรด์ไอออน และเมื่อทำการตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง

กราด (scanning electron microscope;SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope;TEM) แสดงให้เห็นว่าการแพร่ของ SCC นั้นเกี่ยวข้องกับการเกิด deformation-induced martensite และสำหรับกลไกที่เป็นไปได้ในการทำให้เกิด transgranular SCC ในการทดลองก็คือกระบวนการเกิด slip steps dissolution.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย