บทที่ 6

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

6.1 ลักษณะความเสียหายที่พบในชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 304

การเกิดความเสียหายของวัสดุแบบ ductile fracture นั้นเป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยปราศจากผลในการเข้ามามีส่วนร่วมของการกัดกร่อน ซึ่งเกิดขึ้นจากเมื่อส่วนต่าง ๆ ของวัสดุได้รับความเค้นที่ทำให้เกิดการยืดออกของวัสดุจากการเกิด plastic flow ทำให้เกิด plastic deformation ด้วยความแตกต่างกันของโครงสร้างจุลภาควัสดุในการเกิด plastic deformation ทำให้วัสดุเกิดรอยแตกหรือเกิดเป็นช่องว่างขนาดเล็ก (micro void) ขึ้น การที่วัสดุเกิด plastic flow อย่างต่อเนื่องจากอัตราความเครียดช้าที่ได้รับจะทำให้รอยแตกและช่องว่างมีขนาดที่ขยายขึ้นจากการเกิด plastic deformation ในโครงสร้างจุลภาค ทำให้ระยะห่างระหว่างแต่ละช่องว่างมีขนาดเล็กลงจนกระทั่งเชื่อมต่อกัน ท้ายที่สุด tensile test ก็ทำให้วัสดุขาดออกจากกันแบบ ductile fracture

สำหรับความเสียหายแบบ Brittle fracture เป็นอีกลักษณะหนึ่งของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับวัสดุทำให้วัสดุมีความเปราะ การเปราะของวัสดุเกิดจากผลของการกัดกร่อนในระหว่างที่วัสดุเกิด plastic deformation เป็นผลให้โครงสร้างจุลภาคของวัสดุมีการเกิดการเสียรูปอย่างถาวร (permanent deformation) น้อยมากหรืออาจไม่มีการเกิดขึ้นเลยจากการเกิด plastic deformation สำหรับวัสดุที่เกิดการเปราะนั้นในช่วงแรกจะมีการเกิดขึ้นของ plastic flow เพียงเล็กน้อยภายในโครงสร้างจุลภาคก่อนที่จะเกิดรอยแตกขึ้นในวัสดุทำให้วัสดุมีการเกิด plastic deformation เพียงเล็กน้อย ภายหลังจากเกิดรอยแตกจะพบว่าความหนาแน่นของความเค้นที่เกิดขึ้นจะไม่ทำให้เกิด plastic deformation ในวัสดุ แต่จะทำให้เกิดการแพร่ขยายของรอยแตกจนกระทั่งเป็นผลให้วัสดุเสียหายแบบ brittle fracture ซึ่งสภาวะการกัดกร่อนและอัตราความเครียดช้าที่วัสดุได้รับนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น

6.2 กลไกการแตกหักจากผลของอัตราความเครียดช้าต่อความเสียหายในชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 304

ในกรณีที่วัสดุได้รับอัตราความเครียดช้าที่มีค่าสูงมีผลให้ความเค้นที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างจุลภาคของวัสดุสูง ดังนั้นในแต่ละบริเวณของโครงสร้างจุลภาคจึงมีความเค้นสูงและเพียงพอที่จะทำให้เกิด slip plane ในแต่ละบริเวณ ทำให้มีปริมาณของพื้นที่ที่เกิด slip plane มาก และ

กระจายอยู่ทั่วไปในผิววัสดุ เมื่อเกิดการสะสมของ slip plane และเกิดรอยแตกขึ้นในบริเวณดังกล่าว ทำให้เกิดการแตกของฟิล์มไปพร้อมๆ กับการเกิด fresh metal ด้วยอัตราความเครียดช้าที่มีค่าสูงทำให้บริเวณส่วนปลายของรอยแตกมีอัตราการเกิดใหม่ของ fresh metal เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยอัตราการเกิดใหม่ที่รวดเร็วทำให้สารละลายโดยรอบมีเวลาไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายมากนักที่บริเวณส่วนปลายของรอยแตก อีกทั้งการเกิดใหม่ของฟิล์มก็มีส่วนสำคัญในการเข้ายับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดขึ้น สำหรับวัสดุที่มีปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์อยู่น้อยการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนปลายรอยแตกจะน้อยทำให้ขนาดของรอยแตกที่เกิดมีขนาดเล็ก แต่สำหรับวัสดุที่มีปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์สูงการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจะมากขนาดของรอยแตกที่เกิดจะมีขนาดใหญ่ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผลที่เกิดขึ้นจากการกัดกร่อนยังคงไม่มากพอที่จะทำให้วัสดุเกิดความเสียหายแบบ brittle fracture เพียงอย่างเดียวได้ จากการทดลองพบว่าชิ้นงานที่ได้รับอัตราความเครียดช้าสูง (1.1×10^{-4} วินาที$^{-1}$) มีความเสียหายในแบบผสมระหว่าง ductile และ brittle fracture

ในกรณีที่วัสดุได้รับอัตราความเครียดช้าที่ต่ำนั้นจะทำให้อัตราการเกิดใหม่ของ fresh metal ไม่รวดเร็วนัก ดังนั้นช่วงเวลาที่อยู่ระหว่างการเกิดใหม่ของ fresh metal จึงมีมากพอที่จะเกิดการกัดกร่อนระหว่าง fresh metal กับสารละลายโดยรอบ ขณะเดียวกันช่วงเวลาดังกล่าวก็มากพอที่จะใช้ในการสร้างออกไซด์ฟิล์มได้อย่างสมบูรณ์ และเนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นสัมพันธ์กับอัตราความเครียดช้าดังนั้นอัตราความเครียดช้าที่ต่ำจะทำให้การเกิดรอยแตกมีจำนวนลดลงตามระดับความเค้นที่ต่ำลง นอกจากนั้นจะทำให้บริเวณส่วนปลายของรอยแตกมีระดับความเค้นที่ต่ำและไม่เอื้อต่อการช่วยแพร่ขยายของรอยแตก ดังนั้นการที่จะให้เกิดการแพร่ขยายของรอยแตกได้จึงต้องอาศัยการกัดกร่อนที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเป็นเช่นนี้จึงขึ้นอยู่กับความรวดเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนและการสร้างออกไซด์ฟิล์มว่าปฏิกิริยาใดจะเกิดได้สมบูรณ์มากเพียงไร ซึ่งสิ่งที่เป็นตัวบ่งชี้ความสำเร็จของแต่ละปฏิกิริยาคือขนาดของรอยแตก ความเสียหายที่เกิดขึ้นในวัสดุกลุ่มนี้มีทั้ง pure ductile fracture และ brittle+ductile fracture ที่อัตราความเครียดช้า 4.0×10^{-7} วินาที $^{-1}$

สำหรับกรณีที่น่าสนใจมากที่สุดคืออัตราความเครียดช้าที่วิกฤตในการทำให้วัสดุเกิดการแพร่ขยายของรอยแตก โดยอัตราความเครียดช้าที่วิกฤตนั้นจะทำให้การเกิด plastic strain บริเวณส่วนปลายของรอยแตกมีระดับที่วิกฤตต่ออัตราการเกิด fresh metal ซึ่งระดับการเกิด plastic strain ที่วิกฤตดังกล่าวทำให้การกัดกร่อนที่บริเวณส่วนปลายของรอยแตกได้รับช่วงเวลาที่วิกฤตนั่นคือ มีเวลามากพอที่การกัดกร่อนจะทำให้เกิดการแพร่ขยายตัวของรอยแตกและช่วงเวลาควรจะเร็วพอที่จะทำให้มีการเกิด fresh metal ขึ้นใหม่ก่อนที่จะเกิดฟิล์มปกคลุม ซึ่งอัตราการเกิด plastic strain ดังกล่าวจะช่วยรักษาให้ปฏิกิริยาการกัดกร่อนดำเนินไปอย่างต่อเนื่องร่วมกับอัตราการเกิด fresh metal ทำให้เกิดการแพร่ขยายของรอยแตก วัสดุที่ได้รับอัตราความเครียดช้าในระดับนี้จะมีลักษณะของรอยแตกที่กว้างและมีจำนวนของรอยแตกน้อยเนื่องจากการเกิด plastic deformation ถูกแทนที่ด้วยการแพร่ขยายของรอยแตก สำหรับในการทดลองความเสียหายที่เกิดขึ้นในช่วงดังกล่าวคือ $3.9 \times$

10^{-6} วินาที $^{-1}$ และความเสียหายที่พบจะอยู่ในโหมด pure brittle หรือ brittle + ductile failure ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมในวัสดุซึ่งในการทดลองก็คือระดับการเซนซิไทเซชันที่ต่างกันของวัสดุ

6.3 Power Law Relation กับความไวของโครงสร้างวัสดุต่อการเกิด SCC

ความไวของโครงสร้างวัสดุต่อการเกิด SCC เนื่องจากการเซนซิไทเซชันในวัสดุที่ทำการทดลองสามารถทำนายได้ด้วย power law relation ใน Strain-Rate Damage Model ของ Gerber และ Garud [5] โดยดูจากค่า p ที่เป็นความชันกราฟ log-scale ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำให้วัสดุเกิดความเสียหายและอัตราความเครียดช้า กรณีที่ค่า $p = 1$ จะแสดงถึงความเสียหายที่เกิดจากคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเพียงอย่างเดียว กรณีนี้วัสดุจะเกิดความเสียหายแบบ ductile failure เนื่องจากวัสดุไม่ไวต่อการกัดกร่อน เช่น วัสดุที่ได้รับการเซนซิไทเซชันต่ำกว่า 1 ชั่วโมง สำหรับค่า $p < 1$ จะแสดงให้เห็นว่าวัสดุมีการเกิดความเสียหายจากคุณสมบัติเชิงกลและการเข้าร่วมของสภาวะที่กัดกร่อนดังเช่นวัสดุที่ได้รับการเซนซิไทเซชันตั้งแต่ 2 ชั่วโมงขึ้นไป ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของวัสดุมีความไวต่อการเกิด SCC เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและวัสดุจะเกิดความเสียหายแบบผสม brittle+ductile failure หรือ brittle failure เพียงอย่างเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย