บทที่ 5
การทดลอง

5.1 คำนำ

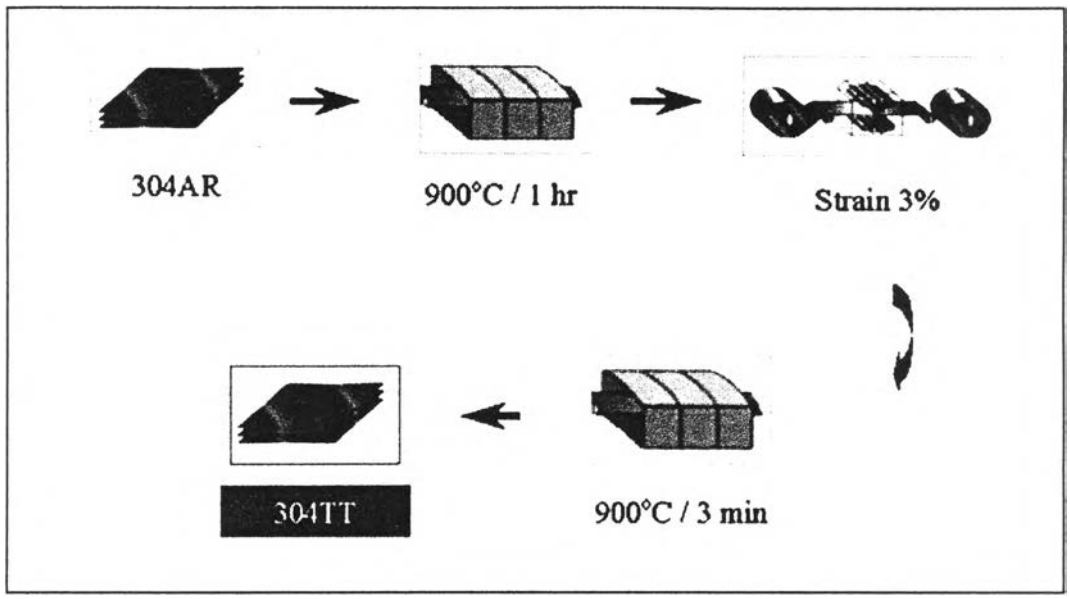
ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลในสภาวะจำลองการกัดกร่อนด้วยเครื่อง SSRT รวมไปถึงขั้นตอนการตรวจสอบปริมาณคาร์ไบด์ที่ตกตะกอน และเชื่อมต่อกันบนขอบเกรนด้วยวิธีทางเคมี และการวิเคราะห์ด้วย SEM โดยผลการทดสอบที่ได้นี้จะนำไปสู่แนวทางในการวิเคราะห์ผลของกระบวนการความร้อนเชิงกลต่อความไหวตัวในการเกิด IGSCC ต่อไป

5.2 กระบวนการความร้อนเชิงกล

ในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์กระบวนการความร้อนเชิงกลแก่เหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัทไทยน็อคซ์ สตีล จำกัด ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 5.1 โดยกระบวนการความร้อนเชิงกลที่ใช้นี้จัดอยู่ในประเภทของ Strain Annealing (SA) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ใช้ระยะเวลาสั้น และไม่เปลี่ยนแปลงขนาดของเกรน อีกทั้งยังให้ประสิทธิภาพต่อการต้านทานการกัดกร่อนได้ทัดเทียมกับกระบวนการความร้อนเชิงกลประเภทอื่นๆ โดยเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่มาจากโรงงาน (304AR) จะถูกนำไปผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล (304TT) ด้วยขั้นตอนดังแสดงในแผนภาพในรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ใช้ในงานวิจัย

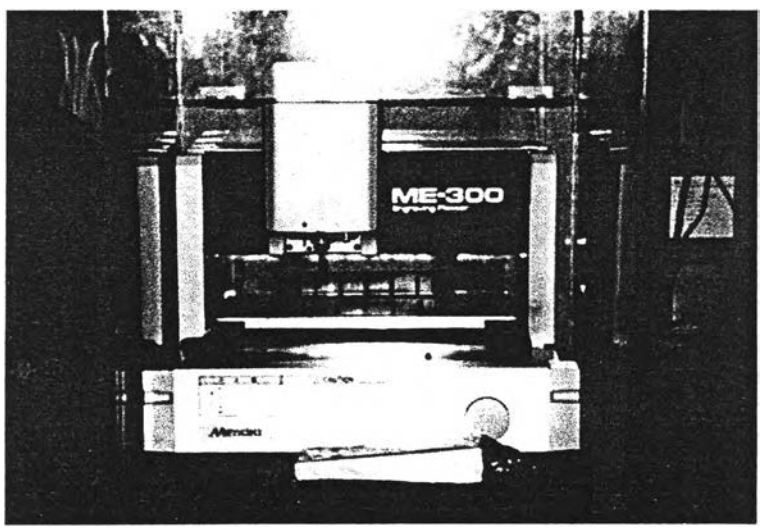
Elements	Fe	Cr	Ni	Mn	Si	N	C	P
Weight (%)	Balance	18.49	9.21	1.07	0.51	0.043	0.044	0.024



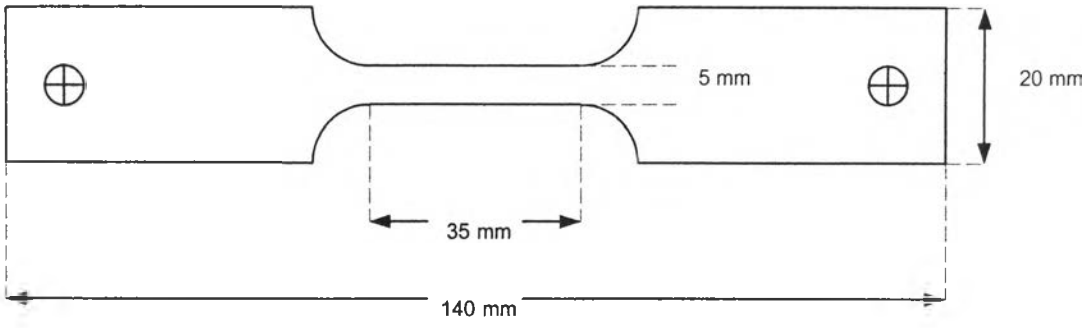
รูปที่ 5.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนของกระบวนการความร้อนเชิงกลแบบ SA ที่ใช้ในงานวิจัย

5.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง SSRT

ชิ้นงาน 304AR และ 304TT ในลักษณะแผ่นหนา 1.2 มม. จะถูกนำมาขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแรงดึง (tensile specimen) ด้วยเครื่อง Engraving Plotter ME-300 ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งใช้หัวกัดชิ้นงานที่ทำมาจาก TiN-carbide ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. และมีความเร็วในการหมุนประมาณ 6,000 รอบต่อนาที และด้วยประสิทธิภาพที่ดีของเครื่องตัดนี้จะไม่ก่อให้เกิดรอยบาก (notch) อันเป็นผลให้มี stress concentration เกิดขึ้นบนชิ้นงาน โดยลักษณะ และขนาดของชิ้นงาน tensile ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วนั้นแสดงดังรูปที่ 5.3 และรูปที่ ก. 5 ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 5.2 เครื่องมือสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่เป็น Mimi-computerized milling



รูปที่ 5.3 แผนภาพแสดงลักษณะ และขนาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่ใช้ในงานวิจัย

ชิ้นงาน 304AR และ304TT ที่ผ่านการขึ้นรูปให้เป็นชิ้นงานทดสอบแรงดึงนั้น จะถูกนำไปขัดโดยกรรมวิธี mechanical polishing ด้วยกระดาษทราย หลังจากนั้นจะนำไปเซนซิไทซ์ที่อุณหภูมิ 650^{o}C ในระยะเวลาที่ต่างกันด้วยเตาอบอุณหภูมิสูง (high temperature furnace) ดังแสดงในรูปที่ 5.4 ที่มีการไหลเวียนของก๊าซไนโตรเจนเหลวบริสุทธิ์ (99.99%) แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เพื่อต้องการจำลองระดับที่ต่างกันของโครงสร้างที่มีความไหวตัวต่อการกัดกร่อน ซึ่งชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่ผ่านการเซนซิไทซ์จะถูกนำมาขัดอีกครั้งหนึ่งจนถึง 1 μm diamond paste ก็เสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง SSRT ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยแอซีโตน โดยเครื่องทำความสะอาดโดยการสั่นที่ความถี่สูง (ultrasonic cleaner)

2) ประกอบชิ้นงานเข้ากับเซลล์สำหรับใส่สารเคมี หลังจากนั้นนำไปประกอบให้เข้ากับเครื่อง SSRT ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และรูปที่ ก. 6 ในภาคผนวก ก.

3) เตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเพื่อใช้ในการจำลองสภาวะการกัดกร่อนด้วยผลของ IGSCC โดยการชั่งโซเดียมไทโอซัลเฟตปริมาณ 124 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 1 ลิตร ปรับค่า pH ของสารละลายให้เท่ากับ 4 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นประมาณ 3 หยดของหลอดหยดขนาด 1 ml

4) เตรียมสารละลายผสมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะ และการขยายตัวของรอยแตกตามขอบเกรนที่เกิดจากผลของการกัดกร่อนแบบตามด โดยชั่งโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 494.37 มิลลิกรัม โซเดียมไทโอซัลเฟตปริมาณ 110.71 มิลลิกรัม และตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

ปริมาณ 0.166 ลูกบาศก์ซม. นำทั้งหมดมาผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 1 ลิตร ก็จะได้สารละลายผสมที่มีค่า pH ประมาณ 3

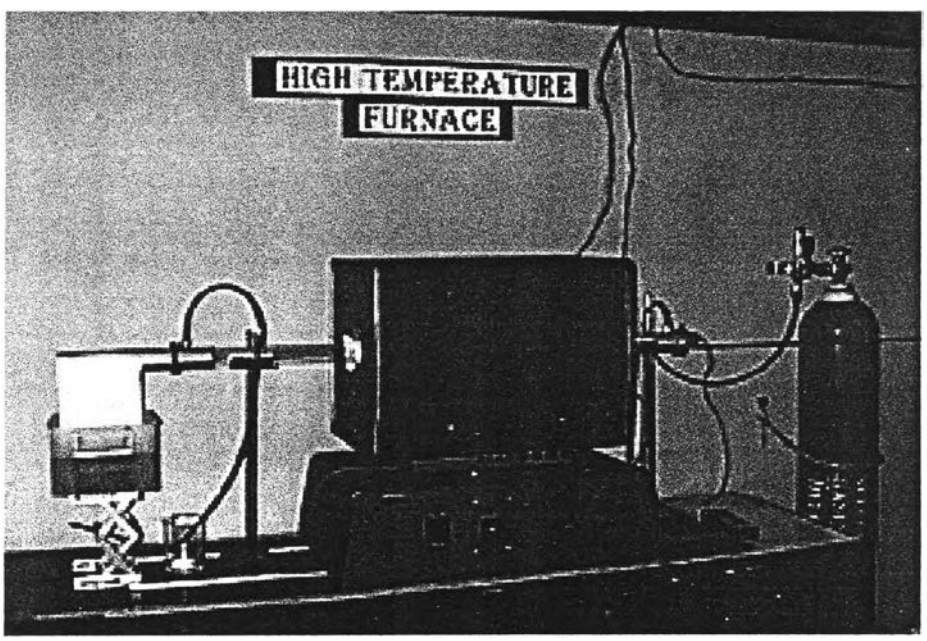
5) บรรจุสารละลายที่เตรียมไว้ใส่ขวดบรรจุสารละลาย และติดตั้งระบบหมุนเวียนสารละลาย ทำการตรวจสอบระบบทั้งหมดเพื่อพร้อมที่จะทำการทดสอบต่อไป

6) เริ่มต้นทดสอบชิ้นงานด้วยอัตราความเครียด (strain rate) ประมาณ 1.75×10^{-6} วินาที$^{-1}$ ในสภาวะจำลองการกัดกร่อนที่มีการหมุนเวียนของสารละลายคงที่ พร้อมทั้งเก็บรวบรวม และประมวลผลข้อมูลแสดงผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW

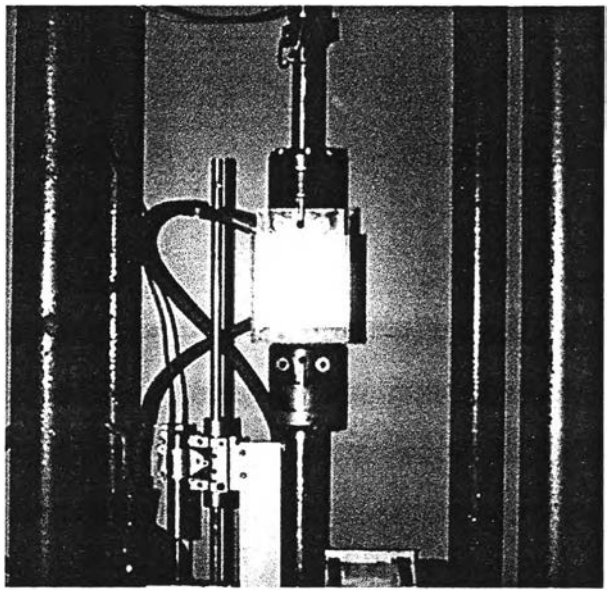
7) นำข้อมูลแรงดึง และระยะยืดของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมในลักษณะของความต่างศักย์มาแปลงกลับเป็นค่าแรงดึง และค่าระยะยืดจริง ก่อนที่จะนำไปคำนวณค่าความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานในระหว่างการทดสอบ เพื่อที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลต่อไป

8) ชิ้นงานที่ถูกแรงดึงจากการทดสอบจนขาดจะนำไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ และแอซีโตน หลังจากนั้นให้นำไปวิเคราะห์ลักษณะของรอยแตกด้วย SEM

9) นำผลการทดสอบที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์หาผลกระทบของกระบวนการความร้อนเชิงกลต่อการเกิด IGSCC ในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ต่อไป



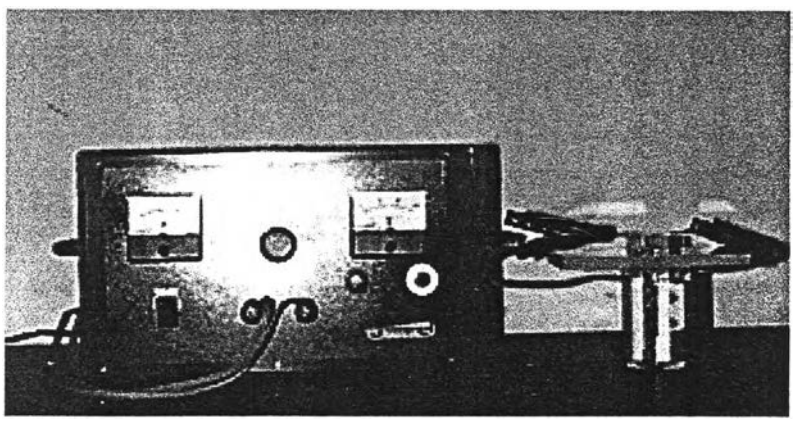
รูปที่ 5.4 เตาอบอุณหภูมิสูงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อการอบให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน



รูปที่ 5.5 ลักษณะโดยทั่วไปของการทดสอบด้วยเครื่อง SSRT

5.4 การตรวจสอบปริมาณการเชื่อมต่อกันของคาร์ไบด์บนขอบเกรน

นำชิ้นงาน 304AR และ 304TT ในลักษณะของแผ่นหนา 1.2 มม. ที่ผ่านการเซนซิไทซ์ในระยะเวลาที่ต่างกันมาตัดให้ได้ขนาดกว้าง และยาวเท่ากับ 1 ซม. และ 2 ซม. ตามลำดับ ต่อมาให้นำมาขัดด้วยกรรมวิธี mechanical polishing จนถึง 1 μm diamond paste เพื่อพร้อมที่จะทำการตรวจสอบการเชื่อมต่อกันของคาร์ไบด์บนขอบเกรน ซึ่งจะใช้วิธี electroetching ตามมาตรฐานของ ASTM A 262-98 ด้วยอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.6 ในสารละลายกรดอ๊อกซาลิก 10% ที่กระแส ณ ความต่างศักย์ 6 โวลต์ ในระยะเวลา 20 วินาที โดยใช้แพลทินัมเป็นแคโทด หลังจากการทดสอบให้นำไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ และแอซีโตนก่อนที่จะนำไปถ่ายภาพด้วย SEM เพื่อที่จะนำไปตรวจวัดปริมาณการเชื่อมต่อกันของคาร์ไบด์บนขอบเกรนต่อไป



รูปที่ 5.6 อุปกรณ์สำหรับ electroetching ที่ใช้ในงานวิจัย