บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว ดังรูปที่ 3.1 ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน มอก. 2060-2543 ชั้นคุณภาพ 2 ที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนแล้วนำไปเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์ (SAW) เพื่อใช้ผลิตถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวขนาดความจุ 4 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวขนาดบรรจุ 4 กิโลกรัม

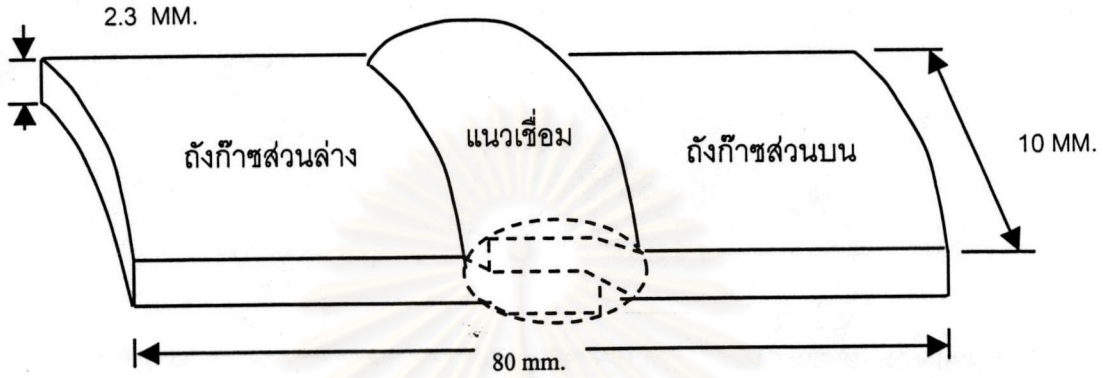
3.2 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

นำถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวขนาดความจุ 4 กิโลกรัม ที่ผ่านการเชื่อมเสร็จแล้วตามเงื่อนไขของบริษัทที่ให้ความร่วมมือมาทำการจัดเตรียมชิ้นงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ตัดถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ได้รับจากบริษัทร่วมวิจัยที่บริเวณแนวเชื่อมของถังด้วยเครื่องตัดในห้องปฏิบัติการที่มีน้ำหล่อเย็น

2. ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวเหลวจากข้อ 1 ด้วยเครื่อง Emission Spectrometer

3. เตรียมชิ้นงานขนาด 2.3 มม. x 10 มม. x 80 mm. (หนา x กว้าง x ยาว) ดังรูปที่ 3.2 จากชิ้นงานที่ตัดจากแนวเชื่อมของถังก๊าซเพื่อใช้ในการทดลองอบปกติในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานที่ใช้ในการอบปกติ

4. ตรวจสอบสมบัติทางกลของเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนที่นำมาใช้ผลิตถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Tensile Testing Machine) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว[2]

5. ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเนื้อเชื่อม บริเวณกระทบร้อนและโลหะพื้น สภาพหลังการผ่านการเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์

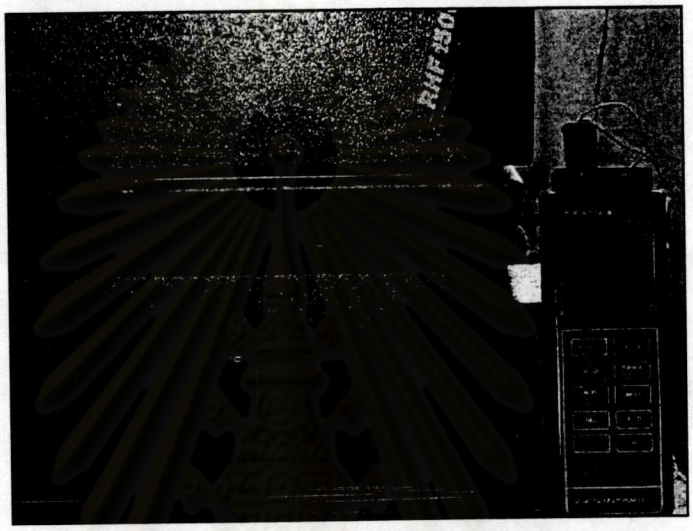
3.3 การเตรียมการทดลอง

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการอบปกติที่ห้องปฏิบัติการ

1. เตา (Furnace) ในห้องปฏิบัติการทำหน้าที่ให้ความร้อนกับชิ้นงาน

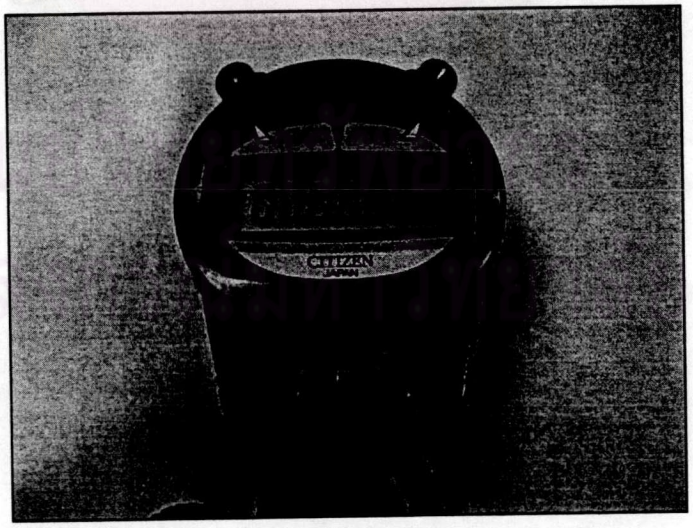
รูปที่ 3.3 เตาทดลองในห้องปฏิบัติการ

2. ชุดอุปกรณ์ดิจิตอลเทอร์โมคับเปิล เป็นอุปกรณ์ที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว เอกสารการสอบเทียบแสดงในภาคผนวก ข ใช้ในการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเตาในห้องปฏิบัติการและอุณหภูมิในเตาของบริษัทร่วมวิจัย เพื่อให้มั่นใจว่าค่าอุณหภูมิที่อ่านได้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ



รูปที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์ดิจิตอลเทอร์โมคับเปิล

3. นาฬิกาจับเวลา ทำหน้าที่ใช้จับเวลาขณะทำการอบปกติที่เตาในห้องปฏิบัติการ



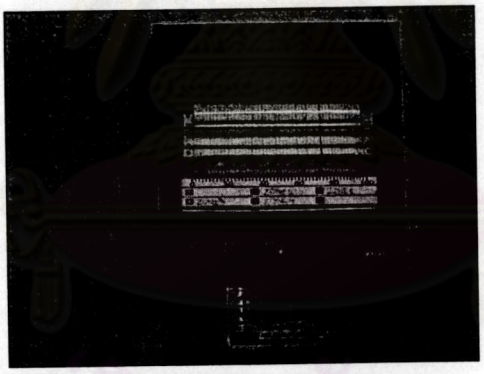
รูปที่ 3.5 นาฬิกาจับเวลา

3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการอบปกติของบริษัทที่ร่วมงานวิจัย

1. เตาที่ใช้ในการอบปกติถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่บริษัทร่วมงานวิจัย ที่ผ่านการสอบเทียบอุณหภูมิแล้ว ดังรูปที่ 3.6 และเอกสารประกอบการสอบเทียบในภาคผนวก ข.

รูปที่ 3.6 เตาของบริษัทร่วมงานวิจัย

2. เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Temperature Recorder) ของบริษัทร่วมงานวิจัยที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว ดังรูปที่ 3.7 และเอกสารประกอบการสอบเทียบในภาคผนวก ค.



รูปที่ 3.7 เครื่องบันทึกอุณหภูมิของบริษัทร่วมงานวิจัย

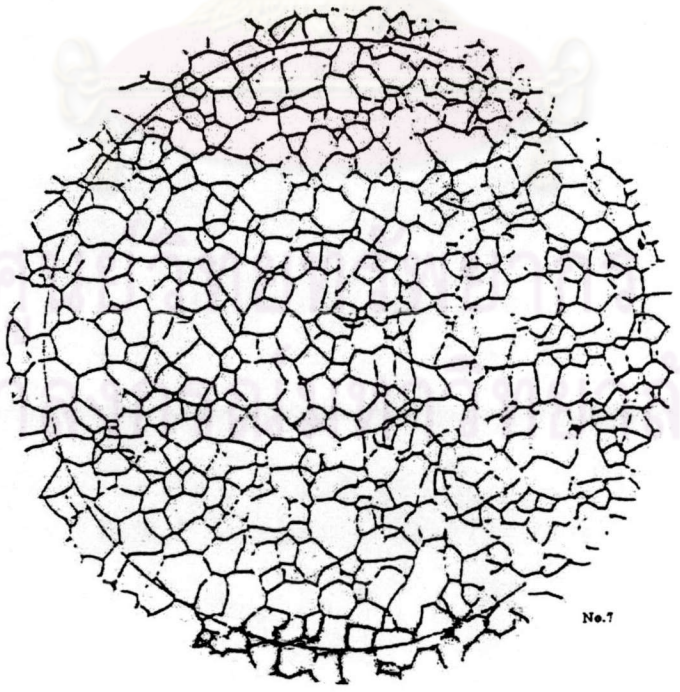
3. ชุดวัดอุณหภูมิพร้อมตัวบันทึกข้อมูล (Data Locker) ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.8 ชุดวัดอุณหภูมิพร้อมตัวบันทึกข้อมูล

3.4 การออกแบบการทดลอง

เนื่องจากขอบเขตของการทดลองเป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบปกติเนื้อเชื่อมและบริเวณกระทบร้อน เพื่อปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคในเนื้อเชื่อมและบริเวณกระทบร้อนให้มีขนาดเกรนสม่ำเสมอและมากกว่าหรือเท่ากับขนาดเกรนมาตรฐาน เบอร์ 7[21] (ASTM E112) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยจะใช้อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ตามข้อกำหนดปฏิบัติการเชื่อม (Welding Procedure Specification) แสดงในภาคผนวก ง. ตามข้อมูลในแผนภูมิสมดุลของเหล็ก-คาร์บอน[18] ในรูปที่ 2.12 และตามข้อมูลในรูปแผนภูมิกึ่งสมดุลของเหล็กกล้าคาร์บอน[12] ที่แสดงในรูปที่ 2.4 ดังต่อไปนี้

1. อบปกติที่อุณหภูมิ 805 °ซ ที่เวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที
2. อบปกติที่อุณหภูมิ 830 °ซ ที่เวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที
3. อบปกติที่อุณหภูมิ 860 °ซ ที่เวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที
4. อบปกติที่อุณหภูมิ 890 °ซ ที่เวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที
5. อบปกติที่อุณหภูมิ 905 °ซ ที่เวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที
6. อบปกติที่อุณหภูมิ 920 °ซ ที่เวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที
7. อบปกติที่อุณหภูมิ 930 °ซ ที่เวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที



รูปที่ 3.9 ขนาดเกรนมาตรฐาน เบอร์ 7 (ASTM E112) x 100 เท่า

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำชิ้นงานขนาด 2.3 มม. x 10 มม. x 80 มม. (หนาxกว้างxยาว) มาเขียนหมายเลขกำกับที่แสดงอุณหภูมิและเวลาของชิ้นงานทั้งหมด ใช้ในการอบปกติที่เตาในห้องปฏิบัติการ

2. ควบคุมเตาจนได้อุณหภูมิ 805 °ซ นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ใส่เข้าไปในเตา โดยทดลองอบปกติที่เวลา 5,10,15,20 และ 25 นาที พอครบกำหนดตามเวลาปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

3. ทดลองซ้ำในขั้นตอนที่ 2

4. ทดลองอบปกติเหมือนขั้นตอนการทดลองในข้อ 2 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ทดลองอบปกติเป็น 830 °ซ, 860 °ซ, 890 °ซ, 905 °ซ, 920 °ซ และ 930 °ซ

5. นำชิ้นงานที่ผ่านการอบปกติจากทุกเงื่อนไขในการทดลองมาตรวจสอบดูโครงสร้างจุลภาคเพื่อวัดขนาดเกรน

6. นำผลการทดลองภายหลังการวิเคราะห์ขนาดเกรนในเนื้อเชื่อม บริเวณกระทบร้อนและโลหะพื้น จากการทดลองในห้องปฏิบัติการไปปรับใช้กับการอบปกติรอยเชื่อมของถังก๊าซของบริษัทโดยใช้เตาของบริษัทร่วมวิจัย

7. วัดและสอบเทียบอุณหภูมิในเตาที่ใช้อบถังก๊าซของบริษัทร่วมวิจัยด้วยชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิดิจิตอลเทอร์โมคับเปิลที่ได้ที่ได้มีการสอบเทียบแล้ว เพื่อวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิในเตาก่อนอบปกติถังก๊าซจริง

8. นำถังก๊าซอบปกติที่อุณหภูมิ 905, 930°ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิเตาในตำแหน่งปัจจุบันที่อ่านได้

9. วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและวัดขนาดเกรนในเนื้อเชื่อม บริเวณกระทบร้อนและโลหะพื้นของชิ้นงานถังก๊าซที่ผ่านการอบปกติภายหลังการนำผลการทดลองในห้องปฏิบัติการไปปรับใช้ในการอบปกติจริง

10. นำชิ้นงานที่วัดขนาดเกรนได้ตามต้องการมาเตรียมชิ้นทดสอบแรงดึงตาม มอก. 244-2525 เล่มที่ 4-5 และทดสอบการดัดโค้งตาม มอก. 244-2525 เล่มที่ 12

11. สรุปผลการทดลอง

3.6 วิธีการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเพื่อหาขนาดเกรน

1. นำชิ้นงานที่ผ่านการอบปกติในห้องปฏิบัติการ และจากการทดลองในบริษัทร่วมวิจัยทุกอุณหภูมิและเวลามาขัดดูโครงสร้างจุลภาคในเนื้อเชื่อม บริเวณกระทบร้อนและโลหะพื้น โดยใช้กระดาษทรายน้ำซิลิกอนคาร์ไบด์ ตั้งแต่เบอร์ 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 จนถึง 1200 แล้วล้างน้ำให้สะอาด

2. ขัดชิ้นงานด้วยเครื่องขัดละเอียดด้วยผงขัดเพชรขนาด 6,3 และ 1 ไมครอน ตามลำดับ ขัดจนกระทั่งผิวระนาบของชิ้นงานวาวคล้ายกระจก แล้วกัดด้วยสารละลายไนทอล (Nital) 2% ส่วนผสมแสดงในตารางที่ 3.1 เป็นเวลาประมาณ 7-8 วินาที

3. ล้างกรดและเศษผงจากการทำปฏิกิริยาของผิวหน้าชิ้นงานกับกรดที่ติดอยู่ด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด แล้วล้างอีกครั้งด้วยแอลกอฮอล์ และเป่าให้แห้งสนิทด้วยเครื่องเป่าลมร้อน

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมสารละลายและการใช้งาน สำหรับตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

สารละลาย	ส่วนผสม	การใช้งาน
สารละลายไนทอล (Nital)	ใช้ส่วนผสม HNO_3 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในเอทานอล 98 ลูกบาศก์เซนติเมตร	ตรวจสอบโครงสร้างเฟอร์ไรท์, เพริล์ไลท์

4. ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศ์ บันทึกภาพไว้

3.7 วิธีการวัดขนาดเกรน

วิธีการวัดขนาดเกรนโดยการลากเส้นผ่านรูปถ่ายของโครงสร้างจุลภาค มีวิธีการวัดที่เป็นที่นิยมอยู่ 3 วิธี คือ แบบใช้เส้นตรง แบบใช้เส้นวงกลม 3 วง และ การใช้แผ่นมาตรฐานเปรียบเทียบ ตามมาตรฐาน ASTM E112[26]

3.7.1 การใช้เส้นตรง (Lineal intercept (or Heyn (N)) procedure)

ลากเส้นตรงโดยให้มีความยาวอย่างน้อยต้องตัดผ่านขอบเกรนอย่างน้อย 50 เกรนโดยการปรับเลือกใช้กำลังขยายให้เหมาะสม การนับจุดตัดระหว่างเส้นทดสอบกับขอบเกรนจะนับจุดตัดระหว่างรอยต่อของ 3 เกรน เป็น 1.5 ในกรณีที่มีรูปทรงหลายเหลี่ยม (Equiaxed grain) จะลากเส้นทดสอบแบบสุ่มอย่างไม่มีทิศทาง 3-5 เส้น แต่ในกรณีที่เกรนมีลักษณะรียาว การลากเส้นทดสอบสามารถแบ่งทำเป็น 2 ทิศทาง คือ ทิศทางขนานกับแนวเกรนรียาวได้ค่าความยาวเฉลี่ยของเกรน และทิศทางตั้งฉากกับแนวเกรนรียาวได้ค่าความกว้างเฉลี่ยของเกรน นอกจากนี้ยังสามารถนำค่าที่คำนวณได้มาหาสัดส่วนระหว่างค่าความยาวเฉลี่ยของเกรนต่อค่าความกว้างเฉลี่ยของเกรน (aspect ratio) เพื่อใช้ในการบรรยายรูปร่างโดยเฉลี่ยของเกรน

3.7.2 **การใช้วงกลม 3 วง** (Abrams three-circle procedure)

ลากวงกลม 3 วง โดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 79.58, 53.05 และ 26.53 มิลลิเมตรซึ่งทำให้มีความยาวรวมของเส้นรอบวงจากวงกลม 3 วงรวมเป็น 500 มิลลิเมตร การนับจุดตัดระหว่างเส้นทดสอบกับขอบเกรนจะนับจุดตัดระหว่างรอยต่อของ 3 เกรนเป็น 2 วิธีนี้เหมาะสำหรับเกรนที่มีรูปทรงหลายเหลี่ยม และมีข้อดีคือสามารถช่วยลดการเบี่ยงเบนของข้อมูลจากทิศทางการลากเส้นตรงกรณีวัดขนาดเกรนโดยการใช้วิธีการลากเส้นตรงทดสอบ

3.7.3 **การใช้แผ่นมาตรฐานเปรียบเทียบ** (Comparison procedure)

เป็นวิธีการที่สามารถใช้ได้กับเกรนที่มีการเกิดผลึกใหม่อย่างสมบูรณ์หรือวัสดุที่เกรนมีรูปทรงหลายเหลี่ยม (Equiaxed grain) วิธีการนี้สะดวกมากสำหรับการทำซ้ำ หรือเปรียบเทียบกันระหว่างห้องปฏิบัติการทดสอบ วิธีการคือเลือกหมายเลขของแผ่นมาตรฐานกับกำลังขยายของขนาดเกรนจากการทำโครงสร้างจุลภาคให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุดัง ตารางแนะนำการเปรียบเทียบขนาดเกรนสำหรับวัสดุดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบแผนภูมิสำหรับวัสดุที่เป็นโลหะ [20]

Material	Plate Number	Basic Magni-fication
Aluminum	I	100×
Copper and copper-base alloys (see Annex A4)	III	75×
Iron and steel:		
Austenitic	II or IV	100×
Ferritic	I	100×
Carburized	IV	100×
Stainless	II	100×
Magnesium and magnesium-base alloys	I or II	100×
Nickel and nickel-base alloys	II	100×
Super-strength alloys	I or II	100×
Zinc and zinc-base alloys	I or II	100×

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเป็นโครงสร้างแบบเฟอริติก (Ferritic) ให้ใช้แผ่นมาตรฐานหมายเลข I โดยกำลังขยายของโครงสร้างจุลภาคที่นำมาเทียบคือ x 100 หลังจากนั้นนำแผ่นมาตรฐานมาทาบเพื่อเปรียบเทียบกับขนาดของเกรนระหว่างแผ่นมาตรฐาน โดยให้นำค่าที่ใกล้เคียงที่สุดมาเป็นตัวแทน หรือใช้วิธีการประมาณค่าระหว่าง (Interpolate) โดยทำการสุ่มตัวแทน 3 จุดหรือมากกว่าเพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ทั้งหมด เพื่อที่จะประเมินหมายเลขของขนาดเกรนจากภาพ หรือเฉลี่ยขนาดของเกรน

จากวิธีวัดขนาดเกรนทั้ง 3 วิธีดังกล่าวข้างต้นในที่นี้เลือกใช้วิธีการใช้แผ่นมาตรฐานเปรียบเทียบ (Comparison procedure) เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. เป็นวิธีการเดียวกับที่บริษัทตัวอย่างใช้ซึ่งจะสะดวกในการเทียบเคียงในระหว่างที่ศึกษาวิจัย

2. การวิจัยในภาคอุตสาหกรรมต้องการวิธีที่ง่ายในเชิงปฏิบัติ โดยไม่มีผลกระทบกับผลการดำเนินงานงานวิจัยและการผลิตถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว ซึ่งวิธีที่เลือกในการวัดขนาดเกรนเหมาะสมที่สุด

3.8 การทดสอบสมบัติทางกล

3.8.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง ความต้านแรงดึงที่จุดคราก และความยืด

ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Tensile Testing Machine) เพื่อหาจุดคราก (Yield Point) ค่าแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) เปอร์เซ็นต์การยืดตัวทั้งหมด (%Total Elongation)

1. เตรียมเป็นชิ้นทดสอบแรงดึง [2,11] เพื่อใช้ในการหาสมบัติทางกลของถังก๊าซปิโตรเลียม

2. ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังการรีดร้อนด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงทิศทางเดียว โดยเตรียมชิ้นงานที่นำมาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 8M[22] โดยมีแนวยาวตามทิศทางของการรีด

3. นำชิ้นงานมาทำเครื่องหมายไว้ เพื่อแสดงขอบเขตความยาวเกจของชิ้นงานก่อนการทดสอบ ในการขีดทำเครื่องหมายจะต้องระวังไม่ให้ออกแรงกดมากเกินไปจนทำให้ชิ้นงานมีรอยบาก เพราะจะทำให้ค่าแรงดึงที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

4. วัดความยาวเกจ และรัศมีของชิ้นงานอย่างละเอียดเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ที่มีค่าความผิดพลาด ± 0.001 มิลลิเมตร ก่อนนำไปทดสอบแรงดึง

5. นำชิ้นงานมายึดติดกับหัวจับของเครื่องทดสอบแรงดึงทั้งบนและล่าง

6. นำเครื่องวัดการยืดตัว (Extensometer) ติดกับชิ้นงานทดสอบในช่วงความยาวเกจแล้วปรับตั้งค่าเริ่มต้นของระยะยืดตัวเป็นศูนย์ (Calibration) เพื่อวัดปริมาณการยืดตัวของชิ้นงาน

7. เริ่มทำการทดสอบแรงดึงด้วยความเร็วหัวจับ 1 มิลลิเมตรต่อ 1 นาที จนชิ้นงานขาดออกจากกัน

8. นำชิ้นงานที่ขาดออกจากันมาต่อเข้ากันใหม่ เพื่อวัดความยาวเกจสุดท้ายและวัดรัศมีชิ้นงานตรงตำแหน่งที่ขาด ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

9. นำข้อมูลที่ได้จากกราฟระหว่างแรงดึงกับระยะที่ยืดตัวโดยเครื่องทดสอบแรงดึง และขนาดของเกจที่วัดไว้ในตอนต้นมาทำการคำนวณหา จุดคราก ค่าแรงดึงสูงสุด เปอร์เซ็นต์การยืดตัวทั้งหมด

3.8.2 การทดสอบการดัดโค้ง

1. เตรียมเป็นข้อทดสอบการดัดโค้ง[2,11] เพื่อใช้ในการหาความสามารถในการดัดโค้ง

2. ทดสอบการดัดโค้งด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า มอก. 244-2525 เล่มที่ 12

3. นำชิ้นงานภายหลังการทดสอบ ตรวจสอบสภาพผิวด้านนอกของส่วนที่ถูกดัดโค้งว่ามีรอยแตกร้าวหรือไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย