หน่วยการเรียนรู้ที่ 5

การทดสอบด้วยแรงดึง

สาระสำคัญ

การทดสอบด้วยแรงดึง เป็นการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมหรือรอยต่อลักษณะต่าง ๆ ว่าสามารถรับภาระได้มากน้อยเพียงใด โดยการนำชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานด้วยแรงคงที่จนกระทั่งชิ้นงานทดสอบขาดออกจากกัน เพื่อให้ทราบถึงสมบัติเชิงกลที่สามารถบ่งบอกถึงความแข็งแรงและความทนทานต่อการนำไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ

สาระการเรียนรู้

1. ลักษณะของการทดสอบด้วยแรงดึง
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบด้วยแรงดึง
3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
4. เครื่องมือและอุปกรณ์ของการทดสอบด้วยแรงดึง
5. การเตรียมชิ้นงานและวิธีการทดสอบ

สมรรถนะประจำหน่วย

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการทดสอบด้วยแรงดึง
2. ปฏิบัติการทดสอบวัสดุและงานเชื่อมด้วยแรงดึงตามหลักการ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายลักษณะของการทดสอบด้วยแรงดึงได้
2. บอกวัตถุประสงค์ของการทดสอบด้วยแรงดึงได้
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดได้
4. อธิบายการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบด้วยแรงดึงได้
5. เตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบด้วยแรงดึงได้
6. อธิบายวิธีการทดสอบด้วยแรงดึงได้
7. ปฏิบัติการทดสอบด้วยแรงดึงได้

1. ลักษณะการทดสอบด้วยแรงดึง

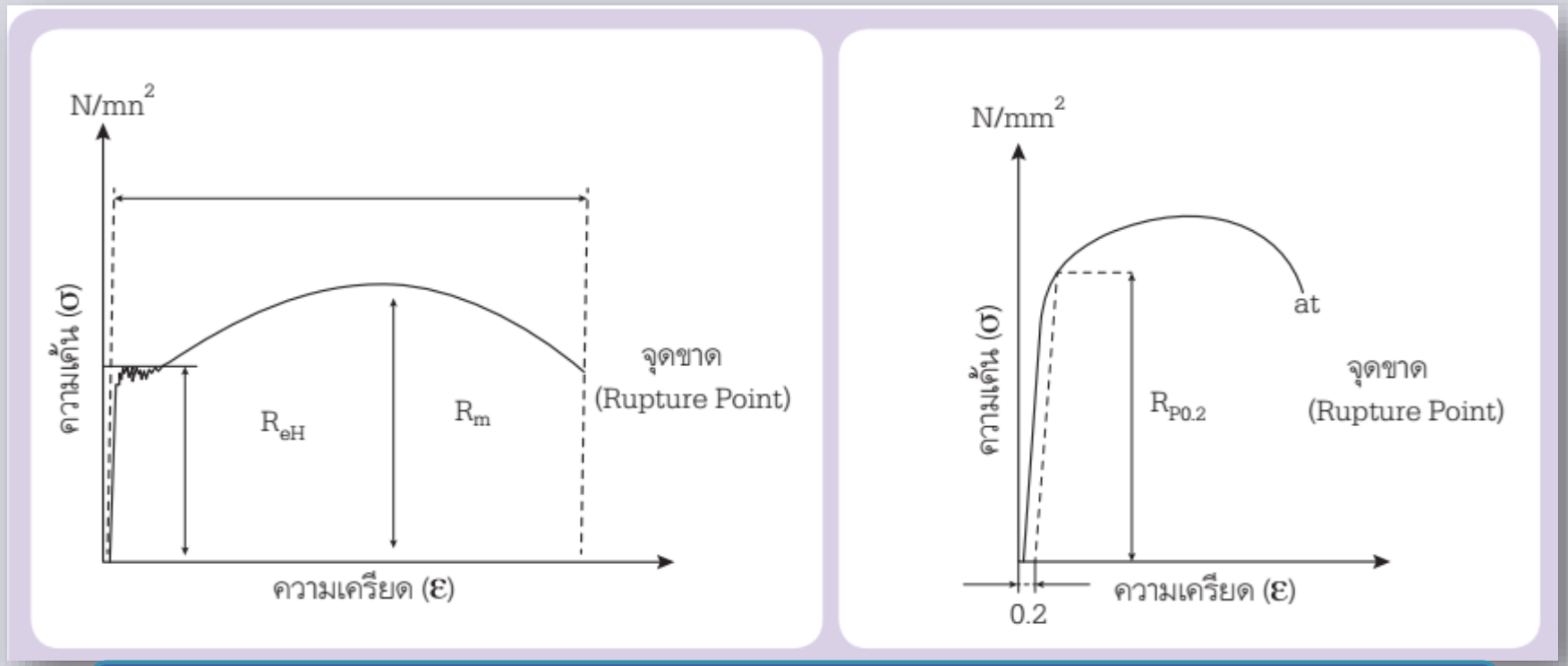
การทดสอบด้วยแรงดึง (Tensile Test) เป็นการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และพลังงานที่รอยต่อของรอยเชื่อมหรือเนื้อเชื่อมที่สามารถรับภาระได้ โดยการดึงชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานด้วยแรงคงที่จนกระทั่งชิ้นงานทดสอบขาดออกจากกัน

ลักษณะการทดสอบด้วยแรงดึง

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบด้วยแรงดึง

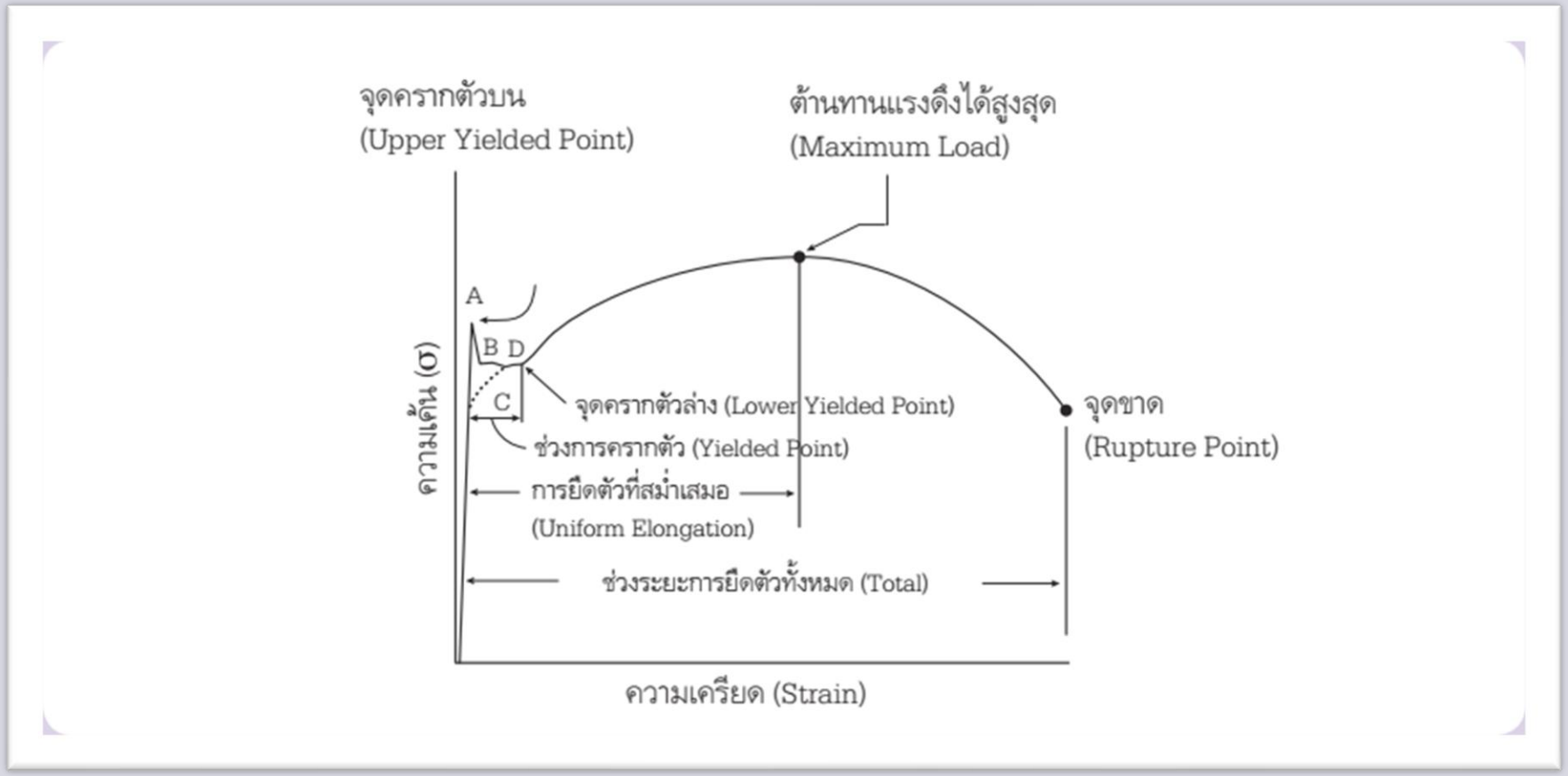
3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) จะมีรูปแบบที่แน่นอน โดยขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนผสมทางเคมีของโลหะนั้น ๆ



ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุที่ไม่ปรากฏจุดตรากตัว

ผลการทดสอบของวัสดุที่มีจุดครากตัว (Yielded Stress) จะมีลักษณะดังต่อไปนี้

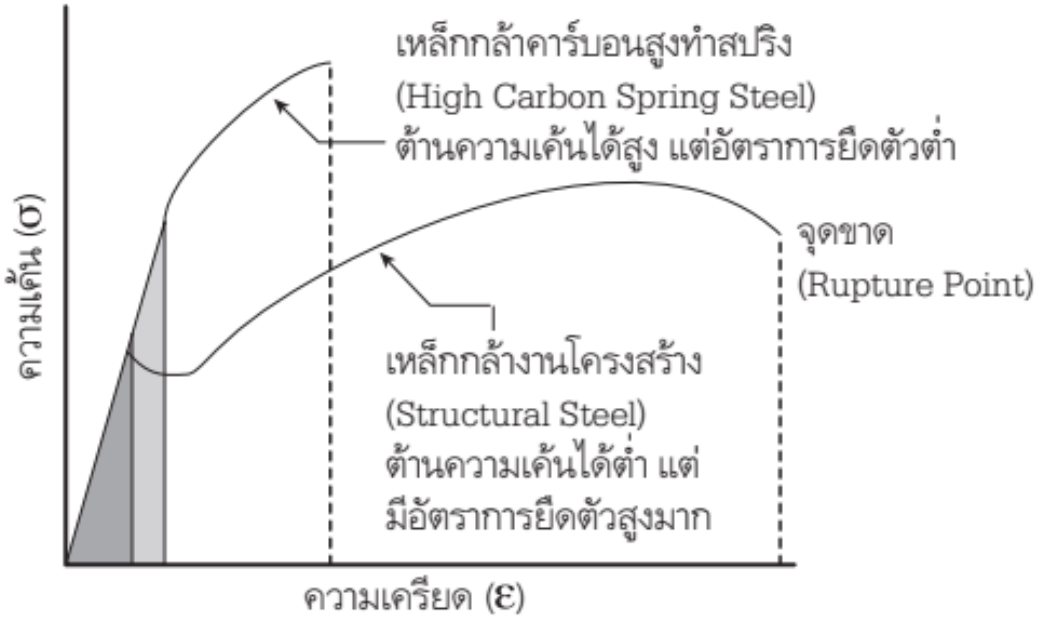


ลักษณะจุดต่าง ๆ ของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุที่ไม่ปรากฏจุดตรากตัว

3.1 ขีดจำกัดของสัดส่วน (Proportional Limit)

เมื่อเพิ่มภาระให้กับชิ้นงานทดสอบด้วยแรงคงที่ ความเค้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด บริเวณใต้เส้นกราฟจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่มีการแรเงาสีของวัสดุเหล็กกล้าทำสปริงคาร์บอนสูงและเหล็กกล้าที่ใช้ในงานโครงสร้าง คือ ขอบเขตการยืดหยุ่นระหว่างความเค้นและความเครียดเรียกว่า พิกัดของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

ลักษณะจุดต่าง ๆ บนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุที่ปรากฏจุดตรากตัว

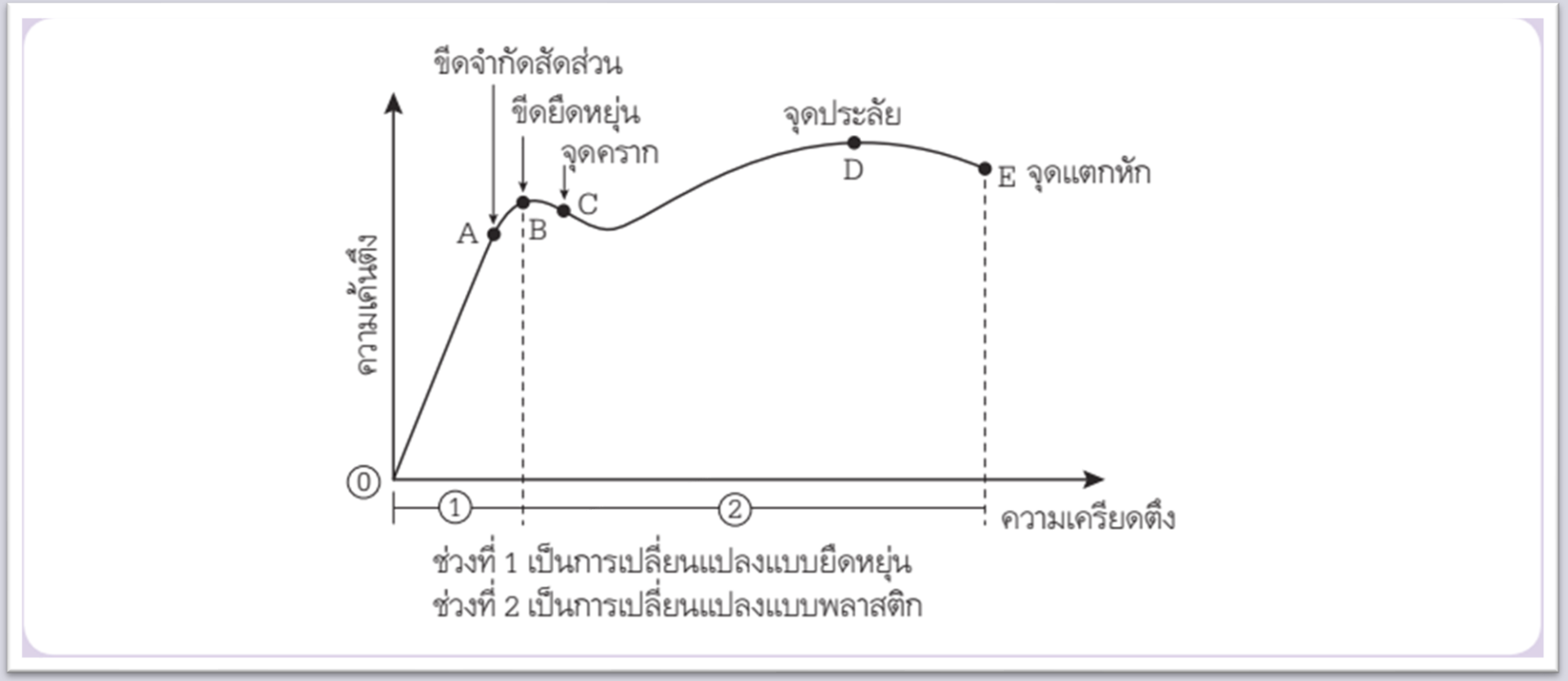


3.2 จุดครากหรือความเค้นพิสูจน์ (Yield Point or Proof Stress)

เมื่อทำการดึงชิ้นงานทดสอบจนกระทั่งความเค้นของชิ้นงานทดสอบเพิ่มขึ้นถึงระดับ R_{eH} ชิ้นงานทดสอบจะยืดตัวต่อไปโดยไม่ต้องเพิ่มแรงกระทำ ความเค้นจุดครากหาค่าได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ความเค้นจุดคราก} = \frac{\text{แรงกระทำระดับ } R_{eH}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบก่อนทดสอบ}}$$

สำหรับรอยเชื่อมเหล็กหล่อ เหล็กกล้าสแตนเลสเกรดออสเทนนิติก เกรดเฟอริติก เกรดมาร์เทน-ซิติก และวัสดุโครงสร้างผลึก FCC เช่น อะลูมิเนียม ทองแดง จะไม่ปรากฏความเค้นที่จุดครากตัว ดังนั้นที่จุดความเค้นครากจะใช้ความเค้นพิสูจน์เท่ากับ 0.2% ของความเครียด โดยวิธีลากเส้นตรงขนานกับช่วงยืดหยุ่นไปตัดกับเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด จะได้ค่าความเค้นพิสูจน์ ความเค้นมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Lps/in^2) เมกะปาสกาล (Mpa) นิวตันต่อตารางเมตร (N/mm^2) หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kgf/mm^2)



ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

จากภาพแสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ช่วง OA กราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่าความเครียดแปรผันโดยตรงกับความเค้น ถ้าปล่อยแรงดึงออก วัสดุจะกลับคืนสู่สภาพเดิมที่จุด A เป็นค่าความเค้นสูงสุดที่ความเครียดแปรผันโดยตรงกับความเค้นจุด A เรียกว่า ขีดจำกัดของสัดส่วน (Proportional Limit)

2) ช่วง AB กราฟเริ่มโค้งงอแบนจากลักษณะเดิม (ช่วงสั้น ๆ) จุด B เป็นจุดสุดท้ายที่วัสดุจะกลับคืนสภาพเดิมได้ จุด B เรียกว่า ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit)

3) ช่วง BC กราฟจะเริ่มโค้งงอแบนไปอีกระยะหนึ่ง เมื่อเลยจุด C วัสดุจะยืดตัวออกได้เองโดยไม่ต้องออกแรงเพิ่มขึ้น จุด C เรียกว่า จุดคราก (Yield Point)

4) ช่วง CE กราฟจะโค้งยาวจากจุด C เมื่อออกแรงดึงวัสดุจะยืดต่อไปอีกจนถึงจุด D ซึ่งเป็นจุดสูงสุดที่วัสดุรับความเค้นได้ จุด D เรียกว่า จุดประลัย (Ultimate Strength) จากนั้นวัสดุจะยืดตัวออกเองจนถึงจุด E วัสดุจะขาดออกจากกัน เรียกว่า จุดแตกหัก (Breaking Point)

การเปลี่ยนแปลงของกราฟจากจุด A ถึงจุด B เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่น (Elastic) (ช่วงที่1) คือ วัสดุจะกลับคืนสู่สภาพเดิมเมื่อหยุดออกแรง ส่วนการเปลี่ยนแปลงหลังจุด B เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติก (Plastic) (ช่วงที่ 2) วัสดุจะไม่สามารถคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมได้เมื่อหยุดออกแรงกระทำ วัสดุบางชนิดที่ไม่มีความเหนียวจะหาจุดครากไม่ได้ และจุดอื่น ๆ ไม่เด่นชัด

3.3 ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Strength)

เมื่อเพิ่มภาระแก่ชิ้นงานทดสอบเลยจุดครากจนงานค่อย ๆ ยืดออกเรื่อย ๆ จนขาดออกจากกัน ที่ภาระสูงสุด (R_m) ค่าความสามารถแรงดึงสูงสุดสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\%\ \text{การยืดตัว} = \frac{\text{ความยาวชิ้นงานทดสอบหลังขาด} - \text{ความยาวชิ้นงานทดสอบก่อนขาด}}{\text{ความยาวชิ้นงานทดสอบก่อนทดสอบ}}$$

$$\%\ \text{พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานทดสอบหลังขาด} = \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานทดสอบหลังขาด} - \text{พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานทดสอบก่อนขาด}}{\text{พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานทดสอบก่อนทดสอบ}} \times 100$$

3.4 การยืดตัวและการลดลงของพื้นที่หน้าตัด (Elongation and Reduction of Area)

การยืดตัวและการลดลงของพื้นที่หน้าตัดเป็นการบอกสมบัติการอ่อนตัว (Ductility) ของรอยเชื่อม แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

$$\% \text{ การยืดตัว} = \frac{\text{ความยาวชิ้นงานทดสอบหลังขาด} - \text{ความยาวชิ้นงานทดสอบก่อนขาด}}{\text{ความยาวชิ้นงานทดสอบก่อนทดสอบ}}$$

$$\% \text{ พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานทดสอบหลังขาด} = \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานทดสอบหลังขาด} - \text{พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานทดสอบก่อนขาด}}{\text{พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานทดสอบก่อนทดสอบ}} \times 100$$

3.5 จุดขาด (Rupture Point)

จุดขาดเป็นจุดที่วัสดุขาดหรือแตกร้าว เนื่องจากไม่สามารถรับภาระได้อีก

4. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบด้วยแรงดึง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบด้วยแรงดึง มีดังนี้

1. เครื่องมือทดสอบแรงดึงแบบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine: UTM)
2. หัวจับ (Grip) ใช้กับชิ้นงานทดสอบที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
3. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Vernier Caliper)

ในการทดสอบด้วยแรงดึงนั้น จะนำชิ้นงานทดสอบยึดไว้กับเครื่องมือทดสอบวัสดุอเนกประสงค์ โดยทำการยึดส่วนด้านบนและด้านล่างไว้ที่หัวจับชิ้นงาน น้ำมันไฮดรอลิกจากปั๊มจะไหลเข้าสู่ท่อด้านล่างดันลูกสูบสู่แท่นหัวจับด้านบน ให้ดึงแท่นหัวจับด้านล่างเพื่อดึง ในขณะที่ทดสอบแรงดึงชิ้นงานทดสอบ ความดันของน้ำมันไฮดรอลิกภายในท่อส่วนบนจะดันให้ระบบกลไกทางกลของเกจวัดชี้บอกระดับความเค้น และดันให้ตัวเขียนภาพแสดงความต้านทานแรงดึงและความเครียด จนกระทั่งชิ้นงานทดสอบถูกดึงขาดออกจากกัน

นอกจากนี้เครื่องมือทดสอบวัสดุอเนกประสงค์ยังสามารถนำมาใช้ทดสอบแรงอัด แรงดัด และแรงเฉือนได้อีกด้วย เครื่องมือทดสอบดังกล่าวจะมีการพัฒนาให้กลไกควบคุมการทำงานและแสดงผลการทดสอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

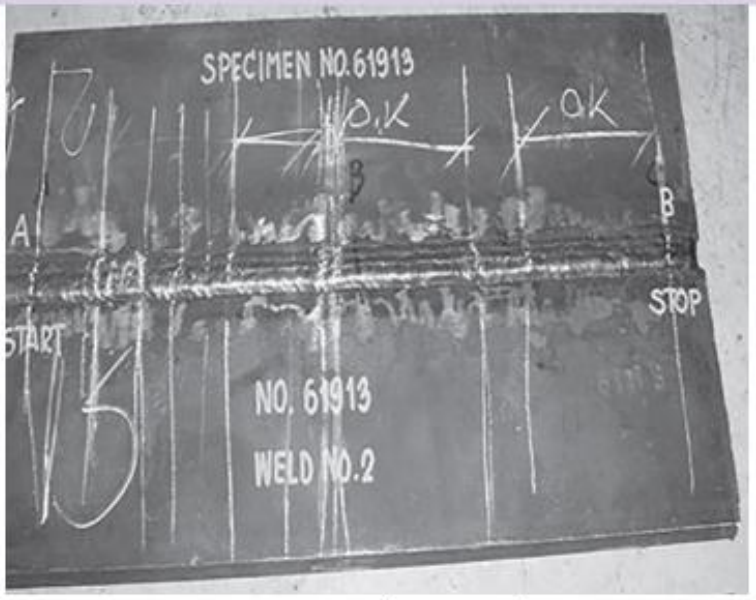
ลักษณะเครื่องมือทดสอบแรงดึง

5. การเตรียมชิ้นงานและวิธีการทดสอบ

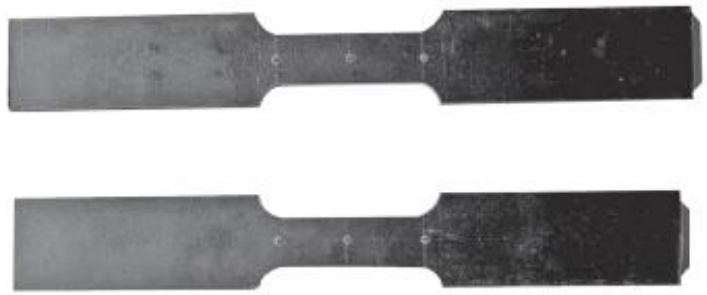
5.1 การเตรียมชิ้นงานในการทดสอบ

ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8-69 นั้น ให้เตรียมชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนที่ทำการเชื่อมเสร็จแล้วจำนวน 1 ชิ้น เพื่อใช้ในการหาสมบัติทางกลของรอยเชื่อม

ลักษณะการเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบด้วยแรงดึง

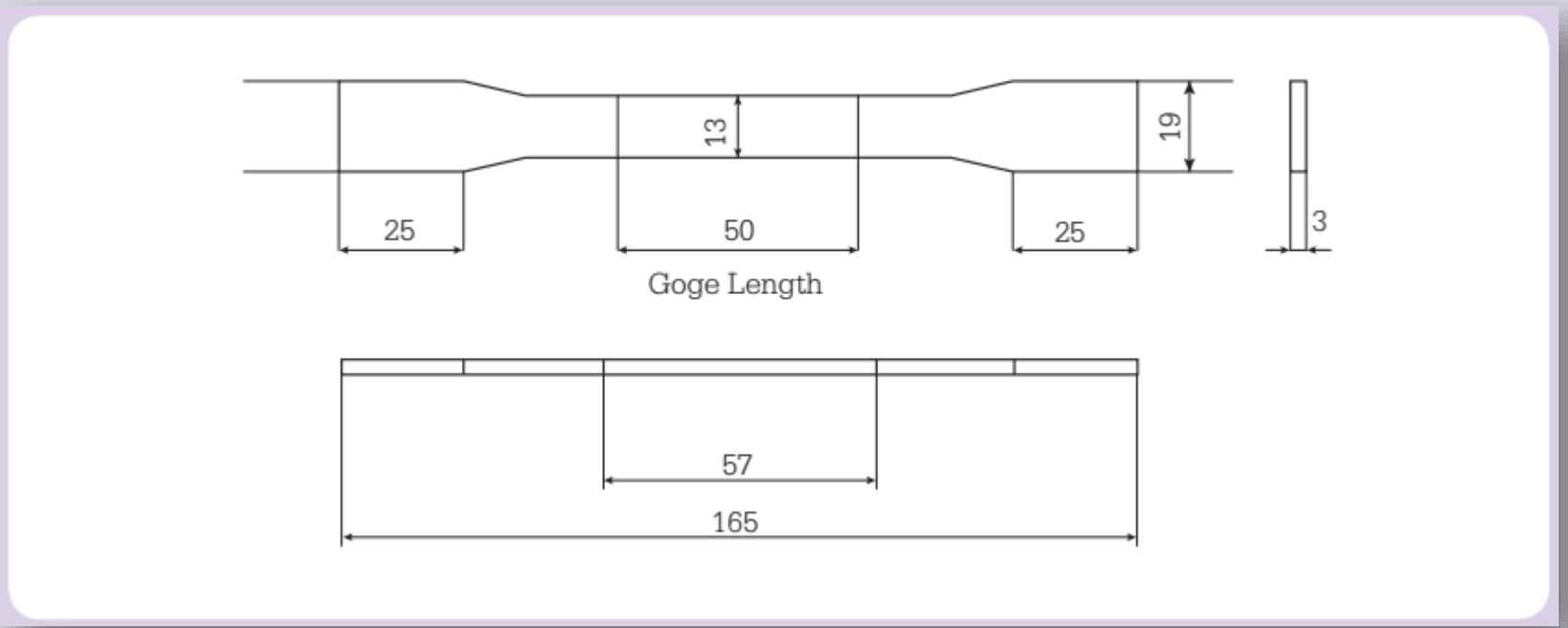


เหล็กกล้าคาร์บอนที่ทำการเชื่อมเสร็จ



ชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบที่ใช้ทดสอบด้วยแรงดึงของรอยเชื่อมให้ตัดจากตัวอย่าง โดยให้ด้านยาวของชิ้นงานทดสอบตั้งฉากกับรอยเชื่อม ถ้าตัวอย่างเป็นท่อเหล็กเหนียว ให้ตัดปลายทดสอบเหล็กเหนียวเป็นวงแหวน แล้วผ่าวงแหวน นำส่วนที่มีรอยเชื่อมมาทำเป็นชิ้นงานทดสอบ ชิ้นงานทดสอบที่ตัดมาแล้วจะต้องแบ่งให้ได้ลักษณะและขนาด



ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสำหรับทดสอบรอยเชื่อม

5.1.1 ตัวแปรที่มีผลต่อการทดสอบด้วยแรงดึง ได้แก่

1) การเพิ่มแรงดึงทดสอบที่ไม่สม่ำเสมอ
2) อุณหภูมิขณะทำการทดสอบ
3) การปรับเทียบเครื่องมือที่ไม่ได้มาตรฐาน
4) การจับชิ้นงานทดสอบไม่อยู่ในแนวแกนของแรงดึง

5.1.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยแรงดึงรอยเชื่อม มีดังนี้

1) ออกแบบและกำหนดรายละเอียดในการเชื่อมทดสอบ
2) เตรียมชิ้นงานเชื่อมเพื่อนำมาทดสอบแรงดึง
3) ตั้งค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมตามกำหนด
4) ปฏิบัติการเชื่อมตามที่ออกแบบและกำหนดรายละเอียดในการเชื่อมทดสอบ (WPS)
5) ทำการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASME

5.2 วิธีการทดสอบ

5.2.1 วัดขนาดชิ้นงานทดสอบ (ASTM E8-69) โดยวัดขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงทดสอบที่จุดกึ่งกลางของรอยเชื่อม (เป็นพื้นที่หน้าตัดเล็กที่สุดของชิ้นงานทดสอบ) ให้มีความละเอียดและถูกต้องในการวัด ดังนี้

- ขนาดหนา 5 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า ให้วัดละเอียดถึง 0.025 มิลลิเมตร
- ขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร แต่ไม่เล็กกว่า 2.5 มิลลิเมตร ให้วัดละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร
- ขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร ให้วัดละเอียดถึง 1 เปอร์เซ็นต์ และในทุกกรณีให้มีความละเอียด ไม่มากกว่า 0.0025 มิลลิเมตร

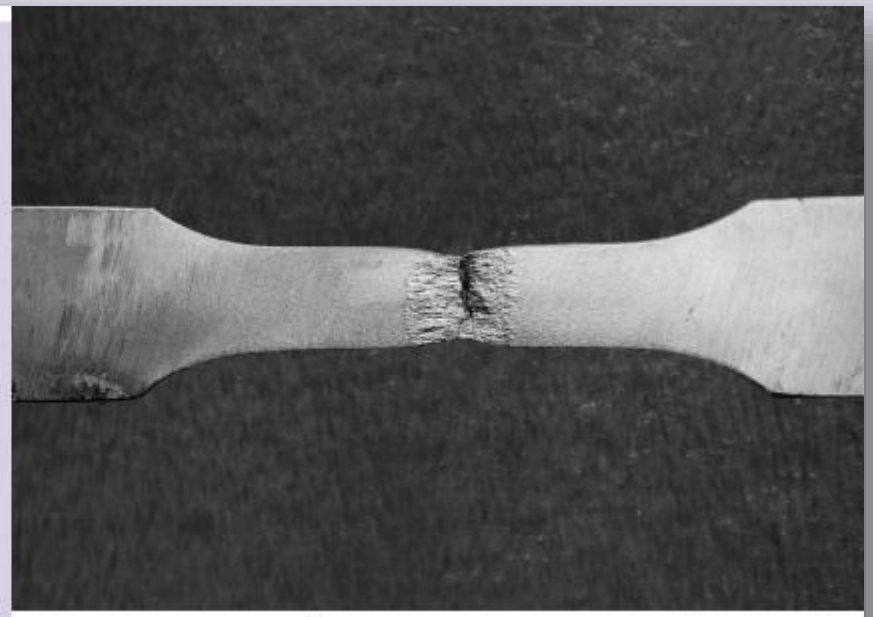
5.2.2 นำชิ้นงานทดสอบที่วัดขนาดเรียบร้อยแล้วมาทดสอบการรับแรงดึง โดยใส่เข้าเครื่องทดสอบแรงดึง แล้วเดินเครื่องดึงชิ้นงานทดสอบด้วยอัตราไม่เกิน 70 กก./มม. 2/นาที จนชิ้นงานทดสอบขาดจากกัน บันทึกค่าแรงดึงสูงสูด แล้วคำนวณหากำลังรับแรงดึงของรอยเชื่อม

5.2.3 กรณีที่ชิ้นงานทดสอบไม่ขาดตามรอยเชื่อม แต่ขาดที่ส่วนของเนื้อโลหะหรือเหล็กเหนียว แสดงว่าพื้นที่หน้าตัดตรงรอยเชื่อมไม่ใช่พื้นที่หน้าตัดที่เล็กที่สุดของชิ้นงานทดสอบ ให้ทำการทดสอบใหม่

5.2.4 ผลการทดสอบการรับแรงดึงของรอยเชื่อมที่ผ่านการทดสอบ จะต้องไม่ต่ำกว่าการรับแรงดึงของเหล็กเหนียวที่เชื่อมต่อด้วยรอยเชื่อมนั้นตามที่กำหนด

5.2.5 ถ้าผลการทดสอบการวัดแรงดึงของรอยเชื่อมไม่ถูกต้องตามข้อ 5.2.4 ให้ทดสอบใหม่ด้วยชิ้นงานทดสอบจำนวนสองเท่าของจำนวนชิ้นงานทดสอบที่มีสมบัติไม่ตรงตามกำหนด และถ้าผลการทดสอบซ้ำของชิ้นงานทดสอบชิ้นใดชิ้นหนึ่งมีสมบัติไม่ตรงตามที่กำหนด ให้ถือว่าตัวอย่างทั้งหมดไม่ผ่านการทดสอบ

วิธีการทดสอบด้วยแรงดึง



ลักษณะของชิ้นงานทดสอบขาดออกจากกัน

ลักษณะการทดสอบด้วยแรงดึงรอยเชื่อมของเหล็กเหนียว

สรุป

การทดสอบด้วยแรงดึงเป็นการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมหรือรอยต่อลักษณะต่าง ๆ ว่าสามารถรับภาระได้มากน้อยเพียงใด โดยการนำชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานด้วยแรงคงที่ จนกระทั่งชิ้นงานทดสอบขาดออกจากกัน เพื่อให้ทราบถึงสมบัติเชิงกลที่สามารถบ่งบอกถึงความแข็งแรงและความทนทานต่อการนำไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ

การทดสอบด้วยการดึงเป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติของวัสดุซึ่งช่วยให้ได้ค่าสมบัติด้านความยืดหยุน ความแข็งแรง คราก หรือจุดที่วัสดุรับแรงได้สูงสุดโดยไม่เสียรูป ความแข็งแรง แรงดึงหรือจุดที่วัสดุรับแรงสูงสุด และอัตราส่วนการหดตัวสัมพัทธ์ของหน้าตัด ซึ่งเหล่านี้เป็นสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของวัสดุ

ในการทดสอบจะนำชิ้นงานทดสอบยึดไว้กับเครื่องทดสอบวัสดุอเนกประสงค์ โดยยึดส่วนด้านบนและด้านล่างไว้ที่หัวจับชิ้นงาน ในขณะที่ทดสอบ ความดันของน้ำมันไฮดรอลิกภายในท่อส่วนบนจะดันให้ระบบกลไกทางกลของเกจวัดชี้บอกระดับความเค้น และดันให้ตัวเขียนภาพแสดงความต้านทานแรงดึงและความเครียด จนกระทั่งชิ้นงานทดสอบถูกดึงขาดออกจากกัน