

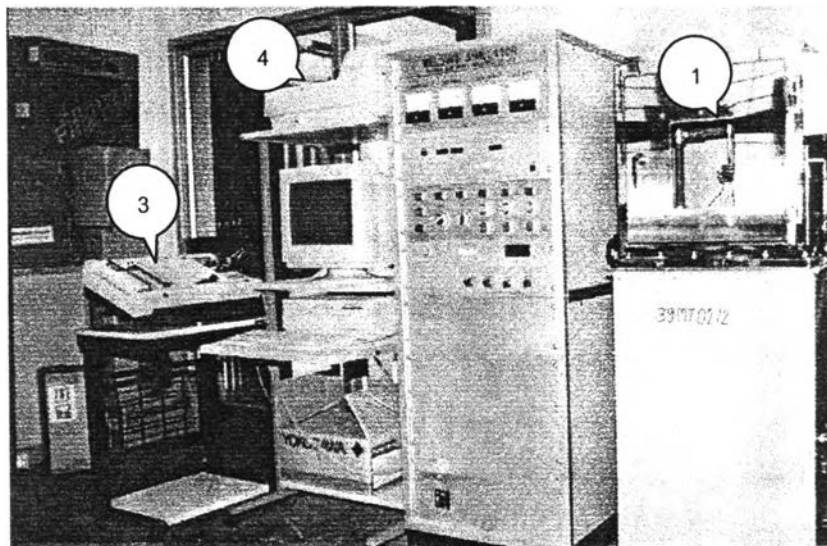
### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย



#### 3.1 การเตรียมการทดลอง

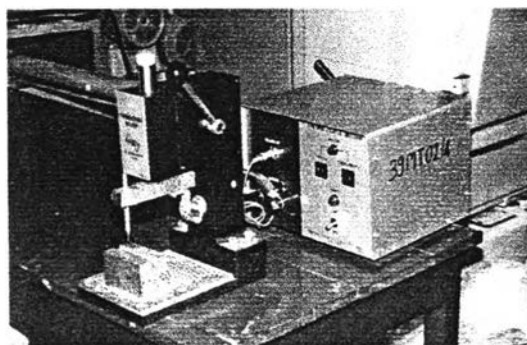
##### 3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองการเชื่อม

1) เครื่องกำเนิดความร้อน (Heating unit) ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับชิ้นงาน



รูปที่ 3.1 เครื่องจำลองการเชื่อมของ FUJI ELECTRONIC INDUSTRIAL CO.,LTD.

2) เครื่องเชื่อมเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple welder) ทำหน้าที่เชื่อมเทอร์โมคัปเปิลให้ติดกับชิ้นงานเพื่อวัดอุณหภูมิชิ้นงานขณะจำลองการเชื่อม



รูปที่ 3.2 เครื่องเชื่อมเทอร์โมคัปเปิล

3) พล็อตเตอร์ (Plotter) ทำหน้าที่วาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่เกิดขึ้นจริงกับชิ้นงานขณะทำการจำลองการเชื่อม (Output display)

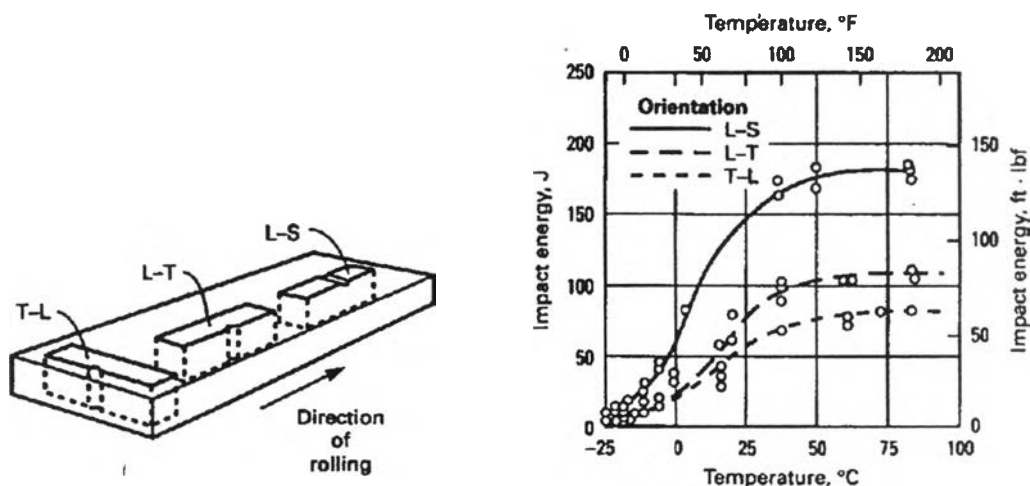
4) เครื่องพิมพ์ (Printer) ทำหน้าที่พิมพ์กราฟหรือตารางแสดงรอบการเชื่อมที่ป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องจำลองการเชื่อม (Input display)

### 3.1.2 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

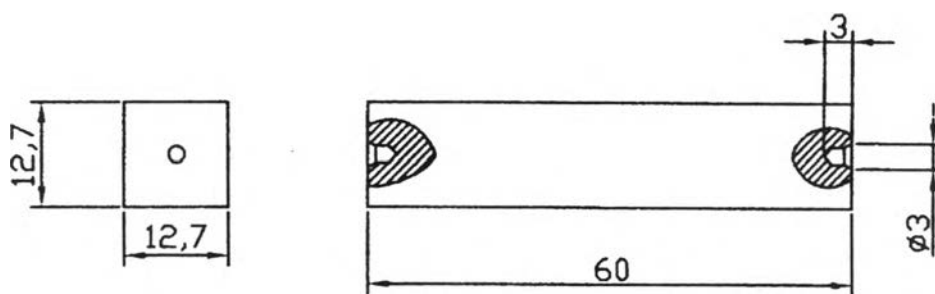
เหล็กแผ่น ASTM A 572 เกรด 50 ที่ได้รับมาจากโรงงาน แอล พี เอ็น เหล็กแผ่น จำกัด ผ่านการรีดร้อนด้วยแท่นรีดแบบไปกลับที่อุณหภูมิสูงสุด 1250 °C จนมีอุณหภูมิต่ำสุด 1050 °C แล้วฉีดน้ำให้เย็นลงมาที่อุณหภูมิ 870 °C จึงปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ มีความหนา 12.7 mm กว้าง 60 mm ยาว 200 mm โดยทิศทางการรีดอยู่ในแนวความกว้าง

ในการตัดเหล็กแผ่นออกเป็นแท่งเพื่อเตรียมชิ้นงานจำลองการเชื่อมและทดสอบความแกร่งต้องคำนึงถึงผลของความไม่สม่ำเสมอของเนื้อเหล็กที่ผ่านการรีดด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อความแกร่ง (Toughness anisotropy) กล่าวคือชิ้นงานที่รอยบากขนานกับผิวเหล็กแผ่น (L-S) ดังรูปที่ 3.3 สามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่ารอยบากที่ตั้งฉากกับผิวเหล็กแผ่น (L-T) และแนวตั้งฉากกับทิศทางการรีด (T-L) ตามลำดับของทุกช่วงอุณหภูมิ สำหรับการทดลองนี้เลือกตัดเหล็กแนว L-S

1) ตัดเหล็กแผ่นเป็นแท่งย่อยขนาดหน้าตัด 12.7 X 12.7 mm ยาว 60 mm แล้วเจาะรูที่ปลายทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 ผลของความไม่สม่ำเสมอของเนื้อเหล็กที่ผ่านการรีดต่อความแกร่ง <sup>11</sup>



หน่วยมิลลิเมตร

รูปที่ 3.4 ขนาดชิ้นงานที่เตรียมเพื่อเข้าเครื่องจำลองการเชื่อม

- 2) ขัดผิวชิ้นงานให้เรียบและปราศจากสนิมด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 ทั้งนี้เพื่อให้เชื่อมเทอร์โมคัปเปิลติดบนผิวชิ้นงานได้
- 3) เก็บชิ้นงานไว้ในถุงป้องกันความชื้นเพื่อรอเข้าเครื่องจำลองการเชื่อม
- 4) ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า ASTM A 572 เกรด 50 สภาพผ่านการรีดร้อนมาด้วยเครื่อง Emission spectrometer
- 5) ตรวจสอบคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานทดลอง ได้แก่ ความแข็งและความแกร่ง
- 6) ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคสภาพผ่านการรีดร้อนมา

### 3.2 การออกแบบการทดลอง

เนื่องจากขอบเขตของการทดลองเป็นการศึกษาผลของรอบการเชื่อม ที่มีต่อความแกร่งและความแข็ง ดังนั้นสามารถแปรผันรอบการเชื่อมโดยแปรผันอุณหภูมิสูงสุด (Peak temperature,  $T_p$ ) ของรอบการเชื่อมและเวลาการเย็นตัว โดยที่เวลาการเย็นตัวขึ้นกับความร้อนที่ให้ขณะเชื่อมคือถ้าความร้อนที่ให้ต่ำก็จะทำให้เวลาการเย็นตัวสั้น แต่ถ้าความร้อนที่ให้สูงจะทำให้เวลาการเย็นตัวยาว

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของรอบการเชื่อมเดี่ยว โดยแปรผันอุณหภูมิสูงสุดของรอบการเชื่อมจากต่ำกว่าเส้น  $A_c$ , เล็กน้อย ( $700^\circ\text{C}$ ) ขึ้นไปจนถึง  $1350^\circ\text{C}$  (ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เกรนโต ทั้งนี้เพื่อให้ครอบคลุมทุกช่วงอุณหภูมิ) และแปรผันเวลาการเย็นตัว  $\Delta t_{8/5}$  จาก 10 ขึ้นไปจนถึง 80 s

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของรอบการเชื่อมคู่ โดยแปรผันอุณหภูมิสูงสุดของรอบการเชื่อมจากต่ำกว่าเส้น  $A_c$ , เล็กน้อย ( $700^\circ\text{C}$ ) ขึ้นไปจนถึง  $1350^\circ\text{C}$  โดยเลือกเวลาการเย็นตัวมาค่าหนึ่งที่ใกล้เคียงกับการเชื่อมจริงคือช่วง 10 ถึง 20 s

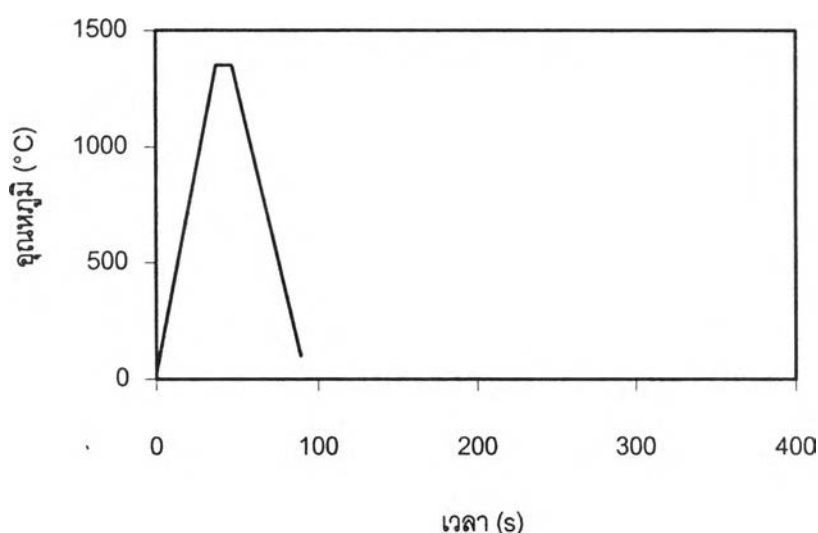
การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของรอบการเชื่อมหลายรอบการเชื่อม โดยกำหนดให้รอบการเชื่อมแรกมีอุณหภูมิสูงสุดแล้วรอบการเชื่อมต่อ ๆ ไปมีอุณหภูมิลดหลั่นกันไปจนถึงรอบการเชื่อมสุดท้ายจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเส้น  $A_c$ , เล็กน้อย ( $700^{\circ}\text{C}$ ) ทั้งนี้ทุก ๆ รอบการเชื่อมจะกำหนดให้เวลาการเย็นตัวคงที่ สำหรับการทดลองนี้จะทดลองที่เวลาการเย็นตัว 2 ค่า

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของรอบการเชื่อมเดียว

1) รอบการเชื่อมที่จำลองมีลักษณะตามรูปที่ 3.5 ช่วงเพิ่มอุณหภูมิใช้อัตรา  $36^{\circ}\text{C/s}$  อุณหภูมิสูงสุด  $1350^{\circ}\text{C}$  ทั้งไว้ที่อุณหภูมินี้ 10 s จากนั้นทำให้เย็นตัวด้วย  $\Delta t_{9/5} = 10$  s นำชิ้นงานออกจากเครื่องแล้วเขียนหมายเลขกำกับไว้เพื่อรอการเตรียมทดสอบความแกร่ง

2) ทำซ้ำขั้นตอนข้อ 1) แต่เปลี่ยน  $\Delta t_{9/5}$  จาก 10 s เป็น 20, 40 และ 80 s ตามลำดับ และเปลี่ยนอุณหภูมิสูงสุดจาก  $1350^{\circ}\text{C}$  เป็น 1300, 1100, 1000, 800 และ  $700^{\circ}\text{C}$  จนครบเงื่อนไขตามตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.5 ลักษณะรอบการเชื่อมเพื่อศึกษาผลของรอบการเชื่อมเดียว

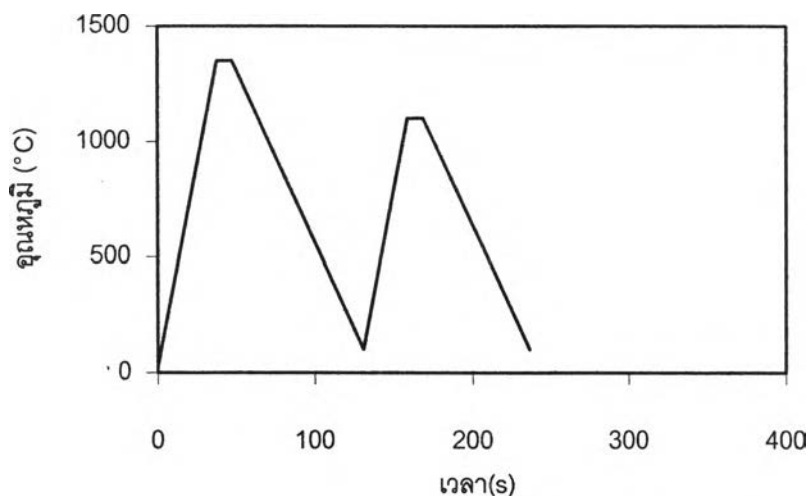
ตารางที่ 3.1 สรุปเงื่อนไขและจำนวนชิ้นงานเพื่อศึกษาผลของรอบการเชื่อมเดียว

อุณหภูมิสูงสุด (°C)	เวลาการเย็นตัว $\Delta t_{8/5}$ (s)			
	10	20	40	80
700	✓	✓	✓	✓
800	✓	✓	✓	✓
1000	✓	✓	✓	✓
1100	✓	✓	✓	✓
1300	✓	✓	✓	✓
1350	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ ✓ = ทำการทดลอง 3 ชิ้น

### 3.3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของรอบการเชื่อมคู่

เนื่องจากการเชื่อมจริงเวลาการเย็นตัว  $\Delta t_{8/5}$  จะมีค่าอยู่ในช่วง 10 - 20 s ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกศึกษาผลของรอบการเชื่อมคู่ที่  $\Delta t_{8/5} = 20$  s รอบการเชื่อมที่จำลองเป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะรอบการเชื่อมเพื่อศึกษาผลของรอบการเชื่อมคู่

1) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานด้วยอัตรา  $36^{\circ}\text{C/s}$  จนถึง  $1350^{\circ}\text{C}$  คงที่ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 10 s ทำให้เย็นตัวด้วยเวลาการเย็นตัวรอบที่หนึ่ง  $\Delta t_{8/5(1)} = 20$  s จนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้น

ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานด้วยอัตรา  $36^{\circ}\text{C/S}$  จนถึง  $1350^{\circ}\text{C}$  คงที่ที่อุณหภูมินี้ 10 s ทำให้เย็นตัวด้วยเวลาการเย็นตัวรอบที่สอง  $\Delta t_{8/5(2)} = 20$  s จนถึงอุณหภูมิห้อง เก็บชิ้นงานไว้ชั้นตอนต่อไป

2) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) แต่แปรผันอุณหภูมิสูงสุดของรอบการเชื่อมที่หนึ่งและสองเป็น 1300, 1100, 1000, 900, 800 และ  $700^{\circ}\text{C}$  จนครบเงื่อนไขตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สรุปเงื่อนไขและจำนวนชิ้นงานเพื่อศึกษาผลของรอบการเชื่อมคู่

$T_{p_2}(^{\circ}\text{C})$ \ $T_{p_1}(^{\circ}\text{C})$	700	800	900	1000	1100	1300	1350
700	√	√	√	√	√	√	√
800	√	√	√	√	√	√	√
900	√	√	√	√	√	√	√
1000	√	√	√	√	√	√	√
1100	√	√	√	√	√	√	√
1300	√	√	√	√	√	√	√
1350	√	√	√	√	√	√	√

หมายเหตุ √ = ทำการทดลอง 3 ชิ้น

### 3.3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของรอบการเชื่อมหลายรอบ

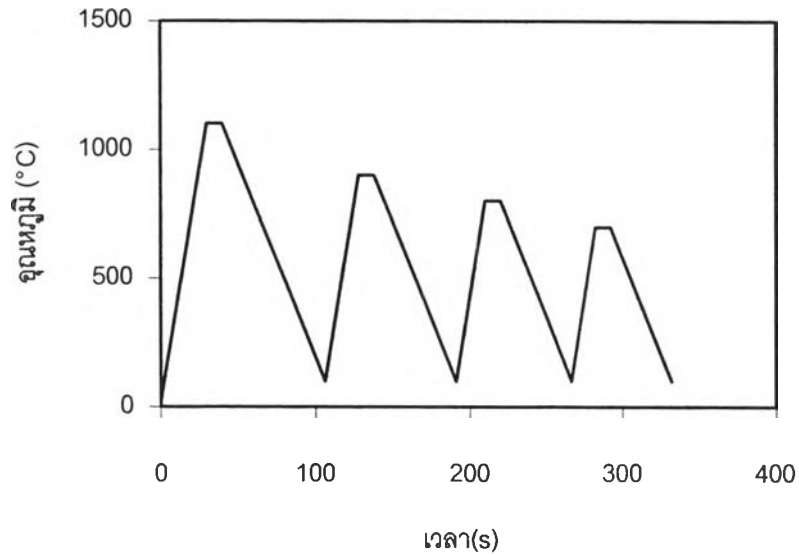
รอบการเชื่อมที่จำลองมีลักษณะดังรูปที่ 3.7

1) ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานทุกรอบการเชื่อมด้วยอัตรา  $36^{\circ}\text{C/s}$  ค้างที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 10 s และอุณหภูมิสูงสุดของรอบการเชื่อมแต่ละรอบเป็น 1100, 900, 800 และ  $700^{\circ}\text{C}$  เวลาการเย็นตัวทุกรอบการเชื่อมย่อย  $\Delta t_{8/5(1)} = \Delta t_{8/5(2)} = \Delta t_{8/5(3)} = \Delta t_{8/5(4)} = 20, 80$  s ดังนั้นจำนวนรอบการเชื่อมรวมจะเป็น 4 รอบ

2) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) แต่เปลี่ยนอุณหภูมิสูงสุดของรอบการเชื่อมที่หนึ่งเป็น  $1300^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นอุณหภูมิสูงสุดของรอบการเชื่อมที่เหลือจะเป็น 1100, 900, 800 และ  $700^{\circ}\text{C}$  จำนวนรอบการเชื่อมรวมจะเป็น 5 รอบ

3) ทำการทดลองซ้ำข้อ 2) แต่เปลี่ยนอุณหภูมิสูงสุดของรอบการเชื่อมที่หนึ่งเป็น

1350°C ดังนั้นอุณหภูมิสูงสุดของรอบการเชื่อมที่เหล็จะเป็น 1300, 1100, 900, 800 และ 700°C จำนวนรอบการเชื่อมรวมจะเป็น 6 รอบ



รูปที่ 3.7 ลักษณะรอบการเชื่อมเพื่อศึกษาผลของรอบการเชื่อมหลายรอบ

ตารางที่ 3.3 สรุปเงื่อนไขและจำนวนชิ้นงานเพื่อศึกษาผลของรอบการเชื่อมหลายรอบ

$\Delta t_{g/5}$ (s)	$T_{p_1}=1350^{\circ}\text{C}, T_{p_2}=1300^{\circ}\text{C}$ $T_{p_3}=1100^{\circ}\text{C}, T_{p_4}=900^{\circ}\text{C}$ $T_{p_5}=800^{\circ}\text{C}, T_{p_6}=700^{\circ}\text{C}$	$T_{p_1}=1300^{\circ}\text{C}$ $T_{p_2}=1100^{\circ}\text{C}, T_{p_3}=900^{\circ}\text{C}$ $T_{p_4}=800^{\circ}\text{C}, T_{p_5}=700^{\circ}\text{C}$	$T_{p_1}=1100^{\circ}\text{C}, T_{p_2}=900^{\circ}\text{C}$ $T_{p_3}=800^{\circ}\text{C}, T_{p_4}=700^{\circ}\text{C}$
20	✓	✓	✓
80	✓	✓	✓

หมายเหตุ ✓ = ทำการทดลอง 3 ชิ้น

$T_{p_1}$  = อุณหภูมิสูงสุดรอบการเชื่อมที่ 1

$T_{p_2}$  = อุณหภูมิสูงสุดรอบการเชื่อมที่ 2

$T_{p_3}$  = อุณหภูมิสูงสุดรอบการเชื่อมที่ 3

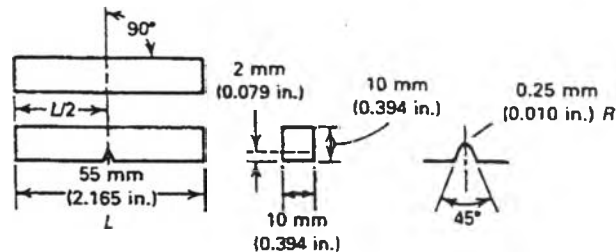
$T_{p_4}$  = อุณหภูมิสูงสุดรอบการเชื่อมที่ 4

$T_{p_5}$  = อุณหภูมิสูงสุดรอบการเชื่อมที่ 5

$T_{p_6}$  = อุณหภูมิสูงสุดรอบการเชื่อมที่ 6

### 3.3.4 ขั้นตอนการทดสอบความแกร่ง

1) นำชิ้นงานที่ผ่านการจำลองการเชื่อมไปลดขนาด ให้ได้ขนาดตามมาตรฐานการทดสอบความแกร่ง ASTM E23 - 96<sup>12</sup> ดังรูปที่ 3.8



หมายเหตุ - ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

แนวรอยบากเทียบกับขอบ	$90 \pm 2^\circ$
องศาของด้านที่ติดกัน	$90^\circ \pm 10 \text{ min}$
ขนาดหน้าตัด	$\pm 0.075 \text{ mm}$ ( $\pm 0.003 \text{ in.}$ )
ความยาวชิ้นงาน(L)	$+0, -2.5 \text{ mm}$ ( $+0, -0.100 \text{ in.}$ )
ตำแหน่งรอยบาก(L/2)	$\pm 1 \text{ mm}$ ( $\pm 0.039 \text{ in.}$ )
มุมรอยบาก	$\pm 1^\circ$
รัศมีรอยบาก	$\pm 0.025 \text{ mm}$ ( $\pm 0.001 \text{ in.}$ )
ความลึกรอยบาก	$\pm 0.025 \text{ mm}$ ( $\pm 0.003 \text{ in.}$ )
ความเรียบผิว	$2 \mu\text{m}$ ( $63 \mu\text{in.}$ ) สำหรับด้านที่มีรอยบากและด้านตรงข้าม ; $4 \mu\text{m}$ ( $125 \mu\text{in.}$ ) สำหรับสองด้านที่เหลือ

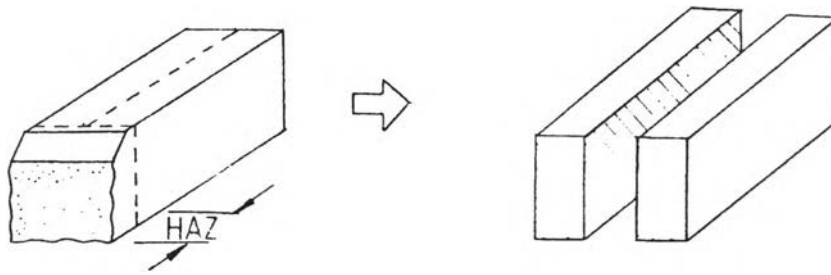
รูปที่ 3.8 ลักษณะชิ้นทดสอบความแกร่งแบบ Charpy impact ตามมาตรฐาน ASTM E23 - 96<sup>12</sup>

2) นำชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมทดสอบความแกร่ง ไปตีทดสอบความแกร่งที่  $25^\circ \text{C}$  แล้วบันทึกค่าพลังงานที่ดูดซับไว้

### 3.3.5 ขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

1) นำชิ้นงานที่ผ่านการตีทดสอบความแกร่งแล้วไปตัดผิวรอยแตกหักออกไป แล้วตัดผ่าตามยาวออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กันตรงด้านที่รับแรงกระแทก ดังรูปที่ 3.9





รูปที่ 3.9 การตัดชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

- 2) ขัดผิวรอยตัดกระดาษทรายเบอร์ 80, 320, 600, 1000 และ 1200
- 3) ขัดผิวด้วยผงอลูมินา แล้วกัดด้วยสารละลายไนตล 2 % เป็นเวลา 30 s
- 4) ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ บันทึกรูปภาพไว้

### 3.3.6 ขั้นตอนการทดสอบความแข็ง

นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคไปวัดความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบวิกเกอร์สโดยใช้น้ำหนักกด 10 kg เวลากด 15 s โดยทำการวัดชิ้นละ 5 จุด