

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment)

กระบวนการทางความร้อน เป็นการนำเอาวัสดุหรือชิ้นงานมาให้ความร้อนในสภาวะอุณหภูมิที่ต้องการแล้วปล่อยให้เย็นตัวเพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) เป็นไปตามที่ต้องการ สำหรับกระบวนการทางความร้อนที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของวัสดุจะมีด้วยกันหลากหลายวิธีการตัวอย่างเช่น การอบอ่อน (Annealing) การอบปกติ (Normalizing) การชุบแข็ง (Hardening) เป็นต้น

ในกระบวนการทางความร้อนส่วนใหญ่ที่นำมาปรับปรุงวัสดุที่ผ่านกระบวนการแปรรูปทางกลมา จะนิยมนำมาทำกระบวนการอบอ่อน (Annealing) ทั้งนี้ก็เพื่อลดความเค้นตกค้าง ทำให้เม็ดเกรนมีขนาดใกล้เคียงกัน ยิ่งโดยเฉพาะชิ้นงานที่ผ่านงานเชื่อมซึ่งได้รับความร้อนเป็นบางจุด (ขยายตัวเมื่อถูกความร้อน หดตัวเมื่อปล่อยให้เย็นตัว) ตรงจุดที่ได้รับความร้อนมักจะเกิดความเค้นตกค้างจนทำให้โครงสร้างและคุณสมบัติทางกลเปลี่ยนไป ในกรณีของวัสดุจำพวกออสเทนนิติกสแตนเลส เกรด AISI 321 เมื่อผ่านการเชื่อมแล้วจะมีความสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลง เนื่องจากบริเวณ ขอบเนื้อเชื่อมได้รับอุณหภูมิในช่วง 1100 – 1500 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ไทเทเนียมแยกตัวออกจากคาร์บอน และคาร์บอนไปจับตัวกับโครเมียม กลายเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ เฟสดังกล่าวนี้อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนตามขอบเนื้อเชื่อม (Fusion Line) หรือเรียกการกัดกร่อนประเภทนี้ว่าไนท์ไลน์แอตแทก (Knife Line Attack) กระบวนการอบอ่อน Annealing มีด้วยกันหลายวิธีดังนี้

#### 2.1.1 การอบอ่อนแบบสมบูรณ์ (Full Annealing)

มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับคุณสมบัติของวัสดุให้มีความสม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน ปรับขนาดของผลึกให้ละเอียดขึ้น ทำให้วัสดุอ่อนตัวลง ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็กสม่ำเสมอ ช่วยให้การขึ้นรูปหรือไสได้ง่าย หรือในบางกรณีอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนของวัสดุ การอบอ่อนแบบสมบูรณ์ของเหล็กกล้าทำได้โดยการให้ความร้อนแก่เหล็กกล้าไปยังอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วหลังจากนั้นปล่อยให้เหล็กกล้าเย็นตัวลงอย่างช้าๆซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การปล่อยให้เย็นตัวในเตาอบหรือเย็นตัวในภาชนะห้องบรรจุที่มีการหุ้มฉนวนอย่างดี

#### 2.1.2 การอบอ่อนแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Annealing)

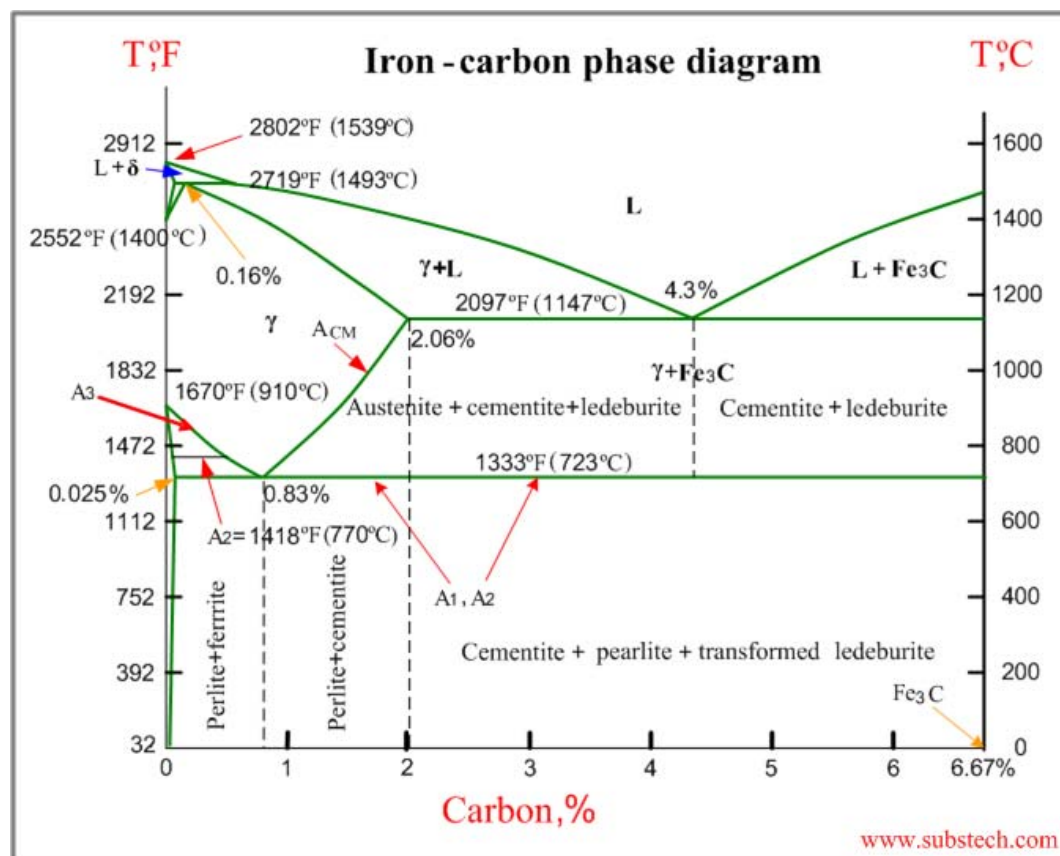
หมายถึงการอบอ่อนที่กระทำที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้นอุณหภูมิวิกฤติล่าง (Lower Critical Temperature) หรือเส้น A1 หรือบางกรณีอาจจะสูงกว่าเส้น A1 เล็กน้อย เพื่อทำลายความเค้นที่ค้างอยู่ในเนื้อวัสดุที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขึ้นรูปเย็น หรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการง่ายต่อการตกแต่ง การกลึงหรือการไส สำหรับเหล็กบางชนิดการอบอ่อนแบบไม่สมบูรณ์มีอยู่ 2 ลักษณะ

- การอบอ่อนเพื่อขจัดความเค้นตกค้าง (Stress-relief Annealing)
- การอบอ่อนเพื่อความอ่อนตัวสูง/เพื่อปรับโครงสร้างให้เป็นลูกกลมเล็ก (Spheroidize Annealing)

อีกประเภทหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงวัสดุให้มีความสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนคือ สเตบิไลซ์ซิง (Stabilizing Treatment)

### 2.1.3 สเตบิไลซ์ซิงฮีททรีตเมนต์ (Stabilization Heat Treatment)

เป็นกระบวนการที่ใช้ในการปรับปรุงความสามารถต่อการต้านทานการกัดกร่อนของวัสดุสแตนเลส ด้วยการให้อุณหภูมิในช่วง 845 – 900 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลา 0 – 5 ชั่วโมง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน อาจจะทำกับชิ้นงานก่อนหรือหลังการเชื่อม ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งานในแต่ละวัสดุ ข้อดีของการทำ Stabilization Heat Treatment คือ เพื่อความสามารถต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรน การแตกเปราะ ความต้านทานต่อการคืบที่อุณหภูมิสูง

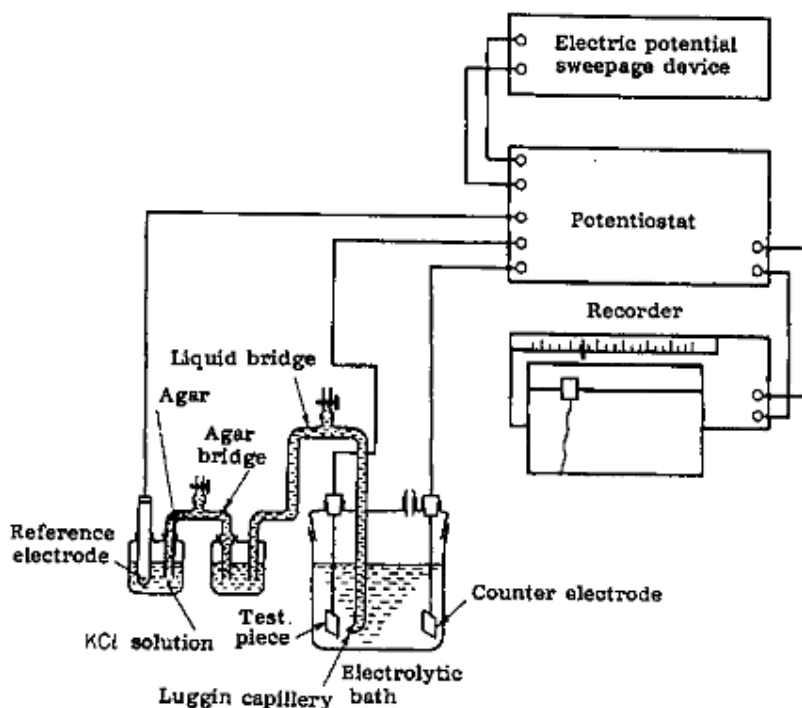


รูปที่ 2.1 แสดงแผนภูมิ Iron – Carbon Phase Diagram

## 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการประเมินการกัดกร่อนแบบ Sensitization โดยกรรมวิธีทางไฟฟ้าเคมี DLEPR

จากมาตรฐาน JIS G 0580 เป็นวิธีการทางไฟฟ้าเคมีที่ใช้วัดความแตกต่างของปริมาณไฟฟ้าเพื่อใช้วัดปริมาณการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นบนวัสดุสแตนเลสจำพวกออสเทนนิติกโดยอาศัยสัดส่วนระหว่างการให้กระแสฝั่ง Anode กับฝั่ง Reverse ซึ่งสัดส่วนนี้เองเป็นค่าที่แสดงว่าวัสดุสแตนเลสเกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรน ในกรณีค่าสัดส่วนของ Anode กับ Reverse มีค่าที่สูงนั้นแสดงว่าค่าการกัดกร่อนตามขอบเกรนก็จะมี ความรุนแรงตามไปด้วย นอกจากนั้นการแสดงความกัดกร่อนก็ที่มีความแตกต่างกันในทางไฟฟ้าเคมีก็สามารถที่จะแยกแยะเกรดของสแตนเลสได้อีกด้วย ตามมาตรฐานนี้ถือว่าเป็นวิธีการทางห้องทดลองที่ใช้ในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายอีกประเภทหนึ่งในการประเมินการกัดกร่อนตามขอบเกรนของวัสดุที่หน้าโรงงาน

อุปกรณ์และเครื่องมือในการวัดจะถูกประกอบเข้ากับเครื่องโฟเทนชั่นสแตต พร้อมกับอุปกรณ์การกวาดสแกนในแต่ละชั่วโมงไฟฟ้า ตัวบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้า สารละลายที่ใช้ และชุดท้ายเทอร์โมสแตติก บาส ตัวอย่างลักษณะการประกอบอุปกรณ์และเครื่องมือวัดเป็นไปตามรูปที่ 2.2

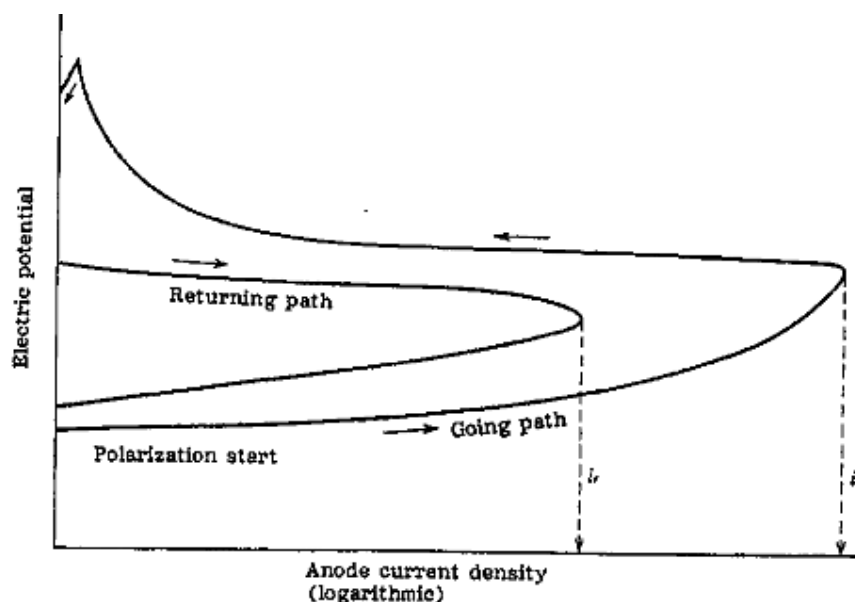


รูปที่ 2.2 แสดงการประกอบเครื่องมือและอุปกรณ์ของกระบวนการ DLERP

สำหรับสารละลายที่ใช้ในการทดสอบ DLEPR นั้น จะเป็นกรดซัลฟูริกที่ผสมกับน้ำกลั่น ดังนี้ 0.5+0.5 Mol/l ตามมาตรฐาน JIS K8951 และ 1 กรัม ของโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (Potassium Thiocyanate) ตามมาตรฐาน JIS K 9001 ละลายใน 0.5 Mol/l ของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ 1000 ml

กรรมวิธีในการวัดค่าในการทดสอบแบบ DLEPR จะต้องปฏิบัติตามขั้นตอนในการทดสอบอย่างถูกต้องเพื่อให้ได้ผลในการทดสอบอย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งขั้นตอนในการวัดค่าจะเริ่มจากควบคุมอุณหภูมิของสารละลายในการทดสอบให้อยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส บวกลบ 1 องศา ปริมาณของสารละลายที่ใช้ในการวัดต้องเท่ากับ 200 ml และถ้ามีการตรวจสอบใหม่ก็ต้องใช้สารละลายใหม่ด้วยความเร็วที่ใช้ในการสแกนของแต่ละช่วงจะใช้เวลาเร็วเท่ากับ  $100 \pm 5$  mV/min หลังจากทำการตรวจสอบเงื่อนไขในการทดสอบแล้วก็เริ่มทำการทดสอบโดยการนำชิ้นทดสอบจุ่มลงไป

ในสารละลายแล้วทำการปรับตำแหน่งของ Luggin Capillary ให้นิ่งไว้ประมาณ 5 นาทีเพื่อให้ขั้ว Natural electrode หรือขั้วของชิ้นงานอยู่ในสถานะที่เป็นตัวกระตุ้น (Active) และต่อเข้ากับ electrometer ที่ขั้วบวกของชิ้นงานถูกต่อเข้ากับเครื่อง Potentionstat และอุปกรณ์การ Scan หลังจากสแกนแล้วพบว่าแรงดันเพิ่มขึ้น 0.3 V ถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการสแกนในช่วงบวก เสร็จแล้วก็ทำการสลับการสแกนจากทิศทาง Anode มาเป็นทิศทาง Reverse และทำการสแกนจนไปถึงจุดเริ่มต้นสแกนที่ 0 V ทำการบันทึกค่ากระแสสูงสุดในการสแกนทั้งฝั่ง Anode (Ia) และ ฝั่ง Reverse (Ir) ตามเส้นกราฟ ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟของการสแกนขั้วไฟฟ้าในทิศทาง Anode (Ia) และ Reverse (Ir)

ในการหาผลทดสอบจะทำการนำค่าสูงสุดที่ได้จากการสแกนมาเปรียบเทียบในรูปแบบของสัดส่วน ค่าสูงสุดจากฝั่ง Reverse (Ir) มาหารด้วย ฝั่ง Anode (Ia) แล้วคูณด้วย 100 ก็จะได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการสแกนทั้งสองฝั่งตามสมการที่ 2.1

$$\text{Potentionkinetic reactivation ration \%} = (\text{Max Ir} / \text{Max Ia}) \times 100 \quad (2.1)$$

กรณีของการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G108 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนตามขอบเกรน แบบ Single Loop โดยอาศัยหลักการคำนวณของปริมาณไฟฟ้าต่อพื้นที่ที่ได้กราฟที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลที่เรียกว่า EC-Lab และใช้วิธีการคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$Pa = Q/As (5.1 \times 10^{-3} e^{0.35 G}) \quad (2.2)$$

PA = เป็นค่าประจุทางไฟฟ้าของพื้นที่ขอบเกรนมีหน่วยเป็น Coulombs/cm<sup>2</sup>

Q = เป็นค่าประจุทางไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัดมีหน่วยเป็น Coulombs

As = พื้นที่ชิ้นทดสอบมีหน่วยเป็น cm<sup>2</sup>

G = ขนาดของเกรนที่ได้จากวัดที่กำลังขยาย 100 เท่า ตามมาตรฐาน ASTM E112

### 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการทดสอบการกัดกร่อนตามขอบเกรนในวัสดุเกรดสแตนเลสประเภทออสเทนนิติก (Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steel)

ตามมาตรฐาน ASTM A 262-98 Practice เป็นกระบวนการในการกัดกรดและจำแนกโครงสร้างที่ถูกกัดกร่อนของวัสดุประเภทสแตนเลสเกรดออสเทนนิติก ซึ่งกรดหรือสารละลายที่ใช้ในการกัดจะใช้ กรดออกซาลิก (Oxalic Acid) กระบวนการนี้เป็นกรรมวิธีที่ถือ่าใช้ในการตรวจประเมินวัสดุว่ามีการกัดกร่อนตามขอบเกรนโดยอาศัยการจำแนกโครงสร้างตามการกัดกร่อนตามความรุนแรงที่มีระดับแตกต่างกัน ซึ่งการจำแนกโครงสร้างจะจำแนกเป็น 7 โครงสร้างที่ถูกกัดกร่อนตามรูปที่ 2.4 แต่โดยส่วนใหญ่ตามมาตรฐาน ASTM A 262 Practice A และวัสดุประเภทออสเทนนิติกจะเจอแค่ 3 โครงสร้างที่ถูกพบ คือ Step Structure Dual Structure และ Ditch Structure

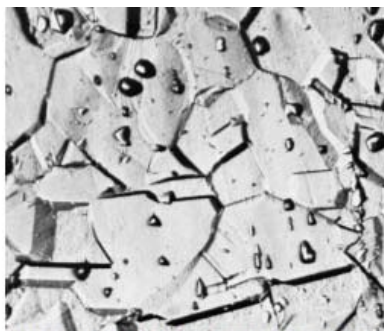


FIG. 1 Step Structure (500 $\times$ ) (Steps between grains, no ditches at grain boundaries)

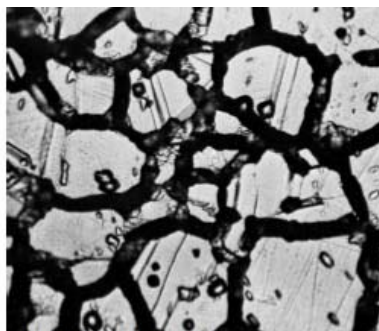


FIG. 3 Ditch Structure (500 $\times$ ) (One or more grains completely surrounded by ditches)

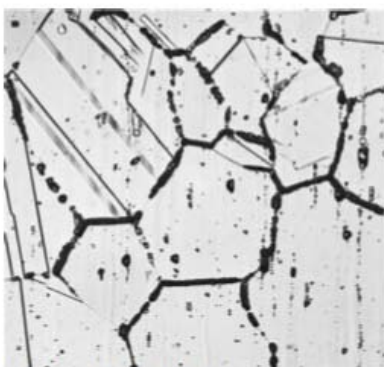


FIG. 2 Dual Structure (250 $\times$ ) (Some ditches at grain boundaries in addition to steps, but no one grain completely surrounded)

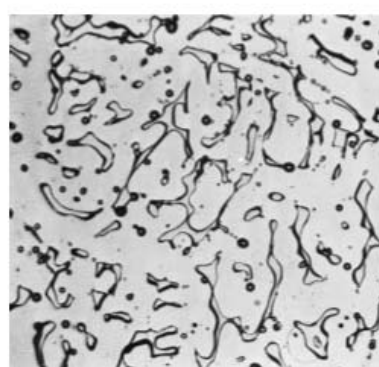


FIG. 4 Isolated Ferrite Pools (250 $\times$ ) (Observed in castings and welds. Steps between austenite matrix and ferrite pools)

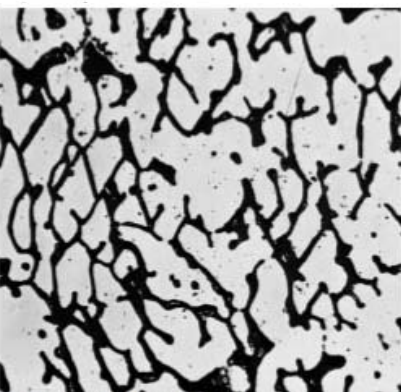


FIG. 5 Interdendritic Ditches (250 $\times$ ) (Observed in castings and welds. Deep interconnected ditches)

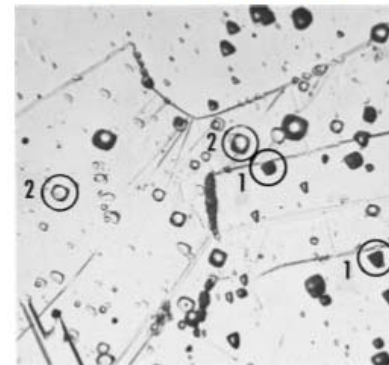
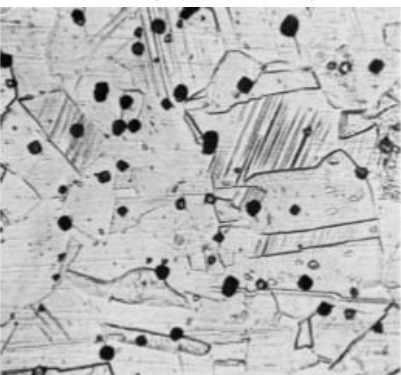


FIG. 6 End Grain Pitting I (500 $\times$ ) (A few deep end grain pits (see 1 in figure) and shallow etch pits (3))



This or a greater concentration of end grain pits at 500 $\times$  (using standard etching conditions) indicates that the specimen must be tested when screening is for nitric acid test.

FIG. 7 End Grain Pitting II (500 $\times$ )

รูปที่ 2.4 แสดงการจำแนกโครงสร้างการกัดกร่อนตามขอบเกรนตามมาตรฐาน ASTM A 262

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐานนี้จะประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถจ่ายแรงดันได้เท่า 15 V และกระแสได้เท่ากับ 20 A เครื่องวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า ตัวต้านทานประเภทปรับค่าได้ด้วยสวิตช์ แคลมป์จับยึด กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายในช่วง 250 -500 เท่า สารละลายหรือกรดออกซาลิก (Oxalic Acid) และเงื่อนไขที่ใช้ในการกัดกรดทดสอบคือ ชิ้นงานต้องผ่านการเตรียมผิวถึงขั้นขัดเงา (Polishing) และอัตราการกัดกรด คือ ใช้กระแสไฟฟ้า 1 A ต่อพื้นที่ 1 CM<sup>2</sup> ด้วยเวลา 1.5 นาที และขณะทำการกัดกร่อนชิ้นงานหรือชิ้นทดสอบต้องจุ่มอยู่ในสารละลายกรดออกซาลิกเสมอและเมื่อกัดกร่อนเสร็จต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์ และล้างด้วยน้ำกลั่นเช็ดให้แห้งด้วยสำลี ก่อนที่จะนำไปถ่ายภาพโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 250 – 500 เท่าและจำแนกโครงสร้างตามมาตรฐานเพื่อดูว่าชิ้นทดสอบนั้นเกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรนในระดับความรุนแรงแบบไหนตามมาตรฐานและจากงานวิจัยของก่อนหน้านี้ได้สรุปถึงความสัมพันธ์ของปริมาณสัดส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ทำการทดลองเพื่อหาค่าการกัดกร่อนเปรียบเทียบกับโครงสร้างจุลภาคที่เกิดการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM A 262 ไว้ดังนี้ คือ ถ้าปริมาณสัดส่วนของกระแส Ir/Ia มีค่าน้อยกว่า 0.001 จะจำแนกอยู่ในลักษณะโครงสร้างที่เกิดการกัดกร่อนแบบ Step Structure และถ้ามีปริมาณของสัดส่วนกระแส Ir/Ia อยู่ในช่วงที่มากกว่า 0.001 แต่มีน้อยกว่า 0.05 ถือว่ามีลักษณะโครงสร้างจุลภาคการกัดกร่อนแบบ Dual Structure และสุดท้ายถ้าสัดส่วนของปริมาณกระแส Ir/Ia มีค่ามากกว่า 0.05 จะถือว่ามีความลักษณะโครงสร้างจุลภาคการกัดกร่อนแบบ Ditch Structure ที่ถือว่ามีกัดกร่อนตามขอบเกรนแบบสมบูรณ์ (Completely Sensitized)

## 2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการทดสอบความแข็ง (Hardness Testing)

ความแข็งเป็นการแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่บ่งบอกถึงความต้านทานต่อรอยกดที่พื้นผิว ในการทดสอบความแข็งไม่มีวิธีใดที่เจาะจงใช้ได้กับทุกวัสดุ ดังนั้นการทดสอบความแข็งจึงมีได้หลายวิธี เช่น การกดวัด การขีดข่วน การทดสอบแบบลึกหรือเป็นต้น

หลักการเกี่ยวกับการวัดค่าความแข็งจะเกี่ยวข้องกับการวัดความต้านทานของวัสดุที่เกิดจากรอยการกด ซึ่งใช้เป็นหลักการพื้นฐานในการกำหนดการทดสอบและเครื่องมือวัดค่าความแข็งแบบต่างๆ การทดสอบวัดค่าความแข็งส่วนใหญ่เป็นการวัดค่าความแข็งแบบ Brinell Rockwell Vicker เป็นส่วนใหญ่ และสำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้การวัดค่าความแข็งแบบ Vicker ดังนั้นจะได้กล่าวถึงเฉพาะการทดสอบความแข็งและทฤษฎีของการวัดค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ ซึ่งการทดสอบแบบ Vickers เป็นการทดสอบความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กและมีมุมของปลายแหลม ที่ 136 องศา ดังรูปที่ 2.5 และน้ำหนักในการกดใช้อยู่ระหว่าง 15 -120 kg โดยจะเพิ่มครั้งละ 5 kg การทดสอบนี้มีหลักการเดียวกับการทดสอบแบบ Brinell คือค่าความแข็งที่ได้จะคิดจากน้ำหนักกดที่กระทำต่อพื้นที่ของรอยกดและจากรูปที่ 2.5 สามารถหาค่าพื้นที่รอยกดได้ดังสมการด้านล่าง

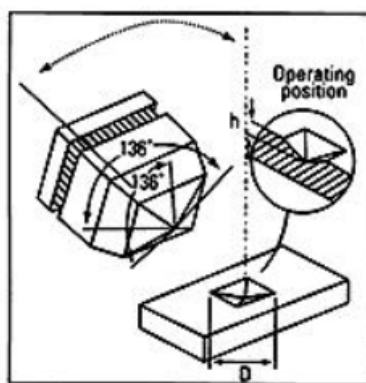
$$\text{พื้นที่รอยกด} = \frac{d^2}{2 \sin(136^\circ / 2)} \quad \text{ซึ่งจะมีค่าโดยประมาณ} = \frac{d^2}{1.8544}$$

ดังนั้นค่าความแข็ง Vickers หัวกดเพชรปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส DPH (Vickers Diamond Pyramid Hardness) หรือ HV (Vickers Hardness) จะมีค่าดังสมการ

$$\text{จากความแข็ง Vickers} = \frac{\text{แรงกด}}{\text{พื้นที่รอยกด}}$$

$$\text{จะได้} \quad \text{DPH} = \frac{1.8544 F}{d^2}$$

เมื่อ DPH คือความแข็ง Vickers ( $\text{kg/mm}^2$ ) F คือน้ำหนักกด (kg) และ d คือความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ย (mm)



รูปที่ 2.5 แสดงถึงพื้นที่หน้าตัดรอยกดในการทดสอบความแข็งแบบ Vickers

ในการทดสอบจะวางชิ้นงานลงบนแท่นทดสอบ จากนั้นยกแท่นขึ้นให้ใกล้กับหัวกดทดสอบ จากนั้นให้ทำการปลดล็อกคาน น้ำหนักจะถูกส่งไปยังหัวกดทดสอบในอัตรา 20:1 อย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นก็นำน้ำหนักกดออกและลดระดับแท่นวางขึ้นทดสอบลงและนำชิ้นทดสอบออกไปทำการวัดขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์ ข้อดีของการทดสอบแบบนี้คือการวัดขนาดของเส้นทแยงมุมรอยกดมีความแม่นยำ และรวมถึงสามารถใช้วัดค่าความแข็งของชิ้นงานที่มีความหนาแน่นน้อยๆ

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Moura และ Lima ได้ทำการศึกษาวัสดุสแตนเลสเกรด AISI 321 ซึ่งเป็นออสเทนนิติกสตีลเกรดที่มีการเติมธาตุไทเทเนียมลงไปเพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรนที่สภาพการใช้งานที่อุณหภูมิในช่วง 450 – 850 องศาเซลเซียส โดยที่ในการศึกษาของทั้งคู่ได้พิจารณาถึงช่วงอุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมต่อการทำให้เกิดไทเทเนียมคาร์ไบด์พรีซิพิตชัน และใช้เทคนิค อีพีอาร์ (EPR-DL) เพื่อดูว่ามีการเกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรนหรือไม่หลังจากจำลองการนำไปใช้งาน

ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างกัน ซึ่งสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการอบ (Stabilization treatment) ที่เหมาะสมที่สุดที่ไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรนคือ 950 องศาเซลเซียส และที่พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิในการอบ (Stabilization treatment) มากกว่า 950 องศาเซลเซียสก็จะเริ่มเกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรน นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะว่าถ้าขนาดของไทเทเนียมคาร์ไบด์ฟิสิคัลที่ละเอียดก็จะทำให้มีคุณสมบัติในทางด้านการต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรนดีขึ้นและการต้านทานต่อการเกิดการคืบ (Creep) ก็เพิ่มขึ้นอีกด้วย [1]

Lima และ Nascimento ได้ทำการประเมินถึงความไวต่อการเกิดเซนซิไทเซชันของออสเทนนิติกสแตนเลสเกรด AISI 304L 316L 321 และ 347 ตามลำดับ โดยทำการศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเกิดเซนซิไทเซชันของท่อออสเทนนิติกสแตนเลสเกรด AISI 304L 316L 321 และ 347 ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี การศึกษานี้ได้ใช้กล้อง SEM ในการถ่ายภาพ และใช้เทคนิค EPR-DL ตามมาตรฐาน ASTM A262 โดยผลที่ได้ พบว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสไม่เกิดเซนซิไทเซชันในทุกเกรด แต่ที่ 500 องศาเซลเซียสจะเกิดเซนซิไทเซชันสำหรับ เกรด 304L 316L และ 321 ส่วน เกรด 347 จะเกิดเซนซิไทเซชันที่ 550 องศาเซลเซียส จึงสรุปว่าสำหรับเกรดที่เป็นสตีเบิล (Stabilize) จะต้านทานต่อการเกิดเซนซิไทเซชัน ได้ดีกว่าเกรดที่ไม่มีอัลลอยเจือ [6]

Yae Kina และ Souza ได้ทำการศึกษาถึงโครงสร้างและการประเมินความต้านทานต่อการเกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรนของวัสดุสแตนเลสเกรด AISI 304 ที่นำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง โดยที่เขาเชื่อว่าวัสดุ AISI304 สามารถที่จะกลับมามีความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรนในช่วงสั้นเนื่องจากการแพร่ของก้อนโครเมียมโดยกลไกทางจลน์ซึ่งจะเรียกพฤติกรรมลักษณะนี้ว่า Healing หรือกระบวนการที่เกิดการ Desensitization ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการใช้งาน ปริมาณของคาร์บอนก่อนการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในงานวิจัยเขาได้ทำการทดลองกระบวนการ Healing ที่อุณหภูมิที่ 650 และ 750 องศาเซลเซียสทดลองกับท่อที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง ผลที่ได้หลังการประเมินความต้านทานพบว่าที่อุณหภูมิ 750 วัสดุมีความสามารถกลับมามีความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรนที่ 48 ชั่วโมงแต่ที่ 650 ไม่มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรน [11]

อุทัย สุโยธาได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของความร้อนนำเข้า (Heat Input) ในงานเชื่อมกับขนาดและปริมาณของไทเทเนียมคาร์ไบด์ในไดรน์ Ti(C,N) ในบริเวณกระพือร้อนของวัสดุสแตนเลสเกรด AISI 321 จากกระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสแตน (GTAW) ทั้งนี้ความร้อนนำเข้า จะเปลี่ยนแปลงโดยการเปลี่ยนกระแสเชื่อมที่ 150 175 200 225 และ 250 แอมแปร์ และทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบทั่วไป (OM) และแบบอิเล็กตรอนส่องกราด (SEM) โดยที่ขนาดและปริมาณของอนุภาคไทเทเนียมคาร์ไบด์ในไดรน์ถูกประเมินด้วยโปรแกรม Image J จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่ม

กระแสน้ำในการเชื่อมหรือค่าความร้อนนำเข้าที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อขนาด และปริมาณของอนุภาคของไทเทเนียมคาร์ไบด์ ไทเทเนียมไนไตรด์  $Ti(C,N)$  ให้มีแนวโน้มลดลง เป็นผลให้พื้นที่ของการแยกตัวออกจากกันของไทเทเนียมคาร์ไบด์ ไทเทเนียมไนไตรด์  $Ti(C,N)$  เพิ่มมากขึ้นที่บริเวณใกล้กับแนวขอบบ่อหลอม (Fusion line) และเมื่อกระแสเชื่อมสูงถึง 200 225 250 แอมแปร์ จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบ Dual Structure ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเกิดในฟลายน์แอตแทก (Knife-line attack) ที่บริเวณใกล้กับแนวขอบบ่อหลอม ดังนั้นในการเชื่อมต้องมีการควบคุมความร้อนนำเข้าให้น้อยและเหมาะสมสำหรับการเชื่อมวัสดุสเตนเลสเกรด AISI 321