

การศึกษาความเป็นไปได้ในการประเมินการเกิด $Cr_{23}C_6$ ในการเชื่อมซ่อมของ IN800H ด้วยเทคนิค EPR

Possibility Study for Evaluation of $Cr_{23}C_6$ Formation in Repaired Welding of IN800H using EPR Technique

พิพัฒน์ อาชาทรง¹ อิศรทัต พึ่งอัน^{2*} บวรโชค ผู้พัฒน์³

^{1,3} สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมการเชื่อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

² ศูนย์เทคโนโลยีซ่อมบำรุงรักษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

E-mail: isa_ceo@yahoo.com *

Pipat Archasong¹, Isaratat Phung-on^{2*} and Bovornchoke Poopat³

^{1,3} Welding Engineering Program, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

² Maintenance Technology Center, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

E-mail: isa_ceo@yahoo.com

บทคัดย่อ

วัสดุ INCOLOY 800H เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะผสมชนิดพิเศษ (Super alloy) ซึ่งมีราคาแพง ถูกปรับปรุงมาเพื่อใช้กับงานที่ต้องทนความร้อนสูง ทนต่อการคืบ การกัดกร่อน ในการเชื่อมซ่อม วัสดุดังกล่าวมีโอกาสเกิดการแตกร้าแบบ Strain Age Cracking ได้ เนื่องมาจากการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$) ขึ้นตามขอบเกรนในบริเวณเขตกระทบร้อน (Heat Affected Zone: HAZ) การประเมินปริมาณคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้น มีส่วนช่วยในการประเมินความสามารถในการเชื่อมซ่อมวัสดุดังกล่าว การทดลองเริ่มโดยเชื่อมวัสดุ INCOLOY 800H ขนาด 20 x 20 x 12 มิลลิเมตร ด้วยกระบวนการเชื่อม Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) เชื่อมแบบไม่มีลวดเติม (Autogeneous) เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่มีขนาดความกว้างแนวเชื่อมประมาณ 8 มิลลิเมตร ในการทดลองนี้เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี Electrochemical Reactivation: EPR ถูกนำมาใช้โดยประยุกต์จากวิธีการของ ASTM G108-94 ผลการทดลองพบว่าในบริเวณเขตกระทบร้อน (HAZ) ของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมซ้ำ 16 ครั้งมีปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$) เกิดขึ้นมากที่สุด และลดลงตามลำดับสำหรับการเชื่อม 8, 4, 2, และ 1 ครั้ง โดยพฤติกรรมการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นในชั้นทดลองนั้นไม่สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนเมื่อใช้วิธีถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาค แต่สำหรับการใช้เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี EPR กลับพบว่ามีความไวในการตรวจจับการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ได้ดีกว่าแม้ว่าชั้นทดลองที่ผ่านการเชื่อมซ้ำมาเพียงครั้งเดียว จึงพอสรุปได้ว่าเทคนิค EPR สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการประเมินหาปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$) ในวัสดุ INCOLOY 800H ได้และผลการทดลองสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินความสามารถในการเชื่อมซ่อมของวัสดุได้

คำหลัก INCOLOY 800H, EPR, $Cr_{23}C_6$

Abstract

Incoloy 800H is a type of Nickel base super alloy developed for high temperature operating condition with creep resistance and corrosion properties. During a repaired welding, the material could experience failure in term of Strain Age Cracking due to the formation of Chromium Carbide ($Cr_{23}C_6$) along grain

boundaries of Heat Affected Zone (HAZ). The evaluation of carbides formed would help in determination of repaired weldability of the material. The experiments were performed on Incoloy 800H with size of 20 x 20 x 12 mm welded by Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) using autogeneous technique in order to create a weld with bead width of 8 mm. The Electrochemical Reactivation: EPR was adapted from ASTM G108 – 94. The results showed that HAZ of 16 replicate repaired welds presented the most Chromium Carbide ($Cr_{23}C_6$) formed and decreased with 8, 4, 2, 1 replicate respectively. The Chromium Carbide ($Cr_{23}C_6$) formed could not be identified clearly under the investigation via microstructure analysis. On the other hand, EPR technique could have better sensitivity to pick up a signal even on the specimen with only 1 replicate repaired weld. This could be concluded that the EPR technique could be used to determine the formation of Chromium Carbide ($Cr_{23}C_6$) in Incoloy 800H. This could be helpful for determination of repaired weldability of the material

Keywords: INCOLOY 800H, EPR, $Cr_{23}C_6$

1. บทนำ

วัสดุ INCOLOY 800H ถูกจัดอยู่ในกลุ่มโลหะผสมชนิดพิเศษ (Super alloy) ซึ่งมีนิเกิลเป็นส่วนผสมหลักเหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและต้องการความแข็งแรงสูงด้วย อีกทั้งยังมีความสามารถทนต่อการคืบต้านทานการกัดกร่อน [1]-[2] เมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) โดยมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามผู้ผลิต ในกลุ่มนี้จะมีด้วยกัน 3 ชนิด คือ 800, 800H และ 800HT [3] แตกต่างกันก็เฉพาะปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ โดยมากแล้วจะนำไปใช้ผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ในงานที่ต้องการใช้งานในอุณหภูมิสูงๆ และการกัดกร่อนสูง เช่น ชิ้นส่วนกังหันเครื่องแก๊สเทอร์ไบน์ (Gas turbine engines blade) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) วัสดุ INCOLOY 800H ประกอบด้วยธาตุสำคัญ 4 ชนิดคือ Ni, Cr, C และ Fe ตามตารางที่ 1 [3]

INCOLOY 800 แม้จะเป็นวัสดุที่สามารถใช้งานได้ดีในอุณหภูมิสูงมีความต้านทานการคืบ ทนการกัดกร่อนได้ดี แต่เมื่อมีการให้ความร้อน เช่น การเชื่อมประกอบชิ้นงานหรือเชื่อมซ่อม ความร้อนที่เกิดขึ้นจากเงื่อนไวดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุให้โครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$) เกิดขึ้นตามขอบเกรนในบริเวณเขตกระทบร้อน (Heat Affected Zone: HAZ) ได้ส่งผลให้การจับยึดของขอบเกรนไม่ดีและเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นในชิ้นงาน เช่น ปัญหาของการแตกร้าวตามมาในภายหลัง

การประเมินการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$) มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การดูโครงสร้างจุลภาค

(Microscopy) หรือการลอกกลาย (Replica) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดแตกต่างกัน ทั้งด้านความละเอียด (Resolution) และการเตรียมชิ้นทดลอง (Specimen) เป็นต้น ในการทดลองครั้งนี้กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี Electrochemical Reactivation: EPR [4] ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ในการเชื่อมซ่อมชิ้นทดลองวัสดุ INCOLOY 800H

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ INCOLOY 800 series [3]

General Requirements			
UNS designation	N08800	N08810	N08811
INCOLOY alloys	800	800H	800HT
Nickel	30.0-35.0	30.0-35.0	30.0-35.0
Chromium	19.0-23.0	19.0-23.0	19.0-23.0
Iron	39.5 min	39.5 min	39.5 min
Carbon	0.10 max	0.05-0.10	0.06-0.10
Aluminium	0.15-0.60	0.15-0.60	0.25-0.60
Titanium	0.15-0.60	0.15-0.60	0.25-0.60
Aluminium+Titanium	0.30-1.20	0.30-1.20	0.85-1.20
ASTM grain size	Not specified	5 or coarser	5 or coarser

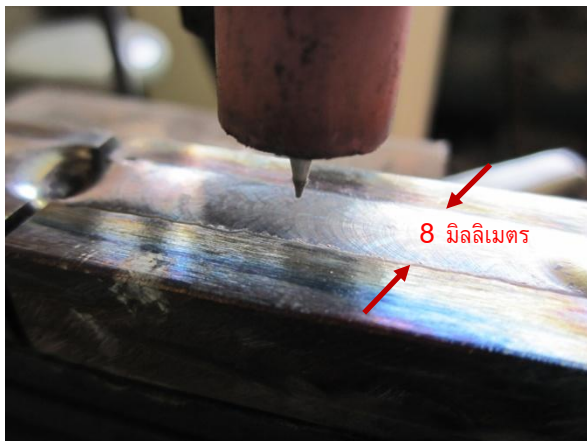
2. วิธีดำเนินการทดลอง

2.1 การเตรียมชิ้นงาน

เตรียมวัสดุ INCOLOY 800H ขนาด 20 x 20 x 12 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชุดๆ ละ 3 ชิ้น รวม 15 ชิ้น เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) แบบไม่ใช้ลวดเติม (Autogeneous) เพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีขนาดความกว้าง 8 มิลลิเมตร รูปที่ 1 แสดงการเชื่อมชิ้นทดลองด้วยกระบวนการเชื่อม GTAW ด้วยจำนวนครั้งการเชื่อมที่แตกต่างกันคือ 1, 2, 4, 8, และ 16 ครั้ง ตามข้อกำหนดการเชื่อม (Welding Procedure Specification: WPS) ซึ่งแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดการเชื่อม

ข้อกำหนดในการเชื่อม	ค่าที่ใช้
กระแสเชื่อม (Current)	150 แอมแปร์
แรงดันเชื่อม (Voltage)	18 โวลต์
ลวดเชื่อม (Electrode)	2.4 มิลลิเมตร
แก๊สปกป้อง (Shielding)	อาร์กอน
อัตราการไหลแก๊ส (Flow Rate)	12 ลิตร / นาที
ระยะอาร์ก (Arc Length)	3 มิลลิเมตร
อุณหภูมิระหว่างที่เย็บเชื่อม (Preheat Temperature)	100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 1 แสดงการเชื่อมชิ้นงานด้วย GTAW แบบไม่เติมลวด

2.2 การเตรียมผิวชิ้นงานก่อนทำ EPR

นำชิ้นทดลองที่ผ่านการเชื่อมมาแล้วเตรียมผิวก่อนทำการทดลอง ดังนี้

- ขัดผิวหน้าชิ้นงานด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 220 – 1200

- ขัดเงาผิวหน้าชิ้นงานด้วยผงขัดเพชรความละเอียด 3 μm และ 1 μm ตามลำดับ
- ต่อขั้วตัวนำไฟฟ้าที่ชิ้นทดลองและใช้วัสดุเคลือบผิวในส่วนที่ไม่ต้องการให้สัมผัสกับสารละลายขณะทำการทดลอง ชิ้นงานที่พร้อมสำหรับการทำ EPR พร้อมอุปกรณ์สำหรับการทดลองแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 แสดงชิ้นงานซึ่งพร้อมสำหรับการทดลอง EPR



รูปที่ 3 แสดงอุปกรณ์สำหรับการทดลอง EPR

2.3 การทดลอง

ทำการทดลอง EPR โดยประยุกต์วิธีการทดลองจาก ASTM Designation: G108 [4] ซึ่งจะต้องนำชิ้นงานที่เตรียมจากข้อ 2.2 สัมผัสกับสารละลาย ซึ่งต้องเตรียมให้มีความเข้มข้น 0.5 M H_2SO_4 + 0.01 M KSCN [4] ดังนี้

โปแตสเซียม ไธโอไซยาเนต (KSCN)	0.9718 กรัม
กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)	27.78 มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	1 ลิตร

เตรียมอุปกรณ์สำหรับทำ EPR รวมไปถึงโปรแกรมในการทดลองสำหรับการทดลองครั้งนี้ใช้โปรแกรม EC Lab และเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีออกซิเจนเจือปนในสารละลายก่อนทำการทดลอง จำเป็นต้องใช้แก๊สไนโตรเจนกำจัดออกซิเจนออกจากระบบประมาณ 30 นาที จากนั้นจึงเริ่มทำการทดลอง EPR ผ่านทางโปรแกรม EC Lab เพื่อให้ได้กราฟที่อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) และค่าศักย์ไฟฟ้า (E) นำมาหาค่าพื้นที่ใต้กราฟ Reactivation Peak (Q) จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า Normalized charge, P_a ตามสมการ (1) [4]

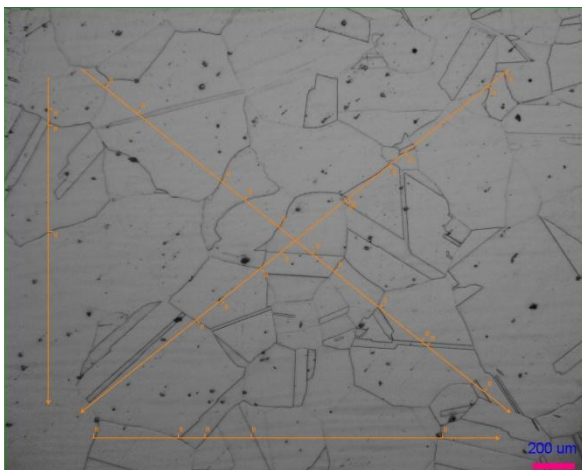
$$P_a = \frac{Q}{X} \quad (1)$$

Q = ค่าพื้นที่ใต้กราฟ Reactivation Peak (คูลอมบ์)
 $X = A_s [5.1 \times 10^{-3} e^{0.35 G}]$
 A_s = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานหน่วยตารางเซนติเมตร
 G = ขนาดเกรนตาม ASTM E112 [5]

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การทดลอง

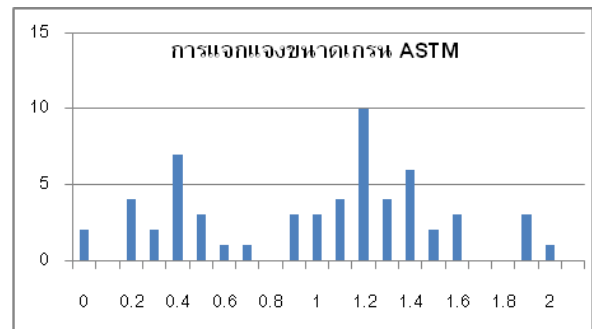
3.1 โครงสร้างจุลภาคและขนาดเกรน

หลังจากที่ชิ้นทดลองถูกเชื่อมด้วยจำนวนครั้งที่แตกต่างกันคือ 1, 2, 4, 8 และ 16 ครั้ง ทำการถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) พบว่าลักษณะของเกรนไม่มีความแตกต่างกันชัดเจนจึงต้องนำมาวัดหาขนาดของเกรน (Grain size) โดยประยุกต์จาก ASTM: E112 ร่วมกับ ASTM: E1181



รูปที่ 4 แสดงการวัดขนาดเกรนของชิ้นทดลอง

จากรูปที่ 4 เป็นการวัดขนาดเกรนตาม ASTM E112 เนื่องจากวัสดุมีขนาดเกรนหลายขนาด จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงการกระจายของขนาดเกรน โดยประยุกต์ใช้ ASTM E1181 จากการวัดขนาดของเกรนหลาย ๆ บริเวณที่เกี่ยวข้องจำนวน 60 ค่า ดังตัวอย่างของการวัดขนาดเกรนของชิ้นงานที่เชื่อม 16 ครั้ง ซึ่งในรูปที่ 5 จะพบว่ามี การกระจายขนาดเกรนอยู่ 2 กลุ่ม คือ ASTM 0.4 เป็นปริมาณ 33.33% และที่ ASTM 1.2 เป็นปริมาณ 66.67% ซึ่งได้ค่าเฉลี่ย ตาม ASTM Grain size No. 0.9



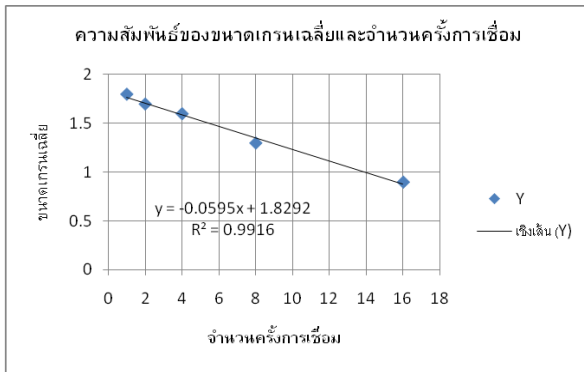
รูปที่ 5 แสดงการแจกแจงขนาดของเกรน (ชิ้นงานเชื่อมซ้ำ 16 ครั้ง)

วิธีการข้างต้น ถูกไปใช้ชิ้นงานชิ้นอื่นๆ ที่มีจำนวนครั้งของการเชื่อมซ้ำ 1, 2, 4, และ 8 ครั้ง ซึ่งทำให้ได้ขนาดเกรนเทียบกับ ASTM Grain size No. 1.8, 1.7, 1.6, และ 1.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงขนาดเกรนและจำนวนการเชื่อมซ้ำ

จำนวนครั้งการเชื่อมและขนาดของเกรน					
ครั้งการเชื่อม	1	2	4	8	16
Grain size No.	1.8	1.7	1.6	1.3	0.9

ตารางที่ 3 แสดงค่าที่ได้จากการวัดขนาดเกรนของชิ้นทดลองในจำนวนการเชื่อมซ้ำที่ต่างกันตั้งแต่การเชื่อม 1-16 ครั้ง โดยประยุกต์ใช้จาก ASTM E112 [5] จากนั้นจึงนำขนาดเกรนที่วัดได้นำมาแจกแจงขนาดของเกรนและหาค่าเฉลี่ยขนาดเกรนด้วยวิธีทางสถิติซึ่งนำ ASTM: E1181 [6] มาประยุกต์ใช้ และจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าจำนวนครั้งของการเชื่อมจะส่งผลต่อขนาดของเกรน โดยเมื่อทำการเชื่อมซ้ำหลาย ๆ ครั้งจะทำให้ขนาดของเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูป 6



รูปที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยขนาดเกรนในจำนวนครั้งที่เชื่อมที่ต่างกัน

3.2 การเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$)

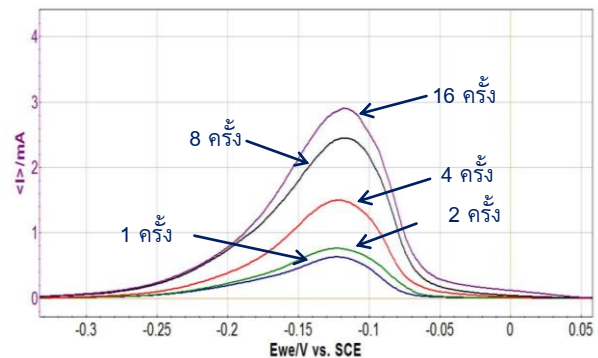
ปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นแปรผันไปตามจำนวนครั้งของการเชื่อมซึ่งพบว่าบริเวณขอบเกรนของชิ้นทดลองที่ผ่านการเชื่อม 16 ครั้งจะมีโครเมียมคาร์ไบด์เกิดขึ้นในปริมาณมากเมื่อเทียบกับการเชื่อม 8, 4, 2, และ 1 ตามลำดับโดยอ้างอิงจากกราฟที่ได้จากการทำ EPR ด้วยโปรแกรม EC Lab ซึ่งแสดงในรูปที่ 7

3.3 การแปลผลจากกราฟที่ได้จากการทำ EPR

ผลของ EPR ทำให้เราได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ Reactivation Peak หรือค่า Q (หน่วย คูลอมป์) ในรูปที่ 7 เพื่อนำไปหาค่า P_a ตามสมการ $P_a = Q/X$ ค่า Q และ P_a ในตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างประจุไฟฟ้าต่อพื้นที่ขอบเกรนแล้วพบว่าการเชื่อมน้อยครั้งจะได้ค่า P_a น้อยและจะมากขึ้นตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมชิ้นทดลอง 1 ครั้งจะเกิดโครเมียมคาร์ไบด์น้อยที่สุดและการเชื่อม 16 ครั้งจะเกิดโครเมียมคาร์ไบด์มากที่สุด เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 4 ไปวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่แสดงไว้ในรูปที่ 8 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าของประจุไฟฟ้าต่อพื้นที่ของขอบเกรนจะเห็นว่าค่าความสัมพันธ์ (R^2) สอดคล้องและเป็นไปตาม ASTM: G 108 [4] กล่าวคือค่า P_a จะมีเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนการเชื่อมซ้ำมีเพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 8 ได้แสดงให้เห็นความแตกต่างของประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการกัดกร่อนต่อพื้นที่ผิวของเกรน หรือจากความเสียหายของ Passive Film ซึ่งอธิบายได้ว่าชิ้นงานที่มีการเชื่อมซ้ำน้อย เช่น ชิ้นทดลองที่ทำการเชื่อม 1, 2, และ 4 ครั้งจะมีการจ่ายอิเล็กตรอนได้น้อยกว่าชิ้นงานที่เชื่อม 8 และ 16 ครั้งตามลำดับ การที่ชิ้นงาน

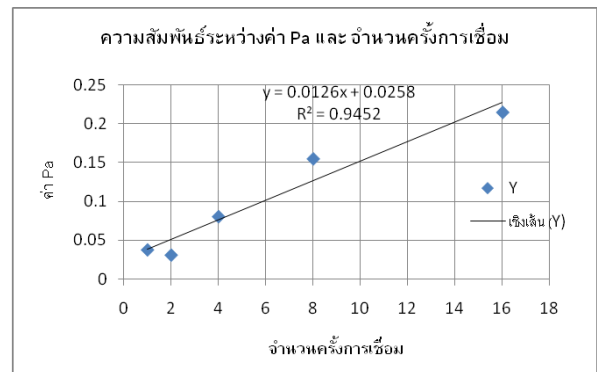
เสียอิเล็กตรอนน้อยแสดงถึงการกัดกร่อนคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นน้อยเช่นกัน



รูปที่ 7 กราฟแสดงปริมาณการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์

ตารางที่ 4 แสดงค่า Q และปริมาณคาร์ไบด์ในรูปของค่า P_a

จำนวนครั้งที่เชื่อม	Q (คูลอมป์)	P_a (C/cm^2)
16T	0.305086	0.21507
8T	0.254321	0.15517
4T	0.144314	0.08082
2T	0.0579577	0.03134
1T	0.0735	0.03808

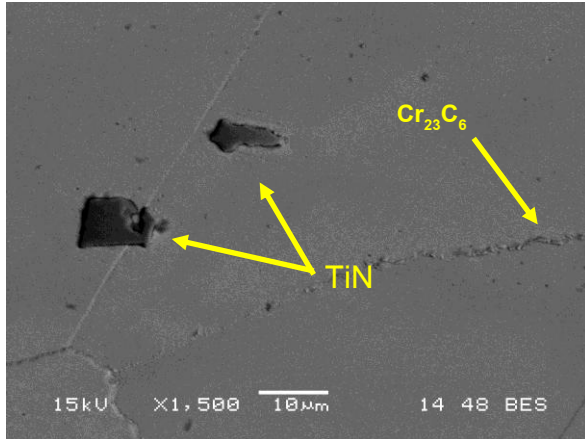


รูปที่ 8 แสดงประจุไฟฟ้าต่อพื้นที่ของเกรนชิ้นทดลอง

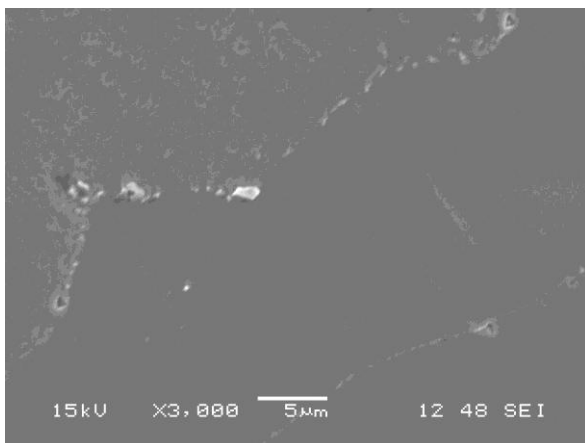
3.4 ความสามารถในการตรวจจับ $Cr_{23}C_6$

การประเมินความเป็นไปได้ของการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ในชิ้นทดลองที่ผ่านการเชื่อมในจำนวนครั้งที่ต่างกันไม่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดจากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคหรือแม้แต่การถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope: SEM) จากการทดลองจะสังเกตเห็นโครเมียมคาร์ไบด์ตามขอบเกรนได้จะต้องทำการเชื่อมชิ้นทดลองถึง 16 ครั้ง รูปที่ 9-13 แสดงผลของการทำ SEM

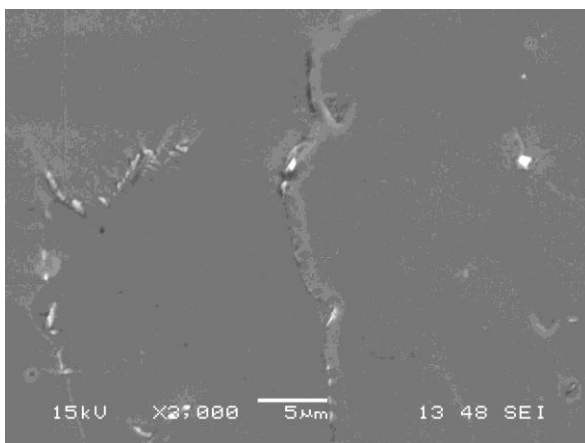
ในชั้นทดลอง แต่เมื่อสังเกตผลจากการใช้เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี EPR สามารถสังเกตพฤติกรรมการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ได้ตั้งแต่การเชื่อมเพียง 1 ครั้ง และจะชัดเจนขึ้นเมื่อจำนวนการเชื่อมเพิ่มมากขึ้น (จากการทดลองคือ 16 ครั้ง)



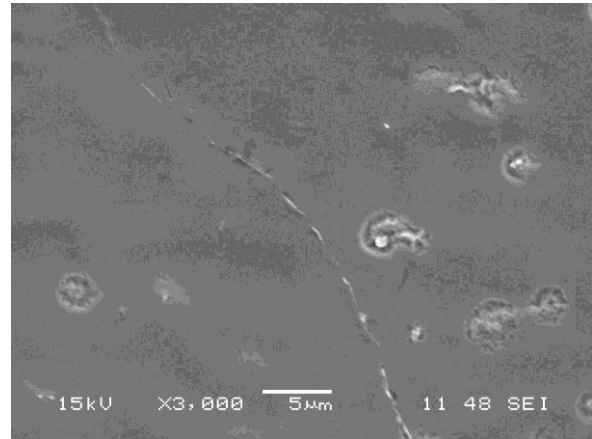
รูปที่ 9 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วย SEM (เชื่อม 16 ครั้ง)



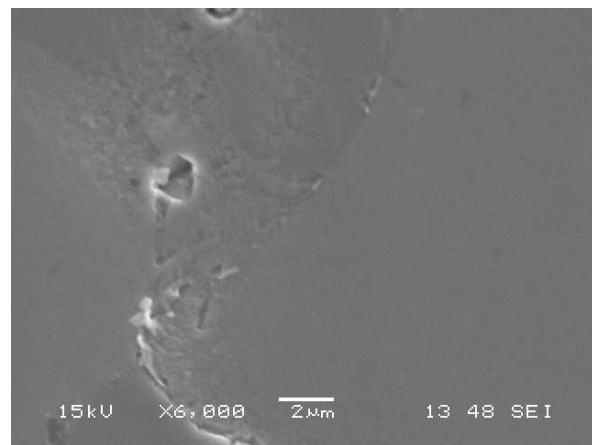
รูปที่ 10 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วย SEM (เชื่อม 8 ครั้ง)



รูปที่ 11 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วย SEM (เชื่อม 4 ครั้ง)



รูปที่ 12 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วย SEM (เชื่อม 2 ครั้ง)



รูปที่ 13 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วย SEM (เชื่อม 1 ครั้ง)

4. สรุปผลการทดลอง

จากการประยุกต์ใช้เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี EPR เพื่อประเมินการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ในการเชื่อมซ่อมวัสดุ INCOLOY 800H สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- เทคนิค EPR มีความไวในการตรวจจับการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ในวัสดุ INCOLOY 800H ได้ดีกว่าการถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)
- การเชื่อมหรือเชื่อมซ่อมวัสดุ INCOLOY 800H ในจำนวนมากครั้งจะมีผลต่อการเกิดคาร์ไบด์ตามขอบเกรนของชิ้นงานได้มากขึ้นและเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายเกิดขึ้นกับชิ้นงาน
- สามารถใช้ผลการทดลองนี้เป็นแนวทางในการประเมินการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ในวัสดุที่ส่วนผสมหลักที่เป็นนิกเกิลหรือโครเมียมต่อไป

- สามารถใช้ผลการทดลองเป็นแนวทางในการประเมินความสามารถในการเชื่อมหรือ เชื่อมซ่อมวัสดุ INCOLOY 800H

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบุคลากรและหน่วยงานต่างๆ ที่ให้การสนับสนุนให้การทํางานวิจัยครั้งนี้ลุล่วงไปด้วย

- ดร.นครินทร์ ศรีสุวรรณ นักวิจัยห้องทดลองเทคโนโลยีการกัดกร่อน สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่เอื้อเพื่อห้องทดลองเทคโนโลยีการกัดกร่อน

- WELLab มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่เอื้อเพื่อห้องทดลองในการเตรียมชิ้นงาน

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่เอื้อเพื่อวัสดุในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] Phung-on I., Niumpradit W., and Wongsas S "Phase Transformation Monitoring of Incoloy 800H GTAW Spot Weldment", King Mongkut's

University of Technology North Bangkok Press, Bangkok, Thailand

[2] ASM Handbook, vol. 4, 1991, Heat Treating of Nickel and Nickel Alloys, pp. 2032-2042.

[3] Special Metals "The story of the INCOLOY alloys Series from 800, through 800H, 800HT <http://www.specialmetals.com>

[4] ASTM Designation: G108 – 94 (Reapproved 2010), 2010, "Standard Test Method for Electrochemical Reactivation (EPR) for Detecting Sensitization of AISI Type 304 and 304L Stainless Steels", American society for Testing Materials

[5] ASTM Designation: E 112 – 96 2000, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size", American society for Testing Materials

[6] ASTM Designation: E 1181 – 87 (Reapproved 1998) Standard Test Methods for Characterizing Duplex Grain Sizes American society for Testing Materials